

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**



TESIS

**“INFLUENCIA DEL ÁNGULO DE ORIENTACIÓN Y GRADO DE
PERMEABILIDAD EN LA SOCAVACIÓN LOCAL DE ESPIGONES
PERMEABLES”**

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

ELABORADO POR:

JESÚS ALBERTO PACHAS CHURA

ASESOR:

Dr. JULIO MARTÍN KUROIWA ZEVALLOS

LIMA - PERÚ

2019

© 2019, Universidad Nacional de Ingeniería. Todos los derechos reservados

“El autor autoriza a la UNI a reproducir la Tesis en su totalidad o en parte, con fines estrictamente académicos.”

Pachas Chura, Jesús Alberto

jesuspch.31@gmail.com / jesus_pch8@hotmail.com

932828964

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Julio Kuroiwa Zevallos, por su disposición y apoyo permanente ante mis consultas. Por todas las sugerencias, consejos y palabras de motivación brindados durante el desarrollo de este trabajo.

Al Laboratorio Nacional de Hidráulica de la Universidad Nacional de Ingeniería, por permitirme hacer uso de sus instalaciones y equipos sin los cuales no hubiese sido posible la culminación exitosa de este trabajo, en especial al Msc. Miguel Zubiaur, por brindarme constantemente las facilidades para la utilización del área didáctica. Así mismo, al personal Técnico y Administrativo de dicha institución, por su apoyo y tiempo brindado en la etapa constructiva y de pruebas.

A mis profesores y colegas de pregrado y posgrado de la Facultad de Ingeniería Civil, por cada consejo brindado para lograr los objetivos de este trabajo.

Jesús Alberto Pachas Chura

DEDICATORIA

Dedico este trabajo:

A Dios, por haberme dado la vida, salud y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional.

A mi familia, por haber sido mi apoyo e inspiración a lo largo de toda mi carrera universitaria y a lo largo de toda mi vida.

A mis asesores, profesores, colegas, compañeros y amigos, que me brindaron su apoyo y me acompañaron en esta etapa, aportando a mi formación tanto profesional y como ser humano.

Jesús Alberto Pachas Chura

ÍNDICE

RESUMEN.....	9
ABSTRACT.....	11
PRÓLOGO.....	13
LISTA DE TABLAS.....	15
LISTA DE FIGURAS	17
LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS.....	23
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	26
1.1. GENERALIDADES.....	26
1.2. PROBLEMÁTICA.....	28
1.3. OBJETIVO DEL ESTUDIO.....	29
1.3.1. Objetivo General	29
1.3.2. Objetivos Específicos.....	29
1.4. HIPÓTESIS.....	29
1.4.1. Hipótesis General	29
1.4.2. Hipótesis Específicas	30
CAPÍTULO II. FUNDAMENTO TEÓRICO	31
2.1. SISTEMA DE PROTECCIÓN CON ESPIGONES	31
2.1.1. Generalidades.....	31
2.1.1.1. <i>Definición de espigón.....</i>	<i>31</i>
2.1.1.2. <i>Clasificación de espigones.....</i>	<i>31</i>
2.1.1.3. <i>Objetivo de un sistema de protección con espigones.....</i>	<i>32</i>
2.1.1.4. <i>Funciones de un sistema de protección con espigones</i>	<i>32</i>
2.1.2. Partes de un espigón	33
2.1.2.1. <i>La punta</i>	<i>33</i>
2.1.2.2. <i>La cresta</i>	<i>33</i>
2.1.2.3. <i>El anclaje</i>	<i>33</i>
2.1.2.4. <i>La cimentación</i>	<i>34</i>
2.1.3. Parámetros geométricos en el diseño de espigones	34
2.1.3.1. <i>Forma del espigón</i>	<i>34</i>
2.1.3.2. <i>Longitud del espigón (Brown, 1985).....</i>	<i>35</i>
2.1.3.3. <i>Altura del espigón (Brown, 1985).....</i>	<i>39</i>
2.1.3.4. <i>Localización del espigón (Maza, 1996)</i>	<i>40</i>
2.1.3.5. <i>Orientación del espigón (Brown, 1985)</i>	<i>42</i>

2.1.3.6. <i>Espaciamiento entre espigones (Brown, 1985)</i>	46
2.1.3.7. <i>Permeabilidad del espigón</i>	49
2.2. SOCAVACIÓN EN ESPIGONES	51
2.2.1. Generalidades.....	51
2.2.2. Tipos de socavación en espigones	51
2.2.2.1. <i>Socavación general</i>	51
2.2.2.2. <i>Socavación por contracción</i>	51
2.2.2.3. <i>Socavación local</i>	51
2.3. PARÁMETROS QUE INTERVIENEN EN LA MAGNITUD DE LA SOCAVACIÓN LOCAL EN ESPIGONES.....	51
2.3.1. Parámetros relacionados al fluido (Zhang, 2008)	52
2.3.2. Parámetros relacionados al lecho (Zhang, 2008)	52
2.3.2.1. <i>Tamaño del sedimento</i>	52
2.3.2.2. <i>Distribución granulométrica</i>	52
2.3.3. Parámetros relacionados a la condición de flujo (Zhang, 2008)	53
2.3.3.1. <i>Tirante de flujo</i>	53
2.3.3.2. <i>Velocidad media</i>	53
2.3.4. Parámetros relacionados a la geometría del río (Zhang, 2008).....	53
2.3.5. Parámetros relacionados a la estructura del espigón (Zhang, 2008)....	54
2.3.5.1. <i>Longitud del espigón</i>	54
2.3.5.2. <i>Forma del espigón</i>	54
2.3.5.3. <i>Orientación del espigón</i>	54
2.3.5.4. <i>Permeabilidad del espigón</i>	55
2.4. SOCAVACIÓN LOCAL EN ESPIGONES.....	55
2.4.1. Socavación local en agua clara y lecho vivo (Zhang, 2008)	55
2.4.1.1. <i>Socavación local en agua clara</i>	55
2.4.1.2. <i>Socavación local en lecho vivo</i>	56
2.4.1.3. <i>Variación temporal de socavación local en agua clara y lecho vivo</i>	56
2.4.2. Evolución temporal de la profundidad de socavación.....	57
2.4.2.1. <i>Fórmula de Hoffmans y Pilarczyk (Nasrollahi, 2008)</i>	57
2.4.2.2. <i>Fórmula de Coleman (Zhang, 2008)</i>	58
2.5. SISTEMA DE FLUJO POR LA PRESENCIA DE ESPIGONES	58
2.5.1. Sistema de flujo en planta (Zhang, 2008).....	58
2.5.1.1. <i>Zona de Flujo Principal</i>	59
2.5.1.2. <i>Zona de Estela</i>	59

2.5.1.3. Zona de Transición	60
2.5.2. Sistema de flujo en perfil	60
2.5.2.1. Ola de Proa (Breusers, 1991)	60
2.5.2.2. Flujo descendente (Breusers, 1991)	60
2.5.2.3. Sistema de vórtices (Breusers, 1991)	61
2.5.3. Sistemas de circulación entre espigones (Copeland, 1983)	61
2.5.3.1. Sistema de circulación tipo I	61
2.5.3.2. Sistema de circulación tipo II	61
2.5.3.3. Sistema de circulación tipo III	61
2.5.3.4. Sistema de circulación tipo IV	61
2.5.3.5. Sistema de circulación tipo V	62
2.5.3.6. Sistema de circulación tipo VI	62
2.6. PROFUNDIDAD DE SOCAVACIÓN DE EQUILIBRIO	62
2.6.1. Enfoque del régimen (Zhang, 2008)	62
2.6.1.1. Fórmula de Inglis (1949)	63
2.6.1.2. Fórmula de Ahmad (1953)	63
2.6.1.3. Fórmula de Blench (1969)	63
2.6.2. Enfoque dimensional (Zhang, 2008)	64
2.6.2.1. Fórmula de Garde (1961)	64
2.6.2.2. Fórmula de Liu (1961)	65
2.6.2.3. Fórmula de Gill (1972)	65
2.6.2.4. Fórmula de Melville (1997)	65
2.6.2.5. Fórmula de Nasrollahi (2008)	68
2.6.3. Enfoque analítico (Zhang, 2008)	68
2.6.3.1. Fórmula de Laursen (1960-1963)	68
2.6.3.2. Fórmula de Lim (1997)	69
2.6.4. Resumen	70
CAPÍTULO III. EQUIPO DE ENSAYO Y MÉTODO DE EXPERIMENTACIÓN .	71
3.1. GENERALIDADES	71
3.1.1. Introducción	71
3.1.2. Objetivo	71
3.2. EQUIPO PARA LA PRUEBA EXPERIMENTAL	71
3.2.1. Componentes del sistema de flujo	71
3.2.1.1. Bomba hidráulica electromecánica	72
3.2.1.2. Poza de succión	72

3.2.1.3. Reservorio principal	72
3.2.1.4. Reservorio secundario	73
3.2.1.5. Sistema de pozas	73
3.2.1.6. Canal de trabajo.....	74
3.2.1.7. Poza de salida	75
3.2.1.8. Canal de retorno	76
3.2.2. Equipos de medición.....	76
3.2.2.1. Vertedero	76
3.2.2.2. Limnómetro topográfico	77
3.2.2.3. Nivel topográfico	78
3.2.2.4. Velocímetro perfilador acústico de efecto Doppler (ADV).....	78
3.3. MATERIALES EMPLEADOS EN LOS ENSAYOS	79
3.3.1. Lecho de arena	79
3.3.2. Espigón.....	81
3.4. ESPIGONES.....	81
3.4.1. Forma de los espigones.....	81
3.4.2. Longitud de los espigones.....	82
3.4.3. Altura de los espigones.....	82
3.4.4. Permeabilidad de los espigones.....	83
3.4.5. Ángulo de orientación de espigones	84
3.4.6. Tipo de espigones.....	85
3.4.6.1. Espigón Tipo I	85
3.4.6.2. Espigón Tipo II	86
3.4.6.3. Espigón Tipo III.....	86
3.5. METODOLOGÍA DE EXPERIMENTACIÓN	87
3.5.1. Condiciones hidráulicas de ensayo	87
3.5.1.1. Condición de flujo	87
3.5.1.2. Caudal	87
3.5.1.3. Tirante normal	88
3.5.1.4. Número de Reynolds	88
3.5.1.5. Número de Froude.....	88
3.5.1.6. Esfuerzo de corte en la base.....	88
3.5.1.7. Velocidad de corte	88
3.5.1.8. Índice de movilidad o parámetro de Shields.....	88
3.5.1.9. Índice de inestabilidad.....	89

3.5.1.10. Resumen	89
3.5.2. Ensayos experimentales	90
3.5.3. Procedimiento Experimental	90
3.5.3.1. Replanteo topográfico	90
3.5.3.2. Colocación de espigón de prueba	91
3.5.3.3. Conformación de lecho	91
3.5.3.4. Instalación y habilitación de equipos de medición	92
3.5.3.5. Encendido de bomba y circulación de flujo	93
3.5.3.6. Calibración de condiciones hidráulicas.....	93
3.5.3.7. Registro de tirantes	94
3.5.3.8. Registro de velocidades	95
3.5.3.9. Apagado la bomba y secado de lecho.....	95
3.5.3.10. Levantamiento topográfico	96
3.5.3.11. Remoción de lecho	96
3.5.4. Cronograma de ensayos.....	96
CAPÍTULO IV. RECOPIACIÓN DE DATOS	98
4.1. GENERALIDADES.....	98
4.1.1. Introducción	98
4.1.2. Objetivo.....	98
4.2. VARIABLES DE FLUJO.....	98
4.2.1. Tirante de flujo	99
4.2.2. Velocidad de flujo.....	99
4.2.3. Temperatura del agua.....	101
4.3. VARIABLES DE LECHO.....	102
4.3.1. Levantamiento topográfico de lecho deformado.....	102
4.3.2. Profundidad de socavación total	103
4.3.3. Formas de fondo.....	105
CAPÍTULO V. PRESENTACIÓN E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS. 106	
5.1. GENERALIDADES.....	106
5.1.1. Introducción	106
5.1.2. Objetivos.....	106
5.2. ANÁLISIS DE LECHO.....	107
5.2.1. Hoyo de socavación.....	107
5.2.1.1. Ensayo E45-30	107
5.2.1.2. Ensayo E45-50	108

5.2.1.3. Ensayo E45-70	108
5.2.1.4. Ensayo E90-30	109
5.2.1.5. Ensayo E90-50	109
5.2.1.6. Ensayo E90-70	110
5.2.1.7. Ensayo E135-30	110
5.2.1.8. Ensayo E135-50	111
5.2.1.9. Ensayo E135-70	111
5.2.1.10. Interpretación	112
5.2.2. Tiempo de equilibrio (t_{eq}) y máxima socavación total (dt)	112
5.2.3. Socavación general (d_g)	120
5.2.4. Socavación por contracción (dc)	122
5.2.5. Socavación local (ds)	124
5.2.6. Clasificación de formas de fondo	124
5.2.6.1. Observaciones experimentales	124
5.2.6.2. Clasificación teórica	125
5.2.7. Zonificación fluvial.....	127
5.2.7.1. Zona A: Hoyo de socavación	127
5.2.7.2. Zona B: Sedimentación.....	128
5.2.7.3. Zona C: Fondo Plano	129
5.2.7.4. Zona D: Reconformación	129
5.2.7.5. Zona E: Desviación.....	130
5.2.7.6. Zona F: Contracción.....	130
5.3. ANÁLISIS DE FLUJO.....	131
5.3.1. Distribución de velocidades medias	131
5.3.1.1. Ensayo E45-30	131
5.3.1.2. Ensayo E45-50	133
5.3.1.3. Ensayo E45-70	134
5.3.1.4. Ensayo E90-30	135
5.3.1.5. Ensayo E90-50	136
5.3.1.6. Ensayo E90-70	137
5.3.1.7. Ensayo E135-30	139
5.3.1.8. Ensayo E135-50	140
5.3.1.9. Ensayo E135-70	141
5.3.2. Velocidad de paso y velocidad contraída	142
5.3.3. Caudal de paso por el espigón.....	142

5.4.	VARIABLES DE ESTUDIO	144
5.4.1.	Generalidades.....	144
5.4.2.	Análisis dimensional.....	144
5.4.3.	Clasificación y relación entre variables adimensionales	146
5.4.4.	Presentación de variables adimensionales	147
5.5.	INFLUENCIA DEL GRADO DE PERMEABILIDAD Y ÁNGULO DE ORIENTACIÓN EN LAS VARIABLES SECUNDARIAS	148
5.5.1.	Influencia del grado de permeabilidad y ángulo de orientación en la máxima profundidad de socavación local ($\delta_{max} *$).....	148
5.5.2.	Influencia del grado de permeabilidad y ángulo de orientación en el tiempo de equilibrio ($teq *$)	149
5.5.3.	Influencia del grado de permeabilidad y ángulo de orientación en la velocidad de paso ($Vp *$).....	151
5.5.4.	Influencia del grado de permeabilidad y ángulo de orientación en el caudal de paso ($Qp *$).....	153
5.6.	ANÁLISIS DE CRITERIO MÚLTIPLE.....	154
5.6.1.	Definición	154
5.6.2.	Resultado objetivo.....	154
5.6.3.	Criterios de selección.....	155
5.6.4.	Aportación al resultado objetivo	155
5.6.4.1.	<i>Socavación local</i>	156
5.6.4.2.	<i>Tiempo de equilibrio</i>	156
5.6.4.3.	<i>Velocidad de paso</i>	156
5.6.4.4.	<i>Caudal de paso</i>	156
5.6.5.	Valoración de criterios.....	157
5.6.5.1.	<i>Socavación local máxima</i>	157
5.6.5.2.	<i>Tiempo de equilibrio</i>	160
5.6.5.3.	<i>Velocidad de paso</i>	162
5.6.5.4.	<i>Caudal de paso</i>	165
5.6.6.	Combinación de criterios.....	168
5.6.7.	Solución objetivo.....	168
5.7.	FORMULACIONES MATEMÁTICAS	169
5.7.1.	Formulación empírica para la socavación local	170
5.7.2.	Formulación empírica para el tiempo de equilibrio	171
5.7.3.	Formulación empírica para la velocidad media de paso.....	172
5.7.4.	Formulación empírica para el caudal de paso	173

5.7.5.	Aplicabilidad de las ecuaciones.....	174
5.7.6.	Comparación con investigaciones precedentes	174
CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		176
6.1.	CONCLUSIONES	176
6.1.1.	De las pruebas experimentales:.....	176
6.1.2.	Del análisis del hoyo de socavación.....	176
6.1.3.	Del análisis de tiempo de equilibrio	177
6.1.4.	Del análisis de socavación	178
6.1.5.	Del análisis de las formas de fondo.....	178
6.1.6.	Del análisis de flujo	179
6.1.7.	De las variables de estudio	179
6.1.8.	Del análisis de criterio múltiple	180
6.1.9.	De las relaciones funcionales.....	180
6.2.	RECOMENDACIONES	181
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA		182
ANEXOS		185

RESUMEN

El presente estudio comprende el análisis de la influencia del ángulo de orientación y grado de permeabilidad en el proceso de socavación local de espigones permeables y en las condiciones de flujo y lecho de su entorno. La investigación permitió observar, medir y analizar la interacción flujo-lecho-espigón, considerando tres grados de permeabilidad y tres ángulos de orientación diferentes.

Las pruebas experimentales se realizaron en un canal rectangular recto de 11 m de longitud y 1.9 m de ancho, con pendiente de fondo 0.01 %. El material de lecho consistió en arena fina uniforme de diámetro medio 0.23 mm y peso específico 2.75 g/cm³. El espigón de prueba fue de 0.48 m de longitud proyectada, cuerpo permeable con pilotes, no sumergido y de espesor delgado. La condición de flujo fue bastante cercana a agua clara definida según la teoría de umbral de movimiento de Shields, resultando un caudal de 0.085 m³/s y un tirante medio de 0.175 m. Se construyeron tres tipos de espigón, de 30%, 50% y 70% de permeabilidad, orientados cada uno a 45°, 90° y 135°, dando un total de 9 ensayos. Además, se consideró un décimo ensayo adicional sin estructura para el estudio de socavación general y por contracción.

En el primer capítulo se expresa una introducción al tema de interés de la investigación, enfatizando el uso prometedor de espigones hoy en día. Además, se plantean los objetivos del estudio y las hipótesis que podrían complementar el análisis objetivo.

En el segundo capítulo se ha revisado los conceptos más importantes relacionados con la socavación local en espigones y los parámetros de flujo y lecho que intervienen en su desarrollo. Se expone las formulaciones más relevantes utilizadas hoy en día en las prácticas de la ingeniería relacionadas al diseño de protección con espigones.

En el tercer capítulo se expone el equipo de prueba experimental, los materiales empleados para el lecho y la estructura del espigón, la arquitectura de los tipos de espigón de prueba, la metodología de experimentación y las condiciones de ensayo. También se presenta el programa de pruebas, el protocolo experimental de cada prueba y el cronograma de ejecución.

En el cuarto capítulo se describen los ensayos de laboratorio y se presenta la recopilación de datos registrados, así como la organización de estos para una interpretación más clara y efectiva. Se ha definido dos grupos de variables: variables de lecho y variables de flujo.

En el quinto capítulo se expone el análisis e interpretación de los resultados encontrados. En primer lugar, se presenta un análisis del comportamiento de las variables de lecho y variables de flujo en respuesta a la variación del ángulo de orientación y grado de permeabilidad. Se utiliza un análisis de criterio múltiple para determinar la configuración óptima para un espigón permeable que promueva su máxima funcionabilidad y mínima socavación local. En segundo lugar, se proponen formulaciones matemáticas para las variables de estudio, y se compara con formulaciones de estudios precedentes.

En los resultados se ha observado que el hoyo de socavación se desarrolla y distribuye alrededor de todo el cuerpo del espigón en forma de "V". Los espigones orientados hacia aguas arriba presentan una ligera tendencia a concentrar la socavación en la cabeza y parte media del cuerpo. Los espigones rectos presentan una tendencia a concentrar la socavación en la parte media del cuerpo del espigón. Los espigones orientados hacia aguas abajo presentan una tendencia a concentrar la socavación en la base o talud del espigón. En todos los casos, a medida que se aumenta la permeabilidad, el hoyo se hace más uniforme y menos profundo en toda la longitud del espigón.

Los resultados indican que la socavación local tiene tendencia a disminuir con el aumento del ángulo de orientación del espigón y del grado de permeabilidad.

La solución objetivo más conveniente para el objetivo planteado es el escenario correspondiente a un espigón orientado 124° y con grado de permeabilidad 36%.

Las funciones obtenidas servirán para la estimación de la socavación local y otras variables de interés en espigones permeables en investigaciones futuras, y se puede tomar en cuenta en el diseño de espigones permeables en el campo de la ingeniería en conjunto con otras ecuaciones empíricas actualmente utilizadas.

ABSTRACT

The present study includes the analysis of orientation and degree of permeability in the process of local scouring of permeable spur dikes and in the flow and bed conditions of their environment. The investigation allowed us to monitor measure and analyze the flow-bed-spur dyke interaction, considering three degrees of permeability and three different orientation angles.

The experimental tests were based on a straight rectangular channel 11 m long and 1.9 m wide, with a bottom slope of 0.01%. The bed material consisted of uniform fine sand with a mean diameter of 0.23 mm and a specific weight of 2.75 g/cm³. The flume has 0.48 m projected length, body permeable with piles, not submerged and thin. The flow condition was quite close to clear water defined according to the Shields movement threshold theory, resulting in a flow rate of 0.085 m³/s and a mean depth of 0.175 m. Three types of spur dikes were constructed, 30%, 50% and 70% permeability, each oriented at 45°, 90° and 135°, giving a total of 9 tests. In addition, a tenth additional test without structure was considered for the study of general scour and contraction.

In the first chapter an introduction to the topic of research interest is expressed, emphasizing the promising use of spur dikes nowadays. In addition, the objectives of the study and the hypotheses that could complement the objective analysis are proposed.

In the second chapter, the most important concepts related to the local scour in spur dikes and the flow and bed parameters that intervene in their development have been reviewed. It exposes the most relevant formulations used today in the engineering practices related to the design of protection with spur dikes.

In the third chapter the experimental test equipment, the materials used for the bed and the structure of the spur dikes, the architecture of the types of test spur dykes, the experimentation methodology and the test conditions are exposed. The test program, the experimental protocol of each test and the execution schedule are also presented.

In a fourth chapter, laboratory tests have been described and the collection of recorded data is presented, as well as the organization of these for a clearer and

more effective interpretation. Two groups of variables have been defined: bed variables and flow variables.

In a fifth chapter the analysis and interpretation of the results found is exposed. First, an analysis of the behavior of the bed variables and flow variables is presented in response to the variation of the orientation angle and degree of permeability. A multiple criterion analysis is used to determine the optimal configuration for a permeable spur dyke that promotes maximum functionality and minimal local scour. Secondly, mathematical formulations are proposed for the study variables, and compared with formulations of previous studies.

In the results it has been observed that the scour hole develops and distributes around the whole body of the spur dikes in form of "V" shape. The spur dikes facing upstream have a slight tendency to concentrate scour in the head and middle part of the body. The straight spur dikes have a tendency to concentrate the scour in the middle part of the body. The spur dikes facing downstream have a tendency to concentrate scour at the base or slope of the spur dyke. In all cases, as the permeability increases, the hole becomes more uniform and shallower along the length of the spur dikes.

The results indicate that the local scour has a tendency to decrease with the increase in the orientation angle of the spur dyke and the degree of permeability.

The most convenient objective solution for the proposed objective is the scenario corresponding to a spur dyke oriented 124° and with a permeability degree of 36%.

The functions obtained will serve for the estimation of the local scour and other variables of interest in permeable spur dikes in future research and can be taken into account in the design of permeable spur dikes in the field of engineering in conjunction with other empirical equations currently used.

PRÓLOGO

El crecimiento económico del Perú en los últimos 25 años ha permitido una mayor asignación de recursos para poder expandir la red vial y mejorar la conectividad en aquellas zonas más alejadas del país.

En las zonas de Selva Baja la disponibilidad de materiales es muy pobre y la extracción de áridos potencialmente implica la deforestación de los bosques o la extracción de material del cauce. Ambos pueden ocasionar daños ambientales irreversibles. En el segundo caso la remoción de material del cauce puede ocasionar desestabilización, erosión excesiva del material del fondo y la emisión de metilmercurio al medio ambiente.

Los ríos de la Selva Baja, caracterizados por ser anchos y de baja pendiente, migran lateralmente como resultado de procesos geomorfológicos complejos. La erosión de las márgenes puede comprometer la infraestructura construida cerca de ellas y finalmente puede ocasionar pérdidas humanas y económicas.

Se han propuesto una serie de métodos para controlar la erosión en estos tipos de cursos de agua, como son los espigones, retardadores de flujo, etc. Se han probado soluciones con una serie de materiales como espigones de rellenos de tierra protegidos con filtros de grava o geotextiles y enrocado, espigones de gaviones, etc. En ciertas zonas del país no se dispone, a un precio razonable, de enrocado o cantos y bolones para relleno de gaviones. Por este motivo se prueban soluciones como geobolsas y similares. Los espigones impermeables generan una marcada erosión alrededor de la punta interior, que es la que desvía el flujo hacia el interior del cauce. Por este motivo se ha propuesto estudiar, con mayor detalle, el uso de espigones permeables formados por pilotes. Se ha estudiado tanto la erosión como los patrones de deposición y flujo alrededor de estas estructuras.

El Señor Jesús Alberto Pachas Chura, bachiller en Ingeniería Civil de nuestra institución, ha desarrollado el presente estudio experimental para poder analizar los patrones de erosión alrededor de espigones permeables conformados a base de pilotes. Se ha estudiado tanto la influencia del ángulo de orientación como el grado de permeabilidad de los espigones. La tesis "Influencia del ángulo de orientación y grado de permeabilidad en la socavación local de espigones

permeables” contribuirá, en parte, a entender la influencia combinada de la permeabilidad y el ángulo de inclinación con respecto al flujo en la máxima erosión que pueda ocurrir alrededor de estas obras de protección. La fase experimental se llevó a cabo en un canal del Laboratorio Nacional de Hidráulica “Alfonso Alcedán La Cruz” de la UNI (LNH) que permitió visualizar los patrones de flujo y de erosión, así como registrar los campos de velocidad con un Velocímetro Perfilador Acústico de Efecto Doppler (AVD perfilador). Los resultados de esta tesis, junto con otros estudios realizados por otros investigadores y los que se puedan desarrollar en el futuro, contribuirán a mejorar el diseño de las obras de protección de las márgenes de ríos anchos. Los pilotes pueden ser trasladados con relativa facilidad e incluso podrían ser retirados o demolidos con mayor facilidad que otro tipo de estructuras cuando no sean necesarios.

Los resultados de esta investigación son prometedores. Se ha encontrado la combinación óptima de permeabilidad y orientación con respecto al flujo que minimiza la máxima profundidad de erosión y se ha comparado los resultados con los de los otros investigadores, hallando una relación general para estimar la erosión local en función del grado de permeabilidad y ángulo de orientación. Se espera continuar las investigaciones en el LNH con otros investigadores y presentar los resultados en publicaciones impresas arbitradas en el futuro cercano.

Dr. Julio M. Kuroiwa Zevallos

Asesor

Profesor Principal – Facultad de Ingeniería Civil

LISTA DE TABLAS

Tabla N° 2.1	Factor de Forma. Fuente: Melville (1992)	67
Tabla N° 2.2	Factor de alineamiento. Fuente: Melville (1992)	67
Tabla N° 3.1	Parámetros de arena utilizada. Fuente: Propia	80
Tabla N° 3.2	Permeabilidad de espigones. Fuente: Propia	83
Tabla N° 3.3	Condiciones Hidráulicas de experimentación. Fuente: Propia	89
Tabla N° 3.4	Ensayos experimentales. Fuente Propia	90
Tabla N° 3.5	Secuencia diaria de ensayo típico. Fuente: Propia	97
Tabla N° 4.1	Temperatura (°C) del agua. Fuente: Propia	101
Tabla N° 4.2	Dimensiones de formas de fondo típicas. Fuente: Propia	105
Tabla N° 5.1	Evolución de socavación (cm) en puntos de control. Ensayo E45-30. Fuente: Propia	113
Tabla N° 5.2	Evolución de socavación (cm) en puntos de control. Ensayo E45-50. Fuente: Propia	113
Tabla N° 5.3	Evolución de socavación (cm) en puntos de control. Ensayo E45-70. Fuente: Propia	114
Tabla N° 5.4	Evolución de socavación (cm) en puntos de control. Ensayo E90-30. Fuente: Propia	114
Tabla N° 5.5	Evolución de socavación (cm) en puntos de control. Ensayo E90-50. Fuente: Propia	115
Tabla N° 5.6	Evolución de socavación (cm) en puntos de control. Ensayo E90-70. Fuente: Propia	115
Tabla N° 5.7	Evolución de socavación (cm) en puntos de control. Ensayo E135-30. Fuente: Propia	116
Tabla N° 5.8	Evolución de socavación (cm) en puntos de control. Ensayo E135-50. Fuente: Propia	116
Tabla N° 5.9	Evolución de socavación (cm) en puntos de control. Ensayo E135-70. Fuente: Propia	117
Tabla N° 5.10	Tiempo de equilibrio y socavación en puntos de control principales. Fuente: Propia	119
Tabla N° 5.11	Socavación General promedio (cm) en puntos de control principal. Fuente: Propia	120
Tabla N° 5.12	Socavación por contracción (cm) en puntos de control principal. Fuente: Propia	123
Tabla N° 5.13	Socavación Local (cm) en puntos de control principal. Fuente: Propia	124

Tabla N° 5.14	Velocidades de paso y de contracción. Fuente: Propia	142
Tabla N° 5.15	Caudal de paso por el espigón de prueba. Fuente: Propia	143
Tabla N° 5.16	Variables de estudio. Fuente: Propia	144
Tabla N° 5.17	Exponentes dimensionales de variables utilizadas. Fuente: Propia	145
Tabla N° 5.18	Cálculo de variables adimensionales. Fuente: Propia	147
Tabla N° 5.19	Valoración de socavación máxima adimensional. Fuente: Propia	157
Tabla N° 5.20	Valoración del gradiente de socavación máxima adimensional. Fuente: Propia	158
Tabla N° 5.21	Intersección de valoraciones. Fuente: Propia	159
Tabla N° 5.22	Valoración final del criterio socavación máxima. Fuente: Propia	159
Tabla N° 5.23	Valoración del tiempo de equilibrio adimensional. Fuente: Propia	160
Tabla N° 5.24	Valoración del gradiente de tiempo de equilibrio adimensional. Fuente: Propia	161
Tabla N° 5.25	Intersección de valoraciones. Fuente: Propia	161
Tabla N° 5.26	Valoración final del criterio tiempo de equilibrio. Fuente: Propia	162
Tabla N° 5.27	Valoración de la velocidad de paso adimensional. Fuente: Propia	163
Tabla N° 5.28	Valoración del gradiente de velocidad de paso adimensional. Fuente: Propia	163
Tabla N° 5.29	Intersección de valoraciones. Fuente: Propia	164
Tabla N° 5.30	Valoración final del criterio velocidad de paso. Fuente: Propia	164
Tabla N° 5.31	Valoración del caudal de paso adimensional. Fuente: Propia	165
Tabla N° 5.32	Valoración del gradiente del caudal de paso adimensional. Fuente: Propia	166
Tabla N° 5.33	Intersección de valoraciones. Fuente: Propia	167
Tabla N° 5.34	Valoración final del criterio caudal de paso. Fuente: Propia	167
Tabla N° 5.35	Ordenación de regiones solución. Fuente: Propia	169
Tabla N° 5.36	Datos medidos en laboratorio. Fuente: Propia	170

LISTA DE FIGURAS

Figura N° 2.1	Clasificación de Espigones. Fuente: Propia	31
Figura N° 2.2	Formas en planta de espigones. Fuente: Suárez (2001)	35
Figura N° 2.3	Variación de socavación local adimensional (ds^*) con la longitud del espigón (L) como porcentaje del ancho de canal (B). Fuente: Brown (1985)	36
Figura N° 2.4	Variación de velocidad adimensional en la punta del espigón (VS^*) con la longitud del espigón (L) como porcentaje del ancho de canal (B). Fuente: Brown (1985)	36
Figura N° 2.5	Variación del ángulo de deflexión de flujo (ϕ) con la longitud del espigón (L) como porcentaje del ancho de canal (B). Fuente: Brown (1985)	37
Figura N° 2.6	Variación de la longitud de talud protegido individualmente adimensional (LTL) con la longitud del espigón (L) como porcentaje del ancho de canal (B). Fuente: Brown (1985)	37
Figura N° 2.7	Comparación de patrones de socavación para espigones sumergidos (A) y no sumergidos (B). Fuente: Brown (1985)	39
Figura N° 2.8	Trazo de eje de río. Fuente: Maza (1996)	40
Figura N° 2.9	Eje de río y radios de curvatura. Fuente: Maza (1996)	41
Figura N° 2.10	Orientación de un espigón. Fuente: Brown (1985)	42
Figura N° 2.11	Variación de los patrones de flujo con la orientación de un espigón. Fuente: Ahmad (1953)	44
Figura N° 2.12	Variación de los patrones de socavación local con la orientación de un espigón. Fuente: Ahmad (1953)	45
Figura N° 2.13	Componentes de flujo en la vecindad del espigón sumergido. Fuente: Brown (1985)	46
Figura N° 2.14	Variación de posición del talweg con el ángulo de orientación. Fuente: Brown (1985)	46
Figura N° 2.15	Angulo de deflexión de flujo. Fuente: Brown (1985)	47
Figura N° 2.16	Relación entre el ángulo de deflexión (ϕ) y permeabilidad (R) con la longitud del espigón (L) como porcentaje del ancho de canal (B). Fuente: Brown (1985)	48
Figura N° 2.17	Criterio del talweg para separación de espigones. Fuente: Brown (1985)	48
Figura N° 2.18	Variación del talweg con el espaciamiento entre espigones. Fuente: Brown (1985)	49
Figura N° 2.19	Variación del ángulo de deflexión (ϕ) con la permeabilidad (R) para diferentes ángulos de orientación (α). Fuente: Brown (1985)	50
Figura N° 2.20	Turbulencia adicional en espigón impermeable sumergido. Fuente: Brown (1985)	50

Figura N° 2.21	Tipos de socavación en canales compuestos. Fuente: Melville (1995)	53
Figura N° 2.22	Variación temporal de la socavación local. Fuente: Chaber y Engeldinger (1956)	56
Figura N° 2.23	Variación de la socavación local con el esfuerzo cortante. Fuente: Chaber y Engeldinger (1956)	56
Figura N° 2.24	Flujo típico alrededor de un espigón visto en planta. Fuente: Zhang (2008)	59
Figura N° 2.25	Flujo típico alrededor de un espigón visto en perfil. Fuente: Zhang (2008)	60
Figura N° 2.26	Sistemas de flujo entre espigones. Fuente: Copeland (1983)	62
Figura N° 2.27	Resumen de formulaciones para socavación en espigones. Fuente: Propia	70
Figura N° 3.1	Esquema de sistema de recirculación para ensayos. Fuente: Propia	72
Figura N° 3.2	Fotografía de reservorio principal. Fuente: Propia	73
Figura N° 3.3	Sistema de pozas. Fuente: Propia	74
Figura N° 3.4	Canal de trabajo. Fuente: Propia	75
Figura N° 3.5	Poza de salida y compuerta clapeta. Fuente: Propia	75
Figura N° 3.6	Canal de retorno. Fuente: Propia	76
Figura N° 3.7	Limnómetro para medición de caudales. Fuente: Propia	77
Figura N° 3.8	Limnómetro instalado en puente móvil sobre canal de trabajo. Fuente: Propia	78
Figura N° 3.9	Nivel topográfico. Fuente: Propia	78
Figura N° 3.10	Velocímetro perfilador acústico de efecto Doppler. Fuente: Propia	79
Figura N° 3.11	Arena utilizada como lecho fluvial. Fuente: Propia	80
Figura N° 3.12	Curva granulométrica de la arena utilizada. Fuente: Propia	80
Figura N° 3.13	Varillas de acero en la construcción de espigones. Fuente: Propia	81
Figura N° 3.14	Vista en planta de longitud de espigón de prueba. Fuente: Propia	82
Figura N° 3.15	Altura de espigón de prueba. Fuente: Propia	83
Figura N° 3.16	Esquema de permeabilidad de espigón de prueba. Fuente: Propia	84
Figura N° 3.17	Permeabilidad de espigones de prueba. Fuente: Propia	84
Figura N° 3.18	Orientación de espigones de prueba. Fuente: Propia	85
Figura N° 3.19	Fotografía de espigón tipo I. Fuente: Propia	85

Figura N° 3.20	Fotografía de espigón tipo II. Fuente: Propia	86
Figura N° 3.21	Fotografía de espigón tipo III. Fuente: Propia	87
Figura N° 3.22	Hidrograma de ensayos. Fuente: Propia	88
Figura N° 3.23	Colocación de espigón de prueba. Fuente: Propia	91
Figura N° 3.24	Conformación de lecho. Fuente: Propia	92
Figura N° 3.25	Inicialización de equipos de medición. Fuente: Propia	92
Figura N° 3.26	Inicio de circulación de flujo. Fuente: Propia	93
Figura N° 3.27	Fijación del caudal de flujo. Fuente: Propia	94
Figura N° 3.28	Fijación de tirante de flujo. Fuente: Propia	94
Figura N° 3.29	Medición de tirantes de flujo alrededor del espigón. Fuente: Propia	95
Figura N° 3.30	Secado vertical de lecho. Fuente: Propia	96
Figura N° 3.31	Cronograma de experimentación. Fuente: Propia	97
Figura N° 4.1	Puntos de medición y secciones de control (mm). Fuente: Propia	99
Figura N° 4.2	Direcciones de componentes de velocidad registrada. Fuente: Propia	100
Figura N° 4.3	Forma de medición de velocidades de flujo. Fuente: Web Nortek Vectrino www.nortekgroup.com	100
Figura N° 4.4	Perfil de velocidad típica registrada en un punto de medición. Fuente: Propia	101
Figura N° 4.5	Zona de influencia para levantamiento deformado. Se muestran las dimensiones en milímetros. Fuente: Propia	103
Figura N° 4.6	Puntos de control de socavación para ensayos con orientación 45°. Se muestran las dimensiones en milímetros. Fuente: Propia	103
Figura N° 4.7	Puntos de control de socavación para ensayos con orientación 90°. Se muestran las dimensiones en milímetros. Fuente: Propia	104
Figura N° 4.8	Puntos de control de socavación para ensayos con orientación 135°. Se muestran las dimensiones en milímetros. Fuente: Propia	104
Figura N° 4.9	Dimensiones registradas de formas de fondo características. Fuente: Propia	105
Figura N° 5.1	Topografía de hoyo de socavación (cm) y puntos de control, ensayo E45-30. Sistema coordinado en milímetros. Fuente: Propia	107
Figura N° 5.2	Topografía de hoyo de socavación (cm) y puntos de control, ensayo E45-50. Sistema coordinado en milímetros. Fuente: Propia	108

Figura N° 5.3	Topografía de hoyo de socavación (cm) y puntos de control, ensayo E45-70. Sistema coordinado en milímetros. Fuente: Propia	108
Figura N° 5.4	Topografía de hoyo de socavación (cm) y puntos de control, ensayo E90-30. Sistema coordinado en milímetros. Fuente: Propia	109
Figura N° 5.5	Topografía de hoyo de socavación (cm) y puntos de control, ensayo E90-50. Sistema coordinado en milímetros. Fuente: Propia	109
Figura N° 5.6	Topografía de hoyo de socavación (cm) y puntos de control, ensayo E90-70. Sistema coordinado en milímetros. Fuente: Propia	110
Figura N° 5.7	Topografía de hoyo de socavación (cm) y puntos de control, ensayo E135-30. Sistema coordinado en milímetros. Fuente: Propia	110
Figura N° 5.8	Topografía de hoyo de socavación (cm) y puntos de control, ensayo E135-50. Sistema coordinado en milímetros. Fuente: Propia	111
Figura N° 5.9	Topografía de hoyo de socavación (cm) y puntos de control, ensayo E135-70. Sistema coordinado en milímetros. Fuente: Propia	111
Figura N° 5.10	Evolución temporal (t) de socavación total (ds) para diferentes grados de permeabilidad (R), Espigón a 45°. Fuente: Propia	117
Figura N° 5.11	Evolución temporal (t) de socavación total (ds) para diferentes grados de permeabilidad (R), Espigón a 90°. Fuente: Propia	118
Figura N° 5.12	Evolución temporal (t) de socavación total (ds) para diferentes grados de permeabilidad (R), Espigón a 135°. Fuente: Propia	118
Figura N° 5.13	Variación del tiempo de equilibrio (teq) con el ángulo de orientación (α) y grado de permeabilidad (R). Fuente: Propia	119
Figura N° 5.14	Topografía de lecho deformado (cm) por socavación general. Sistema coordinado en milímetros. Fuente: Propia	121
Figura N° 5.15	Socavación general en Sección 1. Fuente: Propia	121
Figura N° 5.16	Socavación general en Sección 2. Fuente: Propia	121
Figura N° 5.17	Socavación general en Sección 3. Fuente: Propia	122
Figura N° 5.18	Deducción de socavación por contracción. Fuente: Propia	122
Figura N° 5.19	Deducción de socavación por contracción. Fuente: Propia	123
Figura N° 5.20	Dimensiones de forma de fondo típica. Fuente: Propia	125
Figura N° 5.21	Clasificación de formas de fondo según Liu. Fuente: Liu (1957)	126
Figura N° 5.22	Clasificación de formas de fondo según Vide. Fuente: Vide (2003)	126

Figura N° 5.23	Zonificación fluvial típica en ensayos. Sistema coordinado en centímetros. Fuente: Propia	127
Figura N° 5.24	Fotografía típica de zona A “hoyo de socavación”. Fuente: Propia	128
Figura N° 5.25	Fotografía típica de zona B “sedimentación”. Fuente: Propia	128
Figura N° 5.26	Fotografía típica de zona C “fondo plano”. Fuente: Propia	129
Figura N° 5.27	Fotografía típica de zona D “reconformación”. Fuente: Propia	130
Figura N° 5.28	Fotografía típica de zona E “desviación”. Fuente: Propia	130
Figura N° 5.29	Fotografía típica de zona F “contracción”. Fuente: Propia	131
Figura N° 5.30	Mapa de distribución de velocidad media (mm/s), ensayo E45-30. Sistema coordinado en milímetros. Fuente: Propia	132
Figura N° 5.31	Mapa de distribución de velocidad media (mm/s), ensayo E45-50. Sistema coordinado en milímetros. Fuente: Propia	133
Figura N° 5.32	Mapa de distribución de velocidad media (mm/s), ensayo E45-70. Sistema coordinado en milímetros. Fuente: Propia	134
Figura N° 5.33	Mapa de distribución de velocidad media (mm/s), ensayo E90-30. Sistema coordinado en milímetros. Fuente: Propia	135
Figura N° 5.34	Mapa de distribución de velocidad media (mm/s), ensayo E90-50. Sistema coordinado en milímetros. Fuente: Propia	136
Figura N° 5.35	Mapa de distribución de velocidad media (mm/s), ensayo E90-70. Sistema coordinado en milímetros. Fuente: Propia	138
Figura N° 5.36	Mapa de distribución de velocidad media (mm/s), ensayo E135-30. Sistema coordinado en milímetros. Fuente: Propia	139
Figura N° 5.37	Mapa de distribución de velocidad media (mm/s), ensayo E135-50. Sistema coordinado en milímetros. Fuente: Propia	140
Figura N° 5.38	Mapa de distribución de velocidad media (mm/s), ensayo E135-70. Sistema coordinado en milímetros. Fuente: Propia	141
Figura N° 5.39	Clasificación y relación entre variables. Fuente: Propia	147
Figura N° 5.40	Máxima socavación adimensional δ_{max}^* versus orientación y permeabilidad. Fuente: Propia	148
Figura N° 5.41	Gradiente de máxima socavación adimensional ($\nabla\delta_{max}^*$) versus orientación y permeabilidad. Fuente: Propia	149
Figura N° 5.42	Tiempo de equilibrio adimensional (teq^*) versus orientación y permeabilidad. Fuente: Propia	150
Figura N° 5.43	Gradiente de tiempo de equilibrio adimensional (%) versus orientación y permeabilidad. Fuente: Propia	151

Figura N° 5.44	Velocidad de paso adimensional (Vp^*) versus orientación y permeabilidad. Fuente: Propia	151
Figura N° 5.45	Gradiente de velocidad de paso adimensional (∇VP^*) versus orientación y permeabilidad. Fuente: Propia	152
Figura N° 5.46	Caudal de paso adimensional (Qp^*) versus orientación y permeabilidad. Fuente: Propia	153
Figura N° 5.47	Gradiente de caudal de paso adimensional (∇QP^*) versus orientación y permeabilidad. Fuente: Propia	154
Figura N° 5.48	Esquema de análisis de criterio múltiple Fuente: Propia	155
Figura N° 5.49	Valoración de socavación local máxima adimensional. Fuente: Propia	158
Figura N° 5.50	Valoración del gradiente de socavación máxima adimensional. Fuente: Propia	158
Figura N° 5.51	Valoración de la socavación local máxima adimensional al objetivo buscado. Fuente: Propia	159
Figura N° 5.52	Valoración del tiempo de equilibrio adimensional. Fuente: Propia	160
Figura N° 5.53	Valoración del gradiente de tiempo de equilibrio adimensional. Fuente: Propia	161
Figura N° 5.54	Valoración del tiempo de equilibrio adimensional al objetivo buscado. Fuente: Propia	162
Figura N° 5.55	Valoración de la velocidad de paso adimensional. Fuente: Propia	163
Figura N° 5.56	Valoración del gradiente de velocidad de paso adimensional a la máxima funcionalidad del espigón permeable. Fuente: Propia	164
Figura N° 5.57	Valoración de la velocidad de paso adimensional al objetivo buscado. Fuente: Propia	165
Figura N° 5.58	Valoración del caudal de paso adimensional. Fuente: Propia	166
Figura N° 5.59	Valoración del gradiente del caudal de paso adimensional. Fuente: Propia	166
Figura N° 5.60	Valoración del caudal de paso adimensional al objetivo buscado. Fuente: Propia	167
Figura N° 5.61	Combinación de criterios múltiples. Fuente: Propia	168
Figura N° 5.62	Análisis de solución objetivo. Fuente: Propia	168
Figura N° 5.63	Curvas de regresión para socavación local. Fuente: Propia	171
Figura N° 5.64	Curvas de regresión para tiempo de equilibrio. Fuente: Propia	172
Figura N° 5.65	Curvas de regresión para velocidad media de paso. Fuente: Propia	173
Figura N° 5.66	Curvas de regresión para caudal de paso. Fuente: Propia	174
Figura N° 5.67	Comparación de socavación medida y calculada. Fuente: Propia	175

LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

LISTA DE SIMBOLOS

a_r	:	Longitud de tramo recto de río.
B	:	Ancho de canal o cauce.
B^*	:	Ancho de la llanura de inundación.
C_D	:	Coefficiente de arrastre del material de lecho
d_a	:	Tamaño medio de acorazamiento.
d_c	:	Socavación por contracción.
d_g	:	Socavación general.
d_s	:	Socavación local.
d_t	:	Socavación total.
D	:	Diámetro de pilares.
D_{50}	:	Diámetro de sedimento mayor al 50% de la muestra.
D^*	:	Parámetro de partícula.
f	:	Factor de finura de Inglis.
F_{bo}	:	Factor de lecho cero de Blench.
F_d	:	Número de Froude respecto al sedimento.
F_r	:	Número de Froude
h	:	Tirante medio de flujo.
h^*	:	Profundidad de flujo en la llanura de inundación.
H	:	Altura de carga sobre vertedero.
k	:	Factor de caudal y orientación de Blench.
k_i	:	Factor de amplificación de Inglis.
k_a	:	Factor de caudal y orientación de Ahmad.
K_d	:	Factor del tamaño del sedimento.
K_G	:	Factor de geometría del canal.

K_{hL}	:	Factor de profundidad de flujo y longitud del estribo.
K_I	:	Factor de intensidad de flujo.
K_S	:	Factor de forma.
K_θ	:	Factor de alineamiento.
L	:	Longitud del espigón.
L_T	:	Longitud de talud protegido por un espigón.
n	:	Rugosidad de Manning en el cauce principal.
n^*	:	Rugosidad de Manning en la llanura de inundación.
Q	:	Caudal de flujo.
Q_p	:	Caudal de paso.
r	:	Radio de curvatura de un cauce natural.
R	:	Grado de permeabilidad del espigón.
Re	:	Número de Reynolds del flujo.
S	:	Separación entre espigones.
S_o	:	Pendiente de fondo de canal.
t_{eq}	:	Tiempo de equilibrio de socavación.
$t_{máx}$:	Tiempo máximo de equilibrio de socavación.
τ_o	:	Esfuerzo de corte en la base.
τ_o^*	:	Esfuerzo de corte crítico en la base.
ν	:	Viscosidad cinemática del agua.
V_m	:	Velocidad media de flujo.
V_s	:	Velocidad de flujo en la punta del espigón.
V_*	:	Velocidad de corte.
V_*^c	:	Velocidad de corte crítico.
V_p	:	Velocidad de paso.
w	:	Velocidad de caída del material de lecho.

X	:	Distancia entre pilares, de borde a borde.
X_a	:	Factor de Lim.
α	:	Ángulo de orientación del espigón.
φ	:	Angulo de deflexión de la corriente.
σ	:	Coeficiente de uniformidad del material de lecho.
ρ_s	:	Densidad del material de lecho.
ρ_w	:	Densidad del agua.
ψ_t	:	Factor de tiempo.
Δ	:	Altura de forma de fondo.
λ	:	Longitud de forma de fondo.

LISTA DE SIGLAS

<i>ADV</i>	:	Acoustic Doppler Velocimeter
<i>FWH</i>	:	Federal Highway Administration.
<i>IDW</i>	:	Inverse Distance Weighted.
<i>LNH</i>	:	Laboratorio Nacional de Hidráulica
<i>UNI</i>	:	Universidad Nacional de Ingeniería.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. GENERALIDADES

La protección de taludes y control de socavación en los ríos ha sido un problema con el que ha tenido que lidiar el hombre a lo largo de la historia.

El comportamiento de los ríos es un proceso sumamente complejo, con un elevado dinamismo fluvial, y adquiere durante su recorrido diferentes formas longitudinales, características hidráulicas, formas de cauce, etc. La socavación ocurre como resultado de la acción conjunta de estos cambios morfológicos a largo y corto plazo y las estructuras hechas por el hombre dentro del espacio fluvial.

Una de las medidas de protección que está siendo más atractiva desde hace varias décadas es el uso de espigones. Estas estructuras con cierto grado de permeabilidad y ángulo de orientación respecto al flujo del río, se extienden desde la orilla hasta el cauce principal. Los espigones han demostrado ser muy eficaces cuando se trata de evitar la socavación de ríos, desviación los flujos cercanos a los taludes, mejora de las condiciones de navegación fluvial, profundización de los canales principales o para asegurar el abastecimiento de agua y el riego agrícola manteniendo el caudal adecuado y el nivel del agua. Hoy en día, los espigones se consideran como una medida prometedora para mejorar la diversidad de morfologías de ríos y ecosistemas ribereños.

Si bien es cierto, los espigones protegen de la socavación a la orilla fluvial, son en esencia estructuras extrañas dentro de un cauce natural, por lo que son afectados por la socavación local. La socavación local atenta contra su vida útil y genera deterioros significativos que finalmente pueden ocasionar el colapso de la estructura. Por lo tanto, es importante comprender claramente e interpretar científicamente el proceso complejo de la socavación local para lograr un diseño exitoso y una gestión sosteniblemente de las estructuras hidráulicas de protección fluvial.

Se han hecho investigaciones sobre la sensibilidad individual de los parámetros más importantes que afectan la socavación local en espigones, en su mayoría sobre espigones impermeables, sin embargo, el estudio conjunto de más de una

variable no ha sido estudiado detalladamente. La presente investigación surge como un importante aporte al entendimiento científico del proceso de socavación local en espigones, específicamente en espigones permeables.

Se investiga experimentalmente la profundidad máxima de socavación local y otros parámetros de flujo y lecho en espigones permeables para un caudal uniforme, cercano al umbral del movimiento de los materiales de lecho, mientras se varía dos parámetros muy influyentes: el grado de permeabilidad y el ángulo de orientación. Los datos obtenidos en los experimentos se usan adicionalmente para contribuir a una mejor comprensión del proceso de socavación en espigones permeables y las condiciones de flujo y lecho que se originan en respuesta a este proceso.

En el Capítulo I se expresa una introducción al tema de la investigación. Se plantean los objetivos del estudio y las hipótesis de investigación.

En el Capítulo II se ha revisado los conceptos más importantes relacionados con la socavación local en espigones. Se presentan las formulaciones más utilizadas hoy en día en las prácticas de la ingeniería.

En el Capítulo III se ha descrito el equipo de prueba experimental, los materiales empleados para el lecho y la estructura del espigón, la metodología de experimentación y las condiciones de ensayo. También se presenta el programa de pruebas, el protocolo experimental de cada prueba y el cronograma de ejecución.

En el Capítulo IV se ha presentado la recopilación de datos registrados en cada ensayo, así como la organización de estos para una interpretación más clara y efectiva.

En el Capítulo V se expone el análisis e interpretación de los resultados encontrados. Se presentan un análisis del comportamiento de las variables de lecho y variables de flujo en respuesta a la variación del ángulo de orientación y grado de permeabilidad en cada ensayo y mediante un análisis de criterio múltiple se determina la configuración óptima para un espigón permeable que promueva su máxima funcionalidad y mínima socavación local. Se proponen formulaciones matemáticas para las variables de estudio, y se compara con

formulaciones de estudios precedentes.

En el Capítulo VI se exponen las conclusiones y recomendaciones, las cuales pueden ser tomadas en cuenta en investigaciones posteriores.

Finalmente, se presentan los Anexos desarrollados en el proceso de esta investigación.

1.2. PROBLEMÁTICA

Durante el proceso de socavación local, el patrón de flujo es impactado por la presencia de la estructura sólida de espigón, por lo que el flujo adopta un sistema muy complejo caracterizado por una zona de estela, una ola de proa, un sistema de vórtices y un sistema de flujo descendente. Este sistema complejo remueve y arrastra las partículas en zonas locales del espigón, formando un hoyo de socavación, se configuran formas de fondo y esto retroalimenta al proceso de socavación hasta llegar a una condición de equilibrio. Si el proceso de socavación local no es controlado, se puede disminuir significativamente la vida útil del espigón e incluso provocar su colapso.

Aunque los espigones permeables están siendo una alternativa prometedora como estructura de protección, las fallas en la mayoría de los diseños han ocurrido principalmente por una deficiencia en el estudio de socavación local. Una interpretación científica y una predicción eficiente de las características del hoyo de socavación son piezas claves para un diseño exitoso de este tipo de estructuras.

Hoy en día, no existen criterios definidos o muy desarrollados para el diseño de espigones permeables, que relacionen conjuntamente los parámetros involucrados en la socavación local y orienten al diseñador a una configuración óptima de diseño.

Dos de los parámetros más influyentes en este proceso son el grado de permeabilidad del espigón y su ángulo de orientación. Se han desarrollado planteamientos experimentales y numéricos que analizan la influencia individual de estos parámetros en la socavación local, pero aún es necesario un estudio de estos parámetros trabajando en conjunto, que represente con mayor exactitud al fenómeno en estudio.

1.3. OBJETIVO DEL ESTUDIO

1.3.1. Objetivo General

Analizar la influencia del ángulo de orientación y grado de permeabilidad en el proceso de socavación local de espigones permeables y en las condiciones de flujo de su entorno.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Analizar la influencia del grado de permeabilidad y ángulo de orientación en la geometría del hoyo de socavación.
- Analizar la influencia del grado de permeabilidad y ángulo de orientación en el tiempo de equilibrio del proceso de socavación.
- Analizar la influencia del grado de permeabilidad y ángulo de orientación en la profundidad de equilibrio de socavación local.
- Analizar la influencia del grado de permeabilidad y ángulo de orientación en las condiciones de flujo a través del cuerpo del espigón y en su entorno.
- Recomendar el conjunto ángulo de orientación y grado de permeabilidad que refleje el mejor comportamiento hidráulico del espigón y promueva la máxima reducción de la socavación local.
- Formular expresiones matemáticas para la influencia del ángulo de orientación y grado de permeabilidad sobre la socavación local y otras variables de interés.
- Analizar los resultados obtenidos en comparación con los resultados extraídos de investigaciones precedentes.

1.4. HIPÓTESIS

1.4.1. Hipótesis General

Un conjunto adecuado de grado de permeabilidad y ángulo de orientación para un espigón permeable puede promover mayor disipación de energía cinética,

menor impacto en el lecho fluvial y menor impacto en las condiciones de flujo, logrando así una máxima funcionalidad.

1.4.2. Hipótesis Específicas

- El ángulo de orientación y grado de permeabilidad tienen influencia directa sobre las condiciones de flujo a través del cuerpo del espigón y entorno a este; y sobre las condiciones de lecho, reflejadas por el hoyo de socavación y las formas de fondo.
- A medida que aumenta el grado de permeabilidad, menor será el aumento de velocidad en el entorno de la punta del espigón, respecto a la velocidad media de corriente, lo que promueve una menor socavación local.
- A medida que disminuye el grado de permeabilidad, mayor será la disminución de las velocidades en las proximidades de la orilla, promoviendo la deposición de sedimentos en dicha zona.
- Los espigones orientados hacia aguas abajo producirán mayor sedimentación, favorecerán el desvío gradual de la corriente y la disminución de la socavación local.
- Los espigones permeables generan un hoyo de socavación de forma distribuida en torno a su cuerpo, debido a la generación de esfuerzos de corte y flujo descendente a través de sus espacios permeables.

CAPÍTULO II. FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1. SISTEMA DE PROTECCIÓN CON ESPIGONES

2.1.1. Generalidades

2.1.1.1. Definición de espigón

Un espigón es una estructura hidráulica lineal que se proyecta dentro del cauce de un río con el fin de alterar la dirección del flujo, inducir la sedimentación y/o reducir la velocidad de flujo en un tramo de la orilla fluvial (Brown, 1985).

El Diccionario de la Real Academia Española (2014) define espigón como un “Macizo saliente que se construye a la orilla de un río o en la costa del mar, para defender las márgenes o modificar la corriente”.

2.1.1.2. Clasificación de espigones

Existen varios criterios de clasificación para este tipo de estructuras. La Figura N° 2.1 muestra un esquema de la clasificación considerada para la presente investigación.

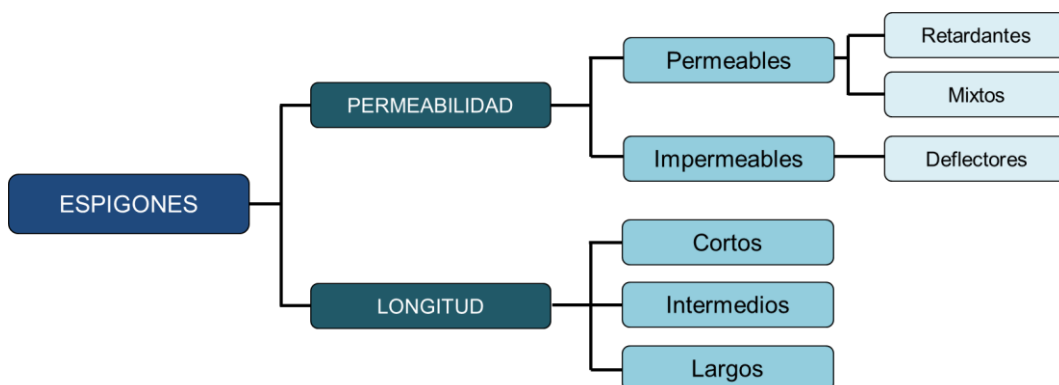


Figura N° 2.1 Clasificación de Espigones. Fuente: Propia

Se considera como criterio primario el grado de permeabilidad, clasificándolos como espigones permeables y espigones impermeables. Como criterio secundario se considera la funcionabilidad, subclasificándolos como espigones retardantes, espigones deflectores y espigones mixtos. Los espigones retardantes y mixtos son estructuras permeables y los espigones deflectores son impermeables (Brown, 1985).

Otra conocida clasificación que se le da a los espigones es por su tamaño “L” con relación al tirante medio de flujo de diseño “h”. Melville (1992), propuso clasificar a los espigones de la siguiente manera:

- Espigones cortos, cuando $L/h < 1$,
- Espigones intermedios, cuando $1 < L/h < 25$; y
- Espigones largos, cuando $L/h > 25$.

2.1.1.3. *Objetivo de un sistema de protección con espigones*

Un sistema de protección con espigones se construye generalmente para cumplir los siguientes objetivos:

- Protección de taludes existentes en peligro de colapso.
- Desviación de la corriente lejos de la orilla.
- Restablecimiento de un cauce fluvial nuevo o existente.
- Estabilización del cauce fluvial.
- Control de migración de meandros.

2.1.1.4. *Funciones de un sistema de protección con espigones*

Las funciones que cumplen estas estructuras para lograr los objetivos señalados dependerán del tipo de espigón que se esté tratando:

- Los espigones retardantes son generalmente estructuras ligeras diseñadas para reducir la velocidad de flujo en las proximidades de las laderas del río. Como tal, son los más adecuados cuando se busca la protección de un talud existente (Brown, 1985).
- Los espigones retardantes/deflectores son generalmente estructuras un poco más pesadas que los espigones retardantes. Cumplen la función de retardar el flujo a lo largo de la orilla fluvial y además desviarlo. Por ello, son los más adecuados cuando se busca el restablecimiento de un cauce nuevo o existente (Brown, 1985).

- Los espigones deflectores o impermeables cumplen la función principal de desviar la corriente de flujo principal alejándolo de la orilla. Al igual que los espigones retardantes/deflectores, se ha encontrado que proporcionan una ventaja cuando se busca la restricción de flujo y/o el restablecimiento de un cauce nuevo o existente. También son tan eficaces como otros tipos de espigones cuando se desea proteger un talud existente (Brown, 1985).

Estas son las funciones o propósitos para los cuales estas estructuras son más adecuadas que otras medidas de protección. La principal ventaja de los espigones es su capacidad para proporcionar control y restricción de flujo, así como el restablecimiento de una dirección de cauce nuevo o existente (Brown, 1985).

2.1.2. Partes de un espigón

2.1.2.1. *La punta*

Denominada también “cabeza” o “nariz”. Es el extremo del espigón que se ubica dentro de los límites del cauce. Debe ser robusta o tener algún grado de protección y su elevación sobre el lecho fluvial debe ser pequeña (Rocha, 2013).

Constituye el punto crítico para la socavación local, por la concentración de corrientes y la velocidad del agua en ese punto.

2.1.2.2. *La cresta*

La cresta o corona se desarrolla longitudinalmente desde la orilla hasta la punta del espigón y determina la altura de este. Puede ascender hacia la orilla o ser horizontal; además puede ser sumergida o estar por encima del nivel del agua (Suárez, 2001).

2.1.2.3. *El anclaje*

Denominada también zona de “empotramiento”. Es la región del espigón que está dentro del terreno natural y sirve para evitar o disminuir la posibilidad de que se establezca un flujo detrás del espigón. La longitud de anclaje permite que si durante el proceso constructivo, o durante la etapa inicial de funcionamiento

ocurriese algún proceso de socavación, el espigón no quede separado del terreno natural constituyente de la margen (Rocha, 2013).

2.1.2.4. *La cimentación*

Es una transición entre el cuerpo del espigón, convenientemente profundizado en el río, y el lecho fluvial. Es el factor que determina la durabilidad del espigón. Está generalmente constituida por la fundación propiamente dicha y por un tapete o colchón, como protección contra la socavación (Rocha, 2013).

2.1.3. Parámetros geométricos en el diseño de espigones

2.1.3.1. *Forma del espigón*

Las formas de los espigones pueden ser muy diversas. Se presenta a continuación esquemáticamente algunas de ellas, según Jaime Suarez Díaz (2001):

- Espigón recto: Esta forma de espigón forma un ángulo con la orilla y tiene una cabeza más robusta, que generalmente cuenta con un sistema de protección contra la socavación. Tiene mayor facilidad constructiva y generalmente son más económicos. Ver la Figura N° 2.2.
- Espigón en forma de T: Esta forma de espigón tiene un ángulo de orientación de 90° y el dique en la punta es paralelo a la dirección de flujo. Ver la Figura N° 2.2.
- Espigón en forma de L: Esta forma de espigón permite mayor espacio para el desarrollo de la sedimentación entre espigones y menos socavación en su cabeza y son más efectivos para facilitar la navegación. El brazo puede estar dirigido hacia aguas arriba o hacia aguas abajo.
- Espigones en forma de Jockey: Esta forma de espigón posee huecos los cuales son más extensivos en área que los que tienen forma de T. Ver la Figura N° 2.2.

En la Figura N° 2.2 se presenta un esquema de las distintas formas de espigón descritas líneas arriba.

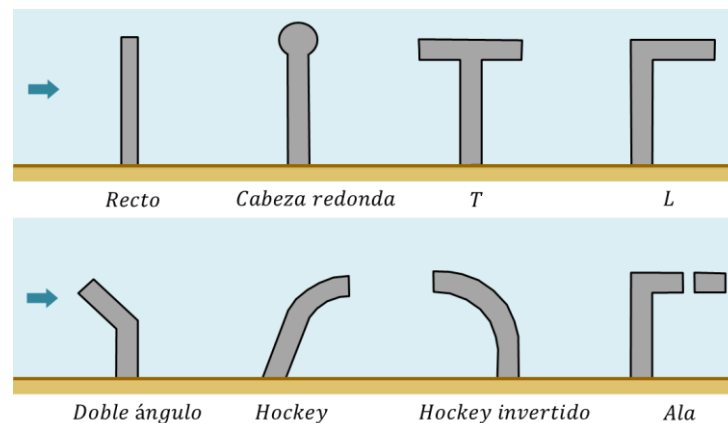


Figura N° 2.2 Formas en planta de espigones. Fuente: Suárez (2001)

2.1.3.2. Longitud del espigón (Brown, 1985)

La longitud del espigón “L” es la longitud proyectada perpendicular a la dirección principal del flujo. Generalmente esta longitud se indica como un porcentaje de la anchura del río “B” en el escenario de diseño.

Tanto la longitud proyectada del espigón como el ancho de río son longitudes medidas desde una línea específica, dependiendo del caso. En los ríos que tienen línea de talud regular y estable, estas longitudes se miden desde el talud existente. Cuando se utilizan los espigones para desplazar al río a una nueva ubicación, estas longitudes deben medirse a partir de la línea de talud proyectado y no de la línea de talud existente.

Los criterios disponibles hoy en día para establecer la longitud de un espigón son muy generales. Por ejemplo, Richardson y Simons (1974) recomiendan que la longitud mínima sea de 50 pies (15.2 m) y que la longitud máxima sea de 10% a 15% del ancho total del río en los tramos rectos, curvas de radio largo y ríos trezados. Esta longitud mínima se basa en consideraciones económicas, ya que el uso de espigones más cortos podría ser contraproducente. Asimismo, Acheson (1968) menciona que los espigones de gavión deben extenderse de 20 a 30 pies (6 a 9 m) hacia dentro del cauce. Se observa entonces que estas consideraciones son muy generales y no consideran los factores específicos del sitio que influyen en la determinación de la longitud del espigón.

Según los estudios de laboratorio (1983) patrocinados por la Federal Highway Administration (de aquí en adelante FHWA.), la longitud de los espigones

permeables e impermeables afecta a la profundidad de socavación local en la punta " d_s ", a la magnitud de la velocidad del flujo en la punta " V_s ", a la longitud del talud protegido individualmente " L_T " y al ángulo de deflexión de la corriente " φ ". Las relaciones entre cada uno de estos parámetros y la longitud del espigón se muestran desde la Figura N° 2.3 a la Figura N° 2.6. Se puede observar que, para cada una de las variables trazadas, con excepción de la longitud del talud protegido, a medida que aumenta la longitud del espigón, la variable dependiente indica una condición de empeoramiento. Sucede lo contrario con la longitud de talud protegido, pues éste aumenta con la longitud del espigón. En estos estudios se consideró espigones de varios grados de permeabilidad y todos construidos perpendicularmente a la dirección de flujo principal.

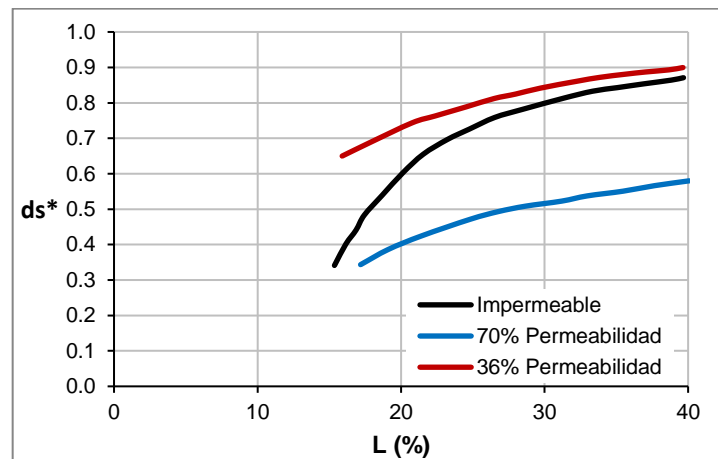


Figura N° 2.3 Variación de socavación local adimensional (d_s^*) con la longitud del espigón (L) como porcentaje del ancho de canal (B). Fuente: Brown (1985)

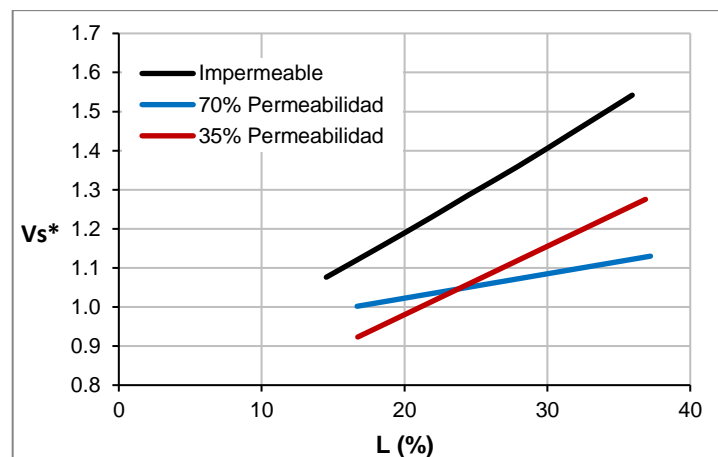


Figura N° 2.4 Variación de velocidad adimensional en la punta del espigón (V_s^*) con la longitud del espigón (L) como porcentaje del ancho de canal (B). Fuente: Brown (1985)

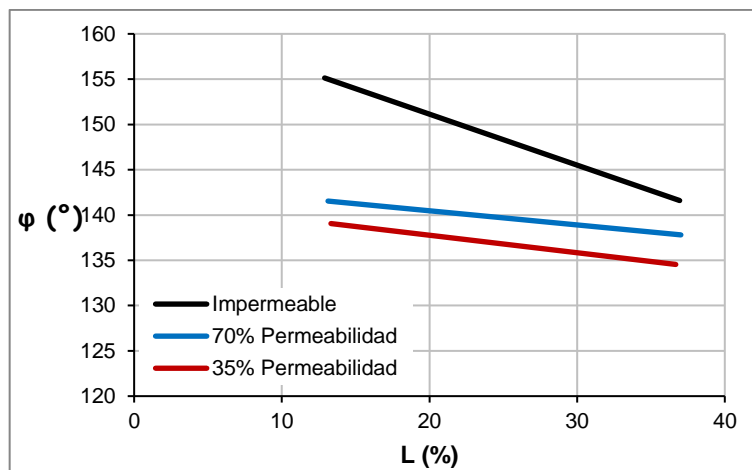


Figura N° 2.5 Variación del ángulo de deflexión de flujo (ϕ) con la longitud del espigón (L) como porcentaje del ancho de canal (B). Fuente: Brown (1985)

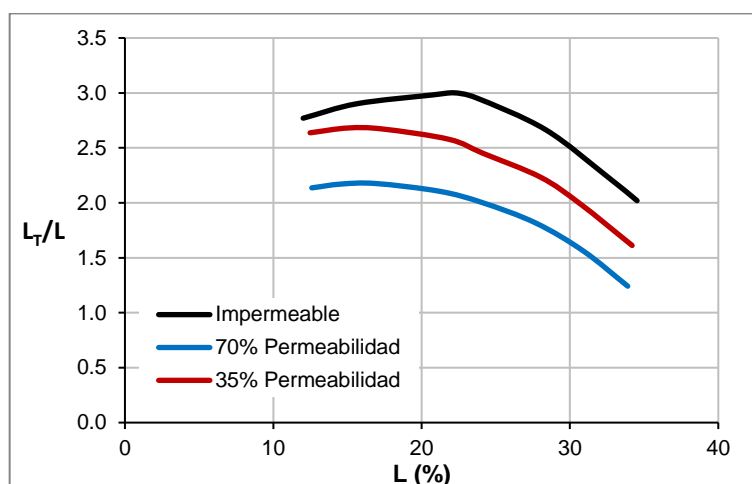


Figura N° 2.6 Variación de la longitud de talud protegido individualmente adimensional (L_T/L) con la longitud del espigón (L) como porcentaje del ancho de canal (B). Fuente: Brown (1985)

En la Figura N° 2.3 se observa que a medida que aumenta la longitud del espigón aumenta la profundidad de la socavación. También se indica que a medida que aumenta la longitud del espigón, disminuye la tasa de aumento de la profundidad de socavación. Por lo tanto, para minimizar la profundidad de socavación, se debe minimizar la longitud del espigón.

En la Figura N° 2.4 la velocidad adimensional " V_S^* " se define como la velocidad máxima medida en la punta del espigón dividida por la velocidad de aproximación media de la corriente aguas arriba del espigón " V_m ". Se indica que cuanto mayor sea la longitud del espigón, mayor será el valor de V_S^* (o mayor será la magnitud de la concentración de flujo en la punta del espigón). Además,

cuanto mayor sea la permeabilidad del espigón, menor es la sensibilidad del valor de V_S^* con la longitud del espigón. Por lo tanto, un incremento unitario de longitud de un espigón permeable tendrá menos aumento en la velocidad de la punta del espigón que un aumento igual en la longitud de un espigón impermeable.

En la Figura N° 2.5 se observa que a medida que aumenta la longitud del espigón, disminuye el ángulo de deflexión del flujo, lo que indica una deflexión más pronunciada de la corriente de flujo. Además, los espigones impermeables son mucho más sensibles a este parámetro que los espigones permeables.

En la Figura N° 2.6 el parámetro adimensional " L_T/L " indica la relación entre la longitud de talud protegido y la longitud del espigón. En el caso impermeable, se observa que L_T/L aumenta ligeramente con la longitud del espigón hasta un máximo de aproximadamente un 20% de ancho total del río, y luego disminuye. Esto implica que existe una longitud de espigón óptima dada por el 20% del ancho total del río. En el caso permeable, cuanto mayor es la longitud del espigón, menor es L_T/L . Se observa además que el valor de L_T/L permanece bastante constante tanto para espigones permeables como impermeables hasta una longitud de espigón de aproximadamente 20% del ancho del río. De esto se infiere que para optimizar la longitud de talud protegido individualmente, la longitud de espigón no debe superar el 20% del ancho del río.

Según datos de campo en proyectos exitosos, la longitud del espigón debe oscilar entre un rango del 10 % al 20 % del ancho del río. Los espigones impermeables generalmente presentan longitudes inferiores al 15% del ancho del río. Los espigones permeables generalmente presentan longitudes de hasta 20% o 25% del ancho del río.

Se recomienda los siguientes criterios para la elección de la longitud del espigón:

- La longitud de un espigón impermeable debe ser como máximo el 15% del ancho del río.
- La longitud de un espigón permeable debe ser como máximo el 25% del ancho del río, dependiendo del grado de permeabilidad. Con una permeabilidad del 35%, la longitud no debe exceder el 15% del ancho del

ría. Con una permeabilidad del 80%, la longitud no debe exceder el 25% del ancho del río.

2.1.3.3. Altura del espigón (Brown, 1985)

La altura de un espigón es la distancia desde su cimentación hasta su corona. Los factores que influyen en la determinación de la altura apropiada son los siguientes:

- La región de talud vulnerable a socavación: Es importante definir las regiones verticales del talud que son impactadas por la socavación y requieren protección. Si la socavación afecta la región inferior del talud, los espigones sólo necesitan ser lo suficientemente altos para proteger el pie del talud. Si la socavación afecta la región superior del talud, el espigón debe ser diseñado a la altura de este.
- La altura del talud asociado y tirante de flujo de diseño: Si el tirante de flujo de diseño es inferior a la altura del talud, el tirante de flujo determina la altura del espigón. Si el tirante de flujo es superior a la altura del talud, la altura del talud determina la altura del espigón.
- El estado de sumergencia: Según los estudios de la FHWA (1983), para el caso impermeable, si un espigón está sumergido se comporta mejor que un espigón no sumergido. En la Figura N° 2.7 se compara los patrones de socavación generados por espigones sumergidos y no sumergidos. Se observa que, el patrón de socavación generado para el caso no sumergido es más grande y más profundo.

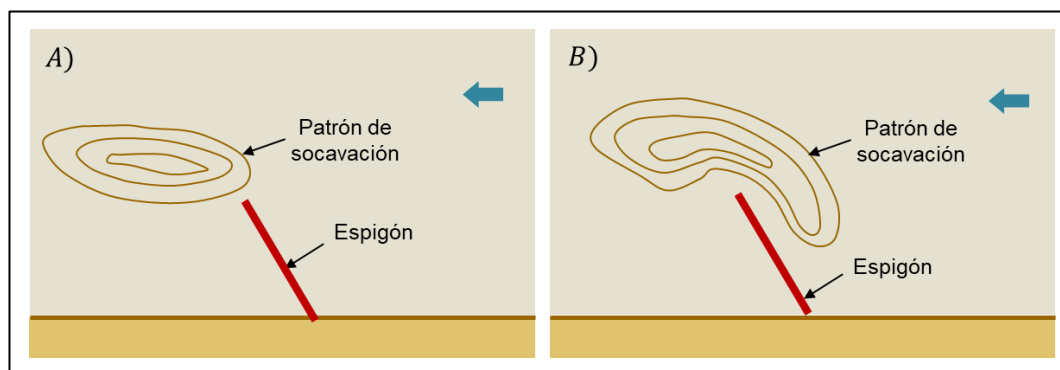


Figura N° 2.7 Comparación de patrones de socavación para espigones sumergidos (A) y no sumergidos (B). Fuente: Brown (1985)

2.1.3.4. Localización del espigón (Maza, 1996)

Se refiere a la adecuada ubicación de los espigones visto en planta. Generalmente, lo primero que se requiere es reconocer el eje proyectado del río, tratando de conservar su geometría y dirección de corriente. De esta manera, se pueden obtener los radios de curvatura y longitud de tramos rectos.

Luego se trazan las líneas extremas de defensa, paralelas al eje y separadas una distancia igual al ancho estable proyectado del río. Por lo tanto, los espigones partirán desde las márgenes naturales hasta una de esas dos líneas.

En caso de que se desee rectificar un tramo de río o proteger sus curvas y si las márgenes son arenosas o ligeramente limosas, los radios de curvatura “ r ”, medidos hasta el eje del río deben estar comprendidos en el siguiente rango:

$$2B \leq r \leq 8B \quad (1)$$

Donde B es el ancho estable proyectado del río.

La expresión (1) es válida para anchos no mayores a 150 m. En la Figura N° 2.8 se muestra los componentes de este proceso.

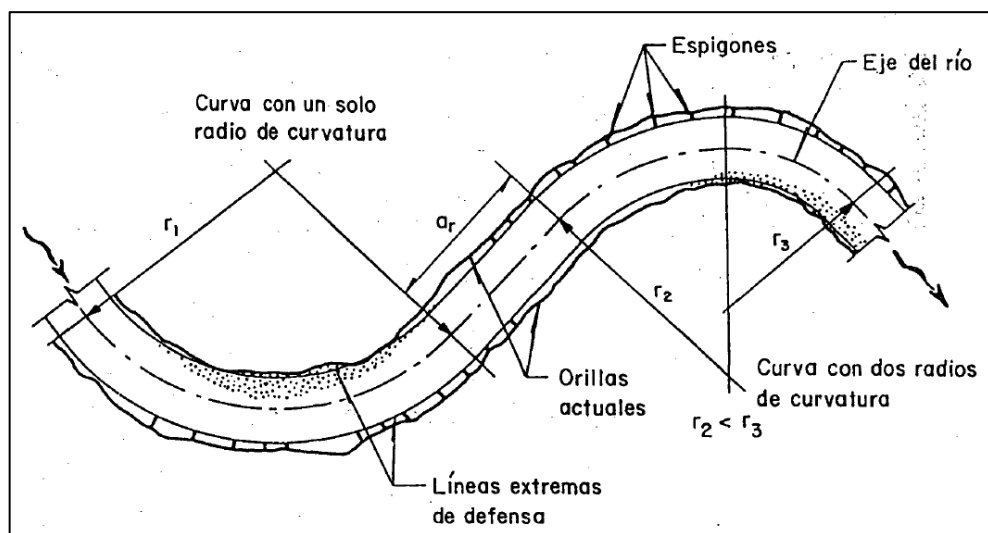


Figura N° 2.8 Trazo de eje de río. Fuente: Maza (1996)

Se recomienda conservar los radios de curvatura naturales del río, modificándolos sólo en caso $r < 2B$, puesto que, en este caso, la distancia entre espigones disminuye y podría resultar antieconómico. Por otro lado, si se da el caso $r > 8B$, el río puede llegar a formar un cauce con radio menor y

consecuentemente no todos los espigones trabajaran eficientemente, provocando que la corriente afecte aguas abajo de la curva, en lugares no protegidos.

Si una curva es trazada con varios radios de curvatura, el tamaño de dichos radios debe decrecer hacia aguas abajo. Si no se cumple con esta recomendación el flujo podrá separarse de la margen exterior, dando lugar a la formación de bancos de arena cercano o adyacente a la margen cóncava. Véase la Figura N° 2.9.

En caso se desee proteger una curva trazada con un único radio de curvatura y la margen exterior es uniforme, todos los espigones tendrán la misma longitud y ángulo de orientación y, por tanto, la separación entre ellos será la misma. Véase la Figura N° 2.9.

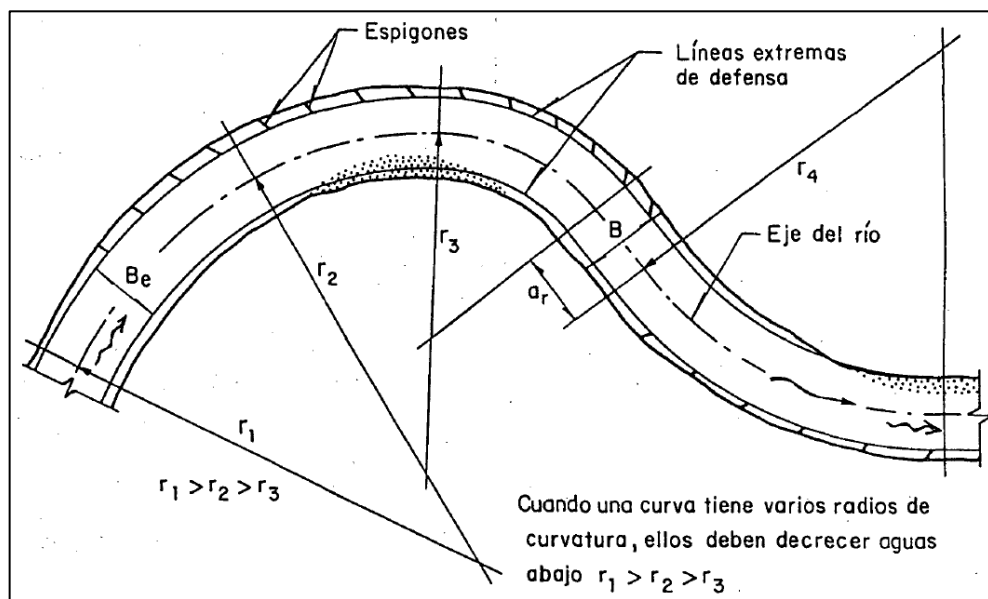


Figura N° 2.9 Eje de río y radios de curvatura. Fuente: Maza (1996)

La longitud de los tramos rectos " a_r ", entre curvas, suele estar comprendida en el siguiente intervalo:

$$0 \leq a_r \leq 3B \quad (2)$$

Se deben evitar tramos rectos con mayor longitud, ya que pueden formar bancos de arena alternados que obligan al flujo a seguir una trayectoria senoidal. Es muy importante tener en cuenta que nunca puede haber dos curvas seguidas con el mismo sentido de giro.

2.1.3.5. Orientación del espigón (Brown, 1985)

La orientación del espigón se refiere al ángulo " α " formado por el eje longitudinal del espigón y la dirección del flujo principal, generalmente medido desde aguas arriba, tal como se ilustra en la Figura N° 2.10. Generalmente, el ángulo de orientación oscila entre 30° y 150° , siendo típicamente mayores de 90° .

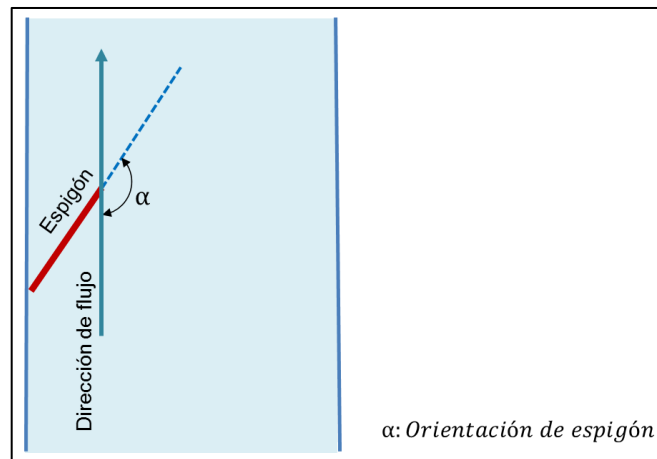


Figura N° 2.10 Orientación de un espigón. Fuente: Brown (1985)

El criterio principal para establecer una orientación apropiada para los espigones es proporcionar un esquema que guíe eficaz y económicamente el flujo a través del río, así mismo, proteger al talud y minimizar los impactos adversos. Para ello se analiza cómo influye el ángulo de orientación a los siguientes parámetros:

- Patrones de flujo: Según los estudios de la FHWA (1983), se encontró que para el caso de espigones impermeables, la contracción más abrupta ocurre para el espigón inclinado a 90° y la contracción menos abrupta ocurre para el espigón inclinado a 150° . Para el caso de espigones permeables, se encontró que la concentración de flujo disminuía con el aumento del ángulo del espigón más allá de los 90° . Véase la Figura N° 2.11.
- Longitud de talud protegido: En la Figura N° 2.11 también se muestra la variación de la longitud de talud protegido individualmente con varios ángulos de orientación. En primera instancia, se podría decir que cuanto mayor sea el ángulo de orientación, mayor será la longitud del talud protegido. Sin embargo, según Ahmad (1953), la longitud del talud protegido no varía con el ángulo de orientación. Es la mayor longitud del

espigón asociado con una orientación a ángulos más pronunciados que da como resultado la mayor longitud del talud protegido.

- La deflexión de flujo: Según los estudios de la FHWA (1983), se encontró que, para el caso de espigones impermeables, el ángulo de deflexión de flujo oscilaba entre aproximadamente 140° y 160° para ángulos de orientación que se extendían de 90° a 150° . Para el caso de espigones permeables, con una permeabilidad de aproximadamente 35%, el ángulo de deflexión de flujo oscilaba entre aproximadamente 130° y 145° para ángulos de orientación que se extendían de 90° a 150° . Y para ambos casos, el ángulo de deflexión de flujo aumentaba con el ángulo de orientación del espigón.
- La profundidad de socavación local: En la Figura N° 2.12 se muestra la variación de los patrones de hoyo de socavación local con varios ángulos de orientación. Según los estudios de Ahmad (1953) el área afectada por la socavación aumenta ligeramente a medida que la orientación se aleja de los 90° . Las mayores profundidades de socavación ocurren para el espigón inclinado hacia aguas arriba y la menor socavación local ocurre cuando el espigón está inclinado hacia aguas abajo.
- Flujo en la vecindad del anclaje: Sucede particularmente cuando se trata de espigones sumergidos. Según los estudios de la FHWA (1983), el flujo que pasa sobre la cresta del espigón causa una perturbación que afecta la parte superior del talud. Como se observa en la Figura N° 2.13, a medida que se incrementa el ángulo de orientación, el flujo sobre la cresta se dirige más directamente hacia el talud, lo que da lugar a un impacto más severo. Sin embargo, este impacto es menos severo a medida que aumenta la permeabilidad del espigón.
- Posición del Talweg: Según los estudios de la FHWA (1983), se encontró que orientaciones alrededor de 90° fuerzan el talweg hacia el radio interno del río. Sin embargo, ángulos de orientación mayores proporcionan un control de flujo menos abrupto, permitiendo que el talweg se desplace más hacia el centro. La Figura N° 2.14 compara el movimiento del talweg producido por los espigones orientados en 120° y 150° .

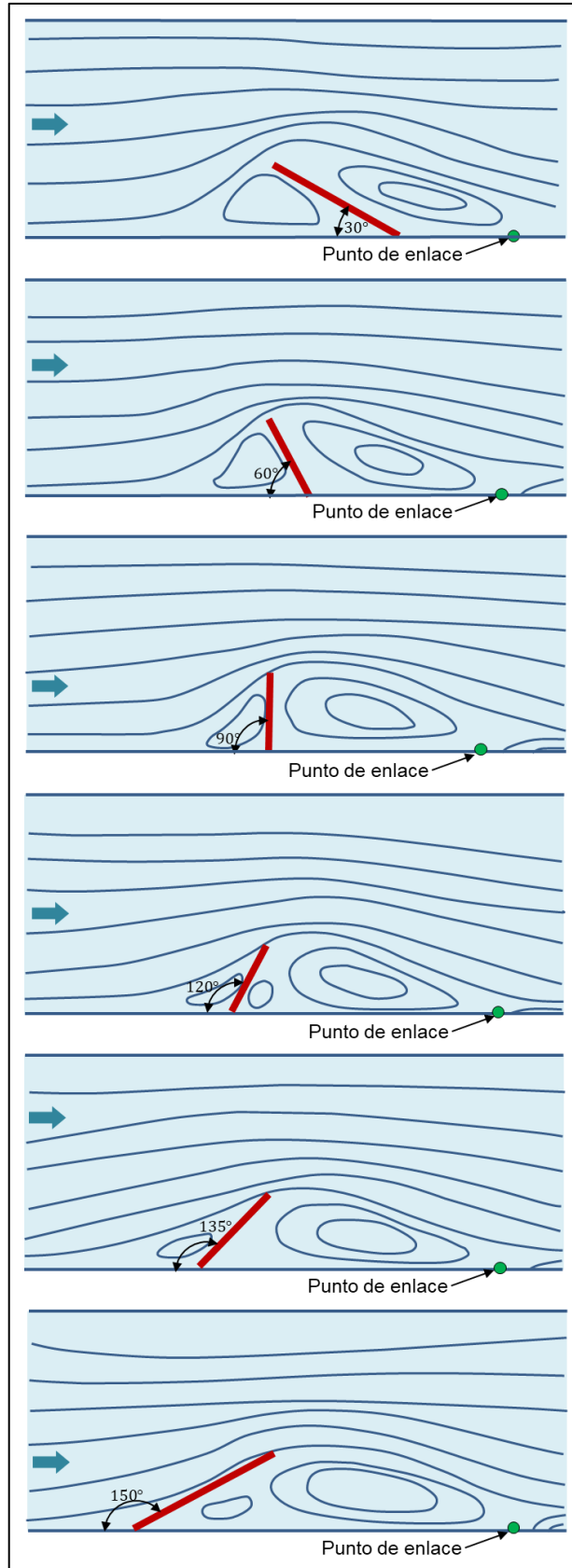


Figura N° 2.11 Variación de los patrones de flujo con la orientación de un espigón. Fuente: Ahmad (1953)

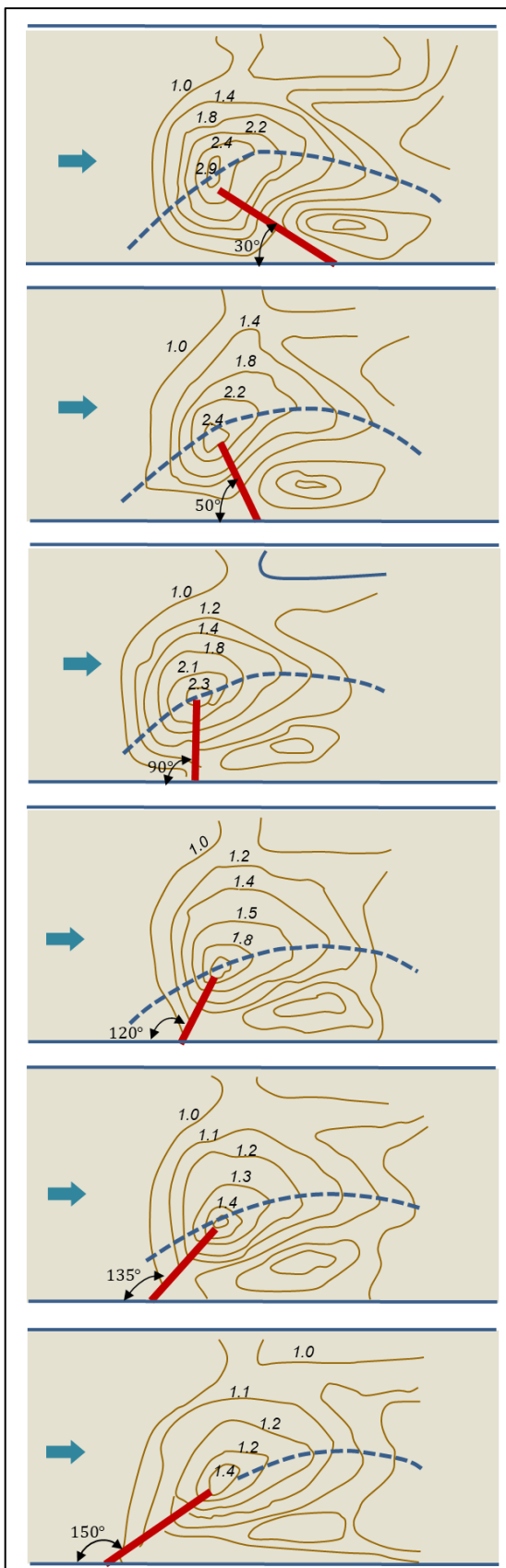


Figura N° 2.12 Variación de los patrones de socavación local con la orientación de un espigón.

Fuente: Ahmad (1953)

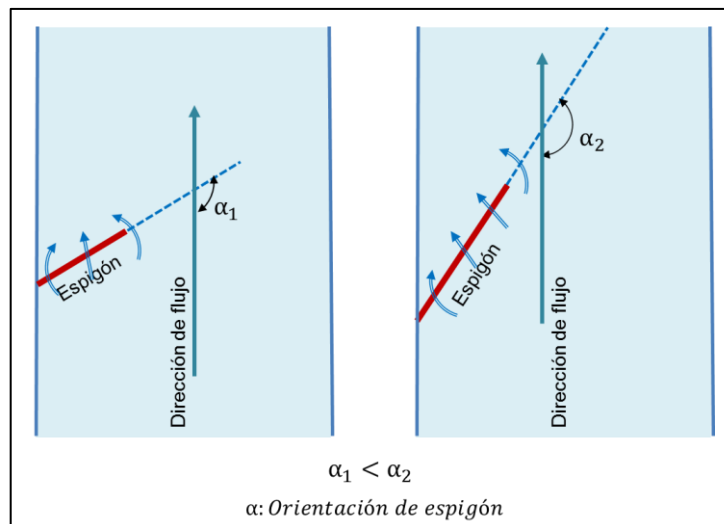


Figura N° 2.13 Componentes de flujo en la vecindad del espigón sumergido. Fuente: Brown (1985)

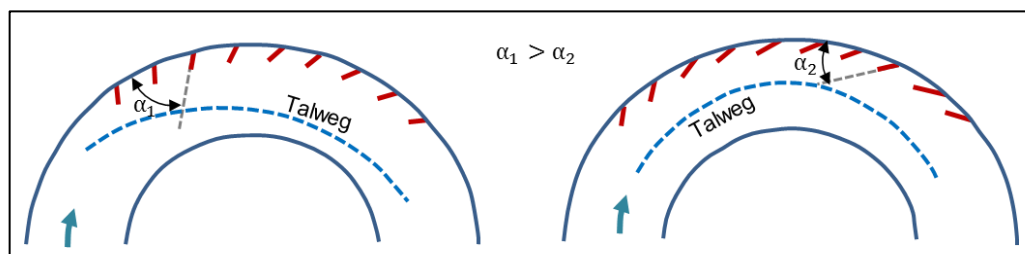


Figura N° 2.14 Variación de posición del talweg con el ángulo de orientación. Fuente: Brown (1985)

Según la FHWA (1983), los espigones deben ser emplazados de tal manera que se desvíe el flujo gradualmente. Esto se logra configurando los espigones de manera que el espigón más aguas arriba este orientado casi a 150° , y después ir reduciéndolo para los subsiguientes, con el espigón más aguas abajo orientado a no menos de 90° .

2.1.3.6. Espaciamiento entre espigones (Brown, 1985)

El espaciamiento o separación entre espigones se define como la distancia entre los puntos de arranque de cada uno, equivalente a la longitud de talud protegido individualmente.

Un criterio muy general utilizado hoy en día es el del factor de espaciamiento. El factor de espaciamiento es la relación entre el espaciamiento de un espigón y su longitud proyectada. A continuación, se presentan algunas recomendaciones para el factor de espaciamiento de acuerdo a los siguientes parámetros:

- Permeabilidad: Generalmente se adopta un factor de espaciamiento menor a 1, para espigones permeables y menor a 6 para espigones impermeables. Fenwick (1969) recomienda valores de 2 a 2.5 para espigones retardantes y 3 para espigones retardantes/deflectores y deflectores. Richardson y Simons (1974) recomiendan valores de 1.5 a 2.0 para espigones retardantes y de 3.0 a 6.0 para espigones retardadores/deflectores y espigones deflectores.
- Radio de curvatura: En curvas rectas o de gran radio, Richardson y Simons (1974) recomiendan valores de factor de espaciamiento de 4 a 6 y de 3 a 4 en curvas de radio pequeño a moderado. Acheson (1968) recomienda un factor de 2 a 4, dependiendo del grado de curvatura del tramo de río.

La FHWA (1983) presenta el criterio del ángulo de deflexión de flujo. El ángulo de deflexión de flujo se define como el ángulo entre una tangente de flujo en la punta del espigón y una línea entre la punta del espigón y el punto en el talud donde el flujo impacta denominado "punto de enlace". Por lo tanto, un menor ángulo de deflexión implica una mayor separación entre espigones y viceversa. Véase la Figura N° 2.15.

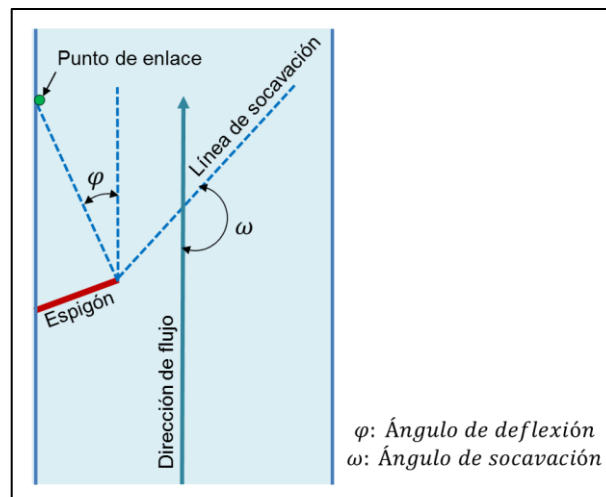


Figura N° 2.15 Ángulo de deflexión de flujo. Fuente: Brown (1985)

Se determinó el espaciamiento entre espigones resulta del comportamiento del ángulo de deflexión con la permeabilidad y la longitud del espigón. Para el caso de espigones impermeables, el ángulo de deflexión es casi constante e igual a 17° . Para el caso de espigones permeables, a una permeabilidad constante, se

cumple que, a mayor longitud, mayor ángulo de deflexión. A una longitud constante, a mayor permeabilidad, mayor ángulo de deflexión y menor longitud de talud protegido individualmente. Véase la Figura N° 2.16.

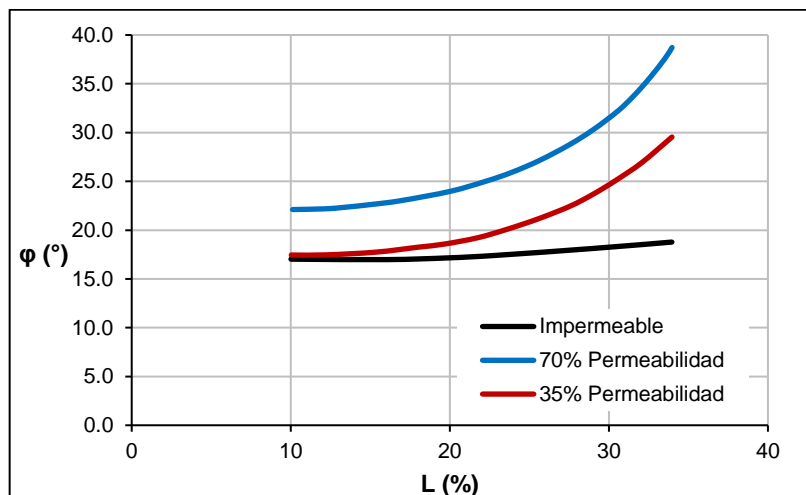


Figura N° 2.16 Relación entre el ángulo de deflexión (ϕ) y permeabilidad (R) con la longitud del espigón (L) como porcentaje del ancho de canal (B). Fuente: Brown (1985)

Otro criterio presentado por la FHWA (1985) es el criterio del Talweg, para determinar la separación máxima aceptable entre espigones. Se determinó que el espaciamiento máximo aceptable entre espigones puede ser determinado proyectando una tangente al talweg en la punta de espigón y definiendo la ubicación del siguiente espigón aguas abajo por el punto en el que la tangente interseca al talud. Véase la Figura N° 2.17.

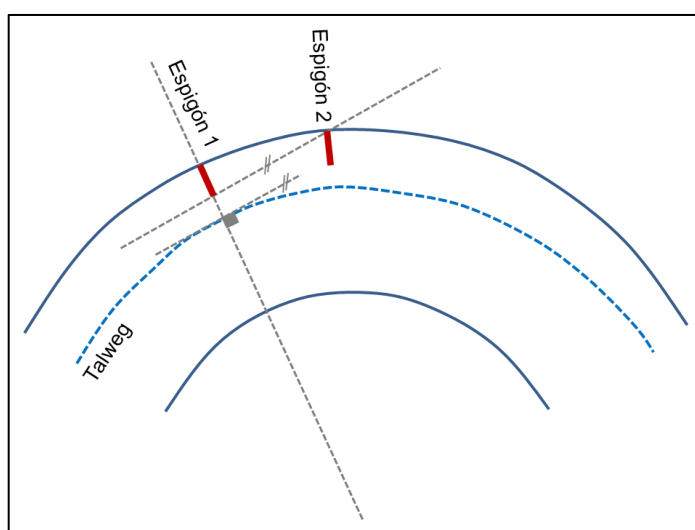


Figura N° 2.17 Criterio del talweg para separación de espigones. Fuente: Brown (1985)

Según la FHWA, estableciendo una separación entre espigones al mínimo resultante de los tres criterios señalados, se reduce la socavación local, se minimiza la aceleración de flujo en la punta, se gana estabilización del talud y se desplaza el talweg hacia el centro del cauce. Véase la Figura N° 2.18.

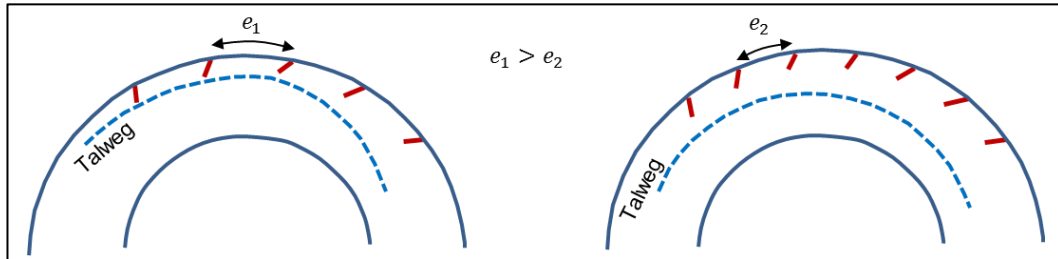


Figura N° 2.18 Variación del talweg con el espaciamiento entre espigones. Fuente: Brown (1985)

2.1.3.7. Permeabilidad del espigón

La permeabilidad de un espigón se define como el porcentaje de la superficie del espigón que está abierta o no obstruida. Es el índice que representa la facilidad con la que el fluido atraviesa su estructura sin alterar su composición. Arturo Rocha, en su publicación "Introducción a la hidráulica de obras viales" menciona que la permeabilidad es una medida de la proporción de vacíos que tiene el cuerpo del espigón en la dirección de la corriente y se puede expresar como un porcentaje.

Se introduce el parámetro Grado de apertura "R", para denotar a la permeabilidad de un espigón. Está claro que cuando $R = 0$, indica el caso impermeable.

$$R = \frac{X}{X+D} \quad (3)$$

Donde:

- X : Distancia entre pilas (borde a borde).
 D : Diámetro de pilas usadas en el caso impermeable.

Según los estudios de la FHWA (1983), el grado de permeabilidad de un espigón influye directamente en el proceso de socavación alrededor de un espigón (Brown, 1985):

- Los espigones permeables con elementos verticales redondos presentan menor socavación que los elementos verticales cuadrados. Esto implica

que todos los miembros estructurales verticales deben ser redondos o hidrodinámicos para minimizar la socavación local cuando sea posible.

- El ángulo de deflexión de flujo permanece constante hasta una permeabilidad aproximada del 35%. Luego de ello, a mayor permeabilidad, mayor ángulo de deflexión de flujo en la punta del espigón y, por lo tanto, menor longitud de talud protegido. Véase la Figura N° 2.19.
- En caso de espigones impermeables sumergidos, se genera una turbulencia adicional en la vecindad del anclaje del espigón y socavación en el talud superior. En el caso de espigones permeables sumergidos, esta turbulencia adicional es leve e invariante al grado de permeabilidad. Esta turbulencia adicional es causada por la aceleración y desaceleración del flujo a medida que pasa por encima de la estructura. Véase la Figura N° 2.20.

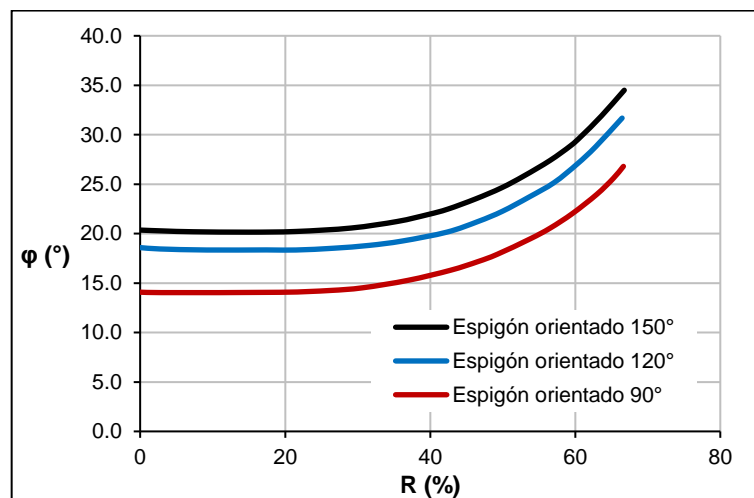


Figura N° 2.19 Variación del ángulo de deflexión (ϕ) con la permeabilidad (R) para diferentes ángulos de orientación (α). Fuente: Brown (1985)

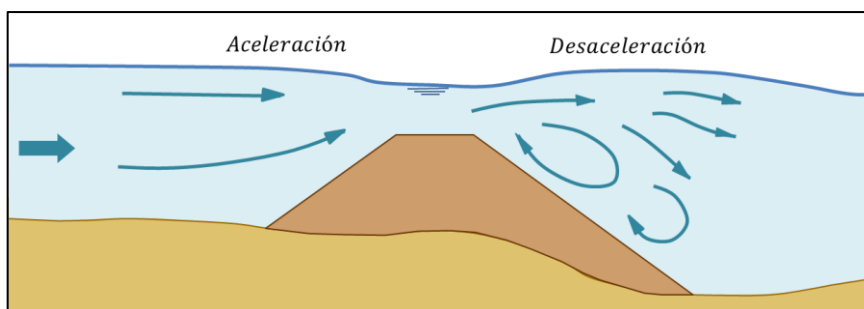


Figura N° 2.20 Turbulencia adicional en espigón impermeable sumergido. Fuente: Brown (1985)

2.2. SOCAVACIÓN EN ESPIGONES

2.2.1. Generalidades

Se define socavación al proceso de pérdida o remoción del material del lecho debido al desbalance de transporte de sedimentos. Generalmente, se produce debido a la presencia de una estructura transversal en un curso de agua, tal como un espigón, provocando cambios en los patrones de flujo y en las configuraciones de lecho.

2.2.2. Tipos de socavación en espigones

La socavación que ocurre en un espigón se divide en tres categorías: Socavación general, socavación por contracción y socavación local (Zhang, 2008).

2.2.2.1. *Socavación general*

La socavación general tiene lugar en un lecho fluvial como resultado del transporte de sedimentos, independientemente de si existe o no una estructura transversal (Zhang, 2008).

2.2.2.2. *Socavación por contracción*

La socavación por contracción surge del estrechamiento del curso de agua por la presencia del espigón (Zhang, 2008).

2.2.2.3. *Socavación local*

La socavación local resulta directamente del impacto del espigón en el patrón de flujo local. Este tipo de socavación es producido íntegramente por el sistema de flujo de vórtices generado por la presencia de la estructura.

2.3. PARÁMETROS QUE INTERVIENEN EN LA MAGNITUD DE LA SOCAVACIÓN LOCAL EN ESPIGONES

Los parámetros involucrados en el proceso de socavación local en espigones se pueden agrupar en 5 categorías.

2.3.1. Parámetros relacionados al fluido (Zhang, 2008)

Los parámetros relacionados al fluido incluyen la densidad, la viscosidad cinemática, la aceleración gravitatoria y la temperatura. El cambio de estos parámetros generalmente se considera insignificante, sin embargo, podría ser importante en algunos casos. Por ejemplo, el cambio de la viscosidad debido a la variación de temperatura puede afectar la condición de inicio de movimiento del sedimento, así como al desarrollo de formas de lecho. Esto lo comprobó Zhang (2005), quien notó que en temporada de invierno se tarda más tiempo que en temporada de verano para llegar a una condición de socavación de equilibrio. Ello debido a la diferencia de temperatura del agua.

2.3.2. Parámetros relacionados al lecho (Zhang, 2008)

Los parámetros relacionados al sedimento del lecho incluyen la densidad de las partículas, el ángulo de reposo, el diámetro medio, la velocidad de caída y la distribución granulométrica.

2.3.2.1. *Tamaño del sedimento*

Según Garde (1961), bajo condición de lecho vivo, el tamaño de sedimento influye en la tasa de desarrollo y profundidad máxima de socavación. Gill (1972) corroboró esto al concluir que la arena fina presenta una mayor tasa de desarrollo y profundidad de socavación que la arena gruesa bajo las mismas condiciones hidráulicas. Esto debido a que las partículas grandes requieren un mayor esfuerzo de corte para ser arrastradas. Sin embargo, la arena gruesa se socava más que la arena fina para el mismo valor τ/τ_c , en la que τ = esfuerzo de corte en el fondo τ_c = esfuerzo de corte crítico del material de lecho.

2.3.2.2. *Distribución granulométrica*

Generalmente, la desviación estándar geométrica σ_g , es el parámetro más importante en el análisis de distribución granulométrica. Se dice que un lecho tiene distribución uniforme si $\sigma_g < 1.4$ y tiene una distribución no uniforme si $\sigma_g > 1.4$. Que un lecho sea no uniforme, implica la posibilidad de generarse una capa de acorazamiento en el hoyo de socavación. Esto tendría efectos significativos sobre la profundidad máxima de socavación.

2.3.3. Parámetros relacionados a la condición de flujo (Zhang, 2008)

Los parámetros relacionados a la condición de flujo son el tirante y la velocidad media.

2.3.3.1. Tirante de flujo

Según Gill (1972) para caudales bajos, la profundidad de socavación máxima aumenta con el aumento del tirante de flujo de aproximación. Sin embargo, la profundidad de socavación máxima es independiente del tirante, para caudales altos.

2.3.3.2. Velocidad media

Según la velocidad media de flujo con relación a la velocidad crítica de inicio de movimiento, la socavación se clasifica como socavación en aguas claras o lecho vivo. En ambos casos, a mayor velocidad media de flujo de aproximación, mayor profundidad de socavación máxima.

2.3.4. Parámetros relacionados a la geometría del río (Zhang, 2008)

Los parámetros relacionados a la geometría del río incluyen exclusivamente a la forma del río. Generalmente se estudia con canales rectangulares de laboratorio, sin embargo, se han hecho estudios de los efectos de un espigón sobre un canal de sección compuesta, siendo este un escenario más cercano a la realidad.

Melville (1995), por ejemplo, sugiere tres tipos de escenario en canales compuestos idealizados como se muestra en la Figura N° 2.21.

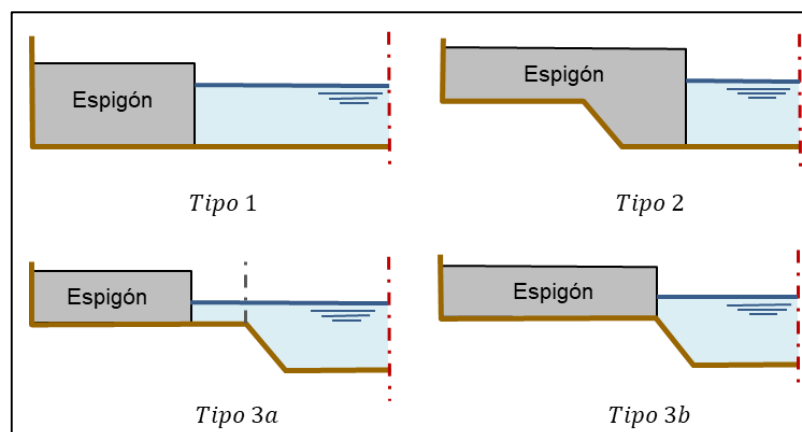


Figura N° 2.21 Tipos de socavación en canales compuestos. Fuente: Melville (1995)

El tipo 1 corresponde a un espigón aplicado en un canal rectangular sin llanura de inundación. El tipo 2, corresponde a un espigón aplicado en toda la llanura de inundación y parte del cauce principal. El tipo 3 corresponde a un espigón aplicado sólo en la llanura de inundación sin llegar al cauce principal. Se concluyó que la socavación local en espigones ubicados en la llanura de inundación se podría aproximar a la socavación local en canales rectangulares suponiendo un límite imaginario que separe los flujos en el cauce principal y en la llanura de inundación, tal como se indica en la Figura N° 2.21. Por lo tanto, el escenario Tipo 3 y Tipo 2 pueden tratarse como casos especiales del escenario Tipo 1.

2.3.5. Parámetros relacionados a la estructura del espigón (Zhang, 2008)

Los parámetros relacionados a la estructura del espigón incluyen su tamaño, su forma, su alineación y permeabilidad.

2.3.5.1. Longitud del espigón

Generalmente se utiliza la longitud proyectada del espigón en vez de su longitud real para el análisis de socavación local. Según Melville (1995), para un espigón largo, la profundidad de socavación máxima era independiente de la longitud de este.

2.3.5.2. Forma del espigón

La forma del espigón tiene un efecto significativo sobre la estructura de flujo local y, por lo tanto, sobre el proceso de socavación. Un cuerpo aerodinámico reduce la resistencia ejercida por el flujo, por lo tanto, un espigón vertical provoca una mayor profundidad de socavación en comparación con otros tipos de sección más aerodinámica. Según Melville (1992), para un espigón largo, el efecto de la forma del espigón podría ser ignorado.

2.3.5.3. Orientación del espigón

El ángulo de inclinación del espigón influye significativamente en la profundidad de socavación. Garde (1961) sugiere que la máxima profundidad de socavación es mayor para un espigón con un ángulo de inclinación de 90° y menor para todas las demás inclinaciones aguas arriba y aguas abajo. Sin embargo, esto fue

discutido por Tison (1962), quien argumenta que la mayor profundidad de socavación se da para un espigón inclinado hacia aguas arriba, seguido por los de 90° y los orientados hacia aguas abajo. Tison (1962) también dio explicaciones sobre las variaciones observadas de la máxima profundidad de socavación con el ángulo de inclinación usando una teoría simple, en la que se enfatizó la importancia del movimiento vertical en el desarrollo de socavación. Para un estribo corto, Melville (1992) afirmó que el efecto del ángulo de inclinación podría ser ignorado.

2.3.5.4. Permeabilidad del espigón

La permeabilidad del espigón también afecta significativamente la profundidad de socavación local. La profundidad y el área de socavación en un espigón impermeable son notablemente mayores que las de un espigón permeable (Zhang, 2005). Yeo (2007) investigó la socavación local en espigones con permeabilidad de 0% a 80%, y encontró que la profundidad de socavación disminuye con el aumento de la permeabilidad.

El área de socavación se concentró en la cabeza del espigón impermeable, mientras que, en el caso permeable, el área de socavación se extendió en toda la vecindad del espigón. Zhang (2005) observó que el hoyo de socavación tenía una forma de V a lo largo del eje del espigón permeable y que la máxima profundidad de socavación era menor que la mitad del caso impermeable.

2.4. SOCAVACIÓN LOCAL EN ESPIGONES

2.4.1. Socavación local en agua clara y lecho vivo (Zhang, 2008)

Basándose en las características del transporte de sedimentos del flujo de aproximación, la socavación local se puede clasificar como socavación local en agua clara y socavación local en lecho vivo.

2.4.1.1. Socavación local en agua clara

La socavación en agua clara se refiere a condiciones en las que el material de lecho aguas arriba del área de socavación está en reposo. Es decir, el esfuerzo cortante de fondo a una distancia cercana al espigón no es mayor que el esfuerzo cortante crítico para la iniciación del movimiento de la partícula.

2.4.1.2. Socavación local en lecho vivo

La socavación en lecho vivo ocurre cuando el esfuerzo cortante de fondo a una distancia cercana al espigón es generalmente más grande que el esfuerzo cortante crítico y el flujo induce el transporte de sedimentos.

2.4.1.3. Variación temporal de socavación local en agua clara y lecho vivo

La variación temporal de las profundidades máximas de socavación bajo condiciones de socavación local en agua clara y de socavación local en lecho vivo se muestra esquemáticamente en la Figura N° 2.22.

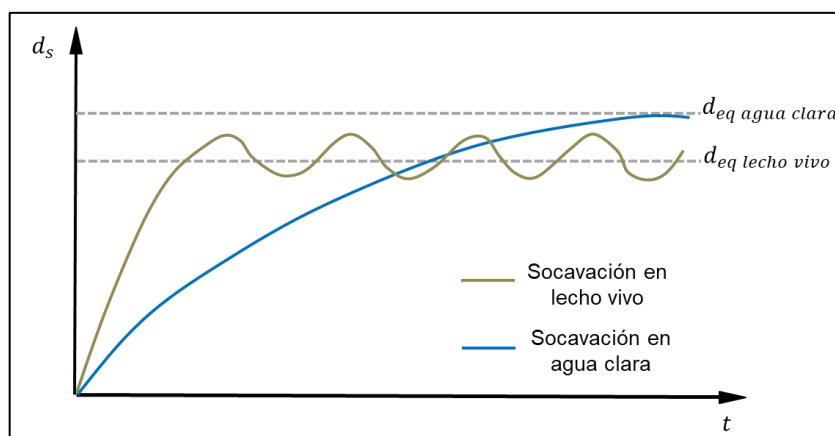


Figura N° 2.22 Variación temporal de la socavación local. Fuente: Chaber y Engeldinger (1956)

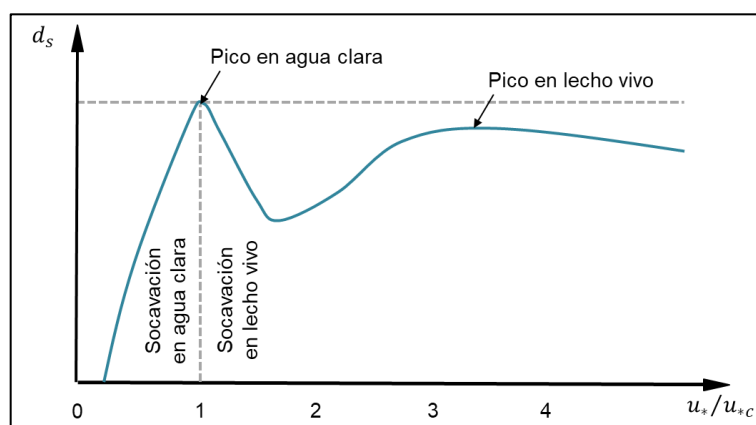


Figura N° 2.23 Variación de la socavación local con el esfuerzo cortante. Fuente: Chaber y Engeldinger (1956)

De acuerdo a la Figura N° 2.22, en el caso de socavación en agua clara, se pueden distinguir cuatro etapas: Etapa inicial, etapa de desarrollo, etapa de estabilización y etapa de equilibrio. En las dos primeras etapas, ocurre una alta

velocidad de socavación, mientras que, en la etapa de estabilización, la velocidad de socavación es muy baja. Finalmente, se alcanza una etapa de equilibrio, que por lo general tarda más tiempo en comparación con una socavación en lecho vivo. En el caso de la socavación en lecho vivo, la velocidad de socavación es bastante alta y luego fluctúa alrededor de un valor medio debido al desarrollo de las formas de fondo.

De acuerdo a la Figura N° 2.23, en el rango de socavación en agua clara, el esfuerzo cortante de fondo crece desde cero hasta el esfuerzo cortante crítico. En esta etapa la socavación local, aumenta desde cero hasta un punto máximo, denominado máxima profundidad de socavación, el cual ocurre en condiciones críticas. En este punto, las formas de fondo se desvanecen y se presenta un lecho plano.

El rango de socavación en lecho vivo se inicia cuando el esfuerzo cortante en el fondo supera al esfuerzo cortante crítico. En esta etapa, la capacidad de transporte del flujo disminuye, generando una disminución de la profundidad de socavación. A medida que se incrementa el esfuerzo cortante de fondo, nuevas formas de fondo se generan, provocando más flujo turbulento e incremento de la profundidad de socavación, sin igualar al punto máximo alcanzado anteriormente. Si se sigue incrementa este esfuerzo de corte en el fondo, las formas de fondo se desvanecerán nuevamente, generando otro descenso de la socavación.

2.4.2. Evolución temporal de la profundidad de socavación

De acuerdo con lo mencionado anteriormente, la profundidad de socavación sufre etapas y se incrementa progresivamente con el tiempo hasta finalmente alcanzar una condición de equilibrio. Hoffmans y Pilarczyk (1995) intentaron predecir la variación temporal de la profundidad de socavación, mientras que Coleman (2003) intentó predecir el tiempo requerido para alcanzar la condición de equilibrio.

2.4.2.1. Fórmula de Hoffmans y Pilarczyk (Nasrollahi, 2008)

En base a ensayos con varios tipos de materiales, velocidades de flujo y geometrías de canal aguas arriba del hoyo de socavación, Hoffmans y Pilarczyk

(1995), señalaron que la relación entre la profundidad de socavación y el tiempo podría ser como sigue:

$$\frac{d_s}{d_{se}} = 1 - e^{\ln\left(1 - \frac{y}{d_{se}}\right)\left(\frac{t}{t_1}\right)^{\frac{1}{\gamma_1}}} \quad (4)$$

Donde:

- d_s : Profundidad de socavación en el tiempo “t”
- d_{se} : Profundidad de socavación de equilibrio
- t : Tiempo
- t_1 : Tiempo en el cual la máxima profundidad de socavación iguala al tirante de flujo y $\gamma_1 = 0.2 - 0.4$ para flujo bidimensional.

2.4.2.2. Fórmula de Coleman (Zhang, 2008)

Coleman (2003), determinó que, para un sedimento uniforme y una condición de socavación en agua clara, el tiempo de socavación de equilibrio es el tiempo requerido para llegar a una socavación equivalente al 5% de la longitud de espigón o al 5% de la profundidad, lo que resulte menor. Es decir:

$$t_{eq} = \min\{t_{0.05L}, t_{0.05h}\} \quad (5)$$

Donde:

- L : Longitud del espigón
- h : Profundidad de flujo

2.5. SISTEMA DE FLUJO POR LA PRESENCIA DE ESPIGONES

El flujo que pasa alrededor de un espigón es bastante complejo y esta complejidad aumenta con el desarrollo del hoyo de socavación. El flujo inicia y controla el proceso todo el tiempo, por ello es muy importante una comprensión clara del comportamiento del flujo en el proceso de socavación local en espigones.

2.5.1. Sistema de flujo en planta (Zhang, 2008)

En un análisis en planta, se distinguen tres zonas de flujo alrededor de un espigón: zona de flujo principal, zona de estela y zona de transición (Zhang, 2008). Ver la Figura N° 2.24.

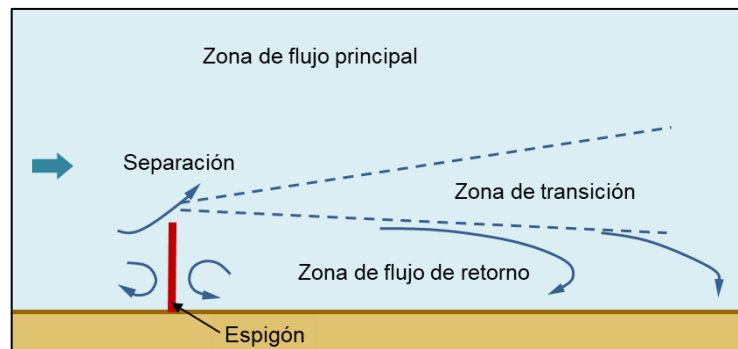


Figura N° 2.24 Flujo típico alrededor de un espigón visto en planta. Fuente: Zhang (2008)

2.5.1.1. Zona de Flujo Principal

La zona de flujo principal se extiende desde la cabeza del espigón hasta el lado opuesto del río y presenta velocidad acelerada. Según Molinas (1998), la velocidad en la cabeza del espigón podría aumentar hasta 1.5 veces la velocidad de flujo de aproximación, dependiendo de las condiciones de flujo y las proporciones de longitud del espigón.

2.5.1.2. Zona de Estela

La zona de estela se extiende detrás del espigón y se puede subdividir en dos zonas: zona de flujo de retorno y una zona de enlace.

La zona de flujo de retorno se caracteriza generalmente por dos remolinos de diferente dirección de rotación y tamaño: Un remolino pequeño que se ubica cerca del espigón, a una distancia casi igual a la longitud del espigón, L ; y un remolino grande que se ubica aguas abajo del anterior, ubicada a una distancia aproximada de $6L$.

La zona de enlace es un área donde el flujo separado se reencuentra con las laderas del río aguas abajo del espigón. Según Chen e Ikeda (1997), la longitud de la zona de enlace cubre una distancia de casi $6L$ y se localiza en un rango de $11L$ a $17L$. Para facilidad de análisis, la zona de enlace se suele simplificar en un punto denominado *punto de enlace*. Este punto determina la longitud de separación (Ver Figura N° 2.24). La ubicación del punto de enlace depende del ángulo de orientación y permeabilidad del espigón. Según Liu (1994), mientras más aguas arriba esté orientado el espigón, más lejano se ubicará el punto de enlace. Según Ho (2007), a mayor permeabilidad, más cercano se ubicará el

punto de enlace. Para 0% (impermeable), 20% y 80% de permeabilidad, la longitud de separación resultó 12.5L, 5.7L y 1.8L, respectivamente.

2.5.1.3. Zona de Transición

La zona de transición se extiende aguas abajo del espigón entre la zona de flujo principal y la zona de estela. Se caracteriza por el desprendimiento de vórtices, reflejado en las fluctuaciones de nivel de agua.

Según Chen e Ikeda (1997), la velocidad de migración de estos vórtices es constante y un poco mayor que la velocidad media de flujo. Además, se van fusionando a medida que emigran hacia abajo, aumentando su longitud.

2.5.2. Sistema de flujo en perfil

En un análisis vertical, se distinguen tres componentes: La ola de proa, el flujo descendente y el sistema de vórtices (Zhang, 2008). Ver Figura N° 2.25.

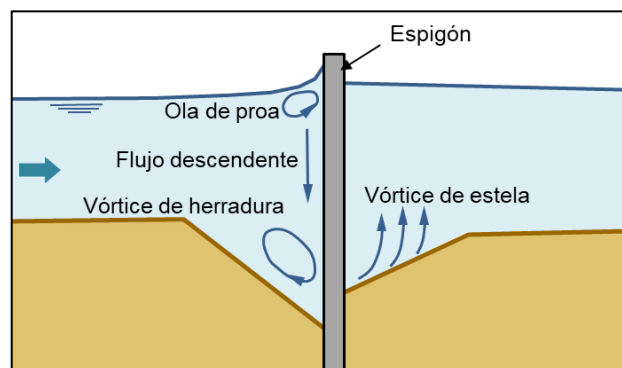


Figura N° 2.25 Flujo típico alrededor de un espigón visto en perfil. Fuente: Zhang (2008)

2.5.2.1. Ola de Proa (Breusers, 1991)

Es la ola formada en la superficie del agua, justo en la cara aguas arriba del espigón, producto del choque de la corriente de agua con la estructura.

2.5.2.2. Flujo descendente (Breusers, 1991)

Es el flujo producto de la obstrucción de la corriente de agua con la estructura del espigón. El flujo choca en su cara aguas arriba y una parte desciende verticalmente hacia el fondo. Este flujo transmite una fuerza que llega a ser máxima bajo el nivel del lecho, en el hoyo de socavación formado.

2.5.2.3. Sistema de vórtices (Breusers, 1991)

Como resultado de la separación de flujo en el frontis del espigón en un flujo descendente y una ola de proa, un vórtice de herradura se desarrolla en el hoyo de socavación local y un sistema del vórtice de la estela se forma detrás del espigón.

2.5.3. Sistemas de circulación entre espigones (Copeland, 1983)

Copeland (1983) definió una serie de flujos para la zona entre espigones, tal como se indica a continuación. En los siguientes ítems “S” representa la separación entre espigones y “L” representa la longitud del espigón.

2.5.3.1. Sistema de circulación tipo I

En este sistema la corriente principal es deflectada hacia fuera del campo de los espigones en un solo remolino o vórtice que se desarrolla entre ellos. Este sistema es el deseable para proyectos de navegación porque se produce un canal profundo continuo a lo largo de la cara del grupo de espigones. Este tipo de corriente se forma cuando $S/L \cong 1.5$. Ver Figura N° 2.26.

2.5.3.2. Sistema de circulación tipo II

Se produce al aumentar el espaciado entre espigones y es caracterizado por la presencia de un segundo remolino. La corriente principal es deflectada hacia fuera del campo de los espigones. Ver Figura N° 2.26

2.5.3.3. Sistema de circulación tipo III

A mayor distancia entre espigones la corriente principal es dirigida hacia el espigón, creando un mayor remolino aguas abajo y mayor turbulencia a lo largo de la cara posterior del espigón. Este tipo de corriente se forma para un valor de $S/L \cong 2.5$. Ver Figura N° 2.26.

2.5.3.4. Sistema de circulación tipo IV

Cuando se desarrolla este tipo de corriente la estabilidad que proporciona el espigón aguas arriba hacia el espigón aguas abajo desaparece y ocurre una corriente sencilla reversa que ataca directamente el segundo espigón. Este tipo de corriente se forma para un valor de $S/L \cong 3.5$. Ver Figura N° 2.26.

2.5.3.5. Sistema de circulación tipo V

A mayor distancia entre espigones el flujo desviado por el espigón aguas arriba es dirigido directamente hacia la orilla. Se forman remolinos en ambos lados de este flujo, creando una protección aparente de la orilla. Ver Figura N° 2.26.

2.5.3.6. Sistema de circulación tipo VI

El remolino aguas abajo que se formaba en el sistema tipo V desaparece y la corriente ataca directamente la orilla, sin ningún sistema de protección. Ver Figura N° 2.26.

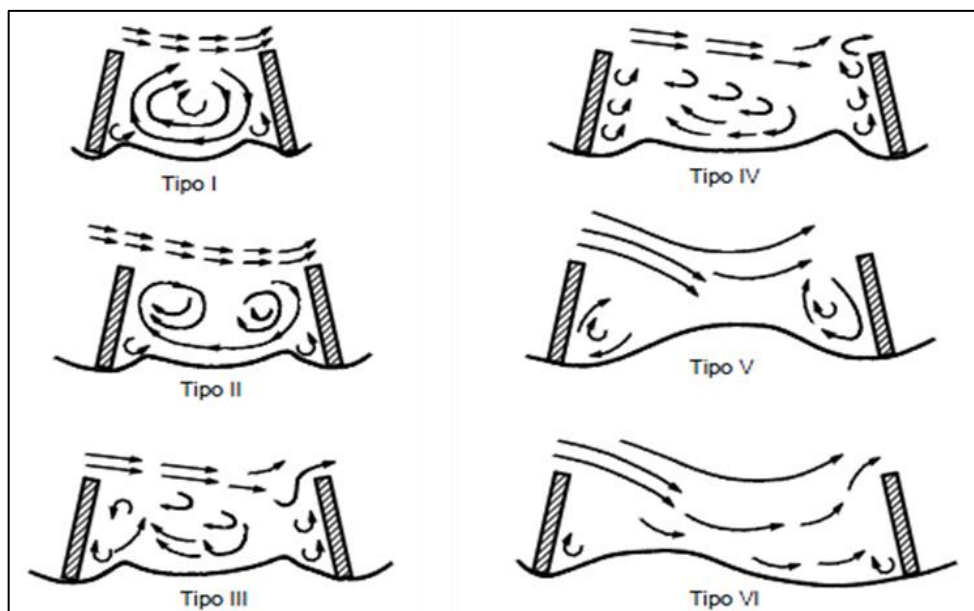


Figura N° 2.26 Sistemas de flujo entre espigones. Fuente: Copeland (1983)

2.6. PROFUNDIDAD DE SOCAVACIÓN DE EQUILIBRIO

Con el fin de estimar la profundidad de socavación de equilibrio, se han desarrollado varias teorías. Básicamente, estas teorías se agrupan en tres categorías: enfoque de régimen, enfoque dimensional, y enfoque analítico.

2.6.1. Enfoque del régimen (Zhang, 2008)

En el enfoque de régimen, la profundidad de socavación es una función del caudal de flujo en la sección contraída.

2.6.1.1. Fórmula de Inglis (1949)

Inglis (1949) propuso la siguiente ecuación para predecir la socavación de equilibrio.

$$d_s + h = 0.47k_i \left(\frac{Q}{f}\right)^{1/3} \quad (6)$$

Donde:

- d_s : Profundidad de socavación de equilibrio, m.
- h : Tirante de flujo de aproximación, m.
- f : Factor de finura, $f = 1.76\sqrt{d}$.
- d : Diámetro medio del sedimento, mm.
- Q : Caudal, m³/s.
- k_i : Factor de amplificación, dependiendo del tipo de obstrucción, varía de 0.8 a 1.8

2.6.1.2. Fórmula de Ahmad (1953)

Otra relación importante es la presentada por Ahmad (1953), que tiene la siguiente forma:

$$d_s + h = k_a q^{2/3} \quad (7)$$

Donde:

- d_s : Profundidad de socavación de equilibrio, m.
- h : Tirante de flujo de aproximación, m.
- k_a : Factor que depende del caudal y orientación del espigón.
- q : Caudal específico en la sección contraída, m³/s/m.

2.6.1.3. Fórmula de Blench (1969)

Blench (1969) presentó la siguiente expresión para calcular la socavación local de equilibrio en espigones.

$$d_s + h = k \left(\frac{q^2}{F_{bo}}\right)^{0.33} \quad (8)$$

Donde:

- d_s : Profundidad de socavación de equilibrio, m.
- h : Tirante de flujo de aproximación, m.

- k : Factor que depende del caudal y orientación del espigón, varía de 2 a 2.75.
- q : Caudal específico en la sección contraída, m³/s/m.
- F_{bo} : Factor de lecho cero de Blench.

El punto en contra del enfoque de régimen es que no se tiene en cuenta algunos factores dominantes para la profundidad de socavación de equilibrio, tales como la dimensión del espigón y el modo de transporte del sedimento.

2.6.2. Enfoque dimensional (Zhang, 2008)

Consiste en el análisis de consistencia dimensional de variables para explicar el fenómeno, en base a datos experimentales. En el proceso complejo de socavación local en espigones intervienen muchas variables que, en la práctica, no intervienen individualmente, sino que son combinados para formar variables compuestas como el número de Froude, esfuerzo de corte, y otros.

2.6.2.1. Fórmula de Garde (1961)

Garde (1961), relaciono la profundidad de socavación de equilibrio con parámetros adimensionales:

$$(d_s + h)/h = f(\alpha, \theta, Fr, C_D)$$

La ecuación que resultó de su análisis fue la siguiente:

$$(d_s + h)/h = k \left(\frac{B_1}{B_2} \right) Fr^n \quad (9)$$

Donde:

- d_s : Profundidad de socavación de equilibrio, m.
- h : Tirante de flujo de aproximación, m.
- k : Factor que depende del caudal y orientación del espigón.
- B_1 : Ancho total del canal, m.
- B_2 : Ancho contraído del canal, m.
- Fr : Número de Froude, $Fr = Vm/\sqrt{gh}$.
- Vm : Velocidad de flujo de aproximación, m/s.
- n : Función de C_D , varía entre 0.65 y 0.9.
- C_d : Coeficiente de arrastre del sedimento.

2.6.2.2. Fórmula de Liu (1961)

Liu (1961) presentó la siguiente expresión para calcular la socavación local de equilibrio en espigones.

$$d_s = 1.1h \left(\frac{L}{h}\right)^{0.4} Fr^{0.33} \quad (10)$$

Donde:

- d_s : Profundidad de socavación de equilibrio, m.
- h : Tirante de flujo de aproximación, m.
- L : Longitud efectiva del espigón, m.
- Fr : Número de Froude, $Fr = Vm/\sqrt{gh}$.
- Vm : Velocidad de flujo de aproximación, m/s.

2.6.2.3. Fórmula de Gill (1972)

Gill (1972) presentó la siguiente expresión para calcular la socavación local de equilibrio en espigones.

$$(d_s + h)/h = 8.375 \left(\frac{D_{50}}{h}\right)^{0.25} \left(\frac{B_1}{B_2}\right)^{0.83} \quad (11)$$

Donde:

- d_s : Profundidad de socavación de equilibrio, m.
- h : Tirante de flujo de aproximación, m.
- B_1 : Ancho total del canal, m.
- B_2 : Ancho contraído del canal, m.
- D_{50} : Tamaño medio del sedimento, m.

2.6.2.4. Fórmula de Melville (1997)

Melville (1997) propuso una ecuación que incluye amplios datos de pilares y estribos de puentes.

$$d_s = K_{hL} K_I K_d K_S K_\theta K_G \quad (12)$$

Donde:

- d_s : Profundidad de socavación de equilibrio, m.
- K_{hL} : Factor de profundidad de flujo y longitud de estribo.
- K_I : Factor de intensidad de flujo.

- K_d : Factor de tamaño de sedimento.
 K_S : Factor de forma del estribo.
 K_θ : Factor de alineamiento del estribo.
 K_G : Factor de geometría del canal.

Melville sugirió seguir el siguiente método de estimación para los factores K_{hL} :

$$K_{hL} = \begin{cases} 2L & \text{si } \frac{L}{h} < 1 \\ 2\sqrt{hL} & \text{si } 1 < \frac{L}{h} < 25 \\ 10h & \text{si } \frac{L}{h} > 25 \end{cases} \quad (13)$$

El factor relacionado a la intensidad de flujo K_I puede calcularse como:

$$K_I = \begin{cases} 1 & \text{si } \frac{u-(u_a-u_c)}{u_c} \geq 1 \\ \frac{u-(u_a-u_c)}{u_c} & \text{si } \frac{u-(u_a-u_c)}{u_c} < 1 \end{cases} \quad (14)$$

En las cuales, la velocidad crítica puede relacionarse con la velocidad crítica de corte mediante el logaritmo del perfil de velocidad:

$$\frac{u_c}{u_{*c}} = 5.75 \log \left(5.53 \frac{h}{d} \right) \quad (15)$$

$$\frac{u_{ca}}{u_{*ca}} = 5.75 \log \left(5.53 \frac{h}{d_a} \right) \quad (16)$$

Las velocidades críticas de corte, u_{*c} , u_{*ca} , se determinan a partir del tamaño de sedimento "d" y del tamaño medio de acorazamiento " d_a ", usando el diagrama de Shields. El tamaño medio de acorazamiento del sedimento se puede estimar con una expresión empírica dada por Chin (1994).

$$d_a = d_{max}/1.8 \quad (17)$$

Donde d_{max} es el máximo tamaño de partícula del material de sedimento no uniforme.

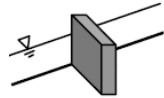
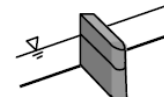


El factor relacionado al tamaño del sedimento K_d puede estimarse mediante la siguiente expresión:

$$K_d = \begin{cases} 1.0 & \text{si } \frac{L}{d} > 25 \\ 0.57 \log \left(2.24 \frac{L}{d} \right) & \text{si } \frac{L}{d} \leq 25 \end{cases} \quad (18)$$

En caso de sedimento no uniforme, el “d” es reemplazado por “d_a”.

El factor de forma K_S para la forma típica de estribo se muestra en la Tabla N° 2.1.

Tabla N° 2.1 Factor de Forma. Fuente: Melville (1992)

Modelo	Forma	K_S
	Pared vertical	1.00
	Borde semicircular	0.75
	Pared de ala	0.75
	Talud con pendiente 0.5H: 1V 1.0H: 1V 1.5H: 1V	0.60 0.50 0.45

Debido a que los efectos de forma no tienen importancia en los estribos más largos, Melville (1997) recomendó usar el factor de forma ajustado K_S^* en la fórmula de predicción siguiente.

$$K_S^* = \begin{cases} K_S & \text{si } \frac{L}{h} \leq 10 \\ K_S + 0.667(1 - K_S)\left(\frac{L}{10h} - 1\right) & \text{si } 10 < \frac{L}{h} < 25 \\ 1.0 & \text{si } \frac{L}{h} \geq 25 \end{cases} \quad (19)$$

El factor de alineación K_θ se da en la Tabla N° 2.2.

Tabla N° 2.2 Factor de alineamiento. Fuente: Melville (1992)

θ	30	60	90	120	150
K_θ	0.90	0.97	1.00	1.06	1.08

Melville (1992) recomendó que el factor de alineación se aplicara sólo a los estribos más largos y proporcionó el factor de alineación ajustado K_θ^* como:

$$K_\theta^* = \begin{cases} K_\theta & \text{si } \frac{L}{h} \geq 3 \\ K_\theta + (1 - K_\theta)\left(1.5 - \frac{L}{2h}\right) & \text{si } 1 < \frac{L}{h} < 25 \\ 1.0 & \text{si } \frac{L}{h} < 1 \end{cases} \quad (20)$$

Finalmente, el efecto de la geometría de canal para un canal compuesto es dado como:

$$K_G = \sqrt{1 - \frac{B^*}{B} \left[1 - \left(\frac{h^*}{h} \right)^{5/3} \frac{n^*}{n} \right]} \quad (21)$$

Donde:

- B : Ancho del canal principal
 B^* : Ancho de la llanura de inundación.
 h^* : Profundidad de flujo en la llanura de inundación.
 n : Rugosidad de Manning en el canal principal.
 n^* : Rugosidad de Manning en la llanura de inundación.

Con todos los factores K_i conocidos, la profundidad de socavación de equilibrio se calcula fácilmente por sustitución directa.

2.6.2.5. Fórmula de Nasrollahi (2008)

Asfin Nasrollahi (2008) desarrolló una fórmula empírica para calcular la socavación local en espigones permeables bajo una condición de agua clara.

$$d_s = 0.51 \cdot L \left(\frac{h}{L} \right)^{0.4} \left(\frac{L}{B} \right)^{-0.5} (1 - R)^2 \quad (22)$$

Donde:

- d_s : Profundidad de socavación de equilibrio, m.
 h : Tirante de flujo de aproximación, m.
 L : Longitud efectiva del espigón, m.
 R : Permeabilidad del espigón.

2.6.3. Enfoque analítico (Zhang, 2008)

2.6.3.1. Fórmula de Laursen (1960-1963)

Laursen (1960-1963) desarrolló fórmulas para condición de socavación local en agua clara y en lecho vivo en estribos de pared vertical, basadas en la socavación por contracción como sigue.

Para socavación en lecho vivo (Laursen, 1960)

$$\frac{L}{h} = 2.75 \left(\frac{d_s}{h} \right) \left[\left(\frac{1}{r} \frac{d_s}{h} + 1 \right)^{7/6} - 1 \right] \quad (23)$$

Para socavación en agua clara (Laursen, 1963)

$$\frac{L}{h} = 2.75 \left(\frac{d_s}{h} \right) \left\{ \left(\frac{1}{r} \frac{d_s}{h} + 1 \right)^{7/6} / \left(\frac{u_{*p}}{u_{*c}} \right) - 1 \right\} \quad (24)$$

Donde:

- d_s : Profundidad de socavación de equilibrio, m.
 h : Tirante de flujo de aproximación, m.
 L : Longitud efectiva del espigón, m.
 u_{*p} : Velocidad de corte asociado con las partículas de sedimento, N/m.
 r : Relación entre la profundidad de socavación local en el estribo y la profundidad de socavación en una contracción larga equivalente. Es asumido como 11.5 para socavación en lecho vivo y como 1.2 para socavación en agua clara.

2.6.3.2. Fórmula de Lim (1997)

Lim (1997) desarrolló una fórmula semi-empírica para la socavación en agua clara, basándose en la premisa de que la obstrucción del flujo y los subsiguientes incrementos del esfuerzo cortante debido a la proyección del estribo son responsables de la socavación.

$$\frac{d_s}{h} = K_s(0.9X_a - 2) \quad (25)$$

Donde:

- d_s : Profundidad de socavación de equilibrio, m.
 h : Tirante de flujo de aproximación, m.
 K_s : Factor de forma dado por la Tabla N° 2.1.
 X_a : $\tau_{*c}^{-0.375} F_d^{0.75} (d/h)^{0.25} (0.9(L/h)^{0.5} + 1)$
 τ_{*c} : Esfuerzo cortante crítico adimensional.
 F_d : Número de Froude respecto al sedimento $F_d = Vm / \sqrt{(s-1)gd_m}$.
 Vm : Velocidad de flujo de aproximación, m/s.
 L : Longitud del espigón, m.

2.6.4. Resumen

En la Figura N° 2.27 se presenta un resumen de los enfoques planteados para la determinación de la socavación local en espigones y sus respectivas formulaciones.

Hay que tener presente que estas ecuaciones son empíricas y se basan principalmente en resultados de pruebas de laboratorio con un solo espigón en ángulo recto e impermeable, despreciando generalmente el efecto del ángulo de orientación y grado de permeabilidad.

Sólo las formulaciones de Nasrollahi (2008) y Melville (1997) consideran el efecto del grado de permeabilidad y ángulo de orientación respectivamente.

Ninguna de las ecuaciones empíricas presentadas aquí ha alcanzado una aceptación generalizada.

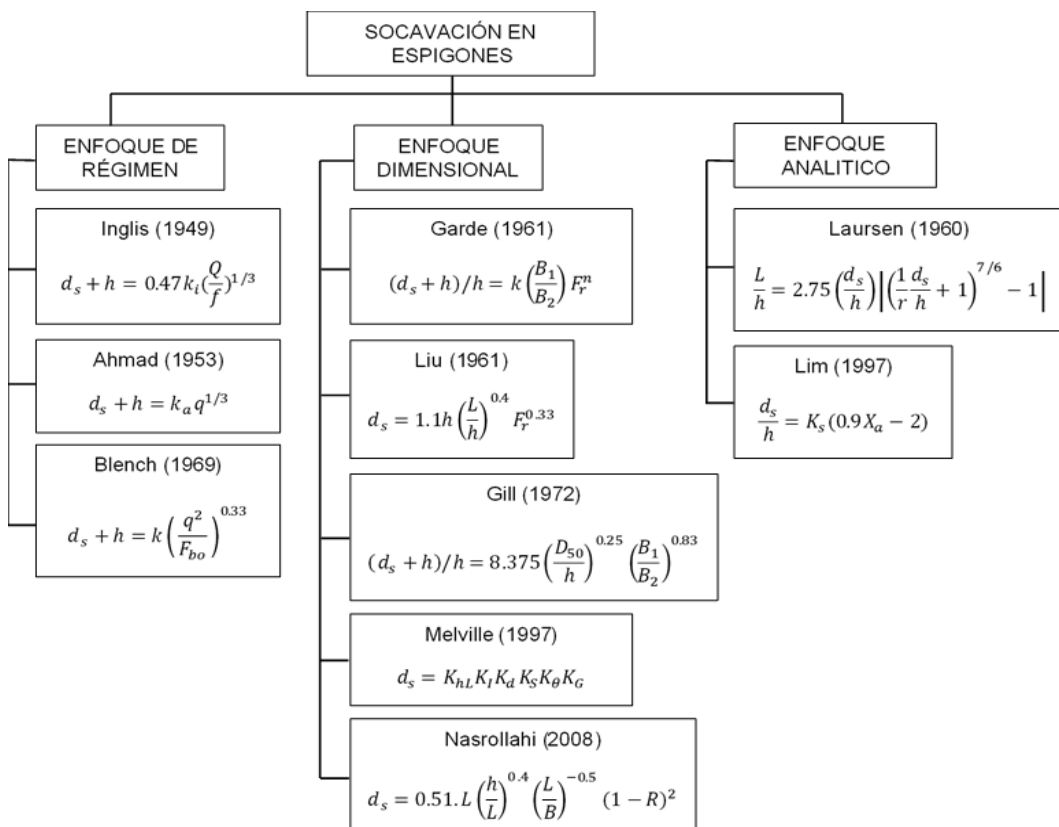


Figura N° 2.27 Resumen de formulaciones para socavación en espigones. Fuente: Propia

CAPÍTULO III. EQUIPO DE ENSAYO Y MÉTODO DE EXPERIMENTACIÓN

3.1. GENERALIDADES

3.1.1. Introducción

Esta etapa de la investigación se centró en la habilitación de un canal de lecho móvil con flujo hidráulicamente estable que permita el desarrollo de la socavación local alrededor de un espigón permeable, dentro del rango de condiciones hidráulicas establecidas.

Todos los ensayos experimentales se han realizado en las instalaciones del Laboratorio Nacional de Hidráulica (en adelante L.N.H.) ubicado en la avenida Túpac Amaru s/n puerta 4B, distrito del Rímac, provincia y departamento de Lima. El Laboratorio Nacional de Hidráulica tiene una extensión de 1.70 hectáreas de las cuales más de 1.2 hectáreas están destinadas a la construcción de modelos físicos para investigación de proyectos públicos y privados, tesis de pregrado y posgrado. Además, se cuenta con un área de División Didáctica de 992 m² con fines de estudio e investigación, donde se realizan pruebas de laboratorio en bombas, canales y turbinas. En esta área se encuentra el canal didáctico que se utilizará para la realización de la presente investigación.

3.1.2. Objetivo

El objetivo de la experimentación realizada fue observar y analizar el comportamiento de flujo y lecho alrededor de un espigón permeable considerando tres grados de permeabilidad y tres ángulos de orientación diferentes.

3.2. EQUIPO PARA LA PRUEBA EXPERIMENTAL

3.2.1. Componentes del sistema de flujo

Para la ejecución de todos los ensayos experimentales de esta investigación se habilitó un sistema de recirculación de flujo, ubicado dentro de las instalaciones de la División Didáctica del L.N.H. En la Figura N° 3.1 se presenta un esquema de los componentes del sistema utilizado.

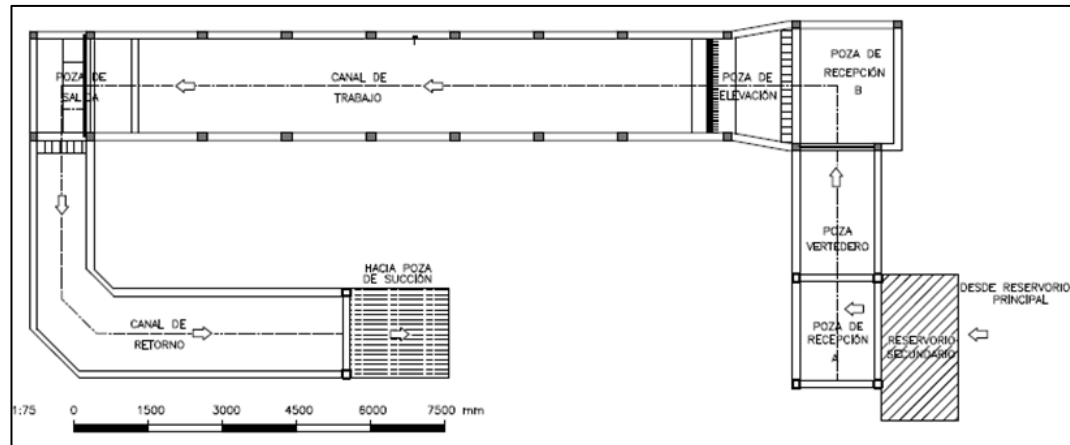


Figura N° 3.1 Esquema de sistema de recirculación para ensayos. Fuente: Propia

3.2.1.1. Bomba hidráulica electromecánica

Se empleó una electrobomba sumergible marca CEM Cie. Electro Mécanique con número de serie LM-386283, con las siguientes características principales: 37 Kw y potencia de 50 HP, velocidad angular de 1140 revoluciones por minuto, ciclo de 60 Hz y tensión eléctrica de 220 v. La turbina tiene un diámetro de succión e impulsión de 406 mm (16”), (Pacheco, 2016).

3.2.1.2. Poza de succión

Es la poza utilizada como reservorio general del sistema de flujo, de donde se extrae agua impulsada mediante la bomba electromecánica. Está ubicada a una cota de nivel de fondo de -5.50 m. y tiene un área de 50 m². Esta poza recibe el agua que pasa por todo el sistema de experimentación, por lo cual, demanda una limpieza manual de sedimentos cada cierto tiempo para mantener una capacidad adecuada y no permitir el reingreso de sedimentos al sistema.

3.2.1.3. Reservorio principal

Es la estructura que recibe el agua de la poza de succión por medio de la bomba electromecánica, a través de una tubería de 406 mm (16”). Este reservorio cuenta con 4 tuberías de salida y válvulas de control que sirven para abastecer de agua a los modelos físicos que se están desarrollando dentro del L.N.H.



Figura N° 3.2 Fotografía de reservorio principal. Fuente: Propia

3.2.1.4. *Reservorio secundario*

Es la estructura que recibe el agua a presión del reservorio principal por medio de una tubería de 406 mm (16") de diámetro. Presenta una longitud de 3.00 m y un ancho de 1.50 m. Finalmente, este reservorio secundario dirige el agua por gravedad hacia el sistema de pozas.

3.2.1.5. *Sistema de pozas*

El agua proveniente del reservorio secundario pasa hacia un sistema de pozas antes de llegar al canal de trabajo. Primero, el agua que sale del reservorio secundario llega hacia una poza de recepción A, donde se eleva el nivel de agua. Luego, el agua pasa hacia una poza vertedero, donde se ha instalado un vertedero rectangular de pared delgada de 1.49 m de longitud, 0.48 m de altura y 0.01 m de espesor. Es en esta poza donde se calibra el caudal de salida por medio de un Limnómetro Neyrpic. Luego, el agua cae hacia una poza de recepción B, donde se neutraliza la energía del chorro del vertedero. Finalmente, el agua pasa hacia una poza de elevación, donde se elevará el nivel de agua para finalmente, entrar por rebose hacia el canal de trabajo. Véase la Figura N° 3.3.



Figura N° 3.3 Sistema de pozas. Fuente: Propia

3.2.1.6. Canal de trabajo

Es el canal donde se desarrollaron todos los ensayos de esta investigación, tiene un ancho de 1.91 m, una profundidad de 1.20 m y una longitud de 11.20 m. El canal será relleno con el material de lecho hasta una altura aproximada de 0.70 m, por lo que tendrá una profundidad efectiva aproximada de 0.5 m.

Esta estructura está construida en base a muros de albañilería convencional de 0.15 m de espesor. Cuenta con tres vanos de vidrio de 0.55 mx1.50 m en la margen derecha y dos vanos de vidrio de 0.30 mx1.50 m en la margen izquierda, por donde se puede visualizar el pasar del flujo y su acción sobre el lecho móvil. Véase la Figura N° 3.4.



Figura N° 3.4 Canal de trabajo. Fuente: Propia

3.2.1.7. Poza de salida

Es la poza que recibe el agua con sedimento que fluye por el canal principal y la entrega al canal de retorno. Además, funciona como dissipador de energía y control de tirante, ya que en esta poza se encuentra instalada una compuerta metálica tipo clapeta de 1.90 mx0.80 m que sirve para controlar las condiciones aguas abajo del flujo que circula por el canal principal. Esta poza tiene una longitud de 1.92 m, un ancho de 1.90 m y una profundidad de 1.57 m. Véase la Figura N° 3.5.



Figura N° 3.5 Poza de salida y compuerta clapeta. Fuente: Propia

3.2.1.8. Canal de retorno

Es el canal rectangular que recibe el agua con sedimento proveniente de la poza de salida y la entrega de retorno a la poza de succión. Funciona también como desarenador del sistema, pues retiene el material arrastrado del canal de trabajo durante los ensayos. Este canal se puede describir en tres tramos: El primero, tiene 4.30 m de longitud y 1.00 m de ancho; el segundo, es una transición de anchura de 1.00 m a 1.50 m y tiene 0.98 m de longitud; y el tercero, tiene 5.00 m de longitud y 1.50 m de ancho. Véase la Figura N° 3.6.



Figura N° 3.6 Canal de retorno. Fuente: Propia

3.2.2. Equipos de medición

3.2.2.1. Vertedero

Se ha empleado un vertedero rectangular de 149.70 cm de longitud, 48 cm de altura y 1 cm de espesor, con su respectivo limnómetro Neyrpic serie 787, instalado lateralmente y que controla el caudal empleado en cada ensayo (Ver la Figura N° 3.7). Este equipo ha sido calibrado tal como se detalla en el Anexo A, dando como resultado la siguiente relación para el caudal de descarga:

$$Q = 3.1299H^{3/2} \quad (26)$$

Donde:

H : Altura de agua que pasa por el vertedero y se obtiene de la lectura del limnómetro, m.

Q : Caudal de salida, m³/s.



Figura N° 3.7 Limnómetro para medición de caudales. Fuente: Propia

3.2.2.2. *Limnómetro topográfico*

Las mediciones de las variables de lecho (topografía, formas de fondo) se llevaron a cabo por medio de un limnómetro de precisión milimétrica instalado sobre una estructura de puente móvil, permitiendo un desplazamiento transversal y longitudinal en toda el área del canal de trabajo. Véase la Figura N° 3.8.



Figura N° 3.8 Limnómetro instalado en puente móvil sobre canal de trabajo. Fuente: Propia

3.2.2.3. Nivel topográfico

Se usó el nivel topográfico marca PENTAX, modelo AFL – 321, 32x45 mm, cuyo número de serie N° 879755, y una mira metálica de precisión milimétrica para la medición de la pendiente longitudinal del canal de trabajo y las condiciones iniciales de ensayo. Ver la Figura N° 3.9.



Figura N° 3.9 Nivel topográfico. Fuente: Propia

3.2.2.4. Velocímetro perfilador acústico de efecto Doppler (ADV)

Para la medición de variables de flujo (tirante, velocidades, temperatura, socavación) en todos los ensayos se utilizó un ADV modelo Vetrino Profile de la compañía Nortek, instalado en el puente móvil del canal de trabajo. Este instrumento de medición es capaz de medir velocidades en tres dimensiones a tasas de muestreo de hasta 100 Hz, una resolución de 1 mm en un rango vertical de hasta 35 mm. Ver la Figura N° 3.10.



Figura N° 3.10 Velocímetro perfilador acústico de efecto Doppler. Fuente: Propia

3.3. MATERIALES EMPLEADOS EN LOS ENSAYOS

3.3.1. Lecho de arena

Para la representación del lecho móvil se utilizó arena fina (Véase la Figura N° 3.11). Esta fue colocada en una capa de 0.70 m de espesor y 11.2 m de longitud.

Se llevaron a cabo pruebas de laboratorio para obtener las características físicas del material, tales como el tamizado mecánico, densidad y peso específico, los cuales se detallan en el Anexo B.

Según el ensayo de distribución granulométrica ASTM-D422, el material del lecho se compone de arena fina graduada con un tamaño medio de partícula de $D_{50}=0.23$ mm y una gravedad específica de 2.75. La desviación estándar geométrica de la arena es $\sigma_g =1.71$, lo que indica una distribución uniforme. La curva granulométrica correspondiente se muestra en la Figura N° 3.12.



Figura N° 3.11 Arena utilizada como lecho fluvial. Fuente: Propia

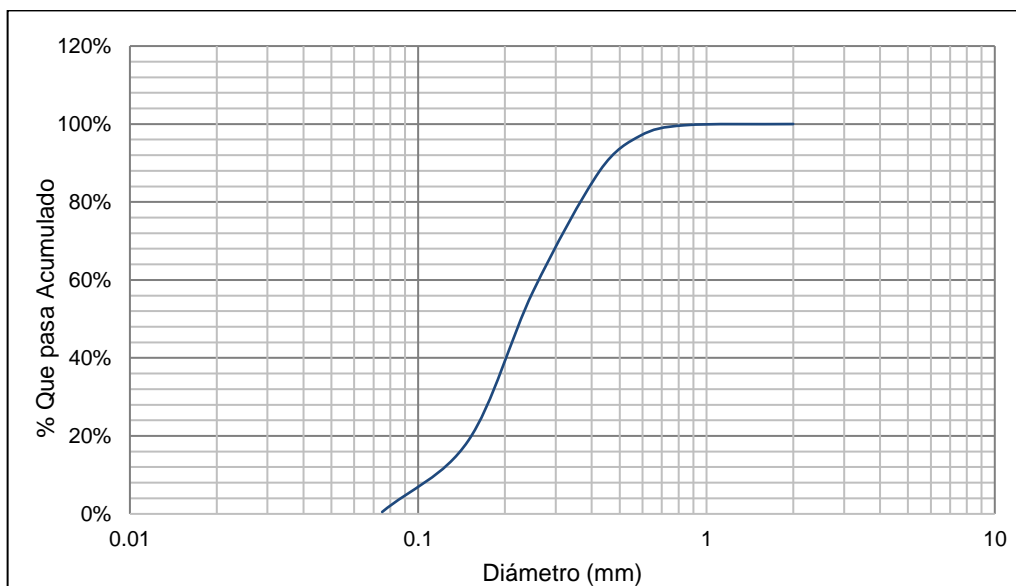


Figura N° 3.12 Curva granulométrica de la arena utilizada. Fuente: Propia

En la Tabla N° 3.1 se muestran los parámetros físicos más importantes para el planteamiento de las condiciones hidráulicas en los ensayos.

Tabla N° 3.1 Parámetros de arena utilizada. Fuente: Propia

PARÁMETRO	MAGNITUD	UNIDAD
Diámetro D ₅₀	0.23	mm
Diámetro D ₉₀	0.46	mm
Diámetro D ₈₄	0.40	mm
Diámetro D ₇₅	0.35	mm

PARÁMETRO	MAGNITUD	UNIDAD
Diámetro D ₆₀	0.27	mm
Diámetro D ₃₀	0.18	mm
Diámetro D ₁₆	0.14	mm
Diámetro D ₁₀	0.11	mm
Coefficiente de Uniformidad	1.71	-
Densidad	2.75	g/cm ³
Gravedad Específica	2.75	-

3.3.2. Espigón

Para la construcción de la estructura de los espigones de prueba se usó varillas lisas de Acero A36 ASTM fy 3600 kg/cm² de 3/8" de diámetro, las cuales fueron recortadas según las condiciones de experimentación. Véase la Figura N° 3.13. Su construcción se muestra en el panel fotográfico del Anexo D.



Figura N° 3.13 Varillas de acero en la construcción de espigones. Fuente: Propia

3.4. ESPIGONES

3.4.1. Forma de los espigones

Se ha utilizado en todos los ensayos de esta investigación espigones rectos. Esto debido a que es la forma más empleada en la ingeniería, por su facilidad constructiva y beneficio económico.

3.4.2. Longitud de los espigones

El espigón de prueba tiene una longitud proyectada (L_e) equivalente al 25% del ancho del canal de prueba, resultando una longitud proyectada de 480 mm. Esto se basa en las recomendaciones dadas por los estudios de la F.H.W.A para espigones permeables, señaladas en la Revisión de literatura (Véase Capítulo 2.1.3.2).

Cabe mencionar que en todas las pruebas se ha mantenido constante la longitud proyectada de espigón, incluso cuando se varía el ángulo de orientación (Véase la Figura N° 3.14). Esto implica que la longitud real del espigón varía conforme al ángulo de orientación que adopta, según la siguiente fórmula:

$$L_{real} = \frac{L_{proy}}{\text{sen}(\theta)} \quad (27)$$

Donde:

L_{real} : Longitud real del espigón, medido longitudinalmente.

L_{proy} : Longitud proyectada del espigón, constante.

θ : Angulo de orientación de ensayo.

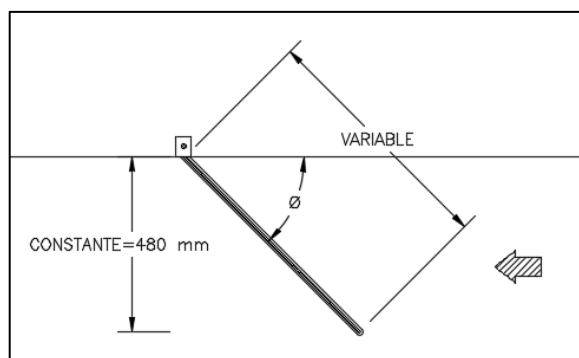


Figura N° 3.14 Vista en planta de longitud de espigón de prueba. Fuente: Propia

3.4.3. Altura de los espigones

El espigón de prueba tiene una altura (H_e) de 300 mm respecto al nivel de lecho en condiciones iniciales, suficiente para garantizar la condición de no sumergencia; y una profundidad de cimentación de 400 mm, suficiente para garantizar que la máxima socavación esperada no desprenda al espigón del lecho. Esto hace una altura total de espigón de 700 mm. Véase la Figura N° 3.15.

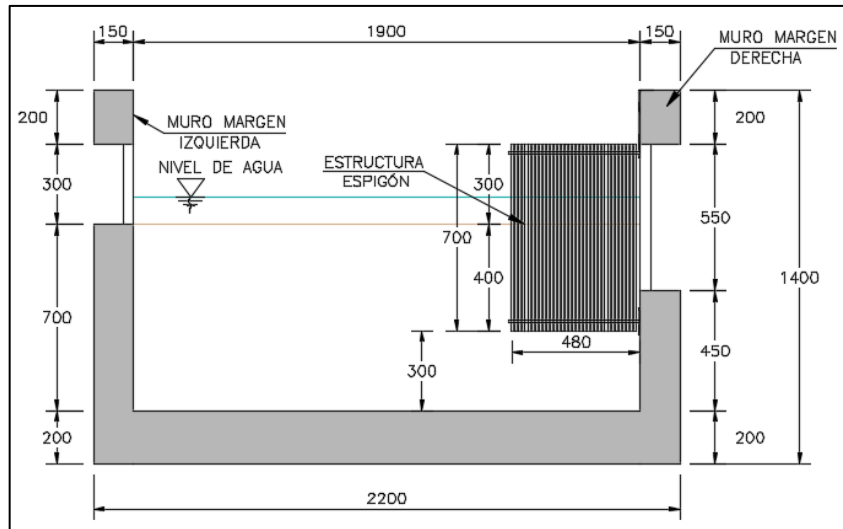


Figura N° 3.15 Altura de espigón de prueba. Fuente: Propia

3.4.4. Permeabilidad de los espigones

Se construyeron 03 tipos de espigones con diferente grado de permeabilidad, denominados Tipo I, Tipo II y Tipo III. Para lograr una representación de este parámetro, se utilizó el coeficiente Grado de Apertura (Véase Capítulo 2.1.3.7).

$$R = \frac{X}{X+D} \quad (28)$$

Donde:

X : Espaciamiento entre pilas.

D : Diámetro de pilas usadas en el caso impermeable.

Tabla N° 3.2 Permeabilidad de espigones. Fuente: Propia

ESPIGÓN	X (mm)	D (mm)	R (%)
TIPO I	3.0	6	0.30
TIPO II	6.0	6	0.50
TIPO III	14.0	6	0.70

En la Figura N° 3.16 se presenta un esquema de representación del grado de apertura del espigón de prueba.

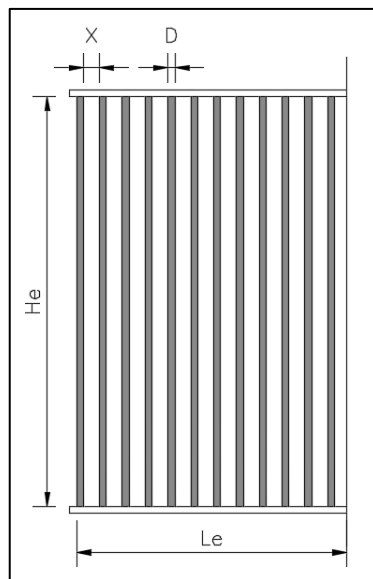


Figura N° 3.16: Esquema de permeabilidad de espigón de prueba. Fuente: Propia

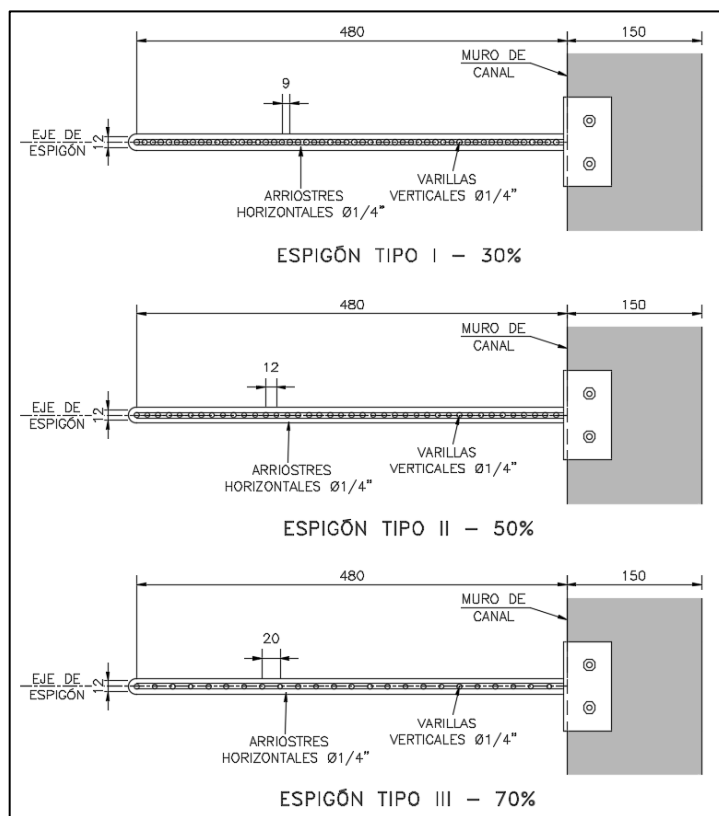


Figura N° 3.17 Permeabilidad de espigones de prueba. Fuente: Propia

3.4.5. Ángulo de orientación de espigones

Para efectos de esta investigación, se ha trabajado con los 3 ángulos de orientación más representativos: a 45° o tipo A (orientado hacia aguas arriba), a

90° o tipo B (perpendicular a la corriente) y a 135° o tipo C (orientado hacia aguas abajo), tal como se muestra en la Figura N° 3.18.

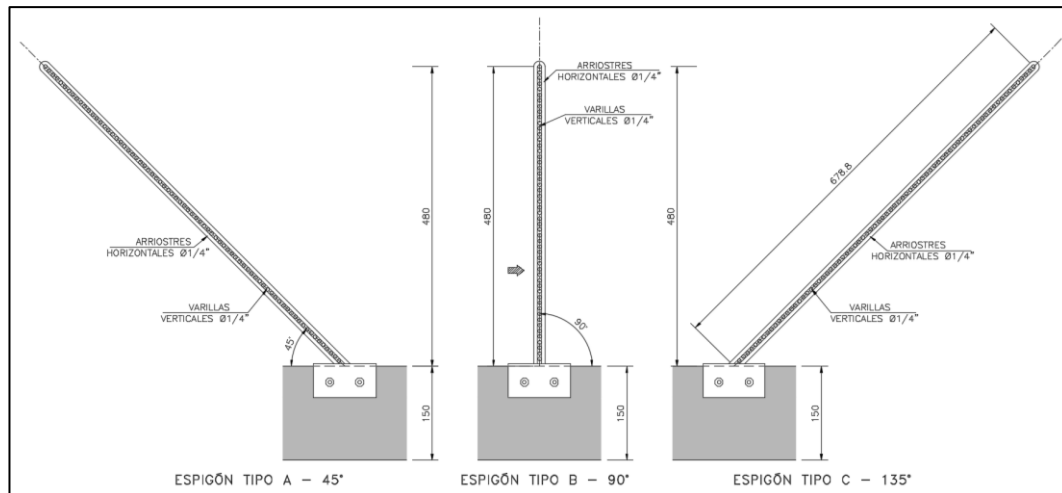


Figura N° 3.18 Orientación de espigones de prueba. Fuente: Propia

3.4.6. Tipo de espigones

3.4.6.1. Espigón Tipo I

Se trata de un espigón permeable estructurado por una fila de 53 pilotes representados por varillas de acero liso de 9.5 mm de diámetro (3/8”) y 3 mm de espaciado. Esta configuración permite obtener un grado de permeabilidad de 30%. El espigón funciona como no sumergido. Véase Figura N° 3.19.



Figura N° 3.19 Fotografía de espigón tipo I. Fuente: Propia

3.4.6.2. *Espigón Tipo II*

Se trata de un espigón permeable, estructurado por una de fila 40 pilotes representados por varillas de acero liso de 9.5 mm de diámetro (3/8") y 9 mm de espaciamiento. Esta configuración permite obtener un grado de permeabilidad de 50%. El espigón funciona como no sumergido. Véase Figura N° 3.20.

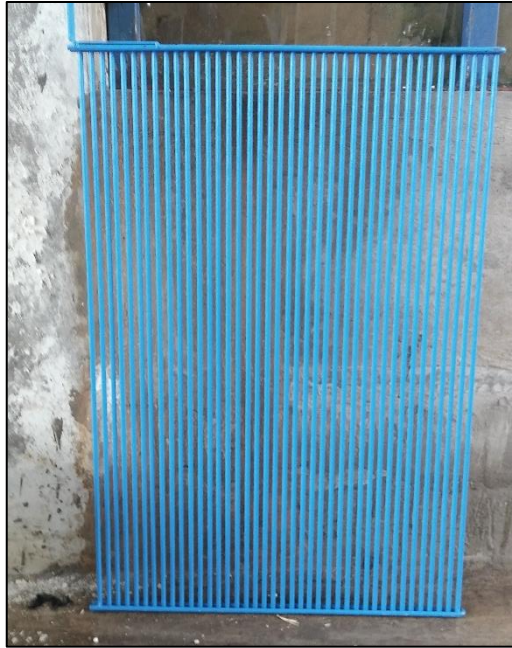


Figura N° 3.20 Fotografía de espigón tipo II. Fuente: Propia

3.4.6.3. *Espigón Tipo III*

Se trata de un espigón permeable, estructurado por una de fila 25 pilotes representados por varillas de acero de 9.5 mm de diámetro (3/8") y 14 mm de espaciamiento. Esta configuración permite obtener un grado de permeabilidad de 70%. El espigón funciona como no sumergido. Véase Figura N° 3.21.



Figura N° 3.21 Fotografía de espigón tipo III. Fuente: Propia

3.5. METODOLOGÍA DE EXPERIMENTACIÓN

3.5.1. Condiciones hidráulicas de ensayo

A continuación, se presentan las condiciones hidráulicas empleadas en los ensayos experimentales. En el Anexo C se detalla el sustento de cálculo.

3.5.1.1. Condición de flujo

Se ha trabajado con una condición de socavación local bastante cercana a la condición en agua clara (Véase Capítulo 2.4.1). Es decir, existe un aporte mínimo de sedimentos en el flujo que “rellenan” la fosa de socavación durante el proceso de su desarrollo.

3.5.1.2. Caudal

Se ha ejecutado pruebas con un caudal muy cercano al caudal de umbral de movimiento. Para un diámetro medio de 0.23 mm, el caudal calculado fue 0.089 m³/s.

Para todos los ensayos se consideró un hidrograma lineal, desarrollado en un periodo de 1 hora, tal como se muestra en la Figura N° 3.22.

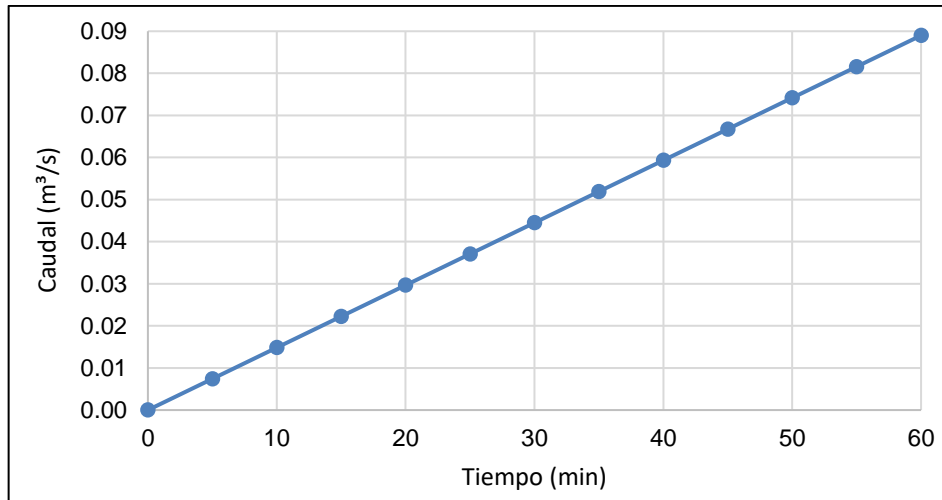


Figura N° 3.22 Hidrograma de ensayos. Fuente: Propia

3.5.1.3. Tirante normal

Se ha trabajado con un tirante normal correspondiente a las condiciones de umbral de movimiento, calculado en 17.5 cm.

3.5.1.4. Número de Reynolds

El número de Reynolds correspondiente a las condiciones críticas de iniciación de movimiento resulta de 38814.46, indicando una condición de flujo turbulento.

3.5.1.5. Número de Froude

El número de Froude correspondiente a las condiciones de umbral de movimiento resulta igual a 0.207, indicando un régimen de flujo subcrítico.

3.5.1.6. Esfuerzo de corte en la base

La fuerza de corte medio en la base, principal responsable del movimiento de las partículas en el lecho móvil resulta igual a 0.178 N/m².

3.5.1.7. Velocidad de corte

La velocidad de corte correspondiente a las condiciones críticas de iniciación de movimiento resulta 0.013 m/s.

3.5.1.8. Índice de movilidad o parámetro de Shields

El índice de movilidad, que representa el valor relativo de las fuerzas del peso

sumergido de la partícula y las fuerzas que intentan desplazarla, resulta igual a 0.045.

3.5.1.9. Índice de inestabilidad

El índice de inestabilidad, que representa el valor relativo de las fuerzas de inercia y las fuerzas viscosas en el entorno de una partícula, resulta igual a 3.01.

3.5.1.10. Resumen

En la Tabla N° 3.3 se resume las condiciones hidráulicas de experimentación consideradas en todos los ensayos. Los cálculos hidráulicos que sustentan estas condiciones se encuentran en el Anexo C.

Tabla N° 3.3 Condiciones Hidráulicas de experimentación. Fuente: Propia

TIPO	DESCRIPCIÓN	SIMBOLO	MAGNITUD	UNIDAD
PARÁMETROS DEL CANAL DE PRUEBA	Ancho	B	1.90	m
	Talud transversal	Z	0.00	m/m
	Pendiente longitudinal	S	0.0001	m/m
	Rugosidad por sedimento	n_s	0.0117	-
	Rugosidad de paredes	n_v	0.0100	-
	Rugosidad total	n_t	0.0114	-
	Longitud del canal	L	11.2	m
PARÁMETROS DEL MATERIAL DE LECHO	D ₅₀	D ₅₀	0.23	mm
	D ₉₀	D ₉₀	0.46	mm
	Coficiente de uniformidad	C_u	1.71	-
	Coficiente de arrastre	C_d	6.34	-
	Velocidad de caída	w	0.03	m/s
	Densidad	ρ_s	2.75	g/cm ³
	Peso específico relativo Sumergido	ρ'_s	1.75	-
PARÁMETROS DEL FLUIDO	Temperatura	T	19.45	°C
	Viscosidad cinemática	ν	1.02E-06	m ² /s
	Densidad	ρ_w	998.3	kg/m ³
CONDICIÓN DE SHIELDS	Parámetro de partícula	D^*	5.857	-
	Índice de movilidad	F^*	0.045	-
	Esfuerzo cortante crítico	τ_{oc}	0.178	N/m ²
	Radio hidráulico crítico	R_c	0.147	m
	Tirante crítico	d_c	0.175	m
	Caudal crítico	Q_c	0.089	m ³ /s
	Velocidad media crítica	V_c	0.271	m/s
	Froude	F_c	0.207	-
	Velocidad de corte crítica	V_c^*	0.013	m/s
	Índice de inestabilidad	I_c	3.014	-

TIPO	DESCRIPCIÓN	SIMBOLO	MAGNITUD	UNIDAD
CONDICIÓN NORMAL	Caudal normal	Q_n	0.089	m ³ /s
	Tirante normal	Y_n	0.175	m
	Área hidráulica	A	0.330	m ²
	Velocidad media	V_m	0.271	m/s
	Radio hidráulico	R_n	0.147	m
	Velocidad de corte promedio	V_*	0.013	m/s
	Pendiente normal de energía	S_n	0.000124	m/m
	Esfuerzo de corte promedio	τ_o	0.178	N/m ²
	Froude	Fr	0.207	-
	Número de Reynolds	Re	38814.46	-

3.5.2. Ensayos experimentales

Una vez definido las condiciones hidráulicas de experimentación y los tipos de espigón, se definen los ensayos a realizar en la Tabla N° 3.4.

Tabla N° 3.4 Ensayos experimentales. Fuente Propia

Orden de ensayo	Nombre	Tipo de Espigón	Orientación	Permeabilidad
1	E45-30	I-A	45°	30%
2	E45-50	I-B	45°	50%
3	E45-70	I-C	45°	70%
4	E90-30	II-A	90°	30%
5	E90-50	II-B	90°	50%
6	E90-70	II-C	90°	70%
7	E135-30	III-A	135°	30%
8	E135-50	III-B	135°	50%
9	E135-70	III-C	135°	70%
10	E-GEN	-	-	-

El ensayo E-GEN corresponde a un ensayo que busca determinar la socavación general con las condiciones hidráulicas establecidas previamente. Este ensayo se realizó bajo los mismos procedimientos que todos los ensayos, pero sin ningún espigón instalado.

3.5.3. Procedimiento Experimental

3.5.3.1. Replanteo topográfico

Con ayuda del nivel topográfico se marcó puntos guía para la ubicación exacta y la orientación del espigón, la cota aguas arriba del lecho, la cota aguas abajo del lecho, y la cota inicial de la superficie del agua. Estas marcas son de gran

utilidad pues ayudan a establecer correctamente las condiciones de experimentación que se buscan.

3.5.3.2. Colocación de espigón de prueba

Basado en los puntos guía del replanteo topográfico, se colocó el espigón de prueba en la cota, lugar y en dirección exacta. Se utilizó un nivel de mano para garantizar la verticalidad del cuerpo del espigón y la horizontalidad de su cresta.



Figura N° 3.23 Colocación de espigón de prueba. Fuente: Propia

3.5.3.3. Conformación de lecho

Una vez colocado el espigón en la posición correcta, se procedió a conformar el lecho de arena, hasta llegar a las marcas de replanteo. Este proceso se hizo mediante un “regleo” de la arena hasta conseguir una superficie libre de imperfecciones. El “regleo” consiste en emparejar el nivel de la arena con la ayuda de un listón de madera y marcas de referencia.

Una vez terminado la conformación, es muy importante corroborar la pendiente del lecho para cumplir con las condiciones de ensayo.



Figura N° 3.24 Conformación de lecho. Fuente: Propia

3.5.3.4. Instalación y habilitación de equipos de medición

Una vez habilitado el lecho de arena y el espigón, se procede a encender todos los equipos de medición e inicializar los programas controladores y de registro que emplea el ADV perfilador. Es muy importante verificar el funcionamiento de los equipos y programas pues esta etapa contiene una gran cantidad de mediciones.

En este paso se realizan “marcas guía” en los muros laterales que representan las secciones de control para las mediciones hidráulicas.

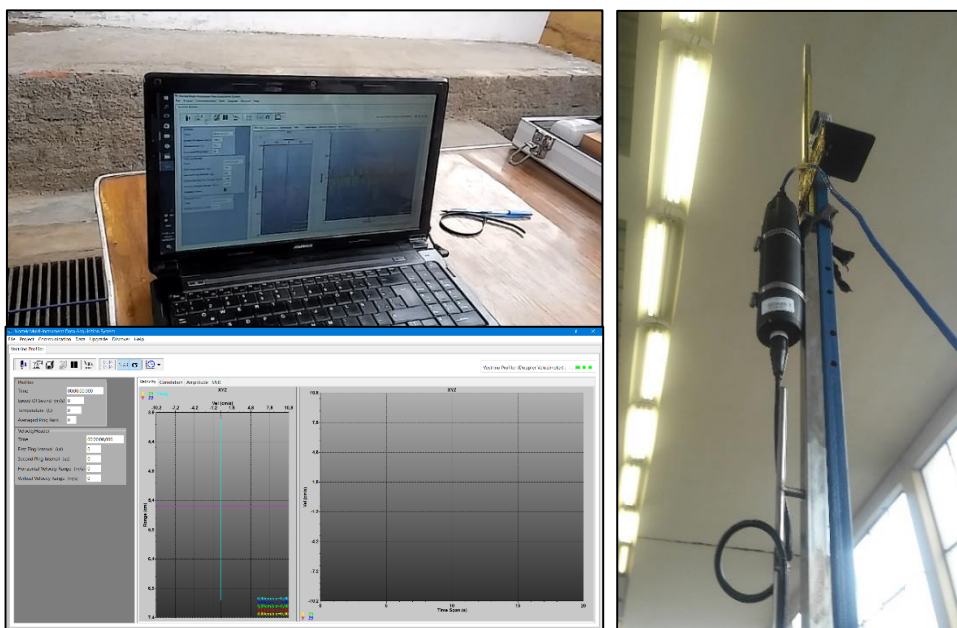


Figura N° 3.25 Inicialización de equipos de medición. Fuente: Propia

3.5.3.5. Encendido de bomba y circulación de flujo

Se procede a encender la bomba, manteniendo la válvula parcialmente abierta de tal manera que caudal es liberado lenta y progresivamente mediante una válvula de control. Esto es debido a que se requiere que una lámina de agua primero humedezca el lecho sin producir transporte de partículas, pues se busca una condición de lecho sumergido antes de que se inicie la socavación, para una medición más exacta de este fenómeno. En la Figura N° 3.26 se aprecia el instante en que una lámina de agua moja inicialmente el lecho con un caudal muy bajo.



Figura N° 3.26 Inicio de circulación de flujo. Fuente: Propia

3.5.3.6. Calibración de condiciones hidráulicas

Una vez que el lecho se haya humedecido con una lámina fina de agua, el caudal aumenta progresivamente hasta completar el hidrograma mostrado en la Figura N° 3.22. Cuando se llega al caudal de $0.089 \text{ m}^3/\text{s}$, se mantiene constante el caudal y se gradúa la compuerta clapeta aguas abajo para controlar el tirante de flujo en todo el canal. La clapeta es operada manualmente hasta conseguir un tirante constante de 17.5 cm. Es en este momento donde se da inicio al control de tiempo del ensayo e inicio de desarrollo de la socavación.



Figura N° 3.27 Fijación del caudal de flujo. Fuente: Propia



Figura N° 3.28 Fijación de tirante de flujo. Fuente: Propia

3.5.3.7. Registro de tirantes

Con las condiciones hidráulicas establecidas correctamente, se procede a registrar el tirante de flujo en determinados puntos de control alrededor del espigón de prueba y se registraba además la hora en que se medía. Los primeros registros se realizan cada media hora y luego cada hora.

Este procedimiento se logra colocando el ADV perfilador a pelo de agua en un tiempo suficiente para una medición estable y se ordena la medición desde la computadora enlazada.



Figura N° 3.29 Medición de tirantes de flujo alrededor del espigón. Fuente: Propia

3.5.3.8. *Registro de velocidades*

Después de un tiempo necesario para la estabilización de la socavación, comprobado por la mínima variación de tirantes de flujo, se procede a medir las velocidades en todo el canal de prueba, en secciones de control establecidas previamente. Para este procedimiento se utiliza nuevamente el ADV perfilador.

3.5.3.9. *Apagado la bomba y secado de lecho*

Completado el registro de las variables hidráulicas, lo que sigue es el apagado de la bomba. El flujo que aún se encuentra en el sistema de circulación continúa su marcha y es desaguada por la clapeta y mediante drenes laterales del canal de prueba. Este proceso permite un secado vertical del lecho, que ayuda a mantener intactas las características de lecho deformado. El tiempo de secado es de aproximadamente 12 horas.



Figura N° 3.30 Secado vertical de lecho. Fuente: Propia

3.5.3.10. *Levantamiento topográfico*

Cuando el lecho deformado está completamente seco, se inicia la instalación del limnómetro topográfico en el puente móvil. Lo que sigue es el levantamiento topográfico del área afectada por el fenómeno de socavación alrededor del espigón de prueba. Este procedimiento puede tomar de 6 a 8 horas de trabajo.

3.5.3.11. *Remoción de lecho*

Cuando ya se han registrado todas las variables hidráulicas y topográficas, se procede a remover el lecho afectado para la colocación de un nuevo material para el siguiente ensayo. Este reemplazo es debido al acorazamiento del lecho que puede distorsionar los resultados de los ensayos siguientes. Para garantizar esta condición, se remueve una capa de espesor de 40 cm de lecho.

3.5.4. Cronograma de ensayos

La etapa experimental ha sido desarrollada desde el 22 de agosto al 26 de setiembre del 2017, de acuerdo con el cronograma mostrado en la Figura N° 3.31.

CAPÍTULO IV. RECOPIACIÓN DE DATOS

4.1. GENERALIDADES

4.1.1. Introducción

La etapa experimental comprende los procesos de observación y evaluación del escenario; calibración de los instrumentos y finalmente, la medición de las variables involucradas. Esto se logró gracias a un monitoreo constante en cada ensayo, antes, durante y después del paso de flujo.

Esta etapa se desarrolló desde el 22 de agosto al 26 de setiembre del 2017, íntegramente dentro del Área Didáctica del Laboratorio Nacional de Hidráulica. Se utilizaron los instrumentos y materiales descritos en el Capítulo 3, apartado 3.2.2, bajo la metodología descrita en el Capítulo 3, apartado 3.5.

Los datos recopilados han sido clasificados en dos grupos de variables: variables de flujo, tales como tirante, temperatura de flujo y vectores de velocidad; y variables de lecho, tales como la máxima profundidad de socavación, características del hoyo de socavación, y las formas de fondo.

4.1.2. Objetivo

El objetivo del presente capítulo es presentar y explicar los datos recopilados durante la etapa experimental, y los criterios de organización que se siguió para los mismos.

4.2. VARIABLES DE FLUJO

Para el registro de las variables de flujo se optó por determinar 10 *secciones de control* a lo largo del canal de trabajo, distribuidos estratégicamente en la vecindad del espigón de prueba. El área de registro de datos comprendía 800 mm aguas arriba y 2450 mm aguas abajo del punto de empotramiento del espigón de prueba, haciendo una extensión total de registro de 3250 mm.

A cada sección se le asignó una progresiva para un mejor manejo y ordenamiento de los datos. Por lo tanto, el área de registro quedó comprendida entre las progresivas 0-800.00 mm y 2+450.00 mm, donde la progresiva 0+000.00 mm corresponde al punto de empotramiento del espigón de prueba.

En cada sección se determinaron 13 puntos denominados *puntos de medición* espaciados 150 mm entre ellos y 50 mm con el margen izquierdo y derecho, con finalidad de abarcar toda el área de interés a analizar.

La Figura N° 4.1 muestra el área de medición, las secciones y los puntos de medición considerados para el registro de las variables hidráulicas.

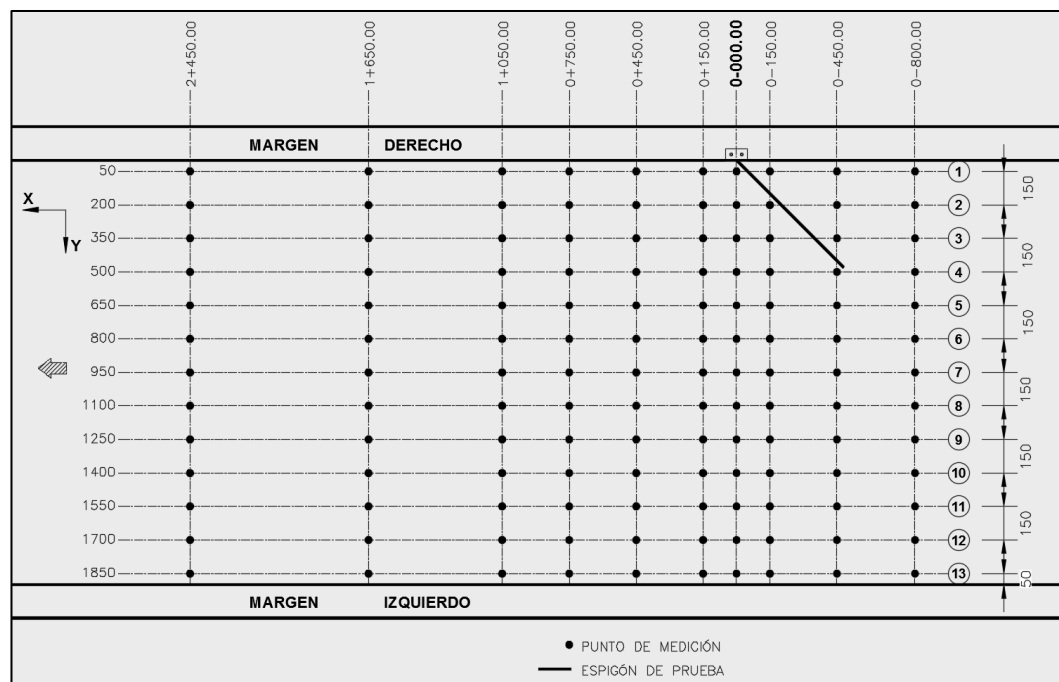


Figura N° 4.1 Puntos de medición y secciones de control (mm). Fuente: Propia

4.2.1. Tirante de flujo

Se midió el tirante de flujo en cada punto de medición colocando el vectrino al nivel del agua en un tiempo suficiente para una medición estable. De esta manera, se logró medir 88 tirantes en los tres primeros ensayos y 130 tirantes en los seis ensayos restantes.

En el Anexo E se presentan los Cuadros E1 a E3, los cuales contienen el valor de los tirantes de flujo registrados en cada ensayo y en cada punto de medición.

4.2.2. Velocidad de flujo

Se registró en cada punto de medición la velocidad de flujo en sus 3 direcciones (Véase la Figura N° 4.2) barriendo todo el tirante progresivamente con lecturas del ADV perfilador. Este velocímetro utilizado registró el vector velocidad de flujo

cada milímetro de tirante en grupos de 35 milímetros (Véase la Figura N° 4.3).

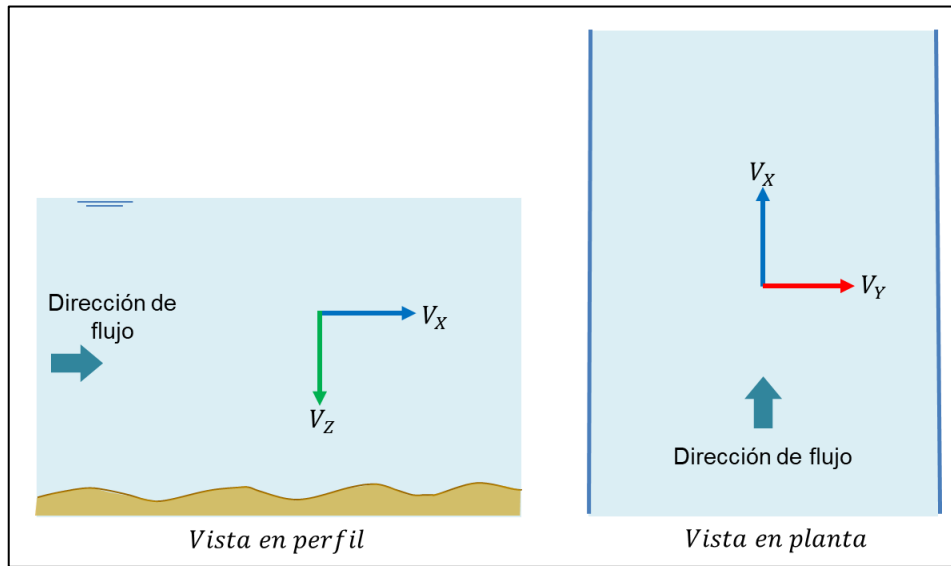


Figura N° 4.2 Direcciones de componentes de velocidad registrada. Fuente: Propia

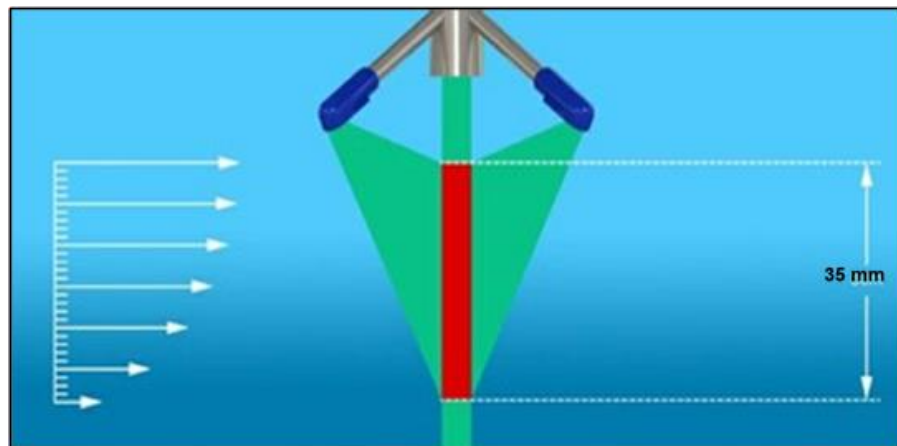


Figura N° 4.3 Forma de medición de velocidades de flujo. Fuente: Web Nortek Vectrino
www.nortekgroup.com

De esta manera fue posible construir perfiles de velocidad con una precisión de 1 milímetro en la vertical en cada punto de medición. De los perfiles de velocidades se obtuvo los valores medios en dirección X, denominado V_x , en dirección Y, denominado V_y y en dirección Z, denominado V_z . En la Figura N° 4.4 se muestra un perfil de velocidad típica procesado en un punto de medición.

En el Anexo F se presentan los cuadros F1 a F9, los cuales contienen la velocidad media de forma tabular registrados en cada ensayo y en cada punto de medición.

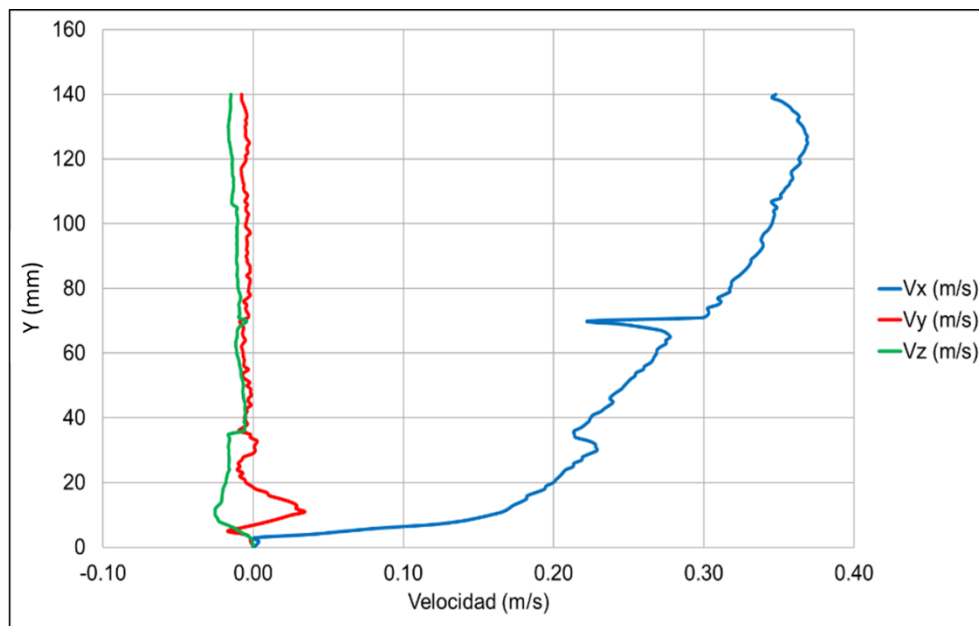


Figura N° 4.4 Perfil de velocidad típica registrada en un punto de medición. Fuente: Propia

4.2.3. Temperatura del agua

Se registró la temperatura del agua en cada ensayo, con la finalidad de determinar la viscosidad del fluido y su densidad. En la Tabla N° 4.1 se presenta la temperatura promedio del agua registrada en cada ensayo.

Tabla N° 4.1 Temperatura (°C) del agua. Fuente: Propia

Sección	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 5	Ensayo 6	Ensayo 7	Ensayo 8	Ensayo 9
0-800.00	-	-	-	19.30	19.99	19.30	19.99	20.33	19.30
0-450.00	19.30	19.13	18.96	19.30	19.99	19.30	20.16	20.33	19.30
0-150.00	19.30	19.13	18.96	19.30	19.82	19.30	20.16	20.33	19.30
0+000.00	19.30	19.13	18.96	19.30	19.82	19.30	20.16	20.51	19.30
0+150.00	19.30	19.13	18.79	19.13	19.65	19.30	20.33	20.51	19.30
0+450.00	19.30	18.96	18.79	19.13	19.65	19.30	20.33	20.51	19.30
0+750.00	19.30	18.96	18.79	19.13	19.47	19.30	19.99	20.51	19.30
1+050.00	19.30	18.96	18.79	19.13	19.47	19.30	19.82	20.26	19.30
1+650.00	-	-	-	19.13	19.13	19.30	19.74	20.16	19.30
2+450.00	-	-	-	19.13	19.13	19.30	19.47	20.03	19.30
Promedio	19.30	19.06	18.86	19.20	19.61	19.30	20.02	20.35	19.30

Para el análisis posterior, en cada ensayo se ha considerado la temperatura promedio correspondiente.

4.3. VARIABLES DE LECHO

Para el registro de las variables de lecho se optó por determinar un área de influencia a lo largo del canal de trabajo, elegida estratégicamente en la vecindad del espigón de prueba. Esta área se extendía desde 1.50 m aguas arriba y 4.0 m aguas abajo del punto de empotramiento del espigón de prueba, haciendo una extensión total de 10.45 m².

Se utilizó el mismo sistema de referencia que en el caso de las variables de flujo, con objeto de un mejor y rápido manejo de enlace entre los datos de lecho y flujo de un mismo punto. Por lo tanto, el área de registro quedó comprendida entre las progresivas -1-500.00 mm y 4+000.00 mm. Donde la progresiva 0+000.00 mm corresponde al punto de empotramiento del espigón de prueba.

4.3.1. Levantamiento topográfico de lecho deformado

Se realizó un levantamiento topográfico convencional con un limnómetro de precisión milimétrica. En la Figura N° 4.5 se muestra el área de estudio de levantamiento topográfico de lecho deformado que se realizó en cada prueba. El objetivo fue registrar e identificar las configuraciones de formas de fondo, tipos de socavación y zona de influencia del espigón de prueba.

Las regiones cercanas al hoyo de socavación y regiones particulares fueron levantadas con una densidad mayor de puntos. Las regiones alejadas y con poca influencia fueron levantadas con una baja densidad de puntos.

El lecho original corresponde a la cota 100.00 m. Por lo que, todo punto con cota inferior a 100 indica socavación y todo punto con cota superior a 100 indica sedimentación.

En el Anexo G se presentan los Cuadros G1 a G10, los cuales contienen el valor de las cotas topográficas registradas en cada ensayo.

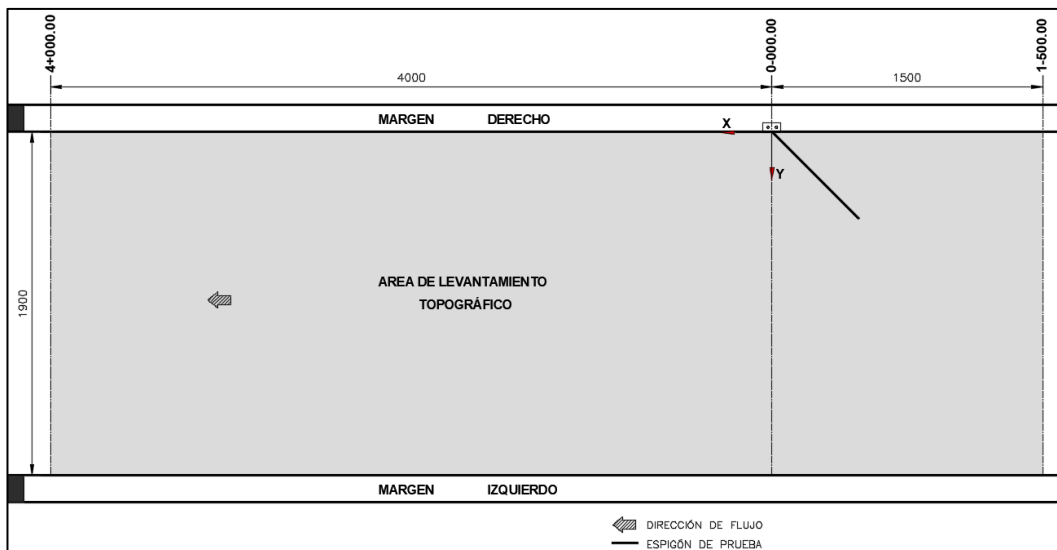


Figura N° 4.5 Zona de influencia para levantamiento deformado. Se muestran las dimensiones en milímetros. Fuente: Propia

4.3.2. Profundidad de socavación total

Se monitoreó la evolución temporal de la profundidad de socavación en distintos *puntos de control* (Véase Figura N° 4.6, Figura N° 4.7 y Figura N° 4.8) alrededor del espigón durante un periodo suficiente de tiempo que garantice el equilibrio de socavación. Con el vectrino a pelo de agua, se midió los tirantes de flujo en diferentes instantes de tiempo y se le restó el tirante inicial.

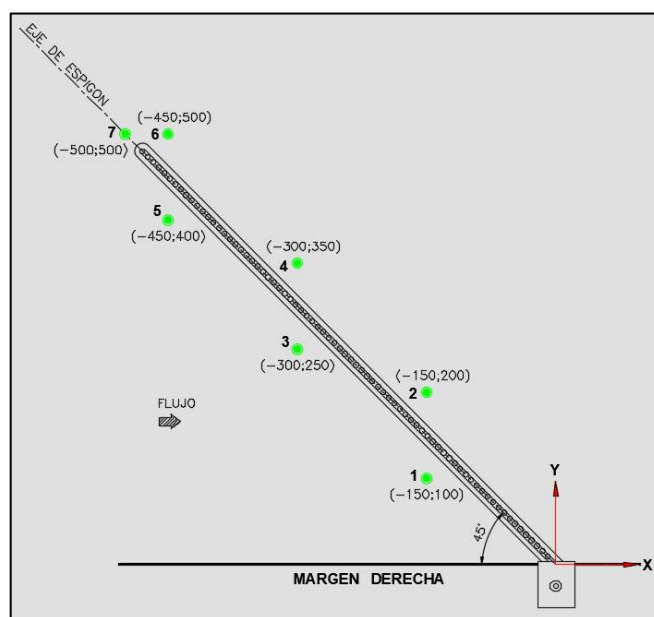


Figura N° 4.6 Puntos de control de socavación para ensayos con orientación 45°. Se muestran las dimensiones en milímetros. Fuente: Propia

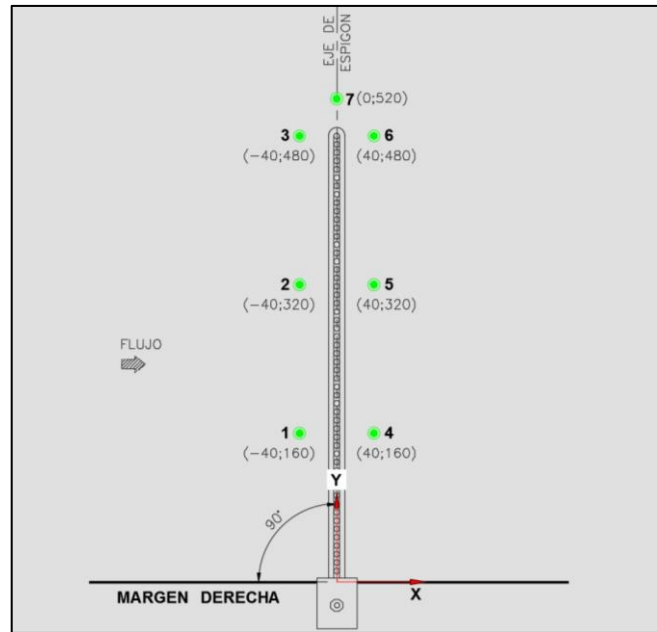


Figura N° 4.7 Puntos de control de socavación para ensayos con orientación 90°. Se muestran las dimensiones en milímetros. Fuente: Propia

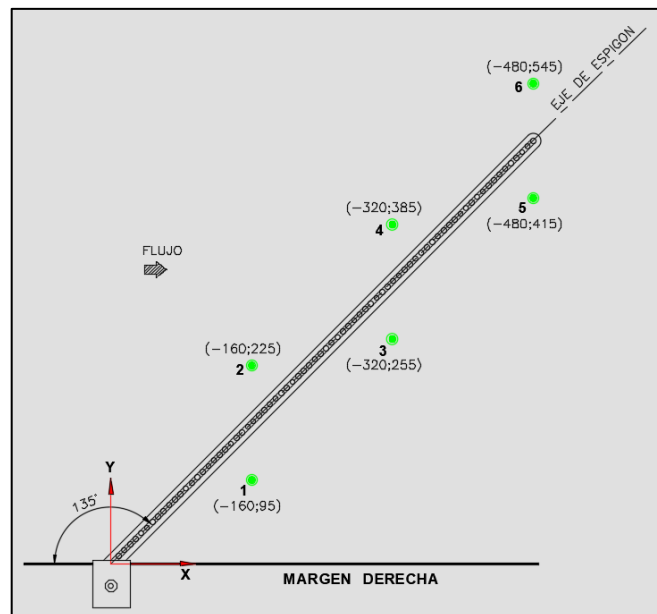


Figura N° 4.8 Puntos de control de socavación para ensayos con orientación 135°. Se muestran las dimensiones en milímetros. Fuente: Propia

En el Anexo H se presentan los Cuadros H1 a H9, los cuales contienen la socavación total de forma tabular registrados en cada ensayo y en cada punto de control.

4.3.3. Formas de fondo

Luego del paso de flujo en cada ensayo, se midieron la longitud y la altura de algunas formas características (Véase la Figura N° 4.9), con el propósito de clasificarlas dentro del marco de formulaciones usadas actualmente con mucha frecuencia en la ingeniería (Véase Capítulo 5.2.6.2). Además, se identificaron visualmente regiones representativas, con el propósito de construir un patrón de zonificación típica para este tipo de fenómeno fluvial (Véase 5.2.6.1).

Tabla N° 4.2 Dimensiones de formas de fondo típicas. Fuente: Propia

Ensayo	Aguas arriba		Zona central		Aguas abajo	
	Altura (cm)	Longitud (cm)	Altura (cm)	Longitud (cm)	Altura (cm)	Longitud (cm)
E45-30	2.1	12.0	1.9	16.0	2.0	15.1
E45-50	2.2	10.0	1.8	15.0	2.1	15.2
E45-70	2.1	12.8	1.8	14.8	1.9	15.0
E90-30	2.1	11.7	1.7	13.7	1.9	15.1
E90-50	2.5	12.9	1.9	14.9	1.8	15.3
E90-70	2.3	9.5	1.5	13.5	1.8	14.9
E135-30	1.8	11.0	1.4	16.0	1.7	12.2
E135-50	1.9	9.1	1.9	15.1	1.7	13.8
E135-70	2.0	11.0	1.8	12.0	1.9	14.3

A manera general, se consideran formas de fondo típicas de 15 cm de longitud y 2 cm de altura.

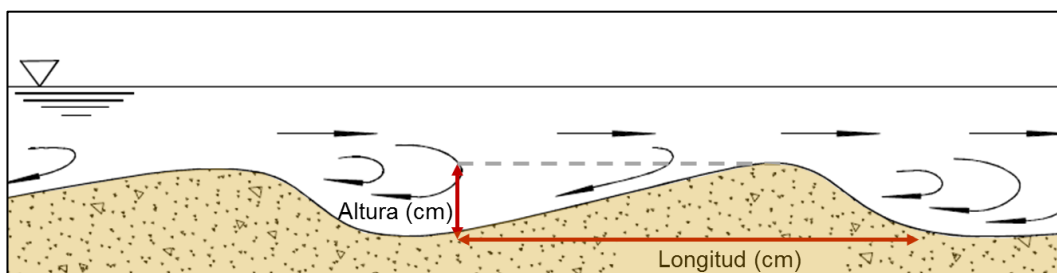


Figura N° 4.9 Dimensiones registradas de formas de fondo características. Fuente: Propia

CAPÍTULO V. PRESENTACIÓN E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

5.1. GENERALIDADES

5.1.1. Introducción

La recopilación de datos ha comprendido el proceso de presentación de variables medidas durante la etapa experimental. Se ha analizado, agrupado y ordenado estos datos para fines de análisis.

Esta etapa se desarrolla posterior a la etapa de recopilación de datos. Se ha utilizado diversos softwares versátiles de ingeniería hidráulica y sobre todo el criterio y las pautas de las buenas prácticas de la ingeniería hidráulica.

En primer lugar, se describe e interpreta los resultados referentes a las variables de lecho y de flujo, mediante mapas, gráficos y tablas. Posteriormente, se analiza la influencia del ángulo de orientación y grado de permeabilidad en las variables de estudio y se desarrolla una metodología para determinar las óptimas condiciones del espigón permeable para lograr una mejor funcionabilidad y reducir la socavación local.

En segundo lugar, se analizan los resultados obtenidos y se propone formulaciones empíricas para la socavación local y otras variables de interés a partir del ángulo de orientación y grado de permeabilidad. Finalmente, se comparan la exactitud de la formulación propuesta con las formulaciones empíricas desarrolladas en el acápite 2.6.

5.1.2. Objetivos

- Determinar la mejor configuración ángulo de orientación y grado de permeabilidad de un espigón permeable que promueva la menor socavación local en el mejor estado funcional.
- Presentar una relación funcional adecuada entre la socavación local, el grado de permeabilidad y el ángulo de orientación de un espigón permeable.

5.2. ANÁLISIS DE LECHO

5.2.1. Hoyo de socavación

Se presenta la configuración del hoyo de socavación y lecho deformado en las proximidades del espigón para los primeros nueve ensayos y se señala los puntos de control definidos en el acápite 4.3.2.

En las gráficas siguientes el sistema coordenado se muestra en milímetros y las curvas de nivel están cada 1 cm de elevación. Es importante recordar que el lecho original corresponde a la cota 100.00 m. Por lo que, todo punto con cota inferior a 100 indica socavación y todo punto con cota superior a 100 indica sedimentación.

5.2.1.1. Ensayo E45-30

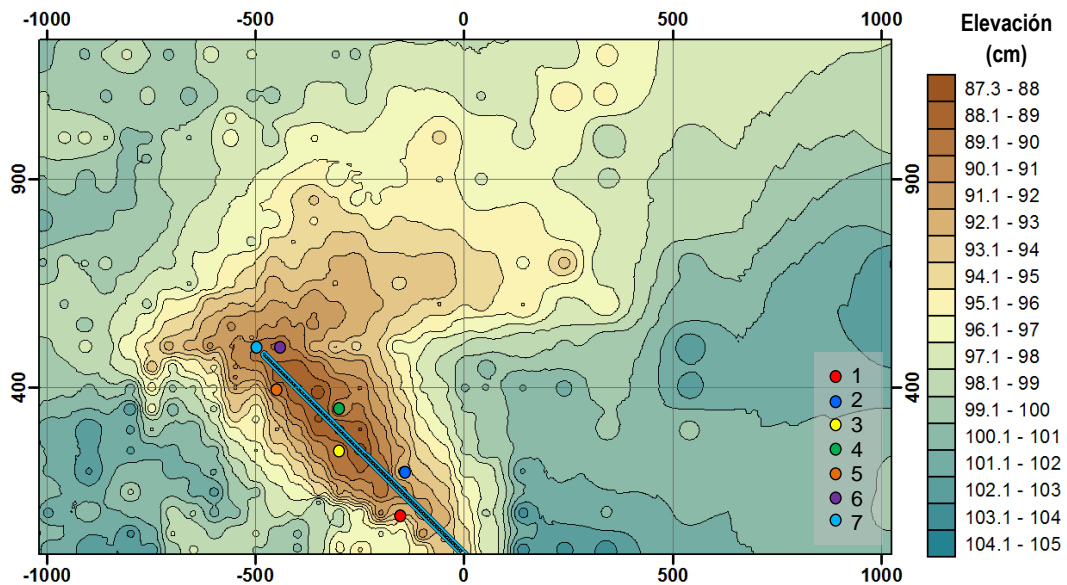


Figura N° 5.1 Topografía de hoyo de socavación (cm) y puntos de control, ensayo E45-30. Sistema coordenado en milímetros. Fuente: Propia

5.2.1.2. Ensayo E45-50

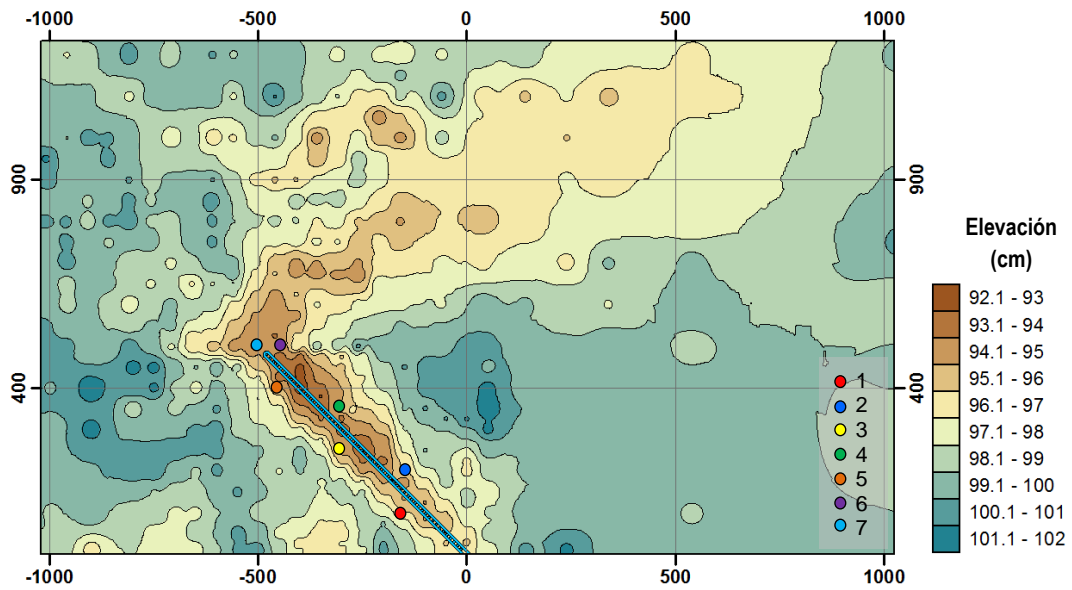


Figura N° 5.2 Topografía de hoyo de socavación (cm) y puntos de control, ensayo E45-50. Sistema coordenado en milímetros. Fuente: Propia

5.2.1.3. Ensayo E45-70

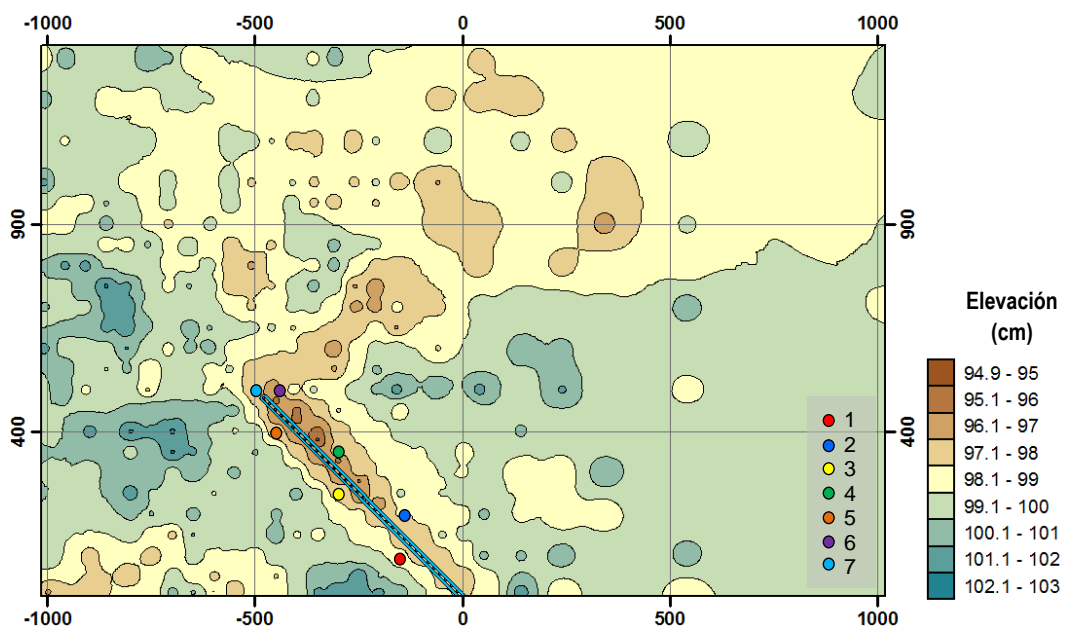


Figura N° 5.3 Topografía de hoyo de socavación (cm) y puntos de control, ensayo E45-70. Sistema coordenado en milímetros. Fuente: Propia

5.2.1.4. Ensayo E90-30

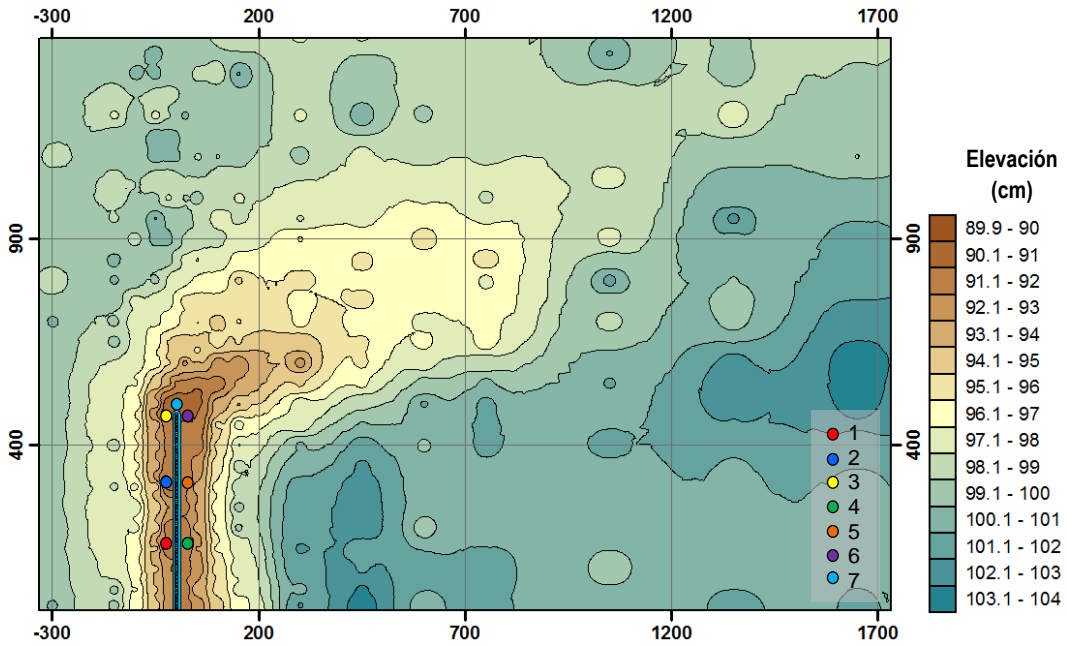


Figura N° 5.4 Topografía de hoyo de socavación (cm) y puntos de control, ensayo E90-30. Sistema coordenado en milímetros. Fuente: Propia

5.2.1.5. Ensayo E90-50

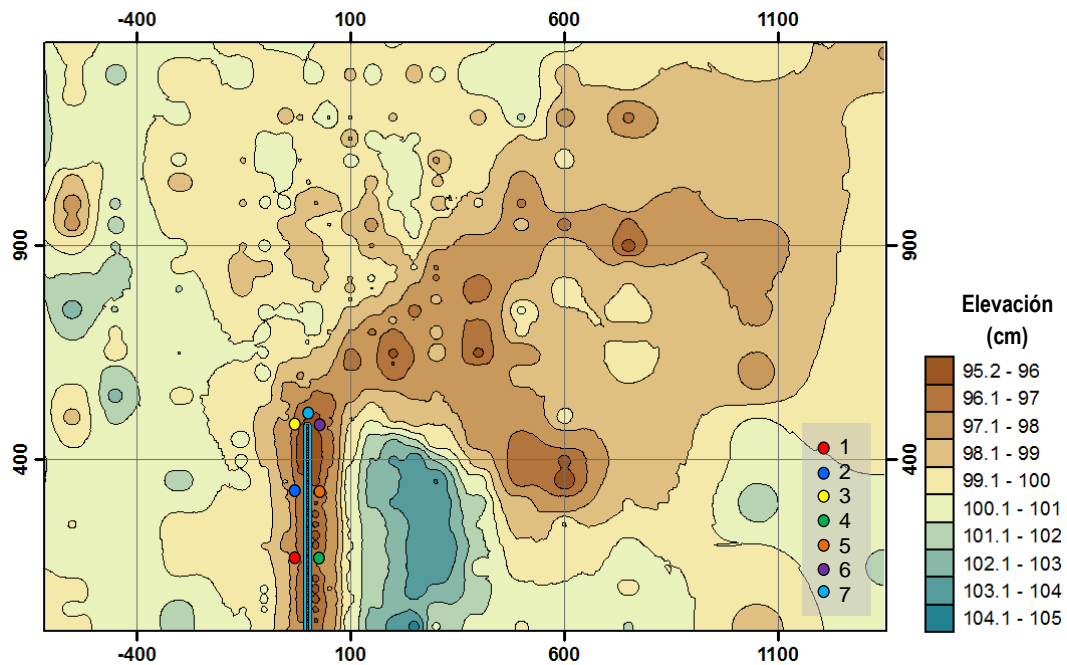


Figura N° 5.5 Topografía de hoyo de socavación (cm) y puntos de control, ensayo E90-50. Sistema coordenado en milímetros. Fuente: Propia

5.2.1.6. Ensayo E90-70

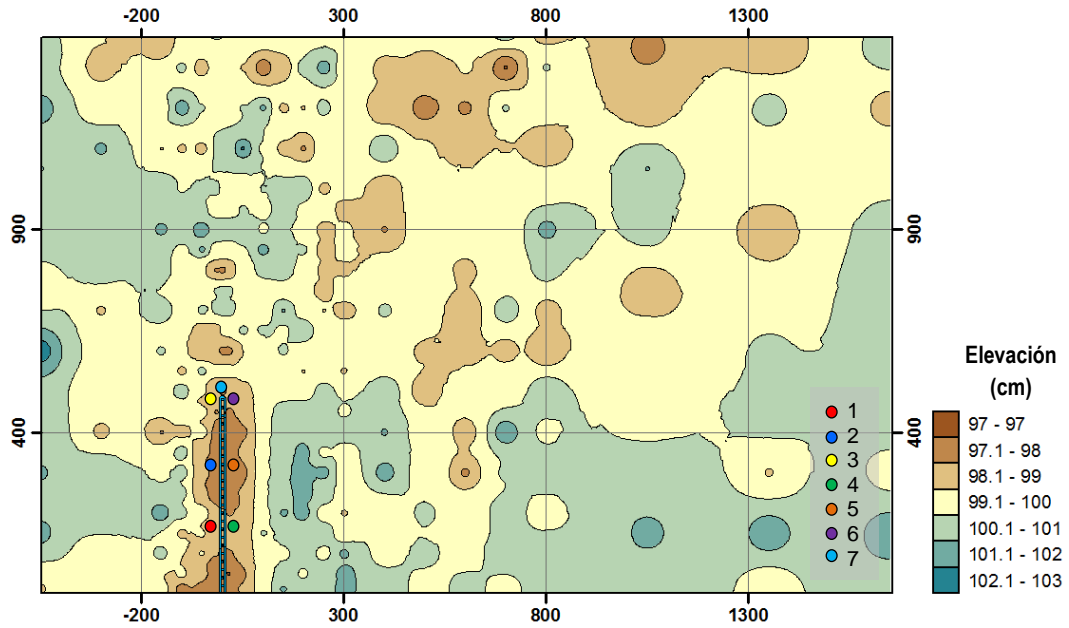


Figura N° 5.6 Topografía de hoyo de socavación (cm) y puntos de control, ensayo E90-70. Sistema coordinado en milímetros. Fuente: Propia

5.2.1.7. Ensayo E135-30

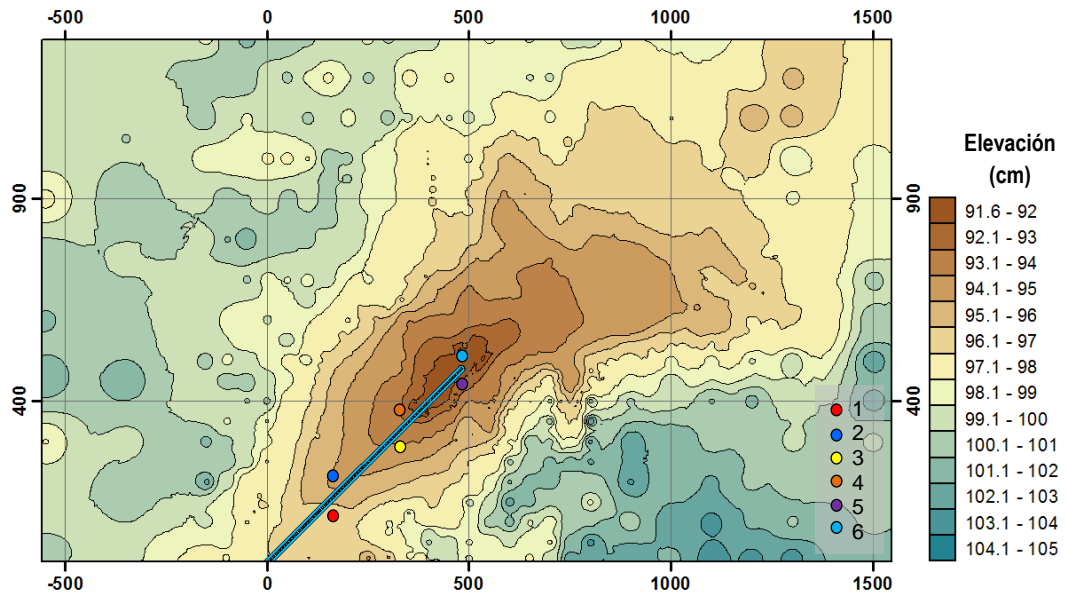


Figura N° 5.7 Topografía de hoyo de socavación (cm) y puntos de control, ensayo E135-30. Sistema coordinado en milímetros. Fuente: Propia

5.2.1.8. Ensayo E135-50

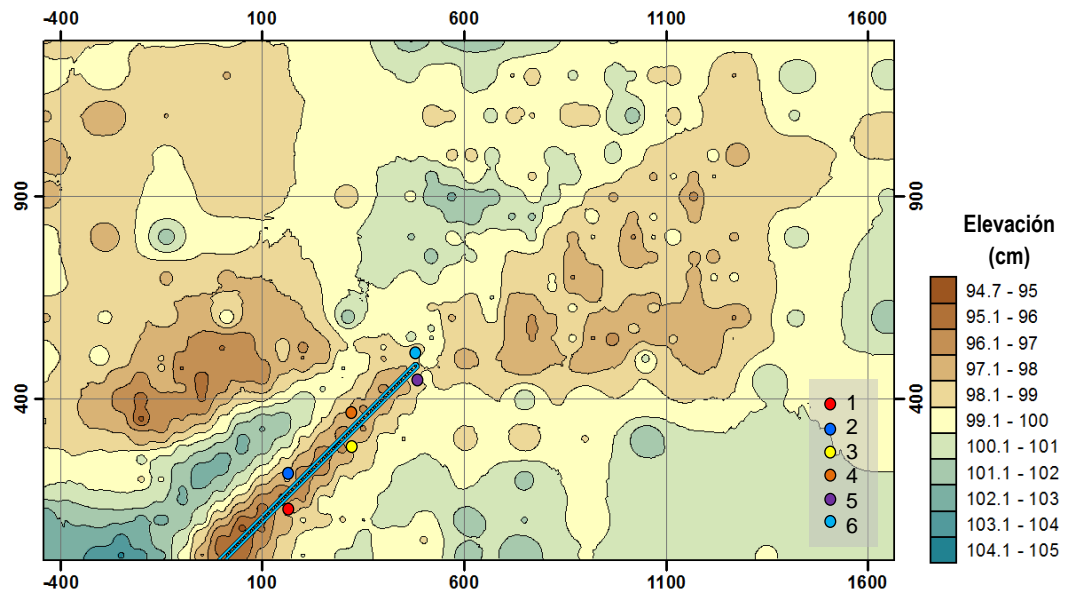


Figura N° 5.8 Topografía de hoyo de socavación (cm) y puntos de control, ensayo E135-50.
Sistema coordinado en milímetros. Fuente: Propia

5.2.1.9. Ensayo E135-70

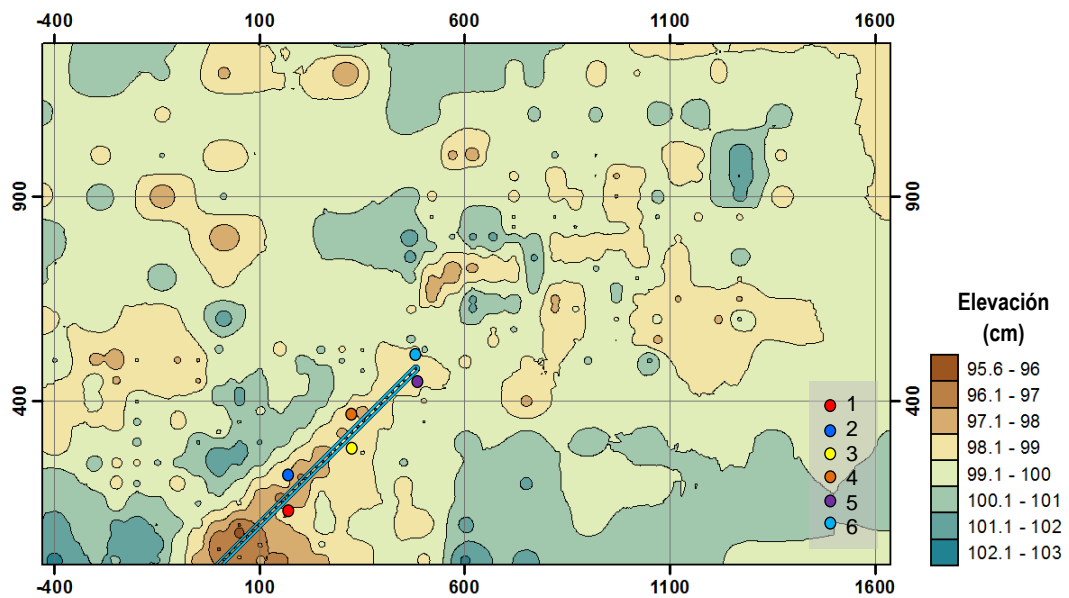


Figura N° 5.9 Topografía de hoyo de socavación (cm) y puntos de control, ensayo E135-70.
Sistema coordinado en milímetros. Fuente: Propia

5.2.1.10. Interpretación

En general, se observa que el hoyo de socavación se desarrolla y distribuye alrededor de todo el cuerpo del espigón, esto debido al paso de flujo acelerado a través de su cuerpo permeable, con ligera concentración en ciertas zonas dependiendo del caso.

Es interesante notar que la permeabilidad y el ángulo de orientación del espigón tienen una considerable influencia en la distribución espacial y geometría del hoyo de socavación desarrollado.

Los espigones orientados hacia aguas arriba presentan una ligera tendencia a concentrar la socavación en la cabeza y parte media del cuerpo del espigón. Y a medida que aumenta la permeabilidad, el hoyo se hace más uniforme y menos profundo en toda la longitud del espigón. Además, se han formado zonas de sedimentación tanto aguas arriba como aguas abajo, que disminuye en área y altitud conforme se aumenta la permeabilidad.

Los espigones perpendiculares a la dirección de flujo presentan una tendencia a concentrar la socavación en la parte media del cuerpo del espigón. Y a medida que aumenta la permeabilidad, el hoyo se hace más uniforme y menos profundo en toda la longitud del espigón. Además, se han formado zonas de sedimentación aguas abajo del eje, que disminuye en área y altitud conforme se aumenta la permeabilidad.

Los espigones orientados hacia aguas abajo presentan una tendencia a concentrar la socavación en la base o talud del espigón. Y a medida que aumenta la permeabilidad, el hoyo se hace más uniforme y menos profundo en toda la longitud del espigón. Además, se han formado zonas de sedimentación aguas abajo del eje, que disminuye en área y altitud conforme se aumenta la permeabilidad.

5.2.2. Tiempo de equilibrio (t_{eq}) y máxima socavación total (d_t)

Se considera como tiempo de equilibrio a la cantidad de horas transcurridas desde el inicio de la prueba hasta el instante donde la profundidad de socavación presenta una variación menor al 5%.

En las siguientes tablas, se presenta la evolución temporal de cada punto de control para los primeros nueve ensayos realizados. Las celdas de color claro indican el instante donde se alcanzó el equilibrio, y la celda de color oscuro señala el punto de control con máxima profundidad de socavación.

Tabla N° 5.1 Evolución de socavación (cm) en puntos de control. Ensayo E45-30. Fuente: Propia

T (horas)	Puntos de control						
	1	2	3	4	5	6	7
0.00	0	0	0	0	0	0	0
1.00	4.574	5.243	6.001	6.793	6.119	5.530	7.097
2.00	5.094	5.823	6.026	7.598	7.294	7.521	8.166
3.00	5.194	6.412	6.555	8.158	7.629	8.369	8.702
5.00	6.485	6.666	7.842	8.295	9.249	9.227	9.931
7.00	6.509	7.429	7.448	9.743	9.905	10.252	10.753
8.00	6.534	7.675	7.557	9.856	10.338	10.619	10.768
9.00	6.486	7.643	7.668	9.968	10.562	10.987	11.486
10.00	6.438	7.611	7.826	10.181	10.787	11.435	12.321
11.50	6.510	7.713	7.998	10.346	10.244	11.211	12.254
12.50	6.474	7.662	7.831	10.165	10.319	11.262	12.186
ds máx.=	6.534	7.713	7.998	10.346	10.787	11.435	12.321

Tabla N° 5.2 Evolución de socavación (cm) en puntos de control. Ensayo E45-50. Fuente: Propia

T (horas)	Puntos de control						
	1	2	3	4	5	6	7
0.00	0	0	0	0	0	0	0
0.50	2.582	2.016	2.687	3.803	1.878	1.641	2.074
1.50	3.774	3.030	2.966	5.205	4.406	4.081	3.878
2.50	3.609	3.852	3.797	5.528	5.010	5.183	4.615
3.50	3.840	3.740	3.994	5.768	4.990	5.279	5.130
5.00	3.405	4.032	3.475	5.320	4.266	5.641	5.950
7.00	3.590	4.034	3.473	5.305	5.015	5.055	5.461
8.00	3.498	3.963	3.478	5.290	5.003	5.234	5.750
9.00	3.451	3.892	3.483	5.298	5.008	5.099	5.737
11.00	3.474	3.720	3.481	5.400	5.005	5.167	5.625
ds máx.=	3.840	4.034	3.994	5.768	5.015	5.641	5.950

Tabla N° 5.3 Evolución de socavación (cm) en puntos de control. Ensayo E45-70. Fuente: Propia

T (horas)	Puntos de control						
	1	2	3	4	5	6	7
0.00	0	0	0	0	0	0	0
0.50	0.850	0.460	1.455	0.531	1.427	1.209	0.555
1.50	1.122	1.100	1.784	1.515	1.585	1.550	1.250
2.50	1.147	1.443	1.838	1.542	1.455	1.874	1.500
5.50	1.161	1.471	1.947	2.047	1.764	2.45	2.056
6.50	1.343	1.809	1.957	2.293	1.735	2.195	2.539
7.50	1.702	1.761	1.969	2.188	2.380	2.183	2.438
9.00	1.779	1.713	1.988	2.202	2.427	2.165	2.414
10.00	1.779	1.749	1.962	2.182	2.451	2.170	2.493
11.00	1.737	1.785	2.008	2.199	2.474	2.235	2.572
ds máx.=	1.779	1.809	2.008	2.293	2.474	2.45	2.572

Tabla N° 5.4 Evolución de socavación (cm) en puntos de control. Ensayo E90-30. Fuente: Propia

T (horas)	Puntos de control						
	1	2	3	4	5	6	7
0.00	0	0	0	0	0	0	0
0.50	5.519	5.431	4.402	6.026	5.620	6.119	6.130
1.00	6.145	6.022	5.268	7.308	6.033	7.605	7.557
1.50	5.926	5.439	4.862	7.651	6.236	7.512	7.807
2.50	6.668	7.218	6.354	7.574	7.216	7.582	8.233
4.00	7.822	7.525	6.857	7.518	7.640	7.581	8.478
5.00	9.008	9.051	8.183	8.305	8.159	8.143	8.784
6.00	8.324	8.897	7.675	8.520	8.390	8.234	8.684
7.00	8.184	8.743	8.489	9.028	7.735	8.397	9.460
8.00	8.057	9.074	8.592	9.080	7.931	8.337	9.362
9.00	8.022	9.404	9.447	9.090	7.524	8.268	9.931
10.00	7.987	9.242	9.075	9.094	7.894	9.207	10.032
11.00	7.818	9.080	9.261	9.099	7.791	9.210	10.217
12.00	7.649	9.161	9.168	9.096	7.843	9.209	10.119
ds máx.=	9.008	9.404	9.447	9.099	8.390	9.210	10.217

Tabla N° 5.5 Evolución de socavación (cm) en puntos de control. Ensayo E90-50. Fuente: Propia

T (horas)	Puntos de control						
	1	2	3	4	5	6	7
0.00	0	0	0	0	0	0	0
1.00	1.269	1.525	2.017	0.904	1.575	2.145	1.600
2.00	1.413	1.710	2.174	2.166	2.280	2.532	1.928
3.00	1.955	2.124	2.705	2.506	2.383	2.741	2.416
4.00	2.298	2.538	2.653	2.699	2.567	2.839	2.338
5.00	2.338	2.586	2.475	2.386	2.195	2.855	2.756
6.00	2.183	2.641	2.858	2.491	2.186	2.694	2.925
7.00	2.284	2.896	2.897	2.492	2.279	2.757	3.094
8.00	2.210	2.822	2.834	2.497	2.283	2.661	3.154
9.00	2.208	2.841	2.895	2.468	2.377	2.614	3.019
11.00	2.206	2.859	2.856	2.498	2.410	2.711	3.164
ds máx.=	2.338	2.896	2.897	2.699	2.567	2.855	3.164

Tabla N° 5.6 Evolución de socavación (cm) en puntos de control. Ensayo E90-70. Fuente: Propia

T (horas)	Puntos de control						
	1	2	3	4	5	6	7
0.00	0	0	0	0	0	0	0
1.50	1.033	1.077	0.417	1.257	0.954	0.992	0.505
2.50	1.231	1.242	1.448	1.461	1.288	1.615	0.571
3.50	1.619	1.237	1.646	1.756	1.393	1.295	1.950
5.00	1.399	2.214	1.844	1.558	2.067	1.712	1.717
6.00	1.306	1.953	1.946	1.716	1.906	1.391	2.066
7.00	1.349	1.849	2.171	1.625	2.011	1.612	2.416
8.00	1.393	1.853	2.195	1.665	1.975	1.645	2.378
9.00	1.363	1.898	2.219	1.617	2.067	1.625	2.399
10.00	1.399	1.919	2.263	1.604	1.909	1.642	2.321
11.00	1.352	1.868	2.164	1.616	1.902	1.659	2.416
ds máx.=	1.619	2.214	2.263	1.756	2.067	1.712	2.416

Tabla N° 5.7 Evolución de socavación (cm) en puntos de control. Ensayo E135-30. Fuente: Propia

T (horas)	Puntos de control					
	6	5	4	3	2	1
0.00	0	0	0	0	0	0
1.00	6.023	5.978	5.182	3.955	3.273	1.906
2.00	6.631	5.875	5.114	4.393	4.055	2.539
3.00	6.515	6.091	6.273	4.351	4.771	2.780
4.00	7.172	6.021	5.751	4.304	4.364	2.980
5.50	7.294	6.361	6.249	5.596	5.070	2.775
6.50	7.576	7.055	6.954	5.584	4.872	2.733
7.50	7.975	6.958	6.615	5.425	4.718	2.806
9.50	7.985	7.066	6.698	5.333	4.827	2.908
10.50	8.057	6.862	6.956	5.094	4.620	3.010
12.00	7.871	6.702	6.701	5.150	4.700	2.980
ds máx.=	8.057	7.066	6.956	5.596	5.070	3.010

Tabla N° 5.8 Evolución de socavación (cm) en puntos de control. Ensayo E135-50. Fuente: Propia

T (horas)	Puntos de control					
	6	5	4	3	2	1
0.00	0	0	0	0	0	0
1.00	1.525	1.469	1.909	1.258	1.492	0.702
2.00	2.135	1.516	2.109	1.197	1.597	0.807
3.00	2.382	1.431	1.883	1.299	1.450	0.746
4.00	2.045	1.577	1.829	1.208	1.535	0.820
5.50	2.212	1.696	1.626	1.457	1.553	0.726
6.50	2.168	1.780	1.685	1.507	1.537	0.745
8.00	2.131	1.848	1.763	1.495	1.522	0.764
9.00	2.182	1.916	1.699	1.490	1.492	0.750
10.00	2.167	1.882	1.681	1.533	1.492	0.777
ds máx.=	2.382	1.916	2.109	1.533	1.597	0.820

Tabla N° 5.9 Evolución de socavación (cm) en puntos de control. Ensayo E135-70. Fuente: Propia

T (horas)	Puntos de control					
	6	5	4	3	2	1
0.00	0	0	0	0	0	0
0.50	1.109	1.905	0.440	1.321	0.498	0.136
1.50	1.010	1.913	0.758	1.269	0.712	0.295
2.50	1.419	1.749	0.483	1.011	0.952	0.498
4.50	2.276	1.684	1.418	0.951	1.519	0.693
6.00	2.236	1.907	1.768	1.381	1.526	0.698
7.00	2.196	1.896	1.766	1.411	1.533	0.731
8.00	2.184	1.908	1.853	1.470	1.506	0.758
9.00	2.173	1.909	1.779	1.474	1.439	0.794
10.50	2.197	1.911	1.786	1.446	1.486	0.764
ds máx.=	2.276	1.913	1.853	1.474	1.533	0.794

De las tablas presentadas previamente se ha rescatado los puntos de control con máximo tiempo de equilibrio y con máxima socavación desarrollada. A estos puntos se le denomina *puntos de control principales*.

A continuación, se muestra gráficamente la evolución temporal de la socavación total en los puntos de control principales. Los puntos rojos indican el instante donde se alcanza el equilibrio.

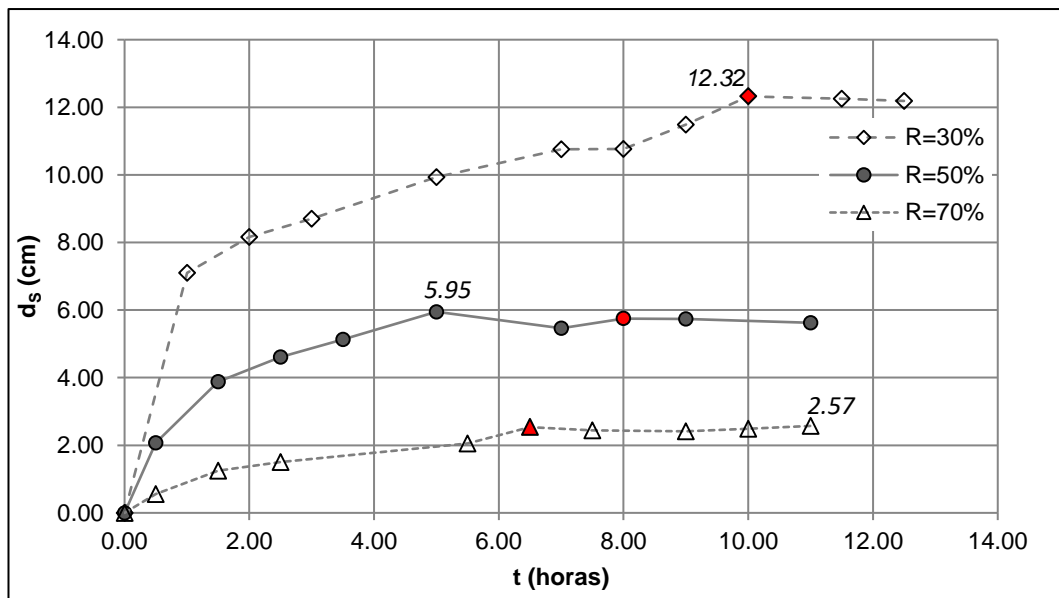


Figura N° 5.10 Evolución temporal (t) de socavación total (d_s) para diferentes grados de permeabilidad (R), Espigón a 45°. Fuente: Propia

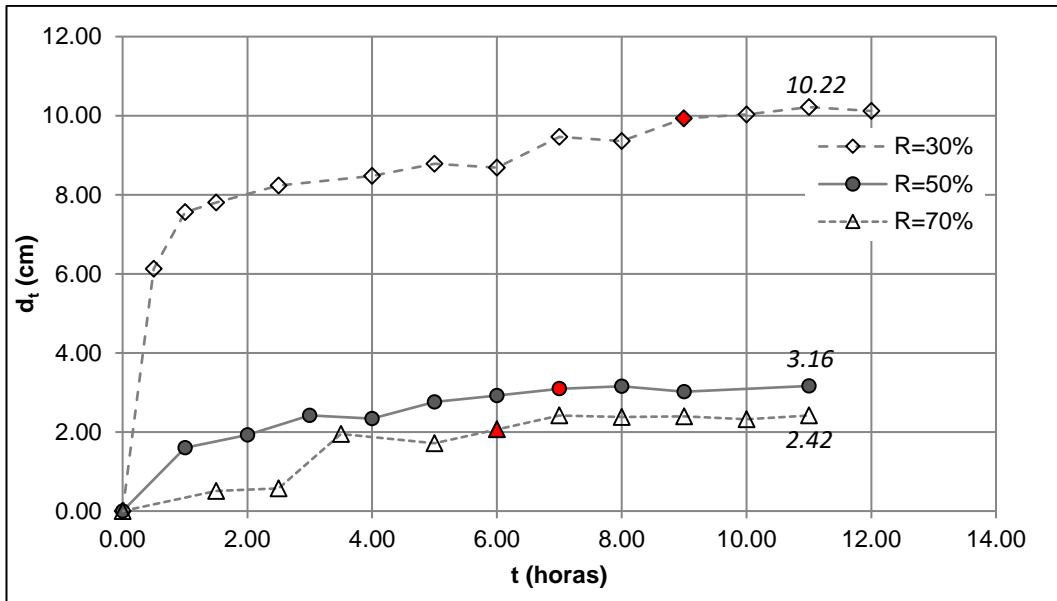


Figura N° 5.11 Evolución temporal (t) de socavación total (d_s) para diferentes grados de permeabilidad (R), Espigón a 90°. Fuente: Propia

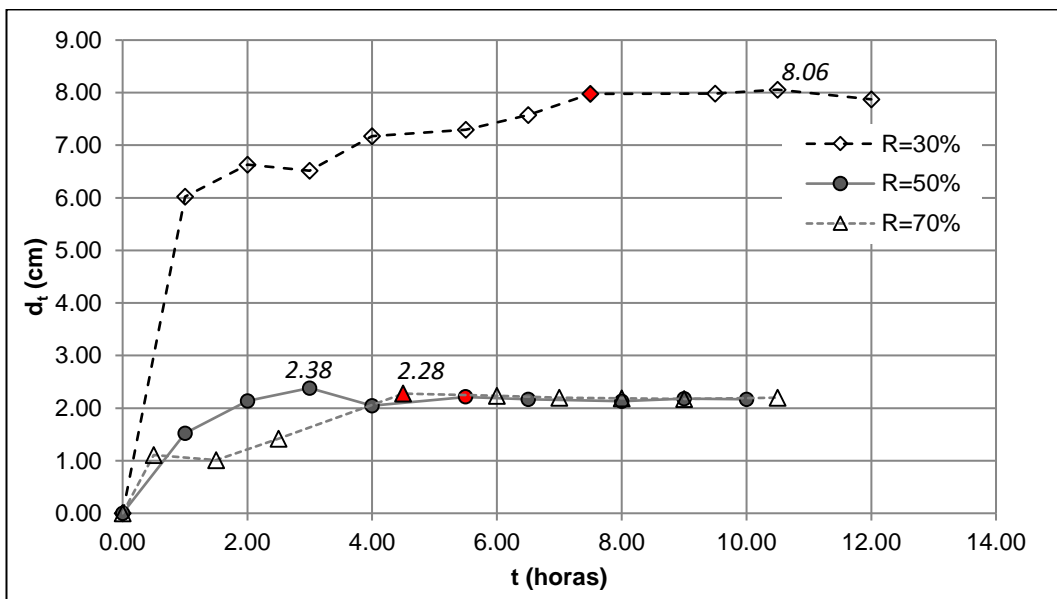


Figura N° 5.12 Evolución temporal (t) de socavación total (d_s) para diferentes grados de permeabilidad (R), Espigón a 135°. Fuente: Propia

Finalmente, se presentan los principales resultados obtenidos respecto al tiempo de equilibrio y máxima profundidad de socavación en la Tabla N° 5.10 y la Figura N° 5.13.

Tabla N° 5.10 Tiempo de equilibrio y socavación en puntos de control principales. Fuente: Propia

Ensayo	t_{eq} (horas)	Punto de control	d_t (cm)
E45-30	10.0	7	12.32
E45-50	8.0	7	5.95
E45-70	6.5	7	2.57
E90-30	9.0	7	10.22
E90-50	7.0	7	3.16
E90-70	6.0	7	2.42
E135-30	7.5	6	8.06
E135-50	5.5	6	2.38
E135-70	4.5	6	2.28

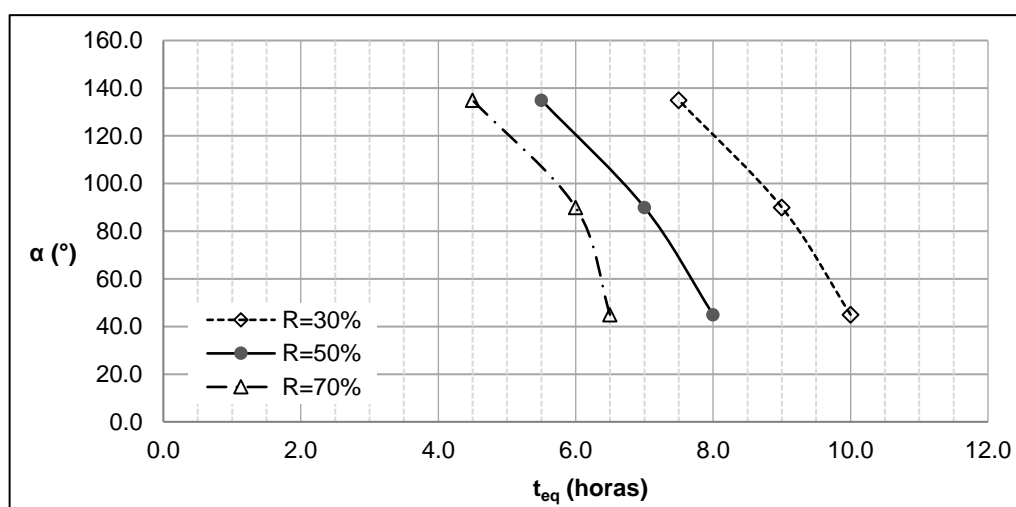


Figura N° 5.13 Variación del tiempo de equilibrio (t_{eq}) con el ángulo de orientación (α) y grado de permeabilidad (R). Fuente: Propia

En líneas generales, se puede rescatar:

- En todos los casos, el punto de control donde ocurre la máxima profundidad de socavación es el punto que demanda mayor tiempo para el equilibrio.
- En todos los casos, la máxima profundidad de socavación se desarrolla en el punto de control correspondiente a la zona de punta del espigón permeable.
- En cada punto de control, la socavación es acelerada en las primeras horas de desarrollo, y desacelera conforme se va estabilizando el cauce fluvial.

- Se han obtenido evoluciones temporales típicas de la socavación, donde claramente se puede diferenciar las etapas de inicio, desarrollo y equilibrio.
- En general, una mayor profundidad de socavación demanda un mayor tiempo de equilibrio, y viceversa.
- Bajo un mismo ángulo de orientación, la máxima profundidad de socavación y tiempo de equilibrio disminuyen con el aumento de la permeabilidad. Esto debido a que la parte permeable del cuerpo del espigón permite el paso de una parte del flujo, disminuyendo los esfuerzos de corte alrededor del espigón.
- Bajo un mismo grado de permeabilidad, la máxima profundidad de socavación y el tiempo de equilibrio disminuyen con el aumento del ángulo de orientación. Esto debido a que cuanto mayor es la obstrucción del espigón al flujo, mayor duración demanda el proceso de equilibrio fluvial.

5.2.3. Socavación general (d_g)

De acuerdo con el acápite 3.5.2, el ensayo 10 tiene la finalidad de estimar la socavación general. La Figura N° 5.14 presenta la topográfica del lecho deformado luego del paso de flujo sin estructura y se señalan las secciones transversales que pasan por los puntos de control principales. Es importante recordar que el lecho original corresponde a la cota 100.00 m. Por lo que, todo punto con cota inferior a 100 indica socavación y todo punto con cota superior a 100 indica sedimentación.

La socavación general promedio en una sección transversal que pasa por los puntos de control principales se muestra en las Figura N° 5.15, Figura N° 5.16 y Figura N° 5.17.

Tabla N° 5.11 Socavación General promedio (cm) en puntos de control principal. Fuente: Propia

Ensayo	E45-30	E45-50	E45-70	E90-30	E90-50	E90-70	E135-30	E135-50	E135-70
d_g (cm)	0.469	0.469	0.469	0.539	0.539	0.539	0.797	0.797	0.797

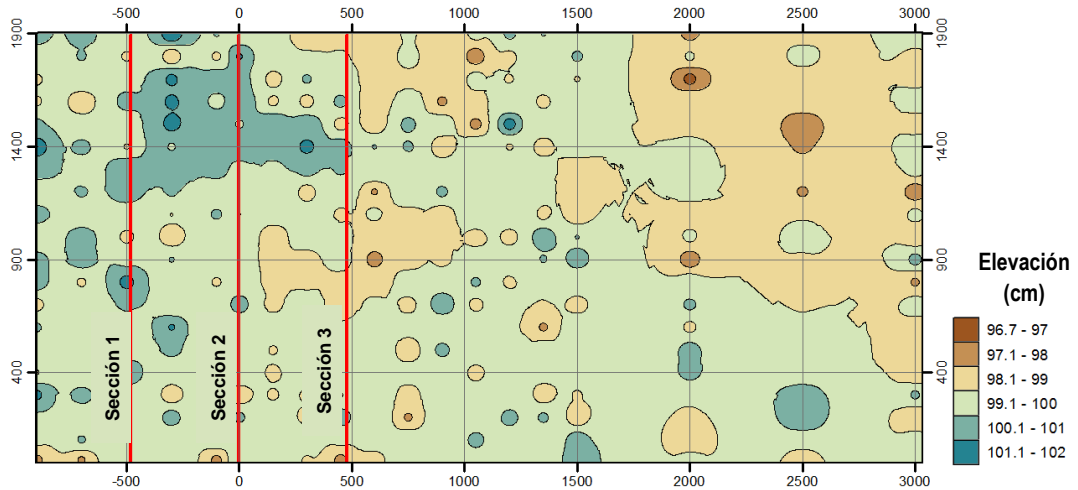


Figura N° 5.14 Topografía de lecho deformado (cm) por socavación general. Sistema coordinado en milímetros. Fuente: Propia

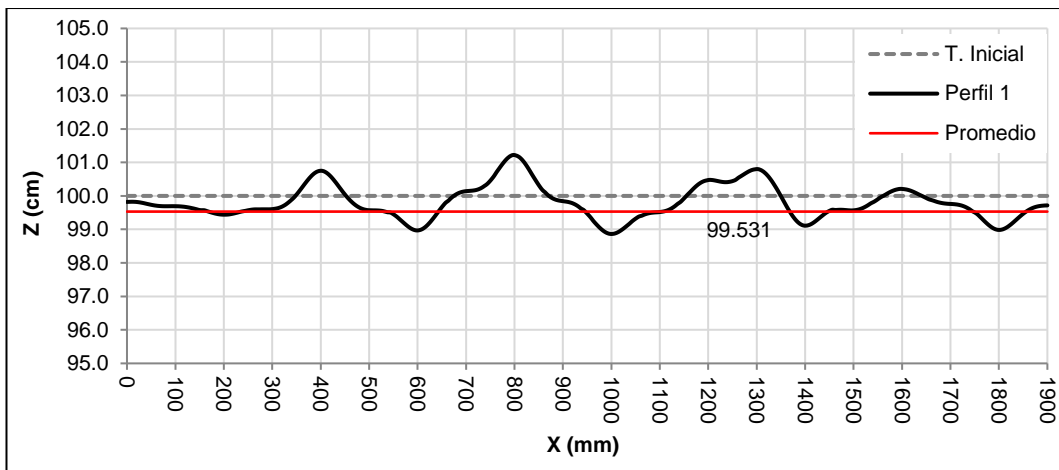


Figura N° 5.15 Socavación general en Sección 1. Fuente: Propia

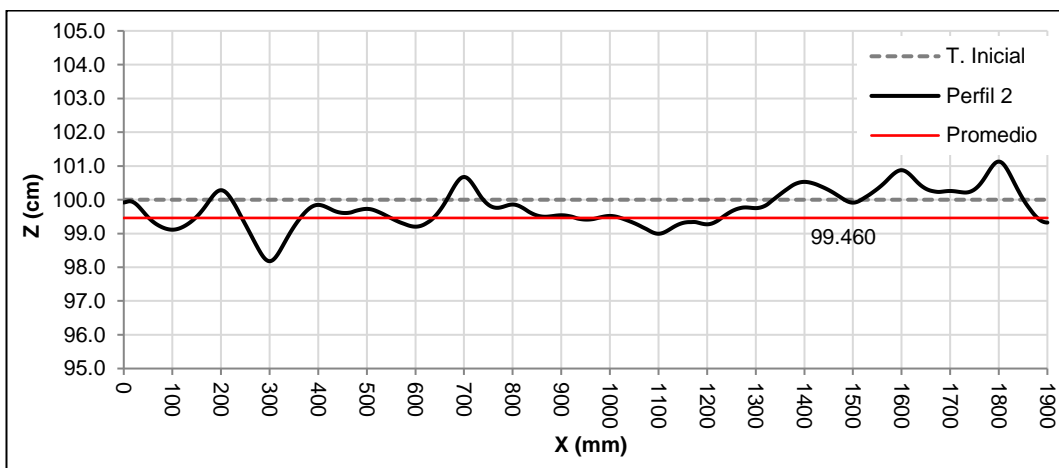


Figura N° 5.16 Socavación general en Sección 2. Fuente: Propia

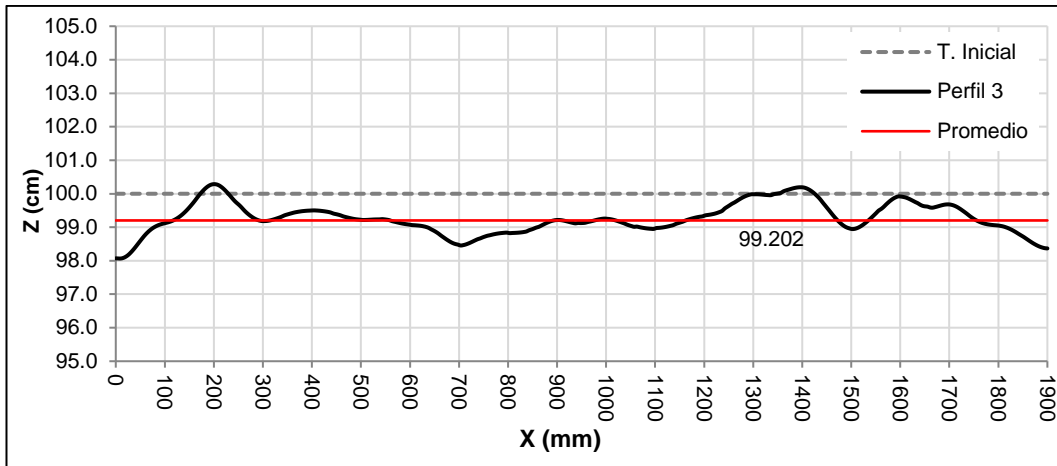


Figura N° 5.17 Socavación general en Sección 3. Fuente: Propia

5.2.4. Socavación por contracción (d_c)

La socavación por contracción se ha determinado en las secciones de máxima contracción de flujo de los ensayos con estructura y que coinciden con las secciones señaladas en la Figura N° 5.14. En estas secciones se ha obtenido una socavación transversal adicional a la socavación general, tal como se muestra en la Figura N° 5.18. Se deduce que este adicional es la conocida socavación por contracción.

Por lo tanto, la socavación por contracción ha sido calculada por la diferencia de niveles entre la socavación total en los ensayos con estructura y la socavación general del ensayo sin estructura.

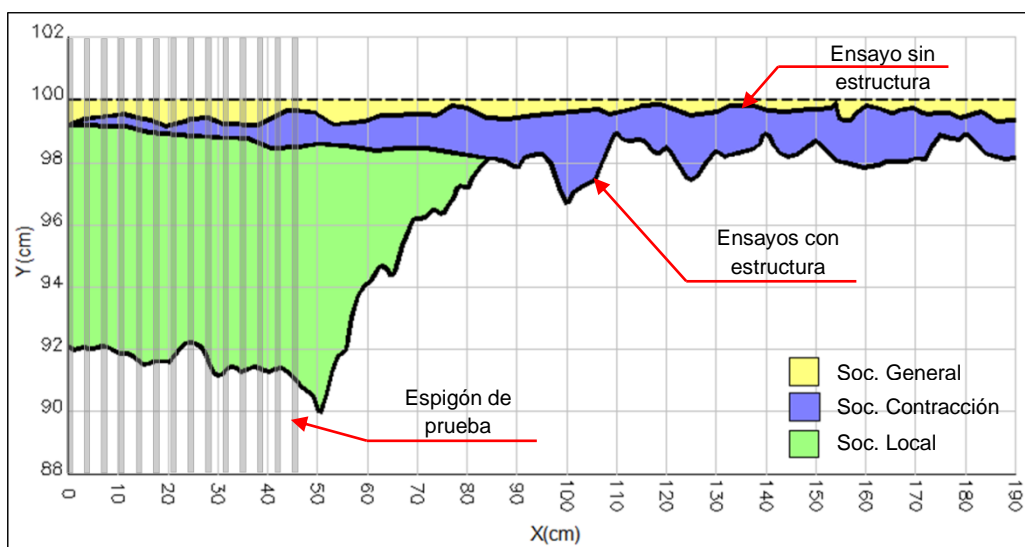


Figura N° 5.18 Deducción de socavación por contracción. Fuente: Propia

Al igual que la socavación general, la socavación por contracción también presenta ligera variabilidad, por lo que por razones prácticas se ha trabajado con el valor promedio.

Por lo expuesto líneas arriba, se calcula la socavación por contracción promedio para cada ensayo en su punto de control principal.

Tabla N° 5.12 Socavación por contracción (cm) en puntos de control principal. Fuente: Propia

Ensayo	Soc. Total d_t (cm)	Soc. General d_g (cm)	Soc. Contracción d_c (cm)
E45-30	1.000	0.469	0.531
E45-50	1.136	0.469	0.667
E45-70	1.195	0.469	0.726
E90-30	1.058	0.539	0.519
E90-50	1.061	0.539	0.522
E90-70	1.038	0.539	0.499
E135-30	1.000	0.797	0.203
E135-50	1.074	0.797	0.277
E135-70	1.091	0.797	0.294

Se presenta gráficamente los resultados finales de socavación general y socavación por contracción para cada ensayo.

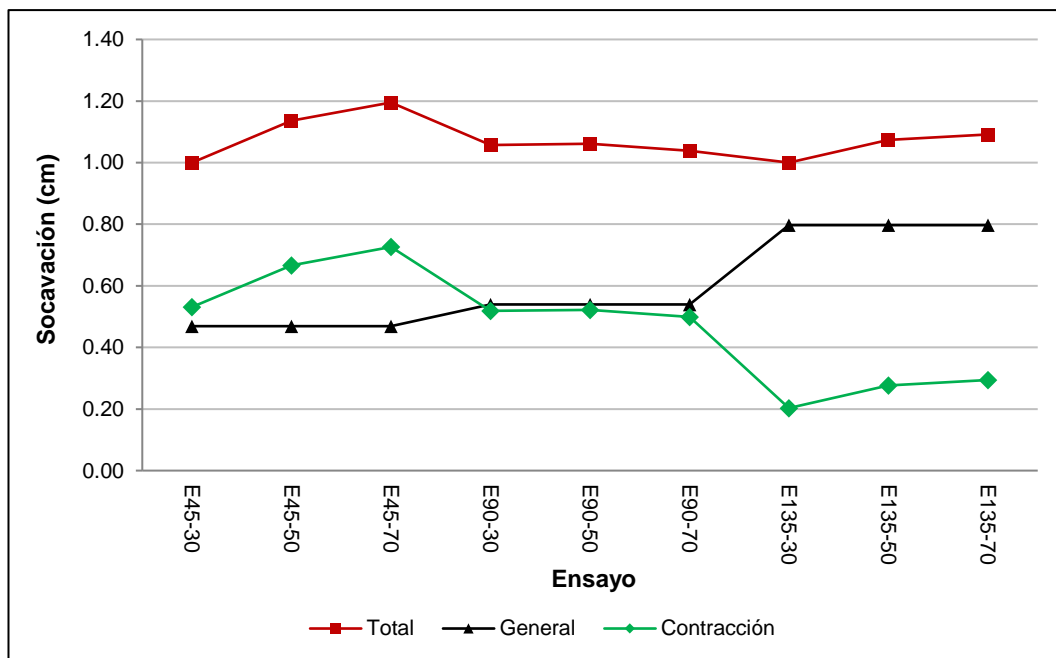


Figura N° 5.19 Deducción de socavación por contracción. Fuente: Propia

Se puede apreciar que la socavación general presenta una tendencia ligeramente creciente, mientras que la socavación por contracción presenta una

tendencia ligeramente decreciente. Sin embargo, la suma de ambos presenta una tendencia constante.

5.2.5. Socavación local (d_s)

Finalmente, la socavación local en los puntos de control se determina restando a la socavación total (Tabla N° 5.10), la socavación general (Tabla N° 5.11) y la socavación por contracción (Tabla N° 5.12).

Tabla N° 5.13 Socavación Local (cm) en puntos de control principal. Fuente: Propia

Ensayo	Socavación Máxima Total (cm)	Socavación General (cm)	Socavación Contracción (cm)	Socavación Local (cm)
E45-30	12.320	0.469	0.531	11.320
E45-50	5.950	0.469	0.667	4.814
E45-70	2.570	0.469	0.726	1.375
E90-30	10.220	0.539	0.519	9.162
E90-50	3.160	0.539	0.522	2.099
E90-70	2.420	0.539	0.499	1.382
E135-30	8.060	0.797	0.203	7.060
E135-50	2.380	0.797	0.277	1.306
E135-70	2.280	0.797	0.294	1.189

Nótese que el espesor de la capa de lecho que fue removida después de cada ensayo (40 cm) es mayor a la máxima profundidad de socavación en todos los ensayos.

5.2.6. Clasificación de formas de fondo

5.2.6.1. Observaciones experimentales

El transporte de sedimentos provoca que el lecho fluvial adquiera ciertas formas de fondo durante el paso de flujo. De acuerdo con el acápite 4.3.3, se midieron algunas formas características y se registraron dimensiones típicas de 2 cm aproximadamente de altura Δ y 15 cm aproximadamente de longitud λ .

En la Figura N° 5.20 se muestra una forma de fondo típica y la medición de sus dimensiones principales.



Figura N° 5.20 Dimensiones de forma de fondo típica. Fuente: Propia

5.2.6.2. Clasificación teórica

A partir de las características hidráulicas del flujo y la granulometría del lecho se ha utilizado formulaciones experimentales para clasificar las formas de fondo observadas. Los datos utilizados han sido extraídos de la Tabla N° 3.3.

Según Liu (1957), la forma de fondo corresponde a rizos.

V_*	: 0.0134 m/s	Velocidad de corte del flujo
w	: 0.0288 m/s	Velocidad de caída del sedimento
ν	: 0.00000102 m ² /s	Viscosidad cinemática del fluido
d	: 0.23 mm	Diámetro medio del material de lecho
V_*/w	: 0.464	Número de movilidad
$V_* \cdot d/\nu$: 3.014	Índice de inestabilidad

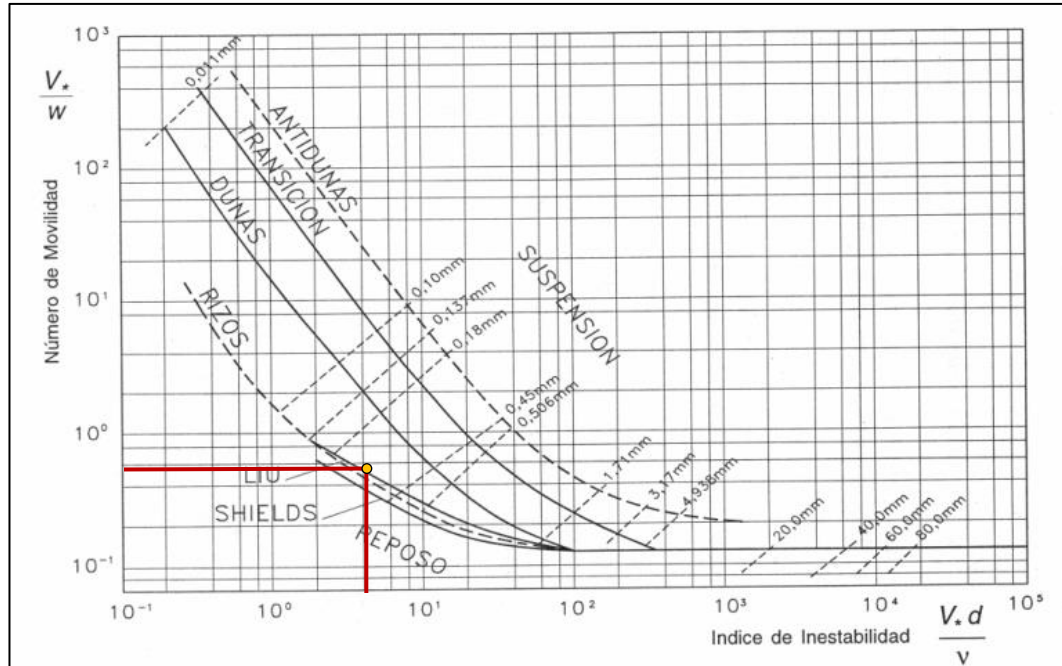


Figura N° 5.21 Clasificación de formas de fondo según Liu. Fuente: Liu (1957)

Según Vide (2003), la forma de fondo corresponde a rizos.

T : 0.045 Parámetro de Shields

Re^* : 3.0147 Índice de inestabilidad

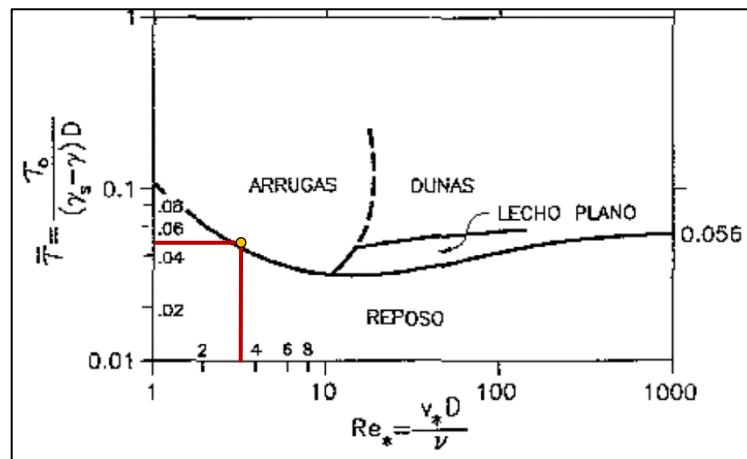


Figura N° 5.22 Clasificación de formas de fondo según Vide. Fuente: Vide (2003)

Finalmente, la forma de fondo típica observada y medida se puede clasificar como **Rizos** según las formulaciones experimentales descritas.

5.2.7. Zonificación fluvial

Debido a la presencia y características de la estructura del espigón, los rizos del lecho fluvial sufren alteraciones de contracción y expansión, que, sumado al proceso de socavación y sedimentación, resulta una zonificación fluvial típica en todos los ensayos realizados, y que se ha esquematizado en la Figura N° 5.23.

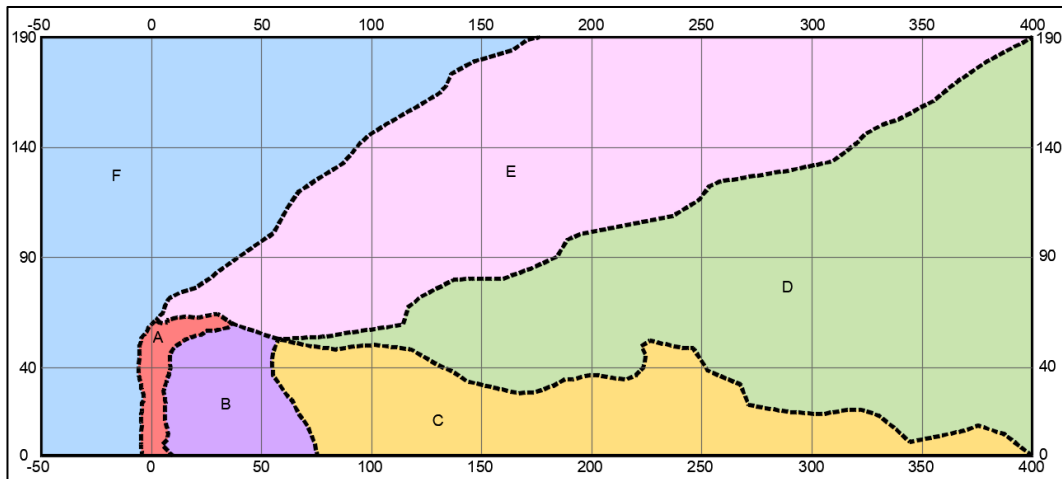


Figura N° 5.23 Zonificación fluvial típica en ensayos. Sistema coordenado en centímetros. Fuente: Propia

5.2.7.1. Zona A: Hoyo de socavación

Esta zona comprende el hoyo de socavación alrededor del espigón permeable. Generalmente se presenta un hoyo alargado en forma de "L" con una desviación en dirección aguas abajo. Su sección transversal es en "V" con talud 1H: 1V. La profundidad y extensión de esta zona varía de acuerdo con las características del espigón de prueba. En la Figura N° 5.24 se muestra una fotografía típica de esta zona.

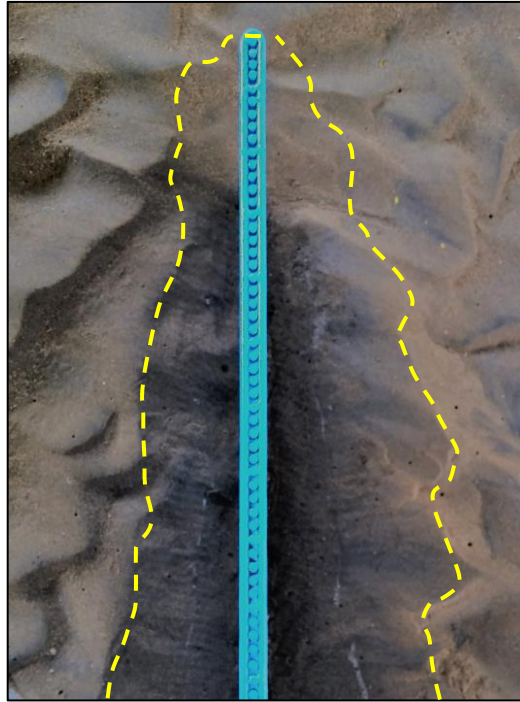


Figura N° 5.24 Fotografía típica de zona A "hoyo de socavación". Fuente: Propia

5.2.7.2. Zona B: Sedimentación

Esta zona comprende la región de sedimentación proveniente del transporte de sedimentos desde la zona A. Se presenta justo aguas abajo del espigón y adyacente a la zona de socavación. Tiene una forma de loma y su extensión varía de acuerdo con las características del espigón de prueba. En la Figura N° 5.25 se muestra una fotografía típica de esta zona.

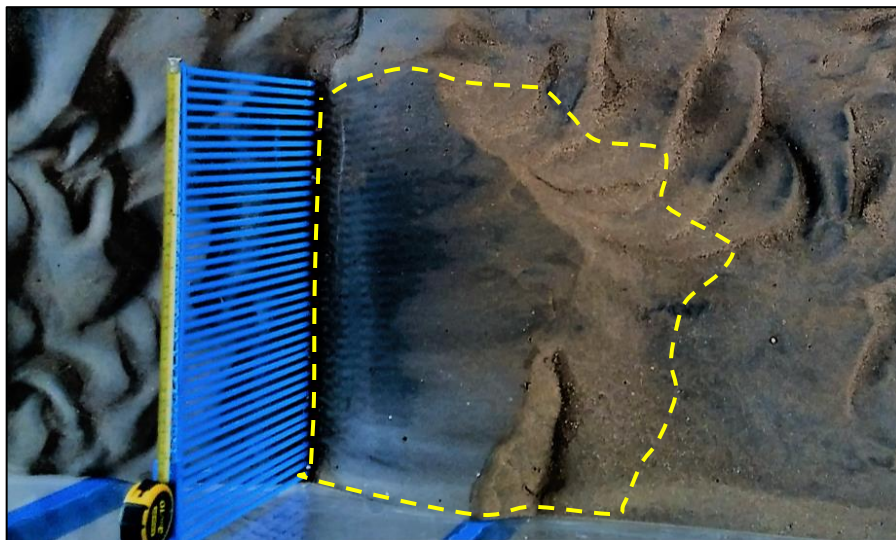


Figura N° 5.25 Fotografía típica de zona B "sedimentación". Fuente: Propia

5.2.7.3. Zona C: Fondo Plano

Esta zona comprende una región caracterizada por presentar un lecho bastante plano y de forma muy alargada justo inmediatamente aguas abajo de la zona B. Su ancho disminuye en la dirección de flujo y está limitado por el punto de reencuentro de la zona de estela de flujo. En la Figura N° 5.26 se muestra una fotografía típica de esta zona.

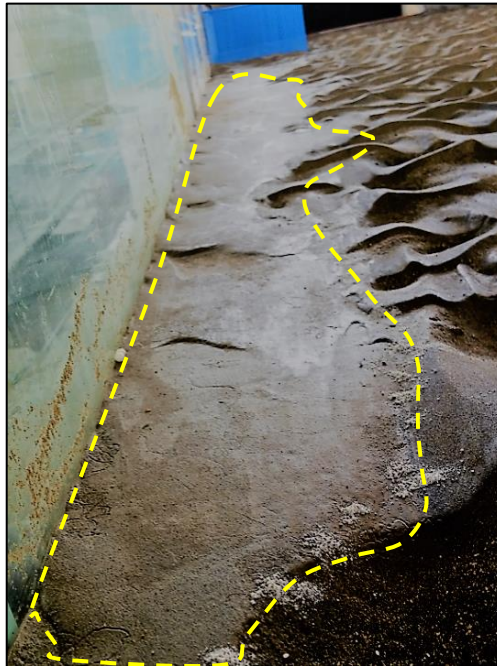


Figura N° 5.26 Fotografía típica de zona C "fondo plano". Fuente: Propia

5.2.7.4. Zona D: Reconformación

Esta zona comprende la transición entre la alteración del lecho por la presencia de la estructura y la alteración del lecho sin estructura. Está caracterizada por presentar desde rizos contraídos, de 2 cm de altura y 10 cm de longitud, en su parte estrecha, hasta rizos expandidos en su parte final, de 2 cm de altura y 15 cm de longitud. Se presenta en todos los ensayos, pero su notoriedad varía de acuerdo con las características del espigón de prueba. En la Figura N° 5.27 se muestra una fotografía típica de esta zona.

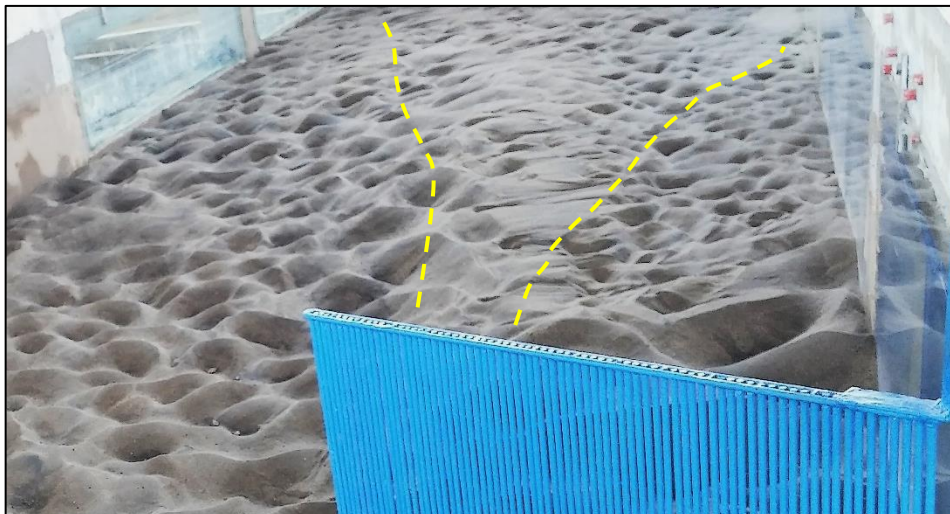


Figura N° 5.27 Fotografía típica de zona D "reconformación". Fuente: Propia

5.2.7.5. Zona E: Desviación

Esta zona comprende la región más alterada del lecho fluvial producto del paso de del flujo desviado desde la cabeza del espigón. Tiene una forma alargada y se extiende desde la cabeza del espigón hasta la orilla opuesta. Está caracterizada por presentar formas de rizados muy expandidos, de 1.5 cm de altura y 16 cm de longitud, que van creciendo ligeramente en dirección del flujo desviado. En la Figura N° 5.28 se muestra una fotografía típica de esta zona.

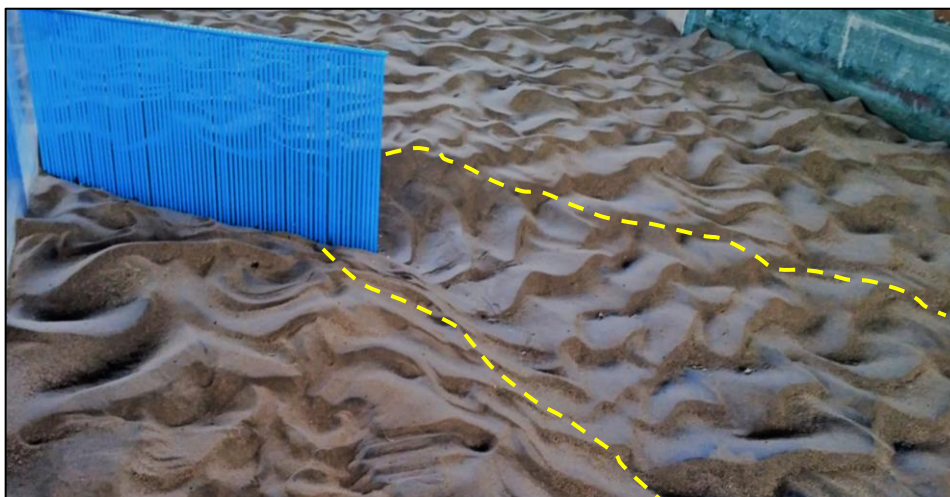


Figura N° 5.28 Fotografía típica de zona E "desviación". Fuente: Propia

5.2.7.6. Zona F: Contracción

Esta zona comprende la región alterada aguas arriba del espigón y es producto de la contracción de flujo. Se caracteriza por presentar rizados cuya longitud

disminuye en dirección de la contracción de flujo y su altura se mantiene casi constante, dando un efecto de compresión. En la Figura N° 5.29 se muestra una fotografía típica de esta zona.



Figura N° 5.29 Fotografía típica de zona F "contracción". Fuente: Propia

5.3. ANÁLISIS DE FLUJO

5.3.1. Distribución de velocidades medias

Para los primeros 9 ensayos realizados, se ha elaborado mapas de distribución de velocidades medias procesadas en cada punto de medición, en base a la data presentada en el Anexo F. Esta herramienta ayuda a identificar patrones característicos del flujo al variar la orientación y permeabilidad del espigón de prueba.

5.3.1.1. Ensayo E45-30

Este ensayo corresponde al espigón orientado 45° y con 30% de permeabilidad. Bajo estas condiciones, el flujo adopta una distribución de velocidad que se muestra en la Figura N° 5.30.

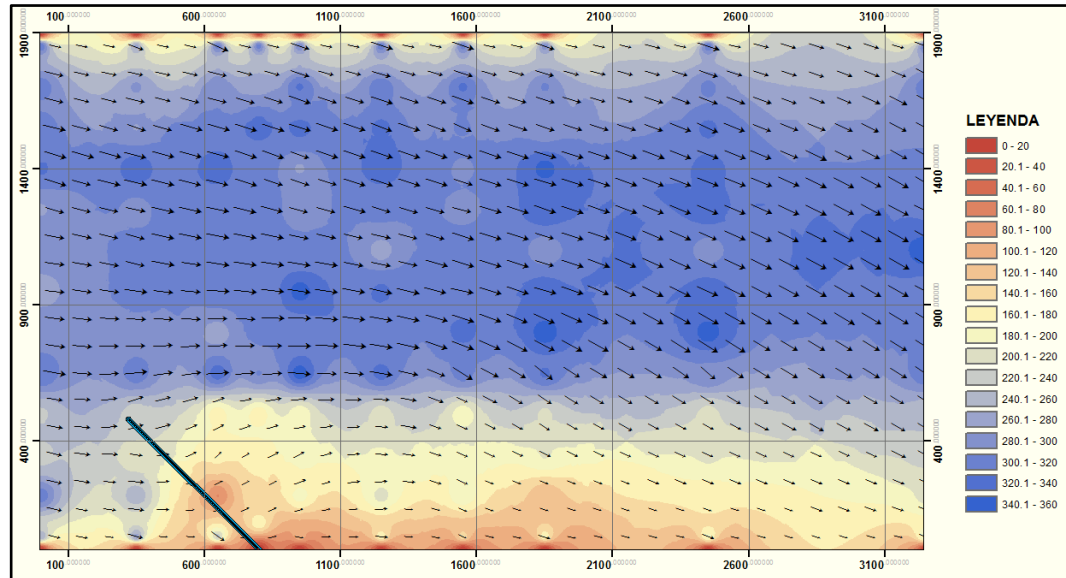


Figura N° 5.30 Mapa de distribución de velocidad media (mm/s), ensayo E45-30. Sistema coordinado en milímetros. Fuente: Propia

De acuerdo con la Figura N° 5.30, la distribución de velocidad producida alrededor del espigón permeable indica una fuerte obstaculización del flujo. Se aprecia claramente una región retardada de flujo aguas arriba del espigón, una región acelerada en la sección libre contraída y una gran región de turbulencia aguas abajo del espigón. Los vectores de velocidad sugieren que, por la punta del espigón, el flujo se desvía y tiende a bordear la región de turbulencia hasta chocar con el talud derecho del canal, en un punto de reencuentro situado aproximadamente 2.45 m aguas abajo del espigón de prueba.

Por el cuerpo del espigón pasa un caudal de $0.0195 \text{ m}^3/\text{s}$ (Véase la Tabla N° 5.15) a una velocidad promedio de 160.62 mm/s , una velocidad máxima de 230.43 mm/s cerca a la punta, y una velocidad mínima de 104.33 mm/s cerca al talud derecho. Es decir, un alto gradiente de velocidad, cuantificado por una desviación estándar de 49.96 mm/s .

Por la sección contraída del canal se registra una velocidad promedio de 309.47 mm/s , una velocidad máxima de 351.27 mm/s en la parte central, y una velocidad mínima de 285.53 mm/s cerca al talud izquierdo. Para esta zona se ha calculado una desviación estándar de 20.63 mm/s .

5.3.1.2. Ensayo E45-50

Este ensayo corresponde al espigón orientado 45° y con 50% de permeabilidad. Bajo estas condiciones, el flujo adopta una distribución de velocidad que se muestra en la Figura N° 5.31.

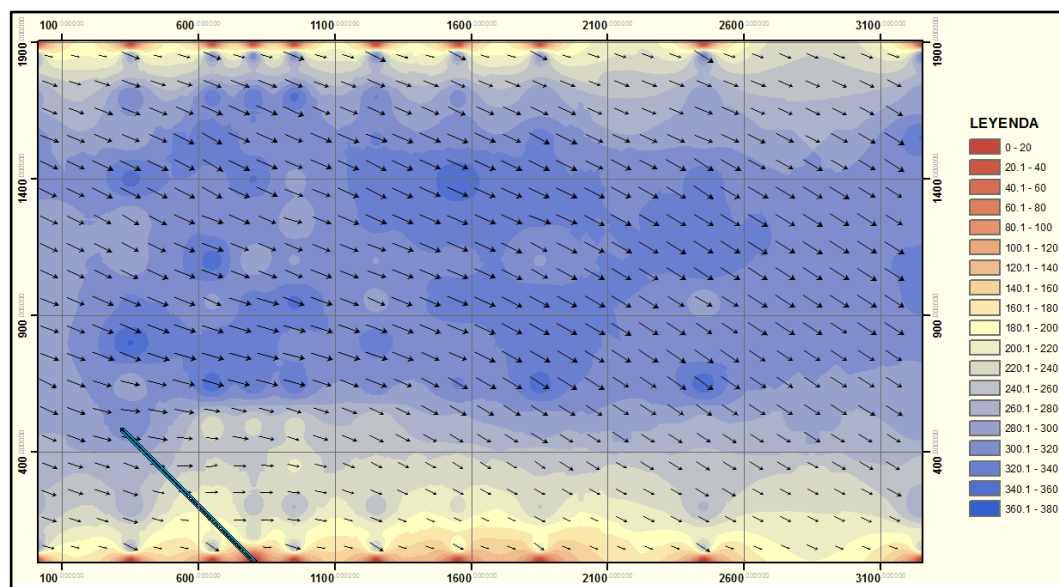


Figura N° 5.31 Mapa de distribución de velocidad media (mm/s), ensayo E45-50. Sistema coordenado en milímetros. Fuente: Propia

De acuerdo con la Figura N° 5.31, la distribución de velocidad producida alrededor del espigón permeable señala una moderada obstaculización del flujo. Se aprecia, en menor intensidad que en el caso anterior, una región retardada de flujo aguas arriba del espigón, una región acelerada en la sección libre contraída y una región de turbulencia aguas abajo del espigón. Los vectores de velocidad sugieren que, por la punta del espigón, el flujo se desvía suavemente y tiende a bordear la región de turbulencia hasta chocar con el talud derecho del canal, en un punto de reencuentro situado aproximadamente 1.65 m aguas abajo del espigón de prueba.

Por el cuerpo del espigón pasa un caudal de 0.0241 m³/s (Véase la Tabla N° 5.15) a una velocidad promedio de 226.48 mm/s, una velocidad máxima de 302.91 mm/s cerca a la punta, y una velocidad mínima de 145.37 mm/s cerca al talud derecho. Es decir, un moderado gradiente de velocidad, cuantificado por una desviación estándar moderada de 53.81 mm/s.

Por la sección contraída del canal se registra una velocidad promedio de 316.21 mm/s, una velocidad máxima de 353.25 mm/s en la parte central, y una velocidad mínima de 258.94 mm/s cerca al talud izquierdo. Para esta zona se ha calculado una desviación estándar de 21.77 mm/s.

5.3.1.3. Ensayo E45-70

Este ensayo corresponde al espigón orientado 45° y con 70% de permeabilidad. Bajo estas condiciones, el flujo adopta una distribución de velocidad que se muestra en la Figura N° 5.32.

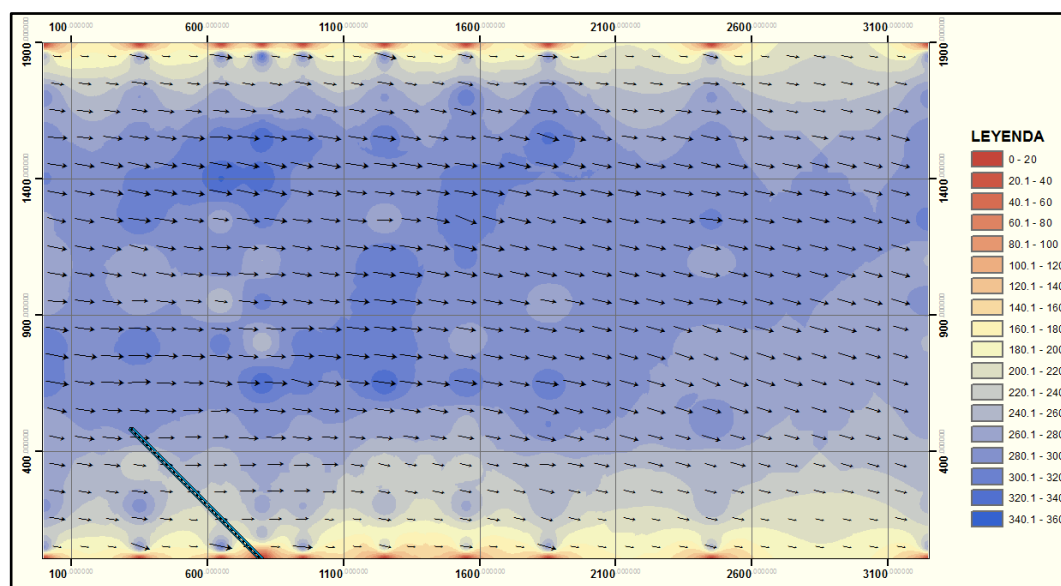


Figura N° 5.32 Mapa de distribución de velocidad media (mm/s), ensayo E45-70. Sistema coordinado en milímetros. Fuente: Propia

De acuerdo con la Figura N° 5.32, la distribución de velocidad producida alrededor del espigón permeable señala una obstaculización de flujo casi nula. Se aprecia, con una baja intensidad, una región acelerada en la sección libre contraída, y las regiones de retardo y turbulencia son casi imperceptibles. Los vectores de velocidad sugieren que, al pasar por el espigón, el flujo se desvía muy suavemente y tiende a chocar con el talud derecho del canal rápidamente, en un punto de reencuentro situado aproximadamente 0.6 m aguas abajo del espigón.

Por el cuerpo del espigón pasa un caudal de 0.0278 m³/s (Véase la Tabla N° 5.15) a una velocidad promedio de 227.82 mm/s, una velocidad máxima de

277.54 mm/s cerca a la punta, y una velocidad mínima de 157.99 mm/s cerca al talud derecho. Es decir, un bajo gradiente de velocidad, cuantificado por una desviación estándar de 39.31 mm/s.

Por la sección contraída del canal se registra una velocidad promedio de 290.10 mm/s, una velocidad máxima de 305.29 mm/s en la parte central, y una velocidad mínima de 254.10 mm/s cerca al talud izquierdo. Para esta zona se ha calculado una desviación estándar de 13.43 mm/s.

5.3.1.4. Ensayo E90-30

Este ensayo corresponde al espigón orientado 90° y con 30% de permeabilidad. Bajo estas condiciones, el flujo adopta una distribución de velocidad que se muestra en la Figura N° 5.33.

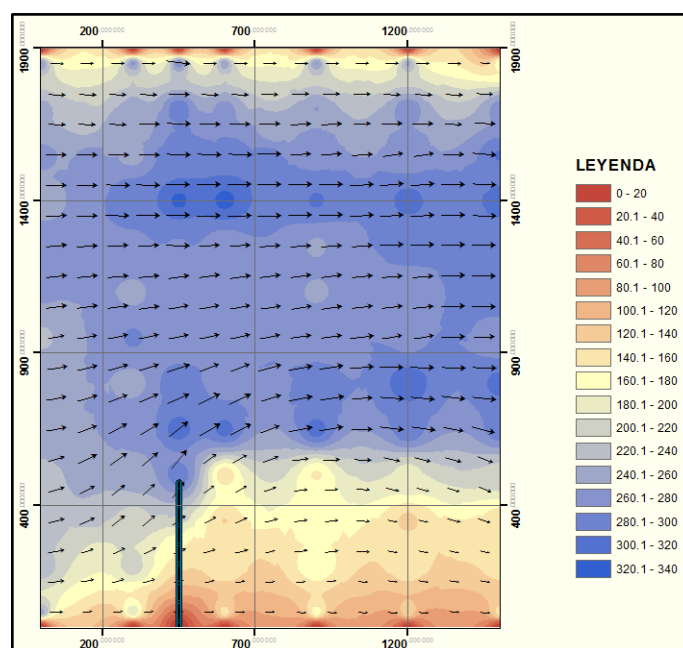


Figura N° 5.33 Mapa de distribución de velocidad media (mm/s), ensayo E90-30. Sistema coordenado en milímetros. Fuente: Propia

De acuerdo con la Figura N° 5.33, la distribución de velocidad producida alrededor del espigón permeable indica una fuerte obstaculización del flujo. Se aprecia una región retardada de flujo aguas arriba del espigón, una región acelerada en la sección libre contraída y una región de turbulencia aguas abajo del espigón. Los vectores de velocidad sugieren que, por la punta del espigón, el flujo se desvía y tiende a bordear la región de turbulencia hasta chocar con el

talud derecho del canal, en un punto de reencuentro situado aproximadamente 3.9 m aguas abajo del espigón de prueba.

Por el cuerpo del espigón pasa un caudal de 0.0087 m³/s (Véase la Tabla N° 5.15) a una velocidad promedio de 162.7 mm/s, una velocidad máxima de 266 mm/s cerca a la punta, y una velocidad mínima de 47.12 mm/s cerca al talud derecho. Es decir, un alto gradiente de velocidad, cuantificado por una desviación estándar de 74.6 mm/s.

Por la sección contraída del canal se registró una velocidad promedio de 283.2 mm/s, una velocidad máxima de 313.8 mm/s en la parte central, y una velocidad mínima de 254.6 mm/s cerca al talud izquierdo. Para esta zona se ha calculado una desviación estándar de 16.4 mm/s.

5.3.1.5. Ensayo E90-50

Este ensayo corresponde al espigón orientado 90° y con 50% de permeabilidad. Bajo estas condiciones, el flujo adopta una distribución de velocidad que se muestra en la Figura N° 5.34.

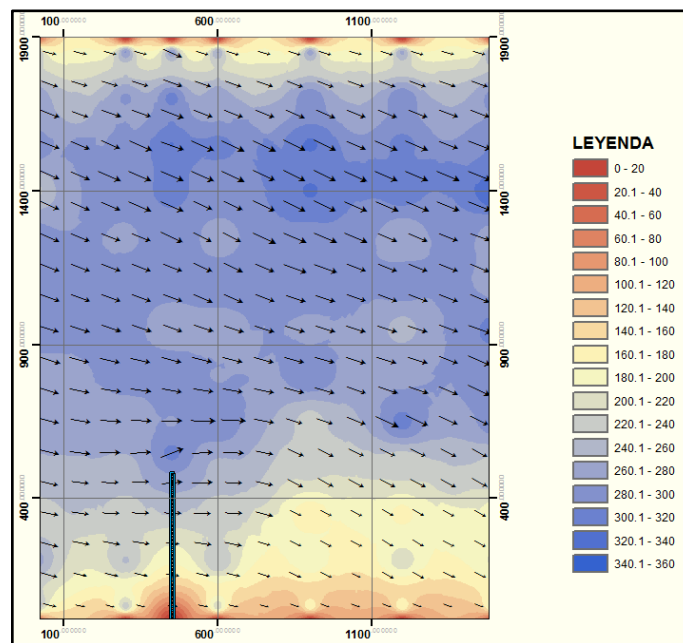


Figura N° 5.34 Mapa de distribución de velocidad media (mm/s), ensayo E90-50. Sistema coordenado en milímetros. Fuente: Propia

De acuerdo con la Figura N° 5.34, la distribución de velocidad producida alrededor del espigón permeable señala una moderada obstaculización del flujo.

Se aprecia, en menor intensidad que en el caso anterior, una región retardada de flujo aguas arriba del espigón, una región acelerada en la sección libre contraída y una región de turbulencia aguas abajo del espigón. Los vectores de velocidad sugieren que, por la punta del espigón, el flujo se desvía suavemente y tiende a bordear la región de turbulencia hasta chocar con el talud derecho del canal, en un punto de reencuentro situado aproximadamente 1.65 m aguas abajo del espigón de prueba.

Por el cuerpo del espigón pasa un caudal de 0.0128 m³/s (Véase la Tabla N° 5.15) a una velocidad promedio de 187.35 mm/s, una velocidad máxima de 269.72 mm/s cerca a la punta, y una velocidad mínima de 57.03 mm/s cerca al talud derecho. Es decir, un moderado gradiente de velocidad, cuantificado por una desviación estándar moderada de 75.18 mm/s.

Por la sección contraída del canal se registró una velocidad promedio de 289.24 mm/s, una velocidad máxima de 320.47 mm/s en la parte central, y una velocidad mínima de 263.51 mm/s cerca al talud izquierdo. Para esta zona se ha calculado una desviación estándar de 14.95 mm/s.

5.3.1.6. *Ensayo E90-70*

Este ensayo corresponde al espigón orientado 90° y con 70% de permeabilidad. Bajo estas condiciones, el flujo adopta una distribución de velocidad que se muestra en la Figura N° 5.35.

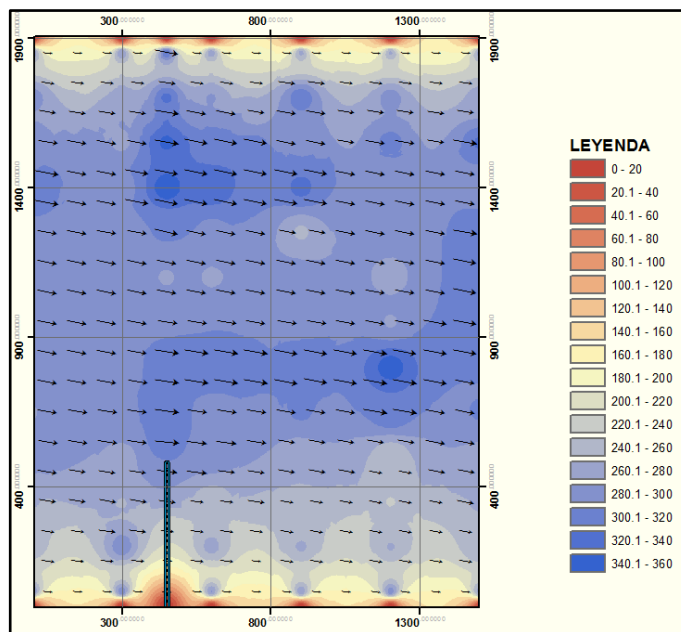


Figura N° 5.35 Mapa de distribución de velocidad media (mm/s), ensayo E90-70. Sistema coordinado en milímetros. Fuente: Propia

De acuerdo con la Figura N° 5.35, la distribución de velocidad producida alrededor del espigón permeable señala una obstaculización de flujo casi nula. Se aprecia, con una baja intensidad, una región acelerada en la sección libre contraída, y las regiones de retardo y turbulencia son casi imperceptibles. Los vectores de velocidad sugieren que no hay desvío significativo de flujo al pasar por el cuerpo de espigón, y el punto de reencuentro del flujo con el talud derecho del canal se encuentra situado aproximadamente a 0.7 m aguas abajo del espigón de prueba.

Por el cuerpo del espigón pasa un caudal de $0.0169 \text{ m}^3/\text{s}$ (Véase la Tabla N° 5.15) a una velocidad promedio de 211.87 mm/s , una velocidad máxima de 290.14 mm/s cerca a la punta, y una velocidad mínima de 70.25 mm/s cerca al talud derecho. Es decir, un bajo gradiente de velocidad, cuantificado por una desviación estándar de 78.89 mm/s .

Por la sección contraída del canal se registró una velocidad promedio de 310.62 mm/s , una velocidad máxima de 345.24 mm/s en la parte central, y una velocidad mínima de 279.48 mm/s cerca al talud izquierdo. Para esta zona se ha calculado una desviación estándar de 19.14 mm/s .

5.3.1.7. Ensayo E135-30

Este ensayo corresponde al espigón orientado 135° y con 30% de permeabilidad. Bajo estas condiciones, el flujo adopta una distribución de velocidad que se muestra en la Figura N° 5.36.

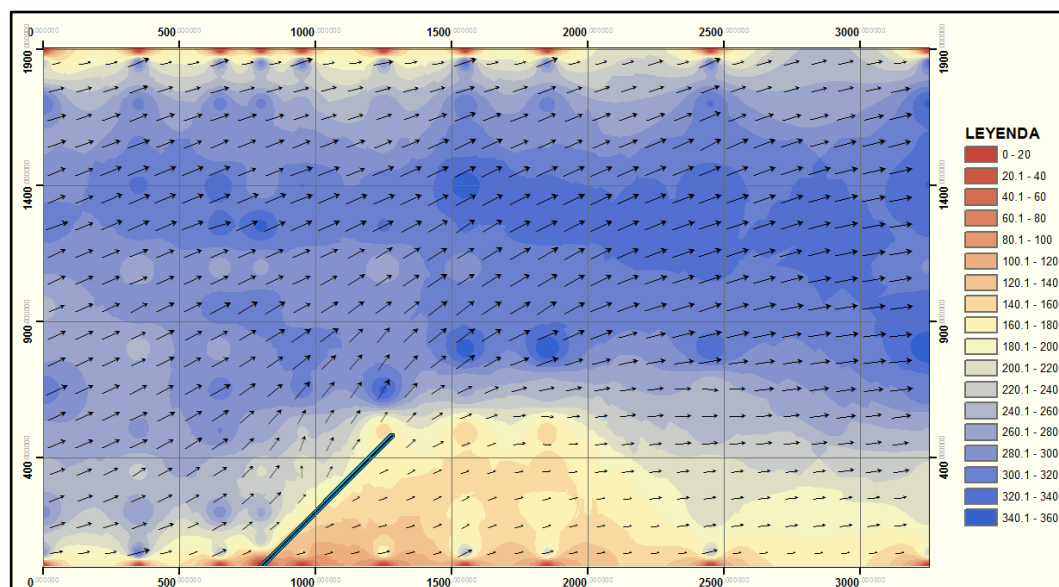


Figura N° 5.36 Mapa de distribución de velocidad media (mm/s), ensayo E135-30. Sistema coordenado en milímetros. Fuente: Propia

De acuerdo con la Figura N° 5.36, la distribución de velocidad producida alrededor del espigón permeable indica una fuerte obstaculización del flujo. Se aprecia una región pequeña de flujo retardado aguas arriba del espigón, una región acelerada en la sección libre contraída y una gran región de turbulencia aguas abajo del espigón. Los vectores de velocidad sugieren que, por la punta del espigón, el flujo se desvía y tiende a bordear la región de turbulencia hasta chocar con el talud derecho del canal, en un punto de reencuentro situado aproximadamente 3.15 m aguas abajo del espigón de prueba.

Por el cuerpo del espigón pasa un caudal de $0.027 \text{ m}^3/\text{s}$ (Véase la Tabla N° 5.15) a una velocidad promedio de 159.32 mm/s , una velocidad máxima de 179.89 mm/s cerca a la punta, y una velocidad mínima de 125.28 mm/s cerca al talud derecho. Es decir, un bajo gradiente de velocidad, cuantificado por una desviación estándar de 19.02 mm/s .

Por la sección contraída del canal se registró una velocidad promedio de 302.68

mm/s, una velocidad máxima de 338.97 mm/s en la parte central, y una velocidad mínima de 177.38 mm/s cerca al talud izquierdo. Para esta zona se ha calculado una desviación estándar de 40.19 mm/s.

5.3.1.8. Ensayo E135-50

Este ensayo corresponde al espigón orientado 135° y con 50% de permeabilidad. Bajo estas condiciones, el flujo adopta una distribución de velocidad que se muestra en la Figura N° 5.37.

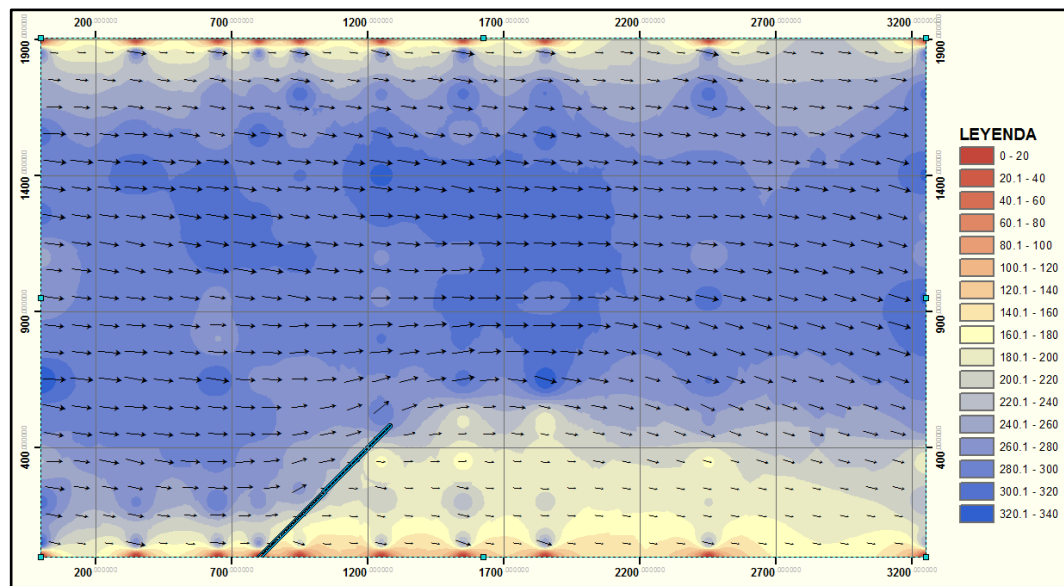


Figura N° 5.37 Mapa de distribución de velocidad media (mm/s), ensayo E135-50. Sistema coordinado en milímetros. Fuente: Propia

De acuerdo con la Figura N° 5.37, la distribución de velocidad producida alrededor del espigón permeable señala una moderada obstaculización del flujo. Se aprecia una región mínima de flujo retardado aguas arriba del espigón, una región acelerada en la sección libre contraída y una región de turbulencia aguas abajo del espigón. Los vectores de velocidad sugieren que, por la punta del espigón, el flujo se desvía suavemente y tiende a bordear la región de turbulencia hasta chocar con el talud derecho del canal, en un punto de reencuentro situado aproximadamente 1.9 m aguas abajo del espigón de prueba.

Por el cuerpo del espigón pasa un caudal de $0.0281 \text{ m}^3/\text{s}$ (Véase la Tabla N° 5.15) a una velocidad promedio de 216.12 mm/s, una velocidad máxima de

252.97 mm/s cerca a la punta, y una velocidad mínima de 175.67 mm/s cerca al talud derecho. Es decir, un moderado gradiente de velocidad, cuantificado por una desviación estándar moderada de 25.16 mm/s.

Por la sección contraída del canal se registró una velocidad promedio de 296.63 mm/s, una velocidad máxima de 335.29 mm/s en la parte central, y una velocidad mínima de 221.65 mm/s cerca al talud izquierdo. Para esta zona se ha calculado una desviación estándar de 25.88 mm/s.

5.3.1.9. Ensayo E135-70

Este ensayo corresponde al espigón orientado 135° y con 70% de permeabilidad. Bajo estas condiciones, el flujo adopta una distribución de velocidad que se muestra en la Figura N° 5.38.

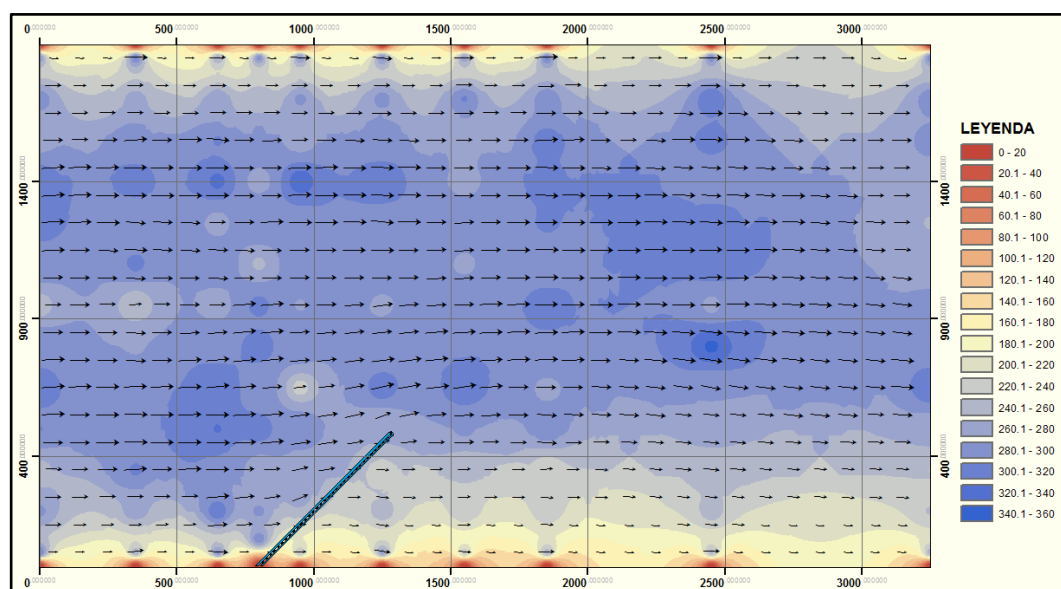


Figura N° 5.38 Mapa de distribución de velocidad media (mm/s), ensayo E135-70. Sistema coordenado en milímetros. Fuente: Propia

De acuerdo con la Figura N° 5.38, la distribución de velocidad producida alrededor del espigón permeable señala una mínima obstaculización de flujo. Se aprecia una región casi imperceptible de flujo retardado aguas arriba del espigón, una región acelerada en la sección libre contraída, y una región pequeña de turbulencia aguas abajo del espigón. Los vectores de velocidad sugieren que no hay desvío significativo de flujo al pasar por el cuerpo de espigón, por lo que el punto de reencuentro del flujo con el talud derecho del

canal se da aproximadamente a 1.35 m aguas abajo del espigón de prueba.

Por el cuerpo del espigón pasa un caudal de 0.0297 m³/s (Véase la Tabla N° 5.15) a una velocidad promedio de 227.97 mm/s, una velocidad máxima de 260.99 mm/s cerca a la punta, y una velocidad mínima de 163.15 mm/s cerca al talud derecho. Es decir, un bajo gradiente de velocidad, cuantificado por una desviación estándar de 34.44 mm/s.

Por la sección contraída del canal se registró una velocidad promedio de 288.99 mm/s, una velocidad máxima de 311.71 mm/s en la parte central, y una velocidad mínima de 259.34 mm/s cerca al talud izquierdo. Para esta zona se ha calculado una desviación estándar de 14.28 mm/s.

5.3.2. Velocidad de paso y velocidad contraída

Para los ensayos con estructura, se ha calculado la velocidad promedio que atraviesa el cuerpo del espigón de prueba (denominado *Velocidad de paso*) y la velocidad promedio en la sección contraída (denominado *Velocidad contraída*), en base a la distribución de velocidades detallada en el Anexo F.

Tabla N° 5.14 Velocidades de paso y de contracción. Fuente: Propia

Ensayo	V _{PASO} (mm/s)	V _{CONTRAIDA} (mm/s)
E45-30	160.62	309.47
E45-50	226.48	316.21
E45-70	227.82	290.10
E90-30	162.70	283.20
E90-50	187.35	289.24
E90-70	211.87	310.62
E135-30	159.32	302.68
E135-50	216.12	296.63
E135-70	227.97	288.99

La Tabla N° 5.14 señala que la velocidad de paso máxima calculada es de 227.97 mm/s, en el ensayo E135-70; mientras que la velocidad de paso mínima calculada es de 159.32 mm/s, en el ensayo E135-30.

5.3.3. Caudal de paso por el espigón

Para los ensayos con estructura, se ha estimado el caudal que atraviesa el cuerpo del espigón de prueba (denominado *Caudal de paso*), en base a la

distribución de velocidades detallada en el Anexo F y a la ecuación de continuidad siguiente:

$$Q_{paso} = Q_{total} - Q_{contraído} \quad (29)$$

El *caudal contraído* es definido como el caudal que pasa por el ancho contraído del canal y se calcula por la sumatoria de caudales en franjas.

$$Q_{contraído} = \sum_{i=1}^n V_{mi} \Delta x_i y_i \quad (30)$$

Donde:

- Q_{paso} : Caudal de paso por el espigón, m³/s.
 Q_{total} : Caudal total, 0.089 m³/s.
 $Q_{contraído}$: Caudal que pasa por el ancho contraído del canal, m³/s.
 V_{mi} : Velocidad media en la franja i , m/s.
 Δx_i : Ancho de la franja i , m.
 y_i : Tirante medio de la franja i , m.

Tabla N° 5.15 Caudal de paso por el espigón de prueba. Fuente: Propia

Ensayo	Q_{total} (m ³ /s)	$Q_{contraído}$ (m ³ /s)	Q_{paso} (m ³ /s)	Q_{paso}/Q_{total} (%)
E45-30	0.089	0.071	0.018	20.561
E45-50	0.089	0.066	0.023	25.398
E45-70	0.089	0.063	0.026	29.229
E90-30	0.089	0.081	0.008	9.154
E90-50	0.089	0.077	0.012	13.477
E90-70	0.089	0.073	0.016	17.789
E135-30	0.089	0.064	0.025	28.451
E135-50	0.089	0.063	0.026	29.569
E135-70	0.089	0.061	0.028	31.242

La Tabla N° 5.15 señala que el caudal de paso máximo calculado es de 0.0278 m³/s, en el ensayo E135-70; mientras que el caudal de paso mínimo calculado es de 0.0081 m³/s, en el ensayo E90-30.

5.4. VARIABLES DE ESTUDIO

5.4.1. Generalidades

Las variables que han sido objeto de medición en cada ensayo experimental de esta investigación y que se han descrito en los acápites 5.2 y 5.3 son las siguientes:

Tabla N° 5.16 Variables de estudio. Fuente: Propia

Símbolo	Variable	Unidad (S.I.)	Descripción
d_s	Profundidad de socavación local	m	Profundidad de socavación local en cada punto de control principal
y_n	Tirante de flujo normal	m	Tirante de flujo medio en condiciones normales
V_p	Velocidad de paso	m/s	Velocidad media que atraviesa el cuerpo del espigón
V_m	Velocidad media	m/s	Velocidad media en la distribución de velocidades
Q_p	Caudal de paso	m ³ /s	Caudal que atraviesa el cuerpo del espigón
Q_m	Caudal medio	m ³ /s	Caudal medio de flujo por ensayo
t_{eq}	Tiempo de equilibrio	hr	Tiempo en que se llega al equilibrio de socavación total
$t_{máx}$	Tiempo de equilibrio máximo	hr	Máximo tiempo de equilibrio por caso

5.4.2. Análisis dimensional

Con la finalidad de relacionar la socavación local de un espigón permeable con las otras variables medidas en esta investigación y descritas en la Tabla N° 5.16, se utiliza el *teorema π de Buckingham* (1940), estableciéndose la siguiente función:

$$f(d_s, y_n, V_p, V_m, Q_p, Q_m, \psi_t) = 0$$

Donde:

d_s : Profundidad de socavación local en puntos de control principal.

y_n : Tirante normal de canal.

V_p : Velocidad de paso por el cuerpo del espigón.

- V_m : Velocidad media de flujo.
 Q_p : Caudal de paso por el cuerpo del espigón.
 Q_m : Caudal medio de flujo.
 ψ_t : Factor de tiempo, $\psi_t = t_{eq}/t_{máx}$

A continuación, se presentan las dimensiones de las variables medidas:

Tabla N° 5.17 Exponentes dimensionales de variables utilizadas. Fuente: Propia

Variable	Unidades	
	L	T
d_s	1	0
y_n	1	0
V_p	1	-1
V_m	1	-1
Q_p	3	-1
Q_m	3	-1
ψ_t	0	0

Donde las variables básicas elegidas son y_n y V_m . Estas variables se combinan con cada una de las variables restantes para formar los grupos adimensionales π .

$$\pi_1 = y_n^{x_1} V_m^{y_1} d_s^{z_1}$$

$$\pi_2 = y_n^{x_3} V_m^{y_3} V_p^{z_3}$$

$$\pi_3 = y_n^{x_4} V_m^{y_4} Q_p^{z_4}$$

$$\pi_4 = y_n^{x_5} V_m^{y_5} Q_m^{z_5}$$

$$\pi_5 = \psi_t$$

Realizado el procedimiento algebraico se obtiene:

$$\pi_1 = d_s/y_n$$

$$\pi_2 = V_p/V_m$$

$$\pi_3 = Q_p/V_m y_n^2$$

$$\pi_4 = Q_m/V_m y_n^2$$

$$\pi_5 = \psi_t$$

Combinando π_3 y π_4 , tenemos:

$$\pi'_5 = Q_p/Q_m$$

Finalmente, se obtienen las siguientes relaciones funcionales que se estudiarán con los datos obtenidos en esta investigación:

$$d_s/y_n = f(Q_p/Q_m) = f(Q_p^*)$$

$$d_s/y_n = f(V_p/V_m) = f(V_p^*)$$

$$d_s/y_n = f(\psi_t) = f(t_{eq}^*)$$

Donde a su vez, cada grupo adimensional π_i depende de las dos variables independientes fundamentales en esta investigación: el grado de permeabilidad y ángulo de orientación.

$$d_s/y_n = \delta_{max}^* = h(\alpha, R)$$

$$\psi_t = t_{eq}^* = h(\alpha, R)$$

$$V_p/V_m = V_p^* = h(\alpha, R)$$

$$Q_p/Q_m = Q_p^* = h(\alpha, R)$$

5.4.3. Clasificación y relación entre variables adimensionales

Para la presente investigación se ha distinguido tres grupos de variables. El primer grupo corresponde a las variables primarias, que son las variables independientes fundamentales de este estudio, las cuales han ido variando en el dominio de aplicación. El segundo grupo corresponde a las variables secundarias, que son las variables adimensionales π obtenidas en el análisis previo y que son función de las variables primarias. El tercer grupo corresponde a las variables terciarias, que contienen a las variables de optimización, siendo estas últimas dependientes de las variables secundarias. En la Figura N° 5.39 se muestra un esquema de clasificación y relación entre variables.

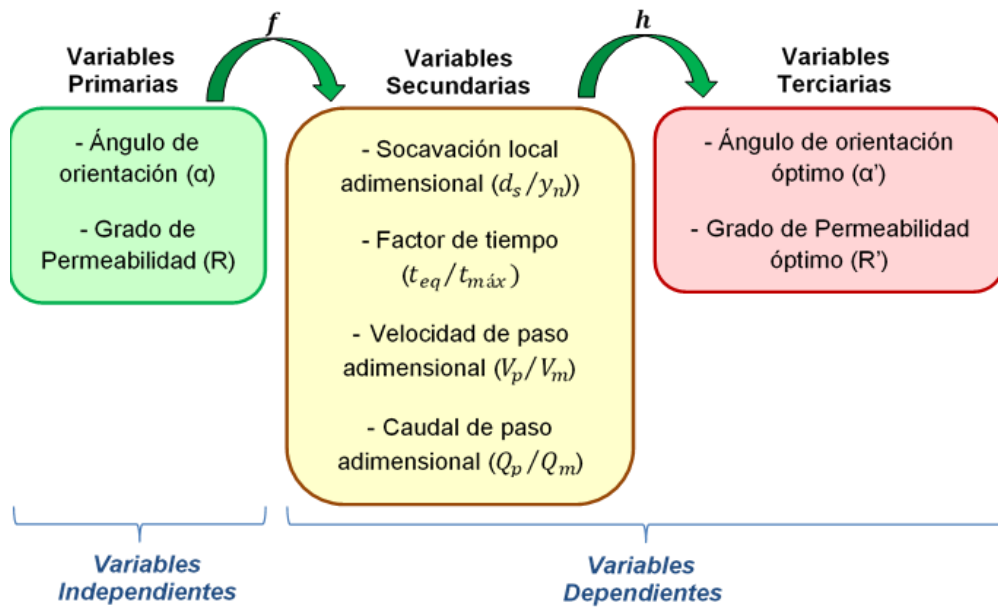


Figura N° 5.39 Clasificación y relación entre variables. Fuente: Propia

Las variables secundarias son producto del fenómeno de socavación, medidas en ensayos y variando según el cambio de las variables primarias. La optimización de las variables secundarias promueve la funcionabilidad y operatividad del espigón permeable, además de la minimización de la socavación local del espigón, resultando finalmente las variables terciarias de optimización.

5.4.4. Presentación de variables adimensionales

Las variables de flujo y lecho registradas y descritas en los acápites 5.2.2, 5.2.5, 5.3.2 y 5.3.3 han sido llevadas a su forma adimensional, de acuerdo con el análisis dimensional desarrollado previamente.

Tabla N° 5.18 Cálculo de variables adimensionales. Fuente: Propia

α (°)	R (%)	Variables de lecho							Variables de flujo					
		d_s (m)	y_n (m)	δ^*_{max}	t_{eq} (h)	$t_{m\acute{a}x}$ (h)	t^*_{eq}	V_p (m/s)	V_m (m/s)	V^*_p	Q_p (m ³ /s)	Q_m (m ³ /s)	Q^*_p	
45	30	0.11	0.18	0.65	10.00	10.00	1.00	0.16	0.27	0.60	0.018	0.089	0.205	
45	50	0.05	0.18	0.28	8.00	10.00	0.80	0.23	0.27	0.85	0.023	0.089	0.254	
45	70	0.01	0.18	0.08	6.50	10.00	0.65	0.23	0.27	0.85	0.026	0.089	0.293	
90	30	0.09	0.18	0.52	9.00	10.00	0.90	0.16	0.27	0.61	0.008	0.089	0.092	
90	50	0.02	0.18	0.12	7.00	10.00	0.70	0.19	0.27	0.70	0.012	0.089	0.135	
90	70	0.01	0.18	0.08	6.00	10.00	0.60	0.21	0.27	0.79	0.016	0.089	0.178	
135	30	0.07	0.18	0.40	7.50	10.00	0.75	0.16	0.27	0.60	0.025	0.089	0.284	
135	50	0.01	0.18	0.07	5.50	10.00	0.55	0.22	0.27	0.81	0.026	0.089	0.296	
135	70	0.01	0.18	0.07	6.00	10.00	0.60	0.23	0.27	0.85	0.028	0.089	0.313	

5.5. INFLUENCIA DEL GRADO DE PERMEABILIDAD Y ÁNGULO DE ORIENTACIÓN EN LAS VARIABLES SECUNDARIAS

En las siguientes secciones se ha analizado el comportamiento de las variables secundarias en respuesta a la variación del ángulo de orientación y grado de permeabilidad según lo presentado en la Tabla N° 5.18. Para ello, se ha utilizado el método de interpolación *Inverse Distance Weighted* (IDW). Es importante aclarar que los resultados presentados obedecen a estimaciones obtenidas considerando solo los ángulos de orientación (45°, 90° y 135°) y grados de permeabilidad (30%, 50% y 70%) estudiados. Para una mayor precisión en los resultados, se recomienda continuar con la investigación con un mayor número de ángulos de orientación y grados de permeabilidad.

5.5.1. Influencia del grado de permeabilidad y ángulo de orientación en la máxima profundidad de socavación local (δ_{max}^*)

Se presenta e interpreta la función $\delta_{max}^* = h(\alpha, R)$ en la Figura N° 5.40, donde se muestra la máxima socavación local adimensional en función del grado de permeabilidad y ángulo de orientación del espigón de prueba.

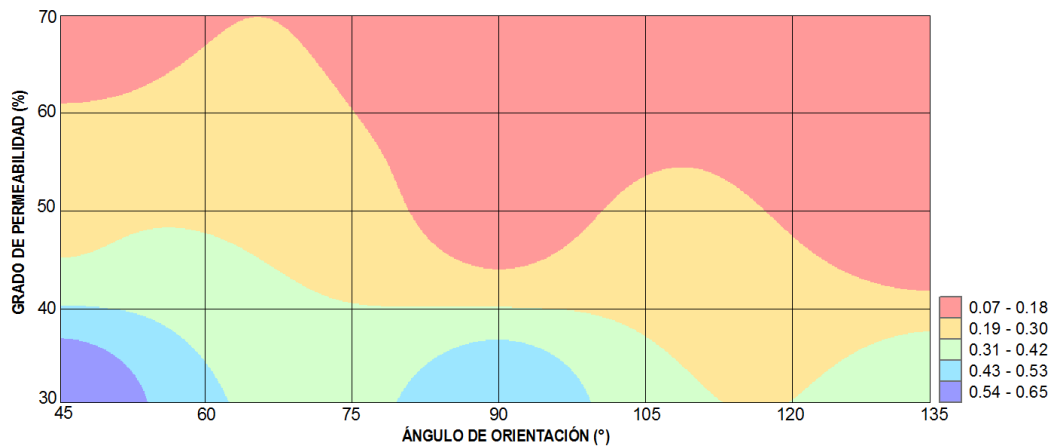


Figura N° 5.40 Máxima socavación adimensional (δ_{max}^*) versus orientación y permeabilidad.

Fuente: Propia

Esta representación funcional, permite observar el comportamiento de δ_{max}^* al variar simultáneamente la orientación " α " y la permeabilidad " R " del espigón de prueba. Así mismo, se puede estudiar la sensibilidad al cambio de δ_{max}^* , al analizar la función *gradiente de máxima socavación adimensional* $\nabla \delta_{max}^*$, dado por la siguiente expresión:

$$\nabla\delta_{max}^* = \left(\frac{\partial\delta_{max}^*}{\partial R}, \frac{\partial\delta_{max}^*}{\partial\alpha} \right)$$

El comportamiento de $\nabla\delta_{max}^*$ se presenta en la Figura N° 5.41.

La Figura N° 5.40 sugiere que los mayores valores para δ_{max}^* se presentan aproximadamente para orientaciones comprendidas entre los 45° y 105°; con permeabilidades inferiores al 40%. Los valores mínimos para δ_{max}^* se presentan aproximadamente para orientaciones comprendidas entre 75° y 105°; y permeabilidades mayores al 50%.

En general, a medida que disminuye la permeabilidad, aumenta δ_{max}^* , con mucha mayor sensibilidad para espigones orientados 135°. Para orientaciones inferiores, esta sensibilidad al cambio de permeabilidad disminuye gradualmente.

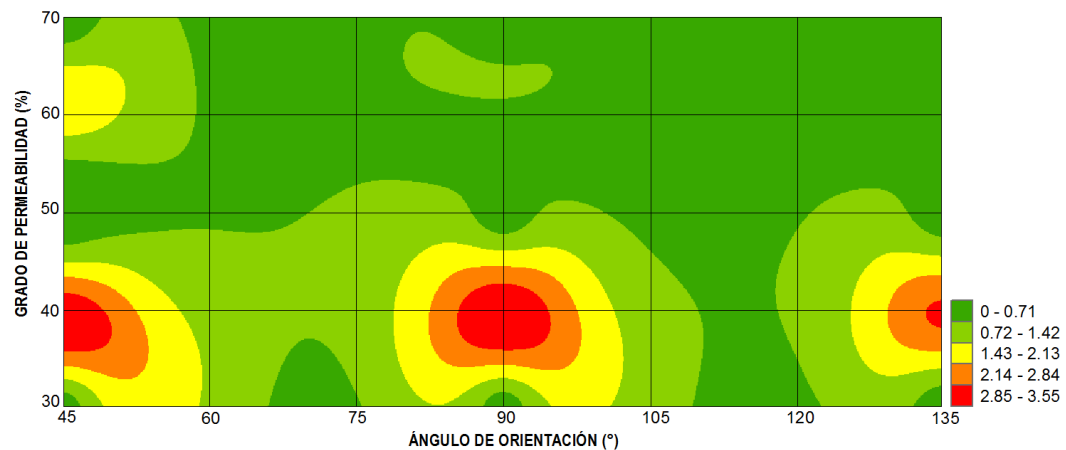


Figura N° 5.41 Gradiente de máxima socavación adimensional ($\nabla\delta_{max}^*$) versus orientación y permeabilidad. Fuente: Propia

La Figura N° 5.41 sugiere que los mayores valores para $\nabla\delta_{max}^*$ se presentan aproximadamente para orientaciones próximas a los 45°, 90° y 135°; con permeabilidades comprendidas entre el 35% y 45%. Los valores mínimos para $\nabla\delta_{max}^*$ se presentan en general para permeabilidades superiores a los 50% aproximadamente.

5.5.2. Influencia del grado de permeabilidad y ángulo de orientación en el tiempo de equilibrio (t_{eq}^*)

Se presenta e interpreta la función $t_{eq}^* = h(\alpha, R)$ en la Figura N° 5.42, donde se muestra el tiempo de equilibrio adimensional en función del grado de

permeabilidad y ángulo de orientación del espigón de prueba.

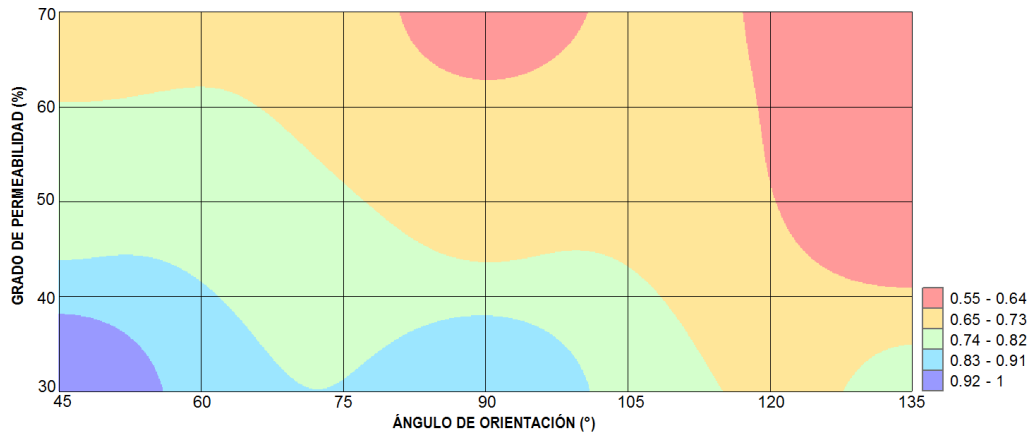


Figura N° 5.42 Tiempo de equilibrio adimensional (t_{eq}^*) versus orientación y permeabilidad. Fuente: Propia

Esta representación funcional, permite observar el comportamiento de t_{eq}^* al variar simultáneamente la orientación " α " y la permeabilidad " R " del espigón de prueba. Así mismo, se puede estudiar la sensibilidad al cambio de t_{eq}^* , al analizar la función *gradiente de tiempo de equilibrio adimensional* ∇t_{eq}^* , dado por la siguiente expresión:

$$\nabla t_{eq}^* = \left(\frac{\partial t_{eq}^*}{\partial R}, \frac{\partial t_{eq}^*}{\partial \alpha} \right)$$

El comportamiento de ∇t_{eq}^* se presenta en la Figura N° 5.43.

La Figura N° 5.42 surge de que los menores valores para t_{eq}^* se presentan en general para orientaciones mayores a 120° aproximadamente. Los valores máximos para t_{eq}^* se presentan para orientaciones comprendidas aproximadamente entre 45° y 60°; y permeabilidades menores al 40%.

En general, a medida que disminuye la permeabilidad, aumenta el tiempo de equilibrio de socavación, con mucha mayor sensibilidad para espigones orientados hasta 90°. Para orientaciones superiores, esta sensibilidad al cambio de permeabilidad disminuye considerablemente.

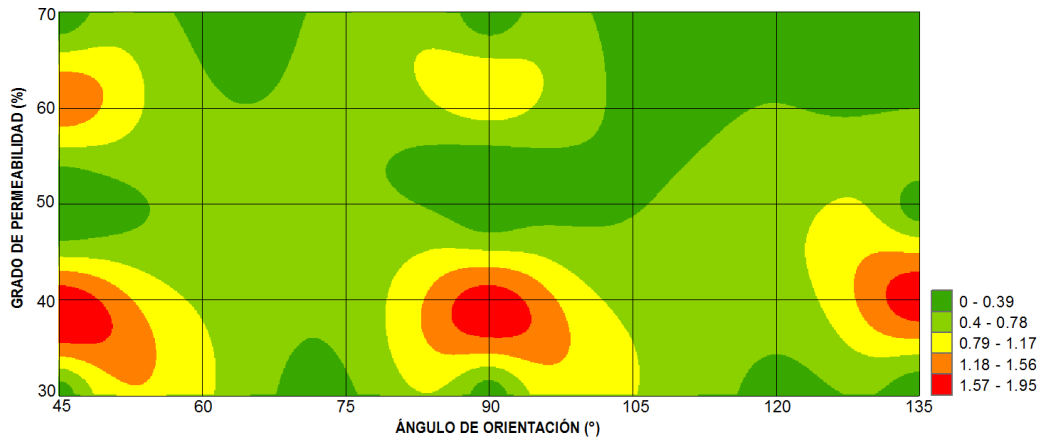


Figura N° 5.43 Gradiente de tiempo de equilibrio adimensional (%) versus orientación y permeabilidad. Fuente: Propia

La Figura N° 5.43 sugiere que los mayores valores para ∇t_{eq}^* se presentan aproximadamente para orientaciones cercanas a los 45°, 90° y 135°; con permeabilidades cercanas al 40%. Los valores mínimos para ∇t_{eq}^* se presentan en general para orientaciones superiores a los 90° y permeabilidades superiores al 60% aproximadamente.

5.5.3. Influencia del grado de permeabilidad y ángulo de orientación en la velocidad de paso (V_p^*)

Se presenta e interpreta la función $V_p^* = h(\alpha, R)$ en la Figura N° 5.44, donde se muestra la velocidad de paso adimensional en función del grado de permeabilidad y ángulo de orientación del espigón de prueba.

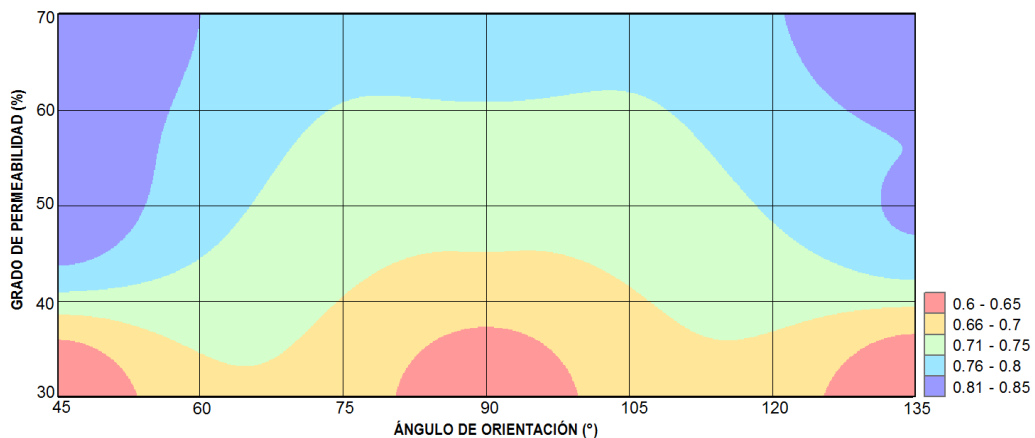


Figura N° 5.44 Velocidad de paso adimensional (V_p^*) versus orientación y permeabilidad. Fuente: Propia

Esta representación funcional, permite observar el comportamiento de V_p^* al variar simultáneamente la orientación " α " y la permeabilidad " R " del espigón de prueba. Así mismo, se puede estudiar la sensibilidad al cambio de V_p^* , al analizar la función *gradiente de velocidad de paso adimensional* ∇V_p^* , dado por la siguiente expresión:

$$\nabla V_p^* = \left(\frac{\partial V_p^*}{\partial R}, \frac{\partial V_p^*}{\partial \alpha} \right)$$

El comportamiento de ∇V_p^* se presenta en la Figura N° 5.45.

La Figura N° 5.44 surge de que los mayores valores para V_p^* se presentan aproximadamente para orientaciones menores a 60° y mayores a 120° , y permeabilidades superiores al 45%. Los valores mínimos para V_p^* se presentan aproximadamente para orientaciones cercanas a lo 45° , 90° y 135° ; y permeabilidades menores al 35%. Además, se puede estimar a la orientación 90° como un eje de simetría para el comportamiento de V_p^* .

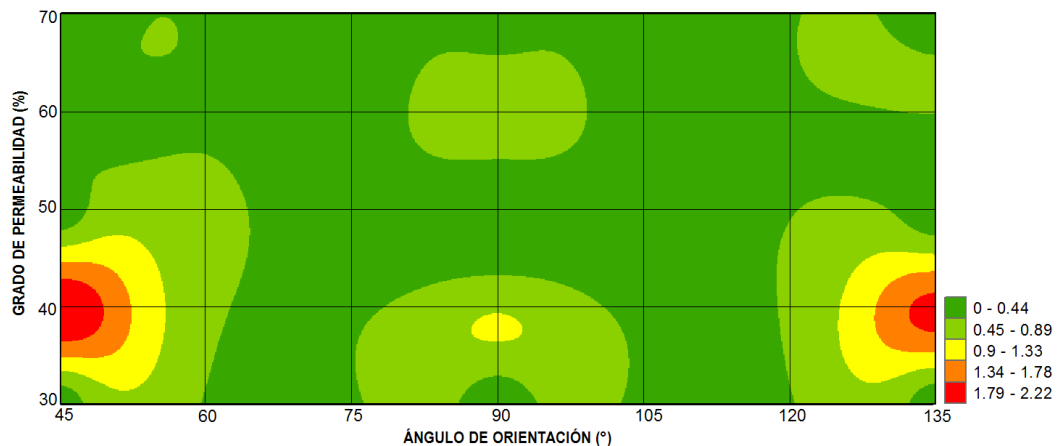


Figura N° 5.45 Gradiente de velocidad de paso adimensional (∇V_p^*) versus orientación y permeabilidad. Fuente: Propia

La Figura N° 5.45 sugiere que los mayores valores para ∇V_p^* se presentan aproximadamente para orientaciones de 45° y 135° y permeabilidades comprendidas entre 35% y 45%. Los valores mínimos se obtienen para orientaciones comprendidas entre 60° y 120° aproximadamente. Además, la orientación 90° representa un eje de simetría para el comportamiento de ∇V_p^* .

5.5.4. Influencia del grado de permeabilidad y ángulo de orientación en el caudal de paso (Q_p^*)

Se presenta e interpreta la función $Q_p^* = h(\alpha, R)$ en la Figura N° 5.46, donde se muestra el caudal de paso adimensional en función del grado de permeabilidad y ángulo de orientación del espigón de prueba.

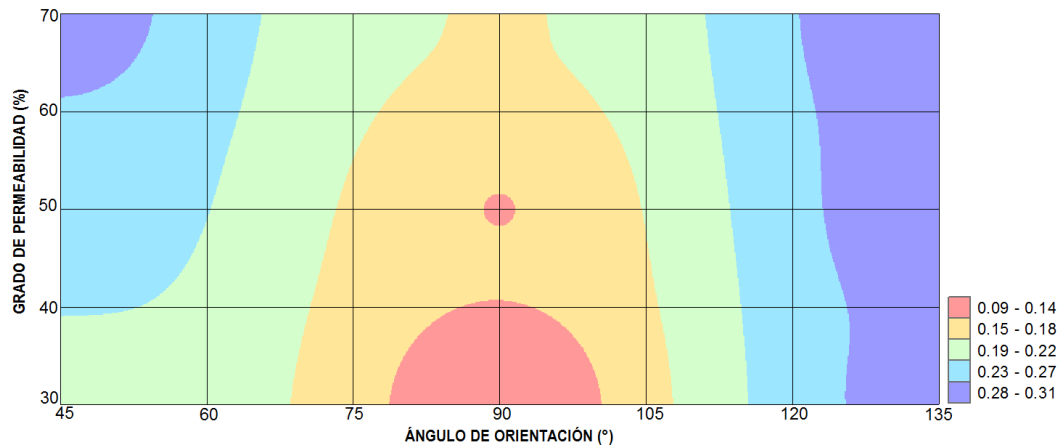


Figura N° 5.46 Caudal de paso adimensional (Q_p^*) versus orientación y permeabilidad. Fuente: Propia

Esta representación funcional, permite observar el comportamiento de Q_p^* al variar simultáneamente la orientación " α " y la permeabilidad " R " del espigón de prueba. Así mismo, se puede estudiar la sensibilidad al cambio de Q_p^* , al analizar la función *gradiente de caudal de paso adimensional* ∇Q_p^* , dado por la siguiente expresión:

$$\nabla Q_p^* = \left(\frac{\partial Q_p^*}{\partial R}, \frac{\partial Q_p^*}{\partial \alpha} \right)$$

El comportamiento de ∇Q_p^* se presenta en la Figura N° 5.47.

La Figura N° 5.46 surge de que los mayores valores para Q_p^* se presentan en general para orientaciones mayores a 120° aproximadamente. Los valores mínimos para Q_p^* se presentan aproximadamente para orientaciones comprendidas entre 80° y 100°; y permeabilidades menores al 40%.

En general, a medida que aumenta la permeabilidad, aumenta el caudal de paso por el cuerpo del espigón, con mucha mayor sensibilidad para espigones orientados hasta 105°. Para orientaciones superiores a los 105°, esta

sensibilidad al cambio de permeabilidad disminuye considerablemente.

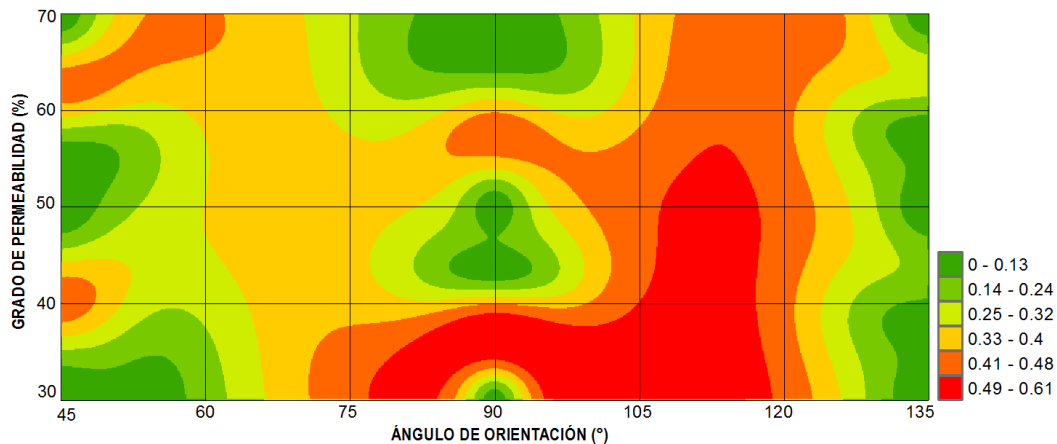


Figura N° 5.47 Gradiente de caudal de paso adimensional (∇Q_p^*) versus orientación y permeabilidad. Fuente: Propia

La Figura N° 5.47 sugiere que los mayores valores para ∇Q_p^* se presentan aproximadamente para orientaciones comprendidas entre los 75° y 120° ; con permeabilidades menores al 40%. Los valores mínimos para ∇Q_p^* se presentan en general para orientaciones superiores a los 120° aproximadamente.

5.6. ANÁLISIS DE CRITERIO MÚLTIPLE

5.6.1. Definición

El análisis de criterio múltiple es una herramienta que se utiliza para evaluar diversas posibles soluciones a un determinado problema físico, considerando un conjunto de criterios, con la finalidad de determinar la solución más conveniente.

5.6.2. Resultado objetivo

De acuerdo con el acápite 1.3.2, uno de los objetivos de esta investigación es la determinación del óptimo grado de permeabilidad y ángulo de orientación de un espigón permeable. Para lograrlo, se hace uso del análisis de criterio múltiple, el cual toma en cuenta la mínima socavación local y la máxima funcionabilidad del espigón.

5.6.3. Criterios de selección

Cada una de las variables analizadas en los acápites 5.2.2, 5.2.5, 5.3.2 y 5.3.3 refleja un criterio de selección para el óptimo grado de permeabilidad y ángulo de orientación de un espigón permeable. Cada criterio tiene una solución para el resultado objetivo, que no necesariamente coincide con el resto de los criterios.

En base a ello, se analiza la aportación al resultado objetivo que proporciona cada criterio y se valoriza cada par (permeabilidad, orientación) solución. Finalmente se combinan los criterios para determinar la solución óptima.

Se presenta un esquema del análisis de criterio múltiple utilizado en la presente investigación:

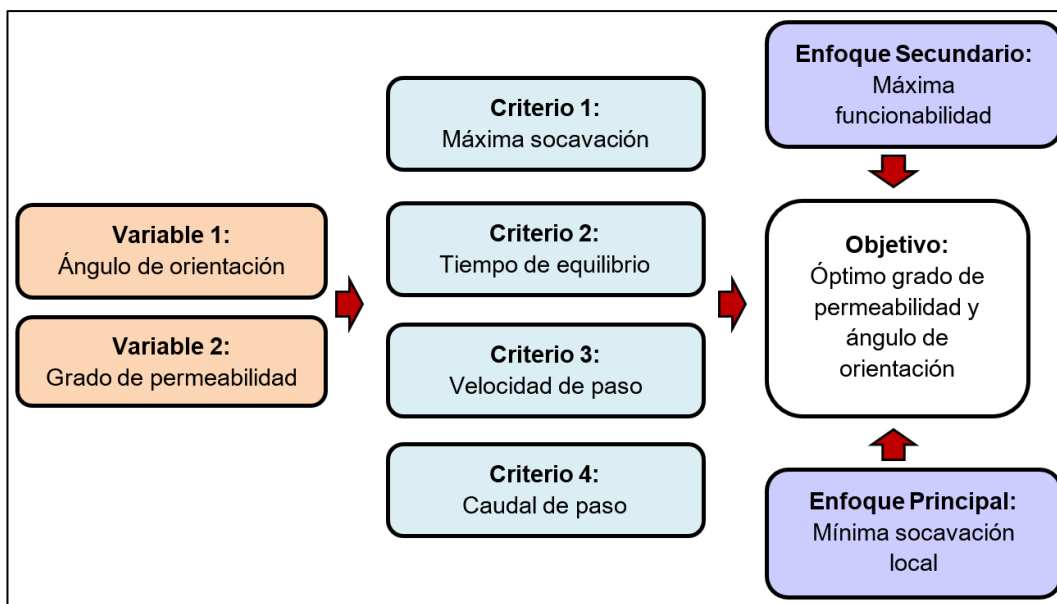


Figura N° 5.48 Esquema de análisis de criterio múltiple Fuente: Propia

5.6.4. Aportación al resultado objetivo

A continuación, se describirá la forma en que cada criterio de selección aporta a la determinación del óptimo grado de permeabilidad y ángulo de orientación de un espigón permeable, considerando la máxima funcionalidad y mínima socavación local.

5.6.4.1. *Socavación local*

Se requiere que la socavación local sea mínima. Además, es necesario que la función socavación local tenga un comportamiento estable frente a un cambio de condiciones de permeabilidad u orientación del espigón, asegurando la continuidad de su operatividad. Esto quiere decir que minimizar la función gradiente de socavación local, sugiere una mayor conservación de la funcionabilidad del espigón permeable.

5.6.4.2. *Tiempo de equilibrio*

Se requiere que el tiempo de equilibrio del proceso de socavación sea lo mínimo necesario. Frente a un proceso de socavación local, es más conveniente que éste se desarrolle y se establezca lo más pronto posible a fin de asegurar la integridad de la estructura. La configuración orientación – permeabilidad del espigón que demande un menor tiempo de equilibrio de socavación, proporciona mayor garantía para la operatividad del espigón, pues indica que el proceso flujo morfológico se ha estabilizado. Esto quiere decir que minimizar la función tiempo de equilibrio sugiere una mayor funcionabilidad del espigón permeable.

5.6.4.3. *Velocidad de paso*

La mayor funcionabilidad de un espigón permeable se da cuando la velocidad de paso por su cuerpo no varía significativamente frente a un escenario de cambio de permeabilidad, sea por obstrucción de arbustos, cuerpos sólidos flotantes o acumulación de sedimentos. Esto quiere decir que la función gradiente de velocidad de paso mínima sugiere una mayor conservación de la operatividad del espigón permeable.

La función retardadora de un espigón permeable se optimiza cuando se logra la menor velocidad de paso por su cuerpo y así, flujo descendente con menor energía. Esto quiere decir que minimizar la función velocidad de paso sugiere una menor fuerza de socavación local.

5.6.4.4. *Caudal de paso*

Se requiere que el caudal de paso sea el máximo necesario, de tal manera de evitar la formación de grandes masas de flujo descendente que promuevan la

socavación local. Esto quiere decir que maximizar la función caudal de paso sugiere una menor fuerza de socavación local en la punta del espigón.

Además, es necesario que el caudal de paso tenga un comportamiento estable frente a un cambio de condiciones de permeabilidad u orientación del espigón, asegurando la continuidad de su operatividad. Esto quiere decir que la función gradiente de caudal de paso mínima sugiere una mayor conservación de la funcionalidad del espigón permeable.

5.6.5. Valoración de criterios

5.6.5.1. Socavación local máxima

De acuerdo con lo descrito en las secciones 5.6.2 y 5.6.3, el resultado objetivo está en función, entre otras variables, de la socavación local máxima adimensional δ_{max}^* . Además, de acuerdo con la sección 5.6.4, su gradiente $\nabla\delta_{max}^*$ también tiene un papel sustancial en la funcionalidad del espigón permeable.

Se han definido los niveles de contribución de la δ_{max}^* al resultado objetivo, de acuerdo con la siguiente tabla:

Tabla N° 5.19 Valoración de socavación máxima adimensional. Fuente: Propia

Rango	Valor	Descripción
≥ 0.60 y ≤ 0.70	1	Socavación muy alta, flujo descendente intenso.
≥ 0.48 y ≤ 0.59	2	Socavación alta, flujo descendente moderado.
≥ 0.37 y ≤ 0.47	3	Socavación media, flujo descendente reducido.
≥ 0.25 y ≤ 0.36	4	Socavación bajo, flujo descendente mínimo.
≥ 0.13 y ≤ 0.24	5	Socavación muy bajo, flujo descendente insignificante

A partir de estos valores se ha elaborado el siguiente mapa de valoración.

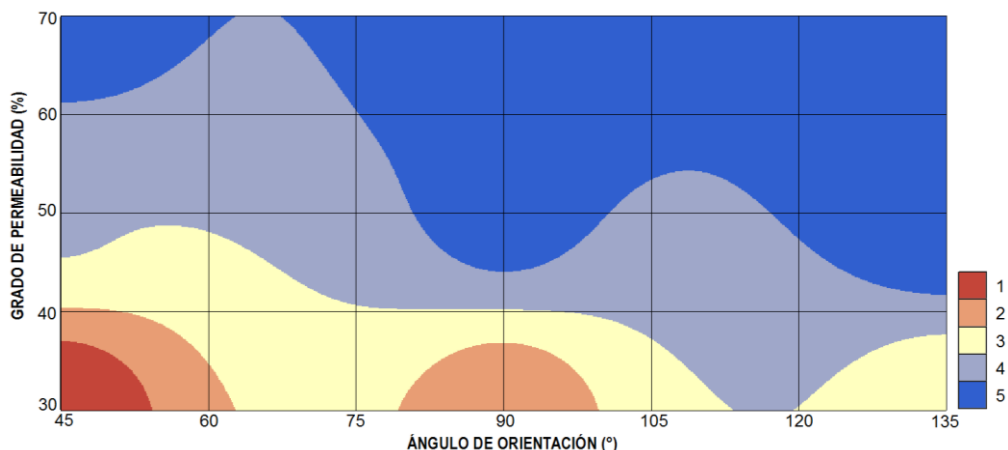


Figura N° 5.49 Valoración de socavación local máxima adimensional. Fuente: Propia

Se han definido los niveles de contribución del $\nabla\delta_{max}^*$ a la máxima funcionalidad del espigón permeable, de acuerdo con la siguiente tabla:

Tabla N° 5.20 Valoración del gradiente de socavación máxima adimensional. Fuente: Propia

Rango (%)	Valor	Descripción
≥ 2.84 y ≤ 3.54	1	Gradiente muy alto, sensibilidad al cambio muy alta.
≥ 2.14 y ≤ 2.83	2	Gradiente alto, sensibilidad al cambio alto.
≥ 1.43 y ≤ 2.13	3	Gradiente medio, sensibilidad al cambio medio.
≥ 0.72 y ≤ 1.42	4	Gradiente bajo, tendencia a conservar su valor frente a un cambio de permeabilidad.
≥ 0.00 y ≤ 0.71	5	Gradiente muy bajo, alta tendencia a conservar su valor frente a un cambio de permeabilidad.

A partir de estos valores se ha elaborado el siguiente mapa de valoración.

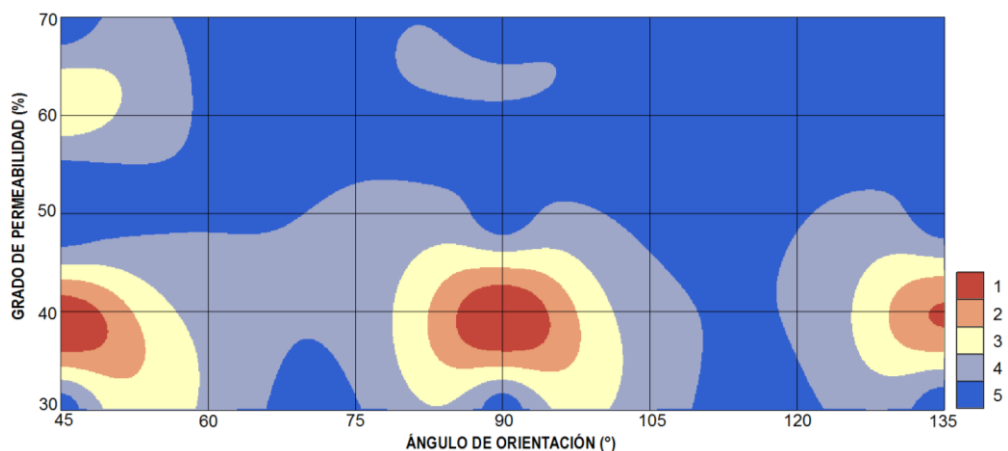


Figura N° 5.50 Valoración del gradiente de socavación máxima adimensional. Fuente: Propia

Los niveles de contribución al objetivo de la δ_{max}^* y del $\nabla\delta_{max}^*$ se intersectan

generando valores de ponderación tal como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla N° 5.21 Intersección de valoraciones. Fuente: Propia

		δ_{max}^*				
		1	2	3	4	5
$\nabla\delta_{max}^*$	1	1	2	3	4	5
	2	2	4	6	8	10
	3	3	6	9	12	15
	4	4	8	12	16	20
	5	5	10	15	20	25

La valoración obtenida se reclasifica y se agrupa en 5 niveles de aportación al objetivo (muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto) tal como se aprecia en la siguiente tabla:

Tabla N° 5.22 Valoración final del criterio socavación máxima. Fuente: Propia

Rango	Valor	Nivel de aportación
>20 y <=25	5	Muy alto
>15 y <=20	4	Alto
>10 y <=15	3	Medio
>5 y <=10	2	Bajo
>=1 y <=5	1	Muy bajo

Finalmente, esta valoración ha considerado ambos enfoques de mínima socavación y máxima funcionalidad, resultando con mayor valoración a aquella situación que presenta mayor contribución al objetivo y viceversa.

A partir de estos valores se ha elaborado un mapa de valoración del criterio de selección socavación máxima.

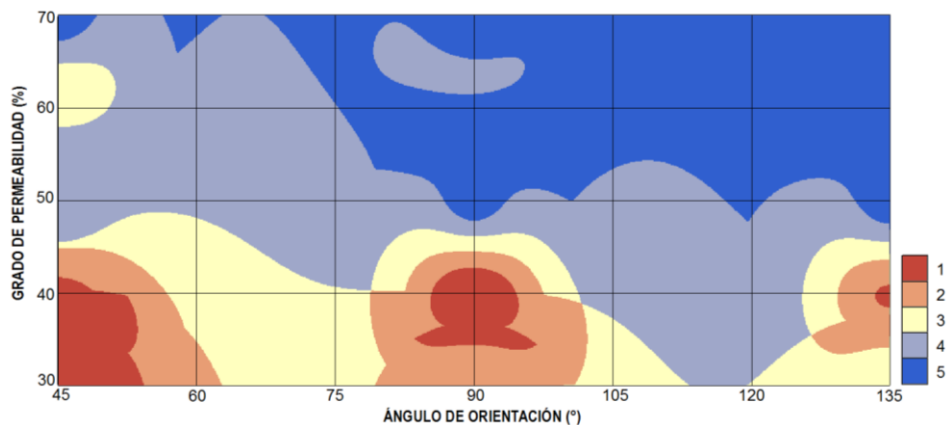


Figura N° 5.51 Valoración de la socavación local máxima adimensional al objetivo buscado.

Fuente: Propia

5.6.5.2. Tiempo de equilibrio

De acuerdo a lo descrito en las secciones 5.6.2 y 5.6.3, el resultado objetivo está en función, entre otras variables, del tiempo de equilibrio adimensional t_{eq}^* . Además, de acuerdo con la sección 5.6.4, su gradiente ∇t_{eq}^* también tiene un papel sustancial en la funcionabilidad del espigón permeable.

Se han definido los niveles de contribución de la t_{eq}^* al resultado objetivo, de acuerdo con la siguiente tabla:

Tabla N° 5.23 Valoración del tiempo de equilibrio adimensional. Fuente: Propia

Rango	Valor	Descripción
≥ 0.55 y ≤ 0.64	5	Tiempo de equilibrio muy corto, profundidad de socavación mínima.
≥ 0.65 y ≤ 0.73	4	Tiempo de equilibrio corto, profundidad de socavación reducida.
≥ 0.74 y ≤ 0.82	3	Tiempo de equilibrio medio, profundidad de socavación moderada.
≥ 0.83 y ≤ 0.91	2	Tiempo de equilibrio largo, profundidad de socavación significativa.
≥ 0.92 y ≤ 1.00	1	Tiempo de equilibrio muy largo, profundidad de socavación alta.

A partir de estos valores se ha elaborado el siguiente mapa de valoración.

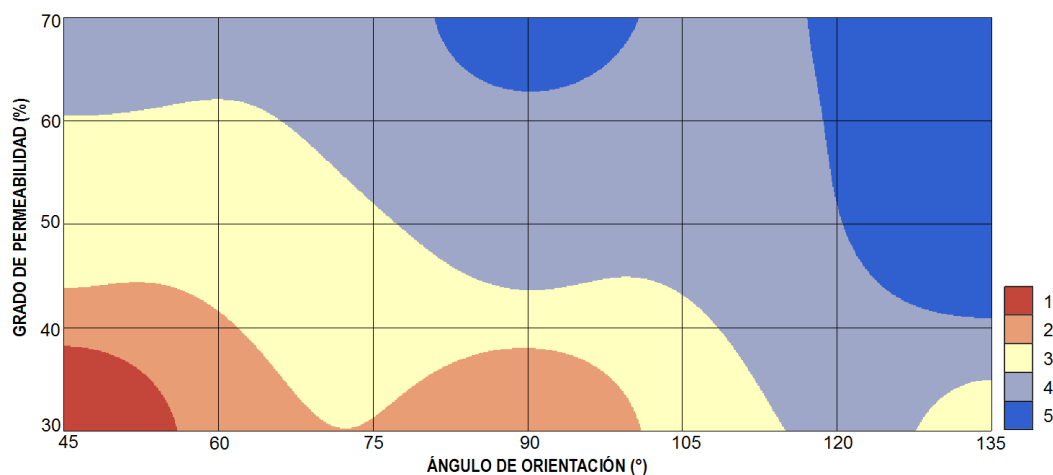


Figura N° 5.52 Valoración del tiempo de equilibrio adimensional. Fuente: Propia

Se han definido los niveles de contribución del ∇t_{eq}^* a la máxima funcionabilidad del espigón permeable, de acuerdo con la siguiente tabla:

Tabla N° 5.24 Valoración del gradiente de tiempo de equilibrio adimensional. Fuente: Propia

Rango (%)	Valor	Descripción
≥ 1.57 y ≤ 1.95	1	Gradiente muy alto, sensibilidad al cambio muy alta.
≥ 1.18 y ≤ 1.56	2	Gradiente alto, sensibilidad al cambio alto.
≥ 0.79 y ≤ 1.17	3	Gradiente medio, sensibilidad al cambio medio.
≥ 0.40 y ≤ 0.78	4	Gradiente bajo, tendencia a conservar su valor frente a un cambio de permeabilidad.
≥ 0.00 y ≤ 0.39	5	Gradiente muy bajo, alta tendencia a conservar su valor frente a un cambio de permeabilidad.

A partir de estos valores se ha elaborado el siguiente mapa de valoración.

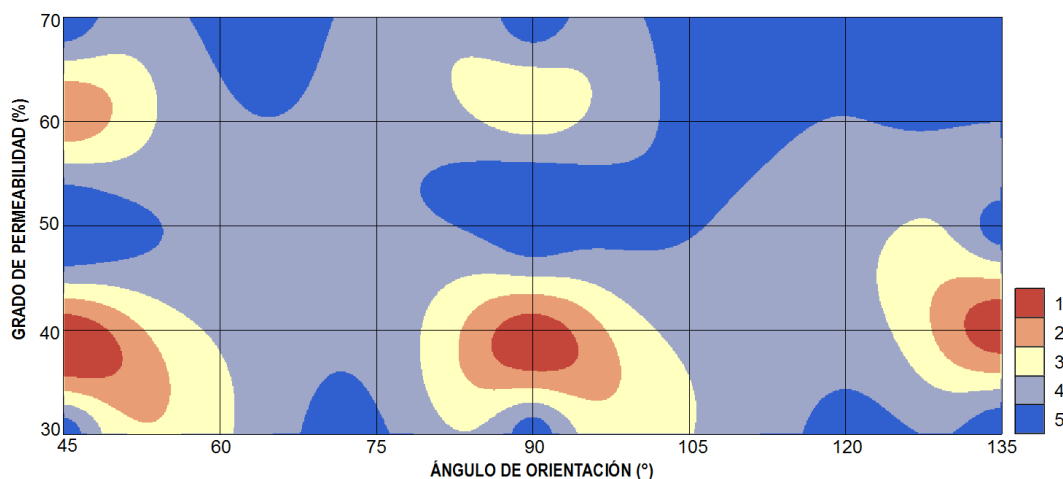


Figura N° 5.53 Valoración del gradiente de tiempo de equilibrio adimensional. Fuente: Propia

Los niveles de contribución al objetivo de la t_{eq}^* y del ∇t_{eq}^* se intersectan generando valores de ponderación tal como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla N° 5.25 Intersección de valoraciones. Fuente: Propia

		t_{eq}^*				
		1	2	3	4	5
∇t_{eq}^*	1	1	2	3	4	5
	2	2	4	6	8	10
	3	3	6	9	12	15
	4	4	8	12	16	20
	5	5	10	15	20	25

La valoración obtenida se reclasifica y se agrupa en 5 niveles de aportación al objetivo (muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto) tal como se aprecia en la siguiente tabla

Tabla N° 5.26 Valoración final del criterio tiempo de equilibrio. Fuente: Propia

Rango	Valor	Nivel de aportación
>20 y <=25	5	Muy alto
>15 y <=20	4	Alto
>10 y <=15	3	Medio
>5 y <=10	2	Bajo
>=1 y <=5	1	Muy bajo

Finalmente, esta valoración ha considerado ambos enfoques de mínima socavación y máxima funcionabilidad, resultando con mayor valoración a aquella situación que presenta mayor contribución al objetivo y viceversa.

A partir de estos valores se ha elaborado un mapa de valoración del criterio de selección tiempo de equilibrio:

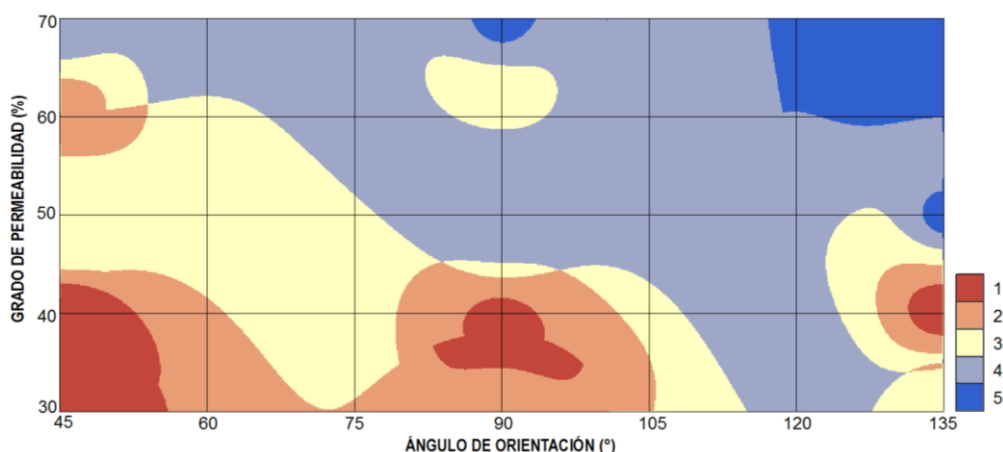


Figura N° 5.54 Valoración del tiempo de equilibrio adimensional al objetivo buscado. Fuente: Propia

5.6.5.3. Velocidad de paso

De acuerdo a lo descrito en las secciones 5.6.2 y 5.6.3, el resultado objetivo está en función, entre otras variables, de la velocidad de paso adimensional V_p^* . Además, de acuerdo con la sección 5.6.4, su gradiente ∇V_p^* también tiene un papel sustancial en la funcionabilidad del espigón permeable.

Se han definido los niveles de contribución de la V_p^* a la máxima funcionabilidad del espigón permeable, de acuerdo con la siguiente tabla:

Tabla N° 5.27 Valoración de la velocidad de paso adimensional. Fuente: Propia

Rango (m/s)	Valor	Descripción
≥ 0.60 y ≤ 0.65	1	Velocidad de paso muy bajo, flujo descendente intenso.
≥ 0.66 y ≤ 0.70	2	Velocidad de paso bajo, flujo descendente moderado.
≥ 0.71 y ≤ 0.75	3	Velocidad de paso medio, flujo descendente reducido.
≥ 0.76 y ≤ 0.80	4	Velocidad de paso alto, flujo descendente mínimo.
≥ 0.81 y ≤ 0.85	5	Velocidad de paso muy alto, flujo descendente insignificativo

A partir de estos valores se ha elaborado el siguiente mapa de valoración.

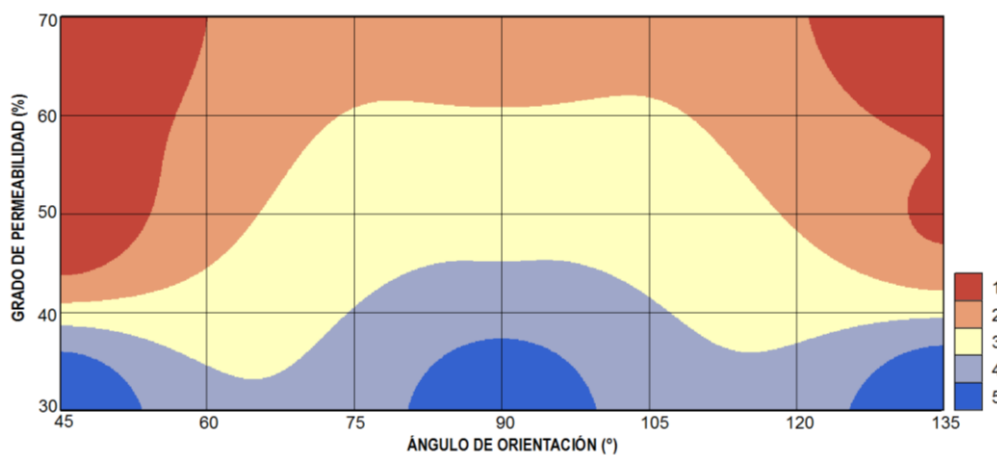


Figura N° 5.55 Valoración de la velocidad de paso adimensional. Fuente: Propia

Se han definido los niveles de contribución del ∇V_p^* a la máxima funcionabilidad del espigón permeable, de acuerdo con la siguiente tabla:

Tabla N° 5.28 Valoración del gradiente de velocidad de paso adimensional. Fuente: Propia

Rango (m/m)	Valor	Descripción
≥ 0.84 y ≤ 1.27	1	Gradiente muy alto, sensibilidad al cambio muy alta.
≥ 0.55 y ≤ 0.83	2	Gradiente alto, sensibilidad al cambio alto.
≥ 0.34 y ≤ 0.54	3	Gradiente medio, sensibilidad al cambio medio.
≥ 0.21 y ≤ 0.33	4	Gradiente bajo, tendencia a conservar su valor frente a un cambio de permeabilidad.
≥ 0 y ≤ 0.20	5	Gradiente muy bajo, alta tendencia a conservar su valor frente a un cambio de permeabilidad.

A partir de estos valores se ha elaborado el siguiente mapa de valoración.

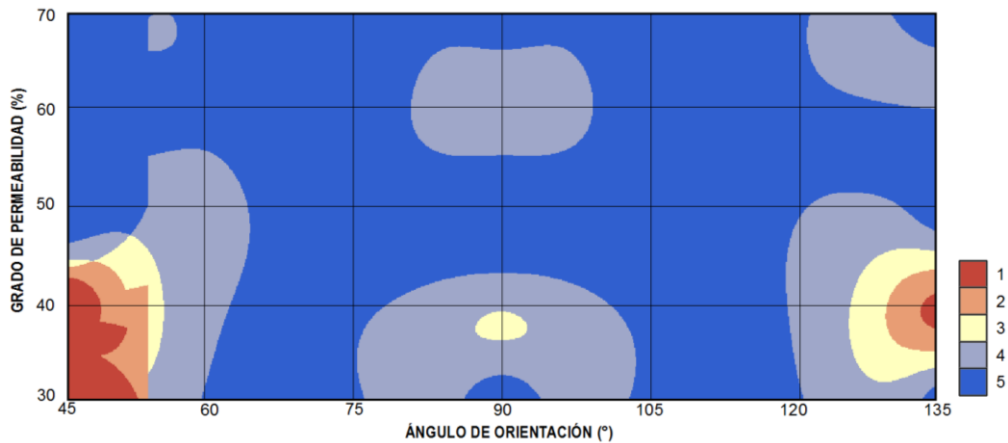


Figura N° 5.56 Valoración del gradiente de velocidad de paso adimensional a la máxima funcionalidad del espigón permeable. Fuente: Propia

Los niveles de contribución al objetivo de la V_p^* y del ∇V_p^* se intersectan generando valores de ponderación tal como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla N° 5.29 Intersección de valoraciones. Fuente: Propia

		V_p^*				
		1	2	3	4	5
∇V_p^*	1	1	2	3	4	5
	2	2	4	6	8	10
	3	3	6	9	12	15
	4	4	8	12	16	20
	5	5	10	15	20	25

La valoración obtenida se reclasifica y se agrupa en 5 niveles de aportación al objetivo (muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto) tal como se aprecia en la siguiente tabla:

Tabla N° 5.30 Valoración final del criterio velocidad de paso. Fuente: Propia

Rango	Valor	Nivel de aportación
>20 y <=25	5	Muy alto
>15 y <=20	4	Alto
>10 y <=15	3	Medio
>5 y <=10	2	Bajo
>=1 y <=5	1	Muy bajo

Finalmente, esta valoración ha considerado ambos enfoques de mínima socavación y máxima funcionalidad, resultando con mayor valoración a aquella situación que presenta mayor contribución al objetivo y viceversa.

A partir de estos valores se ha elaborado un mapa de valoración del criterio de selección velocidad de paso:

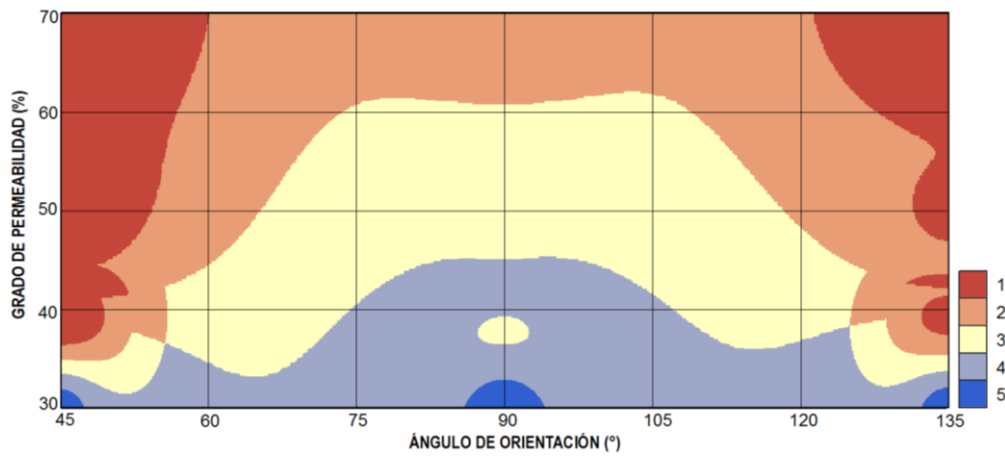


Figura N° 5.57 Valoración de la velocidad de paso adimensional al objetivo buscado. Fuente: Propia

5.6.5.4. Caudal de paso

De acuerdo a lo descrito en las secciones 5.6.2 y 5.6.3, el resultado objetivo está en función, entre otras variables, del caudal de paso adimensional Q_p^* . Además, de acuerdo con la sección 5.6.4, su gradiente ∇Q_p^* también tiene un papel sustancial en la funcionalidad del espigón permeable.

Se han definido los niveles de contribución de la Q_p^* al resultado objetivo, de acuerdo con la siguiente tabla:

Tabla N° 5.31 Valoración del caudal de paso adimensional. Fuente: Propia

Rango	Valor	Descripción
≥ 0.09 y ≤ 0.14	1	Caudal de paso muy bajo, flujo descendente intenso.
≥ 0.15 y ≤ 0.18	2	Caudal de paso bajo, flujo descendente moderado.
≥ 0.19 y ≤ 0.22	3	Caudal de paso medio, flujo descendente reducido.
≥ 0.23 y ≤ 0.27	4	Caudal de paso alto, flujo descendente mínimo.
≥ 0.28 y ≤ 0.31	5	Caudal de paso muy alto, flujo descendente insignificativo

A partir de estos valores se ha elaborado el siguiente mapa de valoración.

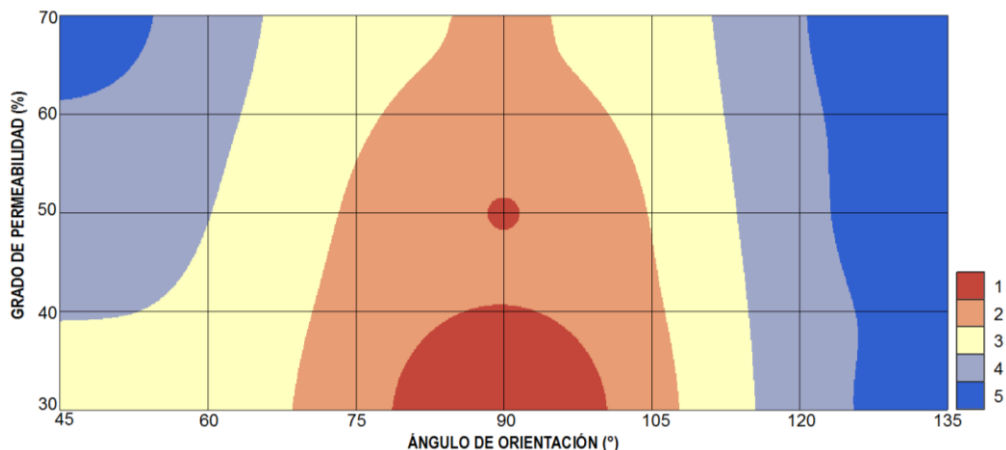


Figura N° 5.58 Valoración del caudal de paso adimensional. Fuente: Propia

Se han definido los niveles de contribución del ∇Q_p^* a la máxima funcionalidad del espigón permeable, de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla N° 5.32 Valoración del gradiente del caudal de paso adimensional. Fuente: Propia

Rango (%)	Valor	Descripción
≥ 0.50 y ≤ 0.61	1	Gradiente muy alto, sensibilidad al cambio muy alta.
≥ 0.38 y ≤ 0.49	2	Gradiente alto, sensibilidad al cambio alto.
≥ 0.25 y ≤ 0.37	3	Gradiente medio, sensibilidad al cambio medio.
≥ 0.13 y ≤ 0.24	4	Gradiente bajo, tendencia a conservar su valor frente a un cambio de permeabilidad.
≥ 0.00 y ≤ 0.12	5	Gradiente muy bajo, alta tendencia a conservar su valor frente a un cambio de permeabilidad.

A partir de estos valores se ha elaborado el siguiente mapa de valoración.

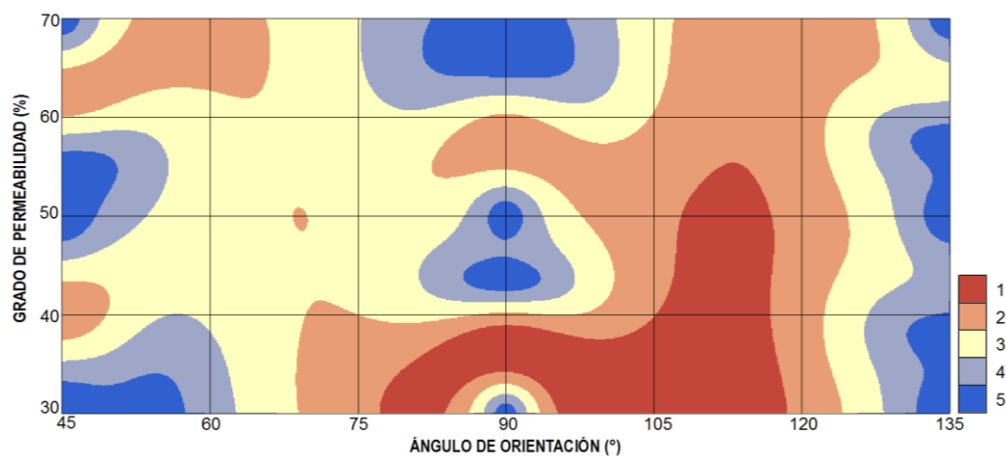


Figura N° 5.59 Valoración del gradiente del caudal de paso adimensional. Fuente: Propia

Los niveles de contribución al objetivo de la Q_p^* y del ∇Q_p^* se intersectan generando valores de ponderación tal como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla N° 5.33 Intersección de valoraciones. Fuente: Propia

		Q_p^*				
		1	2	3	4	5
∇Q_p^*	1	1	2	3	4	5
	2	2	4	6	8	10
	3	3	6	9	12	15
	4	4	8	12	16	20
	5	5	10	15	20	25

La valoración obtenida se reclasifica y se agrupa en 5 niveles de aportación al objetivo (muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto) tal como se aprecia en la siguiente tabla:

Tabla N° 5.34 Valoración final del criterio caudal de paso. Fuente: Propia

Rango	Valor	Nivel de aportación
>20 y <=25	5	Muy alto
>15 y <=20	4	Alto
>10 y <=15	3	Medio
>5 y <=10	2	Bajo
>=1 y <=5	1	Muy bajo

Finalmente, esta valoración ha considerado ambos enfoques de mínima socavación y máxima funcionalidad, resultando con mayor valoración a aquella situación que presenta mayor contribución al objetivo y viceversa.

A partir de estos valores se ha elaborado un mapa de valoración del criterio de selección caudal de paso:

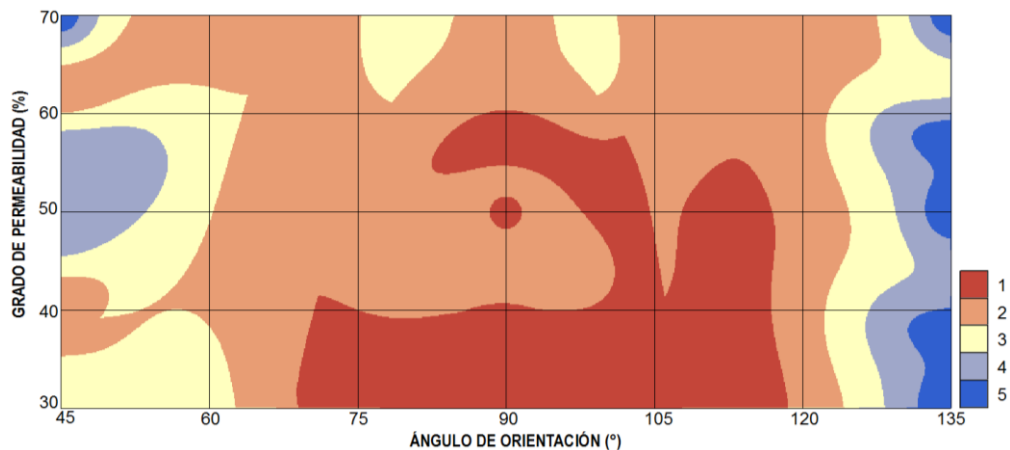


Figura N° 5.60 Valoración del caudal de paso adimensional al objetivo buscado. Fuente: Propia

5.6.6. Combinación de criterios

El resultado objetivo se obtiene de la combinación de la valoración de los diferentes criterios de selección considerando los enfoques de máxima funcionabilidad y mínima socavación local. En la Figura N° 5.61, se muestra el resultado de esta combinación de criterios múltiples.

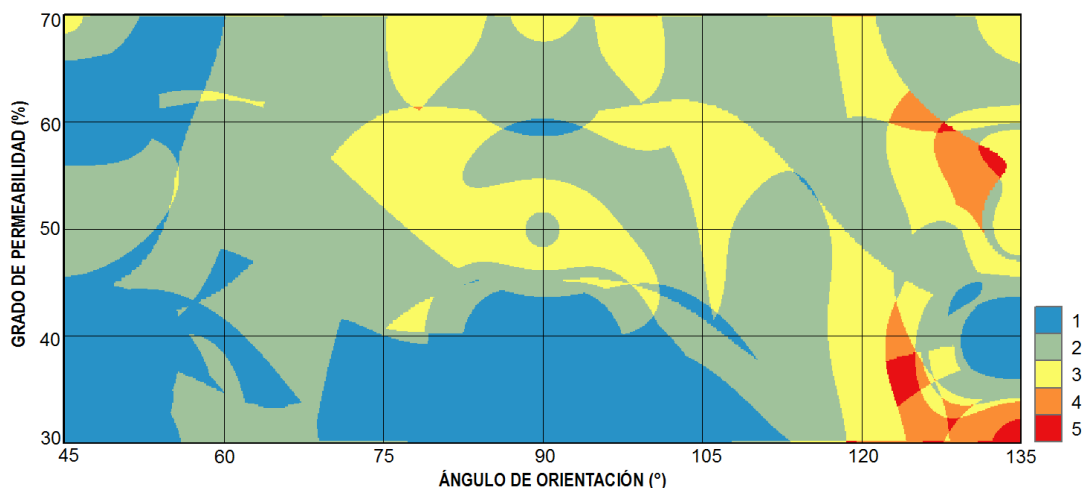


Figura N° 5.61 Combinación de criterios múltiples. Fuente: Propia

5.6.7. Solución objetivo

De la Figura N° 5.61, la solución objetivo corresponde a cinco escenarios bien definidos y representados por las regiones de color rojo denominados "regiones solución", tal como se muestra en la Figura N° 5.62.

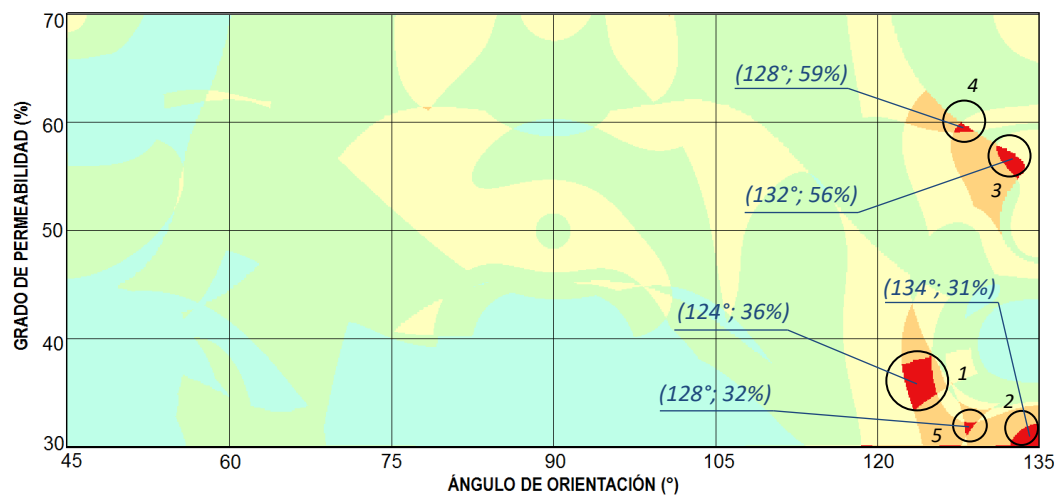


Figura N° 5.62 Análisis de solución objetivo. Fuente: Propia

Considerando el centroide de cada región solución, la solución objetivo se presenta para las siguientes configuraciones de espigón:

- Espigones orientados 124° con grado de permeabilidad 36%.
- Espigones orientados 134° con grado de permeabilidad 31%.
- Espigones orientados 132° con grado de permeabilidad 56%.
- Espigones orientados 128° con grado de permeabilidad 59%.
- Espigones orientados 128° con grado de permeabilidad 32%.

Se ha ordenado las regiones solución en base a su factor variacional permito.

Tabla N° 5.35 Ordenación de regiones solución. Fuente: Propia

Escenario Solución	Orientación	Permeabilidad	Factor variacional
1	124°	36%	10.7
2	134°	31%	4.5
3	132°	56%	4.0
4	128°	59%	0.9
5	128°	32%	0.8

Finalmente, se determina que la solución objetivo más conveniente para el objetivo planteado es el escenario correspondiente a un espigón orientado 124° y con grado de permeabilidad 36%.

5.7. FORMULACIONES MATEMÁTICAS

En el análisis dimensional del acápite 5.4.2 se obtuvieron cuatro grupos adimensionales π_i , llamadas posteriormente variables secundarias, dependientes de las dos variables primarias: el grado de permeabilidad y ángulo de orientación.

En este apartado se realiza un ajuste de regresión matemático mediante el método de mínimos cuadrados para aproximar los datos registrados en laboratorio mediante ecuaciones empíricas obtenidas de un enfoque de análisis dimensional.

En la Tabla N° 5.36 se presenta la compilación de datos medidos en laboratorio que serán correlacionadas mediante formulaciones matemáticas.

Tabla N° 5.36 Datos medidos en laboratorio. Fuente: Propia

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
α (°)	R (%)	d_s/h	$t_{eq}/t_{m\acute{a}x}$	V_p/V_m	Q_p/Q_m
45	30	0.65	1.00	0.60	0.205
45	50	0.28	0.80	0.85	0.254
45	70	0.08	0.65	0.85	0.293
90	30	0.52	0.90	0.61	0.092
90	50	0.12	0.70	0.70	0.135
90	70	0.08	0.60	0.79	0.178
135	30	0.40	0.75	0.60	0.284
135	50	0.07	0.55	0.81	0.296
135	70	0.07	0.60	0.85	0.313

5.7.1. Formulación empírica para la socavación local

Utilizando el método de regresión múltiple con los datos de las columnas (1), (2) y (3) de la Tabla N° 5.36, se ha obtenido la siguiente expresión para la socavación local:

$$d_s = \frac{15517.33 \cdot h}{\alpha^{0.574} \cdot R^{2.3}} \quad r^2 = 0.93 \quad (31)$$

Donde:

d_s : Profundidad de socavación de equilibrio, m.

h : Tirante de flujo de aproximación, m.

α : Angulo de orientación, °.

R : Grado de permeabilidad, %.

r^2 : Factor de correlación.

Es importante notar que la expresión presentada se basa en una serie de experimentos con un solo caudal y en condiciones de agua limpia. Se recomendaría realizar más pruebas incluyendo la variable caudal para una generalización mayor de la expresión.

En la siguiente figura se aprecia el grado de aproximación de la fórmula propuesta con los datos registrados:

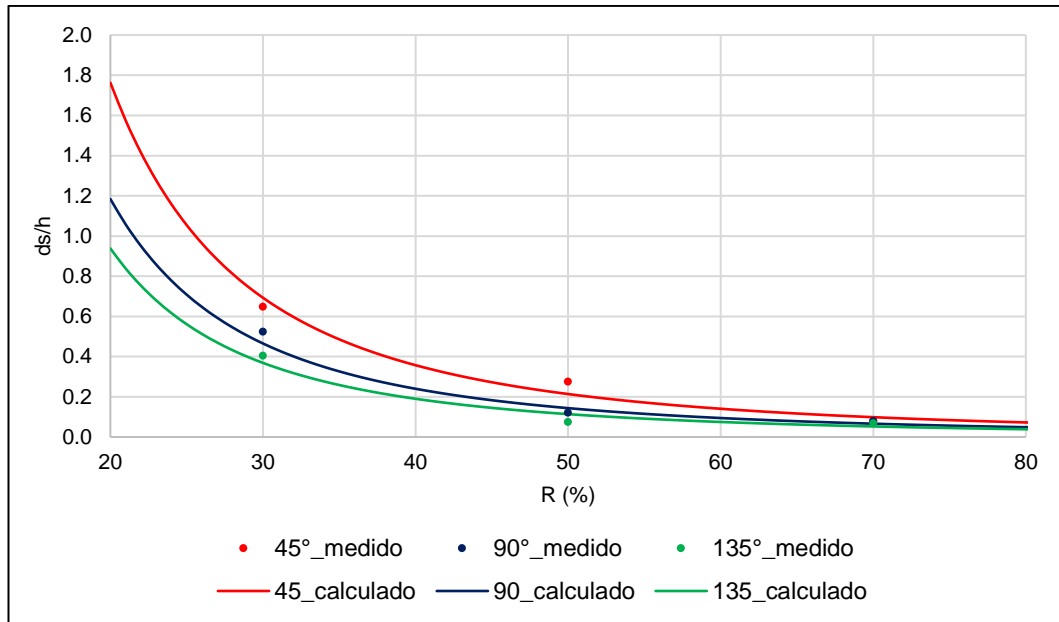


Figura N° 5.63 Curvas de regresión para socavación local. Fuente: Propia

5.7.2. Formulación empírica para el tiempo de equilibrio

Utilizando el método de regresión de mínimos cuadrados y con los datos de las columnas (1), (2) y (4) de la Tabla N° 5.36, se ha obtenido la siguiente expresión para el tiempo de equilibrio de socavación:

$$t_{eq} = \frac{9.565 \cdot t_{max}}{\alpha^{0.218} \cdot R^{0.425}} \quad r^2 = 0.89 \quad (32)$$

Donde:

t_{eq} : Tiempo de equilibrio de socavación, h.

t_{max} : Tiempo máximo de equilibrio estimado, h.

α : Angulo de orientación, °.

R : Grado de permeabilidad, %.

r^2 : Factor de correlación.

En las siguientes figuras se aprecia el grado de aproximación de la fórmula propuesta con los datos registrados:

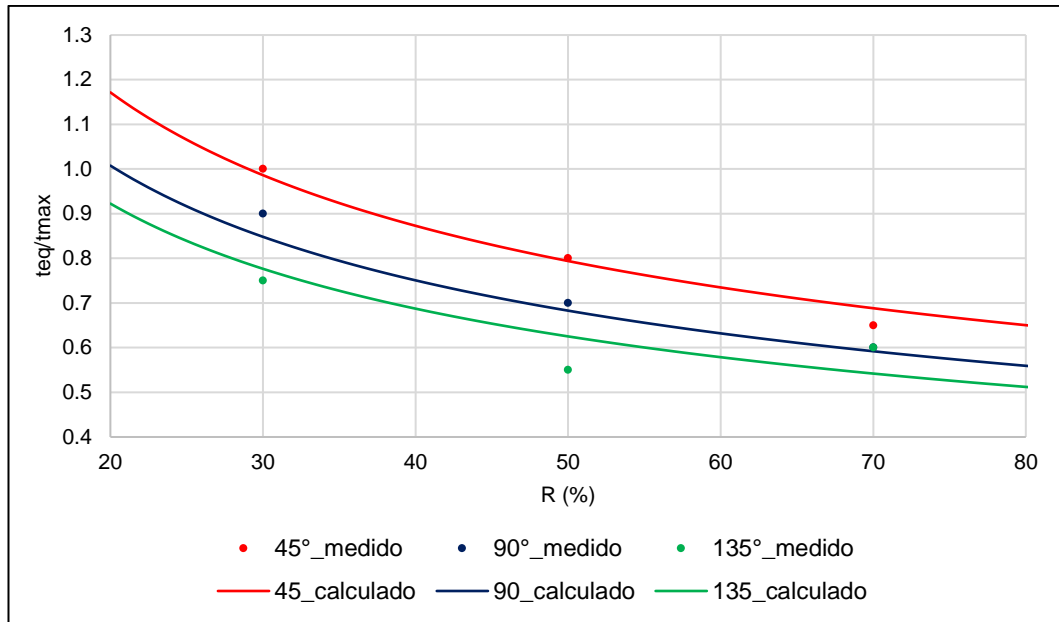


Figura N° 5.64 Curvas de regresión para tiempo de equilibrio. Fuente: Propia

5.7.3. Formulación empírica para la velocidad media de paso

Utilizando el método de regresión de mínimos cuadrados y con los datos de las columnas (1), (2) y (5) de la Tabla N° 5.36, se ha obtenido la siguiente expresión para la velocidad media de paso:

$$V_p = \frac{0.182 \cdot V_m \cdot R^{0.393}}{\alpha^{0.028}} \quad r^2 = 0.85 \quad (33)$$

Donde:

- V_p : Velocidad de paso, m/s.
- V_m : Velocidad media de flujo, m/s.
- α : Angulo de orientación, °.
- R : Grado de permeabilidad, %.
- r^2 : Factor de correlación.

En las siguientes figuras se aprecia el grado de aproximación de la fórmula propuesta con los datos registrados:

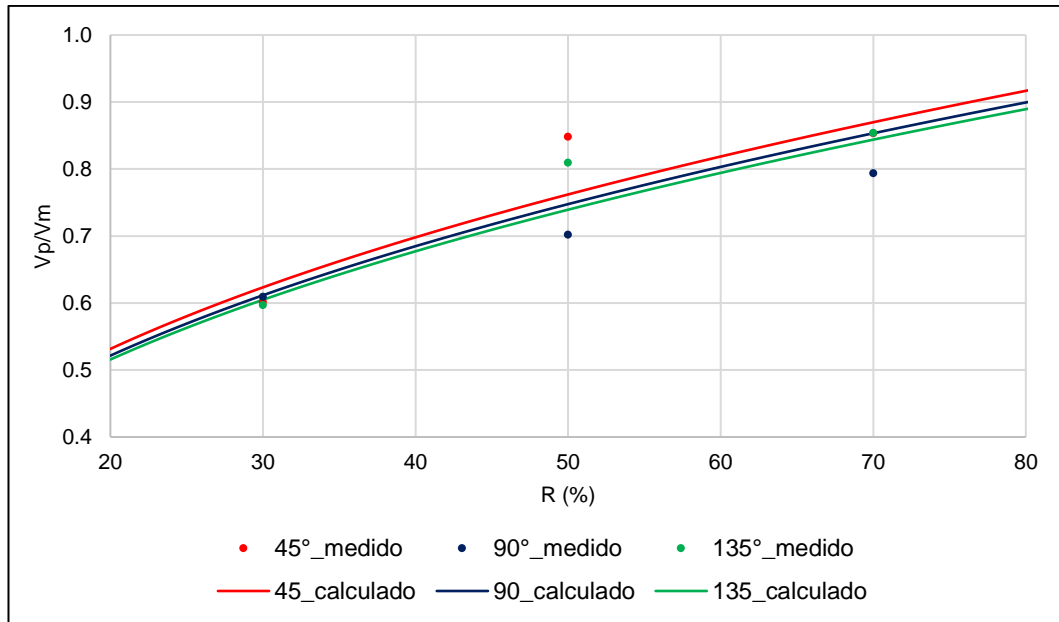


Figura N° 5.65 Curvas de regresión para velocidad media de paso. Fuente: Propia

5.7.4. Formulación empírica para el caudal de paso

Utilizando el método de regresión de mínimos cuadrados y con los datos de las columnas (1), (2) y (6) de la Tabla N° 5.36, se ha obtenido la siguiente expresión para el caudal de paso:

$$\frac{Q_p}{Q_m} = 0.096 + 0.000522 \cdot \alpha + 0.001684 \cdot R \quad r^2 = 0.20 \quad (34)$$

Donde:

Q_p : Caudal de paso, m³/s.

Q_m : Caudal medio de flujo, m³/s.

α : Angulo de orientación, °.

R : Grado de permeabilidad, %.

r^2 : Factor de correlación.

En las siguientes figuras se aprecia el grado de aproximación de la fórmula propuesta con los datos registrados:

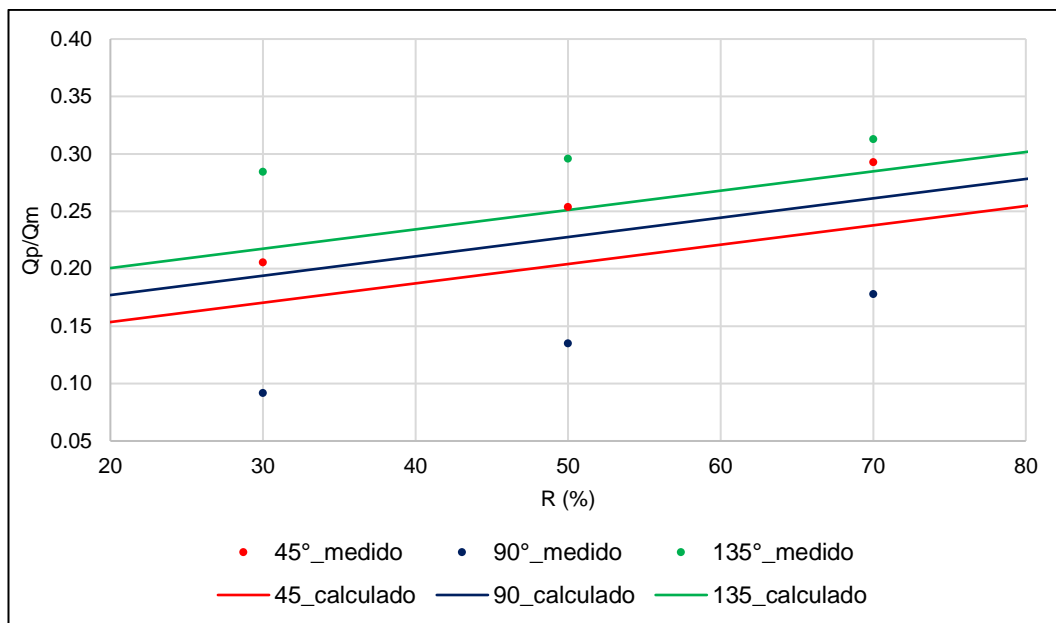


Figura N° 5.66 Curvas de regresión para caudal de paso. Fuente: Propia

5.7.5. Aplicabilidad de las ecuaciones

Las funciones obtenidas servirán para la estimación de la socavación local y otras variables de interés en espigones permeables en investigaciones futuras, y se puede tomar en cuenta en el diseño de espigones permeables en el campo de la ingeniería en conjunto con otras ecuaciones empíricas presentadas en el acápite 2.6.

La aplicabilidad de las ecuaciones propuestas se da solo bajo las siguientes condiciones:

- Longitud del espigón: $\frac{1}{4}$ de la longitud del cauce
- Rango de ángulo de orientación: 45° a 135°
- Rango de grado de permeabilidad: 30% al 70%
- Condiciones de flujo: Agua clara o condición semejante.
- Tipo de espigón: Permeable, con pilotes, delgado, no sumergido.

5.7.6. Comparación con investigaciones precedentes

De acuerdo con el acápite 2.6, las investigaciones para el cálculo de socavación en espigones permeables son escasas, sobresaliendo la investigación de Nasrollahi (2008), debido a que empleó espigones con diferentes grados de permeabilidad.

Sin embargo, para el caso de espigones impermeables, se han desarrollado un conjunto de fórmulas empíricas, sobresaliendo las investigaciones de Melville (1997), Gill (1972), Garde (1961) y Liu (1961).

Con el objetivo de evaluar la exactitud de la ecuación 31, los datos experimentales de otras investigaciones semejantes y que se muestran en la Tabla 5-1 también han sido ploteados en la Figura N° 5.67. La línea continua de identidad representa la semejanza exacta de los valores medidos con los valores calculados.

Tabla 5-1 Comparación de resultados con otras investigaciones. Fuente: Propia

Autor	Tipo de dato	Resultados experimentales (ds/h)																		
Pachas (2018)	Medido	0.65	0.28	0.08	0.52	0.12	0.08	0.40	0.07	0.07										
	Calculado	0.69	0.21	0.10	0.47	0.14	0.07	0.37	0.11	0.05										
Nasrollahi (2008)	Medido	1.87	2.74	2.46	2.58	2.91	0.83	0.93	1.00	0.28	0.47	0.35	0.16	0.15	0.23					
	Calculado	2.02	2.02	2.06	2.06	2.06	0.99	0.99	0.98	0.50	0.50	0.51	0.18	0.18	0.18					
Gill (1972)	Medido	0.16	0.22	0.23	0.32	0.29	0.36	0.39	0.42	0.44	0.39	0.44	0.52	0.48	0.53	0.57	0.58	0.66	0.71	0.74
	Calculado	0.50	0.46	0.67	0.59	0.51	0.65	0.58	0.67	0.58	0.47	0.42	0.67	0.77	0.80	0.77	0.91	0.83	0.83	0.87
	Medido	0.78	0.63	0.70	0.73	0.76	0.73	0.76	0.61	0.59	0.86	0.90	0.94	1.03	0.94	1.20	1.22	1.12	1.27	
	Calculado	0.89	0.70	0.75	0.73	0.79	0.55	0.61	0.58	0.61	0.60	0.67	0.84	0.74	0.95	0.86	0.92	0.86	0.98	
Garde (1961)	Medido	0.34	0.44	0.68	0.77	0.98														
	Calculado	0.81	0.87	1.19	1.11	1.01														
Liu (1961)	Medido	0.66	0.77	0.99	1.35	0.85														
	Calculado	0.91	0.82	0.64	0.87	0.64														

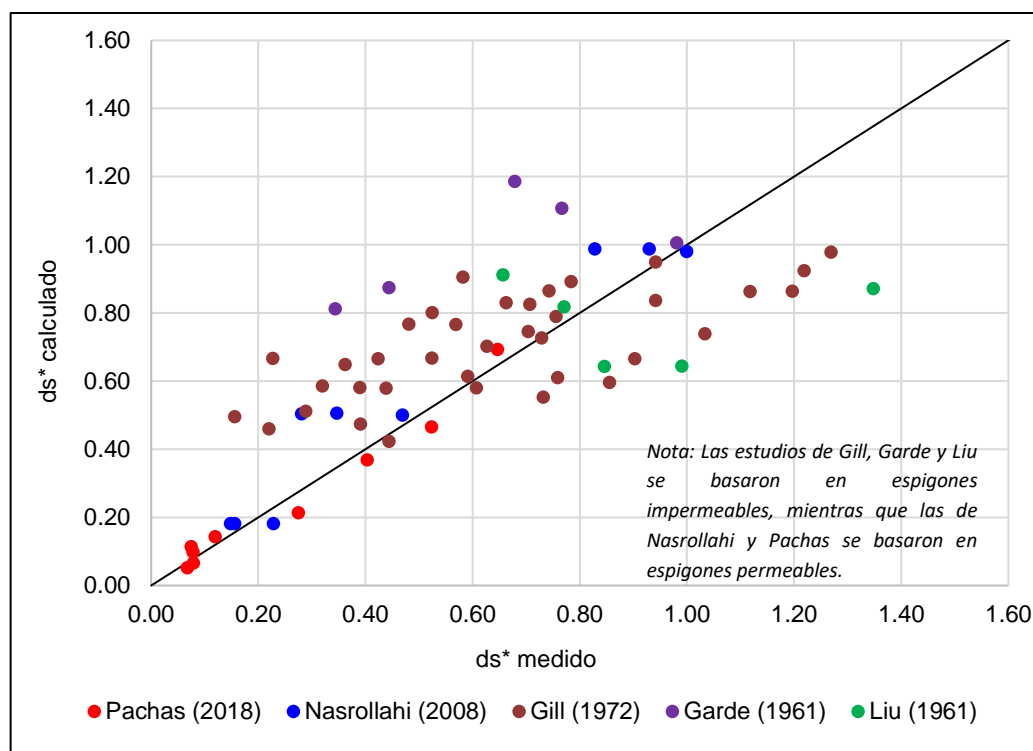


Figura N° 5.67 Comparación de socavación medida y calculada. Fuente: Propia

Considerando la complejidad del problema, la ecuación propuesta en esta investigación resulta aceptable.

CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

6.1.1. De las pruebas experimentales:

- Se realizaron en un canal rectangular recto de 11 m de longitud y 1.9 m de ancho, con pendiente de fondo 0.01 %. El material de lecho consistió en arena fina uniforme de diámetro medio 0.23 mm y peso específico 2.75 g/cm³. El espigón de prueba fue de 0.48 m de longitud proyectada, cuerpo permeable con pilotes, no sumergido y de espesor delgado. La condición de flujo fue bastante cercana a agua clara definida según la teoría de umbral de movimiento de Shields, resultando un caudal de 0.085 m³/s y un tirante medio de 0.175 m.
- Se construyeron tres tipos de espigón, de 30%, 50% y 70% de permeabilidad, orientados cada uno a 45°, 90° y 135°, dando un total de 9 ensayos. Además, se consideró un décimo ensayo adicional sin estructura para el estudio de socavación general y por contracción.
- El procedimiento experimental de cada ensayo consistió en la colocación del espigón de prueba, conformación del lecho, instalación y habilitación de equipos de medición, paso del flujo, calibración de las condiciones hidráulicas, registro de tirantes y velocidades, secado de lecho y levantamiento topográfico. Se utilizaron equipos hidráulicos e hidromecánicos tales como nivel topográfico, limnómetro, clapeta, bombas hidráulicas, vertederos y un velocímetro perfilador acústico de efecto Doppler (ADV).

6.1.2. Del análisis del hoyo de socavación

- El análisis del hoyo de socavación de los resultados experimentales señala que éste se desarrolla y distribuye alrededor de todo el cuerpo del espigón en forma de "V" con pendiente transversal aproximadamente de 1H: 1V. La fosa es distribuida a lo largo del cuerpo del espigón debido al paso de flujo a través de su zona permeable, con ligera concentración en ciertas ubicaciones

dependiendo del caso.

- Los espigones orientados hacia aguas arriba presentan una ligera tendencia a concentrar la socavación en la cabeza y parte media del cuerpo del espigón. A medida que aumenta la permeabilidad, el hoyo se hace más uniforme y menos profundo en toda la longitud del espigón. Los espigones rectos presentan una tendencia a concentrar la socavación en la parte media del cuerpo del espigón. Y a medida que se aumenta la permeabilidad, el hoyo se hace más uniforme y menos profundo en toda la longitud del espigón. Los espigones orientados hacia aguas abajo presentan una tendencia a concentrar la socavación en la base o talud del espigón. A medida que se aumenta la permeabilidad, el hoyo se hace más uniforme y menos profundo en toda la longitud del espigón.

6.1.3. Del análisis de tiempo de equilibrio

- Se consideró como tiempo de equilibrio a la cantidad de horas transcurridas desde el inicio de la prueba hasta el instante donde la profundidad de socavación presenta una variación menor al 5%.
- A los puntos de control con máxima tiempo de equilibrio y máxima socavación se les denominó puntos control principal. En todos los casos, el punto de control principal se ubicó en la zona de punta del espigón permeable.
- Se obtuvieron evoluciones temporales típicas de la socavación, observando claramente las etapas de inicio, desarrollo y equilibrio. La socavación es acelerada en las primeras horas de desarrollo, y desacelera conforme se va estabilizando el cauce fluvial.
- Bajo un mismo ángulo de orientación, la máxima profundidad de socavación y tiempo de equilibrio disminuyen con el aumento de la permeabilidad. Esto debido a que la parte permeable del cuerpo del espigón permite el paso de una parte del flujo, disminuyendo los esfuerzos de corte alrededor del espigón.
- El máximo tiempo de equilibrio encontrado fue de 10 horas,

correspondiente al ensayo con espigón con 30% de permeabilidad y orientado 45°.

6.1.4. Del análisis de socavación

- La socavación general fue estimada a partir del ensayo E-GEN, el cual consistió en una prueba sin espigón, simulando el efecto de arrastre de sedimentos debido a la fuerza tractiva del agua sin influencia de una estructura externa.
- La socavación por contracción se determinó en las secciones de máxima contracción de flujo de los ensayos con estructura. En estas secciones se obtuvo una socavación transversal adicional a la socavación general. Se dedujo que este adicional es resultado de la socavación por contracción. Por lo tanto, la socavación por contracción fue calculada por la diferencia de niveles entre la socavación total en los ensayos con estructura y la socavación general del ensayo sin estructura.
- La socavación local en los puntos de control se determinó restando a la socavación total, la socavación general y la socavación por contracción. La socavación local máxima encontrada fue de 11.32 cm en el ensayo E45-30.
- Los resultados indican que la socavación local tiene tendencia a disminuir con el aumento del ángulo de orientación del espigón y con el aumento del grado de permeabilidad.

6.1.5. Del análisis de las formas de fondo

- El transporte de sedimentos provocó que el lecho fluvial adquiriera ciertas formas de fondo durante el paso de flujo. Se registraron dimensiones típicas de 2 cm aproximadamente de altura y 15 cm aproximadamente de longitud. De acuerdo a formulaciones experimentales de clasificación, estas formas corresponden a rizos.
- Los rizos del lecho fluvial sufrieron alteraciones de contracción y expansión debido a la presencia del espigón, resultando una

zonificación fluvial con 6 zonas claramente diferenciadas: hoyo de socavación, sedimentación, fondo plano, reconfiguración, desviación y contracción.

6.1.6. Del análisis de flujo

- La distribución de velocidades medias permitió identificar patrones de flujo característicos tales como una región retardada justo aguas arriba del espigón, una región acelerada en la sección libre contraída y una región de turbulencia aguas abajo del espigón. Los vectores de velocidad sugieren que, por la punta del espigón, el flujo se desvía y tiende a bordear la región de turbulencia hasta chocar con el talud derecho del canal, en un punto de reencuentro aguas abajo del espigón.
- Se denominó *velocidad de paso* a la velocidad promedio que atraviesa el cuerpo del espigón. La velocidad de paso máxima calculada es de 227.97 mm/s, en el ensayo E135-70; mientras que la velocidad de paso mínima calculada es de 159.32 mm/s, en el ensayo E135-30.
- Se denominó *caudal de paso* al caudal promedio que atraviesa el cuerpo del espigón de prueba en base a la distribución de velocidades. El caudal de paso máximo calculado es de 0.0278 m³/s, en el ensayo E135-70; mientras que el caudal de paso mínimo calculado es de 0.0081 m³/s, en el ensayo E90-30.

6.1.7. De las variables de estudio

- Se identificaron 8 variables de estudio entre variables de lecho y flujo. Se relacionaron estas variables con la socavación local de un espigón permeable, utilizando el teorema π de Buckingham para un análisis dimensional. El resultado fueron 4 grupos adimensionales π_i que comprenden la socavación local adimensional, el factor de tiempo, la velocidad de paso adimensional y el caudal de paso adimensional.
- Se distinguieron tres grupos de variables. El primer grupo se

denominó *variables primarias*, correspondientes al ángulo de orientación y grado de permeabilidad, las cuales han ido variando en el dominio de aplicación. El segundo grupo se denominó *variables secundarias*, que son los grupos adimensionales π_i y que son función de las variables primarias. El tercer grupo se denominó *variables terciarias*, que contienen a las variables de optimización, ángulo y orientación óptima, siendo estas últimas dependientes de las variables secundarias.

- Mediante el método de interpolación IDW, se estimó las variables secundarias para otros ángulos de orientación y grados de permeabilidad comprendidos en los rangos de estudio. Además, se calculó la función gradiente para estudiar la sensibilidad al cambio.

6.1.8. Del análisis de criterio múltiple

- Se utilizó el análisis de criterio múltiple para encontrar el óptimo grado de permeabilidad y ángulo de orientación de un espigón permeable, considerando los enfoques de máxima funcionabilidad y mínima socavación local. Se analizó la aportación al resultado objetivo que proporciona cada criterio y se valorizó cada par (permeabilidad, orientación) solución. Finalmente se combinaron los criterios para determinar la solución óptima.
- La solución objetivo correspondió a cinco escenarios bien definidos denominados *regiones solución*. Se determinó el factor variacional de cada escenario solución en base al área de variación permitida.
- Se determinó que la solución objetivo más conveniente para el objetivo planteado es el escenario correspondiente a un espigón orientado 124° y con grado de permeabilidad 36%.

6.1.9. De las relaciones funcionales

- Se realizó un ajuste matemático mediante el método de regresión múltiple para aproximar los datos registrados en laboratorio mediante ecuaciones empíricas obtenidas de un enfoque de análisis dimensional. Considerando la complejidad del problema, la ecuación

propuesta en esta investigación para la socavación local resulta aceptable, reflejado en un coeficiente de correlación de 0.93.

$$d_s = \frac{15517.33 \cdot h}{\alpha^{0.574} \cdot R^{2.3}}$$

- Las funciones obtenidas servirán para la estimación de la socavación local y otras variables de interés en espigones permeables en investigaciones futuras, y se puede tomar en cuenta en el diseño de espigones permeables en el campo de la ingeniería en conjunto con otras ecuaciones empíricas actualmente utilizadas.

6.2. RECOMENDACIONES

- Realizar más pruebas considerando un mayor número de grados de permeabilidad y ángulos de orientación, para obtener resultados más consistentes.
- Realizar pruebas considerando un caudal variable, con la finalidad de obtener formulaciones más completas.
- Realizar más pruebas considerando diferentes longitudes de espigón con la finalidad de ampliar el rango de aplicabilidad de las formulaciones.
- Realizar pruebas considerando diferentes tipos y formas de cuerpo de espigón, con la finalidad de estudiar la influencia de este factor en la socavación local de un espigón permeable.
- Realizar pruebas considerando diferentes diámetros de lecho móvil, con la finalidad de estudiar la influencia de este factor en la socavación local de un espigón permeable.
- Estudiar con mayor detalle la influencia del grado de permeabilidad y ángulo de orientación de un espigón permeable en la configuración de formas de lecho generadas.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

Acheson A. R. River Control and Drainage in New Zealand. Ministry of Works. New Zealand. 1968.

Ahmad, M. Experiments on design and behavior of spur dikes. IAHR Convention, Minnesota. 1953.

Blench T. Mobile Bed Fluviology. Edmonton, Alberta. Canada. 1969.

Breusers H.N.C., Raudkivi A. J. Scouring. Primera Edición. Editorial AA Balkema. Rotterdam. Netherlands. 1991.

Brown S. A. Design of spur-type Streambank Stabilization Structures, U. S. Department of Transportation. Federal Highway Administration. Office of Engineering & Highway Operations. July 1985.

Cardoso A. H., Roca M., Martin Vide J. P., Bateman A. Influencia del ángulo de orientación de estribos y espigones en los procesos de erosión local. Departamento de Ingeniería Hidráulica Marítima y Ambiental, UPC. Ingeniería del Agua Vol. 7. Setiembre 2000.

Chabert J., Engeldinger P. Study of the scours around bridge piles. National Laboratory of Hydraulics. France. 1956.

Chen F., Ikeda S. Horizontal separation flows in shallow open channels with spur dikes. Journal of Hydraulic Engineering. ASCE, Vol. 15, No. 2. 1997.

Copeland R. R. Bank Protection Techniques using Spur Dikes. Hydraulics laboratory U. S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, Mississippi, Washington, D. C. January 1983.

Fael, C.M.S., Simarro-Grande G., Martin Vide, J. P., Cardoso A. H. Local scour at vertical-wall abutments under clear-water flow conditions. Water Resources. Research. Vol 42. October 2006.

Fenwick, G. B. State of knowledge of channel stabilization in major alluvial rivers. Technical Report No. 7. Committee on Channel Stabilization. U.S. Army Corps of Engineers. October 1969.

Hoffmans G., Pilarczyk K. Local scour downstream of hydraulic structures. Journal of Hydraulic Engineering. ASCE, Vol. 121. 1995.

Inglis, C. C. The behavior and control of rivers and canals, Central Water Power Irrigation and Navigation Research Station. Poona. Publication No. 13. 1949.

Laursen E. M. Scour at bridge crossing. Journal of Hydraulic Engineering. ASCE, Vol. 86, No. HY2. 1960.

Laursen E. M. Analysis of relief bridge scour. Journal of Hydraulic Engineering. ASCE, Vol. 89, No. HY3. 1960.

Lim S. Y., Cheng N. S. Prediction of live-bed scour at bridge abutment. Journal of Hydraulic Engineering. ASCE, Vol. 123, No. 3. 1997.

Liu, Chang, Skinner. The Effect of Bridge Constriction on Scour and Backwater. Publication of C.E. Section. Colorado State University. Report No. CER60HEL22. February 1961.

Maza Álvarez J. A., García Flores M. Manual de Ingeniería de Ríos, Estabilización y Rectificación de ríos. Universidad Nacional Autónoma de México. 1996.

Melville, B. W. Local scour at bridge abutments. Journal of Hydraulic Engineering. ASCE, Vol. 118, No. 4. 1992.

Melville, B. W. Pier and abutment scour integrated approach. Journal of Hydraulic Engineering. ASCE, Vol. 123, No. 2. 1997.

Molinas A., Kheireldin K., Wu B. Shear stress around vertical wall abutments. Journal of Hydraulic Engineering. ASCE, Vol. 128. 1988.

Nasrollahi, A., Ghodsian, M., Salehi, S. A. A. Local Scour at Permeable Spur Dikes. Journal of Applied Sciences. December 2008.

Pacheco Coda P. Uso de discos porosos para disminución de socavación en pilares de puentes. Facultad de Ingeniería Civil. Sección Posgrado. Universidad Nacional de Ingeniería, Perú. 2016.

Richardson E., Simons D. Spur and Guide Banks. Open File Report. Colorado

State University Engineering Research Center. Fort Collins. Colorado. February 1974.

Rocha A. Introducción a la hidráulica de las obras viales. Tercera Edición. ICG. Lima. 2013.

Suarez D. J. Control de erosión en zonas tropicales. Universidad Industrial de Santander. Colombia. 2001.

Yeo, H. K. Nature-friendly river-training structure using groynes. 4th Joint Seminar between IWHR-KICT. Beijing. Julio 2007.

Zhang H., Nakagawa H. Scour around Spur Dyke: Recent Advances and Future Researches. University of Kyoto. Journal of Applied Sciences. 2008.

Zhang H., Nakagawa H. Characteristics of local flow and bed deformation at impermeable and permeable spur dykes. University of Kyoto. Journal of Applied Sciences. February 2009.

ANEXOS

ANEXO A: Calibración de vertedero

ANEXO B: Ensayo de propiedades de lecho

ANEXO C: Condiciones hidráulicas

ANEXO D: Panel fotográfico

ANEXO E: Tirantes de flujo

ANEXO F: Velocidades de flujo

ANEXO G: Topografías de lecho

ANEXO H: Socavación de lecho

ANEXO A

CALIBRACIÓN DE VERTEDERO

ANEXO A: CALIBRACIÓN DE VERTEDERO

Se presenta a continuación, un conjunto de datos experimentales de caudal vertido por el vertedero rectangular (L=1.497 m).

Tabla N°A.1 Datos para calibración de vertedero rectangular

H (mm)	Q (l/s)	H (mm)	Q (l/s)	H (mm)	Q (l/s)	H (mm)	Q (l/s)	H (mm)	Q (l/s)	H (mm)	Q (l/s)
150	165.82	183	225.88	216	292.92	249	366.70	282	447.06	315	533.87
151	167.53	184	227.81	217	295.06	250	369.04	283	449.60	316	536.60
152	169.25	185	229.74	218	297.20	251	371.39	284	452.14	317	539.34
153	170.98	186	231.69	219	299.35	252	373.74	285	454.69	318	542.08
154	172.71	187	233.64	220	301.51	253	376.10	286	457.24	319	544.83
155	174.46	188	235.59	221	303.67	254	378.46	287	459.80	320	547.58
156	176.20	189	237.56	222	305.84	255	380.83	288	462.37	321	550.34
157	177.96	190	239.52	223	308.01	256	383.20	289	464.94	322	553.10
158	179.72	191	241.50	224	310.19	257	385.59	290	467.52	323	555.88
159	181.49	192	243.48	225	312.38	258	387.97	291	470.10	324	558.65
160	183.26	193	245.47	226	314.58	259	390.37	292	472.69	325	561.44
161	185.04	194	247.46	227	316.77	260	392.77	293	475.28	326	564.22
162	186.83	195	249.46	228	318.98	261	395.17	294	477.89	327	567.02
163	188.62	196	251.47	229	321.19	262	397.58	295	480.49	328	569.82
164	190.42	197	253.48	230	323.41	263	400.00	296	483.11	329	572.62
165	192.23	198	255.50	231	325.63	264	402.42	297	485.72	330	575.44
166	194.05	199	257.53	232	327.86	265	404.85	298	488.35	331	578.25
167	195.87	200	259.56	233	330.10	266	407.29	299	490.98	332	581.08
168	197.69	201	261.60	234	332.34	267	409.73	300	493.62	333	583.91
169	199.53	202	263.64	235	334.59	268	412.18	301	496.26	334	586.74
170	201.37	203	265.69	236	336.84	269	414.63	302	498.91	335	589.58
171	203.21	204	267.75	237	339.10	270	417.09	303	501.56	336	592.43
172	205.07	205	269.81	238	341.37	271	419.55	304	504.22	337	595.28
173	206.93	206	271.88	239	343.64	272	422.02	305	506.89	338	598.14
174	208.79	207	273.96	240	345.92	273	424.50	306	509.56	339	601.01
175	210.66	208	276.04	241	348.21	274	426.98	307	512.24	340	603.88
176	212.54	209	278.13	242	350.50	275	429.47	308	514.92	341	606.75
177	214.43	210	280.22	243	352.80	276	431.97	309	517.61	342	609.63
178	216.32	211	282.32	244	355.10	277	434.47	310	520.31	343	612.52
179	218.22	212	284.43	245	357.41	278	436.97	311	523.01	344	615.41
180	220.12	213	286.54	246	359.72	279	439.49	312	525.71	345	618.31
181	222.04	214	288.66	247	362.04	280	442.01	313	528.43	346	621.22
182	223.95	215	290.79	248	364.37	281	444.53	314	531.14	347	624.13

Se graficaron los datos de calibración y se ajustó a una recta de la forma:

$$Q = mH^{3/2}$$

Donde:

m : Pendiente de la recta de ajuste.

H : Altura de carga de agua sobre cresta de vertedero, m.

Q : Caudal de descarga sobre vertedero, m³/s.

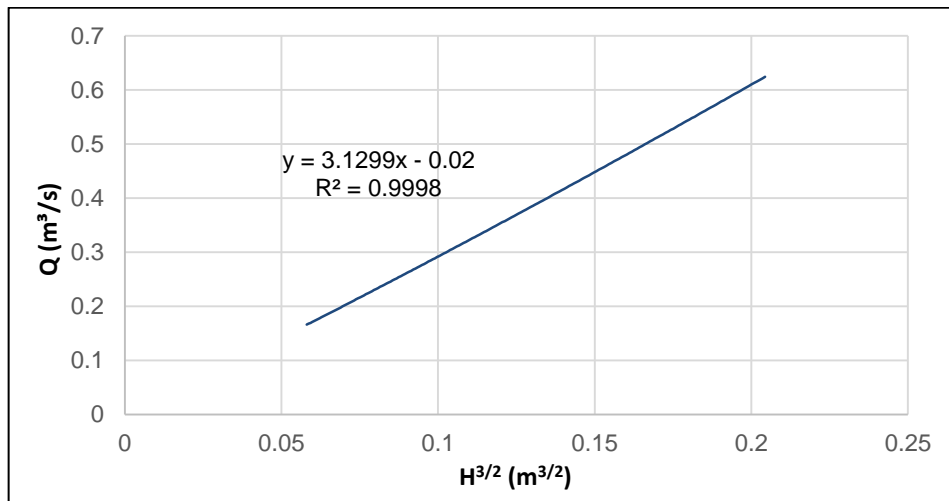


Figura N°A.1 Ajuste de ecuación de descarga de vertedero rectangular

Se sabe que la pendiente de esa recta de ajuste es el producto del coeficiente de descarga por la longitud del vertedero de cresta delgada:

$$m = C \cdot L$$

Donde:

C : Coeficiente de descarga de vertedero.

L : Longitud de vertedero rectangular, 1.497 m.

De esta manera fue posible determinar el coeficiente de descarga del vertedero rectangular y la ecuación de descarga:

$$C = \frac{m}{L} = \frac{3.1299}{1.497} = 2.09$$

$$Q = 3.1299H^{3/2}$$

Por lo tanto, para un caudal de 0.089 m³/s, se necesita una altura de carga igual a:

$$0.089 = 3.1299H^{3/2}$$

$$H = 0.107m$$

ANEXO B

ENSAYOS DE PROPIEDADES DE LECHO

ANEXO B: ENSAYOS DE PROPIEDADES DE LECHO

En este Anexo se muestran los resultados de las pruebas del material de lecho realizado en el Laboratorio N°2 de Mecánica de Suelos y Pavimentos de la Facultad de Ingeniería Civil en la Universidad Nacional de Ingeniería.

1.1. ANÁLISIS DE GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO – ASTM D422

1.1.1. Datos de ensayo

Encargado : Jesús Alberto Pachas Chura
 Proyecto : Tesis “Influencia del ángulo de orientación y grado de permeabilidad en la socavación local de espigones permeables”
 Ubicación : Universidad Nacional de Ingeniería - FIC
 Fecha : 01 de agosto de 2017
 Muestra : M-1 (Material de lecho)

1.1.2. Resultado de tamizado

Tamiz	Abertura (mm)	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
3/8"	9.525	0	0.00%	0.00%	100.00%
1/4"	6.35	0	0.00%	0.00%	100.00%
4	4.76	0	0.00%	0.00%	100.00%
10	2	0	0.00%	0.00%	100.00%
20	0.84	1.1	0.31%	0.31%	99.69%
30	0.59	9.5	2.67%	2.98%	97.02%
40	0.426	32.3	9.07%	12.04%	87.96%
60	0.25	110.3	30.97%	43.01%	56.99%
100	0.149	136.3	38.27%	81.27%	18.73%
200	0.075	64.9	18.22%	99.49%	0.51%
Fondo		1.8	0.51%	100.00%	0.00%

% Grava	0
% Arena	99.49
% Finos	0.51

Límites de consistencia ASTM D4318	
Límite Líquido (%)	NP
Límite Plástico (%)	NP
Índice plástico (%)	NP

Clasificación según SUCS ASTM D2467: **SW**

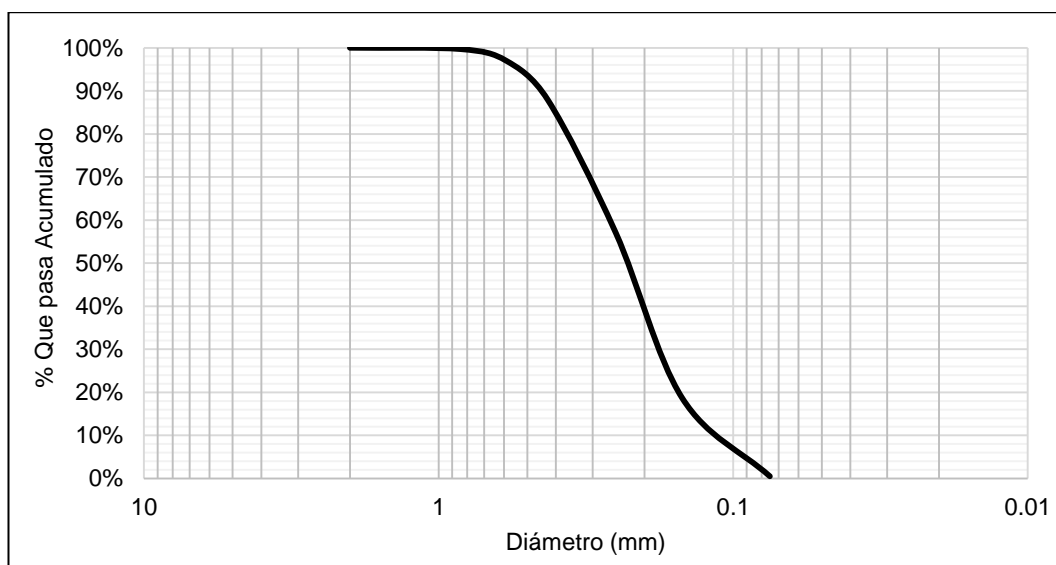


Figura N° B.1 Curva granulométrica de la muestra M-1

1.2. ANÁLISIS DE GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO – ASTM D422

1.2.1. Datos de ensayo

Encargado : Jesús Alberto Pachas Chura
 Proyecto : Tesis “Influencia del ángulo de orientación y grado de permeabilidad en la socavación local de espigones permeables”
 Ubicación : Universidad Nacional de Ingeniería - FIC
 Fecha : 03 de agosto de 2017
 Muestra : M-2 (Material de lecho)

1.2.2. Resultado de tamizado

Tamiz	Abertura (mm)	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
3/8"	9.525	0	0.00%	0.00%	100.00%
1/4"	6.35	0	0.00%	0.00%	100.00%
4	4.76	0	0.00%	0.00%	100.00%
10	2	0	0.00%	0.00%	100.00%
20	0.84	1.4	0.68%	0.68%	99.32%
30	0.59	3.9	1.90%	2.58%	97.42%
40	0.426	10.3	5.01%	7.58%	92.42%
60	0.25	47	22.85%	30.43%	69.57%
100	0.149	95	46.18%	76.62%	23.38%
200	0.075	44	21.39%	98.01%	1.99%
Fondo		4.1	1.99%	100.00%	0.00%

% Grava	0
% Arena	98.01
% Finos	1.99

Límites de consistencia ASTM D4318	
Límite Líquido (%)	NP
Límite Plástico (%)	NP
Índice plástico (%)	NP

Clasificación según SUCS ASTM D2467: **SW**

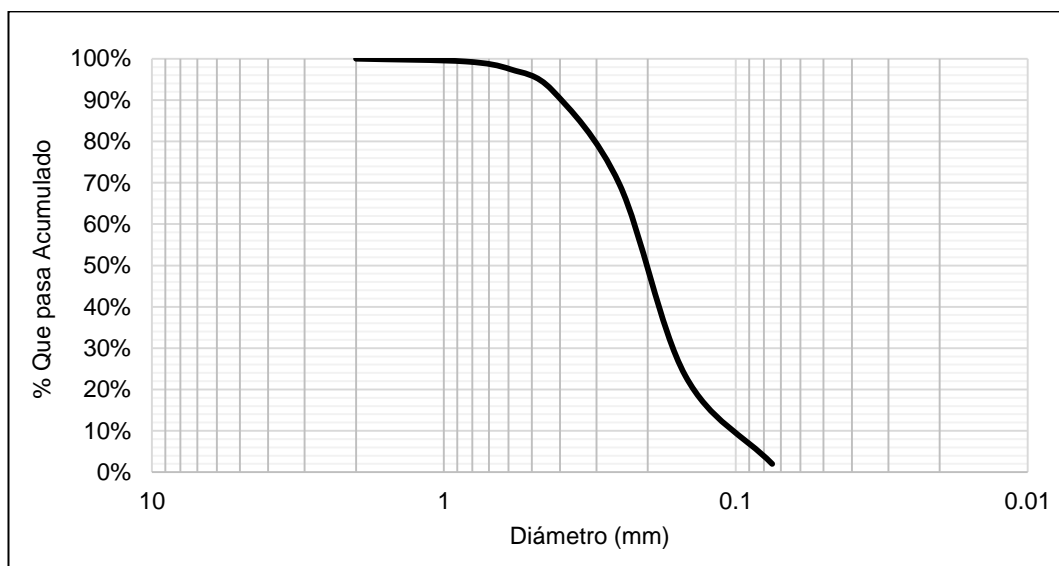


Figura N° B.2 Curva granulométrica de la muestra M-2

1.3. ANÁLISIS DE GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO – ASTM D422

1.3.1. Datos de ensayo

Encargado : Jesús Alberto Pachas Chura
 Proyecto : Tesis “Influencia del ángulo de orientación y grado de permeabilidad en la socavación local de espigones permeables”
 Ubicación : Universidad Nacional de Ingeniería - FIC
 Fecha : 05 de agosto de 2017
 Muestra : M-3 (Material de lecho)

1.3.2. Resultado de tamizado

Tamiz	Abertura (mm)	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
3/8"	9.525	0	0.00%	0.00%	100.00%
1/4"	6.35	0	0.00%	0.00%	100.00%
4	4.76	0.4	0.20%	0.20%	99.80%
10	2	0.3	0.15%	0.34%	99.66%
20	0.84	4.7	2.29%	2.64%	97.36%
30	0.59	8.6	4.20%	6.83%	93.17%
40	0.426	14.6	7.13%	13.96%	86.04%
60	0.25	45.2	22.06%	36.02%	63.98%
100	0.149	84.1	41.04%	77.06%	22.94%
200	0.075	41.6	20.30%	97.36%	2.64%
Fondo		5.4	2.64%	100.00%	0.00%

% Grava	0.20
% Arena	97.16
% Finos	2.64

Límites de consistencia ASTM D4318	
Límite Líquido (%)	NP
Límite Plástico (%)	NP
Índice plástico (%)	NP

Clasificación según SUCS ASTM D2467: **SW**

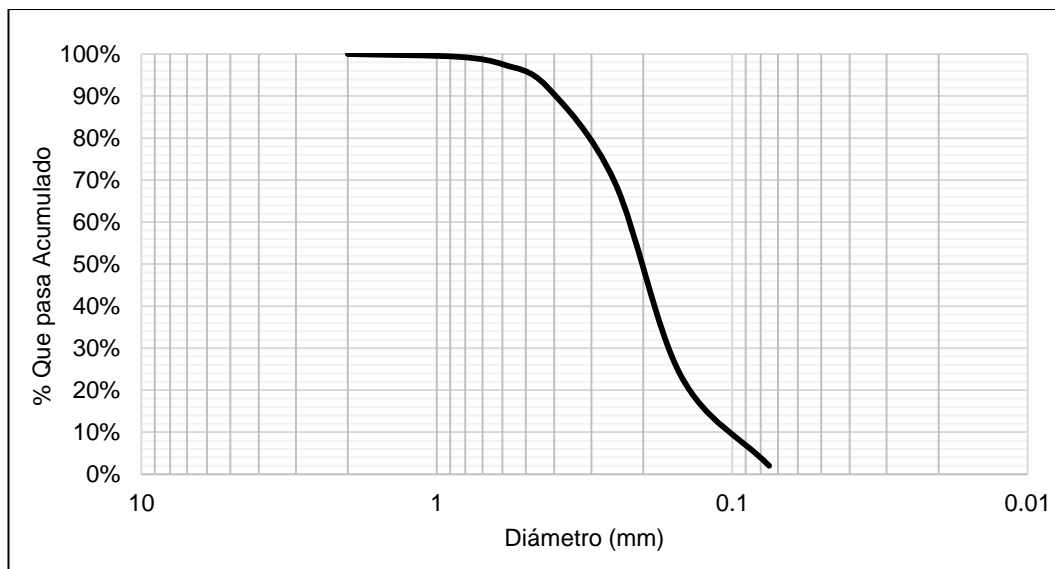


Figura N° B.3 Curva granulométrica de la muestra M-3

De las Figuras B.1, B.2 y B.3, se han extraído los siguientes valores:

Diámetro	M-1	M-2	M-3	Promedio (mm)
D50	0.24	0.22	0.23	0.23
D75	0.42	0.29	0.34	0.35
D90	0.45	0.41	0.52	0.46
D60	0.34	0.23	0.24	0.27
D30	0.21	0.16	0.17	0.18
D84	0.43	0.36	0.41	0.40
D16	0.18	0.12	0.12	0.14
D10	0.13	0.10	0.10	0.11
og	1.60	1.71	1.82	1.71

1.4. GRAVEDAD ESPECÍFICA DE SÓLIDOS ASTM D654

1.4.1. Datos de ensayo

Encargado : Jesús Alberto Pachas Chura
 Proyecto : Tesis "Influencia del ángulo de orientación y grado de permeabilidad en la socavación local de espigones permeables"
 Ubicación : Universidad Nacional de Ingeniería - FIC
 Fecha : 01 de agosto de 2017
 Muestra : M-1 (Material de lecho)

1.4.2. Resultado de ensayo

Descripción	Medición	Unidad
Peso del Frasco + Suelo seco	293.9	g
Peso del Frasco Volumétrico	172.6	g
Peso del Suelo Seco	121.3	g
Peso del Frasco + Peso suelo + Peso Agua	748.4	g
Peso del Frasco + Peso del Agua	671.2	g
Temperatura	19.0	°C
Factor de Corrección	1.0002	

Peso Específico Relativo de Sólidos (Ss)	2.75	-
Densidad del agua (pw)	998.43	kg/m3
Densidad de sólidos (ps)	2746.79	kg/m3
Peso Específico de Sólidos (ys)	26946.09	N/m3

ANEXO C

CONDICIONES HIDRÁULICAS

ANEXO C: CÁLCULOS HIDRÁULICOS

En este Anexo se presentan los cálculos hidráulicos realizados para sustentar los parámetros de materiales utilizados y las condiciones críticas de Shields para las condiciones hidráulicas de los ensayos.

1.1. PARÁMETROS DE MATERIALES UTILIZADOS**1.1.1. Parámetros del canal de prueba**

Tabla N° C.1. Características del canal de prueba. Fuente: Propia

SÍMBOLO	PARÁMETRO	MAGNITUD	UNIDAD
B	Ancho	1.90	m
L	Longitud	11.2	M
Z	Talud transversal	Vertical	m/m
S _o	Pendiente de lecho	0.000124	m/m
n _v	Rugosidad paredes (plexiglás)	0.010	-

1.1.2. Parámetros del material de lecho

Tabla N° C.2. Parámetros de material de lecho. Fuente: Propia

SÍMBOLO	PARÁMETRO	MAGNITUD	UNIDAD
D ₅₀	Diámetro D50	0.23	mm
D ₉₀	Diámetro D90	0.46	mm
D ₈₄	Diámetro D84	0.40	mm
D ₇₅	Diámetro D75	0.35	mm
D ₆₀	Diámetro D60	0.27	mm
D ₃₀	Diámetro D30	0.18	mm
D ₁₆	Diámetro D16	0.14	mm
D ₁₀	Diámetro D10	0.11	mm
C _u	Coefficiente de Uniformidad	1.71	-
ρ _s	Densidad	2.746	g/cm ³
γ _s	Peso específico de sólido	26938.26	N/m ³
ρ'	Peso específico sumergido	1.75	g/cm ³
G _s	Gravedad Específica	2.75	-
C _D ⁽¹⁾	Coefficiente de arrastre	6.34	-
w ⁽¹⁾	Velocidad de caída	0.0288	m/s
n _s ⁽²⁾	Rugosidad de sedimento	0.0117	-

(1) El coeficiente de arrastre y la velocidad de caída de sedimento fueron

obtenidos a partir de los datos recolectados por Stokes (1861), donde:

$$w = \sqrt{\frac{4gd\rho'}{3Cd}}$$

De acuerdo a ello, basado en la Figura N° C.1, se ha obtenido los siguientes valores de coeficiente de arrastre y velocidad de caída de sedimento mediante un proceso iterativo:

$$C_{D(estimado)} = 6.3 \quad Re = 6.5 \quad w = 0.0288 \text{ m/s} \quad C_{D(calculado)} = 6.34$$

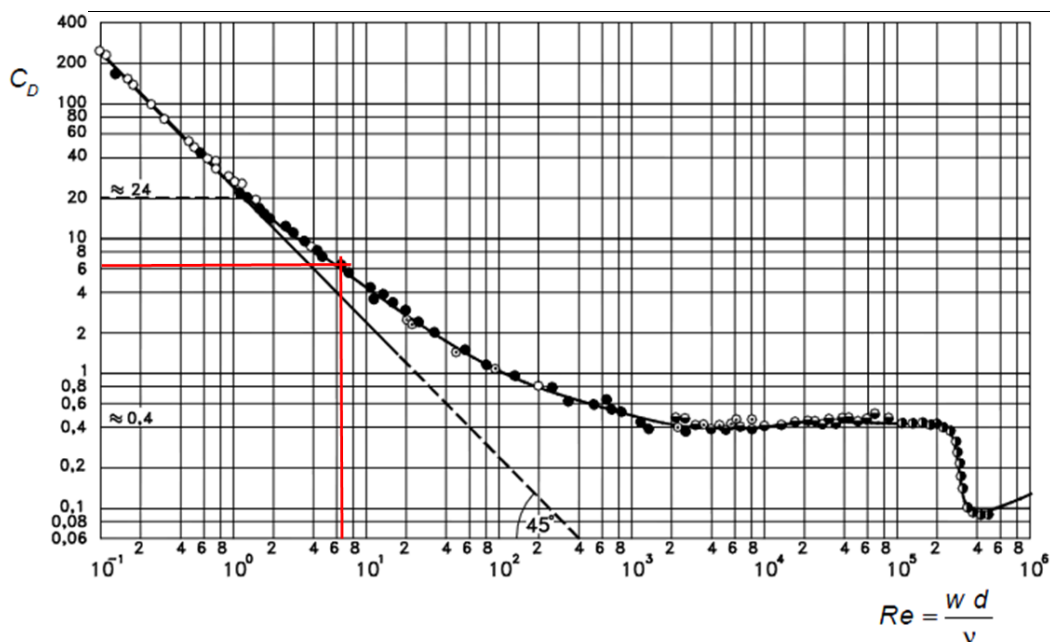


Figura N° C.1. Gráfica de Stokes que relaciona el coeficiente de arrastre y el número de Reynolds de la partícula. Fuente: Stokes (1861)

- (2) El coeficiente de Manning de la partícula fue obtenido a partir de las fórmulas empíricas de Garde y Raju (1978), Meyer-Peter y Muller (1948) y Bray (1979):

Tabla N° C.3. Cálculo de rugosidad por sedimento. Fuente: Propia

NOMBRE	FÓRMULA	CÁLCULO
Garde y Raju (1978)	$n = 0.047D_{50}^{1/6}$	0.0116
Meyer-Peter y Muller (1948)	$n = 0.038D_{90}^{1/6}$	0.0105
Bray (1979)	$n = 0.0495D_{50}^{0.16}$	0.0129
	Promedio	0.0117

1.1.3. Propiedades del fluido

Tabla N° C.4. Propiedades del fluido. Fuente: Propia

SÍMBOLO	PARÁMETRO	MAGNITUD	UNIDAD
T	Temperatura promedio	19.45	°C
ρ_w	Densidad	998.3	Kg/m ³
ν	Viscosidad cinemática	1.02E-06	m ² /s

1.2. CÁLCULO DE CONDICIONES CRÍTICAS DE SHIELDS

A partir de los parámetros del material de lecho, fluido y las características del canal de prueba se calculó las condiciones críticas de iniciación de movimiento o condiciones de Shields, según Bonnefille (1963) y Yalin (1972).

Parámetro de partícula:

$$D^* = \left(\frac{\rho' \cdot g}{\nu^2} \right)^{1/3} d = \left(\frac{1.75 \times 9.81}{1.02 \times 10^{-6} - 06^2} \right)^{1/3} \frac{0.23}{1000} = 5.857$$

Parámetro crítico de Shields

$$F^* = 0.14 \cdot D^*^{-0.64} = 0.14 \times 5.857^{-0.64} = 0.045$$

Esfuerzo cortante crítico medio en el fondo:

$$\tau_{oc} = F^* (\gamma_s - \gamma_w) d = \frac{0.045 \times (26938.3 - 9790.4) \times 0.23}{1000} = 0.178 \text{ N/m}^2$$

A partir del esfuerzo cortante crítico fue posible determinar el resto de los parámetros hidráulicos correspondientes a esta condición:

Tabla N° C.5. Condiciones críticas de movimiento. Fuente: Propia

PARÁMETRO	NOMBRE	FÓRMULA	CÁLCULO	UNIDAD
R_c	Radio hidráulico crítico	$R_c = \frac{\tau_{oc}}{\gamma_w S_0}$	0.147	m
d_c	Tirante crítico normal	$d_c = \frac{R_c B}{B - 2R_c}$	0.175	m
A_c	Área hidráulica crítica	$A_c = B d_c$	0.330	m ²

PARÁMETRO	NOMBRE	FÓRMULA	CÁLCULO	UNIDAD
n_t	Rugosidad total	$n_t = \left[\frac{2d_c n_v^{3/2} + B n_s^{3/2}}{B + 2d_c} \right]^{2/3}$	0.0114	-
Q_c	Caudal crítico	$Q_c = \frac{A_c R_c^{2/3} S_0^{1/2}}{n_t}$	0.089	m³/s
V_c	Velocidad media crítica	$V_c = \frac{Q_c}{A_c}$	0.271	m/s
F_c	Froude crítico	$F_c = \frac{V_c}{\sqrt{g d_c}}$	0.207	-
V_c^*	Velocidad de corte crítico	$V_c^* = \sqrt{\frac{\tau_{oc}}{\rho_w}}$	0.013	m/s
Re_c	Número de Reynolds crítico	$Re_c = \frac{V_c R_c}{\nu}$	38814.46	-
I_c	Índice de inestabilidad	$I_c = \frac{V_c^* D_{50}}{\nu}$	3.014	-

ANEXO D

PANEL FOTOGRAFICO

ANEXO D: PANEL FOTOGRÁFICO



Fotografía N° D.1. Muestras de material de lecho. Fueron ensayadas en el Laboratorio N° 2 de Mecánica de suelos y pavimentos de la Facultad de Ingeniería Civil-UNI. Las muestras fueron seleccionadas antes de la realización de los ensayos con flujo con el fin de determinar sus propiedades físicas con precisión. Cada una tiene un peso aproximado de 200g.



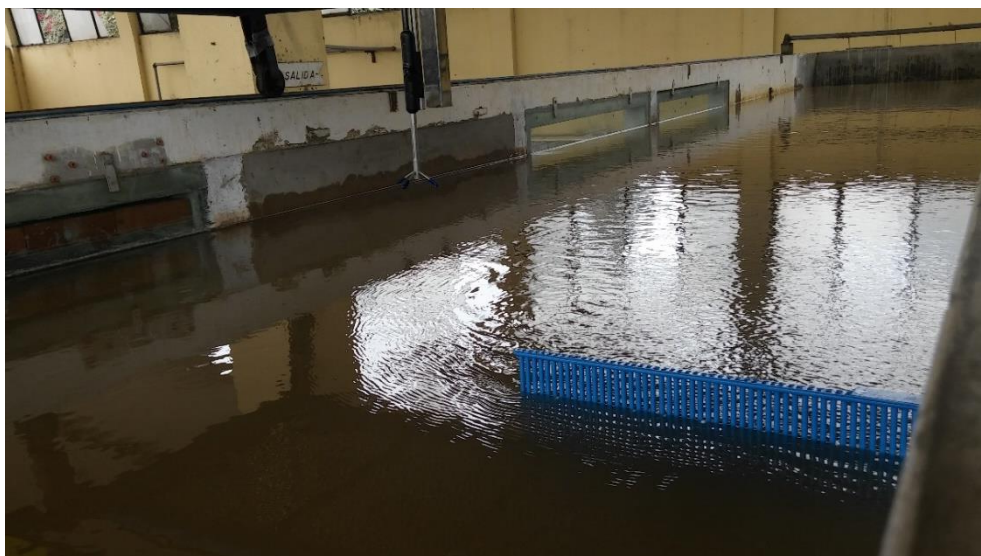
Fotografía N° D.2. Fabricación de espigones de prueba. Estos fueron a base de varillas de acero liso cortados y soldados a precisión para obtener un grado de permeabilidad exacto. Se arriostraron superior e inferiormente para dar mayor rigidez a la estructura. Finalmente se pintaban con pintura epóxica y catalizador. La construcción de cada espigón tuvo una duración aproximada de 2 días.



Fotografía N° D.3. Colocación del espigón de prueba en el canal de ensayos. Se tuvo que tener mucha precisión para la colocación de estas estructuras, pues se necesitaba obtener una orientación y nivel de empotramiento exacto. Se compactó el lecho por capas delgadas en las proximidades del espigón para una mejor fijación.



Fotografía N° D.4. Conformación final de lecho de canal de ensayos. Se utilizó el nivel topográfico para lograr una pendiente de fondo exacta. Se tuvo especial cuidado en los alrededores del espigón de prueba a fin de no afectar su permeabilidad básica. El sentido de flujo en la fotografía es de arriba hacia abajo.



Fotografía N° D.5. Flujo en interacción con espigón de prueba. Se aprecia el efecto de deflexión de flujo a partir de la cabeza del espigón y la turbulencia generada en su borde aguas abajo. El flujo disminuye su velocidad en su encuentro con el espigón y acelera en el ancho libre del canal. El sentido de flujo en la fotografía es de abajo hacia arriba.



Fotografía N° D.6. Desnivel de flujo aguas arriba y aguas abajo del cuerpo del espigón. Se aprecia el efecto de pérdida de energía local provocado por el cuerpo permeable del espigón. Generalmente se obtuvo una pérdida de energía de 2 cm, disminuyendo con la permeabilidad del espigón. El sentido de flujo en la fotografía es de izquierda a derecha.



Fotografía N° D.7. Paso de flujo a través del cuerpo permeable del espigón. Se aprecia el efecto de pérdida de energía local provocado por el cuerpo permeable del espigón y el paso del flujo a través de su ancho efectivo. El flujo desacelera aguas arriba del espigón y acelera al traspasarlo. El sentido de flujo en la fotografía es de izquierda a derecha.



Fotografía N° D.8. Perfil de hoyo de socavación alrededor del espigón permeable durante el paso de flujo. La línea trazada de color negro representa el nivel de lecho inicial. Se puede apreciar un hoyo de socavación en forma de "V" con pendiente 1H:1V y un ancho promedio de 15 cm. Las características del talud, profundidad y ancho del hoyo varía con la permeabilidad y orientación del espigón de prueba. Aguas abajo del espigón se aprecia la región de sedimentación con pequeños rizados superpuestos. El sentido de flujo en la fotografía es de izquierda a derecha.



Fotografía N° D.9. Perfil de hoyo de socavación alrededor del espigón permeable luego del paso de flujo. La línea trazada de color negro representa el nivel de lecho inicial. Se puede apreciar socavación aguas arriba y agua abajo del espigón de prueba y el efecto de acorazamiento de lecho, mostrándose libre de las partículas mas finas en las capas superiores. Las características del talud, profundidad y ancho del hoyo varía con la permeabilidad y orientación del espigón de prueba. El sentido de flujo en la fotografía es de izquierda a derecha.



Fotografía N° D.10. Formas de fondo alrededor del espigón permeable. Se puede apreciar una variedad de formas de fondo alrededor del cuerpo del espigón. Aguas arriba se observa la zona de contracción de rizos y aguas abajo se observa la zona de sedimentación. El sentido de flujo en la fotografía es de arriba hacia abajo.

ANEXO E

TIRANTES DE FLUJO

ANEXO E1

Cuadro B1. Tirantes de flujo registrados en ensayos con espigón orientado 45°. Fuente: Propia

Sección (mm)	Posición (mm)	Tirante (mm)		
		Permeabilidad 30%	Permeabilidad 50%	Permeabilidad 70%
0-800.00	50	174.110	176.251	168.637
0-800.00	200	165.476	167.618	185.183
0-800.00	350	182.662	170.248	167.884
0-800.00	500	185.603	175.647	182.219
0-800.00	650	171.741	182.903	188.808
0-800.00	800	194.567	176.439	166.464
0-800.00	950	164.176	180.308	170.461
0-800.00	1100	191.261	175.188	180.047
0-800.00	1250	167.698	181.740	188.387
0-800.00	1400	175.317	167.868	179.802
0-800.00	1550	166.626	170.861	162.276
0-800.00	1700	161.019	177.156	183.146
0-800.00	1850	157.998	163.715	172.033
0-450.00	50	178.045	168.907	172.433
0-450.00	200	164.950	169.111	181.746
0-450.00	350	190.406	164.128	184.893
0-450.00	500	206.617	169.903	176.504
0-450.00	650	195.372	170.704	170.379
0-450.00	800	173.930	171.792	179.676
0-450.00	950	190.225	155.810	196.728
0-450.00	1100	166.198	184.257	180.414
0-450.00	1250	170.127	138.262	173.418
0-450.00	1400	166.596	160.394	161.927
0-450.00	1550	184.237	164.090	176.320
0-450.00	1700	172.482	174.688	172.968
0-450.00	1850	185.925	169.674	172.364
0-150.00	50	240.805	181.505	198.151
0-150.00	200	234.514	180.605	180.092
0-150.00	350	200.755	147.253	160.228
0-150.00	500	218.386	183.316	178.320
0-150.00	650	210.122	194.302	189.697
0-150.00	800	200.164	175.336	174.308
0-150.00	950	186.210	161.357	187.143

Sección (mm)	Posición (mm)	Tirante (mm)		
		Permeabilidad 30%	Permeabilidad 50%	Permeabilidad 70%
0-150.00	1100	175.533	186.406	177.907
0-150.00	1250	178.590	175.869	173.182
0-150.00	1400	181.979	148.996	154.100
0-150.00	1550	180.322	157.978	178.934
0-150.00	1700	181.667	160.869	180.450
0-150.00	1850	173.564	153.025	187.487
0+000.00	100	250.107	190.200	190.500
0+000.00	200	205.693	150.556	176.536
0+000.00	350	177.327	165.803	171.950
0+000.00	500	196.528	193.801	175.264
0+000.00	650	208.486	185.688	179.029
0+000.00	800	194.072	181.991	172.128
0+000.00	950	194.261	168.063	172.966
0+000.00	1100	178.928	163.830	170.800
0+000.00	1250	166.712	163.192	166.966
0+000.00	1400	187.867	170.406	171.279
0+000.00	1550	172.795	158.246	172.434
0+000.00	1700	182.508	151.886	156.015
0+000.00	1850	197.963	163.688	166.670
0+150.00	50	207.438	147.879	162.412
0+150.00	200	171.391	164.009	174.320
0+150.00	350	175.653	203.573	176.197
0+150.00	500	189.748	193.892	172.963
0+150.00	650	216.461	178.079	194.930
0+150.00	800	184.884	185.111	183.370
0+150.00	950	192.044	171.283	180.090
0+150.00	1100	183.213	176.208	180.980
0+150.00	1250	187.586	180.693	163.811
0+150.00	1400	168.644	166.044	172.684
0+150.00	1550	168.143	154.272	171.640
0+150.00	1700	185.741	150.810	178.693
0+150.00	1850	188.356	171.678	164.922
0+450.00	50	127.865	133.173	155.521

Sección (mm)	Posición (mm)	Tirante (mm)		
		Permeabilidad 30%	Permeabilidad 50%	Permeabilidad 70%
0+450.00	200	145.334	159.089	170.189
0+450.00	350	167.451	183.776	171.062
0+450.00	500	168.146	181.363	179.424
0+450.00	650	190.208	182.918	180.947
0+450.00	800	202.419	182.564	176.983
0+450.00	950	184.939	178.865	182.148
0+450.00	1100	188.829	176.876	181.127
0+450.00	1250	182.257	153.686	180.478
0+450.00	1400	191.552	183.938	163.356
0+450.00	1550	181.494	163.707	177.741
0+450.00	1700	185.070	167.906	187.122
0+450.00	1850	175.563	167.410	181.097
0+750.00	50	163.606	152.133	182.250
0+750.00	200	141.748	146.781	165.912
0+750.00	350	166.970	179.911	170.261
0+750.00	500	174.536	186.112	169.471
0+750.00	650	175.595	172.180	186.566
0+750.00	800	212.038	179.603	190.347
0+750.00	950	206.135	175.534	190.358
0+750.00	1100	197.266	171.061	166.788
0+750.00	1250	183.701	175.788	192.184
0+750.00	1400	199.542	163.398	177.713
0+750.00	1550	189.845	177.985	190.856
0+750.00	1700	187.498	153.748	171.176
0+750.00	1850	178.223	180.298	171.040
1+050.00	50	177.293	156.287	166.999
1+050.00	200	173.390	165.644	163.550
1+050.00	350	173.481	160.190	175.056
1+050.00	500	178.769	183.576	160.580
1+050.00	650	182.797	159.071	176.653
1+050.00	800	187.769	158.642	185.519
1+050.00	950	175.226	185.588	181.793
1+050.00	1100	199.385	172.176	184.940

Sección (mm)	Posición (mm)	Tirante (mm)		
		Permeabilidad 30%	Permeabilidad 50%	Permeabilidad 70%
1+050.00	1250	180.469	167.158	163.114
1+050.00	1400	193.991	170.090	182.896
1+050.00	1550	187.001	161.946	180.782
1+050.00	1700	179.505	176.541	172.431
1+050.00	1850	179.045	180.496	169.139
1+650.00	50	174.087	168.070	176.726
1+650.00	200	176.912	172.535	181.238
1+650.00	350	186.181	159.260	174.118
1+650.00	500	167.173	178.618	179.392
1+650.00	650	149.994	158.859	158.515
1+650.00	800	187.124	177.259	170.523
1+650.00	950	180.435	175.662	170.328
1+650.00	1100	179.640	167.601	188.529
1+650.00	1250	184.698	156.920	182.928
1+650.00	1400	200.221	168.978	181.844
1+650.00	1550	185.744	196.080	176.866
1+650.00	1700	180.751	162.986	176.153
1+650.00	1850	178.986	165.667	180.270
2+450.00	50	179.005	169.352	176.799
2+450.00	200	177.320	171.085	178.374
2+450.00	350	177.864	182.242	179.185
2+450.00	500	174.189	161.287	176.253
2+450.00	650	169.251	160.361	179.262
2+450.00	800	165.999	174.002	174.420
2+450.00	950	181.063	164.929	180.004
2+450.00	1100	178.567	171.024	161.265
2+450.00	1250	187.195	163.678	181.248
2+450.00	1400	170.339	169.044	180.015
2+450.00	1550	197.399	174.479	186.274
2+450.00	1700	172.071	175.281	183.396
2+450.00	1850	176.579	173.240	183.665

ANEXO E2

Cuadro B2. Tirantes de flujo registrados en ensayos con espigón orientado 90°. Fuente: Propia

Sección (mm)	Posición (mm)	Tirante (mm)		
		Permeabilidad 30%	Permeabilidad 50%	Permeabilidad 70%
0-450.00	50	199.684	182.319	188.439
0-450.00	200	199.637	191.940	160.494
0-450.00	350	209.193	180.889	176.608
0-450.00	500	204.432	186.176	185.684
0-450.00	650	219.141	179.844	173.518
0-450.00	800	190.976	181.343	174.387
0-450.00	950	202.195	196.527	169.722
0-450.00	1100	206.865	195.033	182.403
0-450.00	1250	194.092	182.688	177.607
0-450.00	1400	196.639	191.054	178.504
0-450.00	1550	197.780	177.997	192.387
0-450.00	1700	199.242	194.480	188.041
0-450.00	1850	182.472	175.178	180.894
0-150.00	50	203.308	190.482	184.333
0-150.00	200	219.625	195.280	160.979
0-150.00	350	218.080	182.013	168.751
0-150.00	500	218.350	188.090	163.198
0-150.00	650	206.825	191.414	197.271
0-150.00	800	202.200	196.427	190.020
0-150.00	950	194.514	186.439	169.779
0-150.00	1100	196.470	177.914	195.843

Sección (mm)	Posición (mm)	Tirante (mm)		
		Permeabilidad 30%	Permeabilidad 50%	Permeabilidad 70%
0-150.00	1550	189.835	193.752	186.620
0-150.00	1700	197.834	191.719	185.271
0-150.00	1850	182.164	186.936	180.894
0+000.00	500	274.688	218.210	177.688
0+000.00	650	243.328	210.238	169.443
0+000.00	800	210.676	188.351	194.523
0+000.00	950	200.397	188.991	180.762
0+000.00	1100	195.599	184.153	171.773
0+000.00	1250	195.341	173.459	183.704
0+000.00	1400	189.721	177.579	182.538
0+000.00	1550	206.710	178.121	170.875
0+000.00	1700	174.555	194.316	179.947
0+000.00	1850	192.105	195.772	187.143
0+150.00	50	207.109	170.926	174.970
0+150.00	200	196.688	173.309	174.281
0+150.00	350	198.628	161.888	165.875
0+150.00	500	245.142	190.567	178.324
0+150.00	650	235.630	208.039	166.083
0+150.00	800	233.563	201.689	179.519
0+150.00	950	212.889	195.557	184.410
0+150.00	1100	217.951	195.288	171.990

Sección (mm)	Posición (mm)	Tirante (mm)		
		Permeabilidad 30%	Permeabilidad 50%	Permeabilidad 70%
0-150.00	1250	193.068	197.259	167.427
0-150.00	1400	201.646	164.208	190.184
0+150.00	1250	210.131	184.979	177.475
0+150.00	1400	188.480	183.624	174.206
0+150.00	1550	198.072	186.959	184.583
0+150.00	1700	186.538	196.172	188.068
0+150.00	1850	195.267	188.820	170.047
0+450.00	50	163.879	187.123	169.559
0+450.00	200	162.796	188.414	173.066
0+450.00	350	152.732	207.077	179.749
0+450.00	500	198.435	217.254	181.920
0+450.00	650	242.366	206.825	201.215
0+450.00	800	246.312	217.209	184.671
0+450.00	950	224.573	193.192	169.244
0+450.00	1100	197.832	186.843	175.229
0+450.00	1250	207.193	181.734	185.227
0+450.00	1400	219.284	191.456	175.445
0+450.00	1550	199.830	185.538	165.560
0+450.00	1700	191.312	185.969	172.237
0+450.00	1850	199.271	188.123	182.315
0+750.00	50	193.570	196.845	172.552
0+750.00	200	195.603	189.870	162.217
0+750.00	350	188.757	195.653	178.854

Sección (mm)	Posición (mm)	Tirante (mm)		
		Permeabilidad 30%	Permeabilidad 50%	Permeabilidad 70%
0-150.00	1550	189.835	193.752	186.620
0-150.00	1700	197.834	191.719	185.271
0+750.00	800	213.197	210.343	187.012
0+750.00	950	216.268	197.185	189.781
0+750.00	1100	229.033	195.228	198.387
0+750.00	1250	202.860	194.827	175.396
0+750.00	1400	201.516	194.085	183.760
0+750.00	1550	205.140	194.102	179.438
0+750.00	1700	200.187	186.699	179.367
0+750.00	1850	192.084	185.565	168.625
1+050.00	50	195.281	184.679	173.248
1+050.00	200	193.420	188.527	173.765
1+050.00	350	182.152	195.398	184.637
1+050.00	500	187.737	176.385	192.864
1+050.00	650	221.523	189.388	168.413
1+050.00	800	204.862	203.161	180.604
1+050.00	950	201.043	188.030	171.261
1+050.00	1100	207.608	199.988	180.438
1+050.00	1250	200.367	194.946	178.531
1+050.00	1400	206.494	176.806	164.249
1+050.00	1550	195.245	182.241	170.546
1+050.00	1700	190.676	185.433	178.484
1+050.00	1850	193.208	175.088	165.640

ANEXO E3

Cuadro B3. Tirantes de flujo registrados en ensayos con espigón orientado 135°. Fuente: Propia

Sección (mm)	Posición (mm)	Tirante (mm)		
		Permeabilidad 30%	Permeabilidad 50%	Permeabilidad 70%
0-800.00	50	174.576	164.563	175.744
0-800.00	200	174.592	175.984	190.519
0-800.00	350	175.961	165.584	190.418
0-800.00	500	174.831	176.529	176.169
0-800.00	650	191.963	167.572	165.020
0-800.00	800	183.763	174.128	163.915
0-800.00	950	198.262	169.492	173.395
0-800.00	1100	181.328	179.336	168.756
0-800.00	1250	194.751	162.575	148.338
0-800.00	1400	182.308	192.061	162.236
0-800.00	1550	164.360	188.278	187.301
0-800.00	1700	158.308	172.150	184.383
0-800.00	1850	160.971	167.987	168.321
0-450.00	50	187.723	177.228	190.865
0-450.00	200	172.531	185.757	184.353
0-450.00	350	166.657	166.531	169.538
0-450.00	500	181.766	181.367	179.447
0-450.00	650	162.584	183.769	169.952
0-450.00	800	184.127	156.674	171.065
0-450.00	950	175.130	161.887	178.978
0-450.00	1100	168.062	176.667	188.683
0-450.00	1250	187.527	174.516	167.785
0-450.00	1400	174.610	189.894	176.766
0-450.00	1550	186.573	175.791	171.106
0-450.00	1700	174.186	155.755	170.624
0-450.00	1850	155.697	181.896	164.970
0-150.00	50	194.054	191.841	172.976
0-150.00	200	174.611	172.266	166.404
0-150.00	350	180.913	162.769	183.516
0-150.00	500	171.951	165.359	178.714
0-150.00	650	179.562	192.928	160.863
0-150.00	800	177.525	156.803	165.957
0-150.00	950	170.940	186.170	166.041

Sección (mm)	Posición (mm)	Tirante (mm)		
		Permeabilidad 30%	Permeabilidad 50%	Permeabilidad 70%
0-150.00	1100	162.485	175.181	173.501
0-150.00	1250	174.973	168.890	160.653
0-150.00	1400	173.461	158.478	169.378
0-150.00	1550	169.395	165.659	162.761
0-150.00	1700	168.584	186.478	167.231
0-150.00	1850	166.799	180.012	176.975
0+000.00	100	215.046	181.642	177.350
0+000.00	200	200.570	182.631	164.471
0+000.00	350	193.321	174.906	182.245
0+000.00	500	197.093	168.714	192.519
0+000.00	650	173.107	166.518	183.032
0+000.00	800	179.421	151.513	173.492
0+000.00	950	173.970	184.510	172.407
0+000.00	1100	165.977	169.494	175.946
0+000.00	1250	159.591	173.392	175.884
0+000.00	1400	174.856	183.614	167.675
0+000.00	1550	167.706	171.557	161.066
0+000.00	1700	175.705	179.011	182.058
0+000.00	1850	177.381	192.464	173.763
0+150.00	50	208.225	187.604	181.196
0+150.00	200	-	210.814	191.186
0+150.00	350	243.970	171.012	179.025
0+150.00	500	225.671	191.833	179.804
0+150.00	650	196.456	183.945	171.666
0+150.00	800	183.691	178.853	183.386
0+150.00	950	181.007	190.269	174.020
0+150.00	1100	157.244	160.108	178.226
0+150.00	1250	165.507	180.186	173.901
0+150.00	1400	179.164	184.637	177.970
0+150.00	1550	157.567	182.196	179.959
0+150.00	1700	168.001	177.392	180.411
0+150.00	1850	193.737	169.222	180.034
0+450.00	50	205.330	183.246	179.130

Sección (mm)	Posición (mm)	Tirante (mm)		
		Permeabilidad 30%	Permeabilidad 50%	Permeabilidad 70%
0+450.00	200	181.594	180.961	167.794
0+450.00	350	202.943	196.317	171.967
0+450.00	500	238.774	230.553	185.729
0+450.00	650	285.383	195.214	181.784
0+450.00	800	253.162	174.925	190.004
0+450.00	950	184.296	189.371	170.314
0+450.00	1100	182.290	174.135	178.502
0+450.00	1250	177.605	173.454	168.627
0+450.00	1400	171.219	166.394	166.657
0+450.00	1550	173.782	183.659	167.045
0+450.00	1700	170.673	175.205	193.658
0+450.00	1850	195.877	177.444	188.758
0+750.00	50	155.085	191.790	200.698
0+750.00	200	153.616	160.981	180.745
0+750.00	350	139.442	184.563	168.729
0+750.00	500	173.865	173.017	168.254
0+750.00	650	233.228	198.350	197.202
0+750.00	800	243.231	211.838	183.584
0+750.00	950	210.761	177.694	195.401
0+750.00	1100	192.247	184.801	185.574
0+750.00	1250	181.958	175.618	177.464
0+750.00	1400	184.102	180.009	182.747
0+750.00	1550	167.663	183.773	175.033
0+750.00	1700	166.494	178.210	166.825
0+750.00	1850	158.271	167.009	175.125
1+050.00	50	159.132	161.286	171.765
1+050.00	200	157.776	163.594	174.060
1+050.00	350	162.036	163.905	164.490
1+050.00	500	157.749	147.323	159.727
1+050.00	650	198.207	185.151	178.910
1+050.00	800	212.177	206.170	177.816
1+050.00	950	211.201	206.251	189.417
1+050.00	1100	208.760	183.805	170.954

Sección (mm)	Posición (mm)	Tirante (mm)		
		Permeabilidad 30%	Permeabilidad 50%	Permeabilidad 70%
1+050.00	1250	180.767	178.385	179.749
1+050.00	1400	180.549	178.011	183.413
1+050.00	1550	176.680	191.937	159.397
1+050.00	1700	185.948	167.328	198.664
1+050.00	1850	203.528	193.493	173.817
1+650.00	50	157.318	171.200	173.582
1+650.00	200	170.123	181.704	174.472
1+650.00	350	169.585	174.117	178.703
1+650.00	500	124.104	175.031	177.776
1+650.00	650	148.509	179.609	175.367
1+650.00	800	179.953	182.198	164.187
1+650.00	950	179.030	194.078	181.577
1+650.00	1100	179.128	188.796	174.434
1+650.00	1250	204.808	183.195	170.908
1+650.00	1400	185.856	189.143	162.966
1+650.00	1550	192.586	200.620	190.467
1+650.00	1700	174.815	195.407	169.259
1+650.00	1850	185.326	199.529	163.121
2+450.00	50	165.149	179.208	175.466
2+450.00	200	177.099	177.012	173.044
2+450.00	350	172.820	180.922	179.847
2+450.00	500	169.277	164.741	189.760
2+450.00	650	143.787	174.157	171.036
2+450.00	800	146.220	183.088	175.001
2+450.00	950	149.054	179.437	194.216
2+450.00	1100	179.367	174.206	170.485
2+450.00	1250	163.403	179.939	198.815
2+450.00	1400	176.500	174.012	179.677
2+450.00	1550	189.287	196.749	189.293
2+450.00	1700	177.153	184.008	181.739
2+450.00	1850	189.640	172.608	186.091

ANEXO F

VELOCIDADES DE FLUJO

ANEXO F1: ENSAYO E45-30

Cuadro C.1. Velocidades de flujo (mm/s) registrados en ensayo E45-30. Fuente: Propia

Sección	Posición	Vx	Vy	Vz	Sección	Posición	Vx	Vy	Vz	Sección	Posición	Vx	Vy	Vz	Sección	Posición	Vx	Vy	Vz
0-800.00	50	257.03	-34.67	-19.95	0+000.00	350	168.28	28.34	7.20	0+750.00	650	303.09	-57.36	-1.07	2+450.00	950	307.20	-50.88	-17.61
0-800.00	200	309.91	-24.55	-4.62	0+000.00	500	166.64	11.32	-0.12	0+750.00	800	323.17	-35.87	-6.30	2+450.00	1100	348.33	-62.22	-13.96
0-800.00	350	233.75	-23.76	-6.29	0+000.00	650	300.62	3.73	-13.37	0+750.00	950	311.27	-21.82	-13.22	2+450.00	1250	314.63	-46.44	-9.36
0-800.00	500	235.65	-15.47	-5.47	0+000.00	800	304.39	0.81	-17.49	0+750.00	1100	307.40	-35.11	-10.33	2+450.00	1400	310.95	-61.15	-8.99
0-800.00	650	317.94	-22.42	-14.87	0+000.00	950	300.46	-12.05	-5.52	0+750.00	1250	291.72	-24.67	-19.50	2+450.00	1550	281.81	-45.49	-13.76
0-800.00	800	297.80	-16.50	1.68	0+000.00	1100	317.06	-19.33	-24.21	0+750.00	1400	295.18	-31.95	-18.97	2+450.00	1700	304.11	-57.74	-9.74
0-800.00	950	268.01	-7.25	6.25	0+000.00	1250	311.74	-26.62	-18.50	0+750.00	1550	296.94	-42.34	-16.85	2+450.00	1850	314.16	-38.76	-10.94
0-800.00	1100	290.78	-12.93	-9.89	0+000.00	1400	300.32	-42.59	-9.14	0+750.00	1700	320.92	-37.40	-12.70					
0-800.00	1250	276.56	-29.60	-6.69	0+000.00	1550	327.25	-34.40	-19.44	0+750.00	1850	310.27	-35.16	-16.26					
0-800.00	1400	319.98	-37.64	-11.41	0+000.00	1700	276.96	-28.74	-17.02	1+050.00	50	171.04	-17.83	-10.91					
0-800.00	1550	310.49	-23.09	-7.33	0+000.00	1850	307.86	-36.91	-8.67	1+050.00	200	124.58	-15.85	3.99					
0-800.00	1700	310.91	-27.11	-6.27	0+150.00	50	107.03	-7.20	35.85	1+050.00	350	198.46	-31.65	-6.83					
0-800.00	1850	318.13	-37.43	-2.23	0+150.00	200	185.60	23.10	15.72	1+050.00	500	211.79	-45.24	-7.52					
0-450.00	50	266.90	-25.45	-22.09	0+150.00	350	185.91	30.30	8.17	1+050.00	650	314.20	-71.40	-13.82					
0-450.00	200	252.01	-12.80	-19.11	0+150.00	500	186.17	8.01	2.93	1+050.00	800	346.03	-54.23	6.21					
0-450.00	350	208.97	-11.21	-36.54	0+150.00	650	350.68	-11.14	-17.05	1+050.00	950	326.90	-30.29	-10.87					
0-450.00	500	225.89	33.87	-31.59	0+150.00	800	308.16	-0.67	-17.11	1+050.00	1100	282.95	-27.82	-20.01					
0-450.00	650	310.04	10.08	-28.18	0+150.00	950	347.82	-17.27	-21.25	1+050.00	1250	331.78	-37.67	-16.00					
0-450.00	800	296.95	-1.80	-20.93	0+150.00	1100	302.60	-17.72	-20.93	1+050.00	1400	344.58	-30.86	-7.00					
0-450.00	950	304.54	-14.40	-16.30	0+150.00	1250	283.60	-25.46	-21.16	1+050.00	1550	288.51	-32.39	-18.74					
0-450.00	1100	301.86	-31.55	-12.31	0+150.00	1400	275.54	-32.92	-5.85	1+050.00	1700	300.45	-31.91	0.73					
0-450.00	1250	293.21	-20.90	2.82	0+150.00	1550	323.13	-33.57	-11.76	1+050.00	1850	291.28	-33.67	-14.32					
0-450.00	1400	331.71	-25.19	-4.01	0+150.00	1700	319.16	-41.32	-24.13	1+650.00	50	184.86	-22.93	-9.35					
0-450.00	1550	274.89	-31.73	-41.05	0+150.00	1850	297.13	-32.49	-25.67	1+650.00	200	172.88	-22.37	-5.94					
0-450.00	1700	281.76	-20.04	-11.35	0+450.00	50	170.56	-6.90	24.23	1+650.00	350	199.82	-28.90	-8.74					
0-450.00	1850	264.57	-31.61	-17.28	0+450.00	200	205.79	8.29	-7.65	1+650.00	500	210.52	-37.90	-9.23					
0-150.00	50	215.04	-45.24	-58.98	0+450.00	350	199.27	-5.18	-12.22	1+650.00	650	290.82	-71.19	-15.70					
0-150.00	200	78.37	11.86	4.64	0+450.00	500	210.34	-4.69	1.04	1+650.00	800	342.78	-62.85	8.63					
0-150.00	350	158.78	39.36	13.60	0+450.00	650	326.45	-18.33	-11.52	1+650.00	950	323.87	-46.73	-12.67					
0-150.00	500	167.83	28.04	-1.91	0+450.00	800	315.67	-17.03	-2.75	1+650.00	1100	287.47	-40.28	-2.28					
0-150.00	650	331.20	6.41	-13.28	0+450.00	950	321.71	-24.55	2.51	1+650.00	1250	325.39	-43.62	-17.47					
0-150.00	800	268.04	2.94	-13.27	0+450.00	1100	270.05	-17.44	-21.51	1+650.00	1400	322.11	-38.77	-5.88					
0-150.00	950	308.56	-6.95	-22.93	0+450.00	1250	301.17	-30.60	-19.09	1+650.00	1550	319.48	-46.76	-17.13					
0-150.00	1100	299.64	-18.57	-10.33	0+450.00	1400	331.54	-36.24	-17.16	1+650.00	1700	301.83	-38.17	-12.06					
0-150.00	1250	305.64	-20.72	-13.55	0+450.00	1550	320.86	-39.70	-14.95	1+650.00	1850	316.47	-34.31	-13.47					
0-150.00	1400	330.30	-26.54	-17.86	0+450.00	1700	311.48	-32.53	-4.71	2+450.00	50	203.95	-27.55	-12.63					
0-150.00	1550	313.70	-29.73	-11.55	0+450.00	1850	312.77	-34.68	-23.93	2+450.00	200	202.15	-24.71	-13.53					
0-150.00	1700	297.44	-21.78	-6.86	0+750.00	50	144.69	-23.13	-26.88	2+450.00	350	221.52	-36.33	-12.77					
0-150.00	1850	308.92	-44.60	-12.46	0+750.00	200	191.34	-32.41	-12.37	2+450.00	500	240.52	-47.78	-12.03					
0+000.00	100	172.22	35.73	-12.86	0+750.00	350	196.74	-28.57	-10.49	2+450.00	650	307.61	-62.21	-1.52					
0+000.00	200	154.25	29.74	25.70	0+750.00	500	185.79	-27.49	-0.93	2+450.00	800	300.18	-56.89	-10.16					

ANEXO F2: ENSAYO E45-50

Cuadro C.2. Velocidades de flujo (mm/s) registrados en ensayo E45-50. Fuente: Propia

Sección	Posición	Vx	Vy	Vz	Sección	Posición	Vx	Vy	Vz	Sección	Posición	Vx	Vy	Vz	Sección	Posición	Vx	Vy	Vz
0-800.00	50	308.43	-38.54	-11.05	0+000.00	350	239.74	-3.60	-28.71	0+750.00	650	316.80	-57.86	-5.91	2+450.00	950	318.62	-61.57	-5.73
0-800.00	200	263.93	-32.53	2.09	0+000.00	500	230.53	-25.80	-3.56	0+750.00	800	299.54	-36.01	-10.07	2+450.00	1100	323.94	-56.86	-5.79
0-800.00	350	273.55	-35.08	1.11	0+000.00	650	337.13	-28.80	-5.61	0+750.00	950	336.38	-45.64	0.56	2+450.00	1250	297.46	-58.26	-13.55
0-800.00	500	277.59	-41.39	-12.39	0+000.00	800	329.01	-28.36	-11.45	0+750.00	1100	308.13	-41.41	-16.90	2+450.00	1400	303.48	-60.91	-11.81
0-800.00	650	283.30	-48.04	1.27	0+000.00	950	324.25	-26.10	-14.73	0+750.00	1250	335.38	-45.13	-7.03	2+450.00	1550	334.63	-63.91	-11.29
0-800.00	800	298.32	-30.60	-3.02	0+000.00	1100	278.48	-37.03	-9.02	0+750.00	1400	353.51	-50.58	-4.88	2+450.00	1700	284.06	-61.92	-19.17
0-800.00	950	277.81	-33.17	-6.09	0+000.00	1250	304.69	-45.41	-1.55	0+750.00	1550	311.84	-41.88	-11.21	2+450.00	1850	316.95	-49.44	-7.28
0-800.00	1100	283.52	-43.53	-5.62	0+000.00	1400	337.71	-48.47	-21.12	0+750.00	1700	303.02	-49.50	-2.50					
0-800.00	1250	283.33	-42.99	0.40	0+000.00	1550	308.02	-39.22	-7.41	0+750.00	1850	295.86	-48.73	-9.36					
0-800.00	1400	309.19	-49.45	-0.53	0+000.00	1700	335.15	-52.40	-11.21	1+050.00	50	206.99	-46.13	2.47					
0-800.00	1550	305.16	-35.61	-3.58	0+000.00	1850	315.00	-41.33	-6.44	1+050.00	200	237.11	-40.83	-0.39					
0-800.00	1700	282.66	-41.14	-6.68	0+150.00	50	256.43	-26.95	26.99	1+050.00	350	236.62	-51.76	5.09					
0-800.00	1850	283.23	-37.08	6.30	0+150.00	200	260.96	-9.84	-2.40	1+050.00	500	285.96	-53.55	-2.89					
0-450.00	50	271.76	-42.89	-3.49	0+150.00	350	215.01	-16.62	4.90	1+050.00	650	342.63	-66.79	-0.02					
0-450.00	200	275.08	-35.20	-6.21	0+150.00	500	229.04	-29.04	6.11	1+050.00	800	332.67	-56.53	-2.12					
0-450.00	350	274.23	-33.79	-20.28	0+150.00	650	333.03	-29.99	-2.27	1+050.00	950	324.90	-54.67	-5.72					
0-450.00	500	314.95	-6.90	-21.22	0+150.00	800	312.80	-25.71	-8.91	1+050.00	1100	292.62	-54.45	8.02					
0-450.00	650	290.04	-22.06	-4.76	0+150.00	950	341.41	-42.81	-6.43	1+050.00	1250	317.83	-38.05	9.30					
0-450.00	800	356.94	-53.25	-5.03	0+150.00	1100	295.68	-44.22	-5.59	1+050.00	1400	330.57	-50.42	-2.57					
0-450.00	950	318.88	-42.33	-2.55	0+150.00	1250	287.40	-26.67	-13.75	1+050.00	1550	322.57	-54.93	-4.36					
0-450.00	1100	284.62	-46.91	-15.51	0+150.00	1400	292.29	-36.94	-5.72	1+050.00	1700	295.20	-43.94	-14.98					
0-450.00	1250	279.82	-50.88	10.63	0+150.00	1550	302.47	-41.52	-8.32	1+050.00	1850	299.41	-49.30	-18.34					
0-450.00	1400	342.60	-52.80	-8.60	0+150.00	1700	340.50	-55.57	-3.34	1+650.00	50	246.79	-47.70	-7.94					
0-450.00	1550	289.85	-38.05	-4.97	0+150.00	1850	310.97	-39.85	-5.57	1+650.00	200	257.89	-49.47	-3.97					
0-450.00	1700	316.68	-39.93	-0.09	0+450.00	50	242.98	-47.82	-5.91	1+650.00	350	245.04	-47.32	-3.59					
0-450.00	1850	286.91	-37.35	-6.57	0+450.00	200	248.96	-32.17	10.73	1+650.00	500	267.93	-54.34	5.57					
0-150.00	50	257.80	-52.48	-24.17	0+450.00	350	235.61	-38.42	-11.02	1+650.00	650	342.27	-73.90	4.63					
0-150.00	200	199.53	2.50	18.31	0+450.00	500	238.97	-37.47	4.47	1+650.00	800	301.71	-62.98	1.73					
0-150.00	350	238.63	15.78	8.55	0+450.00	650	307.94	-38.67	0.84	1+650.00	950	285.79	-50.78	-6.11					
0-150.00	500	225.20	-13.22	-9.92	0+450.00	800	327.68	-34.57	-7.39	1+650.00	1100	331.99	-67.53	-3.34					
0-150.00	650	351.60	-33.84	-4.13	0+450.00	950	291.19	-40.90	-4.07	1+650.00	1250	320.95	-58.04	3.27					
0-150.00	800	319.40	-30.68	-13.70	0+450.00	1100	297.59	-31.13	-15.35	1+650.00	1400	322.54	-69.57	-4.24					
0-150.00	950	291.43	-41.81	-4.75	0+450.00	1250	322.17	-44.83	-3.86	1+650.00	1550	294.26	-37.48	-27.80					
0-150.00	1100	349.30	-38.32	-0.91	0+450.00	1400	329.74	-58.90	0.70	1+650.00	1700	290.54	-36.72	-4.32					
0-150.00	1250	315.54	-36.39	5.08	0+450.00	1550	318.88	-37.25	-1.82	1+650.00	1850	317.09	-60.22	8.33					
0-150.00	1400	308.40	-62.26	-9.33	0+450.00	1700	317.00	-47.61	-8.99	2+450.00	50	238.80	-43.57	2.64					
0-150.00	1550	331.95	-57.22	0.45	0+450.00	1850	312.95	-48.87	-8.34	2+450.00	200	275.19	-48.51	-7.01					
0-150.00	1700	326.88	-45.70	-10.44	0+750.00	50	208.90	-36.12	8.39	2+450.00	350	251.85	-49.88	-4.87					
0-150.00	1850	305.48	-41.88	-17.41	0+750.00	200	221.09	-38.65	6.83	2+450.00	500	287.48	-54.88	-9.82					
0+000.00	100	239.08	-10.55	13.24	0+750.00	350	225.46	-43.85	-13.92	2+450.00	650	286.80	-57.56	-4.06					
0+000.00	200	255.92	12.54	21.57	0+750.00	500	271.18	-49.99	6.91	2+450.00	800	301.28	-59.47	3.37					

ANEXO F3: ENSAYO E45-70

Cuadro C.3. Velocidades de flujo (mm/s) registrados en ensayo E45-70. Fuente: Propia

Sección	Posición	Vx	Vy	Vz	Sección	Posición	Vx	Vy	Vz	Sección	Posición	Vx	Vy	Vz	Sección	Posición	Vx	Vy	Vz
0-800.00	50	282.49	-24.66	-19.69	0+000.00	350	271.85	9.86	-7.96	0+750.00	650	316.12	-19.10	-10.65	2+450.00	950	287.07	-29.41	-15.57
0-800.00	200	284.37	-17.27	-7.42	0+000.00	500	286.34	-15.19	-8.44	0+750.00	800	266.95	-15.54	1.32	2+450.00	1100	256.41	-20.87	-21.98
0-800.00	350	272.29	-15.57	-2.71	0+000.00	650	337.28	-6.57	-9.27	0+750.00	950	282.06	-14.72	-6.63	2+450.00	1250	306.60	-30.35	-22.94
0-800.00	500	265.07	-25.81	-12.92	0+000.00	800	243.72	-4.31	-9.38	0+750.00	1100	300.75	-21.02	-17.59	2+450.00	1400	281.18	-21.74	-13.44
0-800.00	650	310.86	-17.66	-3.64	0+000.00	950	306.89	-11.21	0.20	0+750.00	1250	307.34	-39.14	-2.99	2+450.00	1550	289.69	-27.98	-13.95
0-800.00	800	311.89	-25.32	-10.19	0+000.00	1100	259.61	-3.11	-12.08	0+750.00	1400	304.31	-11.81	-6.54	2+450.00	1700	285.04	-28.58	-12.83
0-800.00	950	269.33	-2.87	-8.00	0+000.00	1250	303.50	-16.44	-11.78	0+750.00	1550	282.85	-12.19	-12.76	2+450.00	1850	287.34	-24.00	-14.09
0-800.00	1100	270.90	-17.93	-9.12	0+000.00	1400	331.52	-34.02	-21.28	0+750.00	1700	309.39	-31.92	-11.89					
0-800.00	1250	277.40	-25.11	-6.44	0+000.00	1550	332.17	-13.55	-6.87	0+750.00	1850	267.42	-19.04	-10.35					
0-800.00	1400	301.09	-16.37	-5.21	0+000.00	1700	249.58	-17.92	-19.35	1+050.00	50	271.91	-24.85	-14.18					
0-800.00	1550	291.43	-1.71	-15.57	0+000.00	1850	322.43	-29.22	-6.68	1+050.00	200	257.34	-29.61	0.42					
0-800.00	1700	286.79	-20.97	-14.59	0+150.00	50	280.27	-9.02	1.69	1+050.00	350	253.51	-7.64	-0.39					
0-800.00	1850	247.32	-11.51	-5.08	0+150.00	200	261.52	8.72	7.29	1+050.00	500	298.37	-35.35	-5.86					
0-450.00	50	280.17	-30.89	-10.49	0+150.00	350	251.29	-2.16	-13.16	1+050.00	650	309.87	-18.38	-3.59					
0-450.00	200	287.97	-14.01	-6.03	0+150.00	500	276.13	-13.26	-6.85	1+050.00	800	280.61	-19.01	-16.49					
0-450.00	350	219.60	-10.70	-9.94	0+150.00	650	303.66	-26.62	-5.87	1+050.00	950	268.96	-16.87	-15.15					
0-450.00	500	290.61	-4.00	-16.10	0+150.00	800	307.65	1.94	-7.02	1+050.00	1100	286.36	-21.88	-8.67					
0-450.00	650	298.45	2.65	-19.71	0+150.00	950	286.40	-15.22	-9.78	1+050.00	1250	290.83	-25.22	-9.09					
0-450.00	800	314.46	-4.76	-10.68	0+150.00	1100	291.46	-20.12	-19.29	1+050.00	1400	298.43	-18.87	-13.20					
0-450.00	950	269.40	-5.54	-7.42	0+150.00	1250	285.77	-11.02	-11.34	1+050.00	1550	321.60	-35.47	-12.52					
0-450.00	1100	261.21	-27.93	-2.71	0+150.00	1400	291.18	-23.31	-18.00	1+050.00	1700	299.22	-7.22	-8.02					
0-450.00	1250	314.66	-15.01	-2.84	0+150.00	1550	304.84	-14.05	-8.89	1+050.00	1850	288.80	-7.80	-10.98					
0-450.00	1400	301.56	-25.18	-0.41	0+150.00	1700	271.76	-19.59	-13.72	1+650.00	50	246.58	-21.41	-7.74					
0-450.00	1550	285.13	-13.58	-12.29	0+150.00	1850	290.05	-14.82	-12.09	1+650.00	200	254.82	-21.25	-6.02					
0-450.00	1700	279.67	-16.52	-9.23	0+450.00	50	225.65	-17.80	3.15	1+650.00	350	245.42	-22.67	-7.50					
0-450.00	1850	273.74	-17.81	-7.58	0+450.00	200	253.13	-16.12	-19.90	1+650.00	500	295.38	-29.27	-14.81					
0-150.00	50	303.77	-21.58	-29.78	0+450.00	350	231.30	-17.75	-2.40	1+650.00	650	275.97	-35.78	-14.15					
0-150.00	200	226.93	-3.03	0.45	0+450.00	500	259.92	-10.97	-8.42	1+650.00	800	266.93	-32.90	-0.40					
0-150.00	350	242.62	0.70	8.57	0+450.00	650	333.51	-15.66	-15.29	1+650.00	950	297.52	-18.29	1.36					
0-150.00	500	269.45	14.12	-4.49	0+450.00	800	306.02	-12.36	-15.41	1+650.00	1100	266.89	-22.67	-7.26					
0-150.00	650	298.52	-15.86	-14.93	0+450.00	950	300.90	-13.03	-23.32	1+650.00	1250	303.99	-12.18	-12.38					
0-150.00	800	305.78	-10.54	-9.54	0+450.00	1100	318.19	-19.34	-23.06	1+650.00	1400	288.85	-21.29	-16.32					
0-150.00	950	243.08	-11.63	-1.25	0+450.00	1250	263.81	-4.21	-2.04	1+650.00	1550	288.23	-21.92	-9.65					
0-150.00	1100	295.79	-0.90	-3.66	0+450.00	1400	293.85	-10.50	-10.62	1+650.00	1700	282.47	-8.35	-9.80					
0-150.00	1250	267.38	-13.94	-12.51	0+450.00	1550	311.55	-17.68	-8.23	1+650.00	1850	270.30	-22.60	-14.54					
0-150.00	1400	339.85	-25.13	-15.33	0+450.00	1700	280.48	-18.00	-15.77	2+450.00	50	265.42	-23.38	-13.09					
0-150.00	1550	307.05	-5.71	-3.75	0+450.00	1850	294.08	-27.23	-13.13	2+450.00	200	243.61	-20.96	-8.25					
0-150.00	1700	265.86	-11.90	-17.61	0+750.00	50	231.39	-10.95	-11.04	2+450.00	350	250.03	-25.40	-7.52					
0-150.00	1850	292.80	-15.49	-18.50	0+750.00	200	263.60	-17.83	-3.01	2+450.00	500	264.79	-28.99	-6.17					
0+000.00	100	252.58	-1.81	-1.78	0+750.00	350	232.24	-17.54	-1.78	2+450.00	650	270.59	-29.76	-11.78					
0+000.00	200	272.44	6.92	12.50	0+750.00	500	254.12	-17.51	6.07	2+450.00	800	256.59	-21.30	-17.23					

ANEXO F4: ENSAYO E90-30

Cuadro C.4. Velocidades de flujo (mm/s) registrados en ensayo E90-30. Fuente: Propia

Sección	Posición	Vx	Vy	Vz	Sección	Posición	Vx	Vy	Vz	Sección	Posición	Vx	Vy	Vz	Sección	Posición	Vx	Vy	Vz
0-800.00	50				0+000.00	350				0+750.00	650	295.83	-12.42	-2.10	2+450.00	950			
0-800.00	200				0+000.00	550	269.42	108.02	-51.05	0+750.00	800	314.60	-11.45	9.10	2+450.00	1100			
0-800.00	350				0+000.00	650	304.87	68.94	-27.53	0+750.00	950	271.30	22.10	4.32	2+450.00	1250			
0-800.00	500				0+000.00	800	291.25	31.64	-13.46	0+750.00	1100	262.52	7.72	-7.81	2+450.00	1400			
0-800.00	650				0+000.00	950	266.44	18.25	-17.15	0+750.00	1250	288.53	1.48	-0.42	2+450.00	1550			
0-800.00	800				0+000.00	1100	263.35	17.13	-17.06	0+750.00	1400	307.16	10.47	-5.22	2+450.00	1700			
0-800.00	950				0+000.00	1250	278.10	-1.46	-14.77	0+750.00	1550	263.70	19.02	-9.33	2+450.00	1850			
0-800.00	1100				0+000.00	1400	325.81	3.45	-4.23	0+750.00	1700	274.45	-5.59	-10.04					
0-800.00	1250				0+000.00	1550	291.85	-3.62	-12.62	0+750.00	1850	247.81	-3.01	-10.24					
0-800.00	1400				0+000.00	1700	299.62	-1.10	-5.74	1+050.00	50	150.44	-5.45	7.71					
0-800.00	1550				0+000.00	1850	277.83	-12.34	2.24	1+050.00	200	146.70	-11.20	-4.86					
0-800.00	1700				0+150.00	50	143.03	0.15	49.21	1+050.00	350	146.45	-16.39	-6.38					
0-800.00	1850				0+150.00	200	156.13	9.99	25.24	1+050.00	500	208.42	-38.17	17.69					
0-450.00	50	247.85	-8.20	-7.28	0+150.00	350	133.26	20.45	34.52	1+050.00	650	290.80	-26.66	7.77					
0-450.00	200	233.52	8.70	-4.25	0+150.00	500	140.53	25.86	18.87	1+050.00	800	308.18	-3.30	3.76					
0-450.00	350	234.24	16.89	-4.88	0+150.00	650	304.02	50.27	-6.72	1+050.00	950	262.02	3.71	-0.61					
0-450.00	500	232.90	18.68	-8.81	0+150.00	800	270.24	43.78	-8.41	1+050.00	1100	295.56	-2.39	1.83					
0-450.00	650	252.88	12.02	-9.14	0+150.00	950	269.12	17.20	-9.75	1+050.00	1250	286.91	0.56	-11.46					
0-450.00	800	256.84	12.10	-7.92	0+150.00	1100	272.77	19.35	-16.61	1+050.00	1400	307.97	-6.24	-9.74					
0-450.00	950	234.37	13.31	-3.24	0+150.00	1250	261.16	0.26	-6.87	1+050.00	1550	301.85	-11.41	-0.06					
0-450.00	1100	261.88	10.00	-13.04	0+150.00	1400	327.22	8.28	-12.73	1+050.00	1700	269.69	-4.10	0.45					
0-450.00	1250	273.37	9.53	-8.46	0+150.00	1550	289.21	-4.96	-10.09	1+050.00	1850	170.23	-11.16	-8.58					
0-450.00	1400	246.88	-0.25	-14.93	0+150.00	1700	266.28	-1.97	-6.54	1+650.00	50								
0-450.00	1550	266.14	-2.24	-13.32	0+150.00	1850	258.19	-5.32	-11.65	1+650.00	200								
0-450.00	1700	245.69	-3.46	-6.99	0+450.00	50	168.23	-6.93	37.57	1+650.00	350								
0-450.00	1850	260.65	-8.27	-9.35	0+450.00	200	179.43	13.82	5.46	1+650.00	500								
0-150.00	50	198.40	7.12	-25.03	0+450.00	350	166.90	5.61	10.61	1+650.00	650								
0-150.00	200	204.58	31.41	-34.92	0+450.00	500	156.11	-0.49	17.49	1+650.00	800								
0-150.00	350	201.56	52.85	-27.75	0+450.00	650	308.92	21.07	-8.28	1+650.00	950								
0-150.00	500	237.34	58.73	-27.10	0+450.00	800	288.34	16.87	-12.46	1+650.00	1100								
0-150.00	650	261.21	43.70	-23.61	0+450.00	950	270.39	10.66	-0.57	1+650.00	1250								
0-150.00	800	247.36	24.40	-11.06	0+450.00	1100	256.27	15.43	-6.12	1+650.00	1400								
0-150.00	950	282.76	20.35	-10.62	0+450.00	1250	256.36	3.98	-7.76	1+650.00	1550								
0-150.00	1100	252.69	7.30	-4.23	0+450.00	1400	302.57	-0.02	-12.34	1+650.00	1700								
0-150.00	1250	274.49	1.08	-6.18	0+450.00	1550	274.20	2.81	-13.97	1+650.00	1850								
0-150.00	1400	296.41	-4.40	-7.18	0+450.00	1700	260.03	7.86	-11.69	2+450.00	50								
0-150.00	1550	249.17	-2.53	-18.04	0+450.00	1850	261.11	-6.29	-15.86	2+450.00	200								
0-150.00	1700	251.72	-1.80	-8.66	0+750.00	50	139.70	-5.04	-1.36	2+450.00	350								
0-150.00	1850	266.55	-1.51	-7.37	0+750.00	200	155.97	-12.95	-12.93	2+450.00	500								
0+000.00	100				0+750.00	350	134.40	-11.11	-9.20	2+450.00	650								
0+000.00	200				0+750.00	500	188.17	-20.97	7.48	2+450.00	800								

ANEXO F5: ENSAYO E90-50

Cuadro C.5. Velocidades de flujo (mm/s) registrados en ensayo E90-50. Fuente: Propia

Sección	Posición	Vx	Vy	Vz	Sección	Posición	Vx	Vy	Vz	Sección	Posición	Vx	Vy	Vz	Sección	Posición	Vx	Vy	Vz
0-800.00	50				0+000.00	350				0+750.00	650	304.38	-46.34	-4.20	2+450.00	950			
0-800.00	200				0+000.00	550	302.85	37.75	-26.56	0+750.00	800	277.34	-23.82	-0.65	2+450.00	1100			
0-800.00	350				0+000.00	650	279.11	0.95	-12.32	0+750.00	950	249.44	-25.50	-7.36	2+450.00	1250			
0-800.00	500				0+000.00	800	290.41	-25.74	-13.47	0+750.00	1100	288.60	-37.77	-8.79	2+450.00	1400			
0-800.00	650				0+000.00	950	268.36	-31.25	-9.72	0+750.00	1250	257.68	-35.23	-14.12	2+450.00	1550			
0-800.00	800				0+000.00	1100	279.71	-32.05	-4.87	0+750.00	1400	305.53	-41.42	-11.72	2+450.00	1700			
0-800.00	950				0+000.00	1250	295.26	-43.68	-8.43	0+750.00	1550	301.00	-41.88	-9.21	2+450.00	1850			
0-800.00	1100				0+000.00	1400	307.47	-42.12	-8.42	0+750.00	1700	292.50	-39.99	-13.72					
0-800.00	1250				0+000.00	1550	318.18	-36.57	-11.16	0+750.00	1850	262.10	-38.50	-13.77					
0-800.00	1400				0+000.00	1700	304.59	-39.63	-27.56	1+050.00	50	203.54	-38.51	-0.69					
0-800.00	1550				0+000.00	1850	273.46	-38.52	-18.32	1+050.00	200	199.43	-35.71	-8.03					
0-800.00	1700				0+150.00	50	209.72	-24.58	41.14	1+050.00	350	189.82	-33.84	-13.64					
0-800.00	1850				0+150.00	200	237.96	-21.82	20.93	1+050.00	500	229.92	-43.08	3.13					
0-450.00	50	279.42	-37.05	-9.59	0+150.00	350	225.05	2.75	25.37	1+050.00	650	287.14	-44.48	-10.09					
0-450.00	200	269.34	-31.36	-13.79	0+150.00	500	255.97	0.40	5.84	1+050.00	800	296.57	-45.95	-14.72					
0-450.00	350	230.01	-14.88	-8.83	0+150.00	650	298.60	-2.19	-18.25	1+050.00	950	305.31	-31.15	-4.30					
0-450.00	500	256.11	-25.05	-12.99	0+150.00	800	277.52	-22.68	-22.17	1+050.00	1100	269.12	-41.21	-19.26					
0-450.00	650	269.06	-25.24	-5.36	0+150.00	950	266.73	-28.28	-12.62	1+050.00	1250	268.51	-27.98	-7.52					
0-450.00	800	267.98	-32.07	-16.54	0+150.00	1100	290.96	-48.91	-8.62	1+050.00	1400	337.24	-44.14	-16.82					
0-450.00	950	290.32	-27.84	-6.77	0+150.00	1250	262.24	-44.94	-4.48	1+050.00	1550	299.22	-36.65	-15.98					
0-450.00	1100	281.23	-34.39	-5.12	0+150.00	1400	277.50	-40.37	-17.79	1+050.00	1700	284.46	-37.81	-18.73					
0-450.00	1250	284.90	-40.98	-10.58	0+150.00	1550	300.52	-44.88	-11.40	1+050.00	1850	285.49	-39.51	-10.11					
0-450.00	1400	231.21	-35.56	-1.81	0+150.00	1700	272.68	-35.00	-14.70	1+650.00	50								
0-450.00	1550	293.03	-35.31	-8.28	0+150.00	1850	259.24	-40.31	-6.54	1+650.00	200								
0-450.00	1700	274.22	-39.46	-8.18	0+450.00	50	172.71	-31.57	-5.41	1+650.00	350								
0-450.00	1850	269.16	-34.10	-11.15	0+450.00	200	192.38	-36.71	-20.09	1+650.00	500								
0-150.00	50	228.50	-34.53	-19.81	0+450.00	350	163.45	-27.34	-14.54	1+650.00	650								
0-150.00	200	239.80	-21.38	-18.11	0+450.00	500	219.09	-45.63	-2.95	1+650.00	800								
0-150.00	350	223.88	-0.15	-17.84	0+450.00	650	230.72	-23.42	8.08	1+650.00	950								
0-150.00	500	253.16	3.50	-18.64	0+450.00	800	296.28	-23.06	-12.80	1+650.00	1100								
0-150.00	650	263.55	-8.01	-10.89	0+450.00	950	275.24	-29.28	-12.06	1+650.00	1250								
0-150.00	800	286.57	-16.55	-16.69	0+450.00	1100	290.28	-28.36	-11.18	1+650.00	1400								
0-150.00	950	280.23	-33.19	-12.61	0+450.00	1250	294.80	-39.10	-8.89	1+650.00	1550								
0-150.00	1100	284.15	-33.68	-5.90	0+450.00	1400	317.51	-52.13	-11.32	1+650.00	1700								
0-150.00	1250	271.79	-33.04	-5.67	0+450.00	1550	318.59	-49.90	-15.43	1+650.00	1850								
0-150.00	1400	288.53	-39.93	-15.65	0+450.00	1700	290.41	-41.97	-9.31	2+450.00	50								
0-150.00	1550	278.81	-42.56	-1.87	0+450.00	1850	266.28	-38.75	-14.27	2+450.00	200								
0-150.00	1700	281.39	-27.54	-9.01	0+750.00	50	175.69	-32.26	-2.03	2+450.00	350								
0-150.00	1850	278.43	-39.40	-16.51	0+750.00	200	206.36	-46.20	-15.79	2+450.00	500								
0+000.00	100				0+750.00	350	171.68	-31.25	14.32	2+450.00	650								
0+000.00	200				0+750.00	500	219.63	-32.73	10.84	2+450.00	800								

ANEXO F6: ENSAYO E90-70

Cuadro C.6. Velocidades de flujo (mm/s) registrados en ensayo E90-70. Fuente: Propia

Sección	Posición	Vx	Vy	Vz	Sección	Posición	Vx	Vy	Vz	Sección	Posición	Vx	Vy	Vz	Sección	Posición	Vx	Vy	Vz
0-800.00	50				0+000.00	350				0+750.00	650	315.30	-52.00	-4.17	2+450.00	950			
0-800.00	200				0+000.00	550	313.09	-33.14	-17.24	0+750.00	800	347.75	-64.41	-10.67	2+450.00	1100			
0-800.00	350				0+000.00	650	314.34	-46.43	-13.14	0+750.00	950	273.03	-51.66	-1.67	2+450.00	1250			
0-800.00	500				0+000.00	800	313.72	-47.76	-17.36	0+750.00	1100	268.09	-45.79	-14.78	2+450.00	1400			
0-800.00	650				0+000.00	950	295.03	-47.60	1.83	0+750.00	1250	274.66	-59.57	-4.01	2+450.00	1550			
0-800.00	800				0+000.00	1100	271.95	-52.15	-8.94	0+750.00	1400	275.78	-62.08	-17.59	2+450.00	1700			
0-800.00	950				0+000.00	1250	292.78	-70.71	-17.03	0+750.00	1550	301.31	-51.57	-13.86	2+450.00	1850			
0-800.00	1100				0+000.00	1400	350.68	-74.22	-8.84	0+750.00	1700	284.04	-51.73	-19.38					
0-800.00	1250				0+000.00	1550	339.59	-62.15	2.50	0+750.00	1850	258.27	-52.27	-9.55					
0-800.00	1400				0+000.00	1700	322.60	-51.17	-9.88	1+050.00	50	266.46	-59.42	-2.98					
0-800.00	1550				0+000.00	1850	316.24	-63.32	-18.70	1+050.00	200	255.77	-47.18	-8.32					
0-800.00	1700				0+150.00	50	276.33	-51.80	8.51	1+050.00	350	256.45	-58.72	-5.26					
0-800.00	1850				0+150.00	200	262.96	-48.21	3.56	1+050.00	500	269.54	-51.18	-4.78					
0-450.00	50	274.47	-61.09	-9.79	0+150.00	350	238.45	-33.82	18.49	1+050.00	650	294.75	-64.63	-11.47					
0-450.00	200	246.36	-46.85	-3.86	0+150.00	500	288.36	-30.98	-5.31	1+050.00	800	295.47	-55.11	-9.17					
0-450.00	350	256.48	-46.52	-6.05	0+150.00	650	283.59	-47.90	-14.66	1+050.00	950	305.16	-55.89	-9.65					
0-450.00	500	288.45	-48.28	-9.23	0+150.00	800	310.06	-55.45	-15.73	1+050.00	1100	304.80	-71.37	-16.63					
0-450.00	650	275.22	-48.15	-10.87	0+150.00	950	295.49	-46.54	-20.90	1+050.00	1250	311.24	-49.23	-15.08					
0-450.00	800	279.42	-58.56	-10.78	0+150.00	1100	270.05	-53.30	-9.37	1+050.00	1400	281.80	-59.61	-14.12					
0-450.00	950	288.32	-54.82	-10.63	0+150.00	1250	284.35	-63.25	-16.24	1+050.00	1550	318.49	-56.65	-15.13					
0-450.00	1100	273.03	-64.12	-19.93	0+150.00	1400	329.58	-71.21	-9.90	1+050.00	1700	266.56	-49.05	-5.27					
0-450.00	1250	294.74	-51.03	-16.65	0+150.00	1550	297.52	-64.65	-2.29	1+050.00	1850	268.62	-44.94	-2.15					
0-450.00	1400	303.84	-61.98	-17.49	0+150.00	1700	274.51	-59.93	-9.58	1+650.00	50								
0-450.00	1550	290.87	-46.61	-4.30	0+150.00	1850	268.99	-50.11	1.75	1+650.00	200								
0-450.00	1700	283.40	-61.32	-9.48	0+450.00	50	271.24	-55.14	-7.05	1+650.00	350								
0-450.00	1850	270.55	-53.42	-11.41	0+450.00	200	256.94	-53.81	-3.26	1+650.00	500								
0-150.00	50	291.08	-54.10	-13.52	0+450.00	350	248.32	-42.95	-15.33	1+650.00	650								
0-150.00	200	291.99	-35.29	-20.61	0+450.00	500	263.55	-53.04	-2.04	1+650.00	800								
0-150.00	350	253.24	-54.46	-9.15	0+450.00	650	298.09	-50.99	-7.10	1+650.00	950								
0-150.00	500	266.26	-42.99	-13.36	0+450.00	800	301.30	-65.51	-15.18	1+650.00	1100								
0-150.00	650	292.99	-44.85	-9.11	0+450.00	950	294.59	-47.88	-2.87	1+650.00	1250								
0-150.00	800	278.79	-54.81	-5.99	0+450.00	1100	278.56	-55.09	-9.69	1+650.00	1400								
0-150.00	950	288.78	-54.51	-10.25	0+450.00	1250	250.76	-49.34	-16.60	1+650.00	1550								
0-150.00	1100	272.11	-67.87	-2.95	0+450.00	1400	319.56	-64.39	-22.80	1+650.00	1700								
0-150.00	1250	282.06	-43.43	6.63	0+450.00	1550	288.21	-63.80	-20.80	1+650.00	1850								
0-150.00	1400	283.99	-55.52	-8.64	0+450.00	1700	311.04	-50.88	-16.42	2+450.00	50								
0-150.00	1550	268.20	-54.13	-12.76	0+450.00	1850	262.39	-48.81	-10.20	2+450.00	200								
0-150.00	1700	267.01	-43.95	-21.35	0+750.00	50	283.00	-72.89	-1.97	2+450.00	350								
0-150.00	1850	275.82	-44.93	-28.60	0+750.00	200	256.43	-49.49	-8.17	2+450.00	500								
0+000.00	100				0+750.00	350	234.61	-48.04	-6.63	2+450.00	650								
0+000.00	200				0+750.00	500	235.60	-45.68	2.44	2+450.00	800								

ANEXO F7: ENSAYO E135-30

Cuadro C.7. Velocidades de flujo (mm/s) registrados en ensayo E135-30. Fuente: Propia

Sección	Posición	Vx	Vy	Vz	Sección	Posición	Vx	Vy	Vz	Sección	Posición	Vx	Vy	Vz	Sección	Posición	Vx	Vy	Vz
0-800.00	50	282.61	15.61	-8.72	0+000.00	350	207.32	58.75	-19.53	0+750.00	650	261.13	39.43	8.05	2+450.00	950	329.78	11.86	-4.36
0-800.00	200	282.97	43.14	1.18	0+000.00	500	253.66	69.90	-17.06	0+750.00	800	341.79	78.34	-5.24	2+450.00	1100	296.98	21.69	-1.77
0-800.00	350	250.95	28.01	4.96	0+000.00	650	292.41	61.79	-18.13	0+750.00	950	305.65	69.66	-3.10	2+450.00	1250	322.23	10.51	-6.99
0-800.00	500	274.97	40.15	5.33	0+000.00	800	294.47	51.89	3.49	0+750.00	1100	284.11	51.01	-7.19	2+450.00	1400	339.58	24.02	-7.78
0-800.00	650	311.97	45.03	-4.77	0+000.00	950	311.42	62.94	-15.91	0+750.00	1250	314.14	64.76	-11.31	2+450.00	1550	319.67	34.04	2.86
0-800.00	800	271.06	42.17	-2.17	0+000.00	1100	270.81	35.58	-4.64	0+750.00	1400	347.81	54.03	-16.16	2+450.00	1700	341.45	25.80	-5.65
0-800.00	950	250.56	28.80	0.19	0+000.00	1250	341.89	52.76	-13.78	0+750.00	1550	312.18	47.76	-3.23	2+450.00	1850	329.06	28.44	0.96
0-800.00	1100	276.11	47.09	-1.24	0+000.00	1400	282.31	39.33	-0.78	0+750.00	1700	311.61	38.37	-5.63					
0-800.00	1250	315.68	32.04	-11.81	0+000.00	1550	289.88	37.16	-6.38	0+750.00	1850	324.51	35.05	-5.40					
0-800.00	1400	291.13	45.50	-2.39	0+000.00	1700	304.74	32.22	-4.10	1+050.00	50	213.83	18.64	0.51					
0-800.00	1550	276.14	32.52	-11.14	0+000.00	1850	300.93	35.19	-8.93	1+050.00	200	177.37	19.57	-4.45					
0-800.00	1700	315.58	30.32	-9.98	0+150.00	50	142.53	12.18	23.19	1+050.00	350	146.59	4.01	-7.05					
0-800.00	1850	232.92	22.59	14.02	0+150.00	200				1+050.00	500	149.47	-11.05	5.21					
0-450.00	50	314.78	26.73	-7.47	0+150.00	380	174.31	112.31	-53.53	1+050.00	650	248.24	17.85	28.90					
0-450.00	200	277.37	36.99	-9.97	0+150.00	500	218.33	91.15	-28.91	1+050.00	800	355.84	43.99	1.28					
0-450.00	350	230.27	46.02	-4.51	0+150.00	650	294.12	86.85	-24.52	1+050.00	950	311.14	61.62	-0.26					
0-450.00	500	280.26	36.04	-8.42	0+150.00	800	305.03	65.03	-14.77	1+050.00	1100	295.07	54.39	-0.43					
0-450.00	650	276.13	45.39	-4.85	0+150.00	950	284.63	48.84	-15.35	1+050.00	1250	331.20	51.62	-12.05					
0-450.00	800	249.56	33.93	4.82	0+150.00	1100	291.26	38.87	-17.32	1+050.00	1400	321.88	45.88	-7.58					
0-450.00	950	286.46	49.43	0.14	0+150.00	1250	298.11	42.12	-20.43	1+050.00	1550	296.66	42.55	-8.76					
0-450.00	1100	268.79	31.68	1.18	0+150.00	1400	318.40	34.96	-6.24	1+050.00	1700	303.14	43.66	-15.44					
0-450.00	1250	304.44	43.46	1.38	0+150.00	1550	286.13	38.53	-1.96	1+050.00	1850	299.31	39.46	-9.14					
0-450.00	1400	320.13	43.47	-10.59	0+150.00	1700	261.97	24.00	-8.58	1+650.00	50	235.65	18.31	-4.58					
0-450.00	1550	299.84	34.57	-1.26	0+150.00	1850	308.43	32.97	-15.28	1+650.00	200	217.25	11.13	-2.24					
0-450.00	1700	301.79	42.80	-6.78	0+450.00	50	183.03	15.04	11.28	1+650.00	350	204.69	7.85	-8.51					
0-450.00	1850	302.36	38.22	-11.34	0+450.00	200	143.79	9.54	12.23	1+650.00	500	251.49	8.72	-27.59					
0-150.00	50	240.12	34.30	-10.86	0+450.00	350	159.22	22.51	29.13	1+650.00	650	240.54	-10.68	7.40					
0-150.00	200	282.98	54.02	-18.54	0+450.00	500	138.70	52.33	-1.67	1+650.00	800	332.77	26.49	8.81					
0-150.00	350	242.06	45.37	-2.48	0+450.00	650	320.64	116.93	-44.70	1+650.00	950	306.15	34.71	2.45					
0-150.00	500	296.11	52.43	-11.56	0+450.00	800	279.27	95.18	-13.64	1+650.00	1100	322.53	34.31	3.78					
0-150.00	650	302.04	52.44	-7.74	0+450.00	950	285.02	60.82	-10.04	1+650.00	1250	323.04	33.88	2.36					
0-150.00	800	266.18	42.55	-16.34	0+450.00	1100	259.60	51.39	3.55	1+650.00	1400	337.18	40.70	-0.41					
0-150.00	950	310.83	51.79	-12.41	0+450.00	1250	318.36	49.77	-12.03	1+650.00	1550	309.51	51.50	-19.73					
0-150.00	1100	266.48	37.94	0.64	0+450.00	1400	303.39	38.45	-5.84	1+650.00	1700	318.46	41.95	-17.73					
0-150.00	1250	325.45	32.79	-8.59	0+450.00	1550	275.21	37.41	-9.00	1+650.00	1850	306.02	42.05	-4.04					
0-150.00	1400	327.59	42.98	1.92	0+450.00	1700	269.03	29.09	-4.22	2+450.00	50	213.95	17.67	-2.39					
0-150.00	1550	278.44	39.61	-5.90	0+450.00	1850	282.95	16.25	-7.73	2+450.00	200	212.00	11.76	-6.69					
0-150.00	1700	306.15	32.92	-7.61	0+750.00	50	239.98	38.07	23.72	2+450.00	350	213.74	13.11	-16.45					
0-150.00	1850	287.17	34.17	-9.84	0+750.00	200	167.25	34.62	9.16	2+450.00	500	259.04	15.38	-11.55					
0+000.00	100	220.66	62.77	-48.26	0+750.00	350	145.31	13.87	6.71	2+450.00	650	316.75	11.43	-15.63					
0+000.00	200	252.13	74.53	-43.17	0+750.00	500	144.22	15.94	7.14	2+450.00	800	355.61	7.48	-17.03					

ANEXO F8: ENSAYO 135-50

Cuadro C.8. Velocidades de flujo (mm/s) registrados en ensayo E135-50. Fuente: Propia

Sección	Posición	Vx	Vy	Vz	Sección	Posición	Vx	Vy	Vz	Sección	Posición	Vx	Vy	Vz	Sección	Posición	Vx	Vy	Vz
0-800.00	50	328.83	-41.12	-7.39	0+000.00	350	271.97	8.18	-7.09	0+750.00	650	305.30	17.49	4.01	2+450.00	950	320.69	-32.23	1.43
0-800.00	200	306.55	-21.19	10.08	0+000.00	500	295.54	-11.92	-10.33	0+750.00	800	300.60	17.70	-10.72	2+450.00	1100	272.18	-28.94	-1.01
0-800.00	350	239.08	3.21	3.99	0+000.00	650	274.97	-7.85	0.30	0+750.00	950	312.43	-6.32	-16.26	2+450.00	1250	276.97	-24.18	-15.98
0-800.00	500	286.14	-29.99	-8.17	0+000.00	800	289.70	-4.92	-5.01	0+750.00	1100	292.83	5.04	-2.20	2+450.00	1400	319.94	-42.20	-14.73
0-800.00	650	337.07	-3.12	-13.19	0+000.00	950	287.47	-13.79	-7.01	0+750.00	1250	313.28	-16.15	-16.40	2+450.00	1550	296.23	-10.16	15.57
0-800.00	800	282.02	-8.10	-3.30	0+000.00	1100	303.45	-20.22	-14.50	0+750.00	1400	307.28	-29.67	-5.79	2+450.00	1700	303.09	-22.47	-6.03
0-800.00	950	268.90	-13.86	-4.20	0+000.00	1250	303.03	-13.88	-13.22	0+750.00	1550	274.34	-9.27	-8.23	2+450.00	1850	299.79	-13.20	-11.74
0-800.00	1100	250.21	-6.73	-40.70	0+000.00	1400	281.93	-19.89	-9.17	0+750.00	1700	303.69	-20.21	-14.00					
0-800.00	1250	303.95	-19.03	-5.06	0+000.00	1550	309.57	-10.75	-13.02	0+750.00	1850	308.00	-17.68	-3.45					
0-800.00	1400	299.25	-18.11	3.00	0+000.00	1700	273.30	-20.82	-7.96	1+050.00	50	256.82	-26.85	-0.59					
0-800.00	1550	306.77	-1.23	-8.43	0+000.00	1850	284.11	-19.23	-4.64	1+050.00	200	204.23	-3.65	-7.95					
0-800.00	1700	252.66	-3.84	-16.28	0+150.00	50	208.62	-20.56	1.59	1+050.00	350	183.67	-3.09	-4.21					
0-800.00	1850	285.78	-22.98	-12.52	0+150.00	250	257.99	44.10	-42.69	1+050.00	500	187.80	-18.30	6.88					
0-450.00	50	277.63	-18.72	-10.38	0+150.00	350	240.92	24.22	-22.34	1+050.00	650	333.70	-32.50	-3.21					
0-450.00	200	281.59	-23.65	-15.83	0+150.00	500	262.62	17.49	-15.91	1+050.00	800	316.26	0.07	-3.24					
0-450.00	350	275.04	-23.26	3.47	0+150.00	650	267.40	-4.53	3.23	1+050.00	950	291.75	4.02	-3.00					
0-450.00	500	295.60	-3.84	-12.45	0+150.00	800	281.86	17.38	-17.25	1+050.00	1100	307.36	-7.27	-3.10					
0-450.00	650	294.33	-18.02	0.27	0+150.00	950	298.22	-19.93	-13.71	1+050.00	1250	318.73	-11.73	-11.55					
0-450.00	800	296.65	-3.39	-0.85	0+150.00	1100	305.38	-17.85	-0.54	1+050.00	1400	302.43	-12.96	-9.52					
0-450.00	950	279.87	-9.27	-14.40	0+150.00	1250	279.80	-15.05	1.16	1+050.00	1550	303.50	-22.65	-2.19					
0-450.00	1100	279.30	-27.20	-16.61	0+150.00	1400	300.65	-6.98	-17.08	1+050.00	1700	299.88	-16.10	-13.22					
0-450.00	1250	283.54	-10.65	1.81	0+150.00	1550	264.84	-19.68	-7.31	1+050.00	1850	278.17	-13.82	-12.97					
0-450.00	1400	317.01	-10.02	-6.69	0+150.00	1700	310.31	-17.31	-9.27	1+650.00	50	240.07	-18.69	-4.51					
0-450.00	1550	293.40	-7.66	-7.80	0+150.00	1850	285.72	-17.58	-7.45	1+650.00	200	200.27	-14.34	-4.81					
0-450.00	1700	257.69	-17.22	-0.27	0+450.00	50	233.33	-14.51	11.99	1+650.00	350	176.28	-16.96	-2.19					
0-450.00	1850	290.26	-15.33	-6.36	0+450.00	200	210.95	-24.21	9.29	1+650.00	500	258.49	-41.89	-2.84					
0-150.00	50	258.77	-8.73	-11.25	0+450.00	350	176.02	-1.26	8.30	1+650.00	650	299.06	-33.52	-4.01					
0-150.00	200	297.99	-9.59	-19.54	0+450.00	500	280.78	74.73	-32.59	1+650.00	800	282.41	-34.66	-8.47					
0-150.00	350	284.27	-1.60	-0.25	0+450.00	650	278.18	26.54	-12.12	1+650.00	950	305.59	-21.90	1.21					
0-150.00	500	285.71	-8.63	-10.92	0+450.00	800	300.66	2.05	-13.08	1+650.00	1100	271.69	-11.39	-2.64					
0-150.00	650	318.70	-17.56	-10.04	0+450.00	950	276.90	-0.09	-0.46	1+650.00	1250	287.22	-2.66	-4.51					
0-150.00	800	258.84	-3.05	-6.96	0+450.00	1100	276.65	-16.25	-16.85	1+650.00	1400	288.80	-7.03	-18.69					
0-150.00	950	269.82	-14.87	-19.14	0+450.00	1250	302.06	-5.12	-9.41	1+650.00	1550	276.55	-14.01	-21.83					
0-150.00	1100	316.04	-23.45	-10.48	0+450.00	1400	326.67	-15.97	-6.33	1+650.00	1700	304.59	-24.96	-21.06					
0-150.00	1250	315.25	-17.12	-29.63	0+450.00	1550	301.50	-27.97	-8.19	1+650.00	1850	293.15	-23.07	-10.75					
0-150.00	1400	316.44	-7.82	-4.81	0+450.00	1700	282.70	-15.06	-7.62	2+450.00	50	247.69	-16.59	-3.41					
0-150.00	1550	258.60	-18.49	-10.19	0+450.00	1850	277.80	-24.11	-4.00	2+450.00	200	234.03	-21.74	-6.80					
0-150.00	1700	278.57	-22.82	-4.74	0+750.00	50	244.26	-27.31	-1.82	2+450.00	350	188.54	-16.99	-0.86					
0-150.00	1850	275.09	-13.38	-6.68	0+750.00	200	229.67	-21.54	1.58	2+450.00	500	275.74	-25.36	-10.84					
0+000.00	50	268.08	11.09	-30.51	0+750.00	350	173.40	4.46	8.39	2+450.00	650	295.26	-36.73	-13.47					
0+000.00	200	269.71	4.58	-12.16	0+750.00	500	194.88	5.77	18.44	2+450.00	800	307.57	-25.16	-18.53					

ANEXO F9: ENSAYO 135-70

Cuadro C.9. Velocidades de flujo (mm/s) registrados en ensayo E135-70. Fuente: Propia

Sección	Posición	Vx	Vy	Vz	Sección	Posición	Vx	Vy	Vz	Sección	Posición	Vx	Vy	Vz	Sección	Posición	Vx	Vy	Vz
0-800.00	50	302.94	0.76	-1.65	0+000.00	350	261.18	-0.61	-16.64	0+750.00	650	317.89	16.44	0.63	2+450.00	950	286.95	-16.94	-5.99
0-800.00	200	283.53	-0.86	-10.55	0+000.00	500	311.45	7.84	-9.71	0+750.00	800	299.19	6.49	-15.22	2+450.00	1100	260.75	-10.35	-1.87
0-800.00	350	254.18	-9.35	-1.00	0+000.00	650	287.30	6.08	-8.57	0+750.00	950	289.11	2.37	0.74	2+450.00	1250	258.74	1.82	-14.39
0-800.00	500	300.17	2.28	-5.96	0+000.00	800	312.05	17.96	-16.85	0+750.00	1100	276.70	6.21	-9.83	2+450.00	1400	277.26	-1.00	-7.91
0-800.00	650	309.81	9.25	-19.18	0+000.00	950	305.89	13.30	-6.04	0+750.00	1250	288.39	6.71	-13.04	2+450.00	1550	286.47	-0.06	-12.85
0-800.00	800	298.93	2.63	2.62	0+000.00	1100	254.69	-6.73	-9.46	0+750.00	1400	273.63	-0.99	-10.49	2+450.00	1700	291.81	0.45	-19.67
0-800.00	950	249.35	-2.69	-2.85	0+000.00	1250	296.44	3.66	-15.31	0+750.00	1550	269.64	-1.08	-6.47	2+450.00	1850	293.58	-17.72	-9.51
0-800.00	1100	294.78	6.64	3.46	0+000.00	1400	268.82	-5.28	-8.82	0+750.00	1700	301.35	2.29	-11.86					
0-800.00	1250	309.74	0.85	-3.77	0+000.00	1550	281.25	7.05	-14.83	0+750.00	1850	275.63	0.05	-15.06					
0-800.00	1400	316.25	13.25	-22.76	0+000.00	1700	257.75	4.13	-4.45	1+050.00	50	250.80	-2.10	-9.66					
0-800.00	1550	274.10	-0.84	-16.61	0+000.00	1850	288.37	-7.48	-14.65	1+050.00	200	231.80	-7.84	-8.76					
0-800.00	1700	289.93	-1.59	-11.89	0+150.00	50	237.94	-0.09	9.04	1+050.00	350	227.81	4.30	1.40					
0-800.00	1850	274.57	-8.12	-10.27	0+150.00	200	265.41	33.10	-13.56	1+050.00	500	293.82	-13.33	-10.62					
0-450.00	50	255.11	10.36	-10.73	0+150.00	350	265.01	18.69	-14.26	1+050.00	650	276.90	-1.47	-2.67					
0-450.00	200	269.24	0.06	-13.27	0+150.00	500	299.31	13.67	-3.41	1+050.00	800	299.72	5.33	-9.21					
0-450.00	350	302.12	6.20	-0.83	0+150.00	650	229.26	10.14	-0.49	1+050.00	950	308.49	0.58	-8.91					
0-450.00	500	297.52	-7.50	-4.99	0+150.00	800	291.73	2.54	-18.23	1+050.00	1100	288.05	-5.73	-14.05					
0-450.00	650	296.38	1.95	-20.20	0+150.00	950	279.12	-2.06	-0.91	1+050.00	1250	301.59	-1.47	-4.52					
0-450.00	800	278.51	-6.46	-11.93	0+150.00	1100	289.92	2.92	-3.70	1+050.00	1400	306.96	-11.10	-11.00					
0-450.00	950	241.73	4.71	-2.17	0+150.00	1250	292.53	-1.93	-7.19	1+050.00	1550	311.31	5.96	-2.25					
0-450.00	1100	303.42	-6.89	-18.26	0+150.00	1400	335.97	6.83	-8.23	1+050.00	1700	291.76	-0.61	-25.26					
0-450.00	1250	285.75	-8.76	-19.13	0+150.00	1550	266.81	5.80	-25.77	1+050.00	1850	304.30	2.71	-12.76					
0-450.00	1400	307.17	-0.38	-6.50	0+150.00	1700	284.22	-2.46	-20.01	1+650.00	50	248.09	-4.43	-2.31					
0-450.00	1550	292.68	6.92	-16.66	0+150.00	1850	283.20	-5.21	-15.61	1+650.00	200	248.03	-9.03	-7.37					
0-450.00	1700	265.63	-0.21	1.54	0+450.00	50	269.91	-15.87	-17.26	1+650.00	350	250.17	-10.84	-6.41					
0-450.00	1850	303.59	-4.02	-1.78	0+450.00	200	249.93	-18.16	0.64	1+650.00	500	268.83	-11.14	-9.73					
0-150.00	50	286.01	-7.28	-13.78	0+450.00	350	233.45	-4.34	14.78	1+650.00	650	280.87	-18.24	-18.43					
0-150.00	200	314.15	13.10	-16.57	0+450.00	500	261.10	35.80	-12.67	1+650.00	800	343.77	-18.34	5.34					
0-150.00	350	296.86	-1.25	-8.29	0+450.00	650	310.62	23.21	-11.73	1+650.00	950	275.29	0.32	10.96					
0-150.00	500	320.95	-7.78	4.20	0+450.00	800	291.92	8.88	-12.26	1+650.00	1100	310.16	3.88	2.88					
0-150.00	650	319.45	10.93	-17.79	0+450.00	950	275.77	12.80	-6.95	1+650.00	1250	315.30	-8.44	-11.65					
0-150.00	800	293.70	8.78	4.03	0+450.00	1100	294.59	-2.62	-13.09	1+650.00	1400	280.35	-6.98	-14.16					
0-150.00	950	269.33	-0.41	-6.84	0+450.00	1250	293.17	-10.59	-14.44	1+650.00	1550	308.22	-4.58	-10.92					
0-150.00	1100	293.58	-6.55	-3.34	0+450.00	1400	314.43	-6.98	-16.43	1+650.00	1700	318.06	-2.58	-9.87					
0-150.00	1250	272.72	-1.18	-3.30	0+450.00	1550	290.14	-6.95	-4.27	1+650.00	1850	292.99	-0.87	-4.15					
0-150.00	1400	324.37	-0.19	-33.82	0+450.00	1700	285.61	-0.27	-18.07	2+450.00	50	252.39	-2.22	-8.70					
0-150.00	1550	300.57	-11.13	-11.35	0+450.00	1850	288.42	-9.57	-14.75	2+450.00	200	241.04	-5.38	-8.22					
0-150.00	1700	275.06	-5.80	-6.50	0+750.00	50	228.82	-8.81	-12.00	2+450.00	350	239.85	-5.60	-4.45					
0-150.00	1850	262.77	-0.17	-8.51	0+750.00	200	234.03	4.20	-7.75	2+450.00	500	270.99	-6.16	-13.92					
0+000.00	100	293.98	6.32	-24.71	0+750.00	350	242.80	2.31	-4.51	2+450.00	650	317.91	-5.40	-3.86					
0+000.00	200	284.89	16.42	-18.56	0+750.00	500	282.11	1.74	-1.53	2+450.00	800	294.59	-11.70	-13.68					

ANEXO G

TOPOGRAFÍAS DE LECHO

Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota
351	-25	42.5	96.79	401	-20	75	97.17	451	-15	140	99.73	501	-5	10	91.31	551	0	27.5	98.53	601	5	45	98.04	651	10	70	96.58
352	-25	45	97.24	402	-20	80	99.26	452	-15	150	97.91	502	-5	12.5	91.46	552	0	30	97.47	602	5	47.5	98.08	652	10	75	96.57
353	-25	47.5	97.28	403	-20	85	98.95	453	-15	160	98.88	503	-5	15	91.50	553	0	32.5	97.71	603	5	50	97.73	653	10	80	96.66
354	-25	50	97.73	404	-20	90	99.44	454	-15	170	100.46	504	-5	17.5	91.55	554	0	35	98.96	604	5	52.5	97.57	654	10	85	98.55
355	-25	52.5	97.17	405	-20	95	101.03	455	-15	180	98.04	505	-5	20	93.39	555	0	37.5	100.40	605	5	55	97.32	655	10	90	97.24
356	-25	55	96.22	406	-20	100	99.82	456	-15	190	97.02	506	-5	22.5	95.04	556	0	40	99.95	606	5	57.5	96.16	656	10	95	95.43
357	-25	57.5	96.36	407	-20	110	99.69	457	-10	1.2	92.81	507	-5	25	97.18	557	0	42.5	98.89	607	5	60	95.60	657	10	100	96.42
358	-25	60	96.30	408	-20	120	100.02	458	-10	5	91.63	508	-5	27.5	97.43	558	0	45	97.64	608	5	65	96.29	658	10	110	99.09
359	-25	62.5	96.55	409	-20	130	99.15	459	-10	10	91.71	509	-5	30	98.37	559	0	47.5	96.98	609	5	70	97.28	659	10	120	99.17
360	-25	65	95.79	410	-20	140	100.03	460	-10	14	91.09	510	-5	32.5	99.11	560	0	50	94.43	610	5	75	97.57	660	10	130	99.25
361	-25	67.5	96.14	411	-20	150	98.21	461	-10	17.5	91.05	511	-5	35	100.16	561	0	52.5	94.17	611	5	80	97.66	661	10	140	99.03
362	-25	70	96.38	412	-20	160	97.28	462	-10	20	91.99	512	-5	37.5	99.60	562	0	55	94.62	612	5	85	97.75	662	10	150	100.41
363	-25	72.5	96.33	413	-20	170	99.06	463	-10	22.5	93.84	513	-5	40	98.25	563	0	57.5	94.76	613	5	90	96.54	663	10	160	98.98
364	-25	75	96.77	414	-20	180	99.04	464	-10	25	94.68	514	-5	42.5	98.29	564	0	60	95.90	614	5	95	96.43	664	10	170	99.06
365	-25	80	98.76	415	-20	190	97.02	465	-10	27.5	96.43	515	-5	45	98.94	565	0	62.5	97.15	615	5	100	97.12	665	10	180	97.64
366	-25	85	99.85	416	-15	1.2	95.16	466	-10	30	96.87	516	-5	47.5	97.48	566	0	65	96.79	616	5	110	98.39	666	10	190	96.92
367	-25	90	98.14	417	-15	5	93.93	467	-10	32.5	98.41	517	-5	50	96.03	567	0	67.5	97.04	617	5	120	99.27	667	15	1.2	95.26
368	-25	95	99.63	418	-15	10	93.01	468	-10	35	99.46	518	-5	52.5	96.07	568	0	70	97.18	618	5	130	98.85	668	15	5	97.63
369	-25	100	99.42	419	-15	16	91.62	469	-10	37.5	99.10	519	-5	55	95.82	569	0	75	97.27	619	5	140	100.03	669	15	7.5	97.37
370	-25	110	99.89	420	-15	19	90.77	470	-10	40	97.75	520	-5	57.5	96.76	570	0	80	97.46	620	5	150	99.41	670	15	10	96.91
371	-25	120	97.77	421	-15	22.5	91.84	471	-10	42.5	98.49	521	-5	60	96.40	571	0	85	96.75	621	5	160	96.28	671	15	12.5	97.06
372	-25	130	97.95	422	-15	25	92.78	472	-10	45	98.74	522	-5	62.5	96.35	572	0	90	96.24	622	5	170	100.16	672	15	15	97.20
373	-25	140	101.33	423	-15	27.5	93.53	473	-10	47.5	97.48	523	-5	65	95.59	573	0	95	97.93	623	5	180	98.64	673	15	17.5	97.85
374	-25	150	99.51	424	-15	30	95.27	474	-10	50	95.93	524	-5	67.5	95.64	574	0	100	98.32	624	5	190	98.52	674	15	20	98.29
375	-25	160	98.08	425	-15	32.5	96.51	475	-10	52.5	95.97	525	-5	70	96.18	575	0	110	99.09	625	10	1.2	92.51	675	15	22.5	98.44
376	-25	170	100.26	426	-15	35	97.56	476	-10	55	96.42	526	-5	75	98.67	576	0	120	99.67	626	10	5	93.33	676	15	25	99.28
377	-25	180	99.84	427	-15	37.5	98.20	477	-10	57.5	95.86	527	-5	80	98.86	577	0	130	100.95	627	10	7.5	93.87	677	15	27.5	99.13
378	-25	190	99.62	428	-15	40	98.05	478	-10	60	95.10	528	-5	85	98.05	578	0	140	98.53	628	10	10	94.71	678	15	30	97.87
379	-20	1.2	97.76	429	-15	42.5	99.39	479	-10	62.5	95.95	529	-5	90	98.14	579	0	150	99.71	629	10	12.5	96.26	679	15	32.5	98.51
380	-20	5	96.98	430	-15	45	99.34	480	-10	65	96.79	530	-5	95	98.73	580	0	160	96.98	630	10	15	96.40	680	15	35	98.86
381	-20	10	96.11	431	-15	47.5	97.88	481	-10	67.5	96.84	531	-5	100	99.62	581	0	170	99.96	631	10	17.5	97.35	681	15	37.5	98.60
382	-20	15	94.60	432	-15	50	96.43	482	-10	70	97.68	532	-5	110	100.59	582	0	180	97.94	632	10	20	97.89	682	15	40	98.15
383	-20	21	92.11	433	-15	52.5	95.07	483	-10	75	97.67	533	-5	120	99.67	583	0	190	99.72	633	10	22.5	97.84	683	15	42.5	99.29
384	-20	25	91.28	434	-15	55	94.82	484	-10	80	98.86	534	-5	130	98.95	584	5	1.2	90.26	634	10	25	97.68	684	15	45	98.14
385	-20	30	93.17	435	-15	57.5	94.56	485	-10	85	98.35	535	-5	140	99.28	585	5	5	91.63	635	10	27.5	99.23	685	15	47.5	97.38
386	-20	32.5	93.91	436	-15	60	95.80	486	-10	90	96.44	536	-5	150	99.11	586	5	7.5	92.07	636	10	30	98.27	686	15	50	96.53
387	-20	35	95.26	437	-15	62.5	96.05	487	-10	95	98.83	537	-5	160	98.08	587	5	10	92.91	637	10	32.5	98.51	687	15	52.5	98.17
388	-20	37.5	96.30	438	-15	65	96.89	488	-10	100	99.32	538	-5	170	100.16	588	5	12.5	94.36	638	10	35	98.86	688	15	55	97.22
389	-20	40	97.25	439	-15	67.5	97.74	489	-10	110	99.99	539	-5	180	98.04	589	5	15	95.70	639	10	37.5	98.70	689	15	60	95.30
390	-20	42.5	98.29	440	-15	70	96.98	490	-10	120	100.07	540	-5	190	99.17	590	5	17.5	96.85	640	10	40	98.55	690	15	65	96.19
391	-20	45	99.04	441	-15	75	96.97	491	-10	130	96.85	541	0	3	91.19	591	5	20	97.39	641	10	42.5	97.49	691	15	70	97.18
392	-20	47.5	98.18	442	-15	80	98.46	492	-10	140	100.03	542	0	5	91.13	592	5	22.5	97.94	642	10	45	96.54	692	15	75	98.17
393	-20	50	96.23	443	-15	85	97.95	493	-10	150	97.41	543	0	7.5	91.52	593	5	25	97.68	643	10	47.5	96.18	693	15	80	98.16
394	-20	52.5	94.67	444	-15	90	97.64	494	-10	160	100.08	544	0	10	91.51	594	5	27.5	98.83	644	10	50	97.43	694	15	85	99.15
395	-20	55	95.12	445	-15	95	99.13	495	-10	170	101.06	545	0	12.5	92.56	595	5	30	98.17	645	10	52.5	97.42	695	15	90	97.84
396	-20	57.5	95.06	446	-15	100	98.32	496	-10	180	98.24	546	0	15	93.30	596	5	32.5	99.01	646	10	55	97.32	696	15	95	96.83
397	-20	60	95.10	447	-15	105	96.71	497	-10	190	97.97	547	0	17.5	94.35	597	5	35	99.86	647	10	57.5	96.26	697	15	100	95.72
398	-20	62.5	95.45	448	-15	110	98.69	498	-5	2	90.87	548	0	20	95.89	598	5	37.5	99.80	648	10	60	96.00	698	15	110	97.49
399	-20	65	96.69	449	-15	120	101.47	499	-5	4	90.41	549	0	22.5	97.44	599	5	40	98.25	649	10	62.5	96.55	699	15	120	99.57
400	-20	70	96.38	450	-15	130	99.45	500	-5	8	91.38	550	0	25	98.18	600	5	42.5	98.19	650	10	65	95.89	700	15	130	99.15

Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota
351	-20	30	98.67	401	-15	47.5	97.53	451	-10	65	98.29	501	-5	95	99.43	551	0	160	100.28	601	10	22.5	101.84	651	15	37.5	96.90
352	-20	32.5	99.91	402	-15	50	98.23	452	-10	67.5	97.14	502	-5	100	99.22	552	0	170	100.06	602	10	25	100.68	652	15	40	96.85
353	-20	35	100.56	403	-15	52.5	98.87	453	-10	70	96.88	503	-5	110	98.29	553	0	180	98.84	603	10	27.5	100.63	653	15	42.5	97.09
354	-20	37.5	101.00	404	-15	55	98.02	454	-10	75	97.47	504	-5	120	99.57	554	0	190	99.32	604	10	30	98.87	654	15	45	97.64
355	-20	40	100.55	405	-15	57.5	97.86	455	-10	80	97.66	505	-5	130	98.85	555	5	1.2	96.96	605	10	32.5	97.61	655	15	47.5	98.28
356	-20	42.5	99.99	406	-15	60	97.80	456	-10	85	98.45	506	-5	140	100.43	556	5	5	98.13	606	10	35	96.96	656	15	50	98.13
357	-20	45	98.94	407	-15	62.5	98.35	457	-10	90	99.24	507	-5	150	99.61	557	5	10	100.61	607	10	37.5	96.70	657	15	52.5	97.67
358	-20	47.5	97.58	408	-15	65	98.69	458	-10	95	100.73	508	-5	160	100.58	558	5	15	101.30	608	10	40	96.55	658	15	55	98.12
359	-20	50	96.93	409	-15	67.5	99.44	459	-10	100	100.02	509	-5	170	99.96	559	5	20	102.79	609	10	42.5	97.49	659	15	57.5	97.56
360	-20	52.5	96.57	410	-15	70	99.18	460	-10	110	98.49	510	-5	180	98.04	560	5	22.5	102.94	610	10	45	96.84	660	15	60	97.40
361	-20	55	96.92	411	-15	75	98.57	461	-10	120	100.17	511	-5	190	99.62	561	5	25	101.78	611	10	47.5	95.88	661	15	62.5	97.65
362	-20	57.5	96.56	412	-15	80	98.26	462	-10	130	99.25	512	0	3	94.99	562	5	27.5	100.93	612	10	50	96.53	662	15	65	98.59
363	-20	60	96.80	413	-15	85	99.25	463	-10	140	99.63	513	0	5	95.53	563	5	30	99.97	613	10	52.5	97.17	663	15	67.5	98.84
364	-20	62.5	97.55	414	-15	90	100.64	464	-10	150	99.21	514	0	7.5	96.57	564	5	32.5	98.51	614	10	55	97.62	664	15	70	98.78
365	-20	65	97.89	415	-15	95	100.13	465	-10	160	101.38	515	0	10	98.01	565	5	35	97.26	615	10	57.5	97.76	665	15	75	98.77
366	-20	67.5	98.34	416	-15	100	100.52	466	-10	170	100.76	516	0	12.5	99.16	566	5	37.5	96.10	616	10	60	97.90	666	15	80	99.66
367	-20	70	98.78	417	-15	110	99.09	467	-10	180	99.84	517	0	15	100.10	567	5	40	95.75	617	10	62.5	98.25	667	15	85	98.65
368	-20	75	98.97	418	-15	120	99.17	468	-10	190	100.72	518	0	17.5	101.15	568	5	42.5	95.59	618	10	65	97.59	668	15	90	98.04
369	-20	80	100.26	419	-15	130	100.35	469	-5	2.8	95.49	519	0	20	101.99	569	5	45	95.44	619	10	67.5	98.24	669	15	95	99.13
370	-20	85	101.25	420	-15	140	101.63	470	-5	4	95.01	520	0	22.5	102.34	570	5	47.5	96.08	620	10	70	98.58	670	15	100	98.82
371	-20	90	99.74	421	-15	150	100.21	471	-5	8	94.58	521	0	25	102.68	571	5	50	96.33	621	10	75	97.77	671	15	110	98.79
372	-20	95	98.73	422	-15	160	102.08	472	-5	10	95.51	522	0	27.5	101.93	572	5	52.5	96.97	622	10	80	99.06	672	15	120	98.77
373	-20	100	99.42	423	-15	170	100.56	473	-5	12.5	97.06	523	0	30	100.77	573	5	55	97.82	623	10	85	99.15	673	15	130	99.15
374	-20	110	98.99	424	-15	180	100.44	474	-5	15	98.30	524	0	32.5	99.21	574	5	57.5	98.36	624	10	90	98.04	674	15	140	99.63
375	-20	120	98.67	425	-15	190	100.32	475	-5	17.5	99.75	525	0	35	99.26	575	5	60	97.60	625	10	95	97.83	675	15	150	99.71
376	-20	130	101.25	426	-10	1.2	97.66	476	-5	20	100.49	526	0	37.5	98.30	576	5	62.5	97.25	626	10	100	98.52	676	15	160	100.88
377	-20	140	100.83	427	-10	5	96.93	477	-5	22.5	101.04	527	0	40	97.35	577	5	65	97.89	627	10	105	99.11	677	15	170	100.06
378	-20	150	100.61	428	-10	7.5	95.87	478	-5	25	101.88	528	0	42.5	96.69	578	5	67.5	98.44	628	10	110	99.19	678	15	180	100.14
379	-20	160	99.88	429	-10	10	95.71	479	-5	27.5	102.33	529	0	45	96.84	579	5	70	98.38	629	10	120	98.67	679	15	190	98.02
380	-20	170	99.96	430	-10	13	95.47	480	-5	30	102.47	530	0	47.5	96.98	580	5	75	97.07	630	10	130	99.65	680	20	1.2	103.46
381	-20	180	99.34	431	-10	15	96.20	481	-5	32.5	101.81	531	0	50	96.73	581	5	80	96.86	631	10	140	98.23	681	20	5	102.23
382	-20	190	99.37	432	-10	17.5	97.40	482	-5	35	100.86	532	0	52.5	95.87	582	5	85	97.85	632	10	150	99.21	682	20	10	102.31
383	-15	1.2	98.96	433	-10	20	98.69	483	-5	37.5	99.50	533	0	55	96.32	583	5	90	98.44	633	10	160	100.18	683	20	15	100.20
384	-15	5	99.23	434	-10	22.5	99.64	484	-5	40	98.45	534	0	57.5	97.46	584	5	95	98.63	634	10	170	100.86	684	20	20	98.79
385	-15	7.5	98.57	435	-10	25	100.68	485	-5	42.5	98.09	535	0	60	97.80	585	5	100	99.72	635	10	180	99.34	685	20	25	100.38
386	-15	10	97.51	436	-10	27.5	101.43	486	-5	45	96.64	536	0	62.5	98.15	586	5	110	101.89	636	10	190	100.42	686	20	30	97.37
387	-15	12.5	96.46	437	-10	30	101.87	487	-5	47.5	95.98	537	0	65	98.29	587	5	120	100.07	637	15	1.2	102.26	687	20	35	94.76
388	-15	15	96.10	438	-10	32.5	102.11	488	-5	50	96.03	538	0	67.5	98.54	588	5	130	99.15	638	15	5	101.33	688	20	40	95.45
389	-15	18	95.36	439	-10	35	101.76	489	-5	52.5	96.27	539	0	70	98.98	589	5	140	99.73	639	15	7.5	101.47	689	20	45	96.54
390	-15	20	96.19	440	-10	37.5	100.10	490	-5	55	96.92	540	0	75	98.17	590	5	150	99.91	640	15	10	102.81	690	20	50	97.63
391	-15	22.5	97.64	441	-10	40	98.75	491	-5	57.5	97.46	541	0	80	98.16	591	5	160	101.38	641	15	12.5	101.41	691	20	55	97.22
392	-15	25	98.88	442	-10	42.5	97.09	492	-5	60	97.80	542	0	85	98.25	592	5	170	99.96	642	15	15	100.90	692	20	60	97.90
393	-15	27.5	99.93	443	-10	45	96.14	493	-5	62.5	98.25	543	0	90	97.74	593	5	180	99.64	643	15	17.5	100.25	693	20	65	97.29
394	-15	30	100.97	444	-10	47.5	96.28	494	-5	65	97.79	544	0	95	99.23	594	5	190	100.22	644	15	20	99.79	694	20	70	97.38
395	-15	32.5	101.61	445	-10	50	97.03	495	-5	67.5	97.54	545	0	100	100.82	595	10	1.2	99.76	645	15	22.5	100.94	695	20	75	97.77
396	-15	35	101.96	446	-10	52.5	97.47	496	-5	70	97.18	546	0	110	100.49	596	10	5	100.53	646	15	25	100.38	696	20	80	98.56
397	-15	37.5	100.80	447	-10	55	99.32	497	-5	75	98.27	547	0	120	100.37	597	10	10	101.81	647	15	27.5	99.03	697	20	85	97.75
398	-15	40	99.45	448	-10	57.5	98.66	498	-5	80	99.06	548	0	130	100.35	598	10	15	102.30	648	15	30	97.37	698	20	90	96.54
399	-15	42.5	98.89	449	-10	60	98.80	499	-5	85	99.45	549	0	140	100.63	599	10	17.5	102.15	649	15	32.5	96.51	699	20	95	97.73
400	-15	45	98.24	450	-10	62.5	99.50	500	-5	90	98.54	550	0	150	101.61	600	10	20	101.79	650	15	35	96.46	700	20	100	98.92

Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota
701	20	110	99.49	751	30	55	99.02	801	60	110	97.89	851	105	10	100.11	901	195	45	100.34	951	345	135	100.84				
702	20	120	99.57	752	30	60	96.90	802	60	120	99.37	852	105	20	100.79	902	195	60	100.30	952	345	150	100.31				
703	20	130	99.75	753	30	65	98.09	803	60	130	97.55	853	105	30	101.97	903	195	75	99.27	953	345	165	100.57				
704	20	140	99.43	754	30	70	99.18	804	60	140	98.93	854	105	40	99.25	904	195	90	102.14	954	345	180	98.24				
705	20	150	99.01	755	30	75	98.97	805	60	150	100.71	855	105	50	100.33	905	195	105	99.91	955	345	190	99.22				
706	20	160	99.18	756	30	80	97.86	806	60	160	99.88	856	105	60	99.70	906	195	120	99.87	956	395	1.2	98.66				
707	20	170	99.36	757	30	85	98.65	807	60	170	98.96	857	105	70	97.88	907	195	135	98.54	957	395	15	98.30				
708	20	180	99.54	758	30	90	98.94	808	60	180	98.74	858	105	80	99.86	908	195	150	99.41	958	395	30	101.07				
709	20	190	97.82	759	30	95	98.43	809	60	190	98.62	859	105	90	98.04	909	195	165	100.17	959	395	45	98.64				
710	25	1.2	104.16	760	30	100	97.02	810	75	1.2	101.46	860	105	100	98.62	910	195	180	98.84	960	395	60	100.50				
711	25	5	103.43	761	30	110	98.49	811	75	10	101.01	861	105	110	98.39	911	195	190	99.12	961	395	75	98.27				
712	25	10	101.91	762	30	120	97.97	812	75	20	101.29	862	105	120	97.97	912	245	1.2	99.66	962	395	90	99.14				
713	25	15	100.00	763	30	130	99.25	813	75	30	98.37	863	105	130	99.15	913	245	10	99.71	963	395	105	100.91				
714	25	20	99.29	764	30	140	99.23	814	75	40	100.65	864	105	140	99.83	914	245	15	99.10	964	395	120	99.07				
715	25	25	99.78	765	30	150	101.31	815	75	50	97.13	865	105	150	99.71	915	245	30	99.67	965	395	135	99.44				
716	25	30	98.27	766	30	160	98.88	816	75	60	99.10	866	105	160	99.78	916	245	45	100.24	966	395	150	98.61				
717	25	35	97.26	767	30	170	98.86	817	75	70	98.28	867	105	170	99.66	917	245	60	100.20	967	395	165	101.47				
718	25	40	96.05	768	30	180	99.74	818	75	80	97.46	868	105	180	99.24	918	245	75	101.87	968	395	180	98.74				
719	25	45	97.34	769	30	190	99.72	819	75	90	98.54	869	105	190	98.02	919	245	90	100.54	969	395	190	98.12				
720	25	50	98.83	770	45	1.8	102.17	820	75	100	98.42	870	135	1.2	99.96	920	245	105	100.31								
721	25	55	97.52	771	45	10	103.11	821	75	110	97.19	871	135	15	100.30	921	245	120	99.77								
722	25	60	97.50	772	45	20	99.79	822	75	120	99.77	872	135	30	100.87	922	245	135	99.94								
723	25	65	98.89	773	45	30	98.77	823	75	130	98.95	873	135	45	100.74	923	245	150	101.11								
724	25	70	99.18	774	45	40	98.75	824	75	140	99.43	874	135	60	101.60	924	245	165	97.87								
725	25	75	97.67	775	45	50	99.53	825	75	150	100.61	875	135	75	99.77	925	245	180	99.64								
726	25	80	98.26	776	45	60	100.20	826	75	160	99.28	876	135	90	98.64	926	245	190	96.62								
727	25	85	98.25	777	45	70	99.08	827	75	170	96.66	877	135	105	99.61	927	295	1.2	99.66								
728	25	90	98.94	778	45	80	100.46	828	75	180	98.54	878	135	120	99.07	928	295	10	100.01								
729	25	95	99.03	779	45	90	98.94	829	75	190	97.52	879	135	135	98.64	929	295	15	99.70								
730	25	100	99.32	780	45	100	98.12	830	90	1.2	99.96	880	135	150	99.91	930	295	30	99.17								
731	25	110	98.39	781	45	110	100.09	831	90	10	99.51	881	135	165	96.77	931	295	45	99.34								
732	25	120	98.97	782	45	120	100.77	832	90	20	99.69	882	135	180	99.74	932	295	60	100.70								
733	25	130	99.35	783	45	130	99.05	833	90	30	98.97	883	135	190	98.62	933	295	75	101.07								
734	25	140	98.43	784	45	140	99.23	834	90	40	99.75	884	165	1.2	100.26	934	295	90	99.84								
735	25	150	100.21	785	45	150	99.51	835	90	50	97.53	885	165	15	100.50	935	295	105	100.71								
736	25	160	99.38	786	45	160	100.98	836	90	60	98.50	886	165	30	99.17	936	295	120	101.67								
737	25	170	100.56	787	45	170	99.36	837	90	70	97.88	887	165	45	99.34	937	295	135	97.34								
738	25	180	99.74	788	45	180	99.44	838	90	80	101.46	888	165	60	101.40	938	295	150	99.41								
739	25	190	98.42	789	45	190	99.52	839	90	90	99.44	889	165	75	100.57	939	295	165	99.67								
740	30	1.8	103.77	790	60	1.2	101.46	840	90	100	99.22	890	165	90	100.04	940	295	180	100.04								
741	30	5	102.43	791	60	10	101.71	841	90	110	97.99	891	165	105	98.11	941	295	190	98.72								
742	30	10	101.61	792	60	20	99.79	842	90	120	98.47	892	165	120	100.27	942	345	1.2	99.66								
743	30	15	100.50	793	60	30	98.47	843	90	130	99.05	893	165	135	99.44	943	345	15	99.70								
744	30	20	99.19	794	60	40	99.65	844	90	140	100.43	894	165	150	97.91	944	345	30	100.37								
745	30	25	99.48	795	60	50	97.23	845	90	150	99.41	895	165	165	100.07	945	345	45	99.84								
746	30	30	98.57	796	60	60	97.90	846	90	160	99.28	896	165	180	100.24	946	345	60	98.40								
747	30	35	97.56	797	60	70	99.48	847	90	170	98.86	897	165	190	97.82	947	345	75	99.27								
748	30	40	97.85	798	60	80	99.26	848	90	180	98.64	898	195	1.2	99.76	948	345	90	99.64								
749	30	45	98.14	799	60	90	97.44	849	90	190	98.72	899	195	15	99.70	949	345	105	98.21								
750	30	50	99.83	800	60	100	97.32	850	105	1.2	100.36	900	195	30	100.57	950	345	120	101.47								

ANEXO G3: ENSAYO E45-70

Fecha de levantamiento: 11/09/17

Cuadro D.3. Cotas topográficas (cm) de lecho deformado en ensayo E45-70. Fuente: Propia

Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota
1	-95	1.2	99.06	51	-75	100	98.82	101	-55	1.8	100.57	151	-50	120	100.27	201	-40	27.5	99.03	251	-35	55	99.42	301	-30	85	100.65
2	-95	10	99.81	52	-75	110	100.49	102	-55	10	99.51	152	-50	130	99.65	202	-40	30	99.17	252	-35	57.5	99.56	302	-30	90	99.64
3	-95	20	98.69	53	-75	120	99.47	103	-55	20	99.59	153	-50	140	101.53	203	-40	32.5	99.31	253	-35	60	100.50	303	-30	95	99.63
4	-95	30	100.07	54	-75	130	99.55	104	-55	30	100.77	154	-50	150	100.41	204	-40	35	98.26	254	-35	62.5	101.35	304	-30	100	99.32
5	-95	40	99.65	55	-75	140	99.73	105	-55	40	99.45	155	-50	160	99.88	205	-40	37.5	97.60	255	-35	65	101.39	305	-30	110	99.09
6	-95	50	98.93	56	-75	150	100.41	106	-55	45	98.44	156	-50	170	99.36	206	-40	40	98.05	256	-35	67.5	100.04	306	-30	120	100.97
7	-95	60	99.00	57	-75	160	99.38	107	-55	50	100.63	157	-50	180	98.74	207	-40	42.5	98.79	257	-35	70	98.68	307	-30	130	99.85
8	-95	70	99.38	58	-75	170	98.86	108	-55	55	100.82	158	-50	190	101.52	208	-40	46	98.95	258	-35	72.5	97.33	308	-30	140	99.23
9	-95	80	99.86	59	-75	180	98.94	109	-55	60	100.20	159	-45	1.2	99.36	209	-40	47.5	98.58	259	-35	75	98.37	309	-30	150	99.31
10	-95	90	98.74	60	-75	190	98.62	110	-55	65	99.79	160	-45	10	98.51	210	-40	50	98.63	260	-35	77.5	100.12	310	-30	160	97.68
11	-95	100	99.72	61	-65	1.2	98.56	111	-55	70	99.98	161	-45	20	98.59	211	-40	52.5	98.97	261	-35	80	101.36	311	-30	170	99.36
12	-95	110	98.59	62	-65	10	99.01	112	-55	80	101.26	162	-45	25	100.18	212	-40	55	99.72	262	-35	85	100.55	312	-30	180	100.94
13	-95	120	99.37	63	-65	20	99.09	113	-55	90	99.84	163	-45	30	99.97	213	-40	57.5	99.86	263	-35	90	99.44	313	-30	190	102.02
14	-95	130	99.05	64	-65	30	98.47	114	-55	100	99.52	164	-45	35	99.46	214	-40	60	99.70	264	-35	95	99.93	314	-25	1.2	97.56
15	-95	140	98.43	65	-65	40	99.45	115	-55	110	99.39	165	-45	37.5	99.40	215	-40	62.5	99.75	265	-35	100	97.32	315	-25	5	99.13
16	-95	150	100.31	66	-65	50	98.73	116	-55	120	99.77	166	-45	40	100.45	216	-40	65	99.59	266	-35	110	99.19	316	-25	10	99.81
17	-95	160	100.68	67	-65	60	101.00	117	-55	130	99.05	167	-45	42.5	100.49	217	-40	67.5	98.44	267	-35	120	100.57	317	-25	15	99.80
18	-95	170	100.26	68	-65	70	99.38	118	-55	140	100.53	168	-45	45	99.74	218	-40	70	97.38	268	-35	130	101.05	318	-25	17.5	99.15
19	-95	180	100.04	69	-65	80	99.46	119	-55	150	99.11	169	-45	47.5	98.68	219	-40	72.5	97.13	269	-35	140	100.63	319	-25	20	99.19
20	-95	190	98.62	70	-65	90	101.24	120	-55	160	99.38	170	-45	51	98.24	220	-40	75	98.07	270	-35	150	100.71	320	-25	22.5	98.74
21	-85	1.2	99.56	71	-65	100	99.52	121	-55	170	99.56	171	-45	52.5	99.47	221	-40	77.5	99.72	271	-35	160	98.08	321	-25	25	97.48
22	-85	10	99.51	72	-65	110	100.49	122	-55	180	99.44	172	-45	55	99.32	222	-40	80	100.06	272	-35	170	100.56	322	-25	30	96.97
23	-85	20	99.29	73	-65	120	100.67	123	-55	190	99.92	173	-45	57.5	99.86	223	-40	85	99.65	273	-35	180	100.24	323	-25	32.5	98.31
24	-85	30	100.57	74	-65	130	100.85	124	-50	1.2	98.86	174	-45	60	99.80	224	-40	90	99.94	274	-35	190	100.02	324	-25	35	98.86
25	-85	40	99.55	75	-65	140	100.83	125	-50	10	98.61	175	-45	62.5	99.25	225	-40	95	99.13	275	-30	1.2	98.66	325	-25	37.5	99.90
26	-85	50	100.13	76	-65	150	99.91	126	-50	20	99.19	176	-45	65	97.39	226	-40	100	97.72	276	-30	10	98.91	326	-25	40	100.25
27	-85	60	100.60	77	-65	160	99.48	127	-50	30	99.37	177	-45	67.5	97.04	227	-40	110	98.99	277	-30	15	98.50	327	-25	42.5	100.59
28	-85	70	99.58	78	-65	170	99.56	128	-50	32.5	99.61	178	-45	70	97.78	228	-40	120	100.37	278	-30	20	97.99	328	-25	45	101.04
29	-85	80	98.96	79	-65	180	98.54	129	-50	35	100.06	179	-45	72.5	98.73	229	-40	130	100.55	279	-30	25	99.38	329	-25	47.5	100.08
30	-85	90	99.54	80	-65	190	100.32	130	-50	37.5	99.20	180	-45	75	99.67	230	-40	140	100.73	280	-30	27.5	99.03	330	-25	50	99.83
31	-85	100	101.02	81	-60	1.2	99.66	131	-50	40	98.95	181	-45	77.5	100.32	231	-40	150	99.21	281	-30	30	98.07	331	-25	52.5	100.07
32	-85	110	101.79	82	-60	10	98.01	132	-50	42.5	99.29	182	-45	80	99.86	232	-40	160	98.18	282	-30	35	97.66	332	-25	55	99.72
33	-85	120	99.57	83	-60	20	99.19	133	-50	45	98.94	183	-45	85	98.95	233	-40	170	98.36	283	-30	37.5	98.50	333	-25	57.5	100.16
34	-85	130	97.85	84	-60	30	99.57	134	-50	47.5	98.78	184	-45	90	98.74	234	-40	180	99.94	284	-30	40	98.95	334	-25	60	99.70
35	-85	140	99.33	85	-60	40	100.45	135	-50	50	99.43	185	-45	95	99.13	235	-40	190	99.62	285	-30	42.5	99.29	335	-25	62.5	100.25
36	-85	150	101.01	86	-60	50	99.83	136	-50	52.5	100.47	186	-45	100	99.82	236	-35	1.2	98.26	286	-30	45	99.64	336	-25	65	100.39
37	-85	160	100.38	87	-60	60	101.10	137	-50	55	100.42	187	-45	110	100.49	237	-35	10	99.41	287	-30	47.5	99.78	337	-25	67.5	99.44
38	-85	170	100.06	88	-60	70	98.28	138	-50	57.5	99.96	188	-45	120	100.77	238	-35	20	98.39	288	-30	50	100.13	338	-25	70	98.58
39	-85	180	99.24	89	-60	80	99.96	139	-50	60	99.10	189	-45	130	99.65	239	-35	22.5	98.14	289	-30	52.5	98.77	339	-25	72.5	98.23
40	-85	190	99.92	90	-60	90	99.84	140	-50	62.5	98.75	190	-45	140	101.33	240	-35	25	98.68	290	-30	55	98.62	340	-25	75	98.87
41	-75	1.2	99.86	91	-60	100	100.52	141	-50	65	99.69	191	-45	150	98.71	241	-35	27.5	99.33	291	-30	57.5	98.86	341	-25	77.5	99.82
42	-75	10	100.11	92	-60	110	98.19	142	-50	67.5	99.94	192	-45	160	98.48	242	-35	30	99.07	292	-30	60	99.20	342	-25	80	100.36
43	-75	20	99.79	93	-60	120	99.97	143	-50	70	100.48	193	-45	170	99.46	243	-35	32.5	98.31	293	-30	62.5	100.55	343	-25	82.5	98.90
44	-75	30	99.37	94	-60	130	99.85	144	-50	75	101.57	194	-45	180	101.14	244	-35	35	98.16	294	-30	65	100.59	344	-25	85	98.95
45	-75	40	99.55	95	-60	140	100.33	145	-50	80	101.86	195	-45	190	100.32	245	-35	40	97.25	295	-30	67.5	99.44	345	-25	90	98.74
46	-75	50	99.23	96	-60	150	99.41	146	-50	85	100.05	196	-40	1.2	99.56	246	-35	42.5	98.39	296	-30	70	98.68	346	-25	95	98.83
47	-75	60	99.20	97	-60	160	98.68	147	-50	90	100.84	197	-40	10	99.71	247	-35	45	99.54	297	-30	72.5	98.33	347	-25	100	99.92
48	-75	70	100.08	98	-60	170	98.96	148	-50	95	99.23	198	-40	20	99.19	248	-35	47.5	100.08	298	-30	75	98.57	348	-25	110	99.19
49	-75	80	100.96	99	-60	180	98.44	149	-50	100	99.92	199	-40	22.5	99.34	249	-35	50	99.53	299	-30	77.5	100.72	349	-25	120	99.37
50	-75	90	100.84	100	-60	190	100.82	150	-50	110	100.89	200	-40	25	99.68	250	-35	52.5	98.97	300	-30	80	101.46	350	-25	130	100.45

Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota
351	-25	140	99.83	401	-15	1.2	96.66	451	-10	15	97.50	501	-5	22.5	100.34	551	0	32.5	98.81	601	5	80	98.76	651	15	30	99.27
352	-25	150	98.81	402	-15	5	97.13	452	-10	17.5	97.65	502	-5	25	101.08	552	0	35	98.96	602	5	85	98.75	652	15	35	99.96
353	-25	160	99.18	403	-15	7.5	97.37	453	-10	20	98.09	503	-5	27.5	101.63	553	0	37.5	99.50	603	5	90	98.94	653	15	40	99.05
354	-25	170	100.16	404	-15	10	97.71	454	-10	22.5	99.44	504	-5	30	101.07	554	0	40	100.25	604	5	95	98.53	654	15	45	98.14
355	-25	180	102.04	405	-15	12.5	97.76	455	-10	25	100.18	505	-5	32.5	100.21	555	0	42.5	100.39	605	5	100	99.72	655	15	50	98.63
356	-25	190	100.52	406	-15	15	97.10	456	-10	27.5	100.73	506	-5	35	99.96	556	0	45	99.64	606	5	110	99.69	656	15	55	98.12
357	-20	1.2	97.06	407	-15	19	96.17	457	-10	30	101.07	507	-5	37.5	100.70	557	0	47.5	99.88	607	5	120	98.97	657	15	60	98.30
358	-20	5	97.43	408	-15	22.5	97.04	458	-10	32.5	101.01	508	-5	40	101.45	558	0	50	99.73	608	5	130	98.15	658	15	65	97.89
359	-20	10	98.11	409	-15	25	98.08	459	-10	35	100.66	509	-5	42.5	101.59	559	0	52.5	100.17	609	5	140	99.83	659	15	70	98.18
360	-20	12.5	98.36	410	-15	27.5	99.53	460	-10	37.5	99.70	510	-5	45	99.84	560	0	55	100.02	610	5	150	101.61	660	15	75	98.27
361	-20	15	98.20	411	-15	30	100.27	461	-10	40	100.05	511	-5	47.5	99.38	561	0	57.5	99.76	611	5	160	99.68	661	15	80	98.96
362	-20	17.5	97.85	412	-15	32.5	100.71	462	-10	42.5	100.59	512	-5	50	99.53	562	0	60	98.90	612	5	170	99.26	662	15	85	99.65
363	-20	20	97.09	413	-15	35	100.86	463	-10	45	100.34	513	-5	52.5	99.37	563	0	62.5	99.45	613	5	180	100.24	663	15	90	99.34
364	-20	24	96.66	414	-15	37.5	99.90	464	-10	47.5	100.08	514	-5	55	99.12	564	0	65	100.39	614	5	190	98.42	664	15	95	98.33
365	-20	27.5	97.73	415	-15	40	99.55	465	-10	50	99.63	515	-5	57.5	99.56	565	0	67.5	100.44	615	10	1.2	99.36	665	15	100	98.02
366	-20	30	98.97	416	-15	42.5	98.99	466	-10	52.5	99.27	516	-5	60	99.20	566	0	70	99.88	616	10	5	99.73	666	15	110	99.99
367	-20	32.5	99.81	417	-15	45	99.34	467	-10	55	99.02	517	-5	62.5	99.25	567	0	72.5	99.43	617	10	10	100.21	667	15	120	99.27
368	-20	35	100.46	418	-15	47.5	99.38	468	-10	57.5	98.56	518	-5	65	99.09	568	0	75	99.27	618	10	15	99.60	668	15	130	96.85
369	-20	37.5	101.00	419	-15	50	99.03	469	-10	60	98.60	519	-5	67.5	99.14	569	0	77.5	98.92	619	10	20	98.09	669	15	140	98.03
370	-20	40	100.65	420	-15	52.5	98.47	470	-10	62.5	99.15	520	-5	70	99.98	570	0	80	98.86	620	10	25	100.18	670	15	150	100.21
371	-20	42.5	99.49	421	-15	55	98.32	471	-10	65	98.79	521	-5	72.5	100.23	571	0	82.5	99.50	621	10	30	99.27	671	15	160	98.68
372	-20	45	99.34	422	-15	57.5	98.96	472	-10	67.5	98.44	522	-5	75	98.77	572	0	85	98.65	622	10	35	98.36	672	15	170	99.16
373	-20	47.5	100.18	423	-15	60	98.20	473	-10	70	99.28	523	-5	77.5	98.42	573	0	90	97.94	623	10	40	99.25	673	15	180	99.94
374	-20	50	100.43	424	-15	62.5	97.75	474	-10	72.5	99.73	524	-5	80	98.76	574	0	95	97.83	624	10	45	98.14	674	15	190	101.42
375	-20	52.5	99.67	425	-15	65	97.49	475	-10	75	98.47	525	-5	82.5	99.40	575	0	100	99.32	625	10	50	97.93	675	20	1.2	101.16
376	-20	55	99.22	426	-15	67.5	98.54	476	-10	77.5	98.42	526	-5	85	99.15	576	0	110	98.99	626	10	55	97.72	676	20	5	101.63
377	-20	57.5	99.36	427	-15	70	99.48	477	-10	80	98.86	527	-5	90	99.34	577	0	120	99.47	627	10	60	99.20	677	20	10	101.51
378	-20	60	99.10	428	-15	72.5	99.33	478	-10	82.5	100.10	528	-5	95	100.03	578	0	130	99.85	628	10	65	98.79	678	20	15	100.50
379	-20	62.5	99.05	429	-15	75	98.77	479	-10	85	99.75	529	-5	100	100.02	579	0	140	100.53	629	10	70	99.48	679	20	20	100.09
380	-20	65	99.99	430	-15	77.5	98.52	480	-10	87.5	98.69	530	-5	110	100.39	580	0	150	100.21	630	10	75	99.17	680	20	25	98.88
381	-20	67.5	100.34	431	-15	80	98.56	481	-10	90	98.74	531	-5	120	98.17	581	0	160	99.18	631	10	80	99.66	681	20	30	100.17
382	-20	70	100.58	432	-15	82.5	99.40	482	-10	95	99.33	532	-5	130	99.85	582	0	170	100.26	632	10	85	100.05	682	20	35	100.16
383	-20	72.5	100.83	433	-15	85	100.05	483	-10	100	99.32	533	-5	140	100.53	583	0	180	99.94	633	10	90	100.54	683	20	40	100.05
384	-20	75	101.37	434	-15	90	98.74	484	-10	110	99.19	534	-5	150	99.21	584	0	190	97.42	634	10	95	99.73	684	20	45	98.64
385	-20	77.5	101.02	435	-15	95	98.03	485	-10	120	99.67	535	-5	160	99.98	585	5	1.2	97.36	635	10	100	99.02	685	20	50	99.03
386	-20	80	100.46	436	-15	100	100.12	486	-10	130	99.75	536	-5	170	100.66	586	5	5	98.43	636	10	110	100.59	686	20	55	98.52
387	-20	82.5	99.00	437	-15	110	98.99	487	-10	140	98.93	537	-5	180	98.04	587	5	10	99.21	637	10	120	99.37	687	20	60	98.60
388	-20	85	99.75	438	-15	120	99.37	488	-10	150	98.31	538	-5	190	98.82	588	5	15	100.10	638	10	130	99.35	688	20	65	98.79
389	-20	90	99.84	439	-15	130	100.85	489	-10	160	99.58	539	0	4	95.91	589	5	20	99.39	639	10	140	99.73	689	20	70	99.38
390	-20	95	99.73	440	-15	140	98.53	490	-10	170	98.66	540	0	5	96.13	590	5	25	100.98	640	10	150	102.21	690	20	75	99.37
391	-20	100	99.42	441	-15	150	98.21	491	-10	180	99.04	541	0	7.5	96.77	591	5	30	101.07	641	10	160	99.48	691	20	80	99.26
392	-20	110	100.29	442	-15	160	101.08	492	-10	190	98.92	542	0	10	97.81	592	5	35	99.36	642	10	170	99.86	692	20	85	98.85
393	-20	120	100.67	443	-15	170	98.16	493	-5	2	97.07	543	0	12.5	98.76	593	5	40	99.45	643	10	180	98.24	693	20	90	99.44
394	-20	130	99.85	444	-15	180	100.04	494	-5	4	96.31	544	0	15	99.70	594	5	45	97.84	644	10	190	100.72	694	20	95	98.73
395	-20	140	99.33	445	-15	190	98.72	495	-5	8	95.48	545	0	17.5	100.15	595	5	50	97.93	645	15	1.2	101.06	695	20	100	98.52
396	-20	150	99.21	446	-10	1.2	97.06	496	-5	10	95.91	546	0	20	100.39	596	5	55	98.82	646	15	5	101.63	696	20	110	100.99
397	-20	160	99.98	447	-10	5	97.03	497	-5	12.5	97.76	547	0	22.5	101.34	597	5	60	98.50	647	15	10	101.01	697	20	120	99.77
398	-20	170	99.76	448	-10	7.5	96.77	498	-5	15	99.10	548	0	25	101.78	598	5	65	98.79	648	15	15	100.30	698	20	130	97.55
399	-20	180	100.24	449	-10	10	97.01	499	-5	17.5	99.25	549	0	27.5	101.83	599	5	70	98.98	649	15	20	99.19	699	20	140	98.83
400	-20	190	99.42	450	-10	13	97.27	500	-5	20	99.89	550	0	30	100.27	600	5	75	98.47	650	15	25	100.08	700	20	150	99.31

Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota
351	15	150	98.31	401	45	75	95.67	451	75	55	100.22	501	135	20	100.89	551	195	60	101.50	601	395	15	99.75				
352	15	160	98.78	402	45	80	96.16	452	75	60	98.50	502	135	30	100.77	552	195	75	102.67	602	395	35	99.96				
353	15	170	100.41	403	45	85	95.65	453	75	65	96.19	503	135	33	100.72	553	195	90	100.34	603	395	55	100.22				
354	15	180	99.64	404	45	90	96.74	454	75	70	96.88	504	135	35	100.56	554	195	105	100.71	604	395	75	101.57				
355	15	190	98.72	405	45	95	97.23	455	75	75	96.87	505	135	40	101.95	555	195	120	98.67	605	395	95	100.23				
356	30	1.2	102.06	406	45	100	97.82	456	75	80	97.26	506	135	45	101.94	556	195	135	100.34	606	395	115	99.58				
357	30	5	100.73	407	45	110	97.69	457	75	85	95.15	507	135	50	102.73	557	195	150	98.21	607	395	135	100.44				
358	30	10	102.01	408	45	120	100.57	458	75	90	96.54	508	135	55	102.77	558	195	165	99.57	608	395	155	98.20				
359	30	15	102.10	409	45	130	99.95	459	75	95	97.08	509	135	60	102.90	559	195	180	97.64	609	395	175	99.05				
360	30	20	101.74	410	45	140	97.73	460	75	100	98.27	510	135	65	100.99	560	195	190	98.82	610	395	190	100.92				
361	30	25	101.63	411	45	150	100.56	461	75	105	97.46	511	135	70	99.18	561	245	1.2	100.66	611	428.5	1.2	100.16				
362	30	30	101.67	412	45	160	98.68	462	75	110	98.29	512	135	75	99.17	562	245	25	100.98	612	428.5	30	101.37				
363	30	35	100.46	413	45	170	98.56	463	75	120	98.37	513	135	80	99.96	563	245	40	100.25	613	428.5	60	101.20				
364	30	40	100.15	414	45	180	99.34	464	75	130	98.95	514	135	85	100.75	564	245	55	100.62	614	428.5	90	98.84				
365	30	45	97.24	415	45	190	97.82	465	75	140	98.83	515	135	90	100.84	565	245	70	102.28	615	428.5	120	100.47				
366	30	50	97.53	416	60	1.2	100.46	466	75	150	99.01	516	135	95	102.33	566	245	85	102.95	616	428.5	150	100.36				
367	30	55	94.92	417	60	10	101.51	467	75	160	98.88	517	135	100	100.27	567	245	100	101.72	617	428.5	180	99.74				
368	30	60	92.60	418	60	20	99.49	468	75	170	99.36	518	135	105	100.41	568	245	115	100.28	618	428.5	190	99.22				
369	30	65	94.19	419	60	30	100.42	469	75	180	98.04	519	135	110	99.49	569	245	130	102.05	619	445	1.2	101.16				
370	30	70	96.38	420	60	40	99.85	470	75	190	98.62	520	135	120	97.27	570	245	145	100.82	620	445	30	101.97				
371	30	75	96.42	421	60	45	100.34	471	105	1.2	100.56	521	135	130	99.25	571	245	160	99.38	621	445	60	99.95				
372	30	80	95.66	422	60	50	101.13	472	105	10	99.51	522	135	140	99.08	572	245	175	98.95	622	445	90	99.14				
373	30	85	96.25	423	60	55	99.27	473	105	20	100.24	523	135	150	98.61	573	245	190	99.52	623	445	120	101.87				
374	30	90	95.94	424	60	60	97.50	474	105	30	100.57	524	135	160	97.88	574	295	1.2	99.96	624	445	150	99.81				
375	30	95	98.08	425	60	65	96.69	475	105	33	100.42	525	135	170	100.91	575	295	15	99.80	625	445	180	100.24				
376	30	100	97.62	426	60	70	97.28	476	105	40	101.55	526	135	180	99.94	576	295	30	100.07	626	445	190	99.32				
377	30	110	99.19	427	60	75	96.67	477	105	50	100.23	527	135	190	100.37	577	295	45	100.04								
378	30	120	97.87	428	60	80	96.86	478	105	55	101.12	528	165	1.2	101.06	578	295	60	101.90								
379	30	130	98.45	429	60	85	96.35	479	105	60	100.80	529	165	22	100.18	579	295	75	100.97								
380	30	140	97.83	430	60	90	95.44	480	105	65	99.69	530	165	30	100.47	580	295	90	100.84								
381	30	150	97.51	431	60	95	96.13	481	105	70	98.18	531	165	40	101.55	581	295	105	101.21								
382	30	160	100.68	432	60	100	97.12	482	105	75	99.67	532	165	50	103.63	582	295	120	102.97								
383	30	170	99.86	433	60	105	97.51	483	105	80	101.46	533	165	60	103.90	583	295	135	101.54								
384	30	180	100.04	434	60	110	98.34	484	105	85	99.55	534	165	70	102.78	584	295	150	101.21								
385	30	190	100.22	435	60	115	98.88	485	105	90	97.29	535	165	80	101.46	585	295	165	101.92								
386	45	1.2	103.76	436	60	120	99.12	486	105	95	98.23	536	165	90	101.34	586	295	180	100.94								
387	45	5	103.13	437	60	130	98.45	487	105	100	98.22	537	165	100	100.62	587	295	190	102.02								
388	45	10	101.91	438	60	140	98.03	488	105	105	97.51	538	165	110	98.99	588	345	1.2	100.36								
389	45	15	101.50	439	60	150	100.71	489	105	110	98.29	539	165	120	99.57	589	345	10	100.21								
390	45	20	102.49	440	60	160	99.83	490	105	115	98.58	540	165	130	99.05	590	345	30	99.77								
391	45	25	102.58	441	60	170	97.81	491	105	125	98.56	541	165	140	98.63	591	345	50	101.03								
392	45	30	102.57	442	60	180	100.19	492	105	135	101.04	542	165	150	98.31	592	345	70	101.08								
393	45	35	102.16	443	60	190	100.32	493	105	145	98.92	543	165	160	97.88	593	345	90	101.89								
394	45	40	101.65	444	75	1.2	101.06	494	105	155	98.50	544	165	170	99.66	594	345	110	100.44								
395	45	45	100.04	445	75	10	101.56	495	105	165	98.47	545	165	180	99.14	595	345	130	101.35								
396	45	50	98.88	446	75	20	100.79	496	105	175	100.35	546	165	190	99.62	596	345	150	101.21								
397	45	55	96.82	447	75	30	100.67	497	105	185	97.33	547	195	1.2	101.06	597	345	170	98.46								
398	45	60	95.80	448	75	40	101.15	498	105	190	97.42	548	195	15	101.10	598	345	190	99.32								
399	45	65	95.84	449	75	45	101.34	499	135	1.2	101.36	549	195	30	101.32	599	395	1.2	100.26								
400	45	70	96.78	450	75	50	101.43	500	135	10	100.51	550	195	45	102.24	600	395	13	100.17								

ANEXO G5: ENSAYO E90-50

Fecha de levantamiento: 26/08/17

Cuadro D.5. Cotas topográficas (cm) de lecho deformado en ensayo E90-50. Fuente: Propia

Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota
1	-65	1.2	99.56	51	-55	70	101.43	101	-45	170	99.76	151	-15	75	99.57	201	-10	115	100.43	251	-5	180	100.09	301	0	60	98.20								
2	-65	5	98.78	52	-55	75	102.72	102	-45	180	98.69	152	-15	80	98.61	202	-10	120	99.27	252	-5	190	99.22	302	0	62.5	98.40								
3	-65	10	99.66	53	-55	80	101.76	103	-45	190	99.77	153	-15	85	98.45	203	-10	130	99.50	253	-1.5	1.5	97.26	303	0	65	99.24								
4	-65	15	100.00	54	-55	85	100.90	104	-30	1.2	101.36	154	-15	90	98.94	204	-10	140	100.28	254	-1.5	2.5	96.88	304	0	67.5	100.14								
5	-65	20	100.49	55	-55	90	99.59	105	-30	5	101.63	155	-15	95	99.98	205	-10	150	98.81	255	-1.5	5	96.63	305	0	70	100.28								
6	-65	25	100.43	56	-55	95	97.33	106	-30	10	100.41	156	-15	100	98.87	206	-10	160	99.88	256	-1.5	7.5	96.57	306	0	75	100.57								
7	-65	30	100.67	57	-55	100	97.12	107	-30	15	99.60	157	-15	105	99.86	207	-10	170	99.56	257	-1.5	10	96.61	307	0	80	99.06								
8	-65	35	101.51	58	-55	105	98.31	108	-30	20	99.79	158	-15	110	98.89	208	-10	180	100.24	258	-1.5	12.5	96.56	308	0	85	98.05								
9	-65	40	102.15	59	-55	110	100.64	109	-30	25	99.43	159	-15	115	99.48	209	-10	190	99.92	259	-1.5	15	96.60	309	0	90	98.34								
10	-65	45	100.84	60	-55	115	100.53	110	-30	30	100.17	160	-15	120	99.87	210	-5	2	98.27	260	-1.5	17.5	96.75	310	0	95	99.13								
11	-65	50	100.78	61	-55	120	100.32	111	-30	35	101.86	161	-15	130	100.55	211	-5	5	98.38	261	-1.5	20	96.69	311	0	100	97.97								
12	-65	55	100.62	62	-55	125	99.46	112	-30	40	100.55	162	-15	140	99.33	212	-5	7.5	98.57	262	-1.5	22.5	96.74	312	0	105	98.91								
13	-65	60	101.05	63	-55	130	99.85	113	-30	45	100.74	163	-15	150	100.51	213	-5	10	98.36	263	-1.5	25	96.58	313	0	110	99.49								
14	-65	65	100.79	64	-55	135	99.74	114	-30	50	100.23	164	-15	160	99.93	214	-5	12.5	98.41	264	-1.5	27.5	96.43	314	0	115	99.58								
15	-65	70	99.48	65	-55	140	98.48	115	-30	55	99.72	165	-15	170	99.76	215	-5	15	98.45	265	-1.5	30	96.47	315	0	120	99.77								
16	-65	75	100.27	66	-55	150	98.51	116	-30	60	100.40	166	-15	180	99.99	216	-5	17.5	98.35	266	-1.5	32.5	96.21	316	0	130	100.30								
17	-65	80	101.21	67	-55	155	98.45	117	-30	65	99.99	167	-15	190	99.52	217	-5	20	97.69	267	-1.5	35	96.41	317	0	140	99.98								
18	-65	85	101.55	68	-55	160	98.38	118	-30	70	100.78	168	-10	1.2	99.36	218	-5	22.5	97.94	268	-1.5	37.5	95.70	318	0	150	99.11								
19	-65	90	100.74	69	-55	170	99.21	119	-30	75	100.92	169	-10	2.5	99.43	219	-5	25	98.83	269	-1.5	40	95.35	319	0	160	100.68								
20	-65	95	98.98	70	-55	180	100.34	120	-30	80	101.06	170	-10	5	100.13	220	-5	27.5	98.48	270	-1.5	42.5	95.39	320	0	170	99.56								
21	-65	100	100.87	71	-55	190	99.82	121	-30	85	99.75	171	-10	7.5	100.17	221	-5	30	98.32	271	-1.5	45	95.39	321	0	180	98.94								
22	-65	105	101.96	72	-45	1.2	100.46	122	-30	90	100.14	172	-10	10	100.21	222	-5	32.5	98.21	272	-1.5	47.5	95.43	322	0	190	100.47								
23	-65	110	102.14	73	-45	5	100.23	123	-30	95	99.53	173	-10	12.5	99.86	223	-5	35	98.06	273	-1.5	50	96.33	323	2	1.2	96.16								
24	-65	115	102.18	74	-45	10	100.56	124	-30	100	99.67	174	-10	15	99.55	224	-5	37.5	98.00	274	-1.5	52.5	96.87	324	2	2.5	95.83								
25	-65	120	101.47	75	-45	15	100.70	125	-30	105	98.21	175	-10	17.5	99.15	225	-5	40	97.85	275	-1.5	55	98.02	325	2	5	95.78								
26	-65	125	101.81	76	-45	20	100.29	126	-30	110	100.29	176	-10	20	98.94	226	-5	42.5	97.89	276	-1.5	57.5	98.06	326	2	7.5	95.67								
27	-65	130	102.20	77	-45	25	100.83	127	-30	115	99.48	177	-10	22.5	99.44	227	-5	45	97.54	277	-1.5	60	97.85	327	2	10	95.61								
28	-65	135	101.04	78	-45	30	100.52	128	-30	120	100.22	178	-10	25	99.38	228	-5	47.5	97.88	278	-1.5	65	99.34	328	2	12.5	95.56								
29	-65	140	101.13	79	-45	35	100.26	129	-30	130	99.35	179	-10	27.5	99.43	229	-5	50	98.33	279	-1.5	70	99.58	329	2	17.5	96.15								
30	-65	145	99.17	80	-45	40	100.60	130	-30	140	101.33	180	-10	30	99.47	230	-5	52.5	98.37	280	-1.5	75	99.92	330	2	20	95.59								
31	-65	150	99.56	81	-45	45	100.14	131	-30	150	99.31	181	-10	32.5	99.31	231	-5	55	97.72	281	-1.5	80	99.81	331	2	22.5	95.64								
32	-65	155	100.10	82	-45	50	101.28	132	-30	160	98.68	182	-10	35	99.16	232	-5	57.5	97.81	282	-1.5	85	98.55	332	2	25	95.83								
33	-65	160	98.88	83	-45	55	102.52	133	-30	170	100.06	183	-10	37.5	99.10	233	-5	60	98.50	283	-1.5	90	98.14	333	2	27.5	95.63								
34	-65	170	100.71	84	-45	60	101.85	134	-30	180	101.94	184	-10	40	98.85	234	-5	65	99.34	284	-1.5	95	98.63	334	2	30	95.87								
35	-65	180	102.04	85	-45	65	99.19	135	-30	190	99.82	185	-10	42.5	98.69	235	-5	70	99.08	285	-1.5	100	98.32	335	2	32.5	95.71								
36	-65	190	99.77	86	-45	70	99.78	136	-15	1.2	100.56	186	-10	45	98.34	236	-5	75	100.27	286	-1.5	105	99.61	336	2	35	95.46								
37	-55	1.2	99.41	87	-45	75	101.02	137	-15	5	100.03	187	-10	47.5	98.18	237	-5	80	99.51	287	-1.5	110	100.04	337	2	37.5	95.60								
38	-55	5	100.33	88	-45	80	101.01	138	-15	10	99.41	188	-10	50	98.73	238	-5	85	99.55	288	-1.5	115	99.58	338	2	40	95.25								
39	-55	10	99.36	89	-45	85	101.25	139	-15	15	99.10	189	-10	55	99.82	239	-5	90	99.14	289	-1.5	120	98.77	339	2	42.5	95.44								
40	-55	15	100.55	90	-45	90	101.04	140	-15	20	99.89	190	-10	60	100.75	240	-5	95	98.43	290	-1.5	130	99.80	340	2	45	95.29								
41	-55	20	100.39	91	-45	95	101.33	141	-15	25	99.43	191	-10	65	100.09	241	-5	100	100.82	291	-1.5	140	100.48	341	2	47.5	95.28								
42	-55	25	99.93	92	-45	100	101.22	142	-15	30	99.27	192	-10	70	100.18	242	-5	105	100.66	292	-1.5	150	98.56	342	2	50	95.53								
43	-55	30	100.52	93	-45	105	100.21	143	-15	35	100.91	193	-10	75	100.27	243	-5	110	100.79	293	-1.5	160	100.08	343	2	52.5	95.97								
44	-55	35	100.41	94	-45	110	100.09	144	-15	40	100.25	194	-10	80	99.21	244	-5	115	100.48	294	-1.5	170	100.96	344	2	55	96.22								
45	-55	40	100.45	95	-45	115	100.18	145	-15	45	100.84	195	-10	85	98.65	245	-5	120	98.32	295	-1.5	180	100.04	345	2	57.5	97.06								
46	-55	45	99.69	96	-45	120	100.07	146	-15	50	99.83																								

Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota
351	2	72.5	100.23	401	5	90	99.54	451	10	100	99.22	501	15	100	98.62	551	25	20	103.39	601	30	87.5	97.49	651	50	15	99.80
352	2	75	100.67	402	5	95	100.08	452	10	105	99.81	502	15	105	98.46	552	25	30	103.72	602	30	90	98.04	652	50	25	98.58
353	2	80	98.81	403	5	100	98.72	453	10	110	100.49	503	15	110	99.99	553	25	40	103.65	603	30	92.5	98.48	653	50	30	98.77
354	2	85	98.25	404	5	105	99.41	454	10	115	97.88	504	15	115	100.58	554	25	50	98.13	604	30	95	98.83	654	50	32.5	97.81
355	2	90	98.59	405	5	110	99.29	455	10	120	98.97	505	15	120	99.57	555	25	60	97.30	605	30	100	98.62	655	50	35	96.31
356	2	95	99.53	406	5	120	101.07	456	10	130	98.65	506	15	130	100.55	556	25	70	97.88	606	30	105	98.81	656	50	37.5	96.00
357	2	100	97.92	407	5	130	99.95	457	10	140	98.73	507	15	140	99.13	557	25	72.5	96.98	607	30	110	97.69	657	50	40	96.25
358	2	105	99.06	408	5	140	100.13	458	10	150	98.61	508	15	150	99.51	558	25	75	96.27	608	30	115	99.58	658	50	45	96.64
359	2	110	99.49	409	5	150	100.31	459	10	160	100.98	509	15	160	100.28	559	25	77.5	97.32	609	30	120	99.67	659	50	50	97.88
360	2	115	99.88	410	5	160	100.08	460	10	170	100.06	510	15	170	99.16	560	25	80	97.86	610	30	130	100.25	660	50	55	97.82
361	2	120	100.17	411	5	170	99.36	461	10	180	98.84	511	15	180	98.14	561	25	82.5	98.10	611	30	140	99.03	661	50	60	98.60
362	2	130	100.15	412	5	180	99.24	462	10	190	99.62	512	15	190	99.77	562	25	85	99.20	612	30	150	99.66	662	50	65	97.09
363	2	140	99.93	413	5	190	101.52	463	15	1.2	102.36	513	20	1.2	103.76	563	25	87.5	99.09	613	30	160	99.83	663	50	70	99.28
364	2	150	99.21	414	10	1.2	100.46	464	15	2.5	102.58	514	20	10	102.76	564	25	90	99.34	614	30	170	100.26	664	50	75	100.27
365	2	160	100.98	415	10	2.5	101.08	465	15	5	102.13	515	20	20	102.49	565	25	92.5	100.33	615	30	180	100.14	665	50	80	98.26
366	2	170	99.36	416	10	5	100.03	466	15	7.5	101.67	516	20	30	103.17	566	25	95	100.83	616	30	190	96.92	666	50	85	97.35
367	2	180	98.24	417	10	7.5	99.77	467	15	10	101.61	517	20	40	103.25	567	25	97.5	100.07	617	40	1.2	100.01	667	50	90	97.14
368	2	190	100.52	418	10	10	100.11	468	15	12.5	101.76	518	20	43	102.90	568	25	100	99.97	618	40	5	101.13	668	50	95	98.23
369	5	1.2	97.81	419	10	12.5	100.26	469	15	15	101.70	519	20	50	98.73	569	25	102.5	100.16	619	40	15	100.60	669	50	100	96.82
370	5	2.5	97.63	420	10	15	100.00	470	15	17.5	101.85	520	20	52.5	98.52	570	25	105	100.21	620	40	25	100.98	670	50	105	97.51
371	5	5	97.13	421	10	17.5	100.15	471	15	20	101.49	521	20	55	98.52	571	25	107.5	100.75	621	40	30	101.67	671	50	110	98.04
372	5	7.5	97.17	422	10	20	99.89	472	15	22.5	101.74	522	20	57.5	97.26	572	25	110	100.19	622	40	35	100.46	672	50	115	98.88
373	5	10	98.21	423	10	22.5	100.09	473	15	25	101.78	523	20	60	96.40	573	25	115	100.18	623	40	40	98.75	673	50	120	101.17
374	5	12.5	97.26	424	10	25	100.13	474	15	27.5	101.83	524	20	62.5	95.95	574	25	120	99.67	624	40	45	96.99	674	50	125	100.96
375	5	15	97.30	425	10	27.5	100.28	475	15	30	102.37	525	20	65	95.69	575	25	125	99.91	625	40	50	97.53	675	50	130	100.35
376	5	17.5	97.25	426	10	30	100.42	476	15	32.5	102.41	526	20	67.5	96.04	576	25	130	98.25	626	40	55	97.72	676	50	140	100.73
377	5	20	97.29	427	10	32.5	100.41	477	15	35	102.36	527	20	70	96.78	577	25	140	99.23	627	40	60	97.60	677	50	150	100.51
378	5	22.5	97.29	428	10	35	100.56	478	15	37.5	102.40	528	20	72.5	98.33	578	25	150	100.31	628	40	65	95.69	678	50	160	99.88
379	5	25	97.18	429	10	37.5	100.40	479	15	40	102.05	529	20	75	97.77	579	25	160	99.98	629	40	70	96.38	679	50	170	100.01
380	5	27.5	97.33	430	10	40	99.95	480	15	42.5	101.79	530	20	77.5	98.22	580	25	170	97.96	630	40	75	97.12	680	50	180	99.14
381	5	30	97.37	431	10	42.5	99.49	481	15	45	101.44	531	20	80	98.66	581	25	180	101.64	631	40	80	96.11	681	50	190	99.67
382	5	32.5	97.21	432	10	45	99.34	482	15	47.5	100.68	532	20	82.5	99.10	582	25	190	99.32	632	40	82.5	96.90	682	60	1.2	100.41
383	5	35	97.36	433	10	47.5	99.13	483	15	50	99.98	533	20	85	99.05	583	30	1.2	100.76	633	40	85	97.55	683	60	10	100.01
384	5	37.5	97.10	434	10	50	99.03	484	15	52.5	99.27	534	20	87.5	98.59	584	30	5	101.33	634	40	87.5	97.59	684	60	20	99.39
385	5	40	96.75	435	10	52.5	98.12	485	15	55	98.62	535	20	90	98.34	585	30	10	102.76	635	40	90	97.24	685	60	25	100.08
386	5	42.5	96.69	436	10	55	97.62	486	15	57.5	97.76	536	20	95	99.83	586	30	12.5	103.36	636	40	95	98.68	686	60	30	97.17
387	5	45	96.89	437	10	57.5	97.46	487	15	60	97.30	537	20	100	100.32	587	30	15	103.60	637	40	100	99.07	687	60	35	95.16
388	5	47.5	97.08	438	10	60	97.20	488	15	62.5	97.20	538	20	105	100.21	588	30	17.5	103.95	638	40	105	99.31	688	60	40	95.75
389	5	50	97.03	439	10	62.5	96.15	489	15	65	97.29	539	20	110	100.29	589	30	20	103.79	639	40	110	99.54	689	60	45	97.74
390	5	52.5	96.52	440	10	65	96.49	490	15	67.5	97.44	540	20	115	100.08	590	30	30	103.97	640	40	115	99.64	690	60	50	99.53
391	5	55	96.92	441	10	67.5	97.84	491	15	70	96.73	541	20	120	98.82	591	30	35	104.06	641	40	120	98.67	691	60	60	98.00
392	5	57.5	97.71	442	10	70	97.98	492	15	72.5	97.83	542	20	130	99.85	592	30	45	99.24	642	40	130	100.90	692	60	70	98.38
393	5	60	98.00	443	10	72.5	98.53	493	15	75	98.07	543	20	140	101.13	593	30	55	98.02	643	40	140	99.48	693	60	80	99.56
394	5	62.5	98.05	444	10	75	98.77	494	15	77.5	98.82	544	20	150	101.46	594	30	65	98.49	644	40	150	98.91	694	60	85	98.95
395	5	65	98.59	445	10	77.5	100.12	495	15	80	100.06	545	20	160	99.63	595	30	70	98.28	645	40	160	99.53	695	60	90	98.54
396	5	67.5	98.94	446	10	80	98.66	496	15	82.5	100.20	546	20	170	98.66	596	30	75	97.37	646	40	170	99.76	696	60	95	96.53
397	5	70	98.93	447	10	82.5	98.90	497	15	85	99.95	547	20	180	99.24	597	30	77.5	98.52	647	40	180	98.74	697	60	100	98.87
398	5	75	99.42	448	10	85	99.95	498	15	87.5	98.89	548	20	190	100.32	598	30	80	97.56	648	40	190	100.67	698	60	105	98.81
399	5	80	99.16	449	10	90	99.44	499	15	90	97.84	549	25	1.2	104.46	599	30	82.5	96.80	649	50	1.2	99.86	699	60	110	99.29
400	5	85	99.20	450	10	95	98.63	500	15	95	97.33	550	25	10	103.46	600	30	85	96.85	650	50	5	100.53	700	60	120	97.57

Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota
701	60	130	98.65	751	105	190	100.42																				
702	60	140	101.03	752	135	1.2	100.36																				
703	60	150	98.61	753	135	15	101.30																				
704	60	160	98.38	754	135	30	100.07																				
705	60	170	99.56	755	135	45	99.79																				
706	60	180	97.84	756	135	60	99.85																				
707	60	190	99.82	757	135	75	99.47																				
708	75	1.2	101.06	758	135	90	99.54																				
709	75	5	100.83	759	135	105	99.11																				
710	75	10	99.71	760	135	120	99.37																				
711	75	15	100.40	761	135	135	97.94																				
712	75	20	100.49	762	135	150	100.71																				
713	75	25	99.08	763	135	165	99.67																				
714	75	30	99.07	764	135	180	100.24																				
715	75	35	98.36	765	135	190	100.42																				
716	75	40	98.15																								
717	75	45	98.34																								
718	75	50	98.33																								
719	75	55	98.52																								
720	75	60	99.30																								
721	75	65	99.59																								
722	75	70	98.48																								
723	75	75	99.77																								
724	75	80	99.16																								
725	75	85	98.35																								
726	75	90	95.44																								
727	75	95	96.73																								
728	75	100	98.72																								
729	75	110	98.99																								
730	75	120	96.87																								
731	75	130	99.55																								
732	75	140	98.93																								
733	75	150	100.71																								
734	75	160	100.28																								
735	75	170	99.36																								
736	75	180	99.84																								
737	75	190	97.62																								
738	105	1.2	98.36																								
739	105	15	99.60																								
740	105	30	101.57																								
741	105	45	100.74																								
742	105	60	97.60																								
743	105	75	97.87																								
744	105	90	97.54																								
745	105	105	98.81																								
746	105	120	98.07																								
747	105	135	99.74																								
748	105	150	97.61																								
749	105	165	99.37																								
750	105	180	101.64																								

Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota
351	25	70	98.98	401	40	40	101.05	451	60	140	100.33	501	105	60	99.80												
352	25	75	98.37	402	40	50	100.83	452	60	150	98.51	502	105	75	98.17												
353	25	80	98.76	403	40	60	99.00	453	60	160	100.08	503	105	90	100.29												
354	25	85	98.45	404	40	70	100.18	454	60	170	99.66	504	105	105	101.01												
355	25	90	98.54	405	40	80	99.26	455	60	180	99.04	505	105	120	98.57												
356	25	95	99.33	406	40	90	97.94	456	60	190	100.12	506	105	135	97.64												
357	25	100	98.72	407	40	100	98.42	457	70	1.2	99.66	507	105	150	98.71												
358	25	110	99.59	408	40	110	100.99	458	70	10	100.51	508	105	165	99.67												
359	25	120	100.37	409	40	120	98.17	459	70	20	100.49	509	105	180	100.04												
360	25	130	101.55	410	40	130	98.75	460	70	30	100.07	510	105	190	101.22												
361	25	140	99.33	411	40	140	99.93	461	70	40	101.75	511	135	1.2	99.26												
362	25	150	99.71	412	40	150	99.41	462	70	50	99.73	512	135	15	101.50												
363	25	160	99.48	413	40	160	98.18	463	70	60	98.75	513	135	30	98.97												
364	25	170	99.16	414	40	170	98.06	464	70	70	100.68	514	135	45	100.49												
365	25	180	98.04	415	40	180	101.44	465	70	80	99.86	515	135	60	100.20												
366	25	190	99.12	416	40	190	98.67	466	70	90	99.44	516	135	75	99.02												
367	30	1.6	101.36	417	50	1.2	99.46	467	70	100	99.52	517	135	90	98.29												
368	30	5	101.43	418	50	10	100.21	468	70	110	98.99	518	135	105	99.71												
369	30	10	101.21	419	50	20	100.19	469	70	120	100.07	519	135	120	100.27												
370	30	15	99.20	420	50	30	99.77	470	70	130	96.95	520	135	135	98.04												
371	30	20	98.89	421	50	40	99.75	471	70	140	101.03	521	135	150	99.61												
372	30	25	99.38	422	50	50	98.33	472	70	150	101.21	522	135	165	99.57												
373	30	30	99.27	423	50	60	98.90	473	70	160	101.08	523	135	180	100.84												
374	30	35	99.16	424	50	70	99.28	474	70	170	100.46	524	135	190	100.82												
375	30	40	100.65	425	50	80	99.86	475	70	180	101.44	525	165	1.2	100.71												
376	30	45	99.84	426	50	90	99.64	476	70	190	98.22	526	165	15	101.50												
377	30	50	99.93	427	50	100	99.42	477	80	1.2	100.46	527	165	30	99.67												
378	30	55	98.92	428	50	110	99.09	478	80	10	100.81	528	165	45	100.49												
379	30	60	99.10	429	50	120	97.47	479	80	20	99.39	529	165	60	100.30												
380	30	65	99.39	430	50	130	98.35	480	80	30	100.57	530	165	75	100.97												
381	30	70	98.48	431	50	140	100.03	481	80	40	99.85	531	165	90	100.34												
382	30	75	99.82	432	50	150	101.01	482	80	50	100.73	532	165	105	99.81												
383	30	80	98.86	433	50	160	99.68	483	80	60	98.20	533	165	120	98.67												
384	30	85	99.25	434	50	170	99.76	484	80	70	98.68	534	165	135	100.64												
385	30	90	99.14	435	50	180	100.04	485	80	80	100.26	535	165	150	99.36												
386	30	95	98.63	436	50	190	99.92	486	80	90	101.34	536	165	165	98.37												
387	30	100	99.32	437	60	1.6	100.26	487	80	100	99.82	537	165	180	100.39												
388	30	110	99.89	438	60	10	99.61	488	80	110	98.09	538	165	190	99.22												
389	30	120	99.07	439	60	20	99.29	489	80	120	99.37																
390	30	130	99.55	440	60	30	97.87	490	80	130	100.05																
391	30	140	99.63	441	60	40	98.55	491	80	140	98.13																
392	30	150	101.01	442	60	50	99.33	492	80	150	99.21																
393	30	160	100.68	443	60	60	98.80	493	80	160	99.38																
394	30	170	99.56	444	60	70	98.18	494	80	170	99.06																
395	30	180	98.64	445	60	80	98.66	495	80	180	97.84																
396	30	190	100.22	446	60	90	99.84	496	80	190	97.42																
397	40	1.2	100.76	447	60	100	99.02	497	105	1.2	100.36																
398	40	10	99.41	448	60	110	98.79	498	105	15	101.20																
399	40	20	99.39	449	60	120	97.87	499	105	30	100.97																
400	40	30	101.47	450	60	130	99.05	500	105	45	99.04																

ANEXO G7: ENSAYO E135-30

Fecha de levantamiento: 14/09/17

Cuadro D.7. Cotas topográficas (cm) de lecho deformado en ensayo E135-30. Fuente: Propia

Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota
1	-95	1.2	97.46	51	-35	120	99.47	101	-10	190	99.62	151	0	170	99.46	201	10	110	100.29	251	20	34	88.74	301	25	150	98.41
2	-95	15	98.90	52	-35	135	99.74	102	-5	2.2	97.88	152	0	180	99.94	202	10	120	98.87	252	20	40	90.05	302	25	160	99.98
3	-95	30	100.27	53	-35	150	100.91	103	-5	5	97.93	153	0	190	100.82	203	10	130	100.25	253	20	45	90.84	303	25	170	98.56
4	-95	45	99.54	54	-35	165	98.87	104	-5	10	98.21	154	5	1.2	93.76	204	10	140	100.53	254	20	50	91.83	304	25	180	97.74
5	-95	60	98.80	55	-35	180	100.84	105	-5	15	97.20	155	5	2.5	93.38	205	10	150	100.41	255	20	55	92.42	305	25	190	97.82
6	-95	75	99.47	56	-35	190	99.92	106	-5	20	97.39	156	5	3.5	92.80	206	10	160	99.28	256	20	60	93.90	306	30	1.4	95.76
7	-95	90	98.24	57	-15	1.2	97.76	107	-5	25	99.98	157	5	9	92.30	207	10	170	101.36	257	20	65	94.89	307	30	2.5	95.78
8	-95	105	99.01	58	-15	10	99.21	108	-5	30	99.67	158	5	15	93.50	208	10	180	99.84	258	20	70	96.38	308	30	5	96.83
9	-95	120	99.57	59	-15	20	102.19	109	-5	35	99.06	159	5	20	94.19	209	10	190	98.92	259	20	75	98.37	309	30	7.5	98.47
10	-95	135	99.94	60	-15	30	101.27	110	-5	40	100.05	160	5	25	95.58	210	15	1.2	96.56	260	20	80	99.46	310	30	10	98.61
11	-95	150	98.91	61	-15	40	99.05	111	-5	45	100.64	161	5	30	96.87	211	15	2.5	96.98	261	20	85	99.55	311	30	12.5	98.26
12	-95	165	100.47	62	-15	50	100.33	112	-5	50	99.33	162	5	35	97.56	212	15	5	96.63	262	20	90	99.64	312	30	15	97.40
13	-95	180	100.34	63	-15	60	99.50	113	-5	55	98.52	163	5	40	97.65	213	15	7.5	95.67	263	20	95	100.13	313	30	20	96.59
14	-95	190	100.12	64	-15	70	99.38	114	-5	60	98.00	164	5	45	98.54	214	15	10	95.01	264	20	100	100.22	314	30	25	95.58
15	-75	1.2	99.66	65	-15	80	99.56	115	-5	70	100.08	165	5	50	97.53	215	15	12.5	93.66	265	20	110	98.59	315	30	30	93.67
16	-75	15	100.70	66	-15	90	99.94	116	-5	80	101.76	166	5	55	99.52	216	15	15	92.50	266	20	120	98.97	316	30	35	91.66
17	-75	30	101.97	67	-15	100	98.62	117	-5	90	100.04	167	5	60	98.20	217	15	17.5	91.15	267	20	130	99.25	317	30	40	89.85
18	-75	45	100.04	68	-15	110	100.79	118	-5	100	98.02	168	5	70	98.98	218	15	20	90.29	268	20	140	99.93	318	30	42.5	88.99
19	-75	60	99.90	69	-15	120	100.37	119	-5	110	98.89	169	5	80	100.46	219	15	25	90.38	269	20	150	99.71	319	30	45	88.44
20	-75	75	99.57	70	-15	130	98.55	120	-5	120	100.77	170	5	90	100.64	220	15	30	90.97	270	20	160	101.28	320	30	51	87.54
21	-75	90	99.34	71	-15	140	99.33	121	-5	130	101.85	171	5	100	97.72	221	15	35	91.86	271	20	170	99.26	321	30	55	87.92
22	-75	105	99.51	72	-15	150	100.91	122	-5	140	98.83	172	5	110	99.19	222	15	40	93.35	272	20	180	98.94	322	30	60	89.30
23	-75	120	99.67	73	-15	160	98.38	123	-5	150	99.51	173	5	120	100.17	223	15	45	93.84	273	20	190	97.72	323	30	65	91.39
24	-75	135	100.74	74	-15	170	99.76	124	-5	160	99.68	174	5	130	100.55	224	15	50	95.03	274	25	1.2	94.86	324	30	70	92.48
25	-75	150	97.81	75	-15	180	98.44	125	-5	170	99.46	175	5	140	101.43	225	15	55	95.32	275	25	5	96.63	325	30	75	94.17
26	-75	165	99.07	76	-15	190	99.62	126	-5	180	99.54	176	5	150	99.51	226	15	60	96.20	276	25	10	96.71	326	30	80	95.66
27	-75	180	98.34	77	-10	1.2	98.26	127	-5	190	98.22	177	5	160	99.28	227	15	65	97.89	277	25	15	96.00	327	30	85	98.15
28	-75	190	99.42	78	-10	5	98.43	128	0	1.6	94.36	178	5	170	99.06	228	15	70	99.28	278	25	20	95.09	328	30	90	98.54
29	-55	2	100.37	79	-10	10	98.81	129	0	5	94.63	179	5	180	98.54	229	15	75	99.27	279	25	25	93.18	329	30	95	98.43
30	-55	15	99.40	80	-10	15	98.70	130	0	10	95.61	180	5	190	99.52	230	15	80	99.16	280	25	30	91.07	330	30	100	99.02
31	-55	30	97.97	81	-10	20	99.79	131	0	15	96.10	181	10	1.2	95.76	231	15	85	100.75	281	25	32.5	90.21	331	30	110	100.69
32	-55	45	101.54	82	-10	25	100.88	132	0	20	97.39	182	10	5	95.03	232	15	90	100.34	282	25	35	88.86	332	30	120	99.27
33	-55	60	101.10	83	-10	30	100.17	133	0	25	98.18	183	10	7.5	93.67	233	15	95	100.33	283	25	37.5	88.50	333	30	130	100.35
34	-55	75	100.67	84	-10	35	98.86	134	0	30	98.77	184	10	10	92.21	234	15	100	100.62	284	25	42	87.18	334	30	140	98.73
35	-55	90	97.74	85	-10	40	99.25	135	0	35	99.06	185	10	12.5	91.16	235	15	110	99.69	285	25	45	87.94	335	30	150	99.41
36	-55	105	99.71	86	-10	45	100.64	136	0	40	100.25	186	10	17.5	90.95	236	15	120	97.67	286	25	50	89.83	336	30	160	100.48
37	-55	120	99.37	87	-10	50	98.73	137	0	45	99.54	187	10	20	91.49	237	15	130	99.45	287	25	55	89.92	337	30	170	100.26
38	-55	135	100.34	88	-10	60	98.80	138	0	50	98.53	188	10	25	92.88	238	15	140	99.73	288	25	60	91.20	338	30	180	97.94
39	-55	150	99.91	89	-10	70	99.78	139	0	55	98.92	189	10	30	93.97	239	15	150	98.91	289	25	65	92.39	339	30	190	99.12
40	-55	165	98.67	90	-10	80	101.06	140	0	60	99.10	190	10	35	94.76	240	15	160	101.38	290	25	70	94.78	340	35	1.8	98.47
41	-55	180	97.54	91	-10	90	100.64	141	0	70	98.58	191	10	40	95.95	241	15	170	101.76	291	25	75	95.67	341	35	5	98.43
42	-55	190	101.32	92	-10	100	98.42	142	0	80	100.46	192	10	45	96.64	242	15	180	100.34	292	25	80	97.26	342	35	7.5	98.67
43	-35	1.2	99.06	93	-10	110	98.99	143	0	90	99.24	193	10	50	97.13	243	15	190	98.52	293	25	85	98.25	343	35	10	98.01
44	-35	15	100.60	94	-10	120	100.77	144	0	100	97.82	194	10	55	97.62	244	20	1.2	96.56	294	25	90	98.14	344	35	12.5	99.46
45	-35	30	99.77	95	-10	130	100.55	145	0	110	99.59	195	10	60	98.80	245	20	5	97.23	295	25	95	98.63	345	35	15	99.80
46	-35	45	101.74	96	-10	140	100.23	146	0	120	99.07	196	10	65	99.29	246	20	10	97.11	296	25	100	98.62	346	35	17.5	99.35
47	-35	60	100.30	97	-10	150	99.41	147	0	130	100.05	197	10	70	98.88	247	20	15	94.70	297	25	110	99.49	347	35	20	98.09
48	-35	75	99.87	98	-10	160	99.08	148	0	140	99.83	198	10	80	100.36	248	20	20	92.69	298	25	120	100.27	348	35	22.5	97.14
49	-35	90	100.94	99	-10	170	100.26	149	0	150	99.01	199	10	90	99.54	249	20	25	90.68	299	25	130	98.75	349	35	25	97.08
50	-35	105	100.01	100	-10	180	100.14	150	0	160	99.98	200	10	100	97.92	250	20	29	88.95	300	25	140	99.93	350	35	27.5	96.43

Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota
351	35	30	95.97	401	40	90	95.54	451	45	160	99.58	501	55	50	96.13	551	60	90	95.14	601	70	25	101.28	651	75	130	99.75
352	35	35	94.16	402	40	95	96.83	452	45	170	100.06	502	55	52.5	94.67	552	60	95	93.73	602	70	30	100.27	652	75	140	97.93
353	35	40	92.75	403	40	100	96.42	453	45	180	98.34	503	55	55	93.22	553	60	100	95.92	603	70	35	100.66	653	75	150	100.41
354	35	45	90.74	404	40	105	96.61	454	45	190	96.62	504	55	57.5	93.56	554	60	110	97.39	604	70	40	101.25	654	75	160	97.88
355	35	50	88.33	405	40	110	98.69	455	50	1.2	99.06	505	55	60	91.90	555	60	120	98.17	605	70	45	101.94	655	75	170	98.76
356	35	52.5	87.67	406	40	120	98.27	456	50	5	97.83	506	55	62.5	90.75	556	60	130	98.55	606	70	50	99.33	656	75	180	98.04
357	35	55	87.92	407	40	130	99.45	457	50	10	98.61	507	55	65	90.89	557	60	140	98.23	607	70	55	97.52	657	75	190	98.62
358	35	59	87.29	408	40	140	99.53	458	50	15	99.50	508	55	67.5	90.74	558	60	150	99.11	608	70	60	94.50	658	80	1.2	102.26
359	35	65	89.59	409	40	150	99.11	459	50	20	98.89	509	55	70	90.08	559	60	160	100.58	609	70	65	91.99	659	80	5	103.33
360	35	70	90.48	410	40	160	100.78	460	50	25	98.78	510	55	72.5	90.03	560	60	170	97.86	610	70	70	92.48	660	80	10	100.91
361	35	75	92.37	411	40	170	100.86	461	50	30	98.37	511	55	75	91.07	561	60	180	99.34	611	70	75	92.57	661	80	15	98.80
362	35	80	93.16	412	40	180	98.44	462	50	35	97.16	512	55	80	92.26	562	60	190	101.12	612	70	80	92.16	662	80	20	100.49
363	35	85	96.75	413	40	190	96.62	463	50	40	97.05	513	55	85	93.85	563	65	1.2	97.76	613	70	85	93.05	663	80	25	102.18
364	35	90	96.84	414	45	1.6	99.26	464	50	45	95.54	514	55	90	94.34	564	65	5	98.23	614	70	90	94.54	664	80	30	102.27
365	35	95	97.43	415	45	5	99.63	465	50	47.5	96.48	515	55	95	95.03	565	65	10	98.91	615	70	95	96.43	665	80	35	103.06
366	35	100	97.22	416	45	10	98.31	466	50	50	95.63	516	55	100	96.22	566	65	15	101.30	616	70	100	96.02	666	80	40	103.65
367	35	110	99.39	417	45	15	99.20	467	50	52.5	94.57	517	55	110	98.69	567	65	20	101.19	617	70	105	97.11	667	80	45	102.84
368	35	120	97.37	418	45	20	96.39	468	50	55	93.62	518	55	120	98.57	568	65	25	100.48	618	70	110	98.49	668	80	50	100.53
369	35	130	99.25	419	45	22.5	96.64	469	50	57.5	91.96	519	55	130	97.75	569	65	30	100.97	619	70	120	99.17	669	80	55	97.72
370	35	140	97.83	420	45	25	97.88	470	50	60	91.00	520	55	140	99.93	570	65	35	98.76	620	70	130	98.05	670	80	60	96.70
371	35	150	101.41	421	45	27.5	98.13	471	50	62.5	89.35	521	55	150	100.41	571	65	40	100.05	621	70	140	98.83	671	80	65	94.39
372	35	160	100.58	422	45	30	97.77	472	50	65	88.89	522	55	160	100.08	572	65	45	99.84	622	70	150	98.41	672	80	70	93.48
373	35	170	100.86	423	45	32.5	97.31	473	50	67.5	90.34	523	55	170	99.86	573	65	50	98.13	623	70	160	98.58	673	80	75	94.37
374	35	180	99.44	424	45	35	97.16	474	50	70	91.18	524	55	180	97.64	574	65	55	95.92	624	70	170	99.26	674	80	80	93.66
375	35	190	98.62	425	45	37.5	97.00	475	50	72.5	91.03	525	55	190	100.22	575	65	60	94.10	625	70	180	97.44	675	80	85	94.35
376	40	1.6	100.26	426	45	40	96.55	476	50	75	91.87	526	60	1.8	98.27	576	65	62.5	92.55	626	70	190	97.82	676	80	90	94.84
377	40	5	100.33	427	45	42.5	95.79	477	50	80	92.26	527	60	5	99.33	577	65	65	91.89	627	75	1.2	102.96	677	80	95	95.43
378	40	7.5	100.07	428	45	45	94.84	478	50	85	93.45	528	60	10	101.41	578	65	67.5	91.54	628	75	5	101.53	678	80	100	96.22
379	40	10	98.81	429	45	47.5	93.48	479	50	90	94.84	529	60	15	102.50	579	65	70	91.78	629	75	10	100.71	679	80	105	96.61
380	40	12.5	97.76	430	45	50	92.93	480	50	95	96.53	530	60	20	101.09	580	65	72.5	92.93	630	75	15	100.70	680	80	110	96.69
381	40	15	97.80	431	45	55	91.72	481	50	100	98.42	531	60	25	100.38	581	65	75	93.07	631	75	20	100.49	681	80	120	97.37
382	40	17.5	98.05	432	45	60	89.40	482	50	110	99.39	532	60	30	100.77	582	65	80	92.56	632	75	25	101.48	682	80	130	99.55
383	40	20	97.79	433	45	62.5	88.35	483	50	120	98.67	533	60	35	99.56	583	65	85	93.75	633	75	30	101.77	683	80	140	99.33
384	40	22.5	97.64	434	45	65	88.59	484	50	130	98.85	534	60	40	98.35	584	65	90	94.14	634	75	35	102.26	684	80	150	99.91
385	40	25	97.08	435	45	67.5	89.44	485	50	140	99.23	535	60	45	98.34	585	65	95	94.93	635	75	40	101.85	685	80	160	99.28
386	40	27.5	97.73	436	45	70	91.18	486	50	150	99.11	536	60	50	96.33	586	65	100	96.52	636	75	45	101.54	686	80	170	100.46
387	40	30	97.37	437	45	72	92.42	487	50	160	99.58	537	60	52.5	95.47	587	65	110	97.69	637	75	50	98.93	687	80	180	98.64
388	40	35	96.16	438	45	75	91.37	488	50	170	98.86	538	60	55	95.32	588	65	120	99.07	638	75	55	96.22	688	80	190	100.32
389	40	40	94.85	439	45	77.5	91.52	489	50	180	98.64	539	60	57.5	94.06	589	65	130	99.15	639	75	60	95.50	689	90	1.2	102.76
390	40	45	92.94	440	45	80	93.16	490	50	190	98.62	540	60	60	92.80	590	65	140	97.13	640	75	65	92.89	690	90	10	100.61
391	40	50	91.23	441	45	82.5	94.00	491	55	1.2	98.76	541	60	62.5	91.55	591	65	150	98.61	641	75	70	92.08	691	90	20	103.09
392	40	55	89.22	442	45	85	94.35	492	55	5	98.23	542	60	65	90.59	592	65	160	98.58	642	75	75	93.57	692	90	30	102.57
393	40	57.5	88.76	443	45	90	95.04	493	55	10	100.41	543	60	67.5	90.94	593	65	170	97.96	643	75	80	92.66	693	90	40	102.95
394	40	60	87.70	444	45	95	97.43	494	55	15	102.20	544	60	70	90.98	594	65	180	99.94	644	75	85	93.05	694	90	45	102.04
395	40	62.5	88.35	445	45	100	97.92	495	55	20	101.89	545	60	72.5	91.33	595	65	190	98.22	645	75	90	93.34	695	90	50	100.13
396	40	65	88.39	446	45	110	99.19	496	55	25	101.58	546	60	75	92.77	596	70	1.2	99.26	646	75	95	94.93	696	90	55	98.72
397	40	70	90.98	447	45	120	97.87	497	55	30	101.37	547	60	77.5	94.02	597	70	5	97.83	647	75	100	95.52	697	90	60	97.70
398	40	75	90.77	448	45	130	98.75	498	55	35	99.36	548	60	80	93.66	598	70	10	98.21	648	75	105	96.11	698	90	65	95.59
399	40	80	92.96	449	45	140	99.53	499	55	40	98.95	549	60	82.5	93.70	599	70	15	100.00	649	75	110	96.39	699	90	70	93.98
400	40	85	95.25	450	45	150	97.91	500	55	45	97.34	550	60	85	94.55	600	70	20	101.59	650	75	120	97.57	700	90	75	93.07

ANEXO G8: ENSAYO 135-50

Fecha de levantamiento: 18/09/17

Cuadro D.8. Cotas topográficas (cm) de lecho deformado en ensayo E135-50. Fuente: Propia

Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota
1	-65	1.2	100.61	51	-15	100	99.67	101	-5	100	99.67	151	5	12.5	96.81	201	10	55	98.97	251	15	130	100.20	301	25	7.5	98.22
2	-65	10	100.86	52	-15	110	100.34	102	-5	110	99.04	152	5	15	97.95	202	10	60	98.65	252	15	140	100.28	302	25	10	98.36
3	-65	20	101.04	53	-15	120	99.42	103	-5	120	98.52	153	5	17.5	98.70	203	10	65	99.24	253	15	150	99.06	303	25	12.5	98.41
4	-65	30	99.92	54	-15	130	100.80	104	-5	130	99.30	154	5	20	98.44	204	10	70	99.13	254	15	160	99.33	304	25	15	98.25
5	-65	40	99.30	55	-15	140	100.58	105	-5	140	98.88	155	5	22.5	98.09	205	10	75	98.82	255	15	170	98.21	305	25	17.5	97.10
6	-65	50	99.68	56	-15	150	99.46	106	-5	150	98.46	156	5	25	98.03	206	10	80	100.41	256	15	180	98.59	306	25	20	95.44
7	-65	60	98.65	57	-15	160	98.23	107	-5	160	100.03	157	5	27.5	98.08	207	10	85	99.40	257	15	190	98.77	307	25	22.5	94.59
8	-65	70	99.33	58	-15	170	99.91	108	-5	170	99.31	158	5	30	99.02	208	10	90	99.79	258	20	1.2	100.51	308	25	24	93.81
9	-65	80	101.21	59	-15	180	99.29	109	-5	180	98.29	159	5	32.5	100.06	209	10	95	100.38	259	20	2.5	100.23	309	25	28	92.88
10	-65	90	99.99	60	-15	190	97.67	110	-5	190	99.87	160	5	35	100.01	210	10	100	100.17	260	20	5	99.38	310	25	30	93.42
11	-65	100	97.67	61	-10	1.2	98.91	111	0	3	95.74	161	5	40	100.80	211	10	110	98.29	261	20	7.5	99.12	311	25	32.5	94.56
12	-65	110	98.24	62	-10	10	99.96	112	0	5	96.18	162	5	45	100.09	212	10	120	99.52	262	20	10	97.76	312	25	35	95.11
13	-65	120	98.82	63	-10	20	99.24	113	0	7.5	97.22	163	5	50	99.18	213	10	130	100.60	263	20	12.5	97.01	313	25	37.5	96.35
14	-65	130	99.10	64	-10	30	100.92	114	0	10	97.96	164	5	55	99.37	214	10	140	99.08	264	20	15	95.85	314	25	40	97.00
15	-65	140	99.88	65	-10	40	100.10	115	0	12.5	98.51	165	5	60	99.45	215	10	150	97.96	265	20	17.5	94.90	315	25	42.5	96.84
16	-65	150	99.96	66	-10	50	101.78	116	0	15	98.45	166	5	65	99.94	216	10	160	99.33	266	20	19	94.32	316	25	45	97.49
17	-65	160	98.33	67	-10	60	101.35	117	0	17.5	97.10	167	5	70	99.73	217	10	170	98.41	267	20	22.5	93.59	317	25	47.5	97.53
18	-65	170	98.01	68	-10	70	98.33	118	0	20	96.34	168	5	75	99.42	218	10	180	96.99	268	20	25	94.23	318	25	50	97.78
19	-65	180	100.59	69	-10	80	100.21	119	0	22.5	96.59	169	5	80	98.21	219	10	190	98.67	269	20	27.5	94.18	319	25	52.5	98.92
20	-65	190	97.27	70	-10	90	98.09	120	0	25	97.73	170	5	85	98.70	220	15	1.2	98.91	270	20	30	95.32	320	25	55	99.57
21	-35	1.2	100.21	71	-10	100	100.07	121	0	27.5	98.98	171	5	90	99.99	221	15	2.5	99.03	271	20	32.5	96.16	321	25	57.5	99.31
22	-35	10	98.56	72	-10	110	100.04	122	0	30	99.92	172	5	95	99.28	222	15	5	98.38	272	20	35	96.61	322	25	60	99.55
23	-35	20	99.54	73	-10	120	97.42	123	0	32.5	101.16	173	5	100	100.37	223	15	7.5	97.52	273	20	37.5	97.55	323	25	65	98.14
24	-35	30	100.32	74	-10	130	99.60	124	0	35	100.61	174	5	110	99.24	224	15	10	96.46	274	20	40	98.10	324	25	70	97.73
25	-35	40	98.60	75	-10	140	99.18	125	0	40	100.90	175	5	120	98.22	225	15	12.5	95.21	275	20	42.5	98.54	325	25	75	98.32
26	-35	50	98.58	76	-10	150	97.16	126	0	45	100.89	176	5	130	101.00	226	15	13.5	94.83	276	20	45	98.79	326	25	80	98.31
27	-35	60	100.85	77	-10	160	100.73	127	0	50	100.48	177	5	140	99.08	227	15	17.5	94.20	277	20	47.5	99.33	327	25	85	99.50
28	-35	70	101.83	78	-10	170	99.21	128	0	55	99.27	178	5	150	97.36	228	15	20	95.04	278	20	50	99.68	328	25	90	99.29
29	-35	80	100.91	79	-10	180	99.59	129	0	60	98.45	179	5	160	99.43	229	15	22.5	96.09	279	20	55	99.07	329	25	95	98.68
30	-35	90	99.49	80	-10	190	98.07	130	0	65	98.14	180	5	170	97.81	230	15	25	97.13	280	20	60	98.45	330	25	100	97.17
31	-35	100	98.57	81	-5	2	97.92	131	0	70	100.63	181	5	180	98.29	231	15	27.5	97.88	281	20	65	97.84	331	25	110	99.84
32	-35	110	99.84	82	-5	5	98.78	132	0	75	100.32	182	5	190	98.47	232	15	30	98.02	282	20	70	98.83	332	25	120	98.32
33	-35	120	98.22	83	-5	10	98.06	133	0	80	100.21	183	10	1.2	97.81	233	15	32.5	98.46	283	20	75	99.52	333	25	130	98.90
34	-35	130	97.30	84	-5	15	97.55	134	0	85	99.60	184	10	2.5	97.68	234	15	35	99.11	284	20	80	98.81	334	25	140	99.78
35	-35	140	100.28	85	-5	20	98.54	135	0	90	99.69	185	10	5	96.88	235	15	37.5	99.25	285	20	85	98.80	335	25	150	99.36
36	-35	150	97.86	86	-5	25	99.83	136	0	95	99.58	186	10	7.5	95.42	236	15	40	99.40	286	20	90	98.29	336	25	160	98.53
37	-35	160	100.43	87	-5	30	101.42	137	0	100	98.97	187	10	8.5	94.79	237	15	45	100.09	287	20	95	98.38	337	25	170	98.91
38	-35	170	99.91	88	-5	35	101.81	138	0	110	99.24	188	10	12.5	94.91	238	15	50	100.78	288	20	100	98.27	338	25	180	99.19
39	-35	180	98.79	89	-5	40	101.30	139	0	120	97.92	189	10	15	95.75	239	15	55	98.47	289	20	110	99.24	339	25	190	98.47
40	-35	190	98.37	90	-5	45	99.69	140	0	130	100.20	190	10	17.5	96.70	240	15	60	96.95	290	20	120	99.22	340	30	1.4	96.81
41	-15	1.2	99.51	91	-5	50	100.58	141	0	140	99.28	191	10	20	97.94	241	15	65	98.94	291	20	130	98.10	341	30	2.5	97.13
42	-15	10	98.86	92	-5	55	100.17	142	0	150	98.76	192	10	22.5	98.69	242	15	70	98.33	292	20	140	100.38	342	30	5	96.18
43	-15	20	98.54	93	-5	60	99.35	143	0	160	99.83	193	10	25	99.13	243	15	75	99.12	293	20	150	99.96	343	30	7.5	96.92
44	-15	30	99.82	94	-5	65	99.34	144	0	170	98.51	194	10	27.5	98.88	244	15	80	101.01	294	20	160	97.53	344	30	10	97.16
45	-15	40	100.30	95	-5	70	99.93	145	0	180	99.09	195	10	30	98.72	245	15	85	100.40	295	20	170	99.21	345	30	12.5	98.11
46	-15	50	101.38	96	-5	75	99.32	146	0	190	99.57	196	10	32.5	99.26	246	15	90	100.09	296	20	180	99.19	346	30	15	98.85
47	-15	60	100.45	97	-5	80	100.21	147	5	1.2	96.61	197	10	35	100.11	247	15	95	99.28	297	20	190	99.37	347	30	17.5	98.20
48	-15	70	100.13	98	-5	85	99.40	148	5	2.5	95.83	198	10	40	100.50	248	15	100	99.67	298	25	1.2	97.61	348	30	20	97.74
49	-15	80	100.81	99	-5	90	100.79	149	5	8	95.03	199	10	45	100.19	249	15	110	97.74	299	25	2.5	98.23	349	30	22.5	96.99
50	-15	90	98.69	100	-5	95	101.28	150	5	10	95.96	200	10	50	99.08	250	15	120	100.82	300	25	5	98.08	350	30	25	95.73

Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota
351	30	27.5	94.88	401	35	45	94.89	451	40	62.5	98.30	501	45	130	100.00	551	55	20	99.44	601	60	70	94.73	651	65	170	98.71
352	30	30	94.02	402	35	47.5	95.43	452	40	65	99.04	502	45	140	99.38	552	55	25	99.83	602	60	72.5	96.58	652	65	180	97.19
353	30	33	93.17	403	35	50	95.28	453	40	67.5	99.89	503	45	150	99.76	553	55	30	98.52	603	60	75	97.32	653	65	190	97.37
354	30	35	93.71	404	35	52.5	96.42	454	40	70	99.53	504	45	160	99.23	554	55	35	98.61	604	60	77.5	96.37	654	65	200	97.91
355	30	37.5	94.35	405	35	55	97.27	455	40	75	98.12	505	45	170	95.81	555	55	40	98.80	605	60	80	96.81	655	65	210	97.68
356	30	40	94.60	406	35	57.5	97.81	456	40	80	99.01	506	45	180	98.89	556	55	45	98.39	606	60	82.5	97.05	656	65	220	97.76
357	30	42.5	94.74	407	35	60	99.05	457	40	85	99.00	507	45	190	97.87	557	55	50	97.08	607	60	85	98.80	657	65	230	98.45
358	30	45	95.79	408	35	62.5	98.30	458	40	90	98.39	508	45	200	100.61	558	55	55	96.22	608	60	90	97.09	658	65	240	99.54
359	30	47.5	95.83	409	35	65	97.94	459	40	95	96.98	509	45	210	99.98	559	55	60	95.07	609	60	95	94.98	659	65	250	100.73
360	30	50	96.18	410	35	70	100.03	460	40	100	96.87	510	45	220	98.16	560	55	65	94.31	610	60	100	94.17	660	65	260	99.92
361	30	52.5	96.32	411	35	75	100.32	461	40	110	97.84	511	45	230	99.35	561	55	70	95.65	611	60	105	96.66	661	65	270	98.51
362	30	55	97.67	412	35	80	100.21	462	40	120	98.92	512	45	240	98.94	562	55	75	96.10	612	60	110	98.74	662	65	280	98.70
363	30	57.5	98.31	413	35	85	100.60	463	40	130	98.90	513	45	250	99.23	563	55	80	95.84	613	60	120	98.12	663	65	290	99.59
364	30	60	98.55	414	35	90	100.09	464	40	140	99.88	514	45	260	98.32	564	55	85	94.49	614	60	130	97.80	664	65	300	100.28
365	30	62.5	97.50	415	35	95	98.08	465	40	150	99.26	515	45	270	97.76	565	55	90	94.23	615	60	140	99.08	665	65	310	98.17
366	30	65	96.74	416	35	100	97.77	466	40	160	99.63	516	45	280	97.51	566	55	95	92.5	616	60	150	98.16	666	65	320	97.35
367	30	70	98.93	417	35	110	99.84	467	40	170	97.11	517	45	290	98.05	567	55	100	97.92	617	60	160	97.23	667	65	330	95.04
368	30	75	99.52	418	35	120	100.12	468	40	180	99.59	518	45	300	97.60	568	55	105	97.67	618	60	170	99.91	668	65	340	93.98
369	30	80	99.51	419	35	130	97.90	469	40	190	99.47	519	45	310	97.14	569	55	110	98.11	619	60	180	97.19	669	65	350	94.83
370	30	85	99.90	420	35	140	100.58	470	45	200	98.92	520	45	320	95.79	570	55	115	98.70	620	60	190	96.97	670	65	360	95.22
371	30	90	99.69	421	35	150	99.56	471	45	210	97.58	521	45	330	95.13	571	55	120	95.89	621	65	200	97.41	671	65	370	95.81
372	30	95	98.08	422	35	160	99.13	472	45	220	98.36	522	45	340	94.58	572	55	125	95.96	622	65	210	98.28	672	65	380	97.50
373	30	100	98.57	423	35	170	99.01	473	45	230	98.85	523	45	350	93.82	573	55	130	97.57	623	65	220	97.66	673	65	390	98.59
374	30	110	99.44	424	35	180	99.59	474	45	240	97.84	524	45	360	94.47	574	55	135	99.34	624	65	230	98.35	674	65	400	98.98
375	30	120	99.72	425	35	190	97.47	475	45	250	98.33	525	45	370	94.41	575	55	140	99.82	625	65	240	98.74	675	65	410	97.97
376	30	130	99.70	426	40	200	97.11	476	45	260	97.92	526	45	380	94.25	576	55	145	98.20	626	65	250	100.13	676	65	420	96.06
377	30	140	100.38	427	40	210	96.43	477	45	270	97.76	527	45	390	94.50	577	55	150	99.68	627	65	260	100.22	677	65	430	96.54
378	30	150	98.96	428	40	220	97.18	478	45	280	97.51	528	45	400	95.44	578	55	155	98.26	628	65	270	99.01	678	65	440	97.93
379	30	160	97.93	429	40	230	97.72	479	45	290	96.35	529	45	410	96.09	579	55	160	97.23	629	65	280	97.30	679	65	450	98.62
380	30	170	98.11	430	40	240	98.26	480	45	300	95.50	530	45	420	95.13	580	55	165	99.21	630	65	290	99.09	680	65	460	99.90
381	30	180	99.99	431	40	250	99.01	481	45	310	94.24	531	45	430	95.98	581	55	170	99.19	631	65	300	98.78	681	65	470	99.98
382	30	190	98.17	432	40	260	98.55	482	45	320	93.39	532	45	440	97.72	582	55	175	98.77	632	65	310	97.57	682	65	480	99.26
383	35	1.2	96.11	433	40	270	98.40	483	45	330	93.36	533	45	450	98.21	583	60	180	98.91	633	65	320	96.45	683	65	490	96.53
384	35	2.5	96.33	434	40	280	99.14	484	45	340	93.72	534	45	460	97.30	584	60	185	99.08	634	65	330	95.54	684	65	500	98.61
385	35	5	96.78	435	40	290	99.49	485	45	350	94.37	535	45	470	95.79	585	60	190	98.96	635	65	340	94.48	685	65	510	98.99
386	35	7.5	96.92	436	40	300	99.63	486	45	360	94.91	536	45	480	97.98	586	60	195	99.55	636	65	350	95.63	686	65	520	98.37
387	35	10	97.06	437	40	310	98.38	487	45	370	95.25	537	45	490	99.17	587	60	200	100.24	637	65	360	97.12	687	65	530	97.91
388	35	12.5	97.71	438	40	320	97.32	488	45	380	96.90	538	45	500	101.04	588	60	205	100.23	638	65	370	97.21	688	65	540	97.48
389	35	15	97.95	439	40	330	96.36	489	45	390	96.34	539	45	510	99.92	589	60	210	100.62	639	65	380	98.70	689	65	550	98.56
390	35	17.5	97.80	440	40	340	95.21	490	45	400	96.89	540	45	520	98.40	590	60	215	100.21	640	65	390	97.99	690	65	560	98.95
391	35	20	98.84	441	40	350	94.05	491	45	410	97.33	541	45	530	98.88	591	60	220	99.30	641	65	400	96.08	691	65	570	100.94
392	35	22.5	98.59	442	40	360	93.10	492	45	420	97.08	542	45	540	99.16	592	60	225	99.99	642	65	410	96.27	692	65	580	100.63
393	35	25	97.83	443	40	370	91.96	493	45	430	97.52	543	45	550	97.63	593	60	230	98.98	643	65	420	96.06	693	65	590	99.12
394	35	27.5	97.18	444	40	380	92.69	494	45	440	98.21	544	45	560	97.41	594	60	235	97.92	644	65	430	98.04	694	65	600	99.71
395	35	30	95.82	445	40	390	92.63	495	45	450	97.50	545	45	570	98.39	595	60	240	96.57	645	65	440	98.53	695	65	610	101.40
396	35	32.5	95.06	446	40	400	93.48	496	45	460	96.69	546	45	580	98.37	596	60	245	96.51	646	65	450	97.72	696	65	620	101.49
397	35	35	93.91	447	40	410	94.42	497	45	470	97.08	547	45	590	100.21	597	60	250	97.25	647	65	460	98.00	697	65	630	99.78
398	35	38	93.06	448	40	420	95.57	498	45	480	98.67	548	45	600	100.58	598	60	255	97.00	648	65	470	99.68	698	65	640	98.47
399	35	40	92.90	449	40	430	96.11	499	45	490	99.94	549	45	610	99.66	599	60	260	95.44	649	65	480	98.16	699	65	650	97.65
400	35	42.5	93.64	450	40	440	96.65	500	45	500	99.52	550	45	620	100.25	600	60	265	94.09	650	65	490	95.23	700	65	660	98.04

Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota
701	75	70	96.53	751	90	1.2	96.51	801	110	100	96.87	851	150	1.2	99.21	901	300	30	98.62	951	450	150	99.86								
702	75	75	96.42	752	90	10	99.86	802	110	110	95.84	852	150	10	98.86	902	300	45	98.49	952	450	165	100.92								
703	75	80	95.41	753	90	20	99.94	803	110	120	98.72	853	150	20	99.84	903	300	60	97.25	953	450	180	96.29								
704	75	85	96.60	754	90	30	101.42	804	110	130	97.90	854	150	30	99.22	904	300	75	99.22	954	450	190	99.47								
705	75	90	97.39	755	90	40	101.90	805	110	140	98.38	855	150	40	99.20	905	300	90	98.79	955	500	1.2	97.71								
706	75	95	97.58	756	90	50	99.58	806	110	150	99.56	856	150	50	98.68	906	300	105	99.46	956	500	15	97.85								
707	75	100	95.17	757	90	60	97.95	807	110	160	97.03	857	150	60	99.85	907	300	120	98.82	957	500	30	98.42								
708	75	105	93.96	758	90	70	97.13	808	110	170	99.21	858	150	70	99.33	908	300	135	97.69	958	500	45	99.19								
709	75	110	96.34	759	90	80	96.01	809	110	180	99.49	859	150	80	97.21	909	300	150	98.36	959	500	60	98.55								
710	75	115	98.73	760	90	90	96.49	810	110	190	98.67	860	150	90	97.09	910	300	165	98.12	960	500	75	98.42								
711	75	120	97.72	761	90	100	98.27	811	120	1.2	101.21	861	150	100	97.17	911	300	180	96.99	961	500	90	98.99								
712	75	130	99.70	762	90	110	100.24	812	120	10	99.56	862	150	110	96.94	912	300	190	97.97	962	500	105	99.66								
713	75	140	97.88	763	90	120	97.92	813	120	20	99.74	863	150	120	96.92	913	350	1.2	99.01	963	500	120	100.22								
714	75	150	97.26	764	90	130	99.00	814	120	30	99.62	864	150	130	97.10	914	350	15	99.45	964	500	135	99.49								
715	75	160	99.63	765	90	140	98.18	815	120	40	99.70	865	150	140	97.48	915	350	30	98.52	965	500	150	98.86								
716	75	170	99.01	766	90	150	98.86	816	120	50	99.08	866	150	150	98.56	916	350	45	98.19	966	500	165	99.62								
717	75	180	98.89	767	90	160	97.63	817	120	60	98.55	867	150	160	98.23	917	350	60	98.75	967	500	180	99.29								
718	75	190	97.27	768	90	170	97.91	818	120	70	96.73	868	150	170	98.41	918	350	75	98.92	968	500	190	100.57								
719	80	1.2	98.01	769	90	180	98.09	819	120	80	97.51	869	150	180	96.39	919	350	90	97.99												
720	80	5	98.18	770	90	190	98.17	820	120	90	97.09	870	150	190	97.57	920	350	105	97.76												
721	80	10	98.56	771	100	1.2	98.41	821	120	100	95.97	871	200	1.2	99.31	921	350	120	97.32												
722	80	15	99.25	772	100	10	98.86	822	120	110	97.04	872	200	15	98.95	922	350	135	98.59												
723	80	20	100.84	773	100	20	99.54	823	120	120	97.92	873	200	30	98.42	923	350	150	99.26												
724	80	25	100.53	774	100	30	99.22	824	120	130	98.50	874	200	45	99.19	924	350	165	100.32												
725	80	30	99.42	775	100	40	99.90	825	120	140	98.18	875	200	60	98.35	925	350	180	98.29												
726	80	35	98.01	776	100	50	100.38	826	120	150	99.06	876	200	75	100.22	926	350	190	98.37												
727	80	40	100.50	777	100	60	99.45	827	120	160	100.23	877	200	90	99.09	927	400	1.2	98.51												
728	80	45	101.49	778	100	70	96.83	828	120	170	96.11	878	200	105	98.06	928	400	15	99.15												
729	80	50	99.58	779	100	80	95.41	829	120	180	99.09	879	200	120	99.32	929	400	30	98.72												
730	80	55	99.17	780	100	90	96.29	830	120	188	96.53	880	200	135	96.79	930	400	45	98.69												
731	80	60	97.75	781	100	100	96.47	831	130	1.2	99.81	881	200	150	98.26	931	400	60	99.05												
732	80	65	97.34	782	100	110	96.64	832	130	10	99.66	882	200	165	96.92	932	400	75	97.82												
733	80	70	96.43	783	100	120	98.22	833	130	20	99.64	883	200	180	96.69	933	400	90	99.49												
734	80	75	95.72	784	100	130	98.10	834	130	30	99.52	884	200	190	97.47	934	400	105	98.76												
735	80	80	94.81	785	100	140	97.58	835	130	40	99.70	885	250	1.2	99.11	935	400	120	96.22												
736	80	85	95.40	786	100	150	99.76	836	130	50	99.68	886	250	15	98.85	936	400	135	99.49												
737	80	90	96.59	787	100	160	98.23	837	130	60	97.95	887	250	30	98.42	937	400	150	98.46												
738	80	95	96.58	788	100	170	99.11	838	130	70	99.13	888	250	45	99.19	938	400	165	100.12												
739	80	100	94.47	789	100	180	98.99	839	130	80	97.81	889	250	60	99.15	939	400	180	97.29												
740	80	105	95.86	790	100	190	98.27	840	130	90	96.49	890	250	75	100.92	940	400	190	98.57												
741	80	110	98.34	791	110	1.2	100.31	841	130	100	96.67	891	250	90	100.29	941	450	1.2	98.71												
742	80	115	99.53	792	110	10	99.76	842	130	110	95.74	892	250	105	97.76	942	450	15	97.45												
743	80	120	97.02	793	110	20	99.14	843	130	120	97.22	893	250	120	98.32	943	450	30	98.12												
744	80	130	99.00	794	110	30	99.42	844	130	130	97.60	894	250	135	98.39	944	450	45	97.09												
745	80	140	97.98	795	110	40	99.00	845	130	140	98.48	895	250	150	97.16	945	450	60	98.75												
746	80	150	98.06	796	110	50	99.18	846	130	150	96.66	896	250	165	98.02	946	450	75	99.22												
747	80	160	99.33	797	110	60	99.15	847	130	160	97.83	897	250	180	96.99	947	450	90	98.69												
748	80	170	99.41	798	110	70	97.63	848	130	170	98.71	898	250	190	96.57	948	450	105	99.56												
749	80	180	99.49	799	110	80	96.01	849	130	180	99.29	899	300	1.2	98.91	949	450	120	98.02												
750	80	190	99.37	800	110	90	96.69	850	130	190	98.87	900	300	15	98.65	950	450	135	100.79												

ANEXO G9: ENSAYO 135-70

Fecha de levantamiento: 21/09/17

Cuadro D.9. Cotas topográficas (cm) de lecho deformado en ensayo E135-70. Fuente: Propia

Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota
1	-95	1.2	99.41	51	-35	100	99.77	101	-5	1.6	98.31	151	5	1.2	98.51	201	10	90	100.69	251	20	30	98.12	301	25	150	97.86
2	-95	10	97.66	52	-35	110	99.34	102	-5	10	100.26	152	5	3	97.44	202	10	95	100.08	252	20	35	98.71	302	25	160	98.73
3	-95	20	100.64	53	-35	120	99.42	103	-5	20	100.24	153	5	7	97.11	203	10	100	99.67	253	20	40	98.60	303	25	170	100.01
4	-95	30	98.62	54	-35	130	98.60	104	-5	30	99.22	154	5	10	97.66	204	10	110	99.84	254	20	45	99.49	304	25	180	98.99
5	-95	40	100.40	55	-35	140	99.88	105	-5	40	99.70	155	5	15	99.25	205	10	120	98.32	255	20	50	97.88	305	25	190	98.87
6	-95	50	98.38	56	-35	150	100.66	106	-5	50	99.98	156	5	20	98.24	206	10	130	99.80	256	20	55	97.97	306	30	1.6	101.81
7	-95	60	98.45	57	-35	160	100.03	107	-5	60	101.35	157	5	25	99.03	207	10	140	97.88	257	20	60	99.55	307	30	5	100.48
8	-95	70	100.33	58	-35	170	99.51	108	-5	70	100.13	158	5	30	99.02	208	10	150	98.66	258	20	65	100.04	308	30	10	99.46
9	-95	80	102.01	59	-35	180	98.89	109	-5	80	100.11	159	5	35	99.91	209	10	160	98.23	259	20	70	99.63	309	30	15	99.75
10	-95	90	100.59	60	-35	190	99.57	110	-5	90	98.69	160	5	40	99.60	210	10	170	100.21	260	20	75	99.82	310	30	20	98.74
11	-95	100	101.57	61	-15	1.2	99.81	111	-5	100	101.27	161	5	45	98.99	211	10	180	98.59	261	20	80	99.71	311	30	25	97.63
12	-95	110	99.84	62	-15	10	98.46	112	-5	110	99.94	162	5	50	98.78	212	10	190	99.27	262	20	85	100.20	312	30	29	96.30
13	-95	120	100.22	63	-15	20	100.34	113	-5	120	100.52	163	5	55	99.37	213	15	1.2	100.71	263	20	90	99.79	313	30	33	95.67
14	-95	130	98.70	64	-15	30	100.42	114	-5	130	98.20	164	5	60	99.25	214	15	5	99.48	264	20	95	98.68	314	30	35	96.81
15	-95	140	98.88	65	-15	40	100.00	115	-5	140	99.18	165	5	65	100.74	215	15	10	98.66	265	20	100	98.47	315	30	40	97.60
16	-95	150	100.06	66	-15	50	98.78	116	-5	150	98.06	166	5	70	99.53	216	15	14	97.44	266	20	110	99.34	316	30	45	99.09
17	-95	160	99.03	67	-15	60	99.65	117	-5	160	100.03	167	5	75	100.72	217	15	17.5	97.00	267	20	120	98.42	317	30	50	98.98
18	-95	170	99.71	68	-15	70	98.43	118	-5	170	100.31	168	5	80	101.41	218	15	20	97.94	268	20	130	101.00	318	30	55	99.27
19	-95	180	98.79	69	-15	80	100.71	119	-5	180	100.59	169	5	85	99.20	219	15	25	99.33	269	20	140	100.28	319	30	60	100.25
20	-95	190	99.87	70	-15	90	98.69	120	-5	190	99.07	170	5	90	99.69	220	15	30	98.72	270	20	150	99.36	320	30	65	100.54
21	-65	1.2	99.81	71	-15	100	98.67	121	0	3	97.44	171	5	95	98.08	221	15	35	98.81	271	20	160	99.73	321	30	70	99.03
22	-65	10	98.66	72	-15	110	99.14	122	0	5	97.38	172	5	100	99.67	222	15	40	99.60	272	20	170	98.41	322	30	75	100.12
23	-65	20	100.54	73	-15	120	99.92	123	0	10	98.56	173	5	110	99.64	223	15	45	98.09	273	20	180	99.19	323	30	80	98.71
24	-65	30	99.72	74	-15	130	98.30	124	0	15	99.25	174	5	120	99.32	224	15	50	99.28	274	20	190	97.87	324	30	85	99.60
25	-65	40	100.50	75	-15	140	100.08	125	0	20	98.54	175	5	130	99.70	225	15	55	100.27	275	25	1.2	101.61	325	30	90	97.99
26	-65	50	99.28	76	-15	150	99.06	126	0	25	99.73	176	5	140	99.68	226	15	60	101.05	276	25	5	101.88	326	30	95	98.28
27	-65	60	100.25	77	-15	160	98.73	127	0	30	98.92	177	5	150	98.56	227	15	65	101.74	277	25	10	99.46	327	30	100	98.17
28	-65	70	98.23	78	-15	170	98.71	128	0	35	98.61	178	5	160	98.33	228	15	70	101.93	278	25	15	98.15	328	30	110	98.24
29	-65	80	98.81	79	-15	180	99.59	129	0	40	99.00	179	5	170	99.81	229	15	75	101.22	279	25	20	98.44	329	30	120	99.22
30	-65	90	99.29	80	-15	190	99.57	130	0	45	98.99	180	5	180	97.29	230	15	80	99.11	280	25	24	96.51	330	30	130	98.20
31	-65	100	98.57	81	-10	1.2	99.21	131	0	50	100.58	181	5	190	97.97	231	15	85	98.50	281	25	28	95.88	331	30	140	98.88
32	-65	110	100.54	82	-10	10	99.46	132	0	55	100.77	182	10	1.2	99.31	232	15	90	99.69	282	25	30	97.42	332	30	150	98.76
33	-65	120	98.12	83	-10	20	101.24	133	0	60	99.45	183	10	5	98.98	233	15	95	99.18	283	25	35	98.01	333	30	160	99.93
34	-65	130	100.20	84	-10	30	100.72	134	0	65	100.24	184	10	10	97.06	234	15	100	98.47	284	25	40	98.40	334	30	170	100.11
35	-65	140	97.18	85	-10	40	100.40	135	0	70	99.03	185	10	13	97.02	235	15	110	99.04	285	25	45	98.69	335	30	180	98.89
36	-65	150	98.56	86	-10	50	98.68	136	0	75	99.52	186	10	15	97.65	236	15	120	98.92	286	25	50	99.28	336	30	190	98.37
37	-65	160	99.63	87	-10	60	100.15	137	0	80	101.31	187	10	20	98.44	237	15	130	99.80	287	25	55	99.17	337	35	1.2	101.21
38	-65	170	98.81	88	-10	70	98.43	138	0	85	99.50	188	10	25	98.73	238	15	140	99.38	288	25	60	98.65	338	35	5	100.98
39	-65	180	99.09	89	-10	80	98.71	139	0	90	97.99	189	10	30	98.22	239	15	150	99.26	289	25	65	99.54	339	35	10	99.56
40	-65	190	99.27	90	-10	90	99.09	140	0	95	98.68	190	10	35	98.91	240	15	160	99.73	290	25	70	99.53	340	35	15	98.65
41	-35	1.2	100.01	91	-10	100	99.57	141	0	100	99.47	191	10	40	99.40	241	15	170	98.91	291	25	75	98.62	341	35	20	99.74
42	-35	10	99.16	92	-10	110	99.14	142	0	110	98.84	192	10	45	99.99	242	15	180	99.39	292	25	80	98.41	342	35	25	99.33
43	-35	20	99.54	93	-10	120	99.02	143	0	120	99.02	193	10	50	99.08	243	15	190	98.17	293	25	85	98.90	343	35	30	97.62
44	-35	30	101.62	94	-10	130	98.70	144	0	130	100.80	194	10	55	98.97	244	20	1.2	101.21	294	25	90	97.69	344	35	34	96.09
45	-35	40	101.40	95	-10	140	98.48	145	0	140	99.58	195	10	60	99.45	245	20	5	99.98	295	25	95	99.58	345	35	38	94.86
46	-35	50	99.68	96	-10	150	98.56	146	0	150	96.56	196	10	65	101.24	246	20	10	99.06	296	25	100	99.57	346	35	40	95.80
47	-35	60	99.15	97	-10	160	98.33	147	0	160	99.73	197	10	70	101.13	247	20	15	98.95	297	25	110	98.44	347	35	45	97.19
48	-35	70	98.73	98	-10	170	99.41	148	0	170	101.41	198	10	75	102.12	248	20	19	97.22	298	25	120	99.12	348	35	50	98.48
49	-35	80	100.41	99	-10	180	100.09	149	0	180	99.69	199	10	80	99.91	249	20	22.5	96.39	299	25	130	100.20	349	35	55	98.67
50	-35	90	99.59	100	-10	190	98.67	150	0	190	97.57	200	10	85	98.10	250	20	25	97.13	300	25	140	99.18	350	35	60	100.45

Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota
351	35	65	100.04	401	45	10	99.76	451	50	110	99.04	501	60	55	97.27	551	70	5	99.48	601	75	110	99.14	651	90	110	99.84
352	35	70	99.33	402	45	15	100.85	452	50	120	98.42	502	60	60	97.25	552	70	10	98.26	602	75	120	98.82	652	90	120	97.62
353	35	75	99.62	403	45	20	100.14	453	50	130	99.40	503	60	65	98.04	553	70	15	97.65	603	75	130	98.70	653	90	130	98.60
354	35	80	99.51	404	45	25	99.73	454	50	140	98.28	504	60	70	99.33	554	70	20	99.54	604	75	140	100.28	654	90	140	98.88
355	35	85	98.50	405	45	30	99.72	455	50	150	99.56	505	60	75	100.52	555	70	25	99.33	605	75	150	99.96	655	90	150	98.96
356	35	90	99.39	406	45	35	99.61	456	50	160	97.73	506	60	80	98.41	556	70	30	99.52	606	75	160	97.73	656	90	160	100.53
357	35	95	98.28	407	45	40	97.90	457	50	170	97.31	507	60	85	99.50	557	70	35	102.11	607	75	170	96.91	657	90	170	97.41
358	35	100	98.87	408	45	43.5	96.16	458	50	180	98.79	508	60	90	99.99	558	70	40	102.10	608	75	180	98.39	658	90	180	97.09
359	35	110	98.84	409	45	47.5	95.73	459	50	190	98.67	509	60	95	97.78	559	70	45	100.89	609	75	190	96.27	659	90	190	97.67
360	35	120	99.02	410	45	50	95.88	460	55	1.8	97.12	510	60	100	97.87	560	70	50	99.68	610	80	1.2	98.11	660	100	1.2	96.91
361	35	130	98.90	411	45	55	97.27	461	55	5	98.08	511	60	110	97.74	561	70	55	98.17	611	80	5	97.38	661	100	10	99.56
362	35	140	100.08	412	45	60	98.75	462	55	10	98.96	512	60	120	99.22	562	70	60	98.35	612	80	10	98.06	662	100	20	99.64
363	35	150	99.06	413	45	65	99.34	463	55	15	99.75	513	60	130	98.70	563	70	65	97.54	613	80	15	99.65	663	100	30	99.72
364	35	160	100.73	414	45	70	97.83	464	55	20	99.54	514	60	140	101.18	564	70	70	96.63	614	80	20	100.24	664	100	40	99.80
365	35	170	98.61	415	45	75	97.72	465	55	25	99.93	515	60	150	100.06	565	70	75	96.92	615	80	25	101.63	665	100	50	101.28
366	35	180	97.59	416	45	80	96.81	466	55	30	100.22	516	60	160	97.87	566	70	80	98.71	616	80	30	100.72	666	100	60	99.05
367	35	190	99.27	417	45	85	98.40	467	55	35	99.61	517	60	170	99.31	567	70	85	99.90	617	80	35	99.41	667	100	70	99.33
368	40	1.2	99.01	418	45	90	98.99	468	55	40	98.90	518	60	180	96.69	568	70	90	98.09	618	80	40	102.10	668	100	80	97.61
369	40	5	99.68	419	45	95	98.38	469	55	45	100.39	519	60	190	98.57	569	70	95	98.88	619	80	45	100.29	669	100	90	97.29
370	40	10	99.36	420	45	100	97.77	470	55	50	98.58	520	65	1.2	100.11	570	70	100	97.87	620	80	50	101.48	670	100	100	98.37
371	40	15	98.85	421	45	110	99.14	471	55	55	97.37	521	65	5	98.28	571	70	110	97.54	621	80	55	99.97	671	100	110	98.24
372	40	20	99.54	422	45	120	98.02	472	55	60	98.15	522	65	10	99.46	572	70	120	98.02	622	80	60	99.45	672	100	120	97.82
373	40	25	100.43	423	45	130	99.00	473	55	65	97.94	523	65	15	100.05	573	70	130	99.70	623	80	65	96.94	673	100	130	97.80
374	40	30	99.32	424	45	140	99.28	474	55	70	99.23	524	65	20	100.54	574	70	140	100.68	624	80	70	98.23	674	100	140	98.58
375	40	35	97.91	425	45	150	101.06	475	55	75	99.42	525	65	25	99.03	575	70	150	98.76	625	80	75	97.82	675	100	150	100.06
376	40	39	96.28	426	45	160	98.13	476	55	80	98.61	526	65	30	100.62	576	70	160	98.23	626	80	80	97.61	676	100	160	100.63
377	40	43	95.75	427	45	170	98.41	477	55	85	100.00	527	65	35	101.11	577	70	170	99.41	627	80	85	98.40	677	100	170	99.31
378	40	45	95.79	428	45	180	99.19	478	55	90	99.29	528	65	40	100.80	578	70	180	98.89	628	80	90	98.29	678	100	180	98.09
379	40	50	97.28	429	45	190	96.87	479	55	95	99.38	529	65	45	100.99	579	70	190	97.57	629	80	95	98.48	679	100	190	98.77
380	40	55	99.07	430	50	1.2	98.51	480	55	100	99.07	530	65	50	98.78	580	75	1.2	98.71	630	80	100	97.67	680	110	1.2	101.41
381	40	60	98.65	431	50	5	98.98	481	55	110	97.64	531	65	55	96.87	581	75	5	98.28	631	80	110	98.04	681	110	10	100.06
382	40	65	99.54	432	50	10	98.26	482	55	120	98.72	532	65	60	96.05	582	75	10	97.16	632	80	120	98.32	682	110	20	98.84
383	40	70	98.83	433	50	15	99.95	483	55	130	99.50	533	65	65	97.94	583	75	15	98.55	633	80	130	98.90	683	110	30	98.42
384	40	75	97.02	434	50	20	99.24	484	55	140	100.18	534	65	70	98.43	584	75	20	100.04	634	80	140	99.78	684	110	40	100.10
385	40	80	97.11	435	50	25	99.33	485	55	150	99.76	535	65	75	99.72	585	75	25	99.93	635	80	150	97.86	685	110	50	99.28
386	40	85	97.40	436	50	30	99.22	486	55	160	98.83	536	65	80	100.51	586	75	30	100.42	636	80	160	98.43	686	110	60	100.35
387	40	90	98.49	437	50	35	100.11	487	55	170	98.91	537	65	85	100.40	587	75	35	100.51	637	80	170	98.41	687	110	70	99.83
388	40	95	99.78	438	50	40	99.80	488	55	180	98.59	538	65	90	98.99	588	75	40	101.10	638	80	180	98.49	688	110	80	98.61
389	40	100	99.67	439	50	45	98.09	489	55	190	99.77	539	65	95	97.48	589	75	45	100.79	639	80	190	99.27	689	110	90	98.29
390	40	110	99.44	440	50	50	96.48	490	60	1.2	99.01	540	65	100	98.27	590	75	50	100.18	640	90	1.2	97.71	690	110	100	98.17
391	40	120	98.92	441	50	55	97.07	491	60	5	97.68	541	65	110	98.24	591	75	55	100.17	641	90	10	97.76	691	110	110	99.34
392	40	130	99.00	442	50	60	98.15	492	60	10	98.86	542	65	120	98.22	592	75	60	99.65	642	90	20	99.14	692	110	120	97.32
393	40	140	100.18	443	50	65	99.14	493	60	15	99.15	543	65	130	100.50	593	75	65	98.44	643	90	30	99.62	693	110	130	98.10
394	40	150	98.86	444	50	70	98.63	494	60	20	99.34	544	65	140	99.28	594	75	70	96.63	644	90	40	101.20	694	110	140	99.08
395	40	160	100.33	445	50	75	97.92	495	60	25	98.93	545	65	150	99.76	595	75	75	96.22	645	90	50	100.78	695	110	150	99.06
396	40	170	97.91	446	50	80	98.11	496	60	30	99.92	546	65	160	97.13	596	75	80	97.61	646	90	60	97.95	696	110	160	99.33
397	40	180	99.59	447	50	85	97.80	497	60	35	99.81	547	65	170	99.61	597	75	85	99.30	647	90	70	97.93	697	110	170	98.51
398	40	190	99.27	448	50	90	98.29	498	60	40	99.60	548	65	180	99.49	598	75	90	98.99	648	90	80	98.41	698	110	180	98.79
399	45	1.8	98.42	449	50	95	98.98	499	60	45	100.99	549	65	190	98.17	599	75	95	97.88	649	90	90	97.69	699	110	190	99.57
400	45	5	97.88	450	50	100	98.57	500	60	50	99.28	550	70	1.2	100.41	600	75	100	99.17	650	90	100	96.97	700	120	1.2	98.11

Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota
701	120	10	100.56	751	150	110	99.54	801	300	15	100.15	851	450	135	97.29												
702	120	20	98.24	752	150	120	98.82	802	300	30	98.82	852	450	150	100.56												
703	120	30	98.52	753	150	130	98.10	803	300	45	97.59	853	450	165	99.52												
704	120	40	99.10	754	150	140	97.88	804	300	60	99.75	854	450	180	98.49												
705	120	50	101.08	755	150	150	98.16	805	300	75	100.02	855	450	190	99.77												
706	120	60	100.15	756	150	160	98.83	806	300	90	97.29	856	500	1.2	99.11												
707	120	70	99.63	757	150	170	100.31	807	300	105	99.16	857	500	15	97.65												
708	120	80	97.51	758	150	180	100.09	808	300	120	100.52	858	500	30	98.22												
709	120	90	98.29	759	150	190	99.27	809	300	135	99.19	859	500	45	99.19												
710	120	100	99.47	760	200	1.2	100.01	810	300	150	100.96	860	500	60	98.95												
711	120	110	97.74	761	200	10	98.96	811	300	165	97.12	861	500	75	99.42												
712	120	120	98.02	762	200	20	99.84	812	300	180	98.49	862	500	90	99.29												
713	120	130	98.70	763	200	30	99.02	813	300	190	100.37	863	500	105	99.16												
714	120	140	97.88	764	200	40	99.70	814	350	1.2	98.61	864	500	120	98.22												
715	120	150	98.26	765	200	50	99.58	815	350	15	98.05	865	500	135	100.19												
716	120	160	99.23	766	200	60	99.15	816	350	30	97.92	866	500	150	98.96												
717	120	170	97.81	767	200	70	98.83	817	350	45	98.09	867	500	165	100.32												
718	120	180	98.69	768	200	80	99.11	818	350	60	99.55	868	500	180	100.29												
719	120	189	99.95	769	200	90	99.09	819	350	75	99.12	869	500	190	97.87												
720	130	1.2	99.21	770	200	100	98.37	820	350	90	99.79																
721	130	10	99.76	771	200	110	98.44	821	350	105	97.96																
722	130	20	98.34	772	200	120	99.62	822	350	120	98.02																
723	130	30	100.92	773	200	130	99.40	823	350	135	97.69																
724	130	40	99.10	774	200	140	97.68	824	350	150	97.26																
725	130	50	99.38	775	200	150	98.36	825	350	165	99.12																
726	130	60	99.55	776	200	160	97.33	826	350	180	97.09																
727	130	70	99.23	777	200	170	98.41	827	350	190	96.27																
728	130	80	98.21	778	200	180	98.49	828	400	1.2	98.81																
729	130	90	96.59	779	200	190	98.87	829	400	15	98.95																
730	130	100	97.27	780	250	1.2	99.01	830	400	30	98.42																
731	130	110	98.04	781	250	10	99.76	831	400	45	99.39																
732	130	120	98.92	782	250	20	99.14	832	400	60	99.65																
733	130	130	99.00	783	250	30	98.22	833	400	75	98.02																
734	130	140	99.28	784	250	40	99.00	834	400	90	99.69																
735	130	150	99.46	785	250	50	98.68	835	400	105	98.16																
736	130	160	99.73	786	250	60	99.85	836	400	120	97.32																
737	130	170	97.51	787	250	70	98.63	837	400	135	99.49																
738	130	180	98.39	788	250	80	98.11	838	400	150	99.96																
739	130	190	99.47	789	250	90	99.69	839	400	165	98.02																
740	150	1.2	98.31	790	250	100	99.07	840	400	180	98.39																
741	150	10	100.36	791	250	110	98.24	841	400	190	98.87																
742	150	20	99.64	792	250	120	98.62	842	450	1.2	98.11																
743	150	30	99.62	793	250	130	98.00	843	450	15	97.75																
744	150	40	99.70	794	250	140	98.08	844	450	30	98.12																
745	150	50	98.68	795	250	150	96.76	845	450	45	99.19																
746	150	60	99.45	796	250	160	98.83	846	450	60	99.15																
747	150	70	100.43	797	250	170	99.01	847	450	75	98.92																
748	150	80	98.61	798	250	180	97.29	848	450	90	98.49																
749	150	90	99.09	799	250	190	98.67	849	450	105	99.86																
750	150	100	98.07	800	300	1.2	97.71	850	450	120	97.32																

ANEXO G10: ENSAYO E-GENERAL

Fecha de levantamiento: 26/09/17

Cuadro D.10. Cotas topográficas (cm) de lecho deformado en ensayo E-GENERAL. Fuente: Propia

Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota
1	-950	12	97.46	51	-500	1000	98.72	101	0	12	99.96	151	300	1000	99.92	201	750	12	99.46	251	1050	1000	98.72	301	1500	12	100.76
2	-950	150	98.90	52	-500	1100	99.49	102	0	100	99.11	152	300	1100	99.39	202	750	100	99.61	252	1050	1100	99.89	302	1500	100	100.61
3	-750	12	99.66	53	-500	1200	100.57	103	0	200	100.29	153	300	1200	98.47	203	750	200	97.79	253	1050	1200	99.07	303	1500	200	98.29
4	-750	150	100.70	54	-500	1300	100.95	104	0	300	98.17	154	300	1300	100.25	204	750	300	98.77	254	1050	1300	99.75	304	1500	300	98.97
5	-550	20	100.37	55	-500	1400	98.93	105	0	400	99.85	155	300	1400	101.43	205	750	400	99.15	255	1050	1400	99.73	305	1500	400	99.15
6	-550	150	99.40	56	-500	1500	99.51	106	0	500	99.73	156	300	1500	100.61	206	750	500	98.33	256	1050	1500	97.61	306	1500	500	99.83
7	-350	12	99.06	57	-500	1600	100.28	107	0	600	99.20	157	300	1600	98.58	207	750	600	99.10	257	1050	1600	98.88	307	1500	600	99.60
8	-350	150	100.60	58	-500	1700	99.76	108	0	700	100.68	158	300	1700	100.16	208	750	700	98.68	258	1050	1700	99.46	308	1500	700	98.68
9	-150	12	97.76	59	-500	1800	98.84	109	0	800	99.86	159	300	1800	99.04	209	750	800	99.86	259	1050	1800	97.24	309	1500	800	99.36
10	-150	100	99.21	60	-500	1900	99.72	110	0	900	99.54	160	300	1900	98.22	210	750	900	98.54	260	1050	1900	99.22	310	1500	900	100.44
11	-150	200	102.19	61	-300	12	99.76	111	0	1000	99.52	161	450	12	97.66	211	750	1000	98.62	261	1200	12	99.16	311	1500	1000	100.02
12	-100	12	98.26	62	-300	100	99.21	112	0	1100	98.99	162	450	100	99.11	212	750	1100	98.89	262	1200	100	99.71	312	1500	1100	98.19
13	-100	50	98.43	63	-300	200	100.49	113	0	1200	99.27	163	450	200	100.79	213	750	1200	99.57	263	1200	200	100.29	313	1500	1200	98.57
14	-100	100	98.81	64	-300	300	98.37	114	0	1300	99.75	164	450	300	98.97	214	750	1300	99.35	264	1200	300	99.77	314	1500	1300	98.35
15	-100	150	98.70	65	-300	400	99.15	115	0	1400	100.53	165	450	400	99.55	215	750	1400	100.13	265	1200	400	99.15	315	1500	1400	99.53
16	-100	200	99.79	66	-300	500	100.23	116	0	1500	99.91	166	450	500	99.13	216	750	1500	100.41	266	1200	500	99.33	316	1500	1500	99.61
17	-50	22	97.88	67	-300	600	101.10	117	0	1600	100.88	167	450	600	99.00	217	750	1600	99.28	267	1200	600	99.00	317	1500	1600	99.68
18	-50	50	97.93	68	-300	700	99.18	118	0	1700	100.26	168	450	700	98.18	218	750	1700	98.96	268	1200	700	99.38	318	1500	1700	98.96
19	-50	100	98.21	69	-300	800	99.66	119	0	1800	101.14	169	450	800	98.86	219	750	1800	99.44	269	1200	800	98.86	319	1500	1800	100.14
20	-50	150	97.20	70	-300	900	100.04	120	0	1900	99.32	170	450	900	99.44	220	750	1900	99.12	270	1200	900	99.44	320	1500	1900	99.32
21	-50	200	97.39	71	-300	1000	98.32	121	150	12	99.16	171	450	1000	99.42	221	900	12	99.06	271	1200	1000	98.62	321	2000	12	99.26
22	0	200	97.39	72	-300	1100	98.99	122	150	100	99.21	172	450	1100	98.89	222	900	100	99.91	272	1200	1100	99.69	322	2000	100	98.31
23	50	12	97.00	73	-300	1200	100.07	123	150	200	99.09	173	450	1200	99.37	223	900	200	99.39	273	1200	1200	99.77	323	2000	200	98.79
24	100	12	95.76	74	-300	1300	100.65	124	150	300	98.97	174	450	1300	100.15	224	900	300	99.47	274	1200	1300	99.35	324	2000	300	99.07
25	150	12	96.56	75	-300	1400	99.93	125	150	400	98.85	175	450	1400	100.43	225	900	400	99.55	275	1200	1400	98.93	325	2000	400	100.35
26	200	12	96.56	76	-300	1500	101.31	126	150	500	98.93	176	450	1500	98.61	226	900	500	100.33	276	1200	1500	101.61	326	2000	500	100.33
27	250	12	94.86	77	-300	1600	101.18	127	150	600	99.50	177	450	1600	100.28	227	900	600	99.00	277	1200	1600	99.28	327	2000	600	98.80
28	300	14	95.76	78	-300	1700	101.26	128	150	700	98.68	178	450	1700	99.96	228	900	700	100.88	278	1200	1700	98.96	328	2000	700	100.18
29	300	75	98.47	79	-300	1800	98.04	129	150	800	98.56	179	450	1800	99.14	229	900	800	99.86	279	1200	1800	98.84	329	2000	800	99.46
30	300	100	98.61	80	-300	1900	101.92	130	150	900	98.54	180	450	1900	98.22	230	900	900	98.74	280	1200	1900	100.22	330	2000	900	97.34
31	350	18	98.47	81	-100	12	97.66	131	150	1000	98.42	181	600	12	98.76	231	900	1000	98.72	281	1350	12	99.46	331	2000	1000	99.12
32	350	50	98.43	82	-100	100	99.61	132	150	1100	99.29	182	600	100	99.31	232	900	1100	98.39	282	1350	100	99.11	332	2000	1100	98.79
33	350	75	98.67	83	-100	200	99.19	133	150	1200	99.87	183	600	200	99.49	233	900	1200	100.27	283	1350	200	100.19	333	2000	1200	99.07
34	350	100	98.01	84	-100	300	99.47	134	150	1300	99.75	184	600	300	99.87	234	900	1300	99.05	284	1350	300	98.47	334	2000	1300	99.75
35	350	125	99.46	85	-100	400	100.05	135	150	1400	100.43	185	600	400	99.15	235	900	1400	98.43	285	1350	400	99.15	335	2000	1400	99.33
36	400	16	100.26	86	-100	500	99.83	136	150	1500	100.91	186	600	500	99.83	236	900	1500	99.61	286	1350	500	99.43	336	2000	1500	98.51
37	400	50	100.33	87	-100	600	98.40	137	150	1600	98.78	187	600	600	100.00	237	900	1600	97.78	287	1350	600	97.80	337	2000	1600	98.88
38	400	75	100.07	88	-100	700	99.58	138	150	1700	98.56	188	600	700	99.18	238	900	1700	98.96	288	1350	700	98.98	338	2000	1700	96.66
39	400	100	97.37	89	-100	800	98.86	139	150	1800	99.64	189	600	800	98.46	239	900	1800	98.14	289	1350	800	99.26	339	2000	1800	99.14
40	450	16	99.26	90	-100	900	99.54	140	150	1900	99.12	190	600	900	97.54	240	900	1900	98.72	290	1350	900	100.04	340	2000	1900	97.82
41	450	50	99.63	91	-100	1000	99.22	141	300	12	98.96	191	600	1000	98.22	241	1050	12	99.86	291	1350	1000	100.82	341	2500	12	98.06
42	450	100	97.77	92	-100	1100	100.19	142	300	100	99.61	192	600	1100	99.19	242	1050	100	100.21	292	1350	1100	98.79	342	2500	100	99.61
43	450	125	97.31	93	-100	1200	99.37	143	300	200	98.79	193	600	1200	97.87	243	1050	200	99.69	293	1350	1200	99.07	343	2500	200	100.99
44	332	14.64	97.20	94	-100	1300	100.35	144	300	300	98.87	194	600	1300	99.95	244	1050	300	99.07	294	1350	1300	99.35	344	2500	300	100.67
45	389.29	12	97.20	95	-100	1400	100.73	145	300	400	99.65	195	600	1400	100.03	245	1050	400	98.65	295	1350	1400	98.63	345	2500	400	99.15
46	92.713	12	97.00	96	-100	1500	100.91	146	300	500	99.93	196	600	1500	98.11	246	1050	500	99.83	296	1350	1500	99.31	346	2500	500	99.83
47	-58	12	97.00	97	-100	1600	99.58	147	300	600	99.80	197	600	1600	98.28	247	1050	600	99.70	297	1350	1600	98.78	347	2500	600	99.40
48	-64.67	12	97.20	98	-100	1700	100.46	148	300	700	99.68	198	600	1700	98.66	248	1050	700	98.68	298	1350	1700	99.46	348	2500	700	98.88
49	-72.82	13.087	97.20	99	-100	1800	98.74	149	300</																		

Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota	Pto	Este	Norte	Cota
351	2500	1000	99.62	401	4000	12	99.26	451	5000	1000	97.82																
352	2500	1100	98.99	402	4000	100	98.41	452	5000	1100	98.69																
353	2500	1200	97.87	403	4000	200	98.79	453	5000	1200	98.87																
354	2500	1300	98.85	404	4000	300	98.27	454	5000	1300	98.75																
355	2500	1400	97.83	405	4000	400	98.75	455	5000	1400	98.83																
356	2500	1500	97.21	406	4000	500	98.83	456	5000	1500	99.21																
357	2500	1600	98.68	407	4000	600	98.50	457	5000	1600	98.58																
358	2500	1700	98.26	408	4000	700	99.28	458	5000	1700	98.86																
359	2500	1800	99.64	409	4000	800	99.66	459	5000	1800	98.74																
360	2500	1900	98.52	410	4000	900	97.94	460	5000	1900	97.52																
361	3000	12	99.06	411	4000	1000	97.72																				
362	3000	100	99.31	412	4000	1100	98.19																				
363	3000	200	98.09	413	4000	1200	98.67																				
364	3000	300	100.17	414	4000	1300	97.15																				
365	3000	400	98.15	415	4000	1400	98.53																				
366	3000	500	98.73	416	4000	1500	100.21																				
367	3000	600	98.80	417	4000	1600	97.88																				
368	3000	700	99.38	418	4000	1700	98.96																				
369	3000	800	97.86	419	4000	1800	99.24																				
370	3000	900	100.34	420	4000	1900	99.42																				
371	3000	1000	98.42	421	4500	12	99.96																				
372	3000	1100	99.19	422	4500	100	99.71																				
373	3000	1200	97.37	423	4500	200	99.39																				
374	3000	1300	99.35	424	4500	300	98.97																				
375	3000	1400	99.53	425	4500	400	98.15																				
376	3000	1500	98.61	426	4500	500	98.13																				
377	3000	1600	99.38	427	4500	600	98.50																				
378	3000	1700	98.86	428	4500	700	98.68																				
379	3000	1800	98.74	429	4500	800	98.96																				
380	3000	1900	99.82	430	4500	900	100.34																				
381	3500	12	100.86	431	4500	1000	98.32																				
382	3500	100	99.81	432	4500	1100	98.69																				
383	3500	200	98.39	433	4500	1200	98.17																				
384	3500	300	98.87	434	4500	1300	99.65																				
385	3500	400	99.15	435	4500	1400	100.23																				
386	3500	500	99.13	436	4500	1500	98.11																				
387	3500	600	99.10	437	4500	1600	99.68																				
388	3500	700	99.68	438	4500	1700	99.46																				
389	3500	800	98.36	439	4500	1800	98.64																				
390	3500	900	98.54	440	4500	1900	97.22																				
391	3500	1000	99.52	441	5000	12	98.66																				
392	3500	1100	99.59	442	5000	100	98.41																				
393	3500	1200	98.47	443	5000	200	98.79																				
394	3500	1300	98.45	444	5000	300	98.57																				
395	3500	1400	98.93	445	5000	400	98.95																				
396	3500	1500	99.91	446	5000	500	97.93																				
397	3500	1600	98.48	447	5000	600	99.00																				
398	3500	1700	98.86	448	5000	700	100.38																				
399	3500	1800	98.24	449	5000	800	99.46																				
400	3500	1900	99.42	450	5000	900	98.34																				

ANEXO H

SOCAVACIÓN DE LECHO

ANEXO H1

Cuadro E1. Socavación total (cm) en ensayo E45-30. Fuente: Propia

T (horas)	Puntos de control						
	1	2	3	4	5	6	7
0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1.00	4.574	5.243	6.001	6.793	6.119	5.530	7.097
2.00	5.094	5.823	6.026	7.598	7.294	7.521	8.166
3.00	5.194	6.412	6.555	8.158	7.629	8.369	8.702
5.00	6.485	6.666	7.842	8.295	9.249	9.227	9.931
7.00	6.509	7.429	7.448	9.743	9.905	10.252	10.753
8.00	6.534	7.675	7.557	9.856	10.338	10.619	10.768
9.00	6.486	7.643	7.668	9.968	10.562	10.987	11.486
10.00	6.438	7.611	7.826	10.181	10.787	11.435	12.321
11.50	6.510	7.713	7.998	10.346	10.244	11.211	12.254
12.50	6.474	7.662	7.831	10.165	10.319	11.262	12.186

Cuadro E2. Socavación total (cm) en ensayo E45-50. Fuente: Propia

T (horas)	Puntos de control						
	1	2	3	4	5	6	7
0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.50	2.582	2.016	2.687	3.803	1.878	1.641	2.074
1.50	3.774	3.030	2.966	5.205	4.406	4.081	3.878
2.50	3.609	3.852	3.797	5.528	5.010	5.183	4.615
3.50	3.840	3.740	3.994	5.768	4.990	5.279	5.130
5.00	3.405	4.032	3.475	5.320	4.266	5.641	5.950
7.00	3.590	4.034	3.473	5.305	5.015	5.055	5.461
8.00	3.498	3.963	3.478	5.290	5.003	5.234	5.750
9.00	3.451	3.892	3.483	5.298	5.008	5.099	5.737
11.00	3.474	3.720	3.481	5.400	5.005	5.167	5.625

Cuadro E3. Socavación total (cm) en ensayo E45-70. Fuente: Propia

T (horas)	Puntos de control						
	1	2	3	4	5	6	7
0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.50	0.850	0.460	1.455	0.531	1.427	1.209	0.555
1.50	1.122	1.100	1.784	1.515	1.585	1.550	1.250
2.50	1.147	1.443	1.838	1.542	1.455	1.874	1.500
5.50	1.161	1.471	1.947	2.047	1.764	2.450	2.056
6.50	1.343	1.809	1.957	2.293	1.735	2.195	2.539
7.50	1.702	1.761	1.969	2.188	2.380	2.183	2.438
9.00	1.779	1.713	1.988	2.202	2.427	2.165	2.414
10.00	1.779	1.749	1.962	2.182	2.451	2.170	2.493
11.00	1.737	1.785	2.008	2.199	2.474	2.235	2.572

ANEXO H2

Cuadro E4. Socavación total (cm) en ensayo E90-30. Fuente: Propia

T (horas)	Puntos de control						
	1	2	3	4	5	6	7
0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.50	5.519	5.431	4.402	6.026	5.620	6.119	6.130
1.00	6.145	6.022	5.268	7.308	6.033	7.605	7.557
1.50	5.926	5.439	4.862	7.651	6.236	7.512	7.807
2.50	6.668	7.218	6.354	7.574	7.216	7.582	8.233
4.00	7.822	7.525	6.857	7.518	7.640	7.581	8.478
5.00	9.008	9.051	8.183	8.305	8.159	8.143	8.784
6.00	8.324	8.897	7.675	8.520	8.390	8.234	8.684
7.00	8.184	8.743	8.489	9.028	7.735	8.397	9.460
8.00	8.057	9.074	8.592	9.080	7.931	8.337	9.362
9.00	8.022	9.404	9.447	9.090	7.524	8.268	9.931
10.00	7.987	9.242	9.075	9.094	7.894	9.207	10.032
11.00	7.818	9.080	9.261	9.099	7.791	9.210	10.217
12.00	7.649	9.161	9.168	9.096	7.843	9.209	10.119

Cuadro E5. Socavación total (cm) en ensayo E90-50. Fuente: Propia

T (horas)	Puntos de control						
	1	2	3	4	5	6	7
0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1.00	1.269	1.525	2.017	0.904	1.575	2.145	1.600
2.00	1.413	1.710	2.174	2.166	2.280	2.532	1.928
3.00	1.955	2.124	2.705	2.506	2.383	2.741	2.416
4.00	2.298	2.538	2.653	2.699	2.567	2.839	2.338
5.00	2.338	2.586	2.475	2.386	2.195	2.855	2.756
6.00	2.183	2.641	2.858	2.491	2.186	2.694	2.925
7.00	2.284	2.896	2.897	2.492	2.279	2.757	3.094
8.00	2.210	2.822	2.834	2.497	2.283	2.661	3.154
9.00	2.208	2.841	2.895	2.468	2.377	2.614	3.019
11.00	2.206	2.859	2.856	2.498	2.410	2.711	3.164

Cuadro E6. Socavación total (cm) en ensayo E90-70. Fuente: Propia

T (horas)	Puntos de control						
	1	2	3	4	5	6	7
0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1.50	1.033	1.077	0.417	1.257	0.954	0.992	0.505
2.50	1.231	1.242	1.448	1.461	1.288	1.615	0.571
3.50	1.619	1.237	1.646	1.756	1.393	1.295	1.950
5.00	1.399	2.214	1.844	1.558	2.067	1.712	1.717
6.00	1.306	1.953	1.946	1.716	1.906	1.391	2.066
7.00	1.349	1.849	2.171	1.625	2.011	1.612	2.416
8.00	1.393	1.853	2.195	1.665	1.975	1.645	2.378
9.00	1.363	1.898	2.219	1.617	2.067	1.625	2.399
10.00	1.399	1.919	2.263	1.604	1.909	1.642	2.321
11.00	1.352	1.868	2.164	1.616	1.902	1.659	2.416

ANEXO H3

Cuadro E7. Socavación total (cm) en ensayo E135-30. Fuente: Propia

T (horas)	Puntos de control					
	6	5	4	3	2	1
0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1.00	6.023	5.978	5.182	3.955	3.273	1.906
2.00	6.631	5.875	5.114	4.393	4.055	2.539
3.00	6.515	6.091	6.273	4.351	4.771	2.780
4.00	7.172	6.021	5.751	4.304	4.364	2.980
5.50	7.294	6.361	6.249	5.596	5.070	2.775
6.50	7.576	7.055	6.954	5.584	4.872	2.733
7.50	7.975	6.958	6.615	5.425	4.718	2.806
9.50	7.985	7.066	6.698	5.333	4.827	2.908
10.50	8.057	6.862	6.956	5.094	4.620	3.010
12.00	7.871	6.702	6.701	5.150	4.700	2.980

Cuadro E8. Socavación total (cm) en ensayo E135-50. Fuente: Propia

T (horas)	Puntos de control					
	6	5	4	3	2	1
0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1.00	1.525	1.469	1.909	1.258	1.492	0.702
2.00	2.135	1.516	2.109	1.197	1.597	0.807
3.00	2.382	1.431	1.883	1.299	1.450	0.746
4.00	2.045	1.577	1.829	1.208	1.535	0.820
5.50	2.212	1.696	1.626	1.457	1.553	0.726
6.50	2.168	1.780	1.685	1.507	1.537	0.745
8.00	2.131	1.848	1.763	1.495	1.522	0.764
9.00	2.182	1.916	1.699	1.490	1.492	0.750
10.00	2.167	1.882	1.681	1.533	1.492	0.777

Cuadro E9. Socavación total (cm) en ensayo E135-70. Fuente: Propia

T (horas)	Puntos de control					
	6	5	4	3	2	1
0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.50	1.109	1.905	0.440	1.321	0.498	0.136
1.50	1.010	1.913	0.758	1.269	0.712	0.295
2.50	1.419	1.749	0.483	1.011	0.952	0.498
4.50	2.276	1.684	1.418	0.951	1.519	0.693
6.00	2.236	1.907	1.768	1.381	1.526	0.698
7.00	2.196	1.896	1.766	1.411	1.533	0.731
8.00	2.184	1.908	1.853	1.470	1.506	0.758
9.00	2.173	1.909	1.779	1.474	1.439	0.794
10.50	2.197	1.911	1.786	1.446	1.486	0.764