

ANEXO I

LEVANTAMIENTO DE DATOS

PILA DE PUENTES CIRCULAR

Dimensiones del tanque de aforo		
Base	0,595	m
Largo	1,01	m
Alto	0,02	m
Volumen de aforo	0,012	m ³
Espesor de la cama	0,06	m
Ancho del canal B	0,206	m

Aforos para una pendiente de 0,0024 m/m

Descripción Desnivel (Δh)	Lectura 0,5	Unidad (cm)
Nº	Tiempo	s
1	8,26	s
2	7,87	s
3	8,09	s
4	8,05	s
5	8,33	s
6	8,07	s
7	8,04	s
8	7,72	s
9	8,16	s
10	8,86	s
Media	8,15	s
Q	1,48	l/s

Descripción Desnivel (Δh)	Lectura 0,5	Unidad (cm)
Nº	Tiempo	s
1	6,27	s
2	6,56	s
3	6,66	s
4	6,44	s
5	6,38	s
6	6,52	s
7	6,75	s
8	6,16	s
9	6,2	s
10	6,43	s
Media	6,44	s
Q	1,87	l/s

Descripción Desnivel (Δh)	Lectura 0,5	Unidad (cm)
Nº	Tiempo	s
1	6,43	s
2	4,44	s
3	5,56	s
4	6,14	s
5	6,37	s
6	6,00	s
7	5,87	s
8	6,05	s
9	5,95	s
10	6,69	s
Media	5,95	s
Q	2,02	l/s

Descripción Desnivel (Δh)	Lectura 0,5	Unidad (cm)
Nº	Tiempo	s
1	4,85	s
2	4,34	s
3	4,35	s
4	4,53	s
5,00	4,45	s
6,00	4,60	s
7,00	4,40	s
8,00	4,17	s
9,00	4,75	s
10,00	5,12	s
Media	4,56	s
Q	2,64	l/s

Descripción Desnivel (Δh)	Lectura 0,5	Unidad (cm)
Nº	Tiempo	s
1	3,05	s
2	3,4	s
3	3,92	s
4	4,1	s
5	3,57	s
6	3,46	s
7	3,12	s
8	3,3	s
9	3,35	s
10	3,01	s
Media	3,43	s
Q	3,51	l/s

Descripción Desnivel (Δh)	Lectura 0,5	Unidad (cm)
Nº	Tiempo	s
1	2,05	s
2	2,1	s
3	2,4	s
4	2,5	s
5	2,35	s
6	2,40	s
7	2,60	s
8	2,10	s
9	2,00	s
10	2,05	s
Media	2,26	s
Q	5,33	l/s

Aforos para una pendiente de 0,0048 m/m

Descripción Desnivel (Δh)	Lectura 1,0	Unidad (cm)
Nº	Tiempo	s
1	6,8	s
2	6,5	s
3	6,6	s
4	6,43	s
5	6,81	s
6	6,3	s
7	6,23	s
8	7,1	s
Media	6,59	s
Q	1,82	l/s

Descripción Desnivel (Δh)	Lectura 1,0	Unidad (cm)
Nº	Tiempo	s
1	5,18	s
2	5,15	s
3	5,6	s
4	5,31	s
5	5,52	s
6	5,32	s
7	5,95	s
8	5,8	s
Media	5,48	s
Q	2,19	l/s

Descripción Desnivel (Δh)	Lectura 1,0	Unidad (cm)
Nº	Tiempo	s
1	4,15	s
2	4,00	s
3	4,50	s
4	4,80	s
5	4,50	s
6	4,50	s
7	4,20	s
8	4,35	s
9	4,20	s
10	4,80	s
Media	4,40	s
Q	2,73	l/s

Descripción Desnivel (Δh)	Lectura 1,0	Unidad (cm)
Nº	Tiempo	s
1	2,78	s
2	2,45	s
3	2,82	s
4	2,93	s
5	2,79	s
6	2,58	s
7	2,98	s
8	3,06	s
Media	2,80	s
Q	4,29	l/s

Descripción Desnivel (Δh)	Lectura 1,0	Unidad (cm)
Nº	Tiempo	s
1	2,47	s
2	2,50	s
3	2,44	s
4	2,46	s
5	2,31	s
6	2,61	s
Media	2,47	s
Q	4,88	l/s

Descripción Desnivel (Δh)	Lectura 1,0	Unidad (cm)
Nº	Tiempo	s
1	2,30	s
2	2,25	s
3	2,25	s
4	2,38	s
5	2,42	s
6	2,33	s
Media	2,32	s
Q	5,18	l/s

Aforos para una pendiente de 0,0071 m/m

Descripción Desnivel (Δh)	Lectura 1,5	Unidad (cm)
Nº	Tiempo	s
1	6,27	s
2	6,56	s
3	6,66	s
4	6,44	s
5	6,38	s
6	6,52	s
7	6,75	s
8	6,16	s
Media	6,47	s
Q	1,86	l/s

Descripción Desnivel (Δh)	Lectura 1,5	Unidad (cm)
Nº	Tiempo	s
1	5,60	s
2	6,21	s
3	5,45	s
4	6,09	s
5	6,29	s
6	6,36	s
7	6,20	s
8	6,11	s
Media	6,04	s
Q	1,99	l/s

Descripción Desnivel (Δh)	Lectura 1,5	Unidad (cm)
Nº	Tiempo	s
1	5,15	s
2	5,63	s
3	5,21	s
4	5,29	s
5	5,01	s
6	5,25	s
7	4,91	s
8,	5,50	s
Media	5,24	s
Q	2,29	l/s

Descripción Desnivel (Δh)	Lectura 1,5	Unidad (cm)
Nº	Tiempo	s
1	4,20	s
2	3,91	s
3	3,85	s
4	3,97	s
5	3,92	s
6	3,60	s
Media	3,91	s
Q	3,08	l/s

Descripción Desnivel (Δh)	Lectura 1,5	Unidad (cm)
Nº	Tiempo	s
1	2,71	s
2	2,92	s
3	2,75	s
4	2,63	s
5	2,80	s
6	2,71	s
7	2,93	s
8	2,59	s
9	2,82	s
Media	2,76	s
Q	4,35	l/s

Descripción Desnivel (Δh)	Lectura 1,5	Unidad (cm)
Nº	Tiempo	s
1	2,32	s
2	2,30	s
3	2,15	s
4	2,31	s
5	2,23	s
6	2,48	s
7	2,25	s
Media	2,29	s
Q	5,25	l/s

Tabal resumen	
Pendiente (m/m)	Caudal (l/s)
0,0024	1,76
0,0024	1,86
0,0024	2,02
0,0024	2,64
0,0024	3,51
0,0024	5,33
0,0048	1,82
0,0048	2,19
0,0048	2,73
0,0048	4,29
0,0048	4,88
0,0048	5,18
0,0071	1,86
0,0071	1,99
0,0071	2,29
0,0071	3,08

Profundidad de socavación para una pendiente de 0,0024 m/m

Descripción	Datos de campo		Datos utilizados en las ecuaciones	
Desnivel (Δh)	0,50	cm	0,0050	m
Profundad total H	48,30	mm	0,0483	m
socavación	5,00	mm	0,0050	m
Tirante de agua	4,33	cm	0,0433	m

Descripción	Datos de campo		Datos utilizados en las ecuaciones	
Desnivel (Δh)	0,50	cm	0,0050	m
Profundad total H	61,30	mm	0,0613	m
socavación	7,00	mm	0,0070	m
Tirante de agua	5,43	cm	0,0543	m

Descripción	Datos de campo		Datos utilizados en las ecuaciones	
Desnivel (Δh)	0,50	cm	0,0050	m
Profundad total H	66,20	mm	0,0662	m
socavación	10,60	mm	0,0106	m
Tirante de agua	5,56	cm	0,0556	m

Descripción	Datos de campo		Datos utilizados en las ecuaciones	
Desnivel (Δh)	0,50	cm	0,0050	m
Profundad total H	79,50	mm	0,0795	m
socavación	17,00	mm	0,0170	m
Tirante de agua	6,25	cm	0,0625	m

Descripción	Datos de campo		Datos utilizados en las ecuaciones	
Desnivel (Δh)	0,50	cm	0,0050	m
Profundad total H	99,30	mm	0,0993	m
socavación	25,90	mm	0,0259	m
Tirante de agua	7,34	cm	0,0734	m

Descripción	Datos de campo		Datos utilizados en las ecuaciones	
Desnivel (Δh)	0,50	cm	0,0050	m
Profundad total H	120,60	mm	0,1206	m
socavación	32,30	mm	0,0323	m
Tirante de agua	8,83	cm	0,0883	m

Profundidad de socavación para una pendiente de 0,0048 m/m

Descripción	Datos de campo		Datos utilizados en las ecuaciones	
Desnivel (Δh)	1,00	cm	0,0100	m
Profundidad total H	53,40	mm	0,0534	m
socavación	7,60	mm	0,0076	m
Tirante de agua	4,58	cm	0,0458	m

Descripción	Datos de campo		Datos utilizados en las ecuaciones	
Desnivel (Δh)	1,00	cm	0,0100	m
Profundidad total H	61,40	mm	0,0614	m
socavación	14,00	mm	0,0140	m
Tirante de agua	4,74	cm	0,0474	m

Descripción	Datos de campo		Datos utilizados en las ecuaciones	
Desnivel (Δh)	1,00	cm	0,0100	m
Profundidad total H	70,20	mm	0,0702	m
socavación	21,40	mm	0,0214	m
Tirante de agua	4,88	cm	0,0488	m

Descripción	Datos de campo		Datos utilizados en las ecuaciones	
Desnivel (Δh)	1,00	cm	0,0100	m
Profundidad total H	94,50	mm	0,0945	m
socavación	30,70	mm	0,0307	m
Tirante de agua	6,38	cm	0,0638	m

Descripción	Datos de campo		Datos utilizados en las ecuaciones	
Desnivel (Δh)	1,00	cm	0,0100	m
Profundidad total H	101,50	mm	0,1015	m
socavación	32,50	mm	0,0325	m
Tirante de agua	6,90	cm	0,0690	m

Descripción	Datos de campo		Datos utilizados en las ecuaciones	
Desnivel (Δh)	1,00	cm	0,0100	m
Profundidad total H	108,60	mm	0,1086	m
socavación	36,48	mm	0,0365	m
Tirante de agua	7,21	cm	0,0721	m

Profundidad de socavación para una pendiente de 0,0071 m/m

Descripción	Datos de campo		Datos utilizados en las ecuaciones	
Desnivel (Δh)	1,50	cm	0,0150	m
Profundidad total H	54,10	mm	0,0541	m
socavación	9,52	mm	0,0095	m
Tirante de agua	4,46	cm	0,0446	m

Descripción	Datos de campo		Datos utilizados en las ecuaciones	
Desnivel (Δh)	1,50	cm	0,0150	m
Profundidad total H	56,40	mm	0,0564	m
socavación	11,60	mm	0,0116	m
Tirante de agua	4,48	cm	0,0448	m

Descripción	Datos de campo		Datos utilizados en las ecuaciones	
Desnivel (Δh)	1,50	cm	0,0150	m
Profundidad total H	63,60	mm	0,0636	m
socavación	17,30	mm	0,0173	m
Tirante de agua	4,63	cm	0,0463	m

Descripción	Datos de campo		Datos utilizados en las ecuaciones	
Desnivel (Δh)	1,50	cm	0,0150	m
Profundidad total H	82,70	mm	0,0827	m
socavación	27,40	mm	0,0274	m
Tirante de agua	5,53	cm	0,0553	m

Descripción	Datos de campo		Datos utilizados en las ecuaciones	
Desnivel (Δh)	1,50	cm	0,0150	m
Profundidad total H	107,80	mm	0,1078	m
socavación	34,20	mm	0,0342	m
Tirante de agua	7,36	cm	0,0736	m

Descripción	Datos de campo		Datos utilizados en las ecuaciones	
Desnivel (Δh)	1,50	cm	0,0150	m
Profundidad total H	117,10	mm	0,1171	m
socavación	38,60	mm	0,0386	m
Tirante de agua	7,85	cm	0,0785	m

Tabla resumen		
Pendiente (m/m)	Tirante de agua (m)	Profundidad de socavación (m)
0,0024	0,043	0,005
0,0024	0,054	0,007
0,0024	0,056	0,011
0,0024	0,063	0,017
0,0024	0,073	0,026
0,0024	0,088	0,032
0,0048	0,046	0,008
0,0048	0,047	0,014
0,0048	0,049	0,021
0,0048	0,064	0,031
0,0048	0,069	0,033
0,0048	0,072	0,036
0,0071	0,045	0,010
0,0071	0,045	0,012
0,0071	0,046	0,017
0,0071	0,055	0,027
0,0071	0,074	0,034
0,0071	0,079	0,039

PILA DE PUENTES RECTANGULAR

Dimensiones del tanque de aforo		
Base	0,595	m
Largo	1,01	m
Alto	0,02	m
volumen	0,0120	m ³
Espesor de la cama	6	cm
Ancho del canal B1	0,206	m

Aforos para una pendiente de 0,0024 m/m

Descripción Desnivel (Δh)	Lectura 0,5	Unidad (cm)
N°	Tiempo	s
1	14,2	s
2	14,4	s
3	14,4	s
4	14,78	s
5	14,7	s
6	14,6	s
7	14,68	s
8	14,06	s
9	14,74	s
10	14,44	s
Media	14,5	s
Q	0,829	l/s

Descripción Desnivel (Δh)	Lectura 0,5	Unidad (cm)
N°	Tiempo	s
1	7,43	s
2	7,7	s
3	7,54	s
4	7,42	s
5	7,56	s
6	7,74	s
7	7,42	s
8	7,01	s
9	7,85	s
10	7,76	s
Media	7,543	s
Q	1,593	l/s

Descripción Desnivel (Δh)	Lectura 0,5	Unidad (cm)
N°	Tiempo	s
1	6,96	s
2	6,82	s
3	6,66	s
4	7,3	s
5	6,34	s
6	6,82	s
7	6,57	s
8	6,24	s
9	6,83	s
10	6,72	s
Media	6,73	s
Q	1,787	l/s

Descripción Desnivel (Δh)	Lectura 0,5	Unidad (cm)
N°	Tiempo	s
1	6,6	s
2	6,47	s
3	6,81	s
4	6,65	s
5	6,24	s
6	6,33	s
7	6,68	s
8	6,4	s
9	6,42	s
10	6,03	s
Media	6,52	s
Q	1,843	l/s

Descripción Desnivel (Δh)	Lectura 0,5	Unidad (cm)
Nº	Tiempo	s
1	6,44	s
2	6,36	s
3	6,48	s
4	6,63	s
5	5,95	s
6	6,37	s
7	6,45	s
8	6,28	s
9	6,59	s
10	6,11	s
Media	6,37	s
Q	1,89	l/s

Descripción Desnivel (Δh)	Lectura 0,5	Unidad (cm)
Nº	Tiempo	s
1	5,5	s
2	5,33	s
3	5,34	s
4	5,1	s
5	6,19	s
6	5,37	s
7	5,31	s
8	5,51	s
9	5,41	s
Media	5,45	s
Q	2,20	l/s

Descripción Desnivel (Δh)	Lectura 0,5	Unidad (cm)
Nº	Tiempo	s
1	3	s
2	3,96	s
3	3,77	s
4	4,1	s
5	3,89	s
6	4,12	s
7	3,96	s
8	3,89	s
9	4,04	s
10	4,14	s
Media	3,89	s
Q	3,09	l/s

Descripción Desnivel (Δh)	Lectura 0,5	Unidad (cm)
Nº	Tiempo	s
1	2,71	s
2	3,26	s
3	3,06	s
4	3,22	s
5	3,02	s
6	3,10	s
7	3,18	s
8	3,00	s
9	3,10	s
10	3,22	s
Media	3,09	s
Q	3,89	l/s

Descripción Desnivel (Δh)	Lectura 0,5	Unidad (cm)
Nº	Tiempo	s
1	2,01	s
2	2,56	s
3	2,34	s
4	2,34	s
5	2,15	s
6	2,08	s
7	2,40	s
8	2,10	s
9	2,16	s
10	2,30	s
Media	2,24	s
Q	5,36	l/s

Aforos para una pendiente de 0,0048 m/m

Descripción Desnivel (Δh)	Lectura 1	Unidad (cm)
Nº	Tiempo	s
1	13,01	s
2	12,8	s
3	12,78	s
4	13,39	s
5	11,94	s
6	13,18	s
7	13,1	s
8	13,11	s
Media	12,91	s
Q	0,93	l/s

Descripción Desnivel (Δh)	Lectura 1	Unidad (cm)
Nº	Tiempo	s
1	7,43	s
2	7,09	s
3	7,76	s
4	7,58	s
5	7,37	s
6	7,11	s
7	7,36	s
8	7,17	s
9	7,73	s
10	7,35	s
Media	7,40	s
Q	1,63	l/s

Descripción Desnivel (Δh)	Lectura 1	Unidad (cm)
Nº	Tiempo	s
1	6,25	s
2	6,65	s
3	6,56	s
4	6,72	s
5	6,23	s
6	6,4	s
7	6,32	s
8	6,43	s
9	6,07	s
10	6,5	s
Media	6,41	s
Q	1,87	l/s

Descripción Desnivel (Δh)	Lectura 1	Unidad (cm)
Nº	Tiempo	s
1	5,73	s
2	5,43	s
3	5,53	s
4	5,77	s
5	5,75	s
6	5,74	s
7	5,72	s
8	5,37	s
Media	5,63	s
Q	2,13	l/s

Descripción Desnivel (Δh)	Lectura 1	Unidad (cm)
Nº	Tiempo	s
1	5,33	s
2	5,73	s
3	5,77	s
4	5,16	s
5	5,82	s
6	5,39	s
7	4,9	s
Media	5,44	s
Q	2,21	l/s

Descripción Desnivel (Δh)	Lectura 1	Unidad (cm)
Nº	Tiempo	s
1	3,98	s
2	3,53	s
3	3,45	s
4	3,7	s
5	3,2	s
6	3,48	s
7	3,85	s
8	3,72	s
9	3,76	s
Media	3,63	s
Q	3,31	l/s

Descripción Desnivel (Δh)	Lectura 1	Unidad (cm)
Nº	Tiempo	s
1	2,9	s
2	2,83	s
3	3,32	s
4	2,8	s
5	2,68	s
6	3,43	s
7	2,94	s
8	3,19	s
9	2,80	s
10	2,79	s
Media	2,97	s
Q	4,05	l/s

Descripción Desnivel (Δh)	Lectura 1	Unidad (cm)
Nº	Tiempo	s
1	2,89	s
2	2,47	s
3	2,4	s
4	2,35	s
5	2,35	s
6	2,5	s
Media	2,49	s
Q	4,82	l/s

Aforos para una pendiente de 0,0071 m/m

Descripción Desnivel (Δh)	Lectura 1,5	Unidad (cm)
Nº	Tiempo	s
1	15,66	s
2	16,6	s
3	15,91	s
4	17,23	s
5	15,78	s
6	16,61	s
7	16,18	s
8	16,99	s
9	16,37	s
10	16,94	s
Media	16,43	s
Q	0,73	l/s

Descripción Desnivel (Δh)	Lectura 1,5	Unidad (cm)
Nº	Tiempo	s
1	8,38	s
2	8,45	s
3	8,38	s
4	8,56	s
5	8,27	s
6	8,91	s
7	8,58	s
8	8,46	s
9	8,55	s
Media	8,50	s
Q	1,41	l/s

Descripción Desnivel (Δh)	Lectura 1,5	Unidad (cm)
Nº	Tiempo	s
1	7,13	s
2	8,19	s
3	6,95	s
4	8,34	s
5	7,48	s
6	7,43	s
7	6,67	s
8	7,86	s
9	7,53	s
10	7,34	s
Media	7,492	s
Q	1,604	l/s

Descripción Desnivel (Δh)	Lectura 1,5	Unidad (cm)
Nº	Tiempo	s
1	6,96	s
2	7,55	s
3	6,77	s
4	7,73	s
5	6,64	s
6	7,28	s
7	6,68	s
8	7,3	s
9	7,05	s
10	7,55	s
Media	7,151	s
Q	1,681	l/s

Descripción Desnivel (Δh)	Lectura 1,5	Unidad (cm)
Nº	Tiempo	s
1	5,41	s
2	5,9	s
3	5,73	s
4	5,92	s
5	5,58	s
6	5,63	s
7	5,76	s
8	5,71	s
9	5,38	s
10	5,83	s
Media	5,69	s
Q	2,11	l/s

Descripción Desnivel (Δh)	Lectura 1,5	Unidad (cm)
Nº	Tiempo	s
1	3,76	s
2	3,69	s
3	3,28	s
4	3,93	s
5	3,5	s
6	3,85	s
7	3,42	s
8	3,71	s
9	3,57	s
10	3,7	s
Media	3,64	s
Q	3,30	l/s

Descripción Desnivel (Δh)	Lectura 1,5	Unidad (cm)
Nº	Tiempo	s
1	2,87	s
2	2,97	s
3	2,84	s
4	2,72	s
5	3,09	s
6	2,99	s
7	2,87	s
8	2,84	s
9	2,93	s
10	2,77	s
Media	2,889	s
Q	4,160	l/s

Descripción Desnivel (Δh)	Lectura 1,5	Unidad (cm)
Nº	Tiempo	s
1	1,93	s
2	2,54	s
3	2,27	s
4	2,77	s
5	2,49	s
6	2,36	s
7	2,2	s
8	2,58	s
Media	2,3925	s
Q	5,024	l/s

Tabla resumen	
Pendiente m/m	Caudal l/s
0,0024	0,83
0,0024	1,59
0,0024	1,79
0,0024	1,84
0,0024	1,89
0,0024	2,20
0,0024	3,09
0,0024	3,89
0,0024	5,36
0,0048	0,93
0,0048	1,63
0,0048	1,87
0,0048	2,13
0,0048	2,21
0,0048	3,31
0,0048	4,05
0,0048	4,82
0,0071	0,73
0,0071	1,41
0,0071	1,60
0,0071	1,68
0,0071	2,11
0,0071	3,30
0,0071	4,16
0,0071	5,02

Profundidad de socavación para una pendiente de 0,0024 m/m

Descripción	Datos de campo		Datos utilizados en las ecuaciones	
Desnivel (Δh)	0,5	cm	0,005	m
Profundidad total H	48,5	mm	0,049	m
socavación	10,5	mm	0,011	m
Tirante de agua	3,80	cm	0,038	m

Descripción	Datos de campo		Datos utilizados en las ecuaciones	
Desnivel (Δh)	0,5	cm	0,005	m
Profundidad total H	59,4	mm	0,059	m
socavación	12,4	mm	0,012	m
Tirante de agua	4,70	cm	0,047	m

Descripción	Datos de campo		Datos utilizados en las ecuaciones	
Desnivel (Δh)	0,5	cm	0,005	m
Profundidad total H	62	mm	0,062	m
socavación	12,5	mm	0,013	m
Tirante de agua	4,95	cm	0,050	m

Descripción	Datos de campo		Datos utilizados en las ecuaciones	
Desnivel (Δh)	0,5	cm	0,005	m
Profundidad total H	63,3	mm	0,063	m
socavación	13,3	mm	0,013	m
Tirante de agua	5,00	cm	0,050	m

Descripción	Datos de campo		Datos utilizados en las ecuaciones	
Desnivel (Δh)	0,5	cm	0,005	m
Profundidad total H	65,9	mm	0,066	m
socavación	14,9	mm	0,015	m
Tirante de agua	5,10	cm	0,051	m

Descripción	Datos de campo		Datos utilizados en las ecuaciones	
Desnivel (Δh)	0,5	cm	0,005	m
Profundidad total H	76,1	mm	0,076	m
socavación	22,1	mm	0,022	m
Tirante de agua	5,40	cm	0,054	m

Descripción	Datos de campo		Datos utilizados en las ecuaciones	
Desnivel (Δh)	0,5	cm	0,005	m
Profundidad total H	94,4	mm	0,094	m
socavación	35,4	mm	0,035	m
Tirante de agua	5,90	cm	0,059	m

Descripción	Datos de campo		Datos utilizados en las ecuaciones	
Desnivel (Δh)	0,5	cm	0,00500	m
Profundidad total H	112,9	mm	0,113	m
socavación	43,9	mm	0,044	m
Tirante de agua	6,90	cm	0,069	m

Descripción	Datos de campo		Datos utilizados en las ecuaciones	
Desnivel (Δh)	0,5	cm	0,005	m
Profundidad total H	125,9	mm	0,126	m
socavación	50,9	mm	0,051	m
Tirante de agua	7,50	cm	0,075	m

Profundidad de socavación para una pendiente de 0,0048 m/m

Descripción	Datos de campo		Datos utilizados en las ecuaciones	
Desnivel (Δh)	1	cm	0,010	m
Profundidad total H	52,1	mm	0,052	m
socavación	11,6	mm	0,012	m
Tirante de agua	4,05	cm	0,041	m

Descripción	Datos de campo		Datos utilizados en las ecuaciones	
Desnivel (Δh)	1	cm	0,010	m
Profundidad total H	66,8	mm	0,067	m
socavación	17,3	mm	0,017	m
Tirante de agua	4,95	cm	0,050	m

Descripción	Datos de campo		Datos utilizados en las ecuaciones	
Desnivel (Δh)	1	cm	0,010	m
Profundidad total H	74,1	mm	0,074	m
socavación	22,1	mm	0,022	m
Tirante de agua	5,20	cm	0,052	m

Descripción	Datos de campo		Datos utilizados en las ecuaciones	
Desnivel (Δh)	1	cm	0,010	m
Profundidad total H	77,6	mm	0,078	m
socavación	23,6	mm	0,024	m
Tirante de agua	5,40	cm	0,054	m

Descripción	Datos de campo		Datos utilizados en las ecuaciones	
Desnivel (Δh)	1	cm	0,010	m
Profundidad total H	82,5	mm	0,083	m
socavación	27	mm	0,027	m
Tirante de agua	5,55	cm	0,056	m

Descripción	Datos de campo		Datos utilizados en las ecuaciones	
Desnivel (Δh)	1	cm	0,010	m
Profundidad total H	102,6	mm	0,103	m
socavación	39,1	mm	0,039	m
Tirante de agua	6,35	cm	0,064	m

Descripción	Datos de campo		Datos utilizados en las ecuaciones	
Desnivel (Δh)	1	cm	0,010	m
Profundidad total H	113,2	mm	0,113	m
socavación	45,7	mm	0,046	m
Tirante de agua	6,75	cm	0,068	m

Descripción	Datos de campo		Datos utilizados en las ecuaciones	
Desnivel (Δh)	1	cm	0,010	m
Profundidad total H	120,6	mm	0,121	m
socavación	49,6	mm	0,050	m
Tirante de agua	7,10	cm	0,071	m

Profundidad de socavación para una pendiente de 0,0071 m/m

Descripción	Datos de campo		Datos utilizados en las ecuaciones	
Desnivel (Δh)	1,5	cm	0,015	m
Profundidad total H	40,5	mm	0,041	m
socavación	11	mm	0,011	m
Tirante de agua	2,95	cm	0,030	m

Descripción	Datos de campo		Datos utilizados en las ecuaciones	
Desnivel (Δh)	1,5	cm	0,015	m
Profundidad total H	54,1	mm	0,054	m
socavación	16,1	mm	0,016	m
Tirante de agua	3,80	cm	0,038	m

Descripción	Datos de campo		Datos utilizados en las ecuaciones	
Desnivel (Δh)	1,5	cm	0,015	m
Profundidad total H	60,6	mm	0,061	m
socavación	19,1	mm	0,019	m
Tirante de agua	4,15	cm	0,042	m

Descripción	Datos de campo		Datos utilizados en las ecuaciones	
Desnivel (Δh)	1,5	cm	0,015	m
Profundidad total H	63,5	mm	0,064	m
socavación	20,5	mm	0,021	m
Tirante de agua	4,30	cm	0,043	m

Descripción	Datos de campo		Datos utilizados en las ecuaciones	
Desnivel (Δh)	1,5	cm	0,015	m
Profundad total H	73,4	mm	0,073	m
socavación	31,4	mm	0,031	m
Tirante de agua	4,20	cm	0,042	m

Descripción	Datos de campo		Datos utilizados en las ecuaciones	
Desnivel (Δh)	1,5	cm	0,015	m
Profundad total H	95,3	mm	0,095	m
socavación	43,8	mm	0,044	m
Tirante de agua	5,15	cm	0,052	m

Descripción	Datos de campo		Datos utilizados en las ecuaciones	
Desnivel (Δh)	1,5	cm	0,015	m
Profundad total H	105,3	mm	0,105	m
socavación	52,8	mm	0,053	m
Tirante de agua	5,25	cm	0,053	m

Descripción	Datos de campo		Datos utilizados en las ecuaciones	
Desnivel (Δh)	1,5	cm	0,015	m
Profundad total H	119,7	mm	0,120	m
socavación	54,2	mm	0,054	m
Tirante de agua	6,55	cm	0,066	m

Tabla resumen		
Pendiente (m/m)	Tirante de agua (m)	Profundidad de socavación (m)
0,0024	0,038	0,011
0,0024	0,047	0,012
0,0024	0,050	0,013
0,0024	0,050	0,013
0,0024	0,051	0,015
0,0024	0,054	0,022
0,0024	0,059	0,035
0,0024	0,069	0,044
0,0024	0,075	0,051
0,0048	0,041	0,012
0,0048	0,050	0,017
0,0048	0,052	0,022
0,0048	0,054	0,024
0,0048	0,056	0,027
0,0048	0,064	0,039
0,0048	0,068	0,046
0,0048	0,071	0,050
0,0071	0,030	0,011
0,0071	0,038	0,016
0,0071	0,042	0,019
0,0071	0,043	0,021
0,0071	0,043	0,031
0,0071	0,052	0,044
0,0071	0,053	0,053
0,0071	0,066	0,054

PILA DE PUENTES DE NARIZ TRIANGULAR

Dimensiones del tanque de aforo		
Base	0,595	m
Largo	1,01	m
Alto	0,02	m
Volumen	0,0120	m ³
Espesor de la cama	6	cm
Ancho del canal B1	0,206	m

Aforos para una pendiente de 0,0024 m/m

Descripción Desnivel (Δh)	Lectura 0,5	Unidad (cm)
N°	Tiempo	s
1	9,50	s
2	9,60	s
3	9,79	s
4	9,35	s
5	8,56	s
6	9,41	s
7	8,98	s
8	9,45	s
9	9,83	s
10	8,69	s
Media	9,32	s
Q	1,29	l/s

Descripción Desnivel (Δh)	Lectura 0,5	Unidad (cm)
N°	Tiempo	s
1	6,95	s
2	7,31	s
3	6,97	s
4	6,84	s
5	6,52	s
6	6,92	s
7	6,31	s
8	7,03	s
9	6,77	s
10	6,54	s
Media	6,82	s
Q	1,76	l/s

Descripción Desnivel (Δh)	Lectura 0,5	Unidad (cm)
N°	Tiempo	s
1	6,32	s
2	6,32	s
3	6,41	s
4	6,50	s
5	6,10	s
6	5,97	s
7	6,83	s
8	6,46	s
9	6,42	s
10	6,24	s
Media	6,36	s
Q	1,89	l/s

Descripción Desnivel (Δh)	Lectura 0,5	Unidad (cm)
N°	Tiempo	s
1	6,42	s
2	6,26	s
3	6,62	s
4	5,93	s
5	5,71	s
6	6,57	s
7	6,13	s
8	6,33	s
9	6,40	s
10	6,63	s
Media	6,30	s
Q	1,91	l/s

Descripción Desnivel (Δh)	Lectura 0,5	Unidad (cm)
Nº	Tiempo	s
1	4,97	s
2	4,69	s
3	6,53	s
4	4,17	s
5	5,03	s
6	5,12	s
7	4,81	s
8	5,42	s
9	5,00	s
10	5,07	s
Media	5,08	s
Q	2,37	l/s

Descripción Desnivel (Δh)	Lectura 0,5	Unidad (cm)
Nº	Tiempo	s
1	4,17	s
2	4,10	s
3	3,66	s
4	3,98	s
5	3,50	s
6	4,17	s
7	4,06	s
8	3,64	s
9	4,00	s
10	3,83	s
Media	3,91	s
Q	3,07	l/s

Descripción Desnivel (Δh)	Lectura 0,5	Unidad (cm)
Nº	Tiempo	s
1	3,10	s
2	3,16	s
3	3,07	s
4	3,04	s
5	2,93	s
6	3,88	s
7	3,32	s
8	2,91	s
9	3,10	s
10	3,12	s
Media	3,16	s
Q	3,80	l/s

Descripción Desnivel (Δh)	Lectura 0,5	Unidad (cm)
Nº	Tiempo	s
1	2,40	s
2	2,17	s
3	2,76	s
4	2,77	s
5	2,08	s
6	2,28	s
7	2,26	s
8	2,30	s
9	2,80	s
10	2,21	s
Media	2,40	s
Q	5,00	l/s

Aforos para una pendiente de 0,0048 m/m

Descripción Desnivel (Δh)	Lectura 1,0	Unidad (cm)
Nº	Tiempo	s
1	8,72	s
2	6,63	s
3	8,08	s
4	8,03	s
5	8,11	s
6	8,79	s
7	8,11	s
8	8,64	s
9	8,48	s
10	8,48	s
Media	8,21	s
Q	1,46	l/s

Descripción Desnivel (Δh)	Lectura 1,0	Unidad (cm)
Nº	Tiempo	s
1	7,45	s
2	7,22	s
3	7,59	s
4	7,13	s
5	7,45	s
6	6,80	s
7	7,00	s
8	7,05	s
9	7,05	s
10	7,12	s
Media	7,19	s
Q	1,67	l/s

Descripción Desnivel (Δh)	Lectura 1,0	Unidad (cm)
Nº	Tiempo	s
1	5,53	s
2	6,13	s
3	6,10	s
4	6,83	s
5	6,00	s
6	5,94	s
7	5,90	s
8	5,89	s
9	5,80	s
10	6,50	s
Media	6,06	s
Q	1,98	l/s

Descripción Desnivel (Δh)	Lectura 1,0	Unidad (cm)
Nº	Tiempo	s
1	4,89	s
2	5,44	s
3	5,53	s
4	4,70	s
5	5,61	s
6	6,12	s
7	5,76	s
8	5,32	s
9	6,03	s
10	5,93	s
Media	5,53	s
Q	2,17	l/s

Descripción Desnivel (Δh)	Lectura 1,0	Unidad (cm)
Nº	Tiempo	s
1	4,15	s
2	4,00	s
3	4,50	s
4	4,80	s
5	4,50	s
6	4,50	s
7	4,20	s
8	4,35	s
9	4,20	s
10	4,80	s
Media	4,40	s
Q	2,73	l/s

Descripción Desnivel (Δh)	Lectura 1,0	Unidad (cm)
Nº	Tiempo	s
1	3,85	s
2	3,50	s
3	4,01	s
4	3,95	s
5	3,52	s
6	3,68	s
7	4,00	s
8	3,87	s
9	3,49	s
10	3,56	s
Media	3,74	s
Q	3,21	l/s

Descripción Desnivel (Δh)	Lectura 1,0	Unidad (cm)
Nº	Tiempo	s
1	3,22	s
2	2,89	s
3	3,84	s
4	2,80	s
5	3,10	s
6	3,13	s
7	2,88	s
8	2,87	s
9	3,20	s
10	2,91	s
Media	3,08	s
Q	3,90	l/s

Descripción Desnivel (Δh)	Lectura 1,0	Unidad (cm)
Nº	Tiempo	s
1	2,29	s
2	2,50	s
3	2,24	s
4	2,57	s
5	2,20	s
6	2,62	s
7	2,32	s
8	2,28	s
9	2,55	s
10	2,34	s
Media	2,39	s
Q	5,03	l/s

Aforos para una pendiente de 0,0071 m/m

Descripción Desnivel (Δh)	Lectura 1,5	Unidad (cm)
Nº	Tiempo	s
1	7,1	s
2	7,0	s
3	6,8	s
4	7,0	s
5	6,6	s
6	6,8	s
7	7,2	s
8	7,0	s
9	6,7	s
10		s
Media	6,9	s
Q	1,7	l/s

Descripción Desnivel (Δh)	Lectura 1,5	Unidad (cm)
Nº	Tiempo	s
1	6,35	s
2	6,47	s
3	6,55	s
4	6,83	s
5	5,79	s
6	6,44	s
7	6,18	s
8	6,87	s
9	6,42	s
10	6,11	s
Media	6,40	s
Q	1,88	l/s

Descripción Desnivel (Δh)	Lectura 1,5	Unidad (cm)
Nº	Tiempo	s
1	6,34	s
2	6,18	s
3	6,27	s
4	6,44	s
5	6,37	s
6	6,37	s
7	6,08	s
8	6,63	s
9	6,20	s
10	6,32	s
Media	6,32	s
Q	1,90	l/s

Descripción Desnivel (Δh)	Lectura 1,5	Unidad (cm)
Nº	Tiempo	s
1	6,32	s
2	5,89	s
3	5,98	s
4	6,05	s
5	6,95	s
6	6,30	s
7	5,98	s
8	6,38	s
9	5,98	s
10	6,52	s
Media	6,24	s
Q	1,93	l/s

Descripción Desnivel (Δh)	Lectura 1,5	Unidad (cm)
Nº	Tiempo	s
1	5,28	s
2	5,48	s
3	5,13	s
4	5,02	s
5	5,32	s
6	5,23	s
7	5,44	s
8	5,63	s
9	5,50	s
10	5,15	s
Media	5,32	s
Q	2,26	l/s

Descripción Desnivel (Δh)	Lectura 1,5	Unidad (cm)
Nº	Tiempo	s
1	3,37	s
2	3,93	s
3	4,33	s
4	3,54	s
5	3,77	s
6	4,03	s
7	3,74	s
8	3,88	s
9	3,91	s
10	3,09	s
Media	3,76	s
Q	3,20	l/s

Descripción Desnivel (Δh)	Lectura 1,5	Unidad (cm)
Nº	Tiempo	s
1	2,6	s
2	2,9	s
3	3,3	s
4	2,9	s
5	2,6	s
6	3,1	s
7	2,9	s
8	3,1	s
9	2,9	s
10		s
Media	2,9	s
Q	4,1	l/s

Descripción Desnivel (Δh)	Lectura 1,5	Unidad (cm)
Nº	Tiempo	s
1	2,20	s
2	2,05	s
3	2,48	s
4	2,41	s
5	2,37	s
6	2,02	s
7	2,19	s
8	2,37	s
9	2,26	s
10	2,34	s
Media	2,27	s
Q	5,30	l/s

Tabla resumen	
Pendiente m/m	Caudal l/s
0,0024	1,29
0,0024	1,76
0,0024	1,89
0,0024	1,91
0,0024	2,37
0,0024	3,07
0,0024	3,80
0,0024	5,00
0,0048	1,46
0,0048	1,67
0,0048	1,98
0,0048	2,17
0,0048	2,73
0,0048	3,21
0,0048	3,90
0,0048	5,03
0,0071	1,74
0,0071	1,88
0,0071	1,90
0,0071	1,93
0,0071	2,26
0,0071	3,20
0,0071	4,12
0,0071	5,30

Profundidad de socavación para una pendiente de 0,0024 m/m

Descripción	Datos de campo		Datos utilizados en las ecuaciones	
Desnivel (Δh)	0,5	cm	0,005	m
Profundad total H	52,1	mm	0,052	m
socavación	7,1	mm	0,007	m
Tirante de agua	4,50	cm	0,045	m

Descripción	Datos de campo		Datos utilizados en las ecuaciones	
Desnivel (Δh)	0,5	cm	0,005	m
Profundad total H	60,5	mm	0,061	m
socavación	10,5	mm	0,011	m
Tirante de agua	5,00	cm	0,050	m

Descripción	Datos de campo		Datos utilizados en las ecuaciones	
Desnivel (Δh)	0,5	cm	0,005	m
Profundad total H	64,5	mm	0,065	m
socavación	12	mm	0,012	m
Tirante de agua	5,25	cm	0,053	m

Descripción	Datos de campo		Datos utilizados en las ecuaciones	
Desnivel (Δh)	0,5	cm	0,005	m
Profundad total H	67,5	mm	0,068	m
socavación	14,5	mm	0,015	m
Tirante de agua	5,30	cm	0,053	m

Descripción	Datos de campo		Datos utilizados en las ecuaciones	
Desnivel (Δh)	0,5	cm	0,005	m
Profundad total H	74,1	mm	0,074	m
socavación	17,1	mm	0,017	m
Tirante de agua	5,70	cm	0,057	m

Descripción	Datos de campo		Datos utilizados en las ecuaciones	
Desnivel (Δh)	0,5	cm	0,005	m
Profundad total H	80,9	mm	0,081	m
socavación	19,4	mm	0,019	m
Tirante de agua	6,15	cm	0,062	m

Descripción	Datos de campo		Datos utilizados en las ecuaciones	
Desnivel (Δh)	0,5	cm	0,005	m
Profundad total H	97,4	mm	0,097	m
socavación	28,4	mm	0,028	m
Tirante de agua	6,90	cm	0,069	m

Descripción	Datos de campo		Datos utilizados en las ecuaciones	
Desnivel (Δh)	0,5	cm	0,00500	m
Profundad total H	108,6	mm	0,109	m
socavación	34,6	mm	0,035	m
Tirante de agua	7,40	cm	0,074	m

Profundidad de socavación para una pendiente de 0,0048 m/m

Descripción	Datos de campo		Datos utilizados en las ecuaciones	
Desnivel (Δh)	1	cm	0,010	m
Profundad total H	61,5	mm	0,062	m
socavación	14,5	mm	0,015	m
Tirante de agua	4,70	cm	0,047	m

Descripción	Datos de campo		Datos utilizados en las ecuaciones	
Desnivel (Δh)	1	cm	0,010	m
Profundad total H	66	mm	0,066	m
socavación	16	mm	0,016	m
Tirante de agua	5,00	cm	0,050	m

Descripción	Datos de campo		Datos utilizados en las ecuaciones	
Desnivel (Δh)	1	cm	0,010	m
Profundad total H	69,2	mm	0,069	m
socavación	17,7	mm	0,018	m
Tirante de agua	5,15	cm	0,052	m

Descripción	Datos de campo		Datos utilizados en las ecuaciones	
Desnivel (Δh)	1	cm	0,010	m
Profundad total H	71,1	mm	0,071	m
socavación	19,1	mm	0,019	m
Tirante de agua	5,20	cm	0,052	m

Descripción	Datos de campo		Datos utilizados en las ecuaciones	
Desnivel (Δh)	1	cm	0,010	m
Profundad total H	75,1	mm	0,075	m
socavación	21,6	mm	0,022	m
Tirante de agua	5,35	cm	0,054	m

Descripción	Datos de campo		Datos utilizados en las ecuaciones	
Desnivel (Δh)	1	cm	0,010	m
Profundidad total H	81,4	mm	0,081	m
socavación	22,4	mm	0,022	m
Tirante de agua	5,90	cm	0,059	m

Descripción	Datos de campo		Datos utilizados en las ecuaciones	
Desnivel (Δh)	1	cm	0,010	m
Profundidad total H	95,6	mm	0,096	m
socavación	32,1	mm	0,032	m
Tirante de agua	6,35	cm	0,064	m

Descripción	Datos de campo		Datos utilizados en las ecuaciones	
Desnivel (Δh)	1	cm	0,010	m
Profundidad total H	110,2	mm	0,110	m
socavación	37,2	mm	0,037	m
Tirante de agua	7,30	cm	0,073	m

Profundidad de socavación para una pendiente de 0,0071 m/m

Descripción	Datos de campo		Datos utilizados en las ecuaciones	
Desnivel (Δh)	1,5	cm	0,015	m
Profundidad total H	54,5	mm	0,055	m
socavación	15,5	mm	0,016	m
Tirante de agua	3,90	cm	0,039	m

Descripción	Datos de campo		Datos utilizados en las ecuaciones	
Desnivel (Δh)	1,5	cm	0,015	m
Profundidad total H	57,2	mm	0,057	m
socavación	17,2	mm	0,017	m
Tirante de agua	4,00	cm	0,040	m

Descripción	Datos de campo		Datos utilizados en las ecuaciones	
Desnivel (Δh)	1,5	cm	0,015	m
Profundidad total H	60	mm	0,060	m
socavación	18	mm	0,018	m
Tirante de agua	4,20	cm	0,042	m

Descripción	Datos de campo		Datos utilizados en las ecuaciones	
Desnivel (Δh)	1,5	cm	0,015	m
Profundidad total H	62,8	mm	0,063	m
socavación	19,3	mm	0,019	m
Tirante de agua	4,35	cm	0,044	m

Descripción	Datos de campo		Datos utilizados en las ecuaciones	
Desnivel (Δh)	1,5	cm	0,015	m
Profundad total H	65,8	mm	0,066	m
socavación	21,3	mm	0,021	m
Tirante de agua	4,45	cm	0,045	m

Descripción	Datos de campo		Datos utilizados en las ecuaciones	
Desnivel (Δh)	1,5	cm	0,015	m
Profundad total H	78,6	mm	0,079	m
socavación	28,6	mm	0,029	m
Tirante de agua	5,00	cm	0,050	m

Descripción	Datos de campo		Datos utilizados en las ecuaciones	
Desnivel (Δh)	1,5	cm	0,015	m
Profundad total H	96,8	mm	0,097	m
socavación	37,3	mm	0,037	m
Tirante de agua	5,95	cm	0,060	m

Descripción	Datos de campo		Datos utilizados en las ecuaciones	
Desnivel (Δh)	1,5	cm	0,015	m
Profundad total H	113,8	mm	0,114	m
socavación	42,3	mm	0,042	m
Tirante de agua	7,15	cm	0,072	m

Tabla resumen		
Pendiente (m/m)	Tirante de agua (m)	Profundidad de socavación (m)
0,0024	0,045	0,0071
0,0024	0,050	0,0105
0,0024	0,053	0,0120
0,0024	0,053	0,0145
0,0024	0,057	0,0171
0,0024	0,062	0,0194
0,0024	0,069	0,0284
0,0024	0,074	0,0346
0,0048	0,047	0,0145
0,0048	0,050	0,0160
0,0048	0,052	0,0177
0,0048	0,052	0,0191
0,0048	0,054	0,0216
0,0048	0,059	0,0224
0,0048	0,064	0,0321
0,0048	0,073	0,0372
0,0071	0,039	0,0155
0,0071	0,040	0,0172
0,0071	0,042	0,0180
0,0071	0,044	0,0193
0,0071	0,045	0,0213
0,0071	0,050	0,0286
0,0071	0,060	0,0373
0,0071	0,072	0,0423

ANEXO II
ESTIMACIÓN DE SOCAVACIÓN
LOCAL

Estimación de socavación para pila circular

Método de Arunachalam

Descripción	Nomenclatura	Medición	Unidad
Ancho de la pila	a	0,024	m
Base del canal	B	0,206	m
Caudal	Q	1,476	l/s

$$d_s = 1,334 * qu^{\frac{2}{3}} * \left[1,95 * \left(\frac{1,334 * qu^{\frac{2}{3}}}{a} \right)^{-\frac{1}{6}} - 1 \right]$$

$$qu = \frac{Q}{B} = \frac{1,476}{0,206}$$

$$qu = 7,17 \quad \text{l/s}$$

$$qu = 0,00717 \quad \text{m}^3/\text{s}$$

$$d_s = 1,334 * 0,00717^{\frac{2}{3}} * \left[1,95 * \left(\frac{1,334 * 0,00717^{\frac{2}{3}}}{0,026} \right)^{-\frac{1}{6}} - 1 \right]$$

$$d_s = 0,0361 \quad \text{m}$$

$$d_s = 3,61 \quad \text{cm}$$

Donde:

d_s = profundidad de socavación, desde el fondo del lecho del río, en m.

a = ancho de la pila, en m.

qu = caudal unitario, en $\frac{\text{m}^3}{\text{s} \cdot \text{m}}$

Método de Blench

Descripción	Nomenclatura	Medición	Unidad
Ancho de la pila	a	0,024	m
Base del canal	B	0,206	m
Caudal	Q	1,476	l/s
Diámetro mediano de la partícula	d_m	0,6	mm

$$d_s = 1,8 * \left(\frac{a}{Y_t} \right)^{1/4}$$

$$Y_t = 1,84 * \frac{qu^2}{F_b^{\frac{1}{3}}}$$

$$F_b = 1,9 * d_m^{\frac{1}{2}}$$

$$F_b = 1,9 * 0,62^{\frac{1}{2}} = 1,47 \text{ mm}$$

$$Y_r = 1,84 * \frac{(0,001476)^2}{(1,47)^{\frac{1}{3}}} = 0,000083$$

$$d_s = 1,8 * \left(\frac{0,024}{0,000083} \right)^{\frac{1}{4}} * 0,000083 = 0,00062 \text{ m}$$

$$d_s = 0,062 \text{ cm}$$

Donde:

d_s = profundidad de socavación, desde la superficie del agua, en m.

Y_r = profundidad del régimen de flujo, en m.

q_u = caudal unitario, en $\frac{m^3}{s \cdot m}$

a = ancho de la pila en metros, en m.

d_m = diámetro medio de las partículas del lecho, en m.

F_b = factor en función al diámetro del sedimento, en mm.

Método de Breusers, Nicotellet y Shen

Descripción	Nomenclatura	Medición	Unidad
Ancho de la pila	a	0,024	m
Base del canal	B	0,206	m
Caudal	Q	1,476	l/s
Velocidad crítica del sedimento	Vc	0,25	m/s
Tirante de agua	Y	0,043	m

$$d_s = a * f_1 * f_2 * f_3 * f_4$$

Calculo del factor de velocidad

$$f_1 \left(\frac{V}{V_c} \right) = 0 \quad \text{si} \quad \left(\frac{V}{V_c} \right) \leq 0,5$$

$$f_1 \left(\frac{V}{V_c} \right) = 2 * \left(\frac{V}{V_c} - 0,5 \right) \quad \text{si} \quad 0,5 < \frac{V}{V_c} \leq 1$$

$$f_1 \left(\frac{V}{V_c} \right) = 1 \quad \text{si} \quad \left(\frac{V}{V_c} \right) \geq 1$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0,00147}{0,206 * 0,043} = 0,165 \text{ m/s}$$

$$\left(\frac{V}{V_c} \right) = \frac{0,165}{0,25} = 0,662$$

$$f_1 = 2 * (0,662 - 0,5) = 0,324$$

$$0,5 < 0,662 \leq 1$$

$$f_2 = 2 * \tanh\left(\frac{h}{a}\right) = 2 * \tanh\left(\frac{0,043}{0,024}\right) = 1,89$$

$$f_3 = 1 \text{ circular}$$

$$f_4 = 1 \text{ para el ángulo de ataque de la pila igual a cero}$$

$$d_s = a * f_1 * f_2 * f_3$$

$$d_s = 0,024 * 0,324 * 1,89 * 1 * 1 = 0,015 \text{ m}$$

$$d_s = 1,5 \text{ cm}$$

Donde:

d_s = profundidad de socavación por debajo del lecho original, en m.

a = ancho de la pila, en m.

h = profundidad del flujo aguas arriba de la pila, en m.

V = velocidad media del flujo, en m/s.

V_c = velocidad crítica para inicio del movimiento del sedimento de fondo, en m/s.

f_1 = factor en función de velocidades.

f_2 = factor en función a la geometría de la pila h/a .

f_3 = factor en función al tipo de pila.

f_4 = factor en función al ángulo de ataque del agua en la pila.

Método de Coleman.

Descripción	Nomenclatura	Medición	Unidad
Ancho de la pila	a	0,024	m
Base del canal	B	0,206	m
Caudal	Q	1,476	l/s

$$d_s = 1,054 * V^{0,1} * a^{0,9}$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0,00147}{0,206 * 0,043} = 0,165 \text{ m/s}$$

$$d_s = 1,054 * 0,165^{0,10} * 0,024^{0,90} = 0,0307 \text{ m}$$

$$d_s = 3,7 \text{ cm}$$

Donde:

d_s = profundidad de socavación, desde el fondo del lecho del río, en m.

a = ancho de la pila, en m.

V = velocidad media del flujo aguas arriba, en m/s.

Método de la Universidad Estatal de Colorado

Descripción	Nomenclatura	Medición	Unidad
Ancho de la pila	a	0,024	m
Base del canal	B	0,206	m
Caudal	Q	1,476	l/s
Tirante de agua	h	0,043	m

$$d_s = 2 * h * K_f * K_\theta * K_c * K_a * \left(\frac{a}{h}\right)^{0,65} * NF^{0,43}$$

$K_f = 1$ de tabla 2.1 para forma de pila cilíndrica.

$K_\theta = 1$ de tabla 2.2 para ángulo de ataque del agua igual a cero.

$K_c = 1$ de tabla 2.3 para socavación de agua clara.

$K_a = 1$ de tabla 2.4 para diámetro de sedimento de 0,60mm

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0,00147}{0,206 * 0,043} = 0,165 \quad \text{m/s}$$

$$NF = \frac{V}{\sqrt{g * h}} = \frac{0,165}{\sqrt{9,81 * 0,0433}} = 0,254$$

$$d_s = 2 * 0,043 * 1 * 1 * 1 * 1 * \left(\frac{0,024}{0,043}\right)^{0,65} * 0,254^{0,43} = 0,014 \quad \text{m}$$

$$d_s = 1,4 \quad \text{cm}$$

Donde:

d_s = profundidad de socavación, en m.

h = profundidad del flujo directamente aguas arriba de la pila, en m.

a = ancho de la pila, en m.

l = largo de la pila, en m.

NF = número de Froude en la sección directamente aguas arriba de la pila, ver Ec. 2.12.

K_f = factor de corrección que tiene en cuenta la forma de la pila, ver tabla 2.1.

K_θ = factor de corrección que tiene en cuenta el ángulo de ataque del flujo, ver tabla 2.2.

K_c = factor de corrección por la forma del lecho, ver tabla 2.3.

K_a = factor de corrección por acorazamiento del sedimento del lecho, ver tabla 2.4.

Método de Froehlich

Descripción	Nomenclatura	Medición	Unidad
Ancho de la pila	a	0,024	m
Base del canal	B	0,206	m
Caudal	Q	1,476	l/s
Tirante de agua	h	0,043	m
Diámetro mediano de la partícula	D_{50}	0,6	mm

$$d_s = 0,32 * K_f * a^{0,62} * h^{0,47} * NF^{0,22} * D_{50}^{-0,09} + a$$

$$K_f = 1 \quad \text{para pilas de puentes circulares}$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0,00147}{0,206 * 0,043} = 0,165 \quad \text{m/s}$$

$$NF = \frac{V}{\sqrt{g * h}} = \frac{0,165}{\sqrt{9,81 * 0,0433}} = 0,254$$

$$d_s = 0,32 * 1 * 0,024^{0,62} * 0,043^{0,47} * 0,254^{0,22} * 0,0006^{-0,09} + 0,024 = 0,034 \text{ m}$$

$$d_s = 3,4 \text{ cm}$$

Donde:

d_s = profundidad de socavación, en m.

K_f = factor de corrección por la forma de la pila.

a = ancho de la pila, adicionado como un factor de seguridad, en m.

h = profundidad del flujo directamente aguas arriba de la pila, en m.

NF = número de Froude en la sección directamente aguas arriba de la pila, ver Ec. 2.12.

D_{50} = diámetro de la partícula de lecho, en m.

g = aceleración de la gravedad, en m/s^2 .

Método de Laursen y Toch (1956).

Descripción	Nomenclatura	Medición	Unidad
Ancho de la pila	a	0,024	m
tirante de agua	h	0,043	m

$$d_s = Kf * K_\alpha * K_g * a$$

$$Kf = 0,9 \text{ para pila de puentes circulares.}$$

$$K_\alpha = 1 \text{ para pila de puentes circulares.}$$

$$\frac{h}{s} = \frac{0,043}{0,024} = 1,79$$

$$K_g = 1,7 \text{ para pila circular según tabla 2.7.}$$

$$d_s = 0,90 * 1 * 1,70 * 0,024 = 0,03672 \text{ m}$$

$$d_s = 3,672 \text{ cm}$$

Donde:

d_s = profundidad de socavación, desde el fondo del lecho del río, en m.

a = ancho de la pila, en m.

l = largo de la pila, en m.

r = radio de la pila, en m.

Hs = profundidad del flujo aguas arriba de la pila, en m.

K_f = coeficiente que depende de la forma de la nariz de la pila, ver tabla 2.4.

K_g = coeficiente que depende de la relación Hs/a, ver figura 2.7.

K_α = coeficiente que depende del ángulo de ataque del flujo y de la geometría de la pila,

ver figura 2.8.

Método de Larras.

Descripción	Nomenclatura	Medición	Unidad
Ancho de la pila	a	0,024	m
tirante de agua	h	0,043	m

$$d_s = K * a$$

$$K = Kf * K_\alpha$$

$$Kf = 1 \text{ para pilas de puentes circulares.}$$

$$K_\alpha = 1 \text{ para pilas de puentes circulares.}$$

$$K = 1 * 1 = 1$$

$$d_s = 1 * 0,024 = 0,024 \text{ m}$$

$$d_s = 2,4 \text{ cm}$$

Donde:

d_s = profundidad de socavación, desde el fondo del lecho del río, en m.

a = ancho de la pila en metros m.

K = factor de corrección combinado de Larras.

K_f = coeficiente que depende de la forma de la nariz de la pila, ver tabla 2.5.

K_a = coeficiente que depende del ángulo de ataque del flujo y de la geometría de la pila Tabla 2.6

Método de Laursen I.

Descripción	Nomenclatura	Medición	Unidad
Ancho de la pila	a	0,024	m
tirante de agua	h	0,043	m

$$d_s = C * a^{0,70} * h^{0,30}$$

C = 1,2 para pila de puentes circulares.

$$d_s = 1,20 * 0,024^{0,70} * 0,043^{0,30} = 0,0343 \text{ m}$$

$$d_s = 3,43 \text{ cm}$$

Donde:

d_s = profundidad de socavación, desde el fondo del lecho del río, en m.

a = ancho de la pila, en m.

h = profundidad del flujo aguas arriba de la pila, en m.

Método de Melville y Sutherland

Descripción	Nomenclatura	Medición	Unidad
Ancho de la pila	a	0,024	m
Tirante de agua	h	0,043	m
Diámetro mediano de la partícula	D_{50}	0,6	mm
Caudal	Q	1,476	l/s

$$d_s = a * K_i * K_h * K_D * K_\sigma * K_D * K_\theta$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0,00147}{0,206 * 0,043} = 0,165 \text{ m/s}$$

$$V_a = 0,80 * V_c = 0,80 * 0,25 = 0,2$$

$$K_i = 2,4 * \frac{V - (V_a - V_c)}{V_c} = 2,4 * \frac{0,165 - (0,20 - 0,25)}{0,25} = 2,068$$

$$\frac{h}{a} = \frac{0,043}{0,024} = 1,80 < 2,60$$

entonces $K_h = 0,78 * \left(\frac{h}{a}\right)^{0,255} = 0,78 * 1,80^{0,255}$

$$k_h = 0,9066$$

$$\frac{a}{D_{50}} = \frac{0,024}{0,0006} = 40 > 25$$

entonces $K_D = 1$ para $\frac{a}{D_{50}} > 25$

$K_f = 1$ para pila de puentes de forma circular

$K_\sigma = 1$ para sedimento uniforme

$K_\theta = 1$ para angulo de ataque del agua igual a cero

$$d_s = 0,024 * 2,068 * 0,906 * 1 * 1 * 1 * 1 = 0,045 \text{ m}$$

$$d_s = 4,5 \text{ cm}$$

Donde:

d_s = profundidad de socavación local, en m.

a = ancho de la pila, en m.

V = velocidad de flujo, en m/s.

V_c = velocidad critica del sedimento o grano, en m/s.

V_c^* = velocidad critica correspondiente al D_{50} , en m/s.

V_a = velocidad de acorazamiento del rio, en m/s.

h = profundidad de agua antes de la socavación, en m.

D_{50} = diámetro mediano del sedimento, en m.

K_i = factor de corrección por intensidad del flujo.

K_h = factor de corrección por profundidad del flujo.

K_D = factor de corrección por tamaño del sedimento.

K_σ = factor de corrección por gradación del sedimento.

K_f = factor de corrección por la forma de la pila.

K_θ = factor de corrección por ángulo de ataque del flujo.

Método de Shen I

Descripción	Nomenclatura	Medición	Unidad
Ancho de la pila	a	0,024	m
Tirante de agua	h	0,043	m
Caudal	Q	1,476	l/s
Temperatura del agua	T	20	C
Viscosidad cinemática del agua	ν	$1,14 * 10^{-6}$	m^2/s

$$d_s = 0,00073 * Re^{0,619}$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0,00147}{0,206 * 0,043} = 0,1654 \quad m/s$$

$$Re = V * \frac{a}{\nu} = 0,165 * \frac{0,024}{1,14 * 10^{-6}} = 3482,10526$$

$$d_s = 0,00073 * 3482,105^{0,619} = 0,114 \text{ m}$$

$$d_s = 11,4 \text{ cm}$$

Donde:

d_s = profundidad de socavación, desde la cota media del lecho del río, en m.

Re = número de Reynolds de la pila.

a = ancho de la pila en metros, en m.

V = velocidad media del flujo aguas arriba, en m/s.

ν = viscosidad cinemática del agua, en m^2/s .

Método De Yaroslavtziev.

Descripción	Nomenclatura	Medición	Unidad
Ancho de la pila	a	0,024	m
Tirante de agua	h	0,043	m
Caudal	Q	1,476	l/s
Diámetro mediano de la partícula	D_{50}	0,6	mm

$$S_o = \frac{K_f * K_v * (c + kh) * V^2}{g}$$

$$b = 0,024 \text{ m}$$

$$K_f = 10 \text{ para pila de puente circular}$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0,00147}{0,206 * 0,043} = 0,165 \quad \text{m/s}$$

$$\text{Log}(Kv) = \frac{-0,28^{\frac{1}{3}} * V^2}{g * b_1} = \frac{-0,28^{1/3} * 0,165^2}{9,81 * 0,024} = -0,07605$$

entonces $K_v = 0,837$

$C = 0,6$ para cause principal

$$\frac{H}{b} = \frac{0,043}{0,024} = 1,8$$

entonces $K_h = 0,36$ para H/b igual a 1,80

$$S_o = \frac{10 * 0,837 * (0,60 + 0,36) * 0,165^2}{9,81} = 0,0224 \quad \text{m}$$

$S_o = 2,24 \text{ cm}$

Donde:

S_o = Profundidad de la socavación frente a la pila, medida desde el fondo original, en m.

K_f = Coeficiente que depende de la forma de la nariz de la pila y el ángulo f que forma el eje de la corriente y el eje de la pila y que según el tipo de pila ver figura 2.10 a 2.12.

K_v = Coeficiente definido por la Ec. (2.30) o ver figura 2.13.

h = Tirante de la corriente antes de que se presenta la socavación general, en m.

b_1 = Proyección en un plano perpendicular a la corriente, del ancho y largo de la pila, en m.

C = Coeficiente de corrección que depende del sitio donde esté colocada la pila, tomando un valor de 0,6 si se encuentra en el cauce principal y de 1 si está en la zona de avenidas.

K_H = Coeficiente que toma en cuenta el tirante del agua después de producirse la socavación general y que se puede obtener con la ayuda de la figura 2.14.

V = Velocidad media de la corriente aguas arriba de la pila, en m/s.

D_{85} = Diámetro 85 que, según el autor, es el representativo en el fondo del cauce. Cuando el material del fondo tiene un diámetro menor de 5 mm, el investigador recomienda no considerar el segundo término de la Ec. (2.29).

Estimación de socavación para pila Rectangular

Método de Arunachalam

Descripción	Nomenclatura	Medición	Unidad
Ancho de la pila	a	0,26	m
Base del canal	B	0,206	m
Caudal	Q	0,829	l/s

$$d_s = 1,334 * qu^{\frac{2}{3}} * \left[1,95 * \left(\frac{1,334 * qu^{\frac{2}{3}}}{a} \right)^{-\frac{1}{6}} - 1 \right]$$

$$qu = \frac{Q}{B} = \frac{0,000829}{0,206}$$

$$qu = 4,02 \text{ l/s}$$

$$qu = 0,00402 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$d_s = 1,334 * 0,00717^{\frac{2}{3}} * \left[1,95 * \left(\frac{1,334 * 0,00717^{\frac{2}{3}}}{0,026} \right)^{-\frac{1}{6}} - 1 \right]$$

$$d_s = 0,0293 \text{ m}$$

$$d_s = 2,93 \text{ cm}$$

Donde:

d_s = profundidad de socavación, desde el fondo del lecho del río, en m.

a = ancho de la pila, en m.

qu = caudal unitario, en $\frac{\text{m}^3}{\text{s} * \text{m}}$

Método de Blench

Descripción	Nomenclatura	Medición	Unidad
Ancho de la pila	a	0,026	m
Base del canal	B	0,206	m
Caudal	Q	0,829	l/s
Diámetro mediano de la partícula	dm	0,6	mm

$$d_s = 1,8 * \left(\frac{a}{Y_t} \right)^{\frac{1}{4}} * Y_r$$

$$Y_r = 1,84 * \frac{qu^2}{F_b^{\frac{1}{3}}}$$

$$F_b = 1,9 * d_m^{\frac{1}{2}}$$

$$F_b = 1,9 * 0,6^{\frac{1}{2}} = 1,472 \text{ mm}$$

$$Y_r = 1,84 * \frac{(0,0040)^2}{(1,47)^{\frac{1}{3}}} = 0,0000262$$

$$d_s = 1,8 * \left(\frac{0,024}{0,0000262} \right)^{\frac{1}{4}} * 0,0000262 = 0,00026 \text{ m}$$

$$d_s = 0,026 \text{ cm}$$

Donde:

d_s = profundidad de socavación, desde la superficie del agua, en m.

Y_r = profundidad del régimen de flujo, en m.

q_u = caudal unitario, en $\frac{m^3}{s \cdot m}$

a = ancho de la pila en metros, en m.

d_m = diámetro medio de las partículas del lecho, en m.

F_b = factor en función al diámetro del sedimento, en mm.

Método de Breusers, Nicotlet y Shen

Descripción	Nomenclatura	Medición	Unidad
Ancho de la pila	a	0,026	m
Base del canal	B	0,206	m
Caudal	Q	0,829	l/s
Velocidad crítica del sedimento	V_c	0,205	m/s
Tirante de agua	Y	0,038	m

$$ds = a * f_1 * f_2 * f_3 * f_4$$

Calculo del factor de velocidad

$$f_1 \left(\frac{V}{V_c} \right) = 0 \quad \text{si} \quad \left(\frac{V}{V_c} \right) \leq 0,5$$

$$f_1 \left(\frac{V}{V_c} \right) = 2 * \left(\frac{V}{V_c} - 0,5 \right) \quad \text{si} \quad 0,5 < \frac{V}{V_c} \leq 1$$

$$f_1 \left(\frac{V}{V_c} \right) = 1 \quad \text{si} \quad \left(\frac{V}{V_c} \right) \geq 1$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0,000829}{0,206 * 0,038} = 0,106 \text{ m/s}$$

$$\left(\frac{V}{V_c} \right) = \frac{0,165}{0,25} = 0,423$$

entonces aplicamos la ecuacion ... $0,5 < 0,423 \leq 1$ no cumple

$$f_1 = 0$$

$$f_2 = 2 * \tanh\left(\frac{h}{a}\right) = 2 * \tanh\left(\frac{0,043}{0,026}\right) = 1,796$$

$$f_3 = 1,3 \text{ Rectangular}$$

$$f_4 = 1 \text{ para el angulo de ataque de la pila igual a cero}$$

$$d_s = 0,026 * 0 * 1,79 * 1,3 * 1 = 0 \text{ m}$$

$$d_s = 0 \text{ cm}$$

Donde:

d_s = profundidad de socavación por debajo del lecho original, en m.

a = ancho de la pila, en m.

h = profundidad del flujo aguas arriba de la pila, en m.

V = velocidad media del flujo, en m/s.

V_c = velocidad crítica para inicio del movimiento del sedimento de fondo, en m/s.

$f1$ = factor en función de velocidades.

$f2$ = factor en función a la geometría de la pila h/a .

$f3$ = factor en función al tipo de pila.

$f4$ = factor en función al ángulo de ataque del agua en la pila.

Método de Coleman.

Descripción	Nomenclatura	Medición	Unidad
Ancho de la pila	a	0,026	m
Base del canal	B	0,206	m
Caudal	Q	0,83	l/s

$$d_s = 1,054 * V^{0,1} * a^{0,9}$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0,000829}{0,206 * 0,038} = 0,106 \text{ m/s}$$

$$d_s = 1,054 * 0,106^{0,10} * 0,026^{0,90} = 0,0315 \text{ m}$$

$$d_s = 3,15 \text{ cm}$$

Donde:

d_s = profundidad de socavación, desde el fondo del lecho del río, en m.

a = ancho de la pila, en m.

V = velocidad media del flujo aguas arriba, en m/s.

Método de la Universidad Estatal de Colorado

Descripción	Nomenclatura	Medición	Unidad
Ancho de la pila	a	0,026	m
Base del canal	B	0,206	m
Caudal	Q	0,83	l/s
Tirante de agua	h	0,038	m

$$d_s = 2 * h * K_f * K_\theta * K_c * K_a * \left(\frac{a}{h}\right)^{0,65} * NF^{0,43}$$

K_f = 1,1 de tabla 2.1 para forma de pila cilíndrica.

K_θ = 1 de tabla 2.2 para ángulo de ataque del agua igual a cero.

K_c = 1,1 de tabla 2.3 para socavación de agua clara.

K_a = 1 de tabla 2.4 para diámetro de sedimento de 0,60mm

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0,000829}{0,206 * 0,038} = 0,106 \quad \text{m/s}$$

$$NF = \frac{V}{\sqrt{g * h}} = \frac{0,106}{\sqrt{9,81 * 0,038}} = 0,173$$

$$d_s = 2 * 0,038 * 1,1 * 1 * 1,1 * 1 * \left(\frac{0,026}{0,038}\right)^{0,65} * 0,173^{0,43} = 0,034 \quad \text{m}$$

$$d_s = 3,4 \quad \text{cm}$$

Donde:

d_s = profundidad de socavación, en m.

h = profundidad del flujo directamente aguas arriba de la pila, en m.

a = ancho de la pila, en m.

l = largo de la pila, en m.

NF = número de Froude en la sección directamente aguas arriba de la pila, ver Ec. 2.12.

K_f = factor de corrección que tiene en cuenta la forma de la pila, ver tabla 2.1.

K_θ = factor de corrección que tiene en cuenta el ángulo de ataque del flujo, ver tabla 2.2.

K_c = factor de corrección por la forma del lecho, ver tabla 2.3.

K_a = factor de corrección por acorazamiento del sedimento del lecho, ver tabla 2.4.

Método de Froehlich

Descripción	Nomenclatura	Medición	Unidad
Ancho de la pila	a	0,026	m
Base del canal	B	0,206	m
Caudal	Q	0,83	l/s
Tirante de agua	h	0,038	m
Diámetro mediano de la partícula	D_{50}	0,6	mm

$$d_s = 0,32 * K_f * a^{0,62} * h^{0,47} * NF^{0,22} * D_{50}^{-0,09} + a$$

$$K_f = 1,3 \quad \text{para pilas de puentes circulares}$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0,000829}{0,206 * 0,038} = 0,106 \quad \text{m/s}$$

$$NF = \frac{V}{\sqrt{g * h}} = \frac{0,106}{\sqrt{9,81 * 0,038}} = 0,173$$

$$d_s = 0,32 * 1,30 * 0,026^{0,62} * 0,038^{0,47} * 0,173^{0,22} * 0,0006^{-0,09} + 0,026 = 0,034 \text{ m}$$

$$d_s = 0,038 \text{ cm}$$

Donde:

d_s = profundidad de socavación, en m.

K_f = factor de corrección por la forma de la pila.

a = ancho de la pila, adicionado como un factor de seguridad, en m.

h = profundidad del flujo directamente aguas arriba de la pila, en m.

NF = número de Froude en la sección directamente aguas arriba de la pila, ver Ec. 2.12.

D_{50} = diámetro de la partícula de lecho, en m.

g = aceleración de la gravedad, en m/s^2 .

Método de Laursen y Toch (1956).

Descripción	Nomenclatura	Medición	Unidad
Ancho de la pila	a	0,026	m
tirante de agua	h	0,038	m

$$d_s = Kf * K_\alpha * K_g * a$$

$Kf =$ 1 para pila de puentes circulares.

$K_\alpha =$ 1 para pila de puentes circulares.

$$\frac{h}{a} = \frac{0,038}{0,026} = 1,46$$

$K_g =$ 1,65 para pila circular según tabla 2.7.

$$d_s = 1 * 1 * 1,46 * 0,026 = 0,0429 \text{ m}$$

$$d_s = 4,29 \text{ cm}$$

donde:

d_s = profundidad de socavación, desde el fondo del lecho del río, en m.

a = ancho de la pila, en m.

l = largo de la pila, en m.

r = radio de la pila, en m.

H_s = profundidad del flujo aguas arriba de la pila, en m.

K_f = coeficiente que depende de la forma de la nariz de la pila, ver tabla 2.4.

K_g = coeficiente que depende de la relación H_s/a , ver figura 2.7.

K_α = coeficiente que depende del ángulo de ataque del flujo y de la geometría de la pila, ver figura

Método de Larras.

Descripción	Nomenclatura	Medición	Unidad
Ancho de la pila	a	0,026	m
tirante de agua	h	0,038	m

$$d_s = K * a$$

$$K = Kf * K_\alpha$$

$Kf =$ 1,3 para pilas de puentes rectangular.

$K_\alpha =$ 1,11 para pilas de puentes rectangular.

$$K = 1,30 * 1,10 = 1,443$$

$$d_s = 1,443 * 0,026 = 0,037518 \text{ m}$$

$$d_s = 3,7518 \text{ cm}$$

Donde:

d_s = profundidad de socavación, desde el fondo del lecho del río, en m.

a = ancho de la pila en metros m.

K = factor de corrección combinado de Larras.

K_f = coeficiente que depende de la forma de la nariz de la pila, ver tabla 2.5.

$K\alpha$ = coeficiente que depende del ángulo de ataque del flujo y de la geometría de la pila Tabla 2.6.

Método de Laursen I.

Descripción	Nomenclatura	Medición	Unidad
Ancho de la pila	a	0,026	m
tirante de agua	h	0,038	m

$$d_s = C * a^{0,70} * h^{0,30}$$

$C = 1,5$ para pila de puentes rectangular.

$$d_s = 1,5 * 0,026^{0,70} * 0,038^{0,30} = 0,0437 \text{ m}$$

$$d_s = 4,37 \text{ cm}$$

Donde:

d_s = profundidad de socavación, desde el fondo del lecho del río, en m.

a = ancho de la pila, en m.

h = profundidad del flujo aguas arriba de la pila, en m.

Método de Melville y Sutherland

Descripción	Nomenclatura	Medición	Unidad
Ancho de la pila	a	0,026	m
Tirante de agua	h	0,038	m
Diámetro mediano de la partícula	D_{50}	0,6	mm
Caudal	Q	0,83	l/s

$$d_s = a * K_i * K_h * K_D * K_\sigma * K_D * K_\theta$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0,000829}{0,206 * 0,038} = 0,106 \text{ m/s}$$

$$V_a = 0,80 * V_c = 0,80 * 0,25 = 0,2 \text{ m/s}$$

$$K_i = 2,4 * \frac{V - (V_a - V_c)}{V_c} = 2,4 * \frac{0,106 - (0,20 - 0,25)}{0,25} = 1,5$$

$$\frac{h}{a} = \frac{0,038}{0,026} = 1,46 < 2,60$$

entonces $K_h = 0,78 * \left(\frac{h}{a}\right)^{0,255} = 0,78 * 1,46^{0,255}$

$$K_h = 0,86$$

$$\frac{a}{D_{50}} = \frac{0,026}{0,0006} = 43,3 > 25$$

entonces $K_D = 1$ para $\frac{a}{D_{50}} > 25$

$$K_f = 1,3 \quad \text{para pila de puentes de forma circular}$$

$$K_\sigma = 1 \quad \text{para sedimento uniforme}$$

$$K_\theta = 1 \quad \text{para angulo de ataque del agua igual a cero}$$

$$d_s = 0,026 * 1,50 * 0,86 * 1 * 1,30 * 1 * 1 = 0,043 \text{ m}$$

$$d_s = 4,3 \text{ cm}$$

Donde:

d_s = profundidad de socavación local, en m.

a = ancho de la pila, en m.

V = velocidad de flujo, en m/s.

V_c = velocidad critica del sedimento o grano, en m/s.

V_c^* = velocidad critica correspondiente al D_{50} , en m/s.

V_a = velocidad de acorazamiento del rio, en m/s.

h = profundidad de agua antes de la socavación, en m.

D_{50} = diámetro mediano del sedimento, en m.

K_i = factor de corrección por intensidad del flujo.

K_h = factor de corrección por profundidad del flujo.

K_D = factor de corrección por tamaño del sedimento.

K_σ = factor de corrección por gradación del sedimento.

K_f = factor de corrección por la forma de la pila.

K_θ = factor de corrección por ángulo de ataque del flujo.

Método de Shen I

Descripción	Nomenclatura	Medición	Unidad
Ancho de la pila	a	0,026	m
Tirante de agua	h	0,038	m
Caudal	Q	0,83	l/s
Temperatura del agua	T	20	C
Viscosidad cinemática del agua	ν	$1,14 * 10^{-6}$	m^2/s

$$d_s = 0,00073 * Re^{0,619}$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0,000829}{0,206 * 0,038} = 0,106 \quad m/s$$

$$Re = V * \frac{a}{\nu} = 0,106 * \frac{0,026}{1,14 * 10^{-6}} = 2415$$

$$d_s = 0,00073 * 2415^{0,619} = 0,0906 \text{ m}$$

$$d_s = 9,06 \text{ cm}$$

Donde:

d_s = profundidad de socavación, desde la cota media del lecho del río, en m.

Re = número de Reynolds de la pila.

a = ancho de la pila en metros, en m.

V = velocidad media del flujo aguas arriba, en m/s.

ν = viscosidad cinemática del agua, en m^2/s .

Método De Yaroslavtziev.

Descripción	Nomenclatura	Medición	Unidad
Ancho de la pila	a	0,026	m
Tirante de agua	h	0,038	m
Caudal	Q	0,83	l/s
Diámetro mediano de la partícula	D_{50}	0,6	mm

$$S_o = \frac{K_f * K_v * (c + kh) * V^2}{g}$$

$$K_f = 12,2 \text{ para pila de puente circular}$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0,000829}{0,206 * 0,038} = 0,106 \quad \text{m/s}$$

$$\text{Log}(Kv) = \frac{-0,28^{\frac{1}{3}} * V^2}{g * b_1} = \frac{-0,28^{1/3} * 0,106^2}{9,81 * 0,026} = -0,028759$$

entonces $K_v = 0,936$

C= 0,6 para cause principal

$$\frac{H}{b} = \frac{0,038}{0,026} = 1,46$$

entonces $K_h = 0,46$ para H/b igual a 1,46

$$S_o = \frac{12,2 * 0,936 * (0,60 + 0,46) * 0,106^2}{9,81} = 0,0139 \quad \text{m}$$

$$S_o = 1,39 \text{ cm}$$

Donde:

S_o = Profundidad de la socavación frente a la pila, medida desde el fondo original, en m.

K_f = Coeficiente que depende de la forma de la nariz de la pila y el ángulo f que forma el eje de la corriente y el eje de la pila y que según el tipo de pila ver figura 2.10 a 2.12.

K_v = Coeficiente definido por la Ec. (2.30) o ver figura 2.13.

h = Tirante de la corriente antes de que se presenta la socavación general, en m.

b_1 = Proyección en un plano perpendicular a la corriente, del ancho y largo de la pila, en m.

C = Coeficiente de corrección que depende del sitio donde esté colocada la pila, tomando un valor de 0,6 si se encuentra en el cauce principal y de 1 si está en la zona de avenidas.

K_H = Coeficiente que toma en cuenta el tirante del agua después de producirse la socavación general y que se puede obtener con la ayuda de la figura 2.14.

V = Velocidad media de la corriente aguas arriba de la pila, en m/s.

D_{85} = Diámetro 85 que, según el autor, es el representativo en el fondo del cauce. Cuando

el material del fondo tiene un diámetro menor de 5 mm, el investigador recomienda no considerar el segundo término de la Ec. (2.29).

Estimación de socavación para pila Triangular

Método de Arunachalam

Descripción	Nomenclatura	Medición	Unidad
Ancho de la pila	a	0,26	m
Base del canal	B	0,206	m
Caudal	Q	1,29	l/s

$$d_s = 1,334 * qu^{\frac{2}{3}} * \left[1,95 * \left(\frac{1,334 * qu^{\frac{2}{3}}}{a} \right)^{-\frac{1}{6}} - 1 \right]$$

$$qu = \frac{Q}{B} = \frac{0,0063}{0,206}$$

$$qu = 6,26 \text{ l/s}$$

$$qu = 0,00626 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$d_s = 1,334 * 0,00626^{\frac{2}{3}} * \left[1,95 * \left(\frac{1,334 * 0,00626^{\frac{2}{3}}}{0,026} \right)^{-\frac{1}{6}} - 1 \right]$$

$$d_s = 0,0352 \text{ m}$$

$$d_s = 3,52 \text{ cm}$$

Donde:

d_s = profundidad de socavación, desde el fondo del lecho del río, en m.

a = ancho de la pila, en m.

qu = caudal unitario, en $\frac{\text{m}^3}{\text{s} \cdot \text{m}}$

Método de Blench

Descripción	Nomenclatura	Medición	Unidad
Ancho de la pila	a	0,026	m
Base del canal	B	0,206	m
Caudal	Q	1,29	l/s
Diámetro mediano de la partícula	d_m	0,6	mm

$$d_s = 1,8 * \left(\frac{a}{Y_t} \right)^{\frac{1}{4}} * Y_r$$

$$Y_r = 1,84 * \frac{qu^2}{F_b^{\frac{1}{3}}}$$

$$F_b = 1,9 * d_m^{\frac{1}{2}}$$

$$F_b = 1,9 * 0,6^{\frac{1}{2}} = 1,472 \text{ mm}$$

$$Y_r = 1,84 * \frac{(0,0063)^2}{(1,47)^{\frac{1}{3}}} = 0,000063448$$

$$d_s = 1,8 * \left(\frac{0,026}{0,000063448} \right)^{\frac{1}{4}} * 0,000063448 = 0,00051 \text{ m}$$

$$d_s = 0,051 \text{ cm}$$

Donde:

d_s = profundidad de socavación, desde la superficie del agua, en m.

Y_r = profundidad del régimen de flujo, en m.

q_u = caudal unitario, en $\frac{m^3}{s * m}$

a = ancho de la pila en metros, en m.

d_m = diámetro medio de las partículas del lecho, en m.

F_b = factor en función al diámetro del sedimento, en mm.

Método de Breusers, Nicotellet y Shen

Descripción	Nomenclatura	Medición	Unidad
Ancho de la pila	a	0,026	m
Base del canal	B	0,206	m
Caudal	Q	1,29	l/s
Velocidad crítica del sedimento	Vc	0,25	m/s
Tirante de agua	Y	0,045	m

$$ds = a * f_1 * f_2 * f_3 * f_4$$

Calculo del factor de velocidad

$$f_1 \left(\frac{V}{V_c} \right) = 0 \quad \text{si} \quad \left(\frac{V}{V_c} \right) \leq 0,5$$

$$f_1 \left(\frac{V}{V_c} \right) = 2 * \left(\frac{V}{V_c} - 0,5 \right) \quad \text{si} \quad 0,5 < \frac{V}{V_c} \leq 1$$

$$f_1 \left(\frac{V}{V_c} \right) = 1 \quad \text{si} \quad \left(\frac{V}{V_c} \right) \geq 1$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0,00129}{0,206 * 0,045} = 0,139 \text{ m/s}$$

$$\left(\frac{V}{V_c} \right) = \frac{0,139}{0,25} = 0,556$$

$$0,5 < 0,556 \leq 1 \quad \text{cumple}$$

$$f_1 = 0,112$$

$$f_2 = 2 * \tanh\left(\frac{h}{a}\right) = 2 * \tanh\left(\frac{0,045}{0,026}\right) = 1,878$$

$$f_3 = 0,75 \text{ para geometria Hidrodinamica}$$

$$f_4 = 1 \text{ para el angulo de ataque de la pila igual a cero}$$

$$d_s = a * f_1 * f_2 * f_3$$

$$d_s = 0,026 * 0,112 * 1,878 * 0,75 * 1 = 0,0042 \text{ m}$$

$$d_s = 0,42 \text{ cm}$$

Donde:

d_s = profundidad de socavación por debajo del lecho original, en m.

a = ancho de la pila, en m.

h = profundidad del flujo aguas arriba de la pila, en m.

V = velocidad media del flujo, en m/s.

V_c = velocidad crítica para inicio del movimiento del sedimento de fondo, en m/s.

f_1 = factor en función de velocidades.

f_2 = factor en función a la geometría de la pila h/a .

f_3 = factor en función al tipo de pila.

f_4 = factor en función al ángulo de ataque del agua en la pila.

Método de la Universidad Estatal de Colorado

Descripción	Nomenclatura	Medición	Unidad
Ancho de la pila	a	0,026	m
Base del canal	B	0,206	m
Caudal	Q	1,29	l/s
Tirante de agua	h	0,045	m

$$ds = 2 * h * K_f * K_\theta * K_c * K_a * \left(\frac{a}{h}\right)^{0,65} * NF^{0,43}$$

K_f = 0,9 de tabla 2.1 para forma de pila cilíndrica.

K_θ = 1 de tabla 2.2 para ángulo de ataque del agua igual a cero.

K_c = 1,1 de tabla 2.3 para socavación de agua clara.

K_a = 1 de tabla 2.4 para diámetro de sedimento de 0,60mm

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0,00129}{0,206 * 0,045} = 0,139 \quad \text{m/s}$$

$$NF = \frac{V}{\sqrt{g * h}} = \frac{0,139}{\sqrt{9,81 * 0,045}} = 0,209$$

$$d_s = 2 * 0,045 * 0,9 * 1 * 1,1 * 1 * \left(\frac{0,026}{0,045}\right)^{0,65} * 0,209^{0,43} = 0,032 \quad \text{m}$$

$$d_s = 3,2 \text{ cm}$$

Donde:

d_s = profundidad de socavación, en m.

h = profundidad del flujo directamente aguas arriba de la pila, en m.

a = ancho de la pila, en m.

l = largo de la pila, en m.

NF = número de Froude en la sección directamente aguas arriba de la pila, ver Ec. 2.12.

K_f = factor de corrección que tiene en cuenta la forma de la pila, ver tabla 2.1.

K_θ = factor de corrección que tiene en cuenta el ángulo de ataque del flujo, ver tabla 2.2.

K_c = factor de corrección por la forma del lecho, ver tabla 2.3.

K_a = factor de corrección por acorazamiento del sedimento del lecho, ver tabla 2.4.

Método de Laursen y Toch (1956).

Descripción	Nomenclatura	Medición	Unidad
Ancho de la pila	a	0,026	m
tirante de agua	h	0,045	m

$$d_s = Kf * K_\alpha * K_g * a$$

$$Kf = 0,78 \text{ para pila de puentes biselada.}$$

$$K_\alpha = 1 \text{ para pila de puentes biselada.}$$

$$\frac{h}{a} = \frac{0,045}{0,026} = 1,73$$

$$K_g = 1,8 \text{ para pila biselada según tabla 2.7.}$$

$$d_s = 1 * 1 * 1,80 * 0,026 = 0,036504 \text{ m}$$

$$d_s = 3,6504 \text{ cm}$$

donde:

d_s = profundidad de socavación, desde el fondo del lecho del río, en m.

a = ancho de la pila, en m.

l = largo de la pila, en m.

r = radio de la pila, en m.

H_s = profundidad del flujo aguas arriba de la pila, en m.

K_f = coeficiente que depende de la forma de la nariz de la pila, ver tabla 2.4.

K_g = coeficiente que depende de la relación H_s/a , ver figura 2.7.

$K\alpha$ = coeficiente que depende del ángulo de ataque del flujo y de la geometría de la pila, ver figur

Método de Shen I

Descripción	Nomenclatura	Medición	Unidad
Ancho de la pila	a	0,026	m
Tirante de agua	h	0,045	m
Caudal	Q	1,29	l/s
Temperatura del agua	T	20	C
Viscosidad cinemática del agua	ν	$1,14 * 10^{-6}$	m^2/s

$$d_s = 0,00073 * Re^{0,619}$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0,00129}{0,206 * 0,045} = 0,139 \quad m/s$$

$$Re = V * \frac{a}{\nu} = 0,129 * \frac{0,026}{1,14 * 10^{-6}} = 3174,15$$

$$d_s = 0,00073 * 3174,15^{0,619} = 0,1074 \text{ m}$$

$$d_s = 10,74 \text{ cm}$$

Donde:

d_s = profundidad de socavación, desde la cota media del lecho del río, en m.

Re = número de Reynolds de la pila.

a = ancho de la pila en metros, en m.

V = velocidad media del flujo aguas arriba, en m/s.

ν = viscosidad cinemática del agua, en m^2/s .

Método De Yaroslavtziev.

Descripción	Nomenclatura	Medición	Unidad
Ancho de la pila	a	0,026	m
Largo de la pila	a ₁	0,1	m
Tirante de agua	h	0,045	m
Caudal	Q	1,29	l/s
Diámetro mediano de la partícula	D ₅₀	0,6	mm

$$S_o = \frac{K_f * K_v * (c + kh) * V^2}{g}$$

$$b_1 = (a_1 - b) * \text{sen}(\theta) + b = (0,10 - 0,026) * \text{sen}(0) + 0,026$$

$$b_1 = 0,026 \quad \text{m}$$

$$K_f = 7,3 \quad \text{para pila de puente de nariz triangular}$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0,00129}{0,206 * 0,045} = 0,139 \quad \text{m/s}$$

$$\text{Log}(K_v) = \frac{-0,28^{\frac{1}{3}} * V^2}{g * b_1} = \frac{-0,28^{1/3} * 0,139^2}{9,81 * 0,026} = -0,04968$$

entonces $K_v = 0,892$

C= 0,6 para cause principal

$$\frac{H}{b} = \frac{0,045}{0,026} = 1,73$$

entonces $K_h = 0,4$ para H/b igual a 1,80

$$S_o = \frac{7,30 * 0,892 * (0,60 + 0,40) * 0,139^2}{9,81} = 0,0128 \quad \text{m}$$

$$S_o = 1,28 \text{ cm}$$

Donde:

S_o = Profundidad de la socavación frente a la pila, medida desde el fondo original, en m.

K_f = Coeficiente que depende de la forma de la nariz de la pila y el ángulo θ que forma el eje de la corriente y el eje de la pila y que según el tipo de pila ver figura 2.10 a 2.12.

K_v = Coeficiente definido por la Ec. (2.30) o ver figura 2.13.

h = Tirante de la corriente antes de que se presenta la socavación general, en m.

b₁ = Proyección en un plano perpendicular a la corriente, del ancho y largo de la pila, en m.

C = Coeficiente de corrección que depende del sitio donde esté colocada la pila, tomando

un valor de 0,6 si se encuentra en el cauce principal y de 1 si está en la zona de avenidas.

K_H = Coeficiente que toma en cuenta el tirante del agua después de producirse la socavación general y que se puede obtener con la ayuda de la figura 2.14.

V = Velocidad media de la corriente aguas arriba de la pila, en m/s.

D_{85} = Diámetro 85 que, según el autor, es el representativo en el fondo del cauce. Cuando el material del fondo tiene un diámetro menor de 5 mm, el investigador recomienda no considerar el segundo término de la Ec. (2.29).

ANEXO III
PROPUESTA DE GUÍA

Practica N.º 1: ESTIMACION DE LA SOCAVACIÓN LOCAL EN PILAS DE PUENTES

1.1. Introducción.

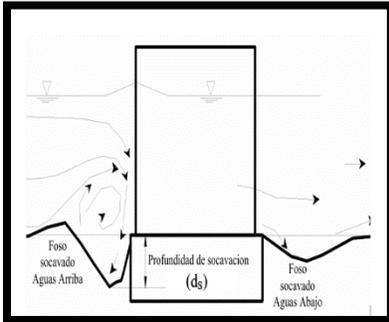


Figura 1: Proceso de socavación

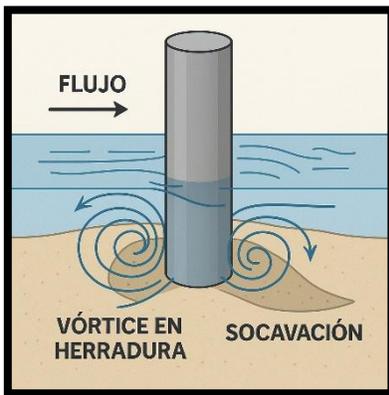


Figura 2: Vórtice herradura.

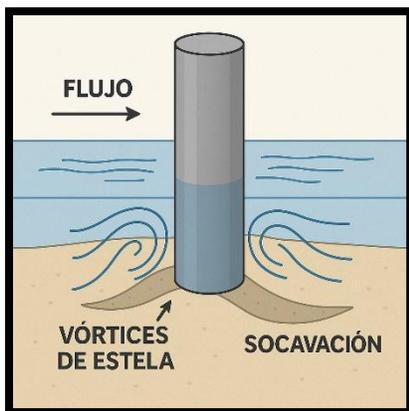


Figura 3: Vórtice estela.

La estabilidad de las estructuras de puentes (pilas y fundación) son elementos cruciales en la infraestructura de transporte, se ve significativamente amenazada por el fenómeno de la **socavación**. Este proceso erosivo, desencadenado por la interacción dinámica entre el flujo de agua y los elementos de soporte sumergidos de un puente, principalmente las **pilas**, representa una de las principales causas de falla estructural a nivel mundial. Comprender los mecanismos fundamentales que rigen la socavación es, por lo tanto, esencial para el diseño, la evaluación y el mantenimiento seguro y eficiente de estas vitales construcciones.

En esencia, la socavación alrededor de las pilas de un puente se refiere a la **remoción de sedimentos del lecho fluvial** ver figura (1.1), que rodea la base de estos elementos de soporte. Esta erosión progresiva disminuye la profundidad de empotramiento de la pila, reduciendo su capacidad portante y aumentando su vulnerabilidad ante las fuerzas hidrodinámicas, especialmente durante eventos de crecida. La complejidad del fenómeno radica en la interacción de múltiples factores, que abarcan desde las características del flujo de agua y las propiedades del material del lecho, hasta la geometría de la pila y la configuración del cauce.

1.1. Conceptos básicos

En primer lugar, la **hidrodinámica del flujo** alrededor de una pila sumergida juega un papel primordial. La presencia del obstáculo altera las líneas de corriente, generando aceleraciones locales, gradientes de presión y sistemas de vórtices complejos, como el **vórtice en herradura** que se forma aguas arriba ver figura (2) y los **vórtices de estela** que se desarrollan aguas abajo ver figura (3). Estos patrones de flujo intensifican las fuerzas de arrastre y elevación sobre las partículas del sedimento, facilitando su remoción.

En segundo lugar, las **propiedades geotécnicas del lecho fluvial** son determinantes en la susceptibilidad a la socavación. El tamaño, la forma, la distribución granulométrica y la cohesión de las partículas del sedimento influyen directamente en la resistencia del material a la erosión. Lechos compuestos por sedimentos



Figura 4: Socavación en agua clara.



Figura 5: Socavación por lecho móvil.

finos y no cohesivos son generalmente más vulnerables a la socavación que aquellos con gravas o materiales cohesivos.

La comprensión de los conceptos básicos de socavación es crucial para analizar sus mecanismos, evaluar la vulnerabilidad de puentes y desarrollar soluciones de diseño y protección. Su estudio, mediante modelos, simulaciones y datos de campo, es una investigación activa y esencial para la seguridad y durabilidad de la infraestructura de puentes a nivel global, considerando incluso las condiciones locales

1.2. Condiciones de flujo.

comúnmente se categoriza según las **condiciones del flujo** y la **naturaleza temporal** de la socavación. Aquí tienes unas de las clasificaciones comunes:

Basado en las Condiciones del Flujo:

Socavación en Agua Clara: Ocurre cuando la velocidad del flujo que se acerca a la pila es inferior a la velocidad crítica requerida para mover el material del lecho aguas arriba de la pila. El sedimento removido del hoyo de socavación no es reemplazado por sedimento transportado desde aguas arriba. Este tipo de socavación típicamente alcanza una profundidad de equilibrio ver figura (4).

Socavación por Lecho Móvil: Sucede cuando la velocidad del flujo aguas arriba de la pila es lo suficientemente alta como para transportar material del lecho. El sedimento es tanto erosionado del hoyo de socavación como transportado hacia él desde aguas arriba. La socavación por lecho vivo es un proceso más dinámico, y la profundidad de socavación puede fluctuar con las variaciones en los caudales. La profundidad de equilibrio de la socavación en lecho móvil a menudo se considera menor que la de la socavación por agua clara para la misma intensidad de flujo ver figura (5).

Basado en la Naturaleza Temporal:

Socavación a Corto Plazo: Este tipo de socavación se desarrolla relativamente rápido durante un evento de crecida o un período de alto flujo. Incluye:

Contracción: Erosión por estrechamiento del flujo en la abertura del puente, aumentando la velocidad del agua en todo el canal.

Local: la erosión justo alrededor de la base de la pila, causada por patrones de flujo generados por la obstrucción. que se generan cuando el agua choca contra la pila, el vórtice en herradura que se forma delante de la

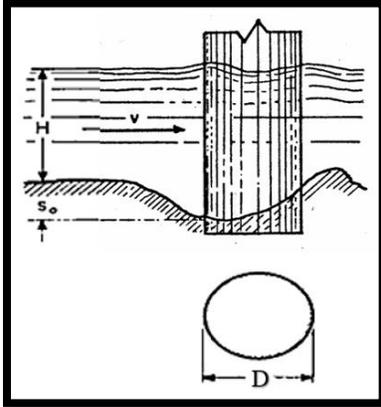


Figura 6: Pila circular.

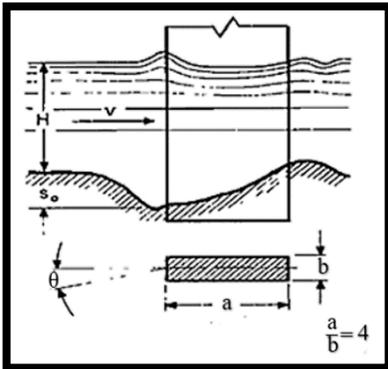


Figura 7: Pila rectangular

pila y los vórtices que se desarrollan aguas abajo vórtices de estela.

A Largo Plazo: Cambios graduales en la altura del lecho del río durante años, influenciados por factores naturales y humanos, que pueden afectar la socavación local.

1.3. Tipos de pilas de puente

La geometría de la pila (forma, tamaño, orientación con respecto al flujo) y las características del cauce (ancho, profundidad, pendiente, presencia de contracciones) modulan significativamente la intensidad y la extensión de la socavación. Pilas con formas hidrodinámicamente más eficientes tienden a generar menos turbulencia y, por ende, menor socavación.

A continuación, se describe cómo actúa en diferentes tipos de pilas:

Pila circular

Comportamiento hidráulico: El flujo de agua se separa de manera más suave al rodear una pila circular ver figura (6), lo que genera vórtices de herradura en la parte frontal (aguas arriba) y vórtices de estela aguas abajo.

Profundidad de socavación: Generalmente moderada, ya que la forma curva reduce la concentración de turbulencia.

Distribución de la socavación: Se forma una depresión simétrica alrededor de la base, con mayor profundidad en la parte frontal.

Ventaja: Su forma hidrodinámica reduce la agresividad del ataque del flujo.

Pila rectangular

Comportamiento hidráulico: Presenta una mayor obstrucción al flujo, provocando una separación brusca del agua y una mayor generación de turbulencia, especialmente en los bordes delanteros ver figura (7).

Profundidad de socavación: Tiende a ser más profunda que en las pilas circulares debido a la concentración de vórtices intensos en las esquinas.

Distribución de la socavación: Forma cavidades más profundas en las esquinas aguas arriba y una zona extendida de erosión aguas abajo.

Desventaja: Su geometría angular intensifica la socavación y puede comprometer la estabilidad estructural más rápidamente.

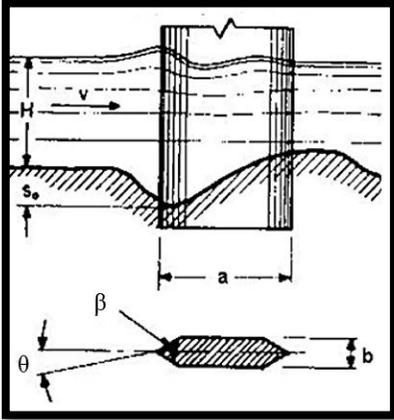


Figura 8: Pila de nariz triangular.

Pila con nariz triangular (o con espolón aguas arriba)

Comportamiento hidráulico: Esta geometría ver figura (8) divide y dirige el flujo de forma más eficiente, reduciendo la intensidad de los vórtices de herradura.

Profundidad de socavación: Por lo general más reducida que en las pilas rectangulares y similares a las circulares, aunque puede variar según la inclinación y el ángulo de la nariz.

Distribución de la socavación: Presenta un patrón más alargado y superficial, con menor profundidad al frente de la pila.

Ventaja: Diseñada precisamente para mitigar la socavación, esta geometría mejora el comportamiento hidráulico al disminuir la energía del flujo en la base de la pila.

1.2. Objetivos.

1.2.1. Objetivo general.

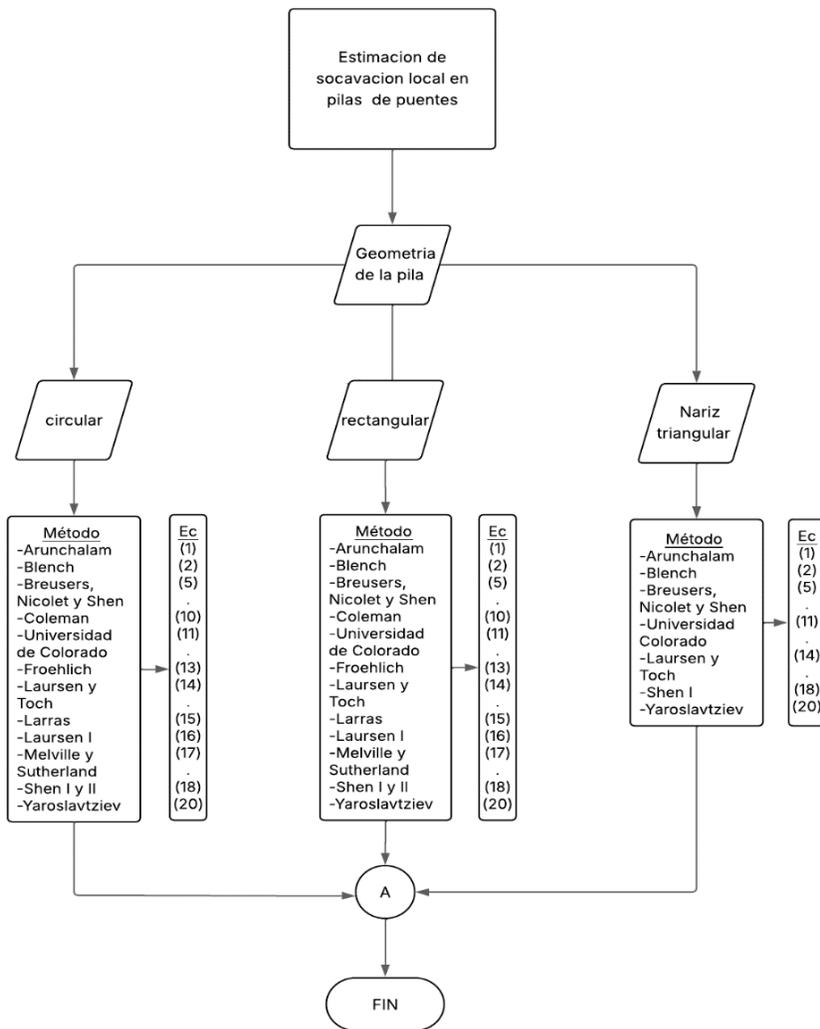
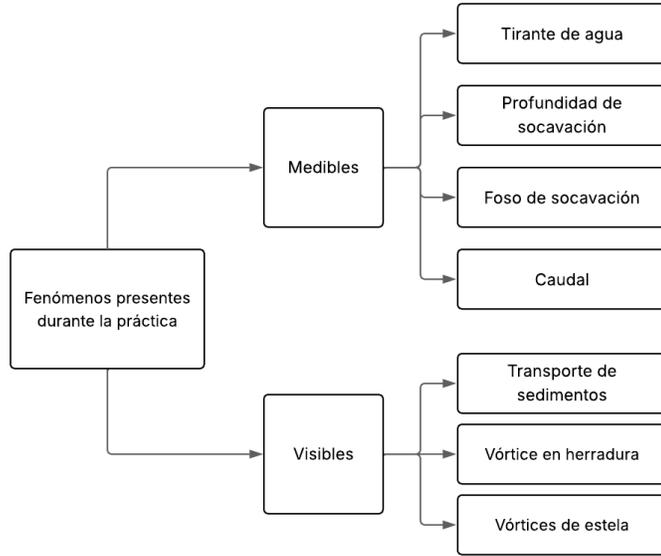
- Visualizar y estimar la socavación local alrededor de una pila de puente en un modelo de canal.

1.2.2. Objetivo específico

- Estimar la profundidad de socavación local en pilas de puentes tipo (circular, rectangular o nariz triangular).
- Comparar los resultados de socavación con los diferentes métodos empíricos y numéricos propuestos.
- Analizar la eficiencia de la geometría de la pila en el proceso de socavación con otros grupos.

1.3. Marco teórico.

En el siguiente diagrama de flujo podemos observar las ecuaciones en las cuales podemos estimar la profundidad de socavación local de acuerdo a su geometría.



- **MÉTODO DE ARUNCHALAM**

La Ec. (1) propuesto por Arunchalam para la estimación de socavación local en pilas de puentes tomando en cuenta el caudal unitario y el ancho de la pila de puente.

$$d_s = 1,334 * qu^{\frac{2}{3}} * \left[1,95 * \left(\frac{1,334 * qu^{\frac{2}{3}}}{a} \right)^{-\frac{1}{6}} - 1 \right] \quad (1)$$

Donde:

d_s = profundidad de socavación local, desde el fondo del lecho del río, en m.

a = ancho de la pila, en m.

qu = caudal unitario, en $\frac{m^3}{s*m}$.

- **MÉTODO DE BLENCH.**

La Ec. (2) elaborada en USA, en función al diámetro del sedimento o partícula, ancho de la pila y el caudal unitario.

$$\frac{d_s}{Y_r} = 1,8 * \left(\frac{a}{Y_r} \right)^{\frac{1}{4}} \quad (2)$$

$$Y_r = 1,84 * \frac{qu^2}{F_b^{\frac{1}{3}}} \quad (3)$$

$$F_b = 1,9 * d_m^{1/2} \quad (4)$$

Donde:

d_s = profundidad de socavación local, desde la superficie del agua, en m.

Y_r = profundidad del régimen de flujo, en m.

qu = caudal unitario, en $\frac{m^3}{s*m}$.

a = ancho de la pila en metros, en m.

d_m = diámetro medio de las partículas del lecho, en m.

F_b = factor en función al diámetro del sedimento, en mm.

- **MÉTODO DE BREUSERS**

Este método utiliza una fórmula matemática Ec. (5) que toma en cuenta las características de la pila (ancho y forma) y del agua que fluye a su alrededor (velocidad y profundidad) para estimar la profundidad de la socavación.

$$d_s = a * f_1 * f_2 * f_3 * f_4 \quad (5)$$

$$f_1 \left(\frac{V}{V_c} \right) = 0 \quad \text{si } \frac{V}{V_c} \leq 0,5 \quad (6)$$

$$f_1 \left(\frac{V}{V_c} \right) = 2 * \left(\frac{V}{V_c} - 0,5 \right) \quad \text{si } 0,5 \leq \frac{V}{V_c} \leq 1 \quad (7)$$

$$f_1 \left(\frac{V}{V_c} \right) = 1 \quad \text{si } \frac{V}{V_c} \geq 1 \quad (8)$$

$$f_2 \left(\frac{h}{a} \right) = 2 * \tanh \left(\frac{h}{a} \right) \quad (9)$$

$f_3 = 1$; para pilas circulares.

$f_3 = 0,75$; para pilas de forma hidrodinámica.

$f_3 = 1,30$; para pilas rectangulares

Donde:

d_s = profundidad de socavación local por debajo del lecho original, en m.

a = ancho de la pila, en m.

h = profundidad del flujo aguas arriba de la pila, en m.

V = velocidad media del flujo, en m/s.

V_c = velocidad crítica para inicio del movimiento del sedimento de fondo, en m/s.

f_1 = factor en función de velocidades.

f_2 = factor en función a la geometría de la pila h/a .

f_3 = factor en función al tipo de pila.

f_4 = factor en función al ángulo de ataque del agua en la pila se adopta 1 mientras no se encuentre inclinada la pila.

• MÉTODO DE COLEMAN.

Este método nos ayuda a ver cómo la socavación puede ser diferente para cada pila de un puente. Esto es crucial para diseñar una base segura. La Ec. (10) que utiliza se basa en qué velocidad del agua y qué tan ancha es la pila.

$$d_s = 1,054 * V^{0,1} * a^{0,9} \quad (10)$$

Donde:

d_s = profundidad de socavación local, desde el fondo del lecho del río, en m.

a = ancho de la pila, en m.

V = velocidad media del flujo aguas arriba, en m/s.

• **MÉTODO DE LA UNIVERSIDAD ESTATAL DE COLORADO**

El método desarrollado por la Universidad Estatal de Colorado en la Ec. (11) es una norma de diseño en EE.UU. para calcular la socavación local en pilas, tanto en agua clara como en lecho móvil. Se basa en análisis dimensional y datos de laboratorio, siendo el método más usado en EE.UU. y uno de los dos que utiliza el programa HEC-RAS.

$$d_s = 2 * h * K_f * K_\theta * K_c * K_a * \left(\frac{a}{h}\right)^{0,65} * NF^{0,43} \quad (11)$$

$$NF = \frac{V}{\sqrt{g * h}} \quad (12)$$

Donde:

d_s = profundidad de socavación local, en m.

h = profundidad del flujo directamente aguas arriba de la pila, en m.

a = ancho de la pila, en m.

l = largo de la pila, en m.

NF = número de Froude en la sección directamente aguas arriba de la pila, ver Ec. 12.

K_f = factor de corrección que tiene en cuenta la forma de la pila, ver apéndice tabla 1.

K_θ = factor de corrección que tiene en cuenta el ángulo de ataque del flujo, ver tabla 2.

K_c = factor de corrección por la forma del lecho, ver apéndice tabla 3.

K_a = factor de corrección por acorazamiento del sedimento del lecho, ver apéndice tabla 4.

• **MÉTODO DE FROEHLICH.**

Desarrollado por el Dr. David Froehlich la Ec. (13) es usada por el programa HEC-RAS (1998) como una alternativa a la ecuación de la Universidad Estatal de Colorado, tomando en cuenta la forma de la pila de puente, ancho de pila, tirante de agua, número de Froude, y el diámetro mediano del sedimento para estimar la socavación local.

$$d_s = 0,32 * K_f * a^{0,62} * h^{0,47} * NF^{0,22} * D_{50}^{-0,09} + a \quad (13)$$

$K_f = 1$; para pilas circulares.

$K_f = 0,75$; para pilas de forma hidrodinámica.

$K_f = 1,30$; para pilas rectangulares.

Donde:

d_s = profundidad de socavación, en m.

K_f = factor de corrección por la forma de la pila.

a = ancho de la pila, adicionado como un factor de seguridad, en m.

h = profundidad del flujo directamente aguas arriba de la pila, en m.

NF = número de Froude en la sección directamente aguas arriba de la pila, ver Ec. 12.

D_{50} = diámetro de la partícula de lecho, en m.

g = aceleración de la gravedad, en m/s^2 .

- **MÉTODO DE LAURSEN Y TOCH (1956).**

Método desarrollado en el Instituto e Investigación Hidráulica de Iowa, bajo condiciones de flujo continuo, y validado, posteriormente, con mediciones realizadas en el río Skunk en 1955. Método aplicable a suelos arenosos representado en la Ec. (14).

$$d_s = K_f \cdot K_\alpha \cdot K_g \cdot a \quad (14)$$

Donde:

d_s = profundidad de socavación local, desde el fondo del lecho del río, en m.

a = ancho de la pila, en m.

l = largo de la pila, en m.

r = radio de la pila, en m.

H_s = profundidad del flujo aguas arriba de la pila, en m.

K_f = coeficiente que depende de la forma de la nariz de la pila, ver apéndice tabla 5.

K_g = coeficiente que depende de la relación H_s/a , ver apéndice figura 1.

K_α = coeficiente que depende del ángulo de ataque del flujo y de la geometría de la pila, ver apéndice figura 2.

- **MÉTODO DE LARRAS.**

La Ec. (15) de Larras, deducida a partir de datos de socavación de pilas de varios puentes de Francia, que utiliza el ancho de la pila, la geometría de la pila y el ángulo de ataque de la pila con respecto al agua.

$$d_s = 1,5 * K * a^{0,5} \quad (15)$$

$$K = K_f * K_\alpha \quad (16)$$

Donde:

d_s = profundidad de socavación local, desde el fondo del lecho del río, en m.

a = ancho de la pila en metros m.

K = factor de corrección combinado de Larras.

K_f = coeficiente que depende de la forma de la nariz de la pila, ver apéndice tabla 6 y figura 3.

K_α = coeficiente que depende del ángulo de ataque del flujo y de la geometría de la pila ver apéndice tabla 7.

- **MÉTODO DE LAURSEN I.**

La Ec. (17), deducida inicialmente solo para pilas de puentes rectangulares considerando transporte de sedimentos. Para el caso de pilas con nariz redondeada el coeficiente de 1,5 se sustituye por 1,2.

$$d_s = 1,5 * a^{0,7} * h^{0,3} \quad (17)$$

Donde:

d_s = profundidad de socavación local, desde el fondo del lecho del río, en m.

a = ancho de la pila, en m.

h = profundidad del flujo aguas arriba de la pila, en m.

• MÉTODO DE SHEN I

La Ec. (18) que utiliza el número de Reynolds para estimar la profundidad de socavación

$$d_s = 0,00073 * Re^{0,619} \quad (18)$$

$$Re = V * \frac{a}{\nu} \quad (19)$$

Donde:

d_s = profundidad de socavación local, desde la cota media del lecho del río, en m.

Re = número de Reynolds de la pila.

a = ancho de la pila en metros, en m.

V = velocidad media del flujo aguas arriba, en m/s.

ν = viscosidad cinemática del agua, en m^2/s .

• MÉTODO DE YAROSLAVTZIEV.

Este investigador diferencia la socavación de acuerdo al tipo de material que forma el cauce, proponiendo dos Fórmulas una para material cohesivo y otro para material granular.

Para material granular no cohesivo se tiene la siguiente Ec. (20) que utiliza la geometría de la pila, el ángulo de ataque del agua respecto a la pila, la velocidad del agua, ábacos y el diámetro de la partícula.

$$d_s = \frac{K_f * K_v * (C + K_H) * V^2}{g} - 30 * D_{85} \quad (20)$$

$$\text{Log}(K_v) = \frac{-0,28 * V^2}{g * b} \quad (21)$$

Donde:

S_o = Profundidad de la socavación frente a la pila, medida desde el fondo original, en m.

K_f = Coeficiente que depende de la forma de la nariz de la pila y el ángulo ϕ que forma el eje de la corriente y el eje de la pila y que según el tipo de pila ver apéndice figura 4 a 6.

K_v = Coeficiente definido por la Ec. (21) o ver apéndice figura 7.

h = Tirante de la corriente antes de que se presenta la socavación general, en m.

b_1 = Proyección en un plano perpendicular a la corriente, del ancho y largo de la pila, en m.

C = Coeficiente de corrección que depende del sitio donde esté colocada la pila, tomando un

valor de 0,6 si se encuentra en el cauce principal y de 1 si está en la zona de avenidas.
 K_H = Coeficiente que toma en cuenta el tirante del agua después de producirse la socavación general y que se puede obtener ver apéndice figura 8.
 V = Velocidad media de la corriente aguas arriba de la pila, en m/s.
 D_{85} = Diámetro 85 que, según el autor, es el representativo en el fondo del cauce. Cuando el material del fondo tiene un diámetro menor de 5 mm, el investigador recomienda no considerar el segundo término de la Ec. (20)

- **METODOLOGÍA PROPUESTA POR EL LABORATORIO DE HIDRÁULICA DE LA UAJMS.**

Se determino las Ec (22) a (24) para el modelo experimental en laboratorio de hidráulica de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, mediante una regresión múltiple para 3 tipos distintos de pilas de puentes limitada con un rango desnivel de 0.5 a 1.5 cm o pendiente desde 0.0024 a 0.0071 m/m.

Estimación de socavación local para pilas de puentes circulares.

$$ds = 0,9566 S + 7,7216 Q - 0,0086 \quad (22)$$

Estimación de socavación local para pilas de puentes rectangular.

$$ds = 1,4901 S + 10,7922 Q - 0,0063 \quad (23)$$

Estimación de socavación local para pilas de puentes de nariz triangular.

$$ds = 1,2364 S + 7,1935 Q - 0,0037 \quad (24)$$

Donde:

d_s = profundidad de socavación, en m.

S = pendiente del canal, en m/m.

Q = caudal, en m³/s

Para una mejor estimación de la socavación local en laboratorio, es importante aplicar un factor de corrección, según se indica en la Tabla 8 del apéndice.

1.4. Equipo y materiales.

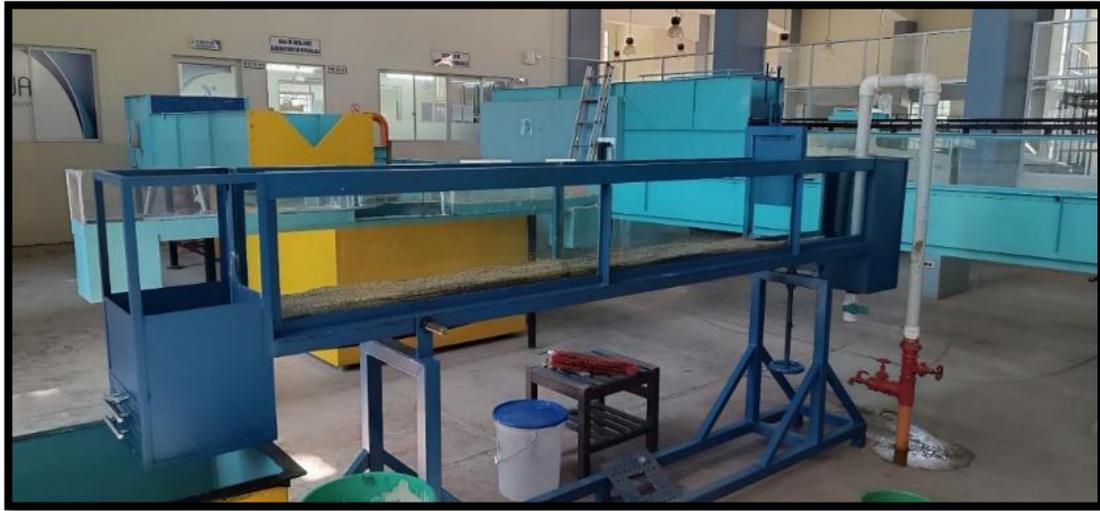


Figura 9: Laboratorio de Hidráulica Modelo Experimental De Socavación



- Arena.
- Pila de madera.
- Bomba de abastecimiento:
- Regla
- Vernier
- Cronómetro
- Tanque de aforo
- Prensa de fijación de pilas.

Figura 10: Arena



Figura 11: Pilas de madera



Figura 12: Vernier, regla y flexómetro



Figura 13: Tanque de aforo.

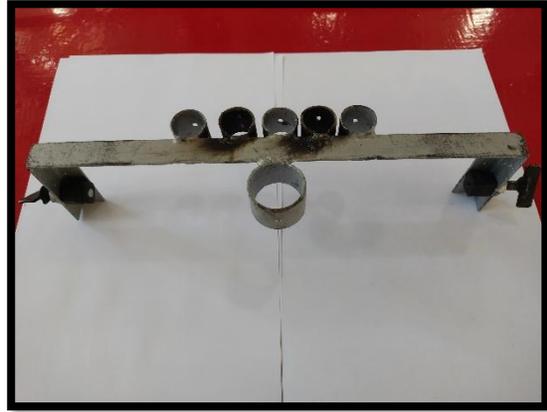


Figura 14: Prensa de fijación.

1.5. Procedimiento Experimental.

1.5.1 Preparación del canal.

- Elegir una geometría “circular, rectangular o nariz triangular” de pila de puente.
- Medir las dimensiones de la pila de puente a usar.
- Colocar el vertedero con una altura de 8 cm en la parte inferior del canal para controlar el nivel de agua ver figura (15).
- Colocar, centrar y fijar las pilas en el canal ver figura (16).
- Colocar la arena en el canal con un espesor de 6 cm, asegurando una distribución uniforme ver figura (17).
- Nivelar la superficie de arena simulando un lecho plano ver figura (17).
- Ajustar la pendiente del canal girando la manivela desde 0,50 a 1,50 cm de altura ver figura (18).



Figura 15: Colocado del vertedero.



Figura 16: colocado y fijado de la pila.



Figura 17: Colocado y nivelado de la arena.



Figura 18: Manivela para cambio de pendiente.



Figura 19: Válvula tipo compuerta.

1.5.2. Inicio de la práctica.

1. Encender la bomba y abrir la válvula ver figura (19).
2. Registrar los tiempos de aforo ver figura (20).
3. Medir la profundidad de flujo antes del foso de socavación.
4. Estimar la profundidad máxima (una vez que la socavación se encuentre en equilibrio aproximadamente entre 10 a 15 minutos) de socavación en la pila ver figura (21).
5. Repetir para tres caudales.
6. Aumentar la pendiente del canal y repetir los pasos desde el punto 2 al 5.

1.5.3. Variables independientes manipulables de la práctica.

- Material del lecho: El material debe ser arena clasificada con un diámetro entre 0.6 a 0.85 mm.
- Espesor del lecho de fondo: aproximadamente 6 cm.
- Régimen de flujo (número de Froude): subcrítico ($NF < 1$)
- Pendiente de fondo: los ensayos se deben desarrollar en un rango de 0,5 a 1,5 cm de altura en la parte superior.



Figura 20: Tanque de aforo.



Figura 21: Estimación de la profundidad de Socavación

- Caudal de modelación: trabajar en un rango de apertura de la válvula desde 4 vueltas.
- Transporte de sedimentos: los ensayos se realizarán en condición de agua clara, esto quiere decir con transporte de sedimentos.
- Sección transversal del canal: los ensayos se realizarán con una geometría del canal rectangular y paredes laterales fijas.
- Condiciones de flujo: permanente.
- Forma de la pila: circular, rectangular o nariz triangular.
- Ancho y material de la pila: corresponde al otorgado por laboratorio.
- Cantidad de pilas: los ensayos se realizaron con una pila por ensayo.

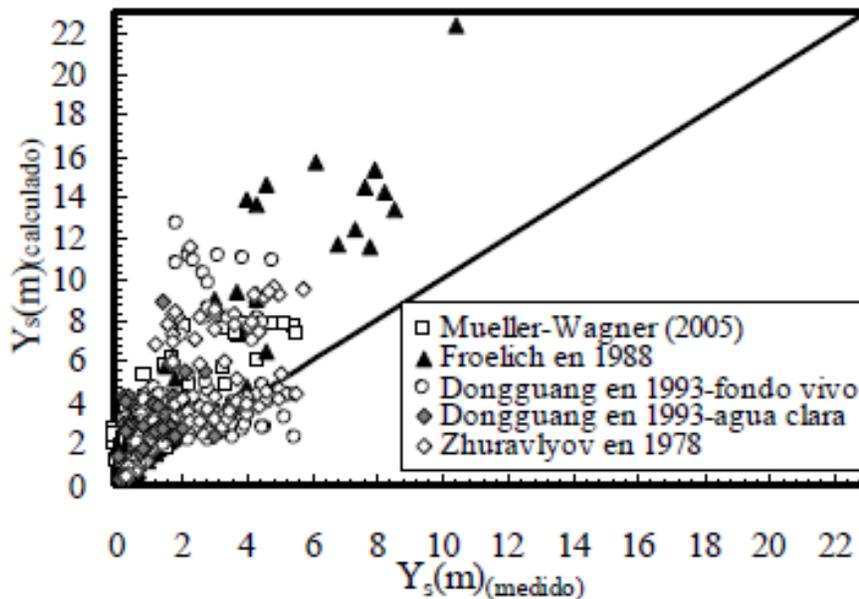


Figura 22: Comparativa de métodos para la estimación de socavación local en pilas.

6. Memoria de cálculo.

Para el procesamiento de los cálculos se debe seguir el siguiente orden

- Estimar la socavación local “ d_s ” con los diferentes métodos establecidas en el punto 1.3.
- Comparar la socavación local “ d_s ” con los diferentes métodos ver figura (22).
- Graficar los resultados de la socavación local “ d_s ”.

6.1. Toma de datos

Planilla de Levantamiento de Datos de Socavación Local en Pilas			
Universitario:		Grupo:	
Docente:		Fecha:	

Datos iniciales de la práctica				
Parámetro	Descripción	Nomenclatura	Medición	Unidad
Hidráulicos	Largo del tanque	L		m
	Ancho del tanque	A		m
	Altura del aforo	h		m
	Tirante de agua	Y		m
	Ancho del canal	B		m
Estructurales	Ancho de la pila	a		cm
	Largo de la pila	l		cm
Fluviales	Tamaño del sedimento	D		mm
	Peso específico del sedimento	γ		N/m ³
	Profundidad de socavación	d_s		cm
	Velocidad crítica	V_c		m/s
	Viscosidad cinemática	ν		m ² /s

Tipo de pila de puente				
Observación N°	Pendiente (m/m)	Tiempo (s)	Tirante de agua (cm)	Socavación (cm)
1				
2				
3				
4				
5				
6				

Tipo de pila de puente				
Observación Nº	Pendiente (m/m)	Tiempo (s)	Tirante de agua (cm)	Socavación (cm)
1				
2				
3				
4				
5				
6				

Tipo de pila de puente				
Observación Nº	Pendiente (m/m)	Tiempo (s)	Tirante de agua (cm)	Socavación (cm)
1				
2				
3				
4				
5				
6				

Tipo de pila de puente				
Observación Nº	Pendiente (m/m)	Tiempo (s)	Tirante de agua (cm)	Socavación (cm)
1				
2				
3				
4				
5				
6				

Apéndice

Tabla 1: Factor de corrección por la forma de la pila K_f . Método CSU. HEC-18. 1993

Forma de la pila	K_f
Nariz cuadrada	1,1
Nariz redondeada	1,0
Cilíndrica	1,0
Punta aguda	0,9
Grupo de Cilindros	1,0

Fuente: Chávez, 2023.

Tabla 3: Factor de corrección por la forma del lecho K_c . Método CSU. HEC-18. 1993.

Condición del lecho	Altura de la duna H (pie)	K_c
socavación en agua clara	N/A	1,1
lecho plano y anti dunas	N/A	1,1
dunas pequeñas	$2 < H < 10$	1,1
dunas medianas	$10 < H < 30$	1,1 a 1,2
dunas grandes	$H > 30$	1,3

Fuente: Chávez, 2023.

Tabla 5: Coeficiente K_f .

FORMA DE LA NARIZ		COEFICIENTE K_f DE SCHNEIBLE
RECTANGULAR $l/a=4$		1,00
SEMICIRULAR $l/a=4$		0,90
ELIPTICA $l/a=4$		0,81
LENTICULAR $l/a=4$		0,69
FORMA DE LA NARIZ		SEGÚN TISON
BISELADA $l/a=4$		0,78
PERFIL HIDRODINÁMICO $l/a=4$		0,75

Tabla 2: Factor de corrección por el ángulo de ataque del flujo K_a . Método CSU. HEC-18. 1993.

Angulo de ataque	$l/a = 4$	$l/a = 8$	$l/a = 12$
0°	1,0	1,0	1,0
15°	1,5	2,0	2,5
30°	2,0	2,8	3,5
45°	2,3	3,3	4,3
90°	2,5	3,9	5,0

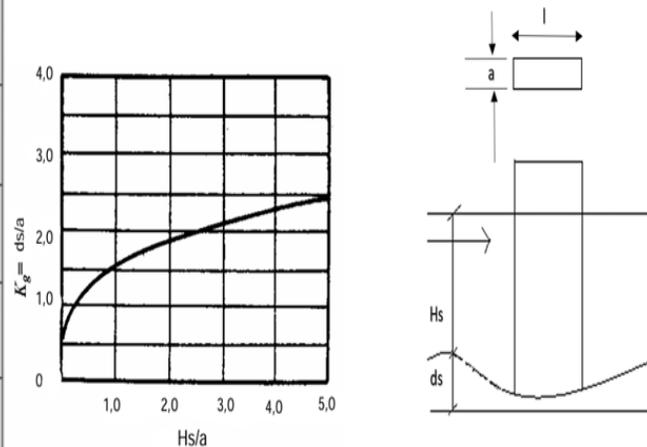
Fuente: Chávez, 2023.

Tabla 4: Criterios para adoptar K_a (HEC-18, 2001).

$D_{50} < 2 \text{ mm}$ o $D_{95} < 20 \text{ mm}$	$K_a = 1,0$
$D_{50} > 2 \text{ mm}$ o $D_{95} > 20 \text{ mm}$	$K_a = 0,40 * (V_R)^{0,15}$

Fuente: Chávez, 2023.

Figura 1: Coeficiente K_g .



Fuente: Muños Lozano, 2018.

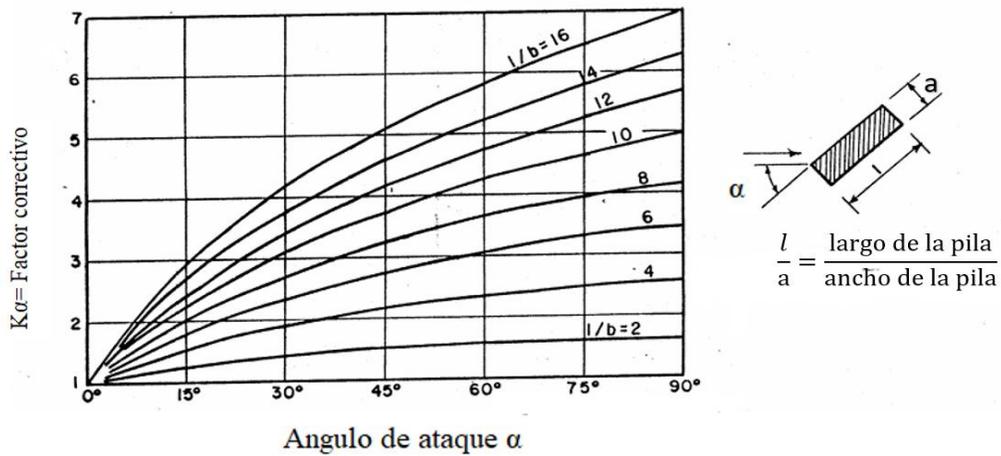


Figura 2: Coeficientes $K\alpha$
Fuente: Muños Lozano 2018.

Tabla 6 : Factor de corrección K_f .

En planta	largo/ancho de la pila	K_f				
		Chatou	Iowa	Tison	Escande	Venkatadri
Circular	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
Lenticular	2,00		0,97			
	3,00		0,76			
	4,00	0,73		0,67		
	7,00			0,41		
Perfil Hidrodinámico	4,00	0,86		0,76	0,76	
Joukowski	4,10					
	4,50					
Elíptica	2,00		0,91			
	3,00		0,83			
Ojival	4,00	0,92		0,86		
Circular doble	4,00	0,95				
Oblongo	1,00		1,00			
	1,50		1,00			
	2,00		1,00			
	3,00		1,00			
	4,00	1,03		1,00		
Rectangular chaflanada	4,00			1,10		
Rectangular	0,25		1,30		1,25	
	4,00			1,40		
	4,50					
	5,30			1,40		
	9,30			1,40		
Nariz triangular 60						0,75
Nariz triangular 90						1,25
Nariz parabólica						0,56

Fuente: Muños Lozano, 2018.

Tabla 7: Factor de corrección $K\alpha$.

Forma de la pila	Largo/ancho	$K\alpha$					
		0°	10°	15°	20°	30°	45°
Circular	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Lenticular	2,00	0,91				1,13	
	3,00	0,76	0,98	1,02	1,24		
	4,00	0,76		1,12		1,50	2,02
Perfil	4,00	0,86		1,09		1,40	1,97
Hidrodinámico	4,10					1,36	
Elíptica	2,00	0,91	0,98	1,06	1,24	1,13	
	3,00	0,83					
Ojival	4,00	0,92		1,18		1,51	
Oblongo	2,00	1,00			1,24	1,17	
	3,00	1,00	1,02	1,13			
	4,00	1,00		1,15		1,52	
	4,50					1,60	
Rectangular	2,00	1,11		1,38		1,56	1,65
	4,00	1,11		1,72		2,17	2,43
	4,00			1,99		2,94	3,28
	4,50	1,11				2,09	
	6,00	1,11		2,20		2,69	3,05
	8,00	1,11		2,23		3,03	3,64
	10,00	1,11		2,48		3,43	4,16

Fuente: Muños Lozano, 2018

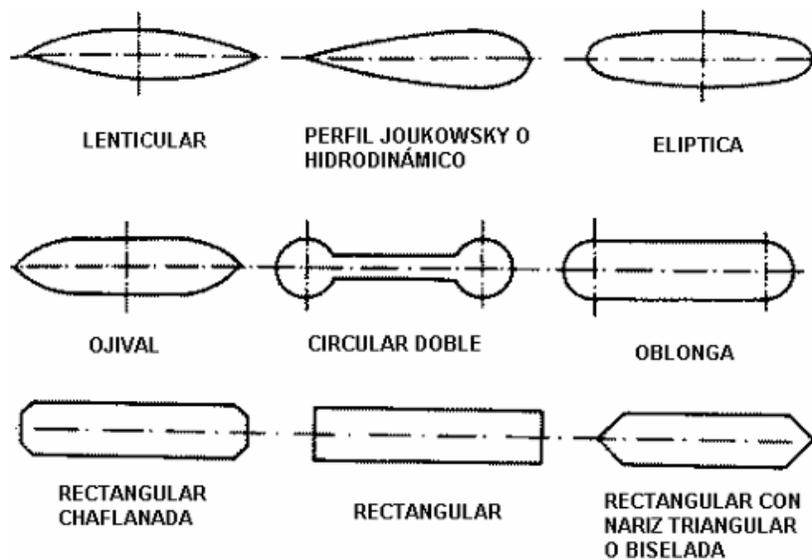


Figura 3: Coeficientes $K\alpha$
Fuente: Muños Lozano, 2018.

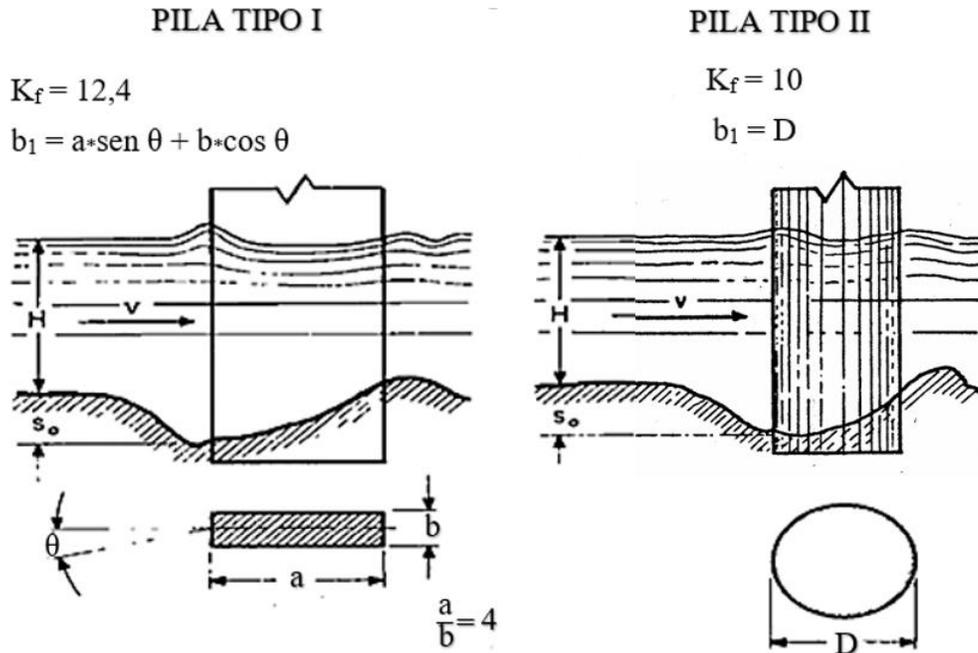


Figura 4: valores de K_f y b para diferentes pilas y distintos ángulos de incidencia.
Fuente: Pérez Morales, 2018

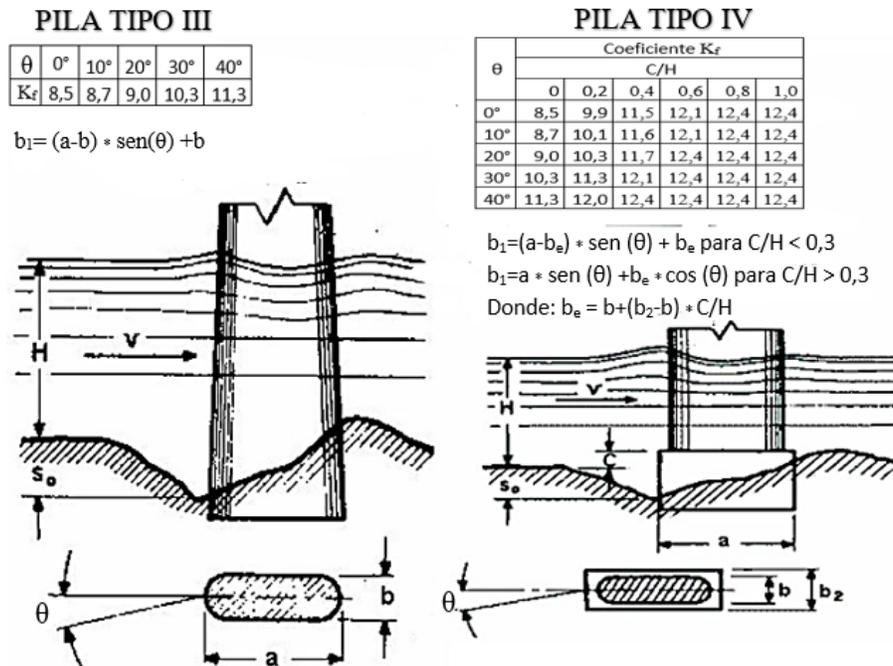


Figura 5: valores de K_f y b para diferentes pilas y distintos ángulos de incidencia.
Fuente: Pérez Morales, 2018

PILA TIPO V

Coeficiente $K_f = 12,4$
 $b_1 = a \cdot \text{sen}(\theta) + b_o \cdot \text{cos}(\theta)$
 Donde $b_o = b + (b_2 - b) \cdot C/H$

PILA TIPO VI

β°	120	90	60
K_f	12,2	10	7,3

$$b_1 = (a - b) \cdot \text{sen}(\theta) + b$$

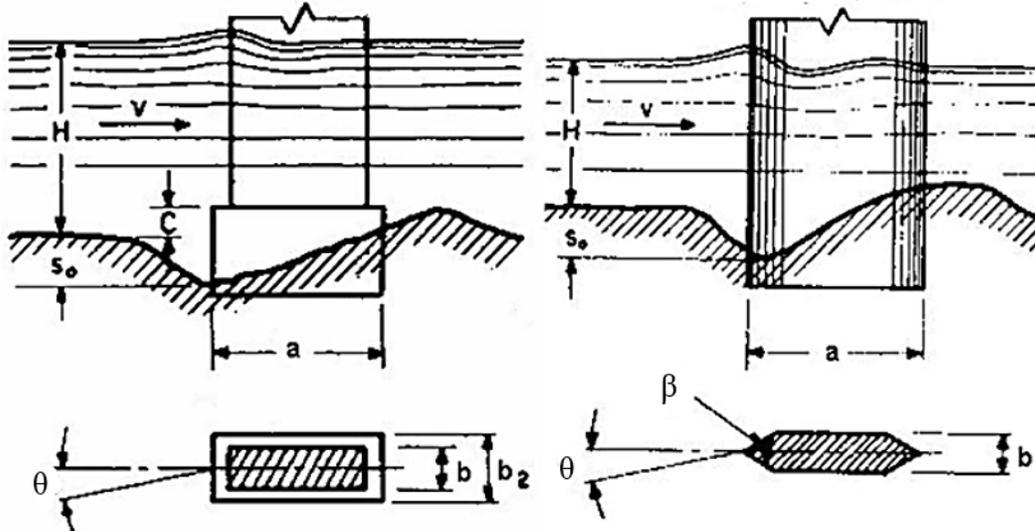


Figura 6: valores de K_f y b para diferentes pilas y distintos ángulos de incidencia.
 Fuente: Pérez Morales, 2018.

METODO DE YAROSLAVTZIEV

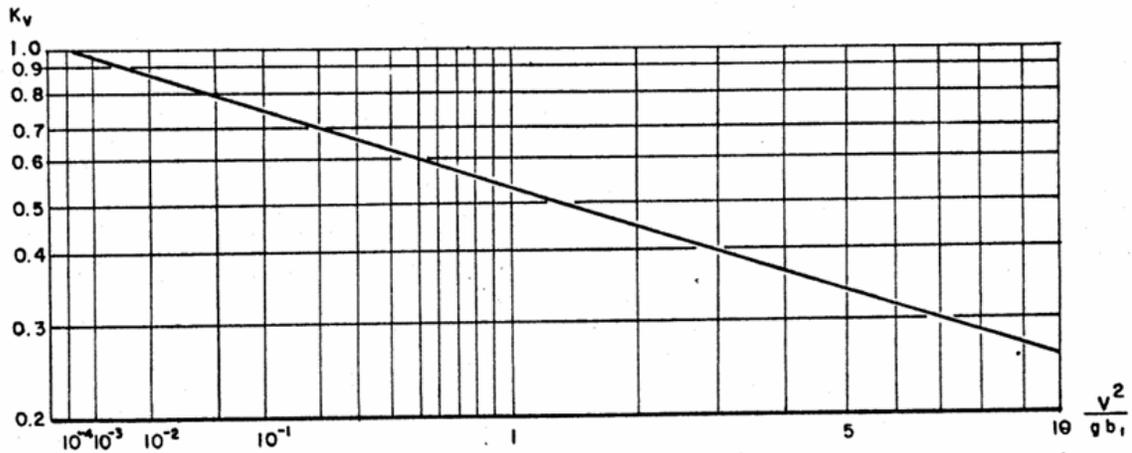


Figura 7: determinación del coeficiente K_v .
 Fuente: Pérez Morales, 2018.

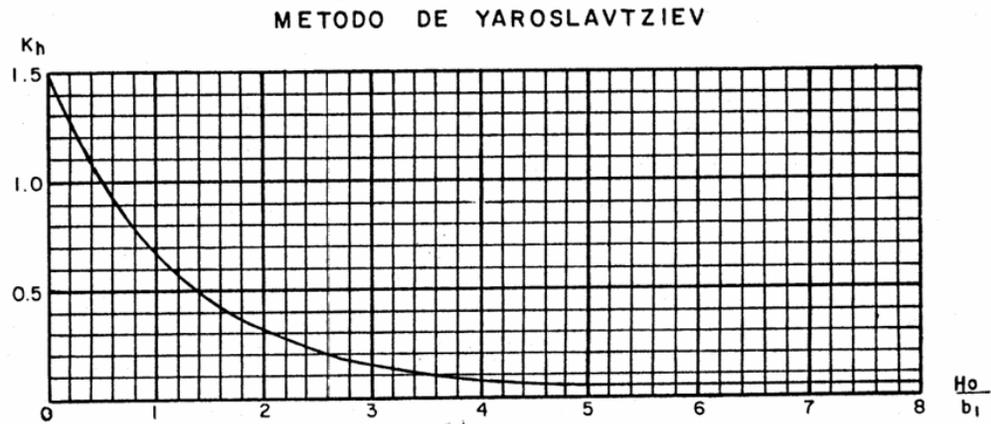


Figura 8: determinación del coeficiente K_H .

Fuente: Pérez Morales, 2018.

Tabla 8: Factor de corrección según la geometría de la pila.

Factor de corrección											
Geometría	Método										
	Arunchalam	Blench	Breusers	Coleman	Colorado	Froehlich	Laursen I	Larras	Melville	Shen I	Yaroslavtziev
Circular	0,41	10,02	0,54	0,65	1,13	0,60	0,55	0,09	0,32	0,13	0,59
Rectangular	0,59	22,41	0,66	0,82	0,55	0,67	0,57	0,07	0,35	0,19	0,69
Triangular	0,45	14,82	1,00	-	0,53	-	0,56	-	-	0,15	0,92