

UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

Profesor Patrocinante:
Dr. Álvaro Suazo Schwencke

EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO
HIDRÁULICO DE SUMIDEROS
UBICADOS EN CALLE GENERAL
NOVOA, CONCEPCIÓN

Proyecto de Título presentado en conformidad a los requisitos para obtener el título
de Ingeniero Civil.

PABLO UNDA ARAYA

Concepción, diciembre de 2016.

A Samuel Unda y Viviana Araya.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que estuvieron conmigo en todo este trayecto.

A mis padres, Samuel y Viviana, por brindarme todo lo que está a su alcance y más, para darme esta alegría de terminar mi carrera y poder compartirla con ellos. Este trabajo se lo debo a ellos.

A mis hermanos, Jorge, por apoyarme mediante sus conocimientos y vivencias, llegando a ser mi modelo a seguir profesionalmente, y Ricardo, por su apoyo y preocupación constantes en mi formación académica.

A mi polola, Berenice Alejandra, por estar siempre a mi lado para ayudarme a dar lo mejor de mí, proporcionándome la motivación necesaria para culminar mi proyecto de título.

A mi sobrino, Ricardo, por su ayuda en las mediciones de levantamiento topográfico necesarios para este trabajo.

A toda mi familia, que fue un pilar fundamental en este proceso. Nuestra unidad frente a los duros golpes que puede darnos la vida se tradujo en la fortaleza necesaria para seguir adelante y no decaer ante la adversidad.

A Giovanna y Camila, mis amigas incondicionales con quienes compartí los mejores momentos durante mi paso por la Universidad. Gracias por su motivación, consejos y “tirones de oreja” que necesité en más de una ocasión.

A mi profesor guía, Dr. Álvaro Suazo Schwencke, por todo el tiempo brindado y su ayuda concedida para terminar este proyecto.

ÍNDICE

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
1 INTRODUCCIÓN	3
1.1 Objetivo General.....	3
1.2 Objetivos Específicos	3
1.3 Justificación del Tema	3
2 ANTECEDENTES TEÓRICOS	5
2.1 Características de las Tormentas.....	5
2.1.1 Periodo de Retorno	5
2.1.2 Duración Total.....	6
2.1.3 Precipitación Total.....	6
2.2 Relaciones Intensidad, Duración, Frecuencia (IDF).....	6
2.3 Tiempo de Concentración	7
2.4 Tormentas de Diseño	7
2.5 Demanda de Caudales para la Red Secundaria.....	8
2.5.1 Estimación de Caudales.....	8
2.5.2 Escurrimiento en Vías Públicas.....	9
2.6 Sumideros	9
2.6.1 Tipos de Sumideros	9
2.6.2 Capacidad Máxima de Sumideros	10
3 DESCRIPCIÓN ZONA DE ESTUDIO	11
3.1 Ubicación Geográfica	11
3.1.1 Estero Nonguén	12
3.1.2 Río Andalién.....	12

3.2	Clima.....	13
3.2.1	Tormentas de Diseño y de Verificación para la Ciudad de Concepción	13
4	RECOLECCIÓN DE DATOS EN TERRENO	14
4.1	Catastro de Sumideros	14
4.2	Levantamiento Topográfico.....	15
4.3	Medición de Variables de Operación.....	15
4.4	Observaciones	17
5	CUANTIFICACIÓN DE TORMENTAS	19
5.1	Precipitación - Intensidad	19
5.2	Periodos de Retorno.....	19
6	RESULTADOS	20
6.1	Geometría de Rejillas.....	20
6.2	Perfiles Longitudinales y Transversales	21
6.3	Ancho Superficial, Profundidad y Velocidad De Escurrimiento.....	22
6.4	Capacidad Máxima	23
7	DESEMPEÑO HIDRÁULICO	24
7.1	Criterios de Desempeño.....	24
7.1.1	Verificación de Colapso	24
7.1.2	Ancho Superficial Registrado.....	24
7.1.3	Ancho Superficial Proyectado para una Tormenta de Diseño.....	24
7.2	Metodología de Evaluación	25
7.3	Evaluación de Desempeño Hidráulico.....	26
8	ANÁLISIS DE RESULTADOS	27
9	CONCLUSIONES	29
10	BIBLIORAFÍA.....	31
	ANEXO A CRITERIOS DE DISEÑO	33

A.1	Criterios Generales de Diseño	33
A.2	Destino de las Aguas.....	34
A.3	Escurrimiento en Vías Públicas	34
ANEXO B	CATASTRO DE SUMIDEROS.....	36
ANEXO C	PRECIPITACIONES CAÍDAS DURANTE EL ESTUDIO	38
C.1	Data y Horario de Mediciones	38
C.2	Precipitaciones durante las Mediciones.....	38
ANEXO D	PERFILES LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES	41
D.1	Intersección Las Violetas.....	41
D.2	Intersección Bernardino Corral.....	45
D.3	Intersección Antonio Varas.....	49
D.4	Intersección Villarrica.....	59
D.5	Intersección Puchacay.....	66
ANEXO E	MEDICIONES DE VARIABLES DE OPERACIÓN.....	75

EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO HIDRÁULICO DE SUMIDEROS UBICADOS EN CALLE GENERAL NOVOA, CONCEPCIÓN.

Estudiante: Sr. Pablo Unda Araya
Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío-Bío
punda@alumnos.ubiobio.cl

Profesor Patrocinante: Dr. Álvaro Suazo Schwencke
Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío-Bío
asuazo@ubiobio.cl

RESUMEN

El presente trabajo busca evaluar el desempeño hidráulico de los sumideros ubicados en la calle General Novoa, en la comuna de Concepción. Gran parte de estos sumideros no cumplen con las exigencias de la Guía de Diseño y Especificaciones de Elementos Urbanos de Infraestructura de Aguas Lluvias, del Ministerio de Vivienda y Urbanismo, que evitan que el agua se concentre y acumule en calles por sobre los límites indicados en la misma guía, pudiendo provocar disfuncionalidades que dificulten o impidan el tránsito tanto vehicular como peatonal.

El problema fue abordado analizando el funcionamiento de los sumideros bajo situaciones reales, durante diferentes tormentas caídas sobre la ciudad, todas ellas distintas en intensidad y duración. Las tormentas fueron debidamente cuantificadas para relacionar su magnitud e intensidad con el desempeño de los sumideros.

El estudio demostró el mal funcionamiento de gran parte de los sumideros, inclusive cuando son sometidos a tormentas que están muy por debajo de los requerimientos establecidos. Finalmente, se concluye que el sistema de sumideros de la calle General Novoa no cumple con las exigencias que demandarían tormentas incluso menores a una tormenta de diseño para la ciudad de Concepción, debido a su mal desempeño hidráulico.

Palabras clave: sumideros, desempeño hidráulico, evaluación.

EVALUATION OF HYDRAULIC PERFORMANCE OF RAINWATER DRAINS LOCATED AT GENERAL NOVOA STREET, CONCEPCIÓN.

Student: Mr. Pablo Unda Araya
Civil and Environmental Engineering Department, Universidad del Bío-Bío
punda@alumnos.ubiobio.cl

Sponsor Professor: Dr. Álvaro Suazo Schwencke
Civil and Environmental Engineering Department, Universidad del Bío-Bío
asuazo@ubiobio.cl

ABSTRACT

The present job seeks to evaluate the hydraulic performance of rainwater drains located at General Novoa Street in Concepción city. A large part of these drains do not fulfill the requirements of the “Guide to Design and Specifications of Urban Elements of Rainwater Infrastructure” of the Ministry of Housing and Urban Planning. These requirements prevent rainwater on the streets from accumulating above the recommended limits from the same Guide, causing malfunctions that make difficult or impede both vehicle and pedestrian transit.

The issue was addressed by analyzing the operation of the drains in real situations during different storms over the city, all of them distinct in intensity and duration. All of the storms were appropriately quantified to relate their magnitude and intensity with the hydraulic performance of the drains.

The study proved the malfunction of a large part of the drains, including when they are subjected to storms which are well below the established requirements. Finally, it is concluded that the rainwater drain system, located at General Novoa Street, does not fulfill the requirements that storms even lesser than storms for design for Concepcion would demand, due to its poor hydraulic performance.

Keywords: drains, hydraulic performance, evaluation.

1 INTRODUCCIÓN

Un elemento importante del sistema de evacuación de aguas lluvias son los sumideros, ya que éstos son los encargados de captar el agua que escurre por la superficie de la calzada y drenarla para luego ser dirigida hacia la red primaria de aguas lluvias. Sin embargo, su desempeño no es ideal ni constante en el tiempo, puesto que está sujeto a posibles modificaciones y externalidades, tanto en el sumidero propiamente tal, como en la calzada o en el escurrimiento en sí. Es por ello que se les debe realizar mantenimiento y verificación frecuentemente.

1.1 Objetivo General

Evaluar el desempeño hidráulico de sumideros ubicados en la calle General Novoa en la comuna de Concepción durante eventos en el año 2014.

1.2 Objetivos Específicos

- Describir el funcionamiento actual de los sumideros en estudio.
- Definir criterios de desempeño de sumideros durante tormentas.
- Determinar el desempeño hidráulico de los sumideros para una tormenta de diseño en base a su funcionamiento actual.

1.3 Justificación del Tema

La calle General Novoa, ubicada en la comuna de Concepción, presenta un importante escurrimiento de aguas lluvias debido al alto porcentaje de superficies impermeables en sus alrededores. Por ello, es importante que el sistema de sumideros que operan en ella trabaje bajo altos estándares de seguridad y serviciabilidad, considerando la gran demanda vehicular y peatonal que presenta esta calle.

De acuerdo a la Guía de Diseño y Especificaciones de Elementos Urbanos de Aguas Lluvias del Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU, 2005), los sumideros se dimensionan considerando su capacidad máxima y eficiencia, según su tipo. Sin embargo, después de construirlos y de haber sido afectados por eventos como el terremoto de 2010, se requiere evaluar su desempeño bajo las condiciones actuales.

Este estudio será del tipo descriptivo, en donde se analizará el desempeño de sumideros, midiendo las variables de operación de los sumideros durante distintas tormentas. La investigación será del tipo observacional (no experimental), ya que los datos obtenidos corresponderán a mediciones dependientes del clima y de la geometría de la calzada, sin manipulación externa por parte del observador. El estudio se centrará sobre una unidad muestral de los sumideros ubicados en la calle General Novoa.

2 ANTECEDENTES TEÓRICOS

El sistema de evacuación y drenaje de aguas lluvias se conforma por la red primaria y la red secundaria de aguas lluvias. La red primaria está constituida según lo definido en el plan maestro, desarrollado por el Ministerio de Obras Públicas (MOP). El resto de las redes, no contempladas dentro de la definición de red primaria, constituirán, por exclusión, la red secundaria de sistemas de evacuación y drenaje de aguas lluvias (MOP, 1997).

El sistema de drenaje y sus elementos se proyectan y dimensionan de manera que operen bajo criterios y estándares, definidos en la Guía de Diseño y Especificaciones de Elementos Urbanos de Aguas Lluvias y mencionados en el Anexo A de este informe, cuando son sometidos a una tormenta de diseño, la que se define para un periodo de retorno preestablecido, con una duración y precipitación determinadas. Para cualquier tormenta de igual o menor periodo de retorno, duración o precipitación, el sistema debe operar sin fallas ni inconvenientes (MINVU, 2005).

A continuación, se definen los conceptos involucrados en relación a la caracterización de tormentas y su cuantificación, además de la definición de los elementos de la red secundaria involucrados en este estudio y su funcionamiento.

2.1 Características de las Tormentas

Las características principales que definen una tormenta son el periodo de retorno, la duración y la precipitación total. Hay otras características que son secundarias, como lo son la distribución temporal y distribución geográfica, pero éstas no son relevantes para el estudio debido al área geográfica reducida en que éste se centra.

2.1.1 *Periodo de Retorno*

Es el intervalo de recurrencia promedio entre la ocurrencia de dos tormentas de igual magnitud. Se selecciona de acuerdo al riesgo de falla que se está dispuesto a asumir para el sistema o elemento a dimensionar. Para proyectos de drenaje urbano se deben considerar dos tipos de tormentas: una de diseño, con la que se dimensionan los elementos del sistema con periodos de retorno de 2 años; y una de verificación, con la que se comprueba que para situaciones extremas

el sistema no presente problemas graves aunque se aceptan fallas e inconvenientes, con periodos de retorno de 100 años (MINVU, 2005).

2.1.2 Duración Total

Está relacionada con el tiempo de concentración de la cuenca aportante, de modo de seleccionar una duración que genere el máximo escurrimiento. Para el diseño de elementos de conducción la duración de la tormenta debe seleccionarse siempre mayor o igual al tiempo de concentración, recomendando una duración que no exceda al tiempo de concentración por más del doble (MINVU, 2005).

2.1.3 Precipitación Total

Es una característica climática del lugar que se puede obtener de las relaciones de Intensidad, Duración, Frecuencia (IDF). Seleccionados el período de retorno y la duración, de estas relaciones se obtiene la precipitación total de la tormenta.

2.2 Relaciones Intensidad, Duración, Frecuencia (IDF)

Estas relaciones permiten caracterizar las tormentas en un lugar. Se establecen en base a un análisis estadístico de las lluvias registradas en pluviógrafos de la zona. Para el diseño de la red secundaria, se recomienda adoptar los valores propuestos en el Plan Maestro de Aguas Lluvias (PMALL) de la ciudad correspondiente o la más cercana, y la información sobre series anuales de precipitaciones máximas diarias de la Dirección General de Aguas (DGA).

La precipitación total de una lluvia de periodo de retorno T , en años, y duración total D , en horas o minutos, se estima como:

$$P_D^T = C \times CF^T \times CD_D \times PD^{10} \quad \text{Ec. (1)}$$

Donde

C : coeficiente que transforma las precipitaciones diarias en máximas en 24 horas.

CF^T : coeficiente de frecuencia, que depende del periodo de retorno.

CD_D : coeficiente de duración, que depende de la duración de la tormenta.

PD^{10} : precipitación diaria de una tormenta con periodo de retorno de 10 años.

Conocida la precipitación de una tormenta de duración D y periodo de retorno T , la intensidad media, I , se calcula como:

$$I_D^T = \frac{P_D^T}{D} \quad \text{Ec. (2)}$$

Y se mide habitualmente en mm/h.

2.3 Tiempo de Concentración

Corresponde al tiempo que debe transcurrir desde el inicio de una tormenta de intensidad uniforme hasta que toda la superficie de la cuenca aporte escurrimiento a la salida.

El conocimiento del tiempo de concentración tiene interés práctico ya que al seleccionar tormentas de duraciones mayores al tiempo de concentración, se asegura que la superficie aportante es la máxima. Por lo tanto, si se considera la intensidad máxima de la tormenta concentrada al inicio, se asegura la obtención del caudal máximo a la salida, de manera que es relevante para dimensionar elementos de conducción o transporte. Sin embargo, no resulta tan relevante para el diseño de elementos de almacenamiento.

2.4 Tormentas de Diseño

Para dimensionar los elementos de las obras de drenaje de una urbanización, se supondrá que sobre la cuenca se recibe una tormenta de diseño, de manera que para todas las tormentas iguales o menores a ella las obras funcionan adecuadamente. Para tormentas mayores se aceptará que los elementos vean sobrepasadas sus capacidades de diseño, pero se verificará que no provoquen problemas graves.

Para obras de conducción, que se deben dimensionar para conducir un gasto Q , la tormenta de diseño se selecciona a partir de las curvas IDF del lugar, con el periodo de retorno de diseño y una duración igual a 1 hora si el área de la cuenca es menor a 50 ha. y el tiempo de concentración de la cuenca es menor a 1 hora. Si tanto el área de la cuenca o su tiempo de concentración es mayor al mencionado previamente, se debe usar tormentas de diseño de 24 horas de duración. (MINVU, 2005).

2.5 Demanda de Caudales para la Red Secundaria

Los caudales que se generan en una cuenca urbana cuando recibe una precipitación corresponden, en otras palabras, a la exigencia o demanda de caudales que debe recibir el sistema de drenaje y sus elementos, el cual debe satisfacer la demanda mencionada bajo criterios y estándares de seguridad y serviciabilidad (Anexo A).

2.5.1 Estimación de Caudales

Para calcular los caudales generados por una precipitación en una cuenca urbana, es posible emplear diferentes procedimientos. Cuando las características de la cuenca lo permitan, se recomienda el empleo del Método Racional o el Método Racional Modificado (MINVU, 2005). En gran parte de los casos esto no es posible, debido a la complejidad existente al momento de delimitar el área de la cuenca y, además, determinar los distintos coeficientes de escorrentía en caso de ser una cuenca heterogénea.

Para el cálculo de escurrimiento en vías públicas, puede considerarse la cuneta de la calle como un canal prismático, no erosionable (revestido) y de sección estable (sin sedimentación). Considerando, asimismo, que el flujo en la cuneta es permanente, se puede aplicar la ecuación de Chézy-Manning para calcular la velocidad media del escurrimiento.

$$V = \left(\frac{A}{P}\right)^{2/3} \frac{S^{0,5}}{n} \quad \text{Ec. (9)}$$

Siendo V [m/s] la velocidad media del flujo, A [m²] el área transversal del flujo, P [m] el perímetro mojado de la sección transversal, S [m/m] la pendiente de la cuneta, y n el coeficiente de rugosidad de Manning.

Para pavimentos asfálticos o de hormigón, como los de este estudio, se recomienda un valor de 0.015 para el coeficiente de rugosidad de Manning (Chow, 1994: 109; MINVU, 2005)

Una vez obtenida la velocidad, el caudal se calcula mediante la expresión de continuidad:

$$Q = V \cdot A \quad \text{Ec. (10)}$$

2.5.2 *Escorrentamiento en Vías Públicas*

Para el diseño de la red secundaria de aguas lluvias se debe verificar que las calles no conduzcan cantidades importantes de aguas lluvias, de manera que la profundidad de inundación no sobrepase el nivel de solera ni que el ancho superficial sea superior a 1 metro, para tormentas menores con periodo de retorno de 2 años, para todo tipo de vía vehicular (MINVU, 2005).

El exceso de agua debe necesariamente ser conducido por el sistema de drenaje. Por ello, el sistema debe contar además con suficientes sumideros, adecuadamente espaciados, que eviten que el agua escurra, se concentre y acumule en las calles por sobre los límites mencionados anteriormente.

2.6 **Sumideros**

Son los elementos de la red secundaria encargados de captar las aguas lluvias superficiales de la calzada y dirigirlas hacia el sistema de drenaje.

La capacidad hidráulica de captación de los sumideros depende de principalmente de su tipo, además de su ubicación, pendiente de la calle, características del flujo y sedimentos que lleve el agua. Es necesario por lo tanto emplear factores de reducción para tomar en cuenta estos efectos. Factores del orden de 0,5 son razonables si no se dispone de mayores antecedentes (MINVU, 2005).

2.6.1 *Tipos de Sumideros*

Los sumideros se clasifican según su ubicación en la calzada y la forma de captar el flujo superficial. Existen tres tipos (Figura 1):

- Sumidero Horizontal
- Sumidero Lateral
- Sumidero Mixto

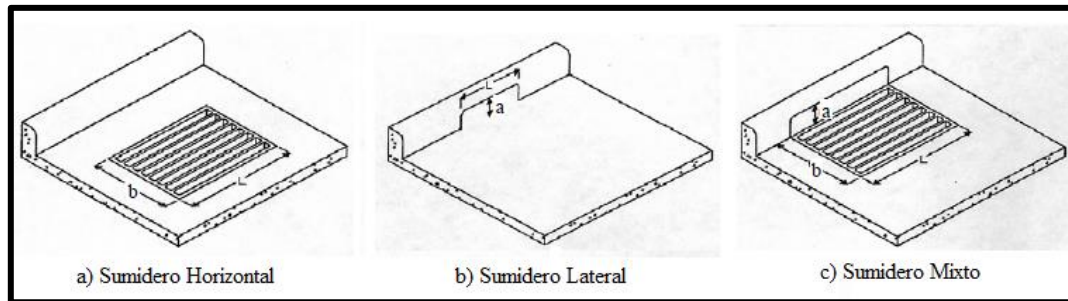


Figura 1. Tipos de sumideros

(Fuente: MINVU, 2005)

2.6.2 Capacidad Máxima de Sumideros

La capacidad máxima de los sumideros depende del tipo, tamaño y diseño de la rejilla. Su capacidad se puede estimar suponiendo que funcionan hidráulicamente como vertederos para pequeñas alturas de agua o como orificios para alturas mayores.

Un sumidero horizontal de largo L y ancho b , en metros, con una rejilla de área de aberturas A , en metros cuadrados, puede evacuar como máximo un caudal Q_m [m^3/s]:

$$Q_m = 1,66(L + 2b)h^{1,5} \quad \text{si funciona como vertedero: } h < 1,6 \frac{A}{L+2b} \quad \text{Ec. (11)}$$

$$Q_m = 2,66h^{0,5} \quad \text{si funciona como orificio: } h \geq 1,6 \frac{A}{L+2b} \quad \text{Ec. (12)}$$

Donde h es la profundidad del escurrimiento en la calle frente al sumidero, en metros.

Un sumidero lateral de largo L y altura de abertura a , en metros, puede evacuar como máximo un caudal Q_m [m^3/s]:

$$Q_m = 1,27Lh^{1,5} \quad \text{si funciona como vertedero: } h < a \quad \text{Ec. (13)}$$

$$Q_m = 2,66Lah^{0,5} \quad \text{si funciona como orificio: } h \geq a \quad \text{Ec. (14)}$$

Colocados en una calle con pendiente no siempre logran captar toda el agua que viene por ellas, aunque teóricamente dispongan de capacidad para ello. En realidad, los sumideros captan sólo parte del escurrimiento que escurre por la cuneta, la fracción no captada escurre aguas abajo y debe agregarse al caudal que recibe la calle, quedando por lo tanto para el siguiente sumidero (MINVU, 2005).

3 DESCRIPCIÓN ZONA DE ESTUDIO

En este capítulo se describirá la zona de estudio, mencionando y detallando características relevantes de ésta, tales como ubicación geográfica, climatología y cursos de agua que la delimitan.

3.1 Ubicación Geográfica

Los sumideros en estudio se encuentran en calle General Novoa de la comuna de Concepción, capital de la Región del Biobío. Esta calle se emplaza en un sector completamente urbanizado, con superficies impermeables en todo su alrededor. Posee una longitud aproximada de 1400 metros y alberga a 29 sumideros distribuidos en todo su largo (Figura 2).



Figura 2. Ubicación zona de estudio
(Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth)

El colector y los sumideros de la calle General Novoa fueron dimensionados para evacuar las aguas lluvias correspondientes a 2/3 del área tributaria afluyente a la calle General Novoa desde el sur. El resto de las aguas debe ser evacuado por colectores ubicados en Avenida Collao, ubicada 100 metros al norte de Gral. Novoa, siendo paralela a ésta (MOP, 2001).

Las aguas captadas por los sumideros de la calle General Novoa se descargan hacia el estero Nonguén y, en menor medida, hacia el río Andalién. Los sumideros en estudio forman parte de los que evacúan sus aguas hacia el estero Nonguén. La Figura 3 esquematiza la escorrentía superficial y la evacuación de aguas captadas sobre la calle General Novoa.



Figura 3. Destino de las aguas lluvias sobre calle General Novoa

(Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth y PMALL de Concepción (MOP, 2001))

3.1.1 Estero Nonguén

El estero Nonguén nace en la Cordillera de la Costa, es de origen pluvial y su cuenca posee una superficie aproximada de 42,94 km². Atraviesa la zona norte de la ciudad de Concepción en donde finalmente evacúa sus aguas en el río Andalién (EULA, 2002; citado en González, 2011).

La crecida del año 2006 significó un aumento del 20% en los caudales máximos instantáneos. En aquel entonces, tras el término de la crecida, quedó al descubierto que las descargas de los ductos de aguas lluvias se bloquearon por arrastre y decantación de sedimentos (González, 2011).

3.1.2 Río Andalién

Posee un régimen hidrológico pluvial, por lo que presenta las mayores crecidas en invierno y marcados estiajes en verano. Tiene un caudal promedio anual de 14,5 m³/s en la estación Río

Andalién, ubicada en el sector norte del puente Andalién, camino a Penco, la cual está a cargo de la DGA.

La cuenca del río Andalién se encuentra en la Cordillera de la Costa y tiene una superficie total aproximada de 564,09 km². Luego recorre el sector norte de la ciudad, para finalmente ensancharse en la costa de la bahía de Concepción, desembocando en dicha zona (MOP, 2001).

3.2 Clima

En general, el clima de la ciudad de Concepción corresponde al tipo templado cálido lluvioso, presentando una alta pluviosidad, con temperaturas medias anuales bajas y con una marcada oscilación térmica diaria. La precipitación anual para un año normal es de 1120,8 mm, mientras que la temperatura media anual en un año normal alcanza los 12,2 °C.

La ciudad de Concepción posee un régimen de precipitaciones promedio de 119 días al año, de los cuales 36 presentan precipitaciones mayores a 10,0 mm y 83 mayores a 1,0 mm (MOP, 2014).

3.2.1 Tormentas de Diseño y de Verificación para la Ciudad de Concepción

Una tormenta de diseño, de 2 años de periodo de retorno y una hora de duración, presenta sobre la ciudad de Concepción una precipitación máxima de 16 mm, mientras que para una duración de 24 horas se tiene una precipitación máxima de 84 mm.

Si se considera un mayor periodo de retorno, para el caso de tormentas de verificación, la ciudad de Concepción podría presentar una precipitación máxima de 153,5 mm en tormentas de 100 años y 24 horas de duración (MOP, 2001).

4 RECOLECCIÓN DE DATOS EN TERRENO

La recolección de datos en terreno consistió en tres partes: primeramente un catastro de los sumideros existentes, en donde se describió su ubicación, tipo y dimensiones; el levantamiento topográfico, necesario para determinar pendientes longitudinales y transversales de la calzada, alturas de solera y externalidades; y la medición de variables de operación de los sumideros, asociadas a los caudales generados por las lluvias que precipitan sobre la cuenca aportante a cada sumidero.

4.1 Catastro de Sumideros

La calle G. Novoa alberga una totalidad de 29 sumideros, los que se describen en la tabla B1 del Anexo B de este informe. Se excluye de este estudio a los sumideros ubicados en el extremo oriente de la calle, desde calle Caleuche hasta calle Los Lirios, al igual que el sumidero ubicado en el extremo poniente, frente al Museo de Historia Natural de Concepción. Estos sumideros se descartan debido a la lejanía que presentan con respecto a los demás, tomando en cuenta que se debe estudiar su funcionamiento en tiempo real durante las tormentas. Además, se excluyó también de este estudio a los sumideros ubicados en las puertas del Centro Clínico Militar (Ex CASM), debido a la imposibilidad de tomar registro gráfico del lugar, ya que éste es un recinto militar.

Por lo tanto, formaron parte del análisis los sumideros ubicados entre las calles Las Violetas y Puchacay, siendo 19 en total. Todos ellos corresponden a sumideros de tipo horizontal y están ubicados en las esquinas de las intersecciones con las calles Las Violetas, Bernardino Corral, Antonio Varas, Villarrica y Puchacay. Para efectos prácticos, los sumideros estudiados fueron enumerados desde el S01 al S19 según su posición en la calle desde este a oeste, que coincide con el sentido de las aguas en el colector. El prefijo *S* usado en esta nomenclatura indica que se trata de un sumidero (Tabla B2, Anexo B).

Existe un tramo de 300 metros lineales a lo largo de la calle en que no hay presencia de sumideros que evacúen las aguas lluvias superficiales. Esto provoca una gran acumulación de aguas lluvias en las intersecciones de General Novoa con las calles Tegualda y Atacalco, formando pozas en las esquinas y pasos peatonales.

4.2 Levantamiento Topográfico

El levantamiento topográfico muestra la geometría de la cuneta y la calzada por donde escurre el flujo superficial, entregando datos relevantes al estudio tales como pendientes longitudinales y transversales, altura de solera, desniveles, presencia de lomos de toro, rebajes, singularidades ajenas al diseño de la calzada, etc.

Los instrumentos utilizados en el levantamiento topográfico corresponden a nivel topográfico, estadal métrico y huincha de 50 metros.

Para obtener la pendiente del perfil longitudinal de los sumideros se consideró medir el fondo de la cuneta cada 1 metro aproximadamente, dependiendo de irregularidades y singularidades. En cuanto a las secciones transversales, se tomó medida de la altura de solera, base de la solera, altura de cuneta y punto medio de la calle. En muchos casos, dependiendo de irregularidades y singularidades en la calzada, se tomó además medidas de puntos intermedios entre los anteriormente nombrados.

4.3 Medición de Variables de Operación

Se procedió a medir el ancho superficial del escurrimiento generado por distintas tormentas a la entrada y a la salida de los sumideros. Se considera el ancho superficial como el ancho de la sección en la superficie libre del escurrimiento, medida desde el borde externo de la solera hacia la calzada, en forma perpendicular a la dirección del flujo. Esta medición se realizó con la ayuda de un flexómetro metálico, con tal de no sufrir deformaciones al momento de la medición debidas a la magnitud de la corriente.

La profundidad del escurrimiento se deduce a partir del ancho superficial mediante la geometría de la sección. Las demás variables, tales como velocidad media y caudal se deducen a partir de la aplicación de la fórmula de Chézy-Manning.

Como algunos de los sumideros cuentan con una depresión en la calzada para aumentar la pendiente y su eficiencia de captación de aguas lluvias, haciendo que la sección no sea prismática en sus alrededores, se determinaron puntos de control a 2 metros de la entrada y de la salida respectivamente. Así, para cada sumidero se definieron 4 puntos de control, como se grafica en la Figura 4. Para efectos prácticos, los puntos de control fueron enumerados desde el P01 al P75,

según el sumidero al que pertenecen (desde el S01 al S19). El prefijo *P* usado en esta nomenclatura indica que se trata de un punto de control.

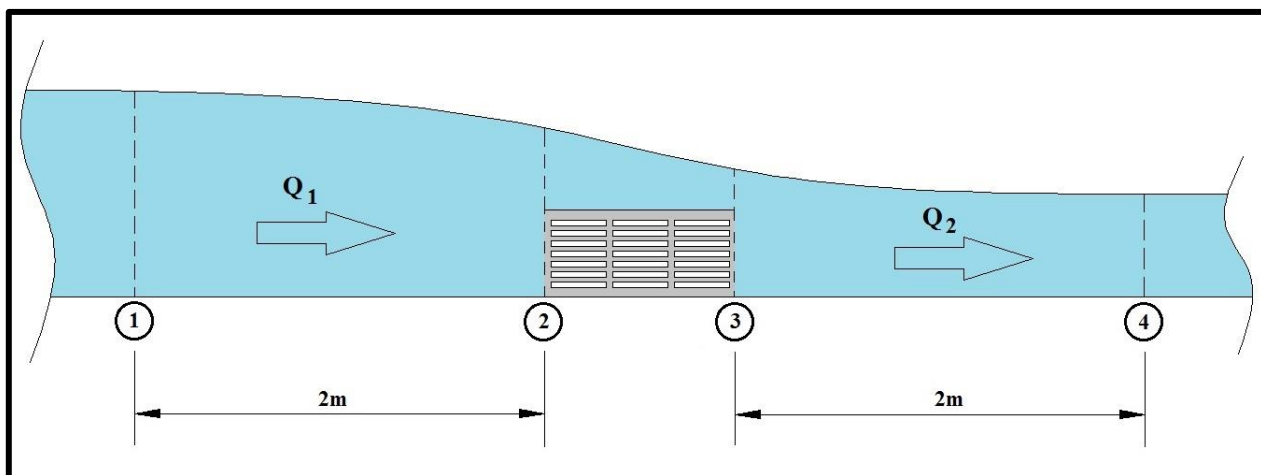


Figura 4. Esquema de posicionamiento de puntos de control para cada sumidero

(Fuente: Elaboración propia)

Para los casos en que el sumidero está ubicado en una esquina o próximo a una esquina, se procedió de forma análoga, considerando puntos de control a 2 metros de la entrada y la salida respectivamente, medidos sobre el borde de la solera. El ancho superficial se mide en forma perpendicular a la dirección del flujo en el punto de control para todos los casos.

Mediante el principio de continuidad, se puede obtener el caudal captado por el sumidero gracias a la siguiente ecuación:

$$Q_S = Q_1 - Q_2 \quad \text{Ec. (23)}$$

En donde:

Q_S : Caudal captado por el sumidero.

Q_1 : Caudal aguas arriba del sumidero.

Q_2 : Caudal aguas abajo del sumidero.

4.4 Observaciones

Se pudo constatar la abundante presencia de hojas y envoltorios plásticos, que obstruían los orificios de drenaje de las rejillas de los sumideros. Además, los sumideros S02, S08, y S10 contaban con presencia de plantas en el fondo, las que en algunos casos brotaban a través de los orificios de la rejilla, dejando en evidencia la total y absoluta falta de mantenimiento y limpieza de los sumideros por largos periodos de tiempo, obstruyendo en algunos casos sobre el 90% del área de abertura de las rejillas, dificultando su capacidad de captación y drenaje de aguas.

Al momento de medir las variables de operación, el observador pudo notar que el sumidero S04, aportaba caudal al escurrimiento superficial en vez de disminuirlo. Esto se debe a que el colector estaba obstruido aguas abajo, y la cota de la superficie libre del escurrimiento captado por el sumidero S03, frente a S04, es más alta que la cota de la superficie libre en S04. La Figura 5 ilustra la situación descrita.

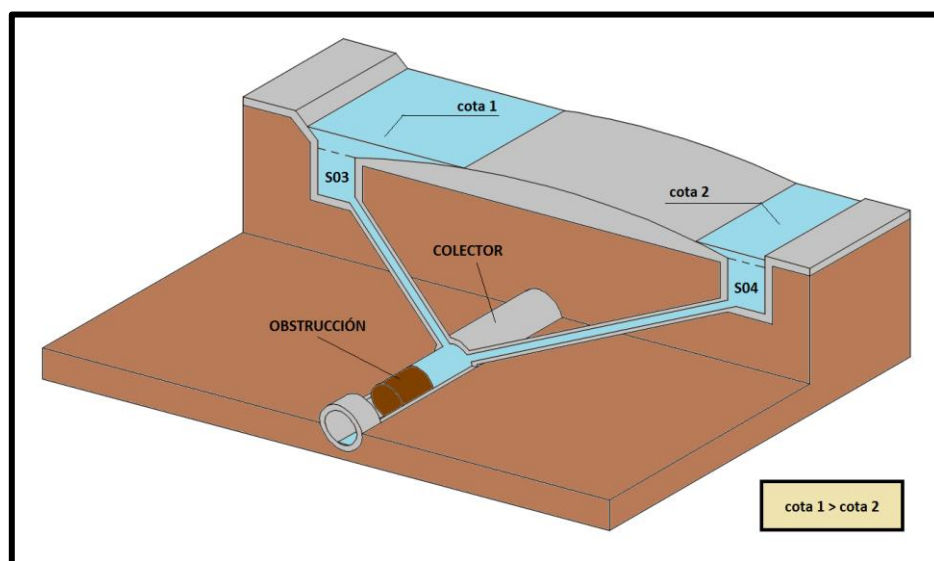


Figura 5. Ilustración de colector obstruido en S03 y S04

(Fuente: Elaboración propia)

Esto explica también el mal desempeño de los sumideros S01 y S02 ubicados aguas arriba, en la intersección con calle Las Violetas, que se encontraban colapsados en la mayoría de las mediciones realizadas.

Un caso particular es el que se presentó en el sumidero S11, ubicado en la intersección con la calle Villarrica. El sumidero estaba destrozado, con la rejilla hundida en uno de sus bordes, formando un agujero en la intersección de la rejilla con la solera. Cuando la carga de hojas en la

esorrentía era abundante y tapaba la rejilla, el flujo pasaba sobre ésta e ingresaba al sumidero a través del agujero.

La topografía alrededor del sumidero S12 es muy accidentada, el pavimento en esta zona está formado por adcretos en mal estado y no hay presencia de solera en el sector del sumidero. Aun con estas externalidades, el sumidero logró trabajar eficientemente durante las mediciones realizadas.

Durante las mediciones, se observó que los sumideros ubicados en la intersección de General Novoa con Puchacay eran los únicos a los que se les realizaba mantenimiento, que consistía principalmente en la limpieza de hojas, envoltorios plásticos, barro y otros agentes ajenos a los sumideros.

Cabe destacar que cada medición, desde el primer sumidero medido hasta el último, tomó un tiempo total aproximado de entre 60 y 90 minutos, dependiendo en mayor medida de las condiciones climáticas y de tráfico vehicular, considerando la distribución longitudinal de los sumideros a ambos costados de la calle.

Hubo mediciones que no se pudieron concretar debido a la presencia de vehículos estacionados sobre las cunetas, imposibilitando la labor del observador. Este inconveniente se registró en la esquina de General Novoa con Villarrica, en los sumideros S13 y S14.

5 CUANTIFICACIÓN DE TORMENTAS

Las tormentas registradas durante las mediciones de variables de operación de los sumideros deben ser cuantificadas en sus magnitudes, tanto en intensidad como en duración, a fin de establecer una relación entre las tormentas y el funcionamiento de los sumideros en respuesta a la escorrentía generada.

Fueron cinco tormentas en las que se tomaron medidas de las variables de operación de los sumideros, todas ellas distintas en intensidad y duración.

5.1 Precipitación - Intensidad

La precipitación caída durante cada tormenta fue facilitada por la DGA a través de la Estación Estero Nonguén, que se encuentra frente a la Universidad del Bío-Bío, a orillas del estero Nonguén. Su posición geográfica la convierte en la estación pluviométrica idónea para el estudio, dada su proximidad a los sumideros en cuestión.

La información provista por la Estación Nonguén corresponde a la precipitación caída durante intervalos de 1 hora, proporcionando automáticamente la intensidad de cada tormenta en mm/hr. Las tablas con las precipitaciones caídas durante las mediciones de variables de operación se encuentran en el Anexo C de este informe.

5.2 Periodos de Retorno

Dada la baja precipitación e intensidad de todas las tormentas registradas en este estudio, puede establecerse que el periodo de retorno de éstas está muy por debajo de los dos años, correspondientes al periodo de retorno de una tormenta de diseño, según lo estipulado en el PMALL de Concepción.

6 RESULTADOS

Se incluyen en este capítulo los resultados obtenidos de la recolección de datos en terreno. Además, se desprende de estos resultados los cálculos de capacidad máxima de sumideros a partir de su geometría.

6.1 Geometría de Rejillas

El catastro muestra que las rejillas de los sumideros estudiados se pueden clasificar dentro de 10 tipos distintos, según su configuración geométrica. A cada tipo de rejilla se le asignó una letra de la A a la J con tal de identificarlas y diferenciarlas. La Tabla 1 muestra un resumen con las distintas propiedades de cada tipo de rejilla.

Tabla 1. Propiedades Geométricas de Rejillas

Rejilla tipo	Dimensiones rejilla		Dimensiones aberturas			
	Largo	Ancho	Largo	Ancho	Cantidad	Área total
	L [m]	b [m]	le* [m]	be* [m]	n	A [m ²]
A	0,98	0,41	0,26	0,030	21	0,1638
B	0,90	0,41	0,07	0,170	20	0,2380
C	0,98	0,41	0,19	0,075	20	0,2850
D	1,00	0,50	0,05	0,090	75	0,3375
E	1,00	0,50	0,19	0,040	45	0,3420
F	2,15	0,42	0,28	0,035	36	0,3528
G**	1,88	0,40	0,16	0,070	20	0,4004
			0,28	0,035	18	
H	1,85	0,41	0,07	0,170	40	0,4760
I	1,50	0,50	0,05	0,090	115	0,5175
J**	1,98	0,46	0,28	0,035	18	0,5184
			0,19	0,040	45	

Nota: Las rejillas se presentan ordenadas según su área de aberturas en forma ascendente. (*) Valores promedio; (**) Rejillas compuestas por dos rejillas de distinta geometría dispuestas en serie con respecto a la dirección del flujo. (Fuente: Elaboración propia)

En los casos de sumideros con rejillas tipo G y J, se consideró el largo total de la rejilla como la suma de los largos de sus rejillas independientes más su distancia de separación; en tanto que el ancho se consideró como el promedio ponderado de los anchos de sus rejillas independientes.

Debido a factores externos a los sumideros, muchos de éstos presentaban anomalías en la geometría de sus rejillas, tales como deformaciones de las barras debidas al paso de vehículos pesados, oxidación, presencia de obstrucciones. Por este motivo, el largo y ancho de las aberturas

de los sumideros no era estándar dentro de una misma rejilla, sino que respondían a un valor promedio. Estas anomalías se consideran despreciables al momento de calcular el área total de aberturas.

La Tabla 2 muestra la configuración de rejilla que posee cada sumidero. Se desprende de esta tabla que la configuración más frecuente de rejillas es la configuración *I*, presente en 7 sumideros, seguida de las configuraciones *A*, *B* y *J* presentes en 2 sumideros cada una.

Tabla 2. Rejilla Tipo presente en cada Sumidero

Sumidero	S01	S02	S03	S04	S05	S06	S07	S08	S09	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	S18	S19
Rejilla tipo	A	A	I	I	B	E	I	H	B	I	I	C	I	I	J	D	F	G	J

(Fuente: Elaboración propia)

6.2 Perfiles Longitudinales y Transversales

Como resultado del levantamiento topográfico se obtiene los perfiles transversales y longitudinales, cuyo mayor aporte es mostrar las pendientes de la cuneta y la geometría de la sección para el cálculo de caudales afluentes a los sumideros.

La Figura 6 grafica el perfil longitudinal del sumidero S01 y el perfil transversal del punto de control P02 ubicado en el borde aguas arriba de la rejilla del sumidero.

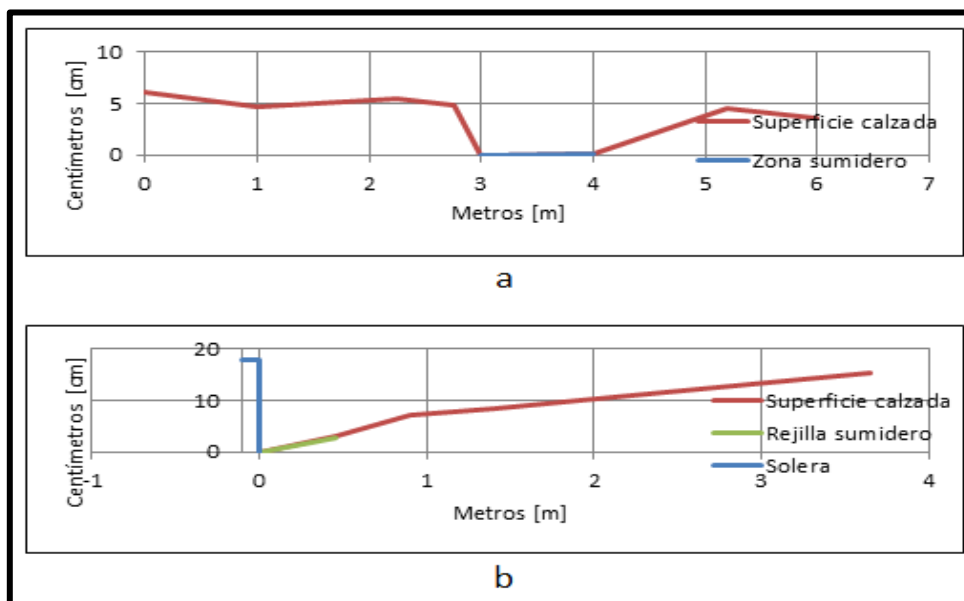


Figura 6. (a) Perfil Longitudinal Sumidero S01. (b) Perfil Transversal Punto P02 en S01.

(Fuente: Elaboración propia)

Los perfiles correspondientes a los demás sumideros y puntos de control se ilustran en el Anexo D de este informe.

6.3 Ancho Superficial, Profundidad y Velocidad De Esgurrimiento

Los valores de ancho superficial, profundidad y velocidad media de escurrimiento son utilizados por la Guía de Diseño y Especificaciones de Elementos Urbanos de Infraestructura de Aguas Lluvias, del Ministerio de Vivienda y Urbanismo, como parámetros para evaluar la seguridad y serviciabilidad del sistema (Anexo A), y para determinar el tipo de funcionamiento del sumidero (Capítulo 2.6.2).

Fueron 5 las tormentas durante las que se midieron las variables de operación. La Tabla 3 muestra las mediciones de ancho superficial, cálculo de profundidad y velocidad media de escurrimiento en los puntos de control asociados al sumidero S01 para las tormentas 1 y 2.

Tabla 3. Mediciones de variables de operación en Sumidero S01

Fecha Tormenta	Punto de Control	Ancho superficial [cm]	Profundidad [cm]	Velocidad media [m/s]	Observaciones
14/05/2014	P01	45	1,1	0,09	Rejilla obstruida con vegetación. Sumidero presenta dificultad para drenar escurrimiento.
	P02	15	1,0	-	
	P03	5	0,4	-	
	P04	7	0,6	0,06	
20/05/2014	P01	240	6,8	-	Sumidero colapsado.
	P02	250	11,9	-	
	P03	250	12,1	-	
	P04	>300	12	-	

(Fuente: Elaboración propia)

Las mediciones de ancho superficial, profundidad, velocidad de escurrimiento y caudal en los demás puntos de control para el resto de las tormentas se muestran en el Anexo E de este informe.

Los valores de velocidad media y caudal se calculan sobre los puntos de control ubicados a 2 metros de la entrada y la salida del sumidero, debido a la falta de prismicidad de la sección transversal en los puntos de la entrada y la salida.

6.4 Capacidad Máxima

El cálculo de la capacidad máxima de los sumideros se efectúa según lo expuesto en 2.6.2 mediante el uso de las ecuaciones 11 y 12. La Figura 7 esquematiza los caudales máximos Q_m de cada rejilla en función de la altura de escurrimiento h .

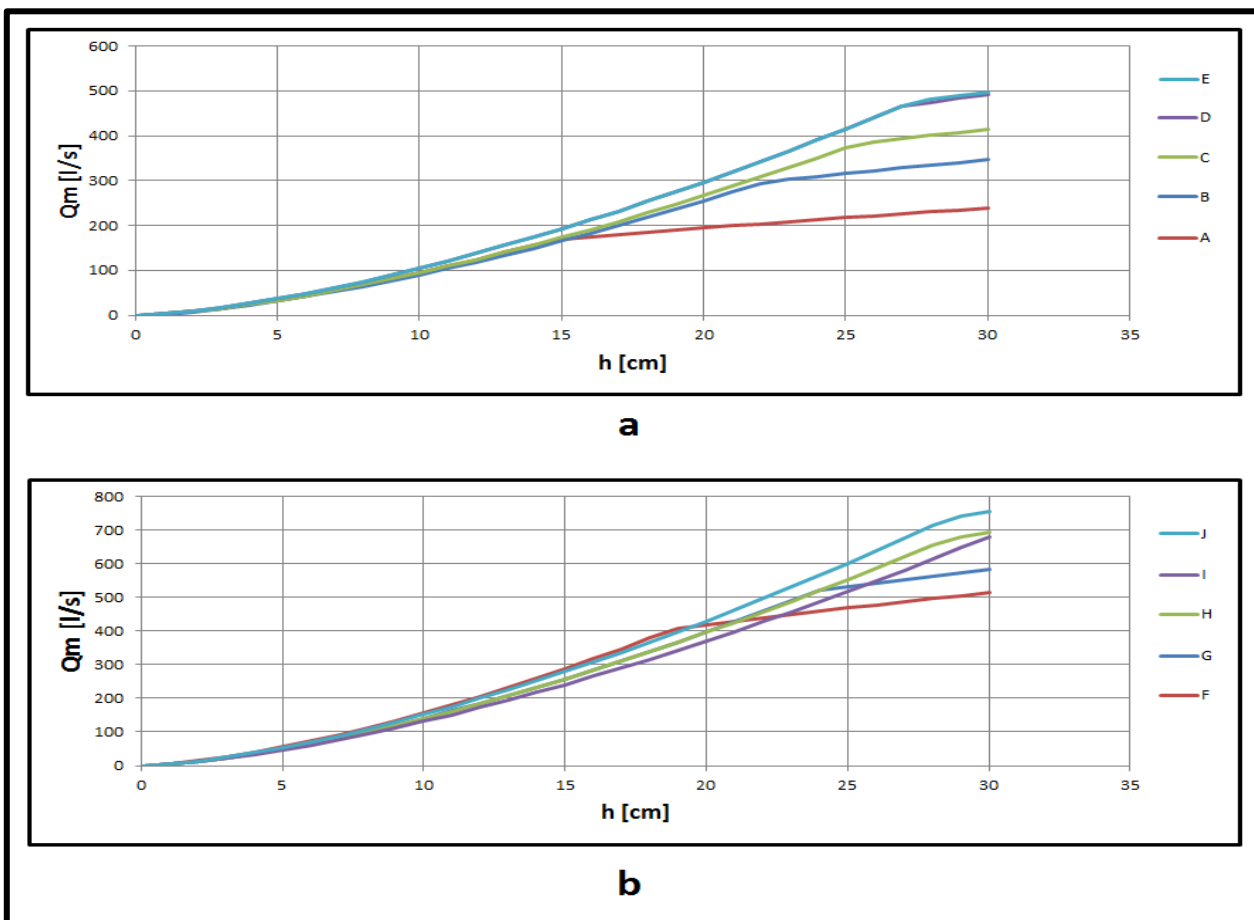


Figura 7. Capacidad Máxima de Sumideros. (a) Con Rejillas Tipo A, B, C, D, E. (b) Con Rejillas Tipo F, G, H, I.
(Fuente: Elaboración propia).

El punto inflexión en cada gráfica corresponde a la altura de escurrimiento que determina el funcionamiento del sumidero, ya sea como vertedero (hacia la izquierda) o como orificio (hacia la derecha), según las ecuaciones 11 y 12 respectivamente.

7 DESEMPEÑO HIDRÁULICO

La evaluación del desempeño hidráulico de los sumideros consiste en tres etapas: la definición de criterios de desempeño hidráulico, aplicables a todos los sumideros en estudio; la determinación de una metodología de evaluación sistemática basada en dichos criterios; y, finalmente, la aplicación de dicha evaluación sistemática sobre los sumideros estudiados.

7.1 Criterios de Desempeño

Los criterios de desempeño son una selección de los parámetros considerados como básicos, que sirven para valorar el funcionamiento y desempeño hidráulico de los sumideros estudiados.

7.1.1 Verificación de Colapso

Si el sumidero en estudio demostró una situación de colapso en una o más ocasiones, significa que presentará este problema para cualquier tormenta igual o superior. Esto quiere decir que el primer criterio a evaluar es verificar si el sumidero estuvo en situación de colapso.

7.1.2 Ancho Superficial Registrado

Como todas las tormentas durante las que se realizaron las mediciones eran menores que la tormenta de diseño para la ciudad de Concepción, si el ancho superficial medido es mayor a un metro implica que también lo será para una tormenta de diseño. Entonces, para este criterio, se considera el mayor ancho superficial registrado en cada punto de control del sumidero y se verifica si es superior a un metro o no.

7.1.3 Ancho Superficial Proyectado para una Tormenta de Diseño

El ancho superficial proyectado se calcula en base al mayor ancho superficial registrado en el sumidero -siempre y cuando sea inferior a un metro-, su caudal asociado, y la intensidad de la tormenta que actuó en ese momento. Conocido el caudal generado sobre la calzada por una tormenta de intensidad cualquiera, se estima el ancho superficial para una tormenta de diseño extrapolando el caudal de la tormenta registrada al caudal generado por una de dos años.

Se considera entonces, para este criterio, el ancho superficial estimado para el caudal generado por una tormenta de diseño y se verifica si es superior a un metro o no

7.2 Metodología de Evaluación

Con los criterios de desempeño definidos, se aplica un sistema de evaluación parcial sobre ellos, dando como resultado la evaluación final de cada sumidero.

El orden secuencial de los criterios implica, por definición, que si un criterio no se cumple, tampoco se cumplen los siguientes, dándose por finalizada la evaluación en ese criterio.

La Figura 8 esquematiza la metodología de evaluación aplicada.

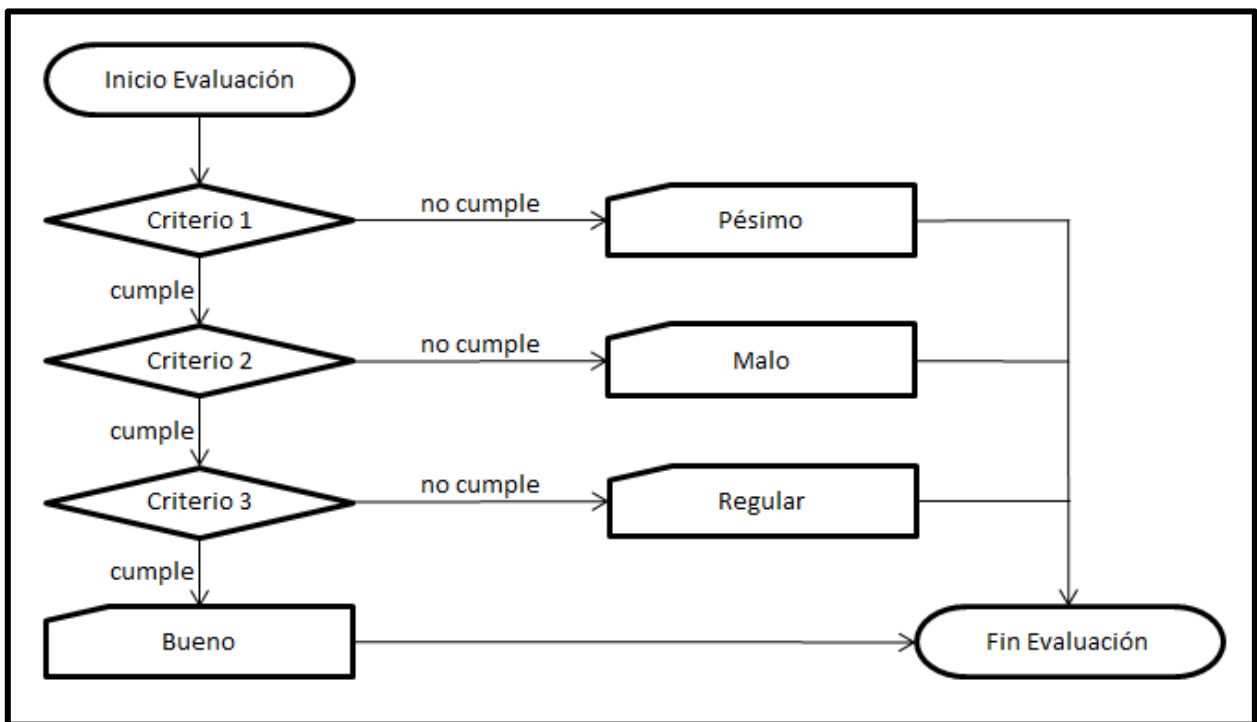


Figura 8. Metodología de Evaluación de Desempeño Hidráulico

(Fuente: Elaboración propia)

7.3 Evaluación de Desempeño Hidráulico

De acuerdo al sistema de evaluación del desempeño hidráulico de los sumideros, se confecciona la Tabla 4, que muestra la evaluación obtenida por cada sumidero.

Tabla 4. Evaluación del Desempeño Hidráulico de Sumideros Estudiados

Sumidero	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Desempeño
S01	<i>No Cumple</i>	<i>No Cumple</i>	<i>No Cumple</i>	Pésimo
S02	<i>No Cumple</i>	<i>No Cumple</i>	<i>No Cumple</i>	Pésimo
S03	<i>No Cumple</i>	<i>No Cumple</i>	<i>No Cumple</i>	Pésimo
S04	<i>No Cumple</i>	<i>No Cumple</i>	<i>No Cumple</i>	Pésimo
S05	<i>Cumple</i>	<i>No Cumple</i>	<i>No Cumple</i>	Malo
S06	<i>No Cumple</i>	<i>No Cumple</i>	<i>No Cumple</i>	Pésimo
S07	<i>No Cumple</i>	<i>No Cumple</i>	<i>No Cumple</i>	Pésimo
S08	<i>Cumple</i>	<i>Cumple</i>	<i>Cumple</i>	Bueno
S09	<i>No Cumple</i>	<i>No Cumple</i>	<i>No Cumple</i>	Pésimo
S10	<i>Cumple</i>	<i>Cumple</i>	<i>Cumple</i>	Bueno
S11	<i>Cumple</i>	<i>Cumple</i>	<i>Cumple</i>	Bueno
S12	<i>Cumple</i>	<i>Cumple</i>	<i>No Cumple</i>	Regular
S13	<i>Cumple</i>	<i>Cumple</i>	<i>Cumple</i>	Bueno
S14	<i>Cumple</i>	<i>Cumple</i>	<i>Cumple</i>	Bueno
S15	<i>Cumple</i>	<i>No Cumple</i>	<i>No Cumple</i>	Malo
S16	<i>Cumple</i>	<i>Cumple</i>	<i>No Cumple</i>	Regular
S17	<i>Cumple</i>	<i>Cumple</i>	<i>Cumple</i>	Bueno
S18	<i>Cumple</i>	<i>Cumple</i>	<i>No Cumple</i>	Regular
S19	<i>Cumple</i>	<i>Cumple</i>	<i>No Cumple</i>	Regular

(Fuente: Elaboración propia)

Se aprecia en esta tabla la evaluación parcial y final de cada sumidero. En donde se observa que 7 de ellos no cumplen el primer criterio y, por lo tanto, ningún criterio; 2 sumideros cumplen sólo el primer criterio; 4 no cumplen sólo el tercero y 6 cumplen con todos los criterios de desempeño hidráulico establecidos.

8 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se realiza en este capítulo un análisis comparativo entre la evaluación obtenida por los sumideros y sus parámetros y propiedades geométricas, con el fin de encontrar o establecer una relación entre éstos.

La Tabla 5 muestra la configuración de rejilla presente en cada sumidero y su desempeño hidráulico obtenido.

Tabla 5. Variables de Operación Proyectadas y Desempeño Hidráulico de Sumideros

Sumidero	Rejilla Tipo	Ancho superficial proyectado [m]	Profundidad proyectada [cm]	Caudal proyectado [l/s]	Capacidad máxima proyectada [l/s]	Desempeño Hidráulico
S01	A	-	-	-	-	Pésimo
S02	A	-	-	-	-	Pésimo
S03	I	-	-	-	-	Pésimo
S04	I	-	-	-	-	Pésimo
S05	B	1,98	7,6	26,11	59,92	Malo
S06	E	-	-	-	-	Pésimo
S07	I	-	-	-	-	Pésimo
S08	H	0,66	2,4	2,08	16,73	Bueno
S09	B	-	-	-	-	Pésimo
S10	I	0,98	4,6	5,19	41,12	Bueno
S11	I	0,79	5,1	5,76	47,86	Bueno
S12	C	1,30	6,6	10,28	50,77	Regular
S13	I	0,54	3,3	1,69	25,05	Bueno
S14	I	0,60	2,7	1,61	18,62	Bueno
S15	J	2,10	6,2	23,88	74,43	Malo
S16	D	1,05	4,5	7,21	31,84	Regular
S17	F	0,00	0,0	0,00	0	Bueno
S18	G	1,25	4,5	6,74	42,66	Regular
S19	J	1,08	1,0	0,84	4,81	Regular

(Fuente: Elaboración propia)

Se puede observar en la tabla que no hay relación directa entre la configuración de rejilla y el desempeño hidráulico obtenido por los sumideros. Esto quiere decir que la geometría de la rejilla no influye en el desempeño hidráulico de los sumideros estudiados, y, por consiguiente, tampoco influye su capacidad máxima, ya que ésta depende directamente de la configuración de rejilla, el área de aberturas y la profundidad de escurrimiento, inclusive cuando los sumideros cuentan con capacidad hidráulica para captar el caudal de la cuneta, como se aprecia en la Tabla 5.

Por otra parte, como era de esperar de acuerdo a la Figura 3, son los sumideros ubicados en el costado sur de la calle los que reciben más caudal. Los sumideros ubicados en el costado norte

reciben principalmente las aguas lluvias caídas sobre los pasajes entre General Novoa y Avenida Collao. Esto explica el buen desempeño hidráulico de los sumideros ubicados en el costado norte de la calle.

La Tabla 6 muestra en qué costado de la calle se ubica cada sumidero y el desempeño evaluado.

Tabla 6. Ubicación de Sumideros y su Desempeño Hidráulico

Sumidero	Ubicación	Desempeño
S01	Sur	Pésimo
S02	Sur	Pésimo
S03	Sur	Pésimo
S04	Norte	Pésimo
S05	Sur	Malo
S06	Sur	Pésimo
S07	Sur	Pésimo
S08	Norte	Bueno
S09	Norte	Pésimo
S10	Norte	Bueno
S11	Sur	Bueno
S12	Sur	Regular
S13	Norte	Bueno
S14	Norte	Bueno
S15	Sur	Malo
S16	Sur	Regular
S17	Sur	Bueno
S18	Norte	Regular
S19	Norte	Regular

(Fuente: Elaboración propia)

Debe aclararse que no es la ubicación en sí del sumidero la que tiene incidencia en su desempeño hidráulico, sino la cantidad de caudal recibida, la que en este caso depende de su ubicación.

9 CONCLUSIONES

Muchos de los sumideros se encontraban en situación de colapso al momento de tomar registro del ancho superficial con que operaban. Los sumideros ubicados en las intersecciones de General Novoa con calles Las Violetas y Bernardino Corral estaban colapsados en todos los eventos, debido a una obstrucción dentro del colector en que descargaban las aguas superficiales captadas.

Otros, en tanto, colapsaron en determinadas tormentas más intensas que lo habitual, pero aún menores que la tormenta de diseño para la ciudad de Concepción. Esta situación se registró en tres de los seis sumideros ubicados en la intersección con calle Juan Antonio Varas. Los demás sumideros ubicados en esta intersección mostraron un funcionamiento estable en todas las tormentas.

Un caso especial fue el que presentó un sumidero ubicado en la intersección con calle Villarrica, que tenía un grosero destrozo en su borde de hormigón junto a la solera. Esto formaba una especie de sumidero lateral, que captaba casi la totalidad del flujo superficial afluyente al sumidero, ya que su rejilla estaba completamente obstruida con hojas y envoltorios plásticos. Si bien, su desempeño hidráulico mejoró bastante gracias a este desperfecto, hay que hacer notar el peligro que representa para la libre circulación, tanto vehicular como peatonal.

En cuanto al funcionamiento de los demás sumideros, en las intersecciones con calles Villarrica y Puchacay, puede decirse que fue constante y regular durante los eventos registrados, sin más detalles específicos que mencionar.

Para estandarizar el proceso de evaluación de desempeño hidráulico de los sumideros, se definieron Criterios de Desempeño Hidráulico, que buscan determinar el nivel de operación de un sumidero ante una tormenta de diseño para la ciudad de Concepción. Los criterios definidos se mencionan a continuación:

- Criterio 1: Verificación de colapso durante los eventos registrados.
- Criterio 2: Verificación de ancho superficial inferior a un metro, durante los eventos registrados.
- Criterio 3: Verificación de ancho superficial inferior a un metro, proyectado para una tormenta de diseño.

De los 19 sumideros estudiados, sólo 6 cumplieron con todos los criterios, obteniendo un buen desempeño hidráulico ante tormentas de diseño. De los restantes, 4 fueron evaluados con desempeño regular, pudiendo cumplir con los dos primeros criterios, y 2 con un mal desempeño, cumpliendo sólo con el primer criterio. En tanto, fueron 7 los sumideros que no cumplieron con ningún criterio, siendo evaluados con pésimo desempeño ante una tormenta de diseño de dos años de periodo de retorno.

Cabe destacar que 5 de los 7 sumideros que obtuvieron pésimo desempeño están ubicados en el costado sur de la calle, que es la zona en la que llega más escorrentía, mientras que 4 de los 6 sumideros que obtuvieron un buen desempeño se ubican en el costado norte de la calle. Esto quiere decir que el desempeño hidráulico de un sumidero está fuertemente relacionado con el caudal que éste debe recibir, pues debe tomarse en cuenta que un sumidero no siempre es capaz de drenar el escurrimiento que recibe, aun cuando cuenta con capacidad para ello.

En conclusión, la evaluación del desempeño hidráulico se basa en el ancho superficial registrado en los sumideros, es decir, la capacidad que tienen los sumideros para drenar la escorrentía superficial al punto de asegurar la seguridad y serviciabilidad del sistema. Por consiguiente, cuanto menor sea la escorrentía en las calles gracias al drenaje de los sumideros, menor será el ancho superficial del flujo sobre la calzada y mejor será el desempeño hidráulico de los sumideros.

Bajo estas condiciones, el desempeño hidráulico de cada sumidero no está determinado tan solo por sus propiedades geométricas, sino que además por las propiedades geométricas de la calzada. Si la cuneta no es lo suficientemente profunda, el ancho superficial en ella se incrementará cuantiosamente al más mínimo aumento de caudal en ella. Por otra parte, el desempeño hidráulico de un sumidero, está fuertemente influenciado por el caudal que recibe, independiente de su capacidad máxima. Esto quiere decir, que el mal desempeño hidráulico de un sumidero puede ser el reflejo de la falta o ausencia de sumideros ubicados aguas arriba que disminuyan la escorrentía superficial antes de llegar al sumidero aguas abajo.

10 BIBLIORAFÍA

- Chow, V. T., (1994) *Hidráulica de Canales Abiertos*. Edición de Martha Suárez R., editorial McGraw-Hill Interamericana S.A. Santafé de Bogotá, Colombia.
- González, M., (2011) *Evaluación del Sistema de Aguas Lluvias de la Universidad del Bío-Bío, Campus Concepción*. Proyecto de Título (Ingeniero Civil). Concepción, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío-Bío.
- Ministerio de Obras Públicas, (1997) *Ley 19.525 - Sistema de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias*. Santiago, Chile.
- Ministerio de Obras Públicas, (2001) *Plan Maestro de Aguas Lluvias Concepción*. Concepción, Chile.
- Ministerio de Obras Públicas, (2014) *Detalle de Solicitud N° 15114 – Tipo de Clima en la ciudad de Concepción*, correo electrónico enviado a P. Unda (punda@alumnos.ubiobio.cl), 9 de octubre de 2014 [acceso el día 13 de octubre de 2014].
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo, (1996) *Técnicas Alternativas para Solución de Aguas Lluvias en Sectores Urbanos. Guía de Diseño*. Santiago, Chile.
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo, (2005) *Guía de Diseño y Especificaciones de Elementos Urbanos de Infraestructura de Aguas Lluvias*. Santiago, Chile.

ANEXOS

ANEXO A CRITERIOS DE DISEÑO

Se presenta en este anexo los criterios de diseño propuestos por la Guía de Diseño de Elementos Urbanos de Infraestructura de Aguas Lluvias del MINVU, además del destino que debe darse a las aguas lluvias captadas y el escurrimiento máximo de éstas sobre las vías públicas, dependiendo del tipo de vía y del periodo de retorno de la tormenta.

A.1 Criterios Generales de Diseño

El proyectista debe considerar algunos criterios básicos que orientan las soluciones de drenaje de aguas lluvias de la zona a urbanizar. Los proyectos deben satisfacer al menos los siguientes:

- a) Respetar el sistema general de drenaje y la capacidad de los colectores propuestos en el Plan Maestro de Aguas Lluvias.
- b) Evitar la inundación de calles y bienes para periodos de retorno preestablecidos en las condiciones de diseño.
- c) Evitar que para que condiciones de lluvias importantes se genere riesgo para las personas o se produzcan daños a terceros, a la propiedad pública o privada, o pérdidas de bienes.
- d) Si se trata de una urbanización nueva de terrenos que no están urbanizados, la urbanización no debe generar mayores caudales máximos que los que producían antes de urbanizar para lluvias de diseño.
- e) El criterio anterior también puede aplicarse a proyectos de remodelación de zonas urbanas extensas, o grandes proyectos industriales, comerciales o institucionales en zonas ya urbanizadas.
- f) Respetar el sistema de drenaje natural de la zona, el trazado de las quebradas y cauces naturales que existan, en lo posible incorporarlo a las áreas para ser utilizado como drenaje del lugar, minimizando los impactos de la urbanización sobre el sistema natural de la cuenca aguas abajo.
- g) Abordar la solución de los problemas de calidad de las aguas lluvias generadas en la urbanización mediante la captación y tratamiento en el lugar de una proporción importante del volumen de esorrentía anual.

A.2 Destino de las Aguas

En el proyecto de un sistema de recolección de aguas lluvias urbanas, debe quedar claramente establecido el destino final de las aguas recolectadas por la red. Se consideran aceptables las siguientes opciones:

- a) Para una red de colectores secundarios debe ser la red de colectores primarios definida en el Plan Maestro de Aguas Lluvias de la zona, o bien un colector secundario diseñado específicamente para recibir dicho aporte.
- b) No deberá emplearse canales de riego como receptores de aguas lluvias de la red secundaria, a menos que expresamente estén considerados de esta forma en el Plan Maestro de Aguas Lluvias.
- c) Para descargas en sectores en los cuales no se haya habilitado un colector primario o secundario destinado a recibir aportes, se procederá a desarrollar el proyecto considerando los antecedentes técnicos de la conexión futura e implementando un sistema alternativo adecuado de filtración.

A.3 Escurrimiento en Vías Públicas

Tabla A1. Condiciones máximas de inundación para tormentas menores

Tipo de vía vehicular	Condiciones máximas de inundación permitida para tormentas menores
Todos los tipos	- No sobrepasar el nivel de la solera - El ancho de la cuneta inundada no debe sobrepasar de 1.0 [m]

(Fuente: MINVU, 2005)

Tabla A2. Condiciones máximas de inundación para tormentas mayores

Tipo de vía vehicular	Condiciones máximas de inundación permitida para tormentas mayores
Todos los tipos	<ul style="list-style-type: none"> - La inundación no debe alcanzar la línea de edificación ni en el nivel ni en la extensión. - La velocidad media del flujo no debe sobrepasar los 2 [m/s]. - La profundidad máxima del agua en cualquier punto de la sección transversal de la calle no debe exceder de 0.3 [m] si la velocidad media es inferior a 1 [m/s] ni de 0.2 [m] si es mayor a 1 [m/s].
Pasajes	La profundidad máxima no debe exceder de 0.2 [m] y la velocidad media debe ser inferior a 1 [m/s].
Locales y de Servicio	El nivel del agua no debe sobrepasar la solera.
Colectores y Troncales	Debe quedar una pista libre de agua.

(Fuente: MINVU, 2005)

ANEXO B CATASTRO DE SUMIDEROS

Tabla B1. Catastro inicial de sumideros

Ubicación	Tipo sumidero	Dimensiones rejilla			N° espacios	Espacios		Área espacios	Forma barra
		largo	ancho	alto		largo	ancho		
	Lat-Hor-Mix	L [m]	b [m]	a [m]	n	le [m]	be [m]	A [m ²]	cuad-circ
Frente a Museo (*)	Mixto	1	0.45	0.11	18	0.26	0.32	1.4976	cuadrada
Entrada CASM (*)	Horizontal	1	0.5	0	45	0.19	0.04	0.342	circular
Entrada CASM (*)	Horizontal	1	0.5	0	45	0.19	0.04	0.342	circular
Las Violetas	Horizontal	0.98	0.41	0	21	0.26	0.03	0.1638	cuadrada
Las Violetas	Horizontal	0.98	0.41	0	21	0.26	0.03	0.1638	cuadrada
Bernardino Corral	Horizontal	1.5	0.5	0	115	0.05	0.09	0.5175	circular
Bernardino Corral	Horizontal	1.5	0.5	0	115	0.05	0.09	0.5175	circular
Antonio Varas	Horizontal	0.9	0.41	0	20	0.07	0.17	0.238	circular
Antonio Varas	Horizontal	1	0.5	0	45	0.19	0.04	0.342	circular
Antonio Varas	Horizontal	1.54	0.54	0	115	0.05	0.09	0.5175	circular
Antonio Varas	Horizontal	1.85	0.41	0	40	0.07	0.17	0.476	circular
Antonio Varas	Horizontal	0.9	0.41	0	20	0.07	0.17	0.238	circular
Antonio Varas	Horizontal	1.54	0.54	0	115	0.05	0.09	0.5175	circular
Villarrica	Horizontal	1.5	0.5	0	115	0.05	0.09	0.5175	circular
Villarrica	Horizontal	0.98	0.41	0	20	0.19	0.075	0.285	circular
Villarrica	Horizontal	1.5	0.52	0	115	0.05	0.09	0.5175	circular
Villarrica	Horizontal	1.5	0.5	0	115	0.05	0.09	0.5175	circular
Puchacay (**)	Horizontal	0.98	0.41	0	18	0.28	0.035	0.1764	cuadrada
		1	0.5	0	45	0.19	0.04	0.342	circular
Puchacay	Horizontal	1	0.5	0	75	0.05	0.09	0.3375	circular
Puchacay	Horizontal	2.15	0.42	0	36	0.28	0.035	0.3528	cuadrada
Puchacay (**)	Horizontal	0.9	0.41	0	20	0.16	0.07	0.224	circular
		0.98	0.41	0	18	0.28	0.035	0.1764	cuadrada
Puchacay (**)	Horizontal	1	0.5	0	45	0.19	0.04	0.342	circular
		0.98	0.41	0	18	0.28	0.035	0.1764	cuadrada
Caleuche (*)	Mixto	0.97	0.42	0.1	18	0.28	0.04	0.2016	cuadrada
Caleuche (*)	Horizontal	2.1	0.42	0	36	0.28	0.04	0.4032	cuadrada
Caleuche (*)	Horizontal	3	0.45	0	3	2.2	0.1	0.66	cuadrada
					15	0.15	0.06	0.135	cuadrada
Los Lirios (*)	Horizontal	0.67	0.4	0	12	0.29	0.035	0.1218	cuadrada
Los Lirios (*)	Horizontal	1	0.4	0	18	0.28	0.035	0.1764	cuadrada
PERSECAP (*)	Horizontal	2.1	0.4	0	18	0.28	0.05	0.252	circular
					18	0.28	0.035	0.1764	circular
PERSECAP (*)	Horizontal	2.1	0.42	0	36	0.28	0.04	0.4032	cuadrada

(*) Sumidero excluido del estudio; (**) Sumidero con dos rejillas en serie. (Fuente: Elaboración propia)

Tabla B2. Numeración asignada y puntos de control asociados a sumideros en estudio

N°	Lado	Intersección	Puntos de control
S01	Sur	Las Violetas	P01-P04
S02	Sur	Las Violetas	P05-P08
S03	Sur	B. Corral	P09-P12
S04	Norte	B. Corral	P13-P16
S05	Sur	Antonio Varas	P17-P20
S06	Sur	Antonio Varas	P21-P24
S07	Sur	Antonio Varas	P25-P28
S08	Norte	Antonio Varas	P29-P32
S09	Norte	Antonio Varas	P33-P36
S10	Norte	Antonio Varas	P37-P40
S11	Sur	Villarrica	P41-P44
S12	Sur	Villarrica	P45-P48
S13	Norte	Villarrica	P49-P52
S14	Norte	Villarrica	P53-P56
S15	Sur	Puchacay	P57-P60
S16	Sur	Puchacay	P61-P64
S17	Sur	Puchacay	P64-P67
S18	Norte	Puchacay	P68-P71
S19	Norte	Puchacay	P72-P75

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO C PRECIPITACIONES CAÍDAS DURANTE EL ESTUDIO

C.1 Data y Horario de Mediciones

Se realizaron cinco mediciones, cada una de ellas durante tormentas de distinta intensidad. Las fechas y horarios en que se hicieron las mediciones se muestran en la Tabla C1.

Tabla C1. Fechas y horarios de mediciones

Medición	Fecha	Hora Inicio Medición	Hora Término Medición	Curación de Medición
Medición 1	14/05/2014	13:00	14:00	1:00
Medición 2	20/05/2014	14:10	15:35	1:25
Medición 3	28/05/2014	17:55	18:45	0:50
Medición 4	06/06/2014	12:05	13:10	1:05
Medición 5	31/07/2014	17:00	18:00	1:00

(Fuente: Elaboración propia)

C.2 Precipitaciones durante las Mediciones

Los valores de intensidad de las tormentas son facilitados por la DGA a través de la estación Estero Nonguén. Las Tablas C2 a C6 muestran las precipitaciones correspondientes a los horarios de la Tabla C1. Se muestra además la precipitación horaria caída 5 horas antes y 5 horas después de la medición.

Tabla C2. Precipitación caída durante Medición 1

Horario	Precipitación [mm]
14/05/2014 8:35	0.7
14/05/2014 9:35	0.3
14/05/2014 10:35	0.4
14/05/2014 11:35	0
14/05/2014 12:35	0
14/05/2014 13:35	1.2
14/05/2014 14:35	3.3
14/05/2014 15:35	0.8
14/05/2014 16:35	0.1
14/05/2014 17:35	0.2

(Fuente: DGA)

Tabla C3. Precipitación caída durante Medición 2

Horario	Precipitación [mm]
20/05/2014 9:35	0
20/05/2014 10:35	1.4
20/05/2014 11:35	1.8
20/05/2014 12:35	4.4
20/05/2014 13:35	2.7
20/05/2014 14:35	3.7
20/05/2014 15:35	2.2
20/05/2014 16:35	0.1
20/05/2014 17:35	2.5
20/05/2014 18:35	0

(Fuente: DGA)

Tabla C4. Precipitación caída durante Medición 3

Horario	Precipitación [mm]
28/05/2014 13:35	0
28/05/2014 14:35	0
28/05/2014 15:35	0
28/05/2014 16:35	0
28/05/2014 17:35	0
28/05/2014 18:35	6.5
28/05/2014 19:35	5.8
28/05/2014 20:35	4.9
28/05/2014 21:35	6.9
28/05/2014 22:35	2.9

(Fuente: DGA)

Tabla C5. Precipitación caída durante Medición 4

Horario	Precipitación [mm]
06/06/2014 7:35	0
06/06/2014 8:35	0.9
06/06/2014 9:35	2.4
06/06/2014 10:35	7
06/06/2014 11:35	5.4
06/06/2014 12:35	2.6
06/06/2014 13:35	0.3
06/06/2014 14:35	0.3
06/06/2014 15:35	0
06/06/2014 16:35	0.1

(Fuente: DGA)

Tabla C6. Precipitación caída durante Medición 5

Horario	Precipitación [mm]
31/07/2014 12:35	3
31/07/2014 13:35	6.8
31/07/2014 14:35	0.3
31/07/2014 15:35	0.1
31/07/2014 16:35	0
31/07/2014 17:35	0.6
31/07/2014 18:35	3.6
31/07/2014 19:35	1.7
31/07/2014 20:35	1
31/07/2014 21:35	1.3

(Fuente: DGA)

ANEXO D PERFILES LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES

D.1 Intersección Las Violetas

Sumidero S01

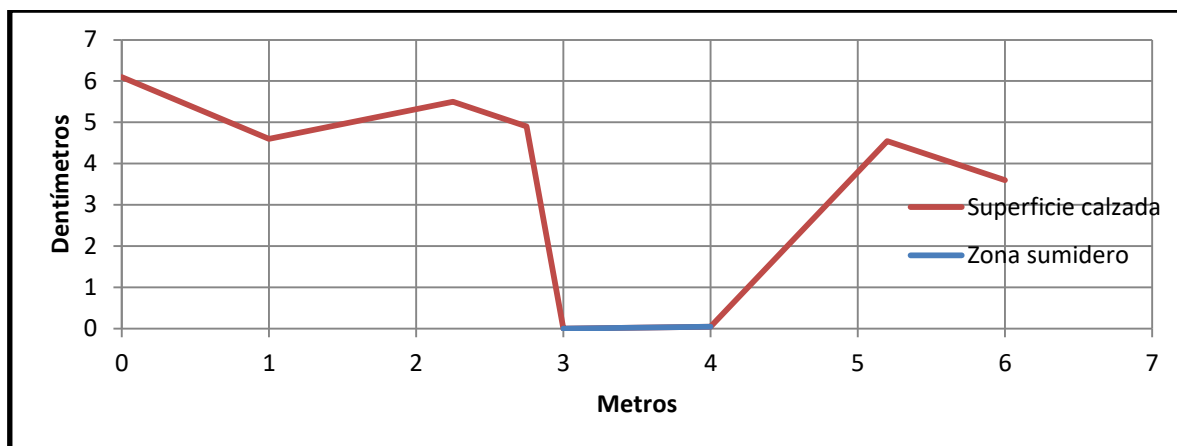


Figura D1. Perfil Longitudinal Sumidero S01
(Fuente: Elaboración propia)

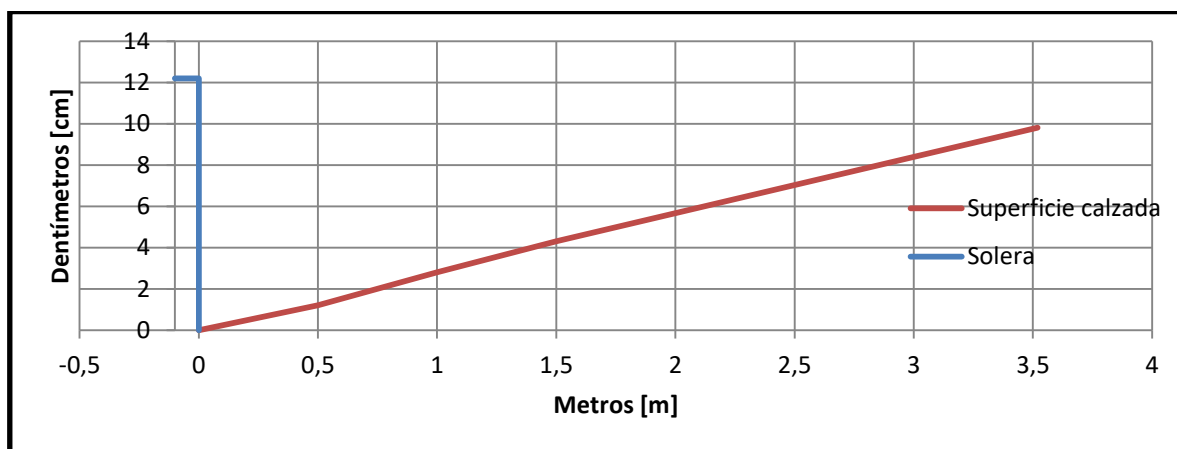


Figura D2. Sección Transversal Punto P01
(Fuente: Elaboración propia)

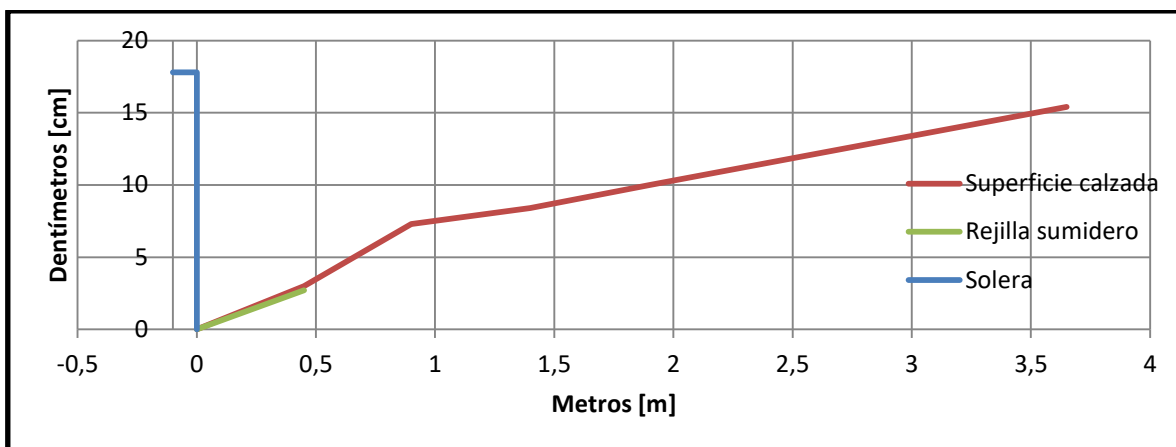


Figura D3. Sección Transversal Punto P02
(Fuente: Elaboración propia)

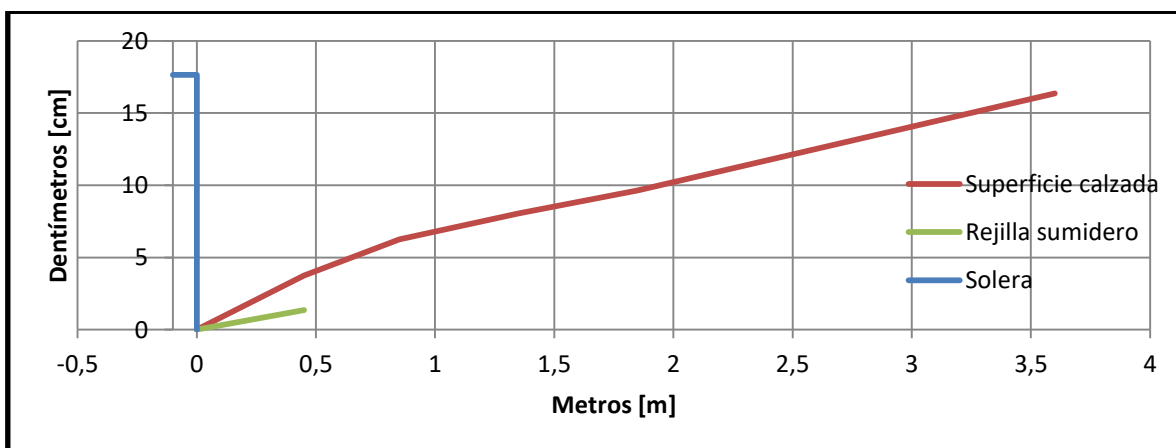


Figura D4. Sección Transversal Punto P03
(Fuente: Elaboración propia)

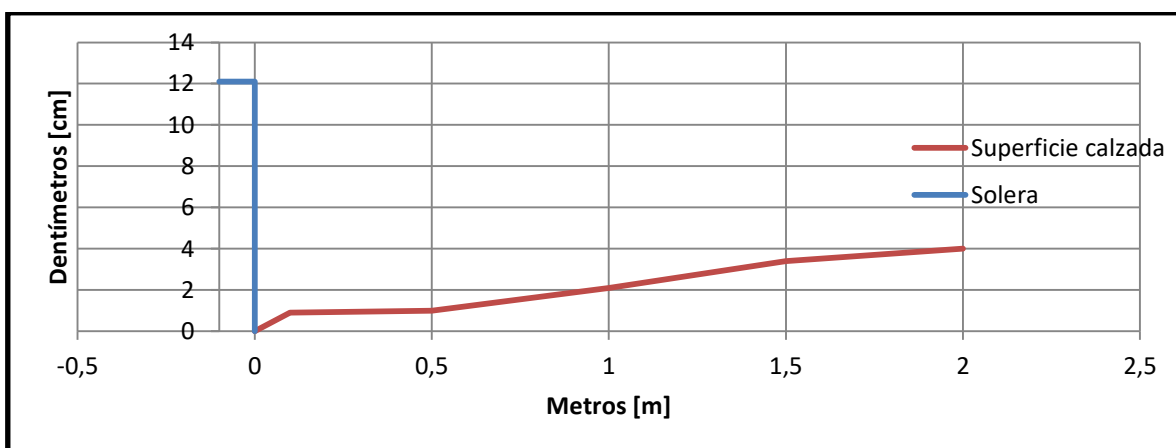


Figura D5. Sección Transversal Punto P04
(Fuente: Elaboración propia)

Sumidero S02

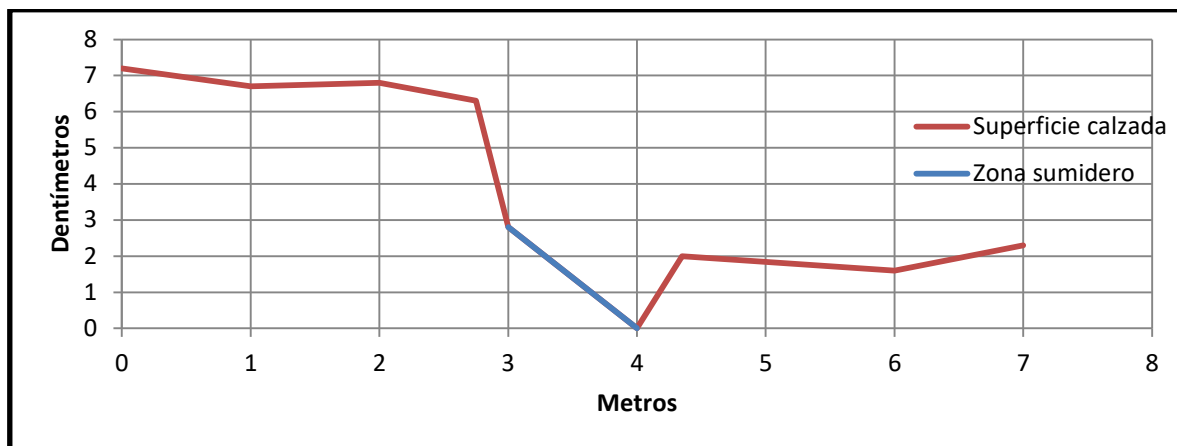


Figura D6. Perfil Longitudinal Sumidero S02
(Fuente: Elaboración propia)

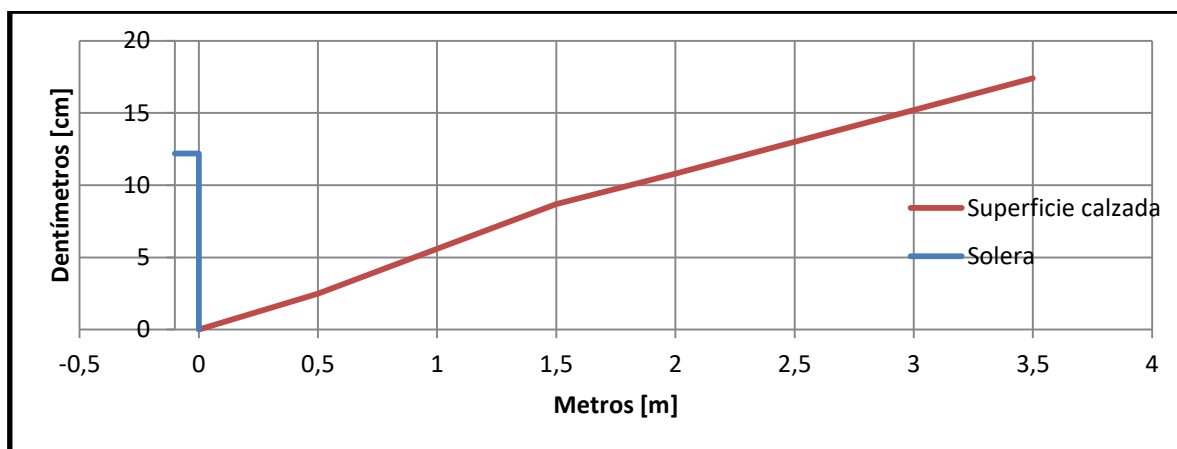


Figura D7. Sección Transversal Punto P05
(Fuente: Elaboración propia)

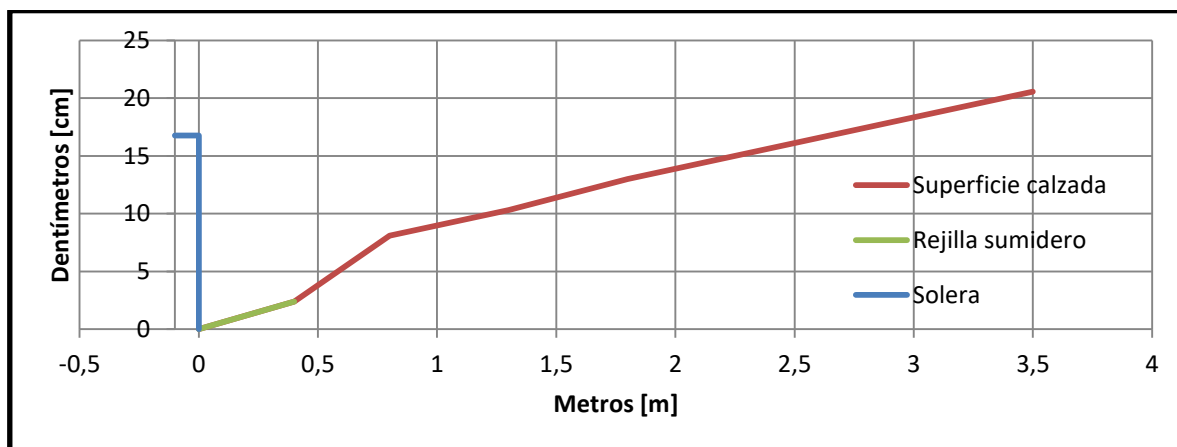


Figura D8. Sección Transversal Punto P06
(Fuente: Elaboración propia)

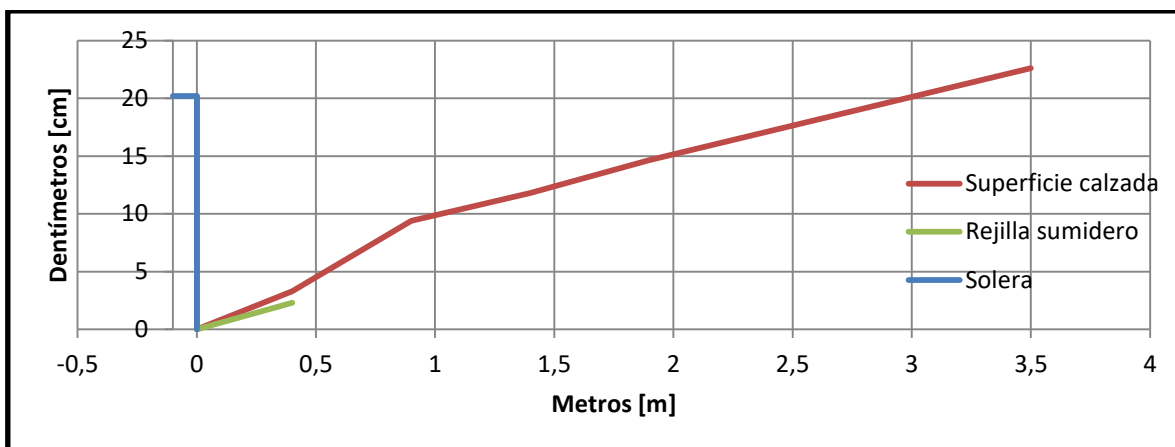


Figura D9. Sección Transversal Punto P07

(Fuente: Elaboración propia)

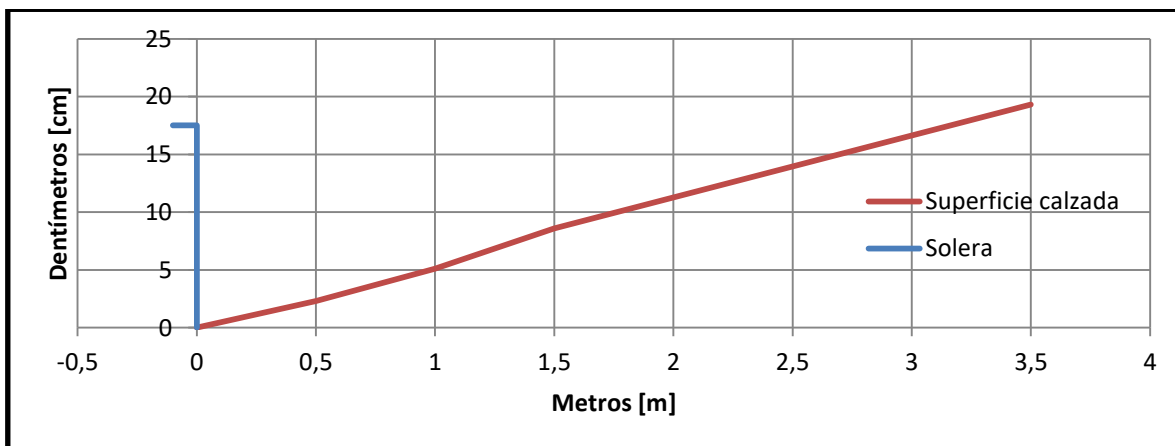


Figura D10. Sección Transversal Punto P08

(Fuente: Elaboración propia)

D.2 Intersección Bernardino Corral

Sumidero S03

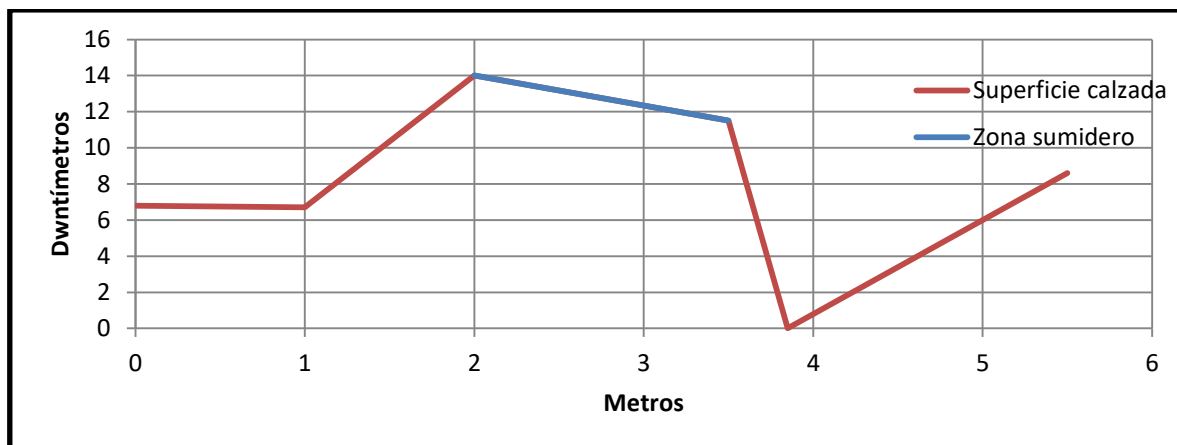


Figura D11. Perfil Longitudinal Sumidero S03

(Fuente: Elaboración propia)

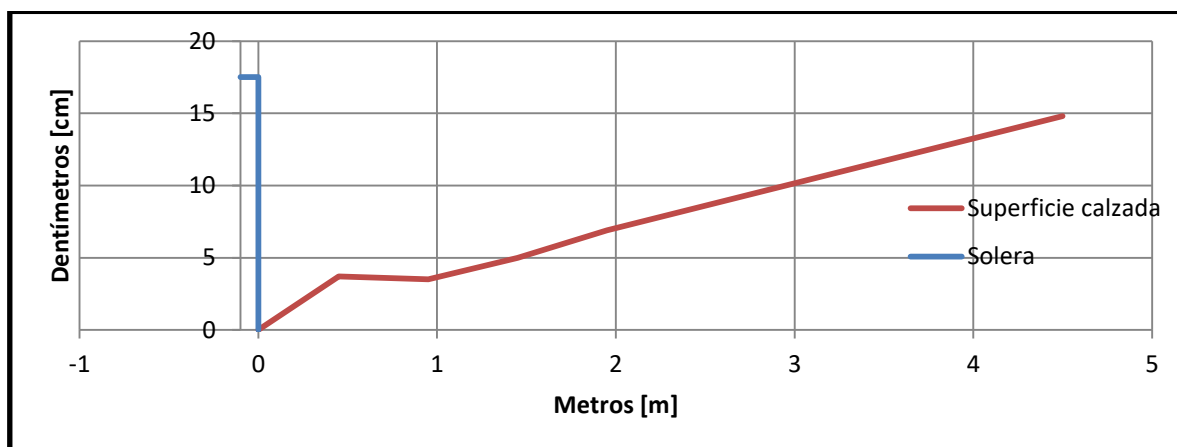


Figura D12. Sección Transversal Punto P09

(Fuente: Elaboración propia)

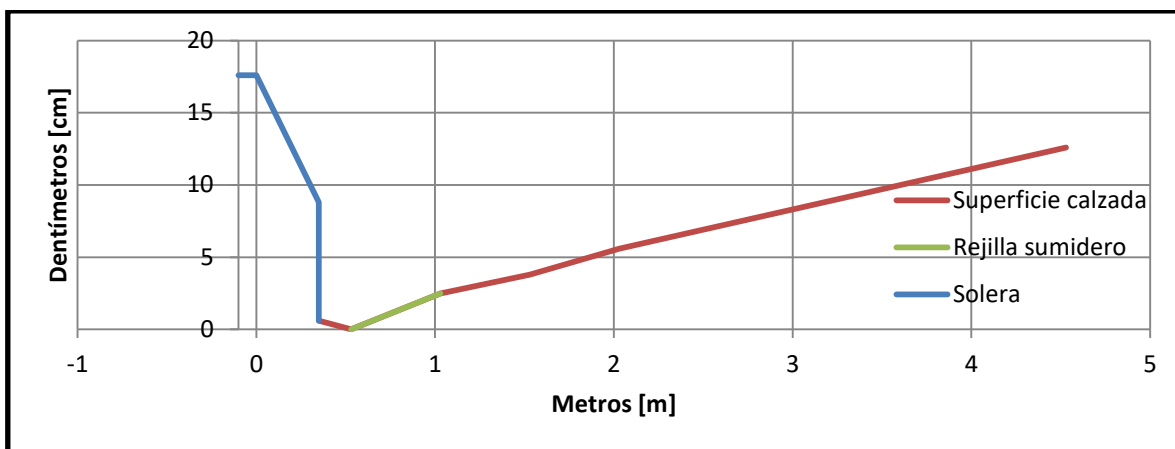


Figura D13. Sección Transversal Punto P10
(Fuente: Elaboración propia)

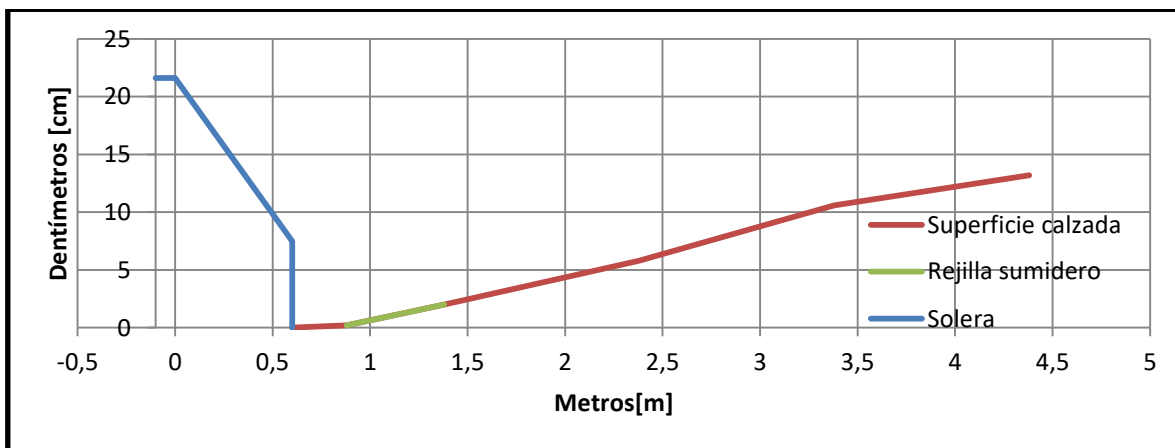


Figura D14. Sección Transversal Punto P11
(Fuente: Elaboración propia)

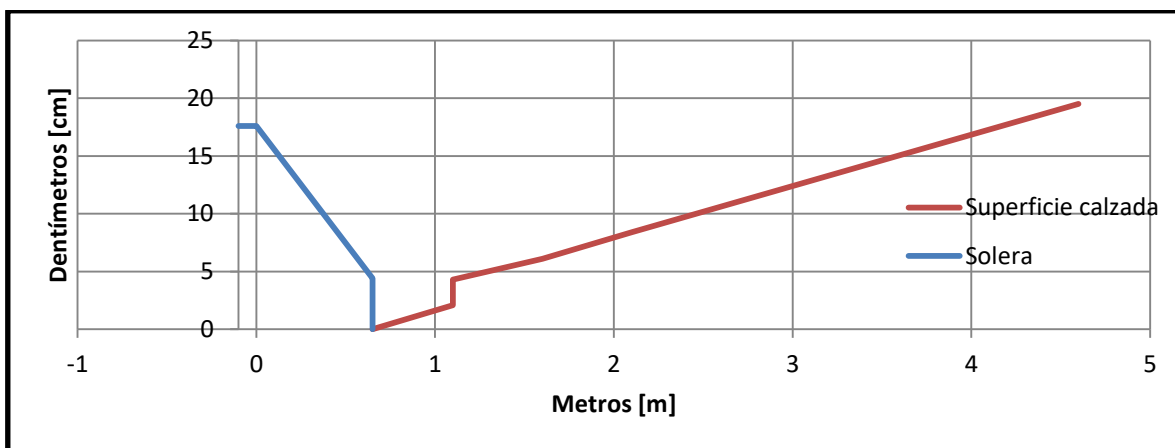


Figura D15. Sección Transversal Punto P12
(Fuente: Elaboración propia)

Sumidero S04

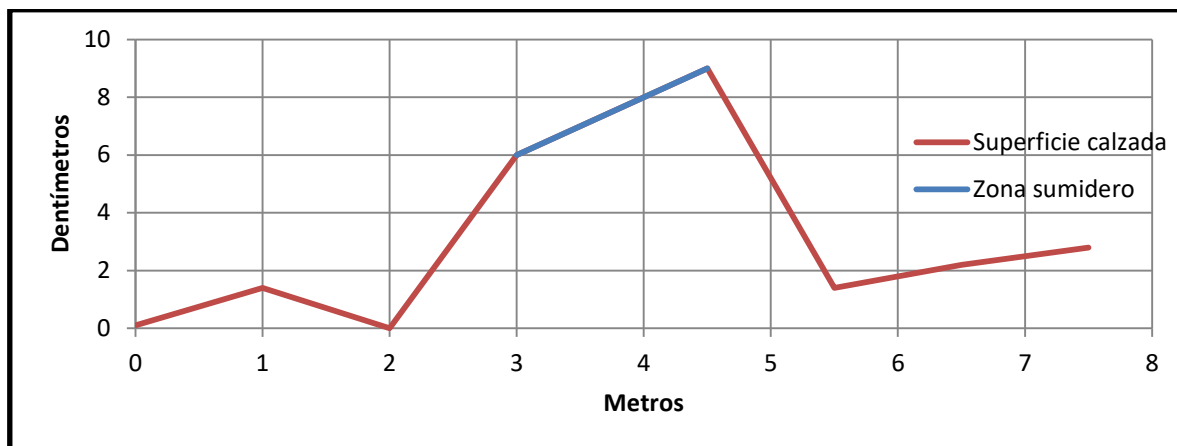


Figura D16. Perfil Longitudinal Sumidero S04
(Fuente: Elaboración propia)

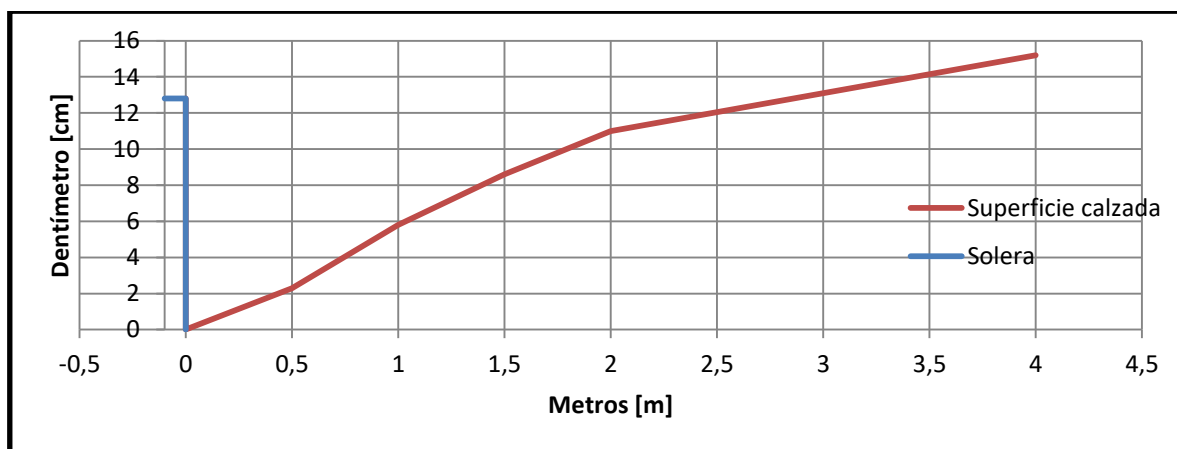


Figura D17. Sección Transversal Punto P13
(Fuente: Elaboración propia)

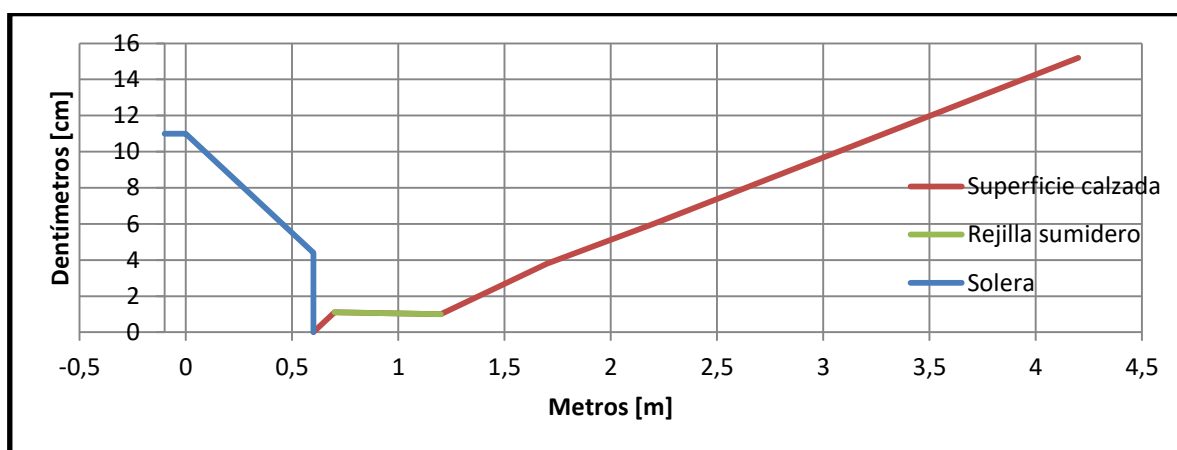


Figura D18. Sección Transversal Punto P14
(Fuente: Elaboración propia)

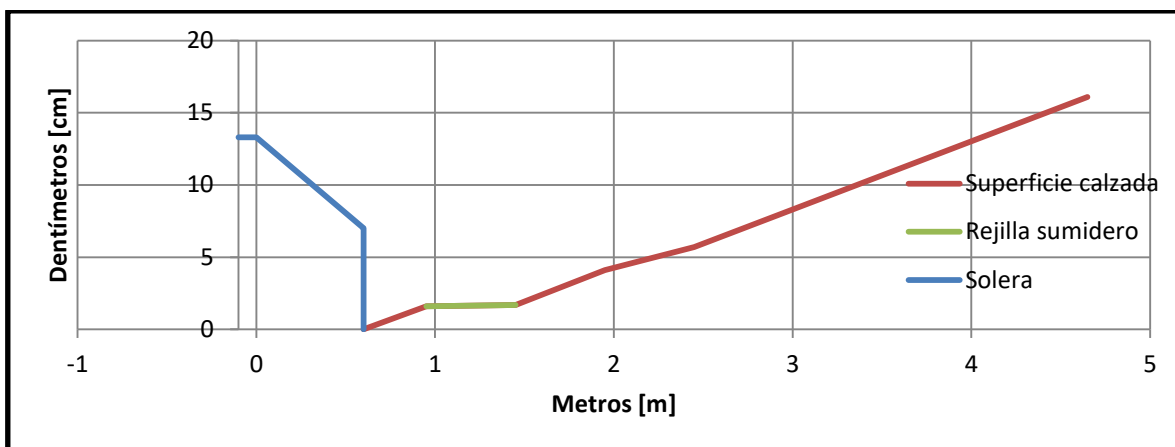


Figura D19. Sección Transversal Punto P15

(Fuente: Elaboración propia)

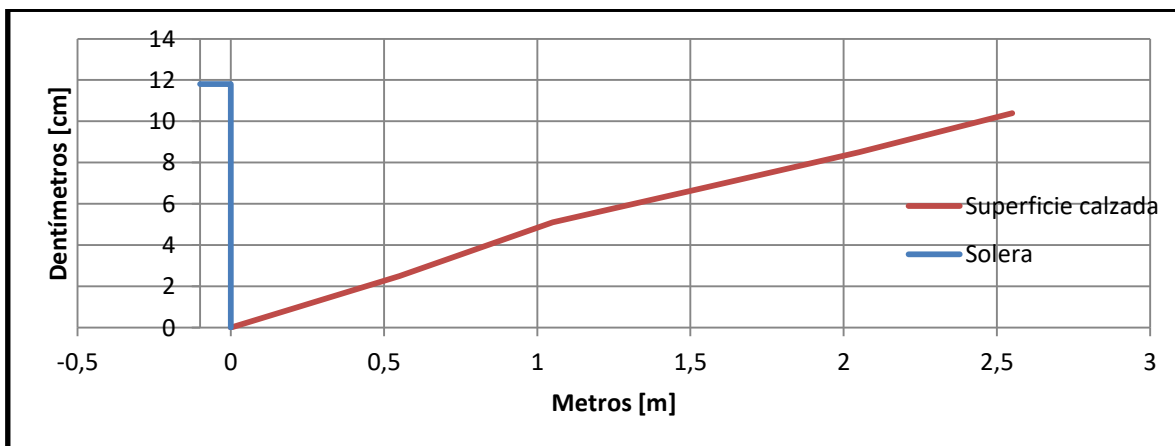


Figura D20. Sección Transversal Punto P16

(Fuente: Elaboración propia)

D.3 Intersección Antonio Varas

Sumidero S05

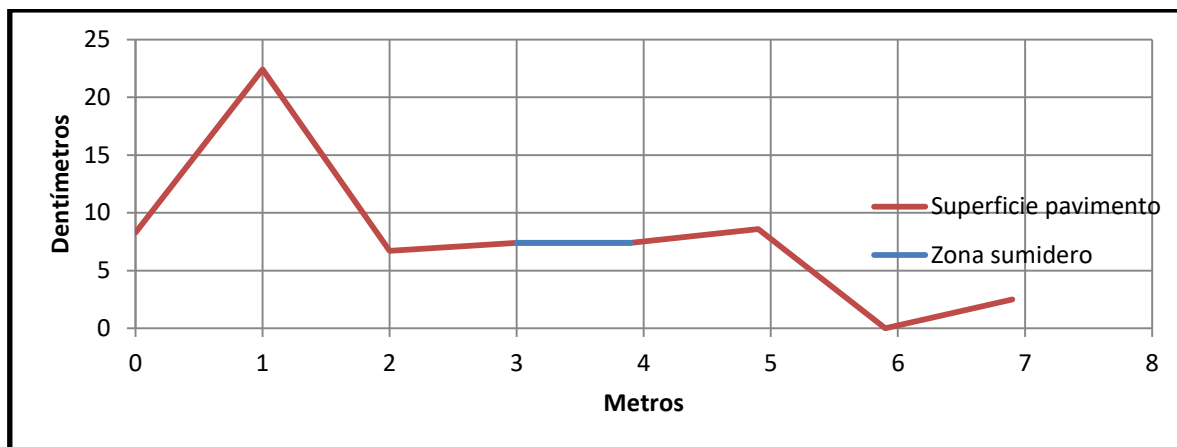


Figura D21. Perfil Longitudinal Sumidero S05

(Fuente: Elaboración propia)

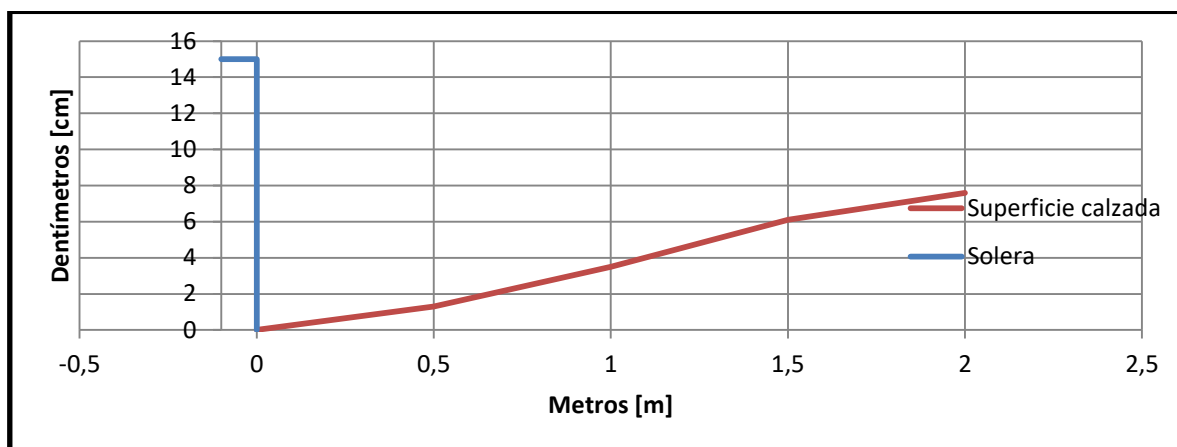


Figura D22. Sección Transversal Punto P17

(Fuente: Elaboración propia)

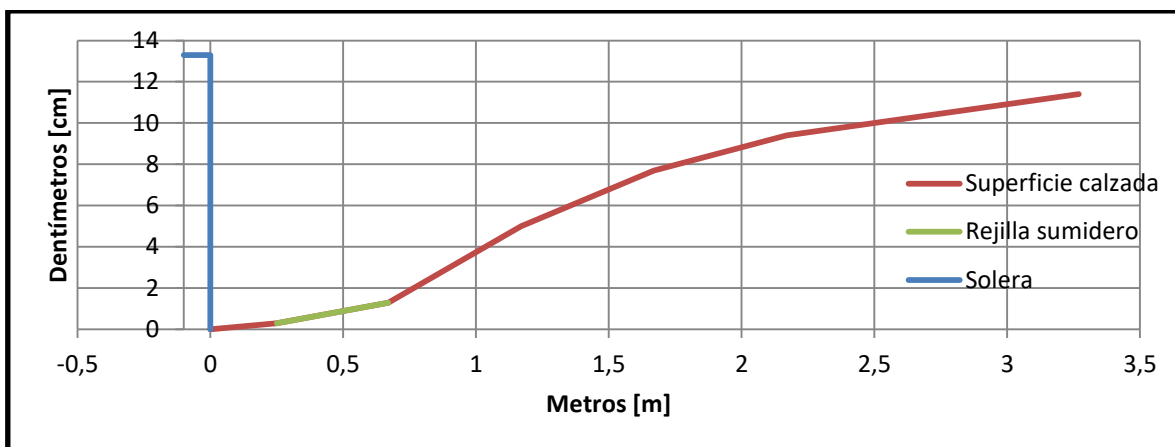


Figura D23. Sección Transversal Punto P18
(Fuente: Elaboración propia)

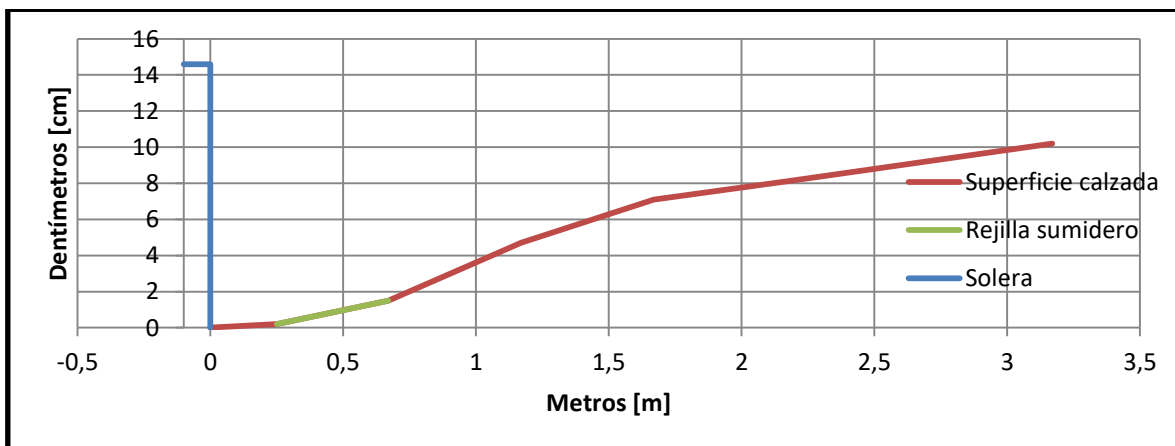


Figura D24. Sección Transversal Punto P19
(Fuente: Elaboración propia)

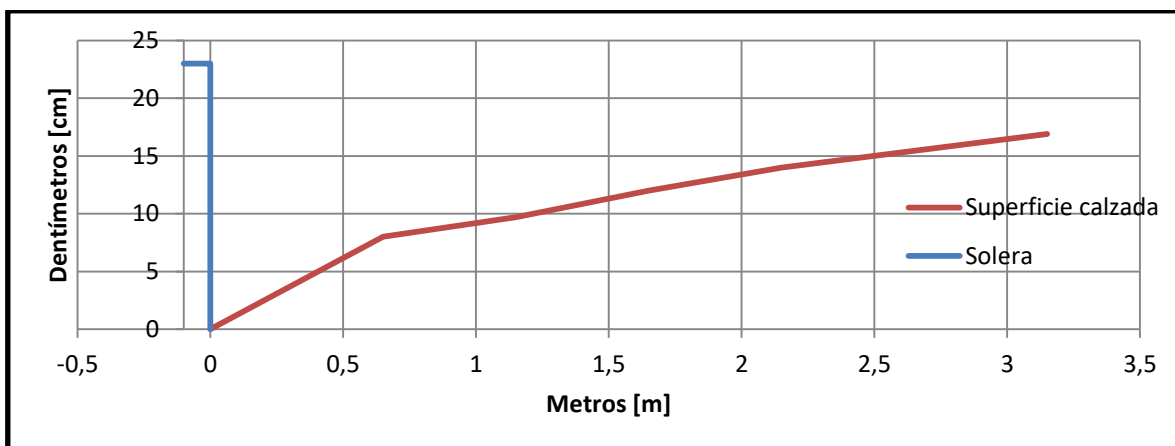


Figura D25. Sección Transversal Punto P20
(Fuente: Elaboración propia)

Sumidero S06

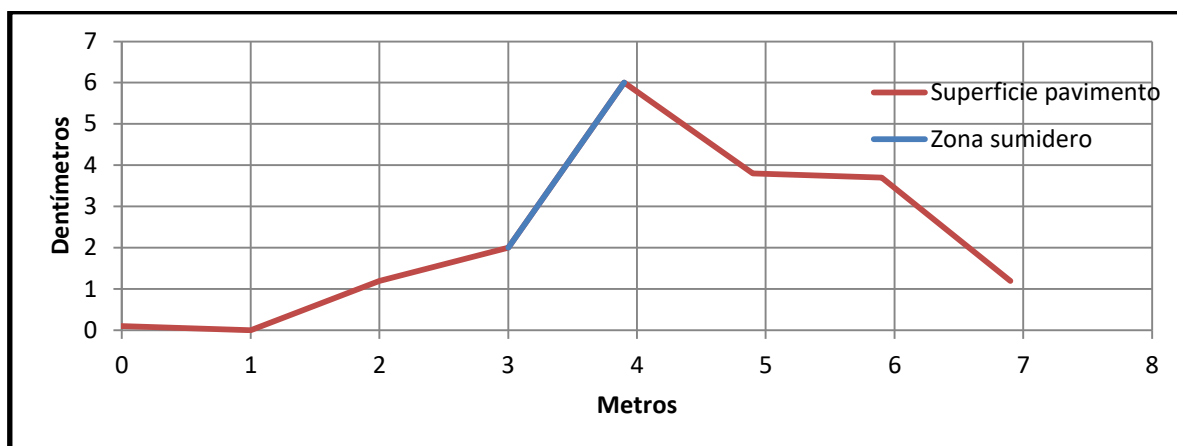


Figura D26. Perfil Longitudinal Sumidero S06
(Fuente: Elaboración propia)

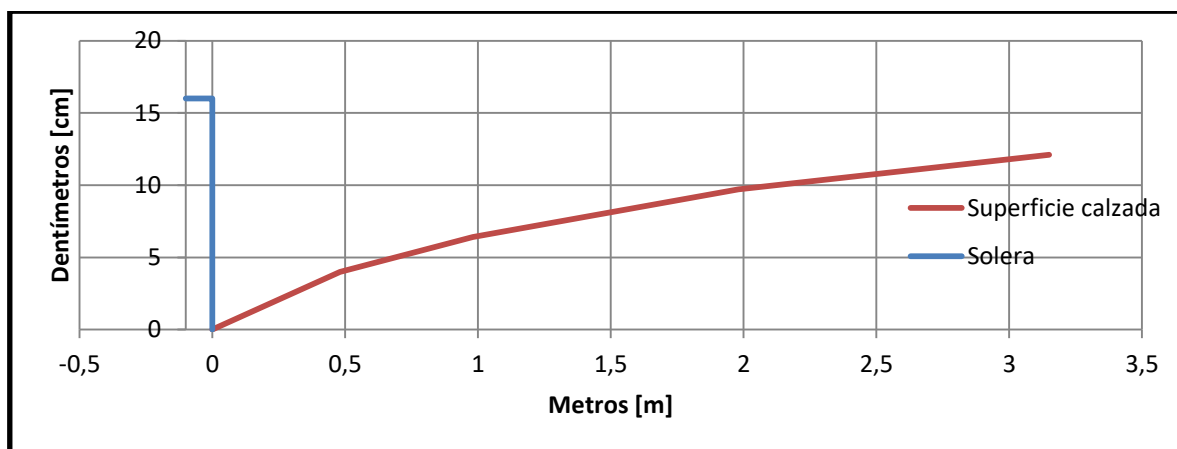


Figura D27. Sección Transversal Punto P21
(Fuente: Elaboración propia)

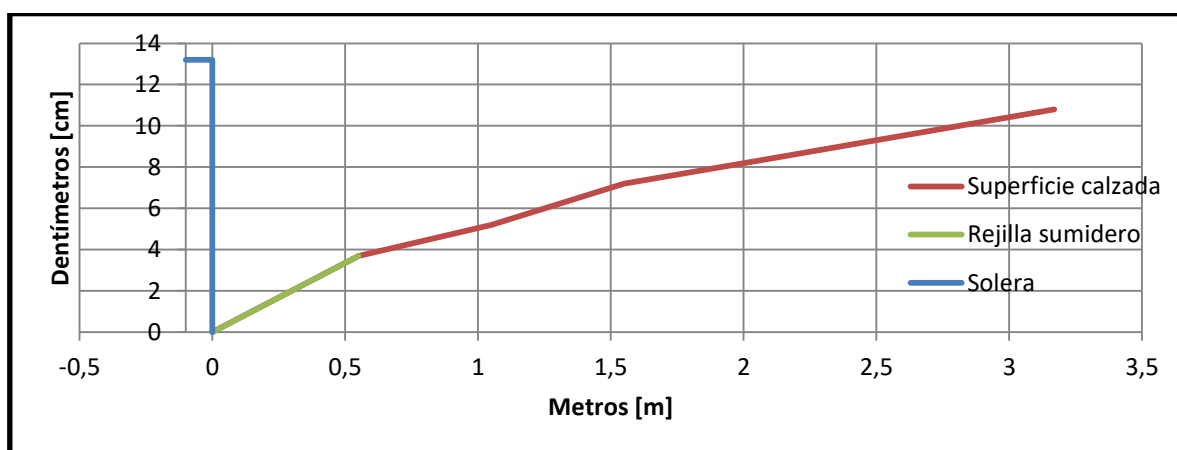


Figura D28. Sección Transversal Punto P22
(Fuente: Elaboración propia)

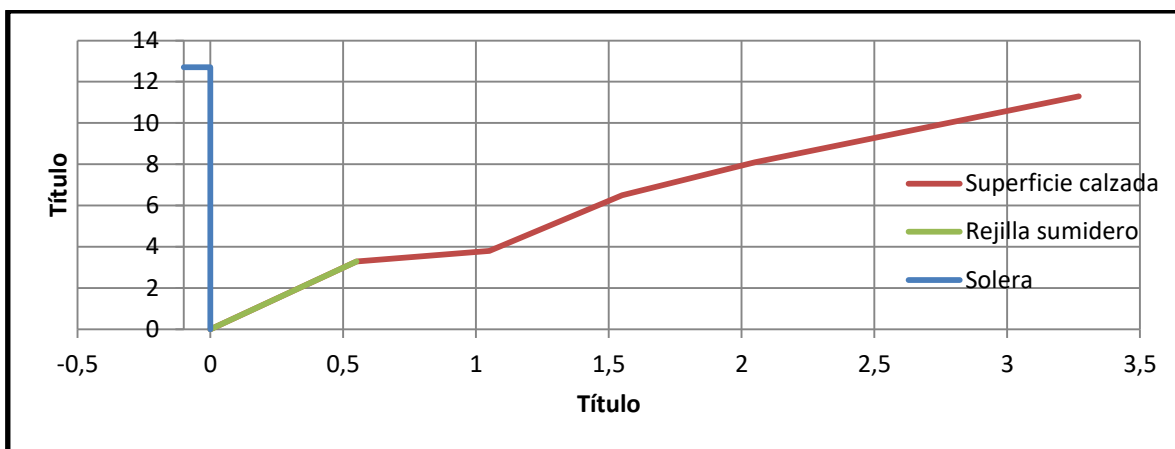


Figura D29. Sección Transversal Punto P23
(Fuente: Elaboración propia)

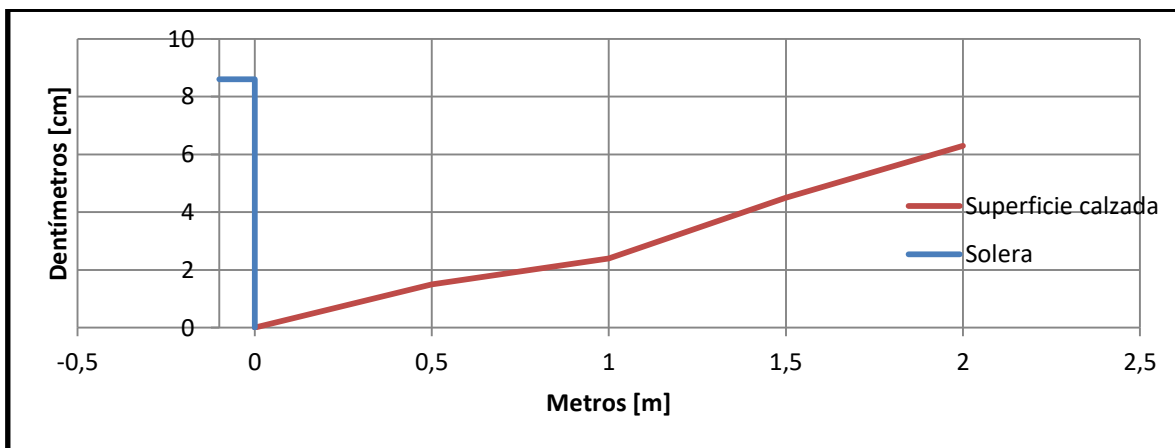


Figura D30. Sección Transversal Punto P24
(Fuente: Elaboración propia)

Sumidero S07

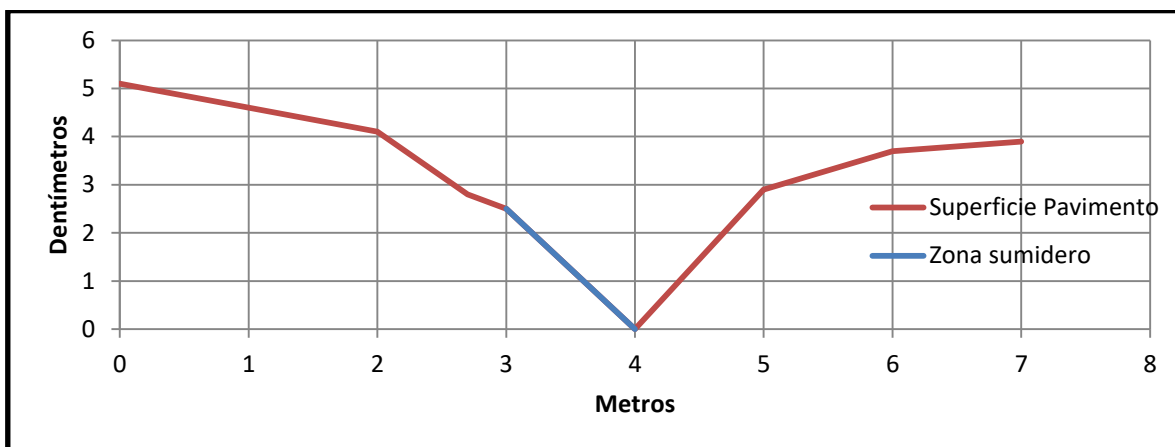


Figura D31. Perfil Longitudinal Sumidero S07
(Fuente: Elaboración propia)

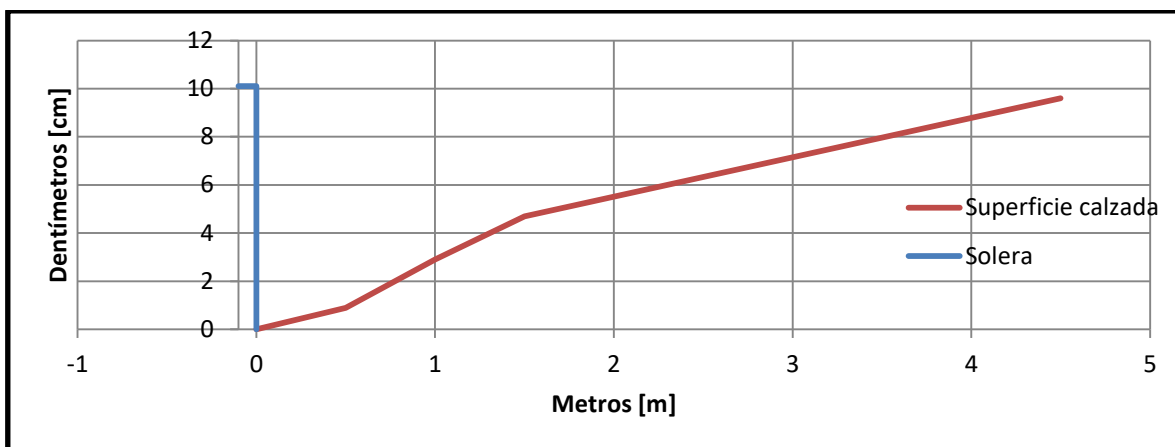


Figura D32. Sección Transversal Punto P25
(Fuente: Elaboración propia)

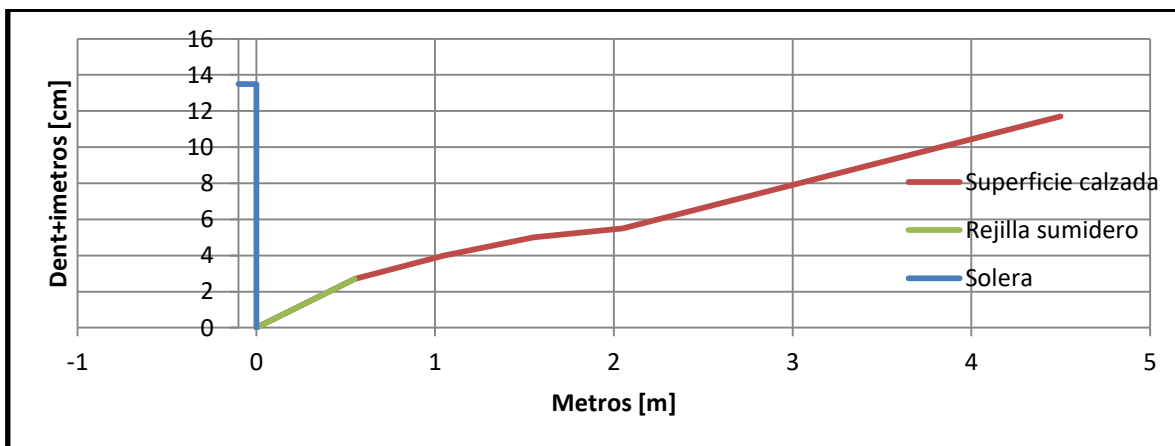


Figura D33. Sección Transversal Punto P26
(Fuente: Elaboración propia)

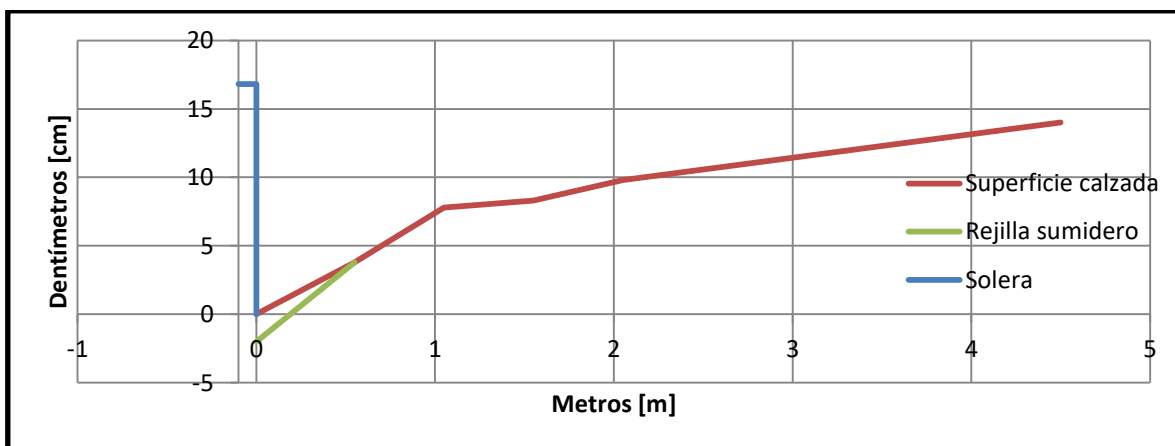


Figura D34. Sección Transversal Punto P27
(Fuente: Elaboración propia)

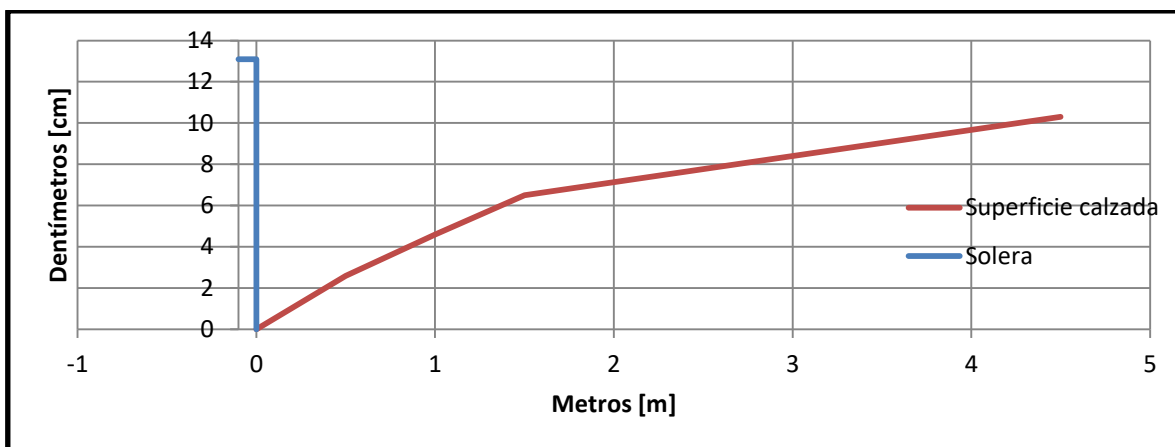


Figura D35. Sección Transversal Punto P28
(Fuente: Elaboración propia)

Sumidero S08

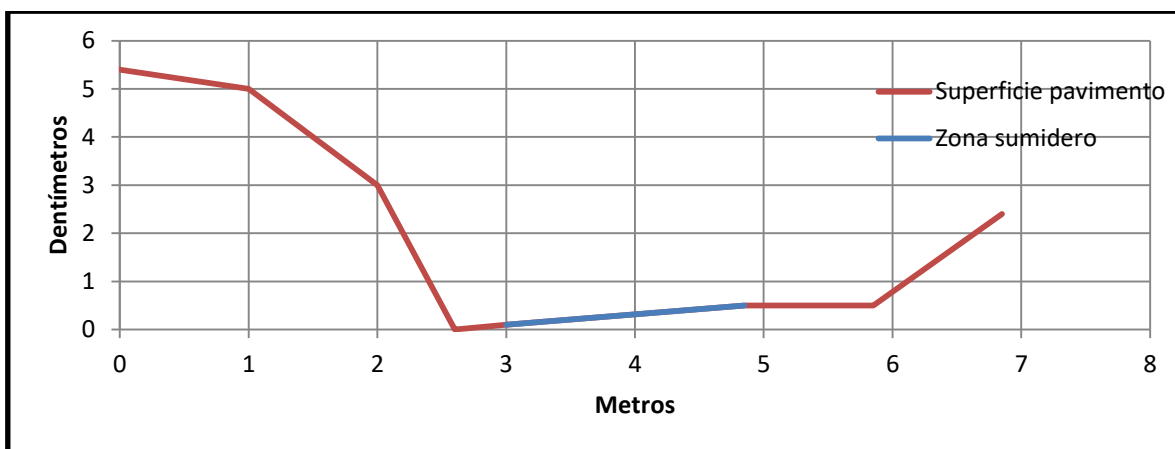


Figura D36 Perfil Longitudinal Sumidero S08
(Fuente: Elaboración propia)

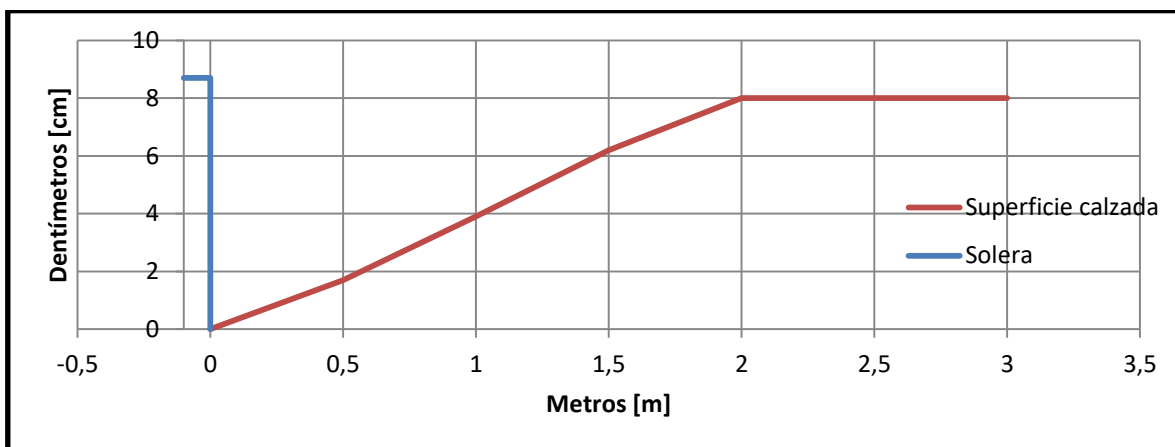


Figura D37. Sección Transversal Punto P29
(Fuente: Elaboración propia)

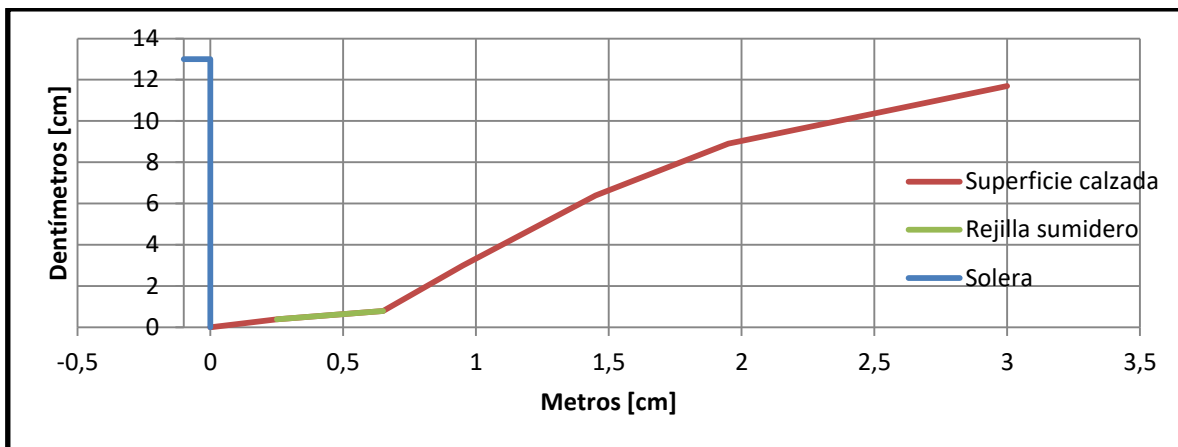


Figura D38. Sección Transversal Punto P30
(Fuente: Elaboración propia)

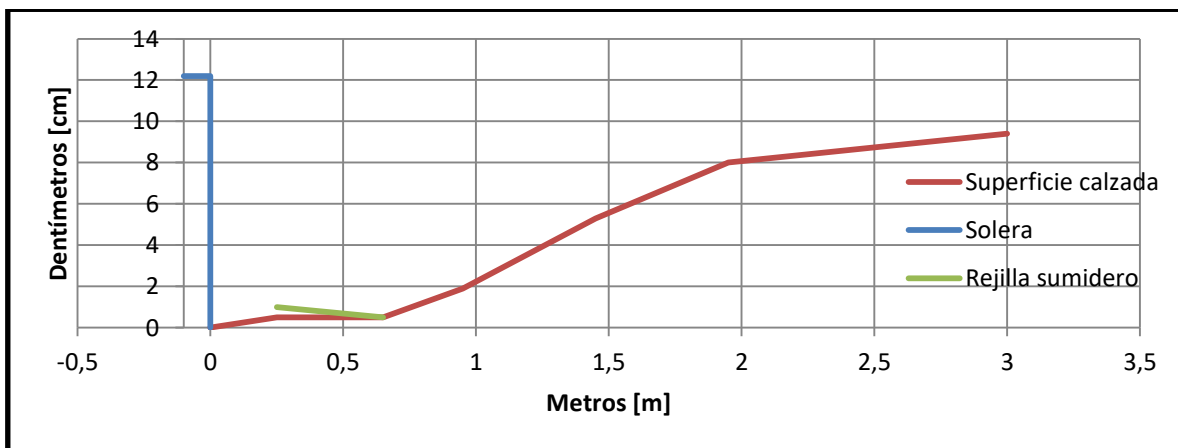


Figura D39. Sección Transversal Punto P31
(Fuente: Elaboración propia)

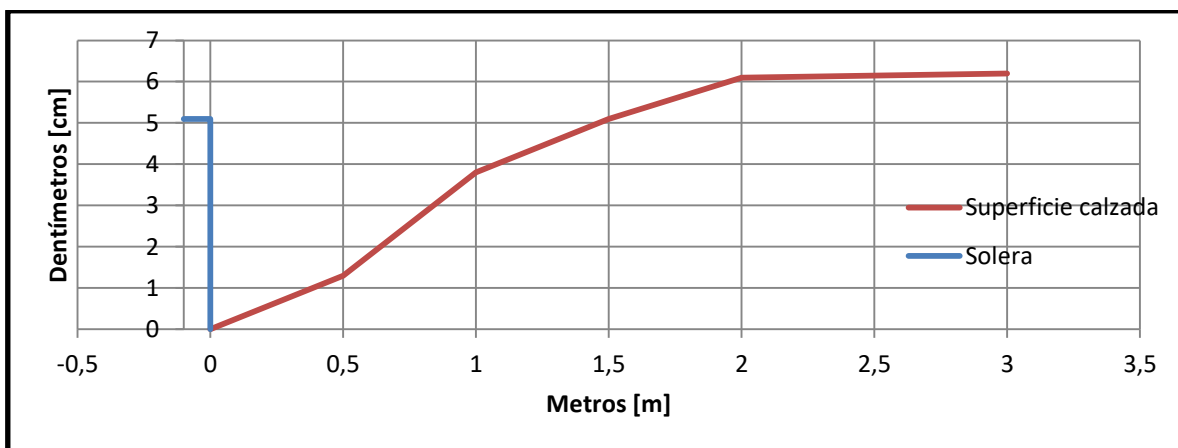


Figura D40. Sección Transversal Punto P32
(Fuente: Elaboración propia)

Sumidero S09

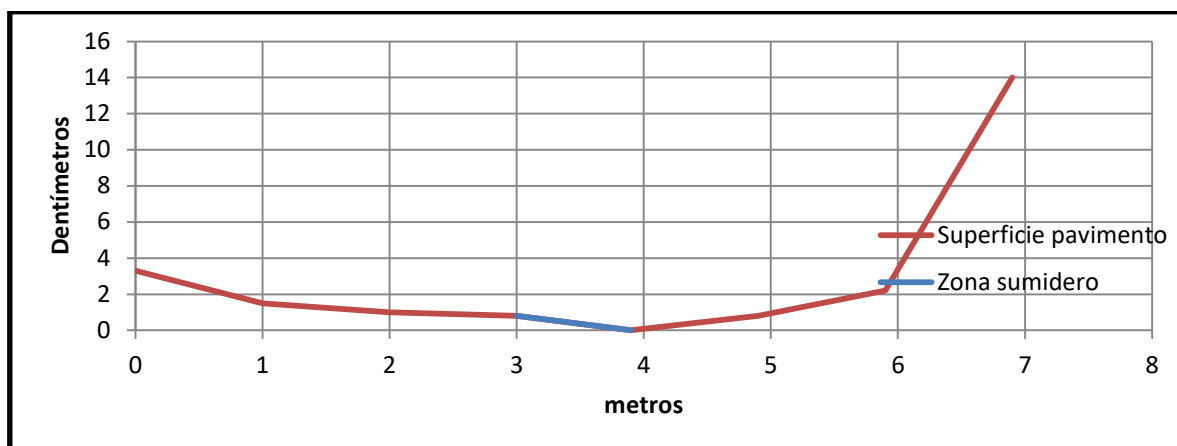


Figura D41. Sección Transversal Sumidero S09
(Fuente: Elaboración propia)

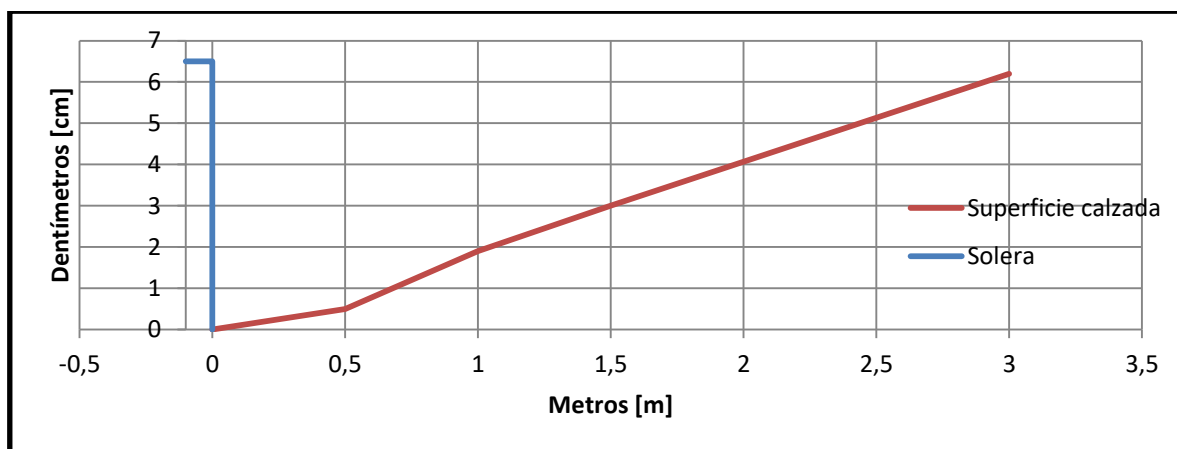


Figura D42. Sección Transversal Punto P33
(Fuente: Elaboración propia)

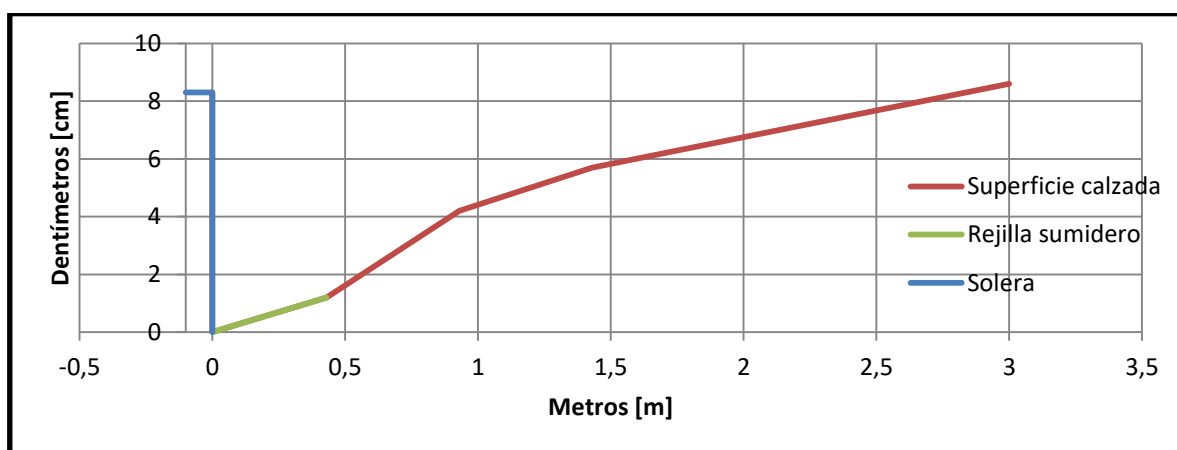


Figura D43. Sección Transversal Punto P34
(Fuente: Elaboración propia)

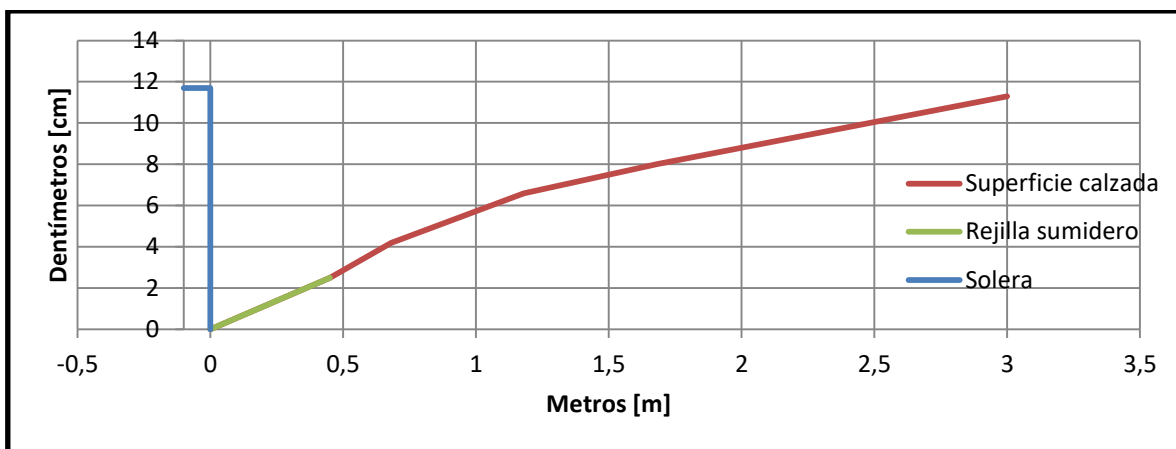


Figura D44. Sección Transversal Punto P35
(Fuente: Elaboración propia)

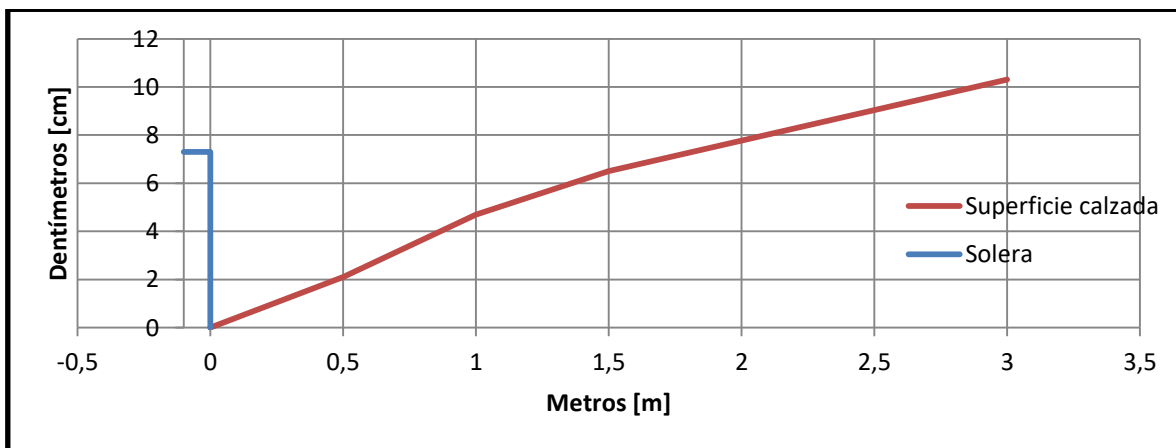


Figura D45. Sección Transversal Punto P36
(Fuente: Elaboración propia)

Sumidero S10

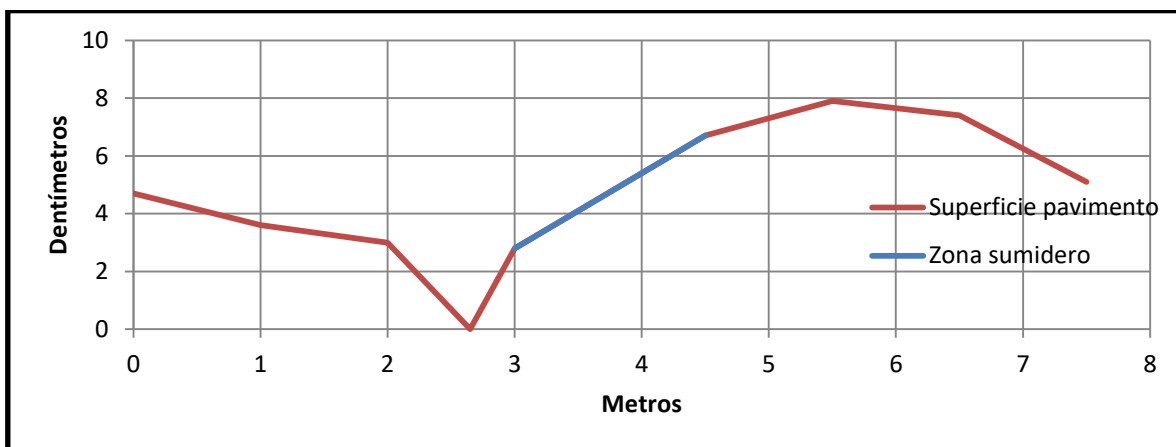


Figura D46. Perfil Longitudinal Sumidero S10
(Fuente: Elaboración propia)

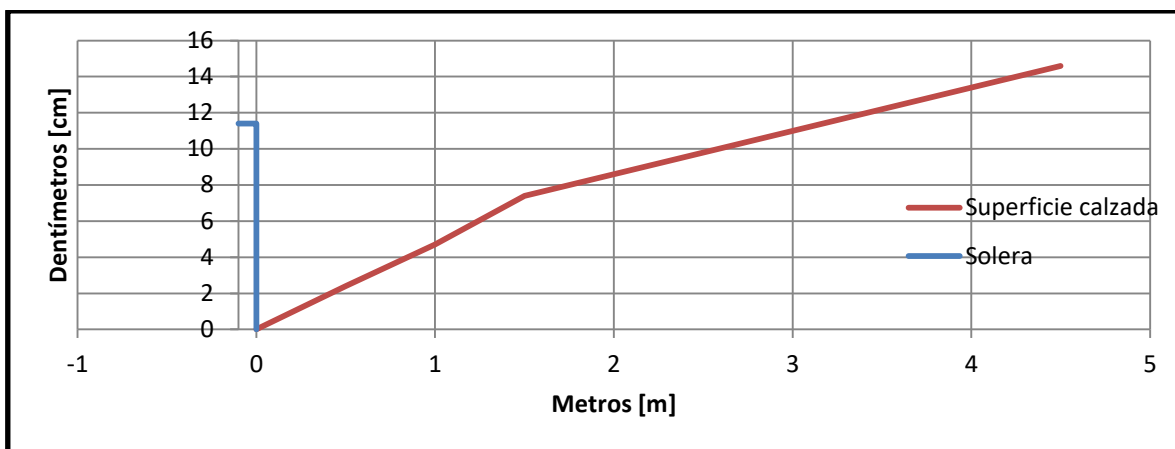


Figura D47. Sección Transversal Punto P37
(Fuente: Elaboración propia)

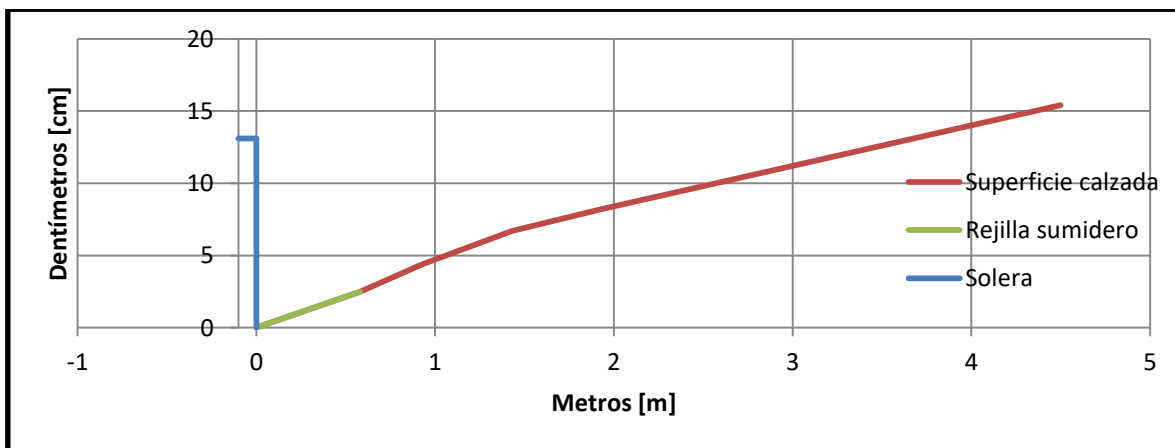


Figura D48. Sección Transversal Punto P38
(Fuente: Elaboración propia)

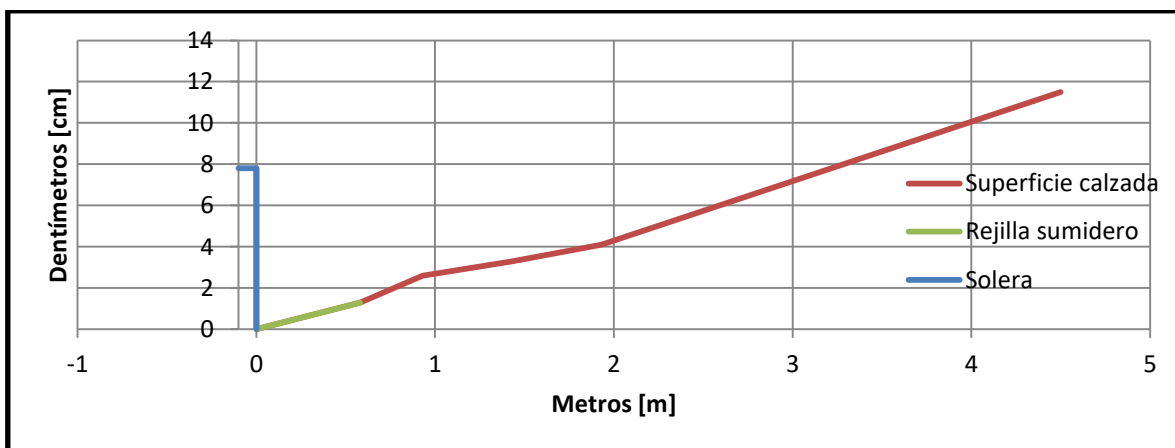


Figura D49. Sección Transversal Punto P39
(Fuente: Elaboración propia)

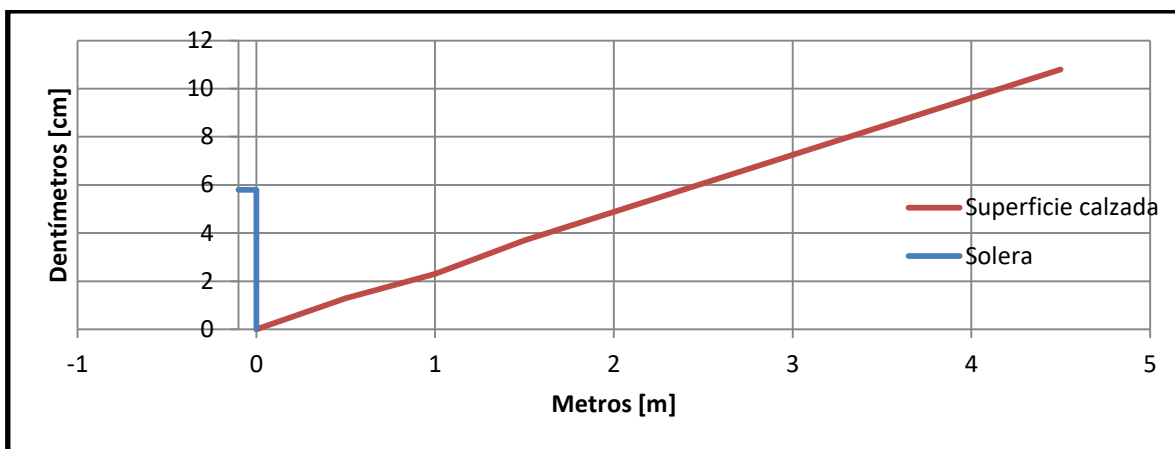


Figura D50. Sección Transversal Punto P40
(Fuente: Elaboración propia)

D.4 Intersección Villarrica

Sumidero S11

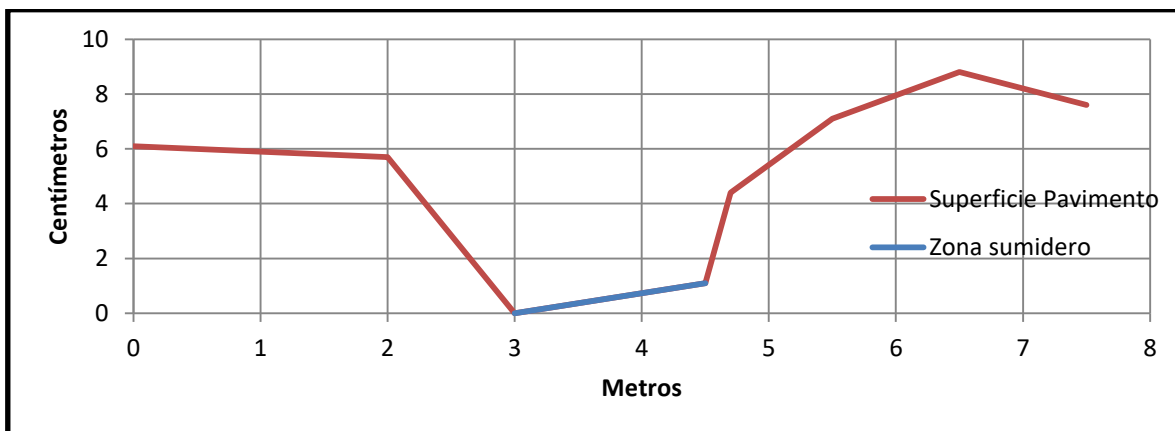


Figura D51. Perfil Longitudinal Sumidero S11
(Fuente: Elaboración propia)

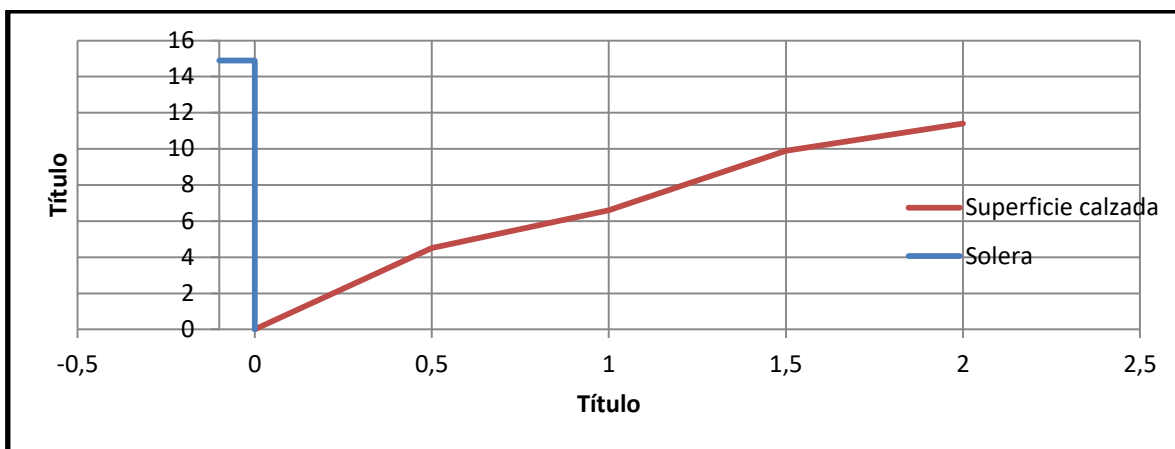


Figura D52. Sección Transversal Punto P41
(Fuente: Elaboración propia)

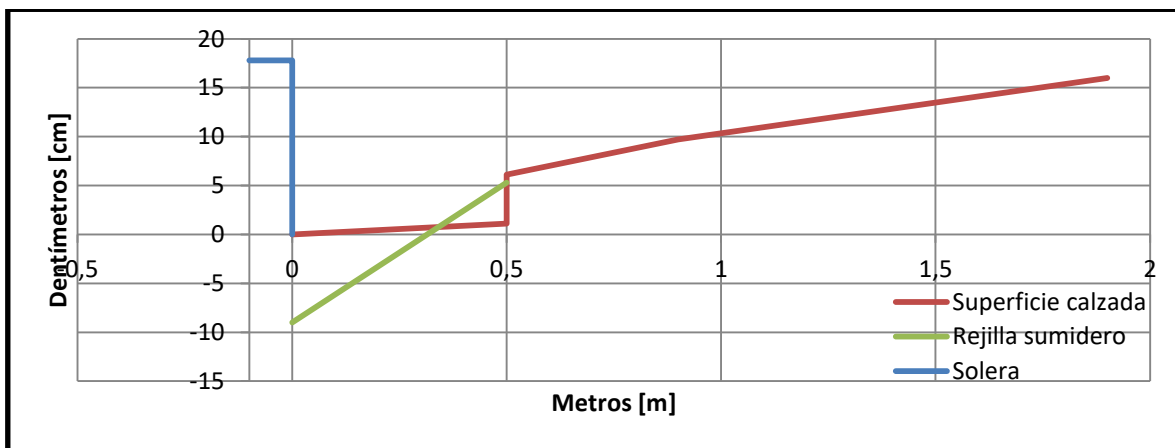


Figura D53. Sección Transversal Punto P42
(Fuente: Elaboración propia)

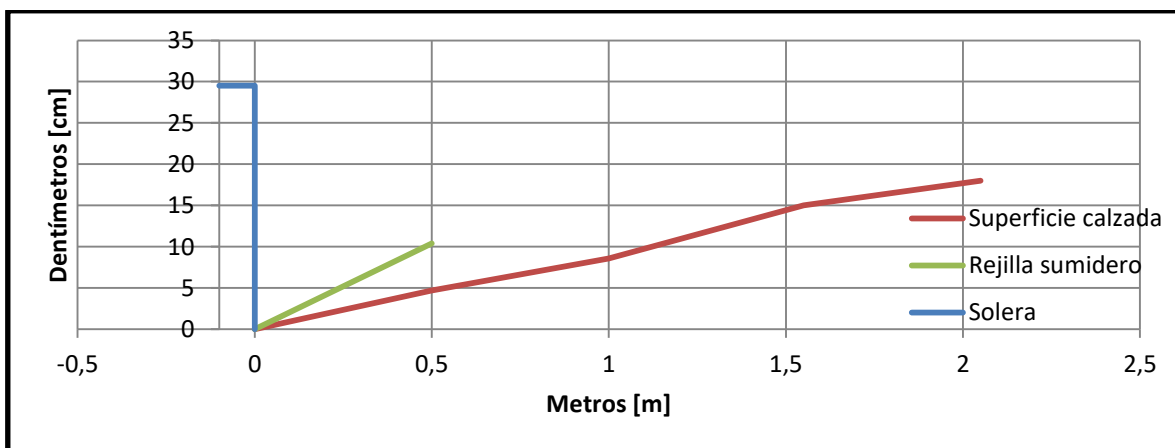


Figura D54. Sección Transversal Punto P43
(Fuente: Elaboración propia)

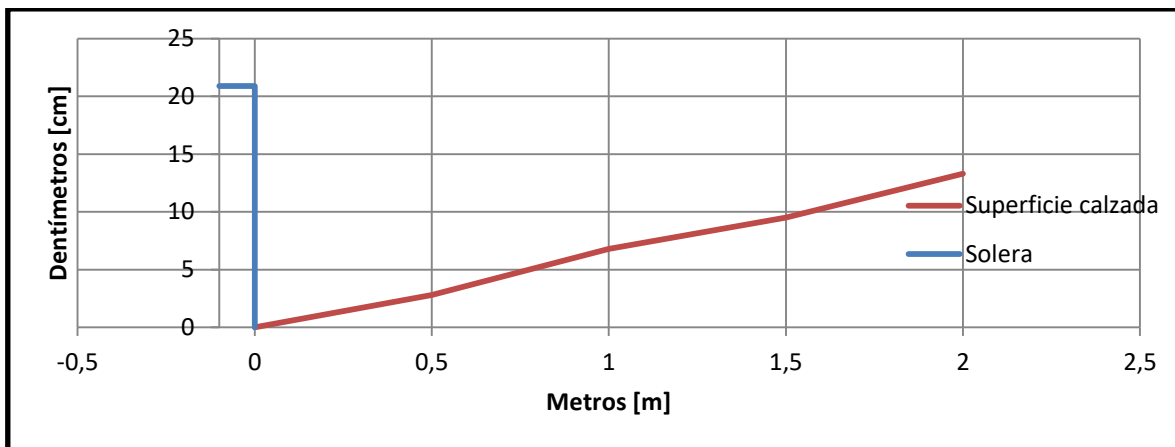


Figura D55. Sección Transversal Punto P44
(Fuente: Elaboración propia)

Sumidero S12

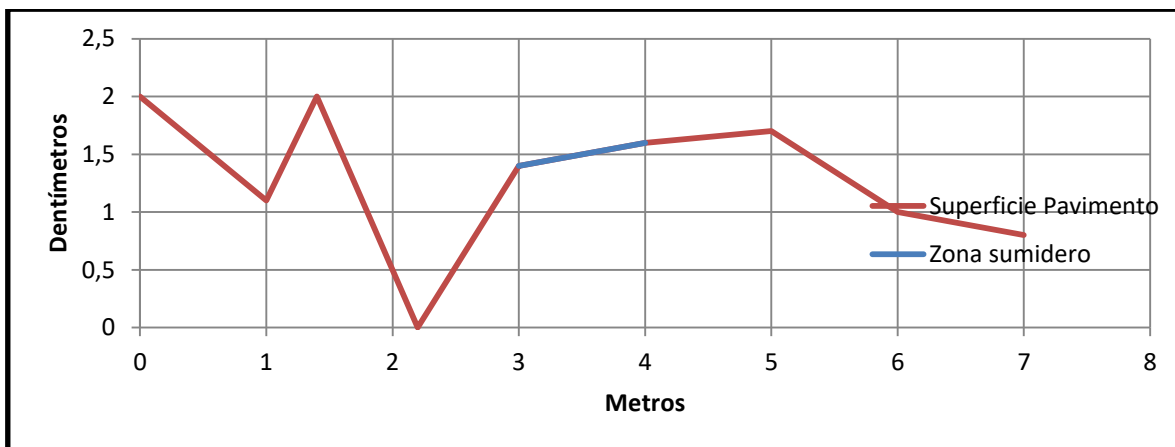


Figura D56. Perfil Longitudinal Sumidero S12
(Fuente: Elaboración propia)

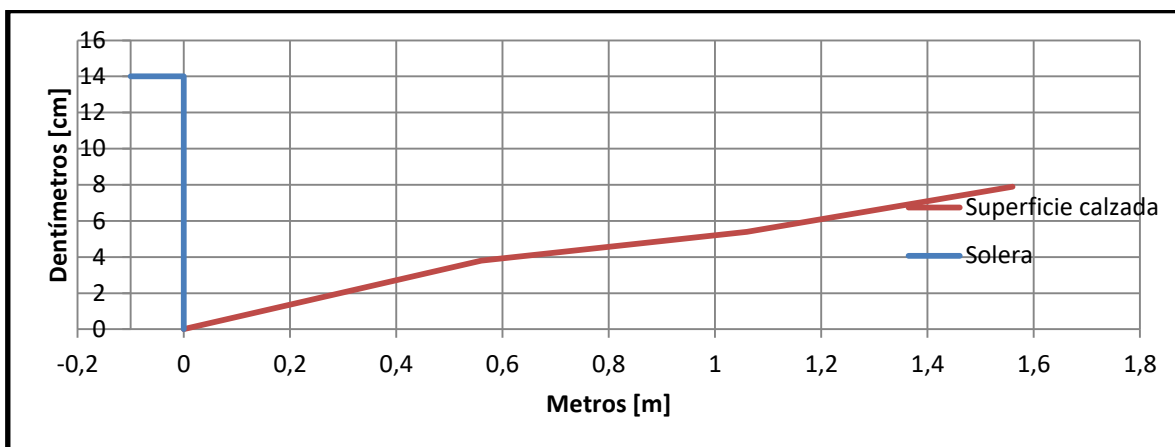


Figura D57. Sección Transversal Punto P45
(Fuente: Elaboración propia)

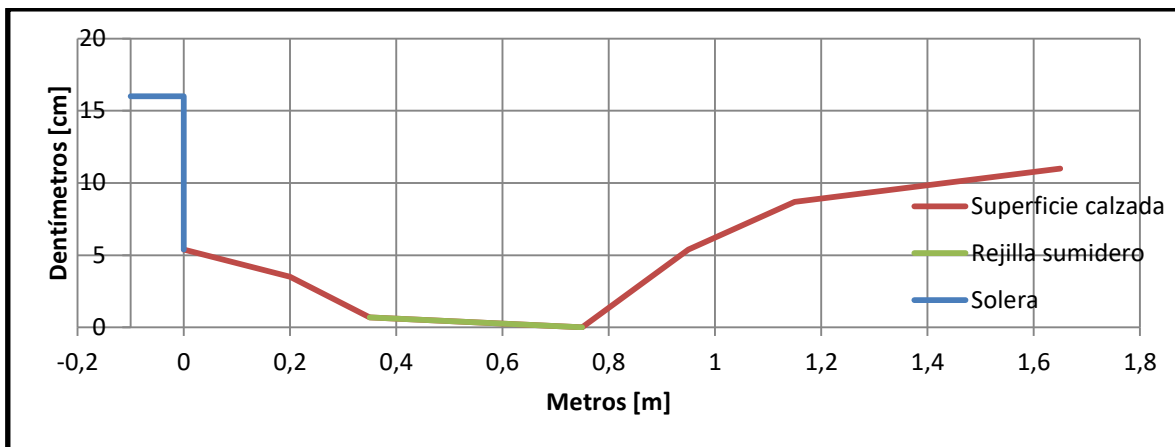


Figura D58. Sección Transversal Punto P46
(Fuente: Elaboración propia)

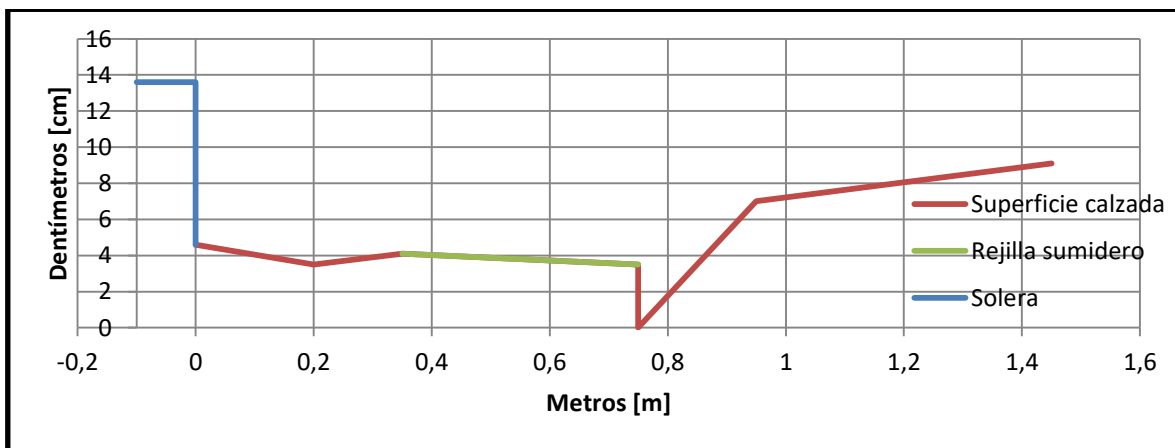


Figura D59. Sección Transversal Punto P47
(Fuente: Elaboración propia)

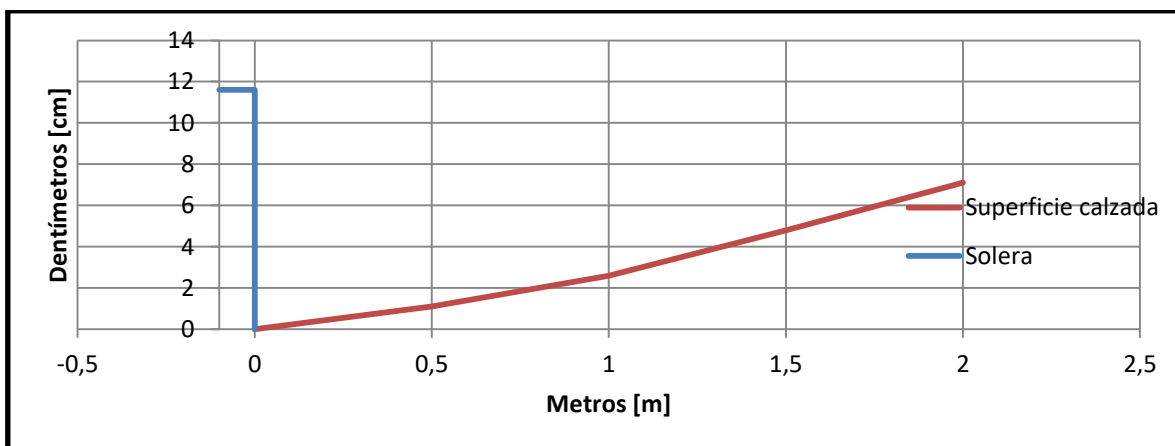


Figura D60. Sección Transversal Punto P48
(Fuente: Elaboración propia)

Sumidero S13

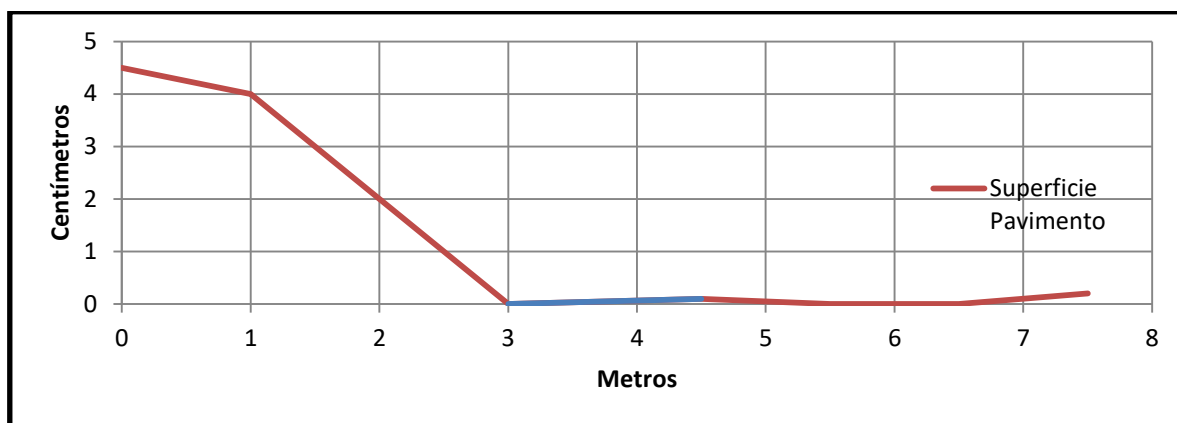


Figura D61. Perfil Longitudinal Sumidero S13

(Fuente: Elaboración propia)

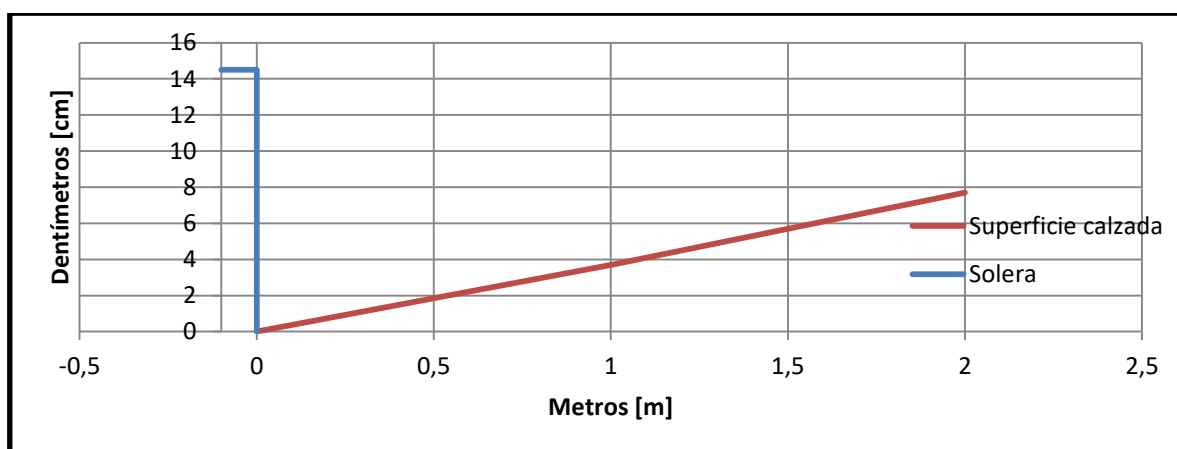


Figura D62. Sección Transversal Punto P49

(Fuente: Elaboración propia)

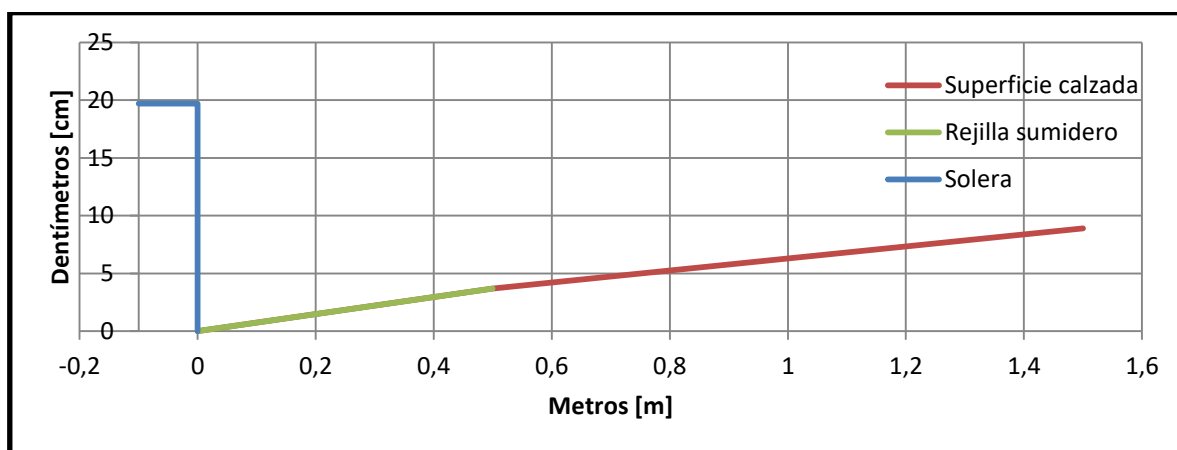


Figura D63. Sección Transversal Punto P50

(Fuente: Elaboración propia)

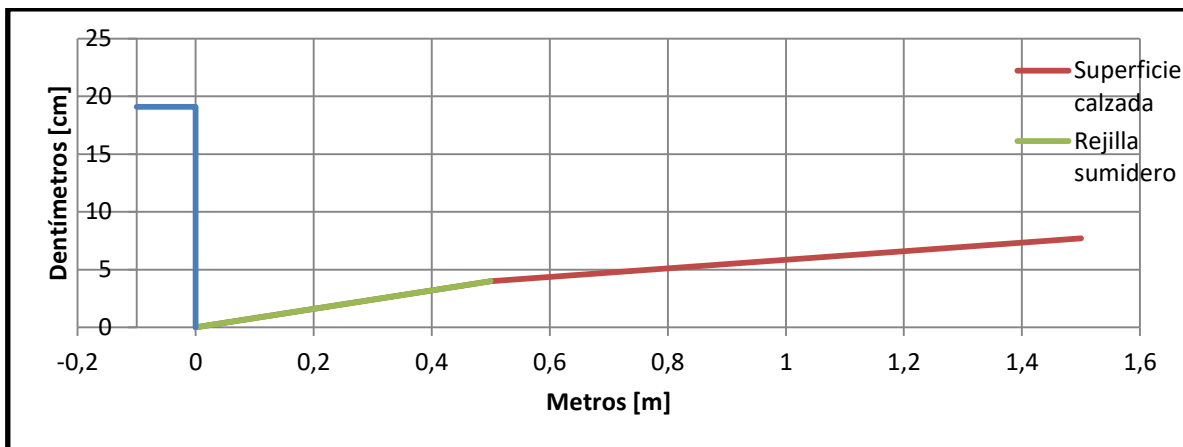


Figura D64. Sección Transversal Punto P51
(Fuente: Elaboración propia)

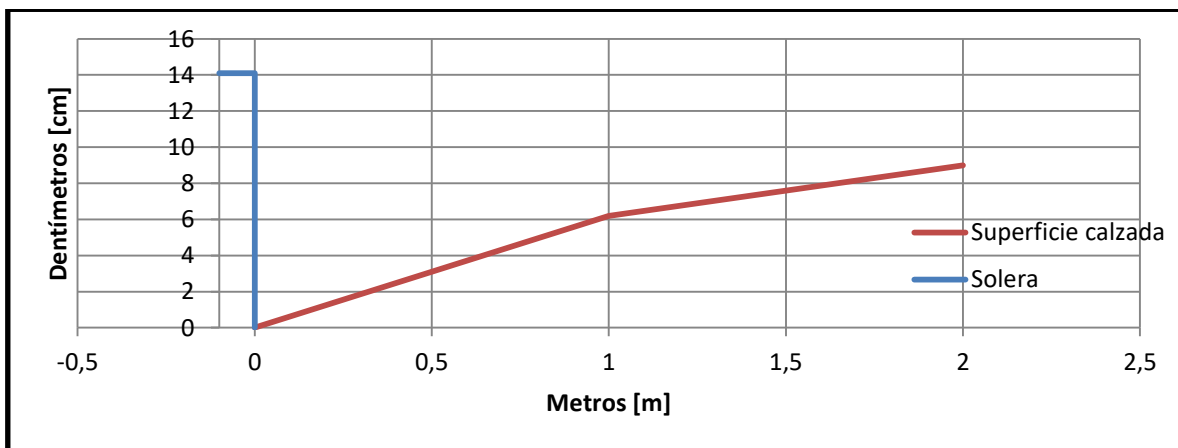


Figura D65. Sección Transversal Punto P52
(Fuente: Elaboración propia)

Sumidero S14

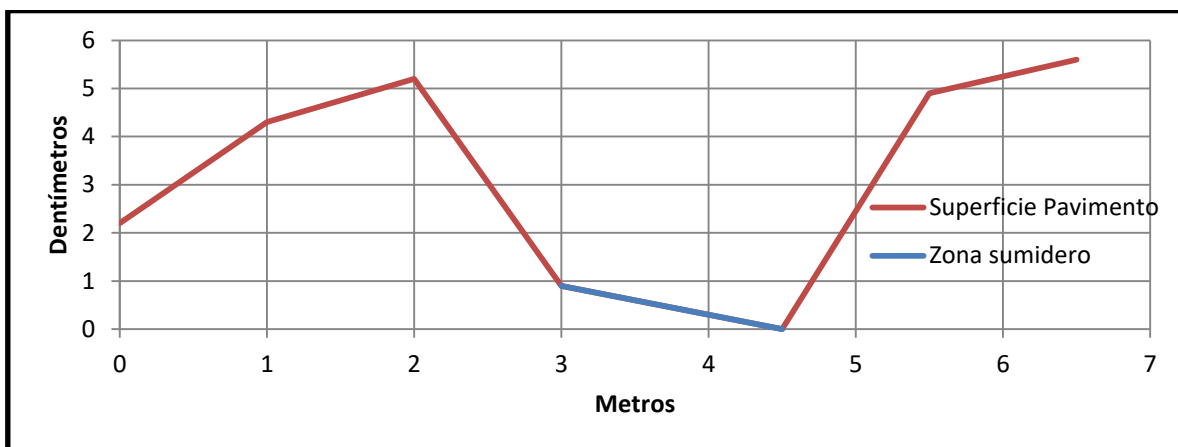


Figura D66. Perfil Longitudinal Sumidero S14
(Fuente: Elaboración propia)

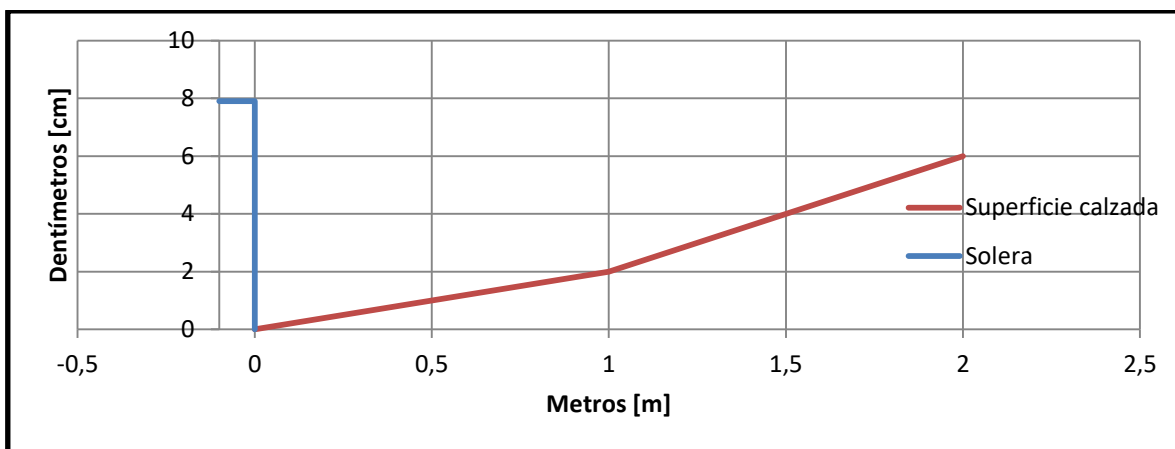


Figura D67. Sección Transversal Punto P53

(Fuente: Elaboración propia)

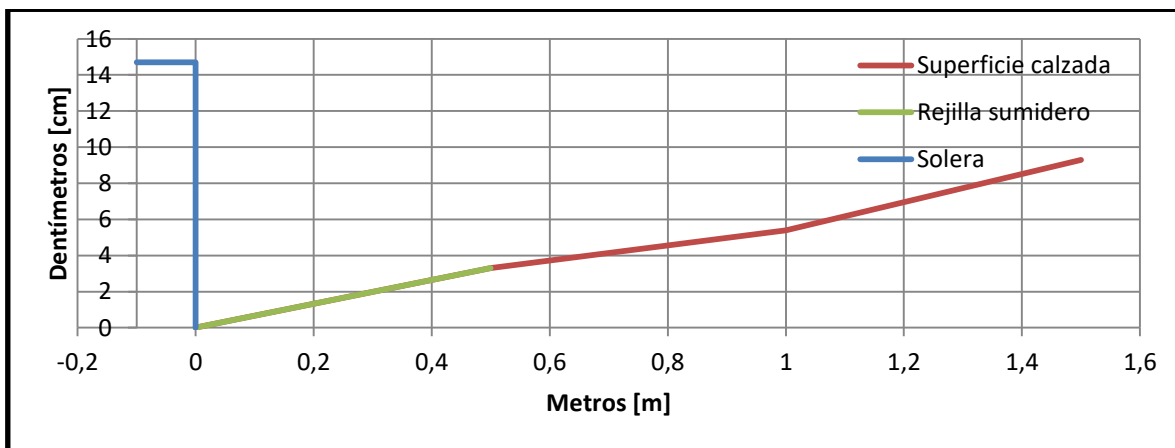


Figura D68. Sección Transversal Punto P54

(Fuente: Elaboración propia)

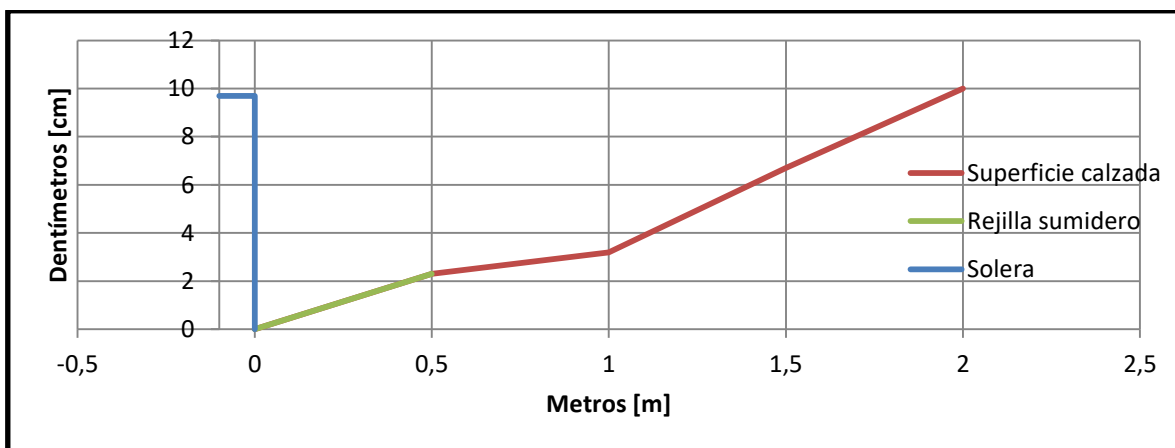


Figura D69. Sección Transversal Punto P55

(Fuente: Elaboración propia)

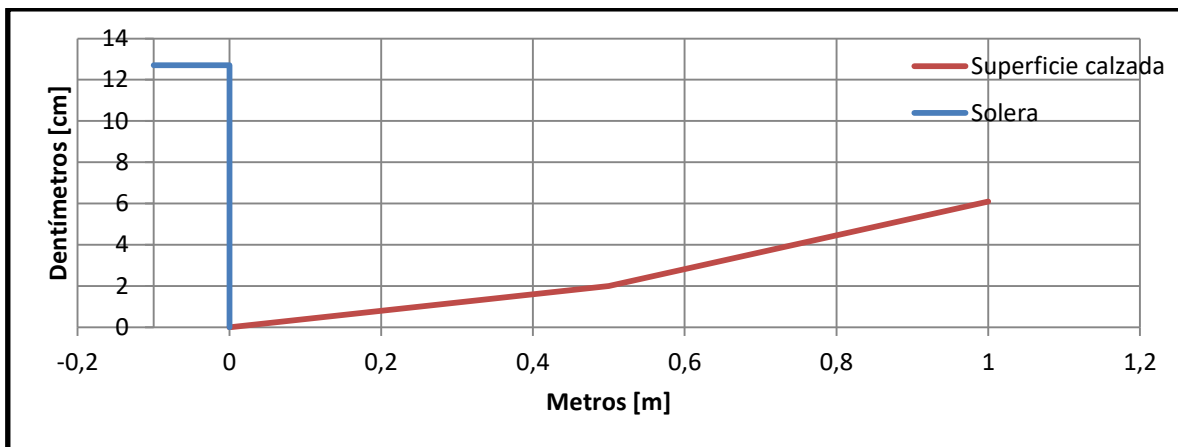


Figura D70. Sección Transversal Punto P56
(Fuente: Elaboración propia)

D.5 Intersección Puchacay

Sumidero S15

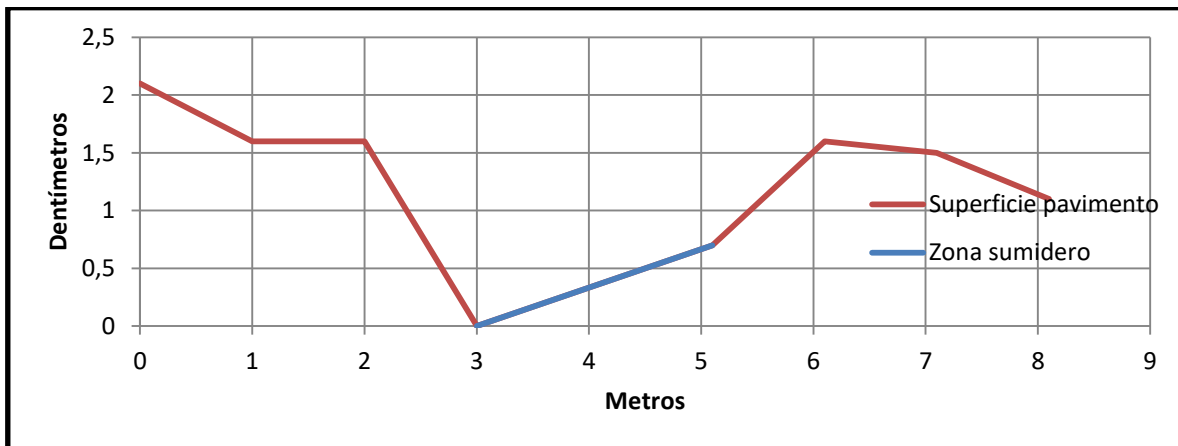


Figura D71. Perfil Longitudinal Sumidero S15
(Fuente: Elaboración propia)

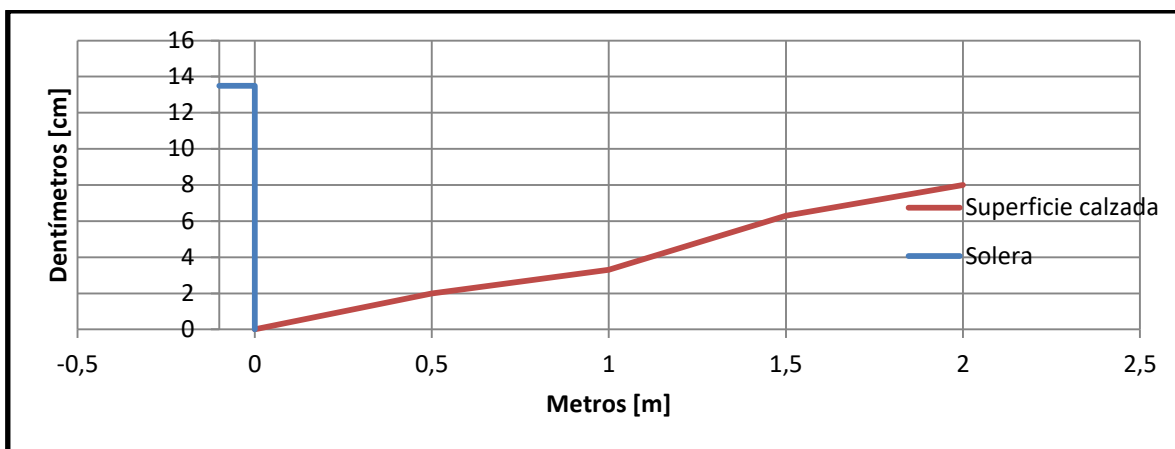


Figura D72. Sección Transversal Punto P57
(Fuente: Elaboración propia)

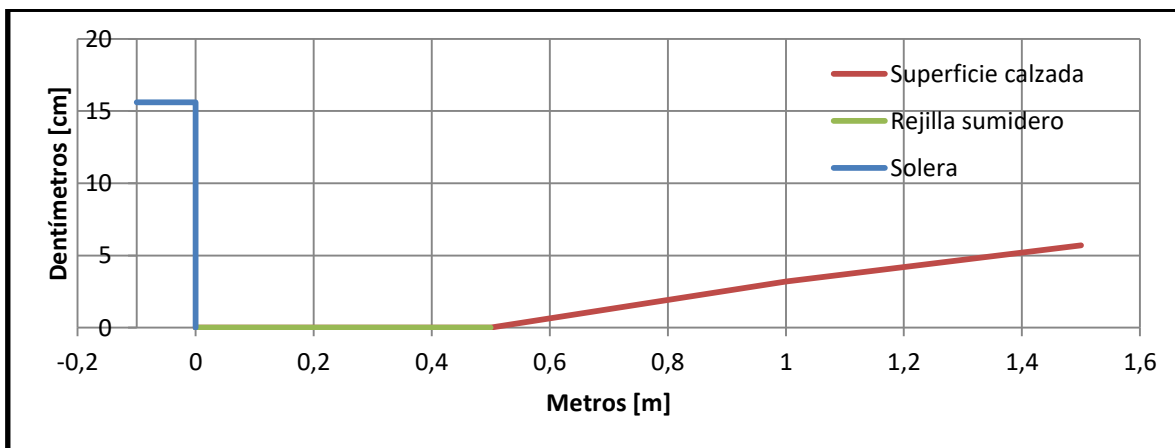


Figura D73. Sección Transversal Punto P58
(Fuente: Elaboración propia)

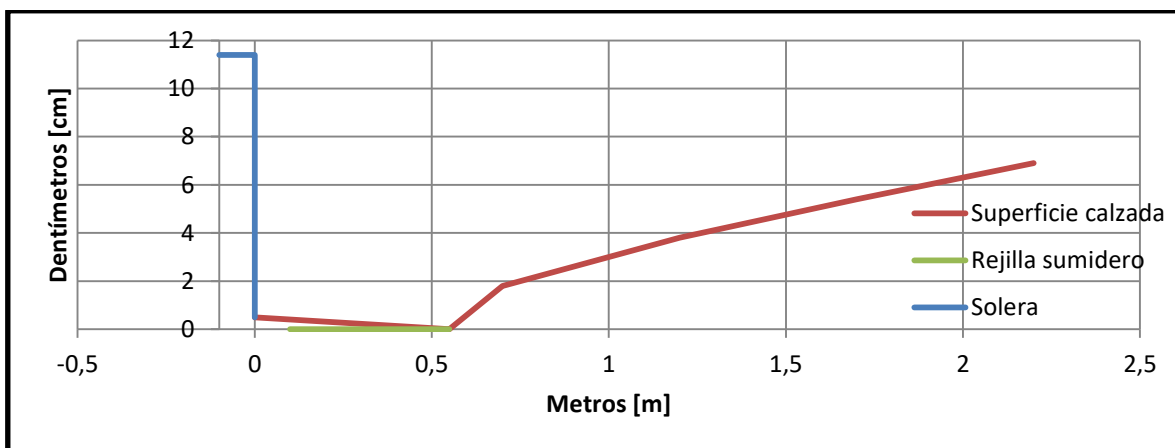


Figura D74. Sección Transversal Punto P59
(Fuente: Elaboración propia)

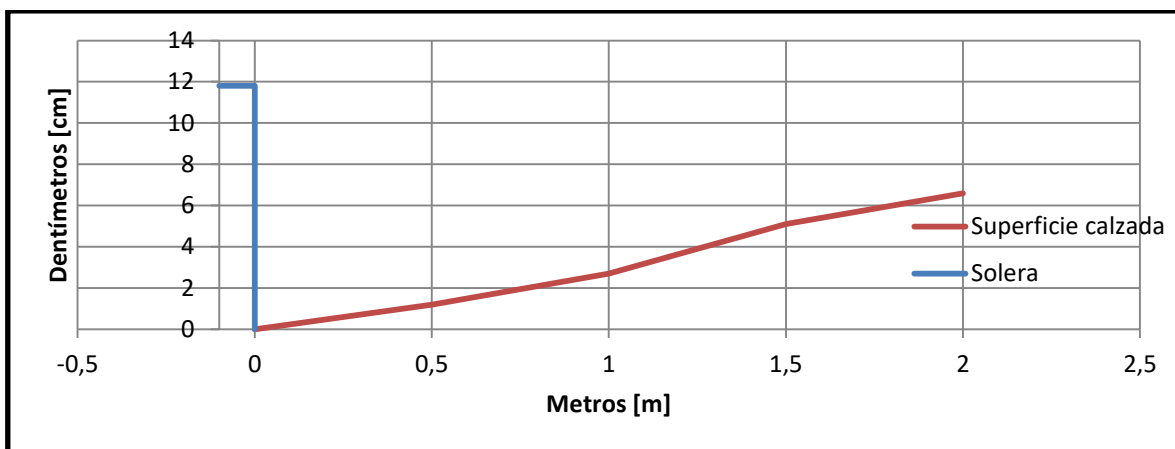


Figura D75. Sección Transversal Punto P60
(Fuente: Elaboración propia)

Sumidero S16

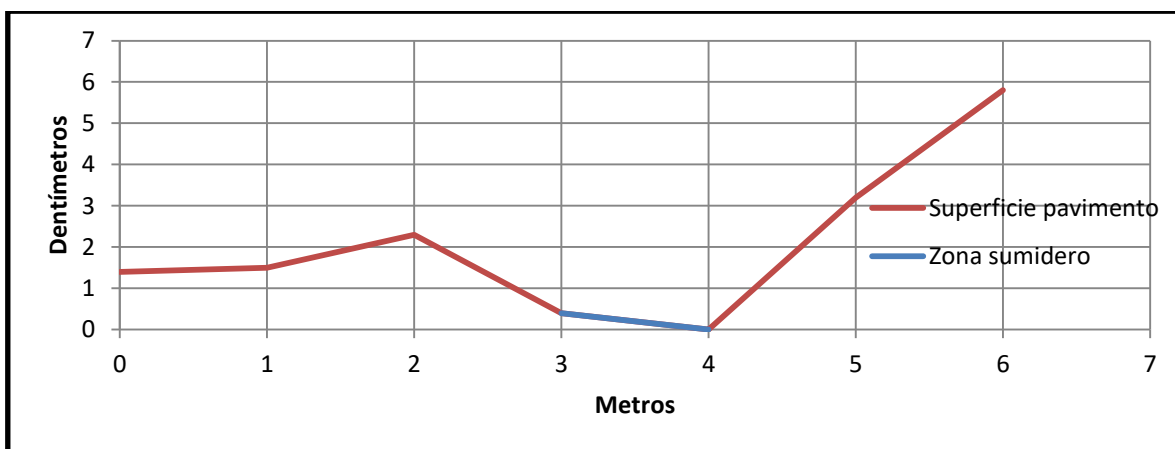


Figura D76. Perfil Longitudinal Sumidero S16
(Fuente: Elaboración propia)

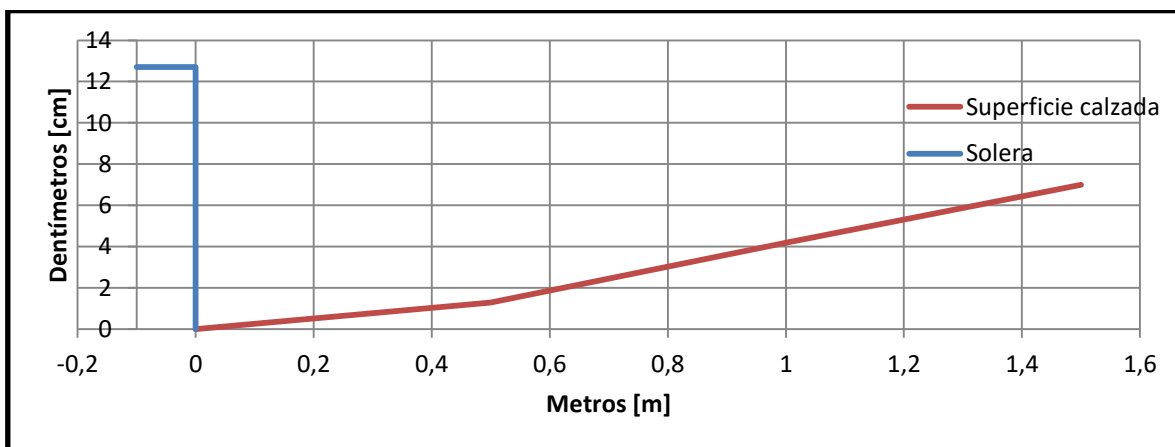


Figura D77. Sección Transversal Punto P61
(Fuente: Elaboración propia)

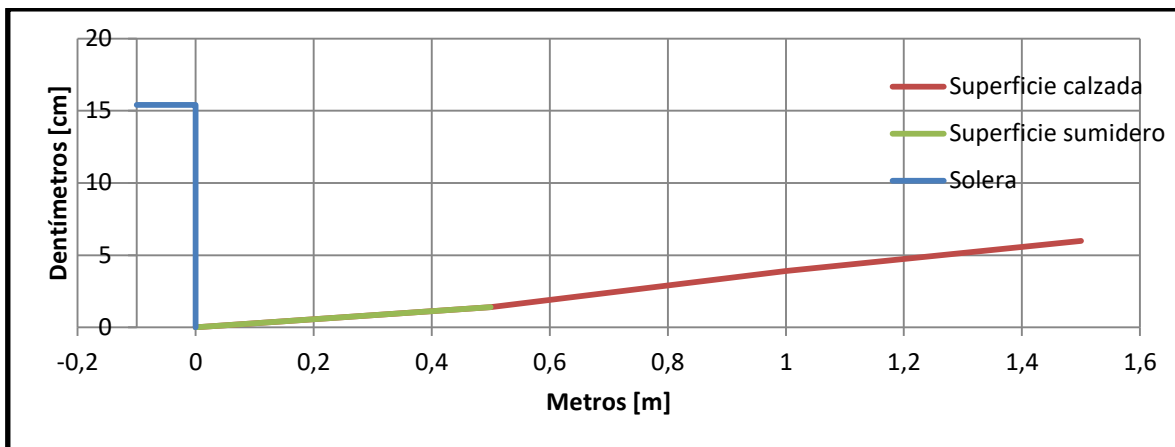


Figura D78. Sección Transversal Punto P62
(Fuente: Elaboración propia)

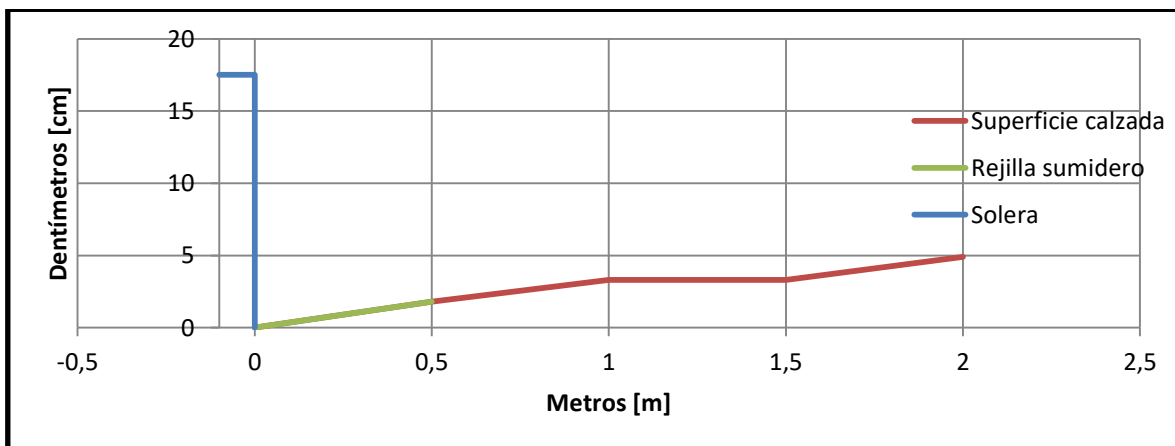


Figura D79. Sección Transversal Punto P63
(Fuente: Elaboración propia)

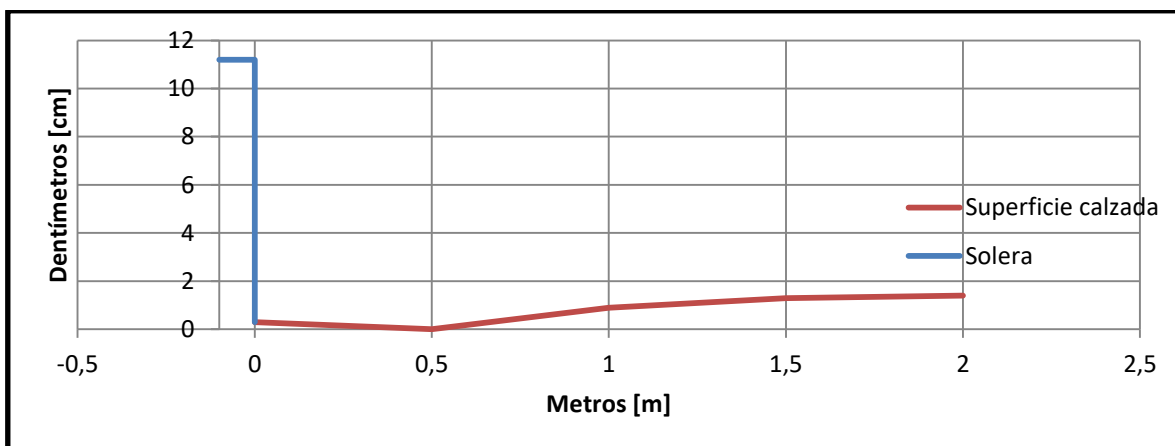


Figura D80. Sección Transversal Punto P64
(Fuente: Elaboración propia)

Sumidero S17

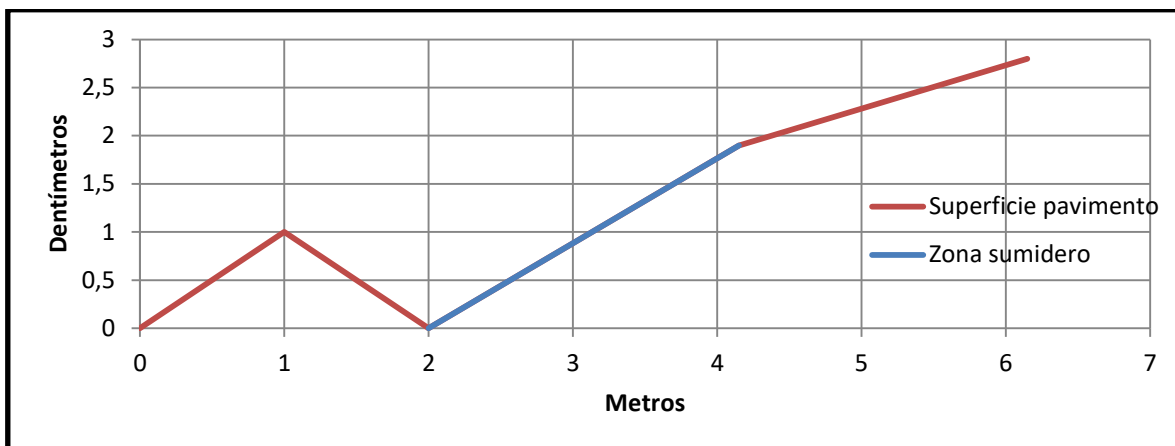


Figura D81. Sección Transversal Sumidero 65
(Fuente: Elaboración propia)

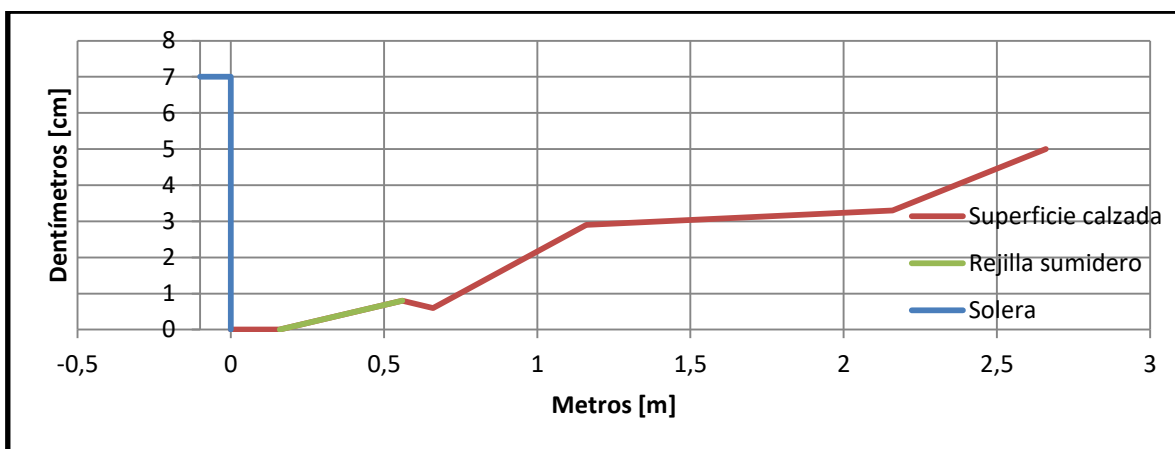


Figura D82. Sección Transversal Punto P65
(Fuente: Elaboración propia)

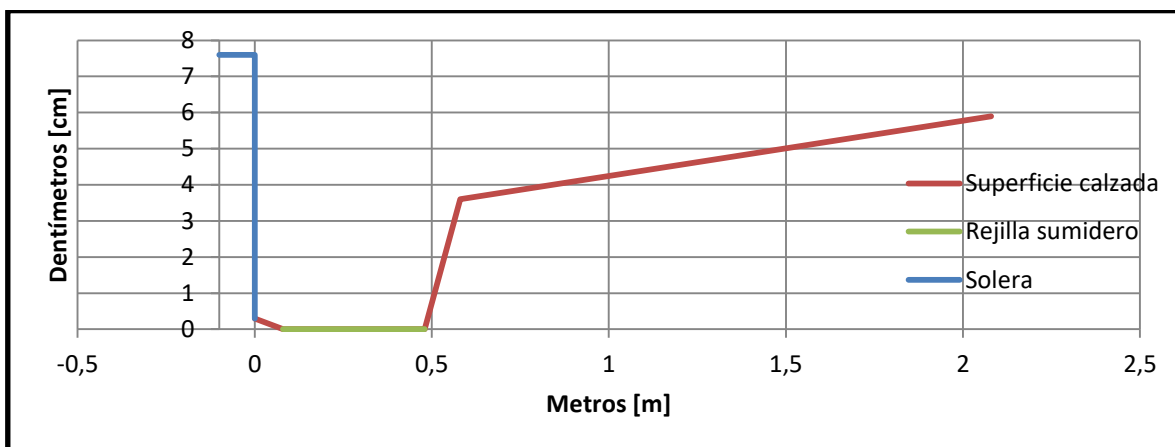


Figura D83. Sección Transversal Punto P66
(Fuente: Elaboración propia)

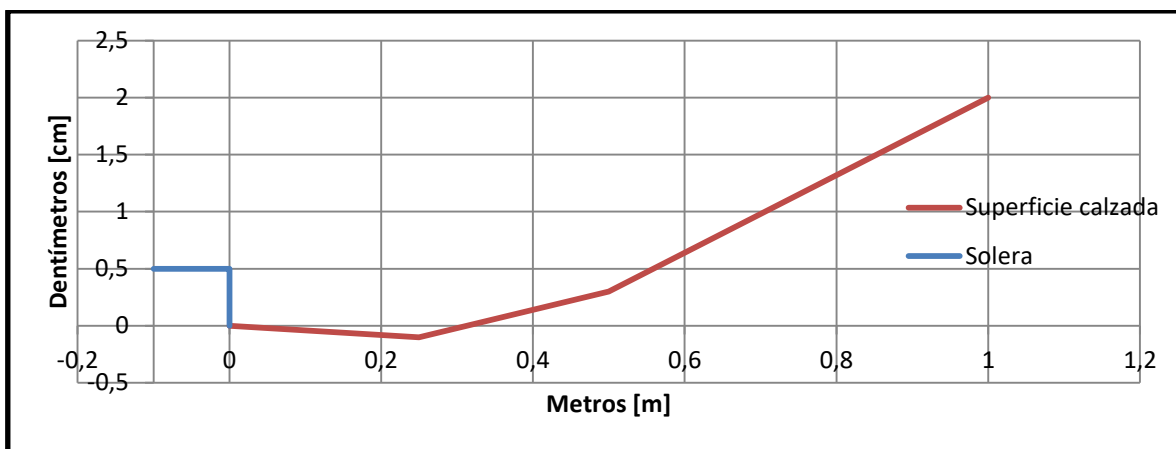


Figura D84. Sección Transversal Punto P67
(Fuente: Elaboración propia)

Sumidero S18

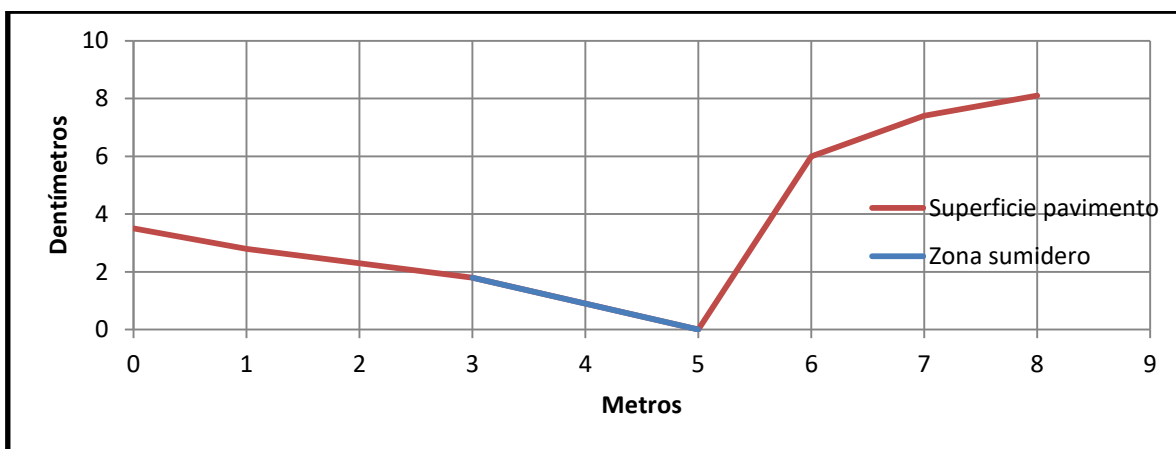


Figura D85. Sección Transversal Sumidero S18
(Fuente: Elaboración propia)

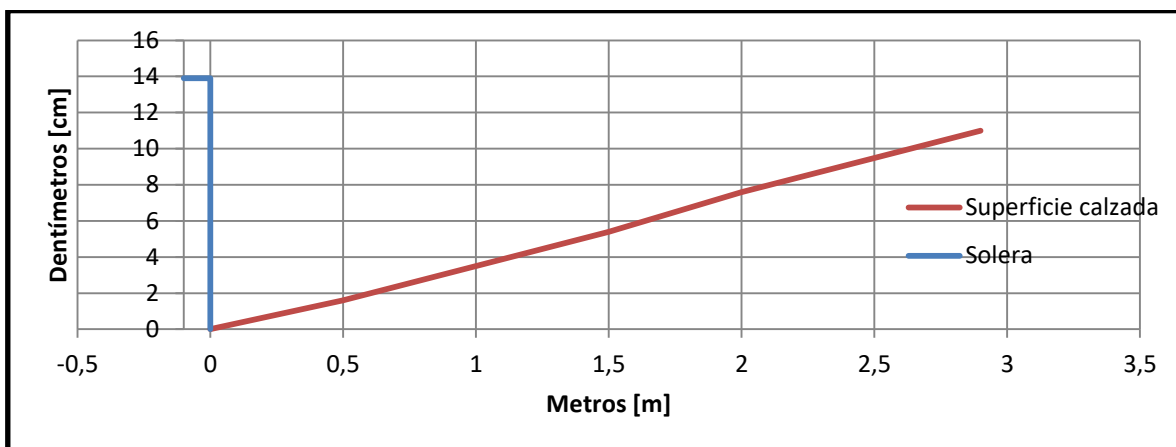


Figura D86. Sección Transversal Punto P68
(Fuente: Elaboración propia)

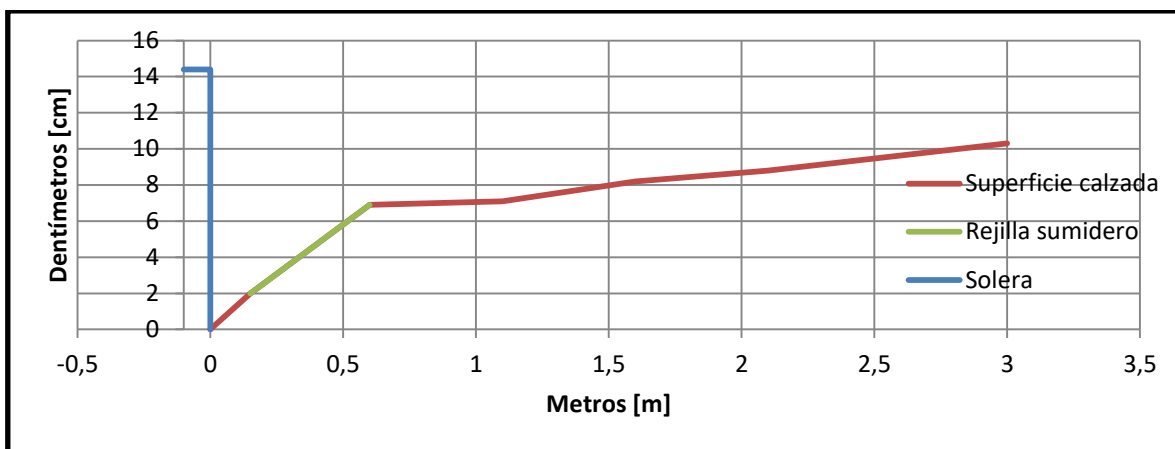


Figura D87. Sección Transversal Punto P69
(Fuente: Elaboración propia)

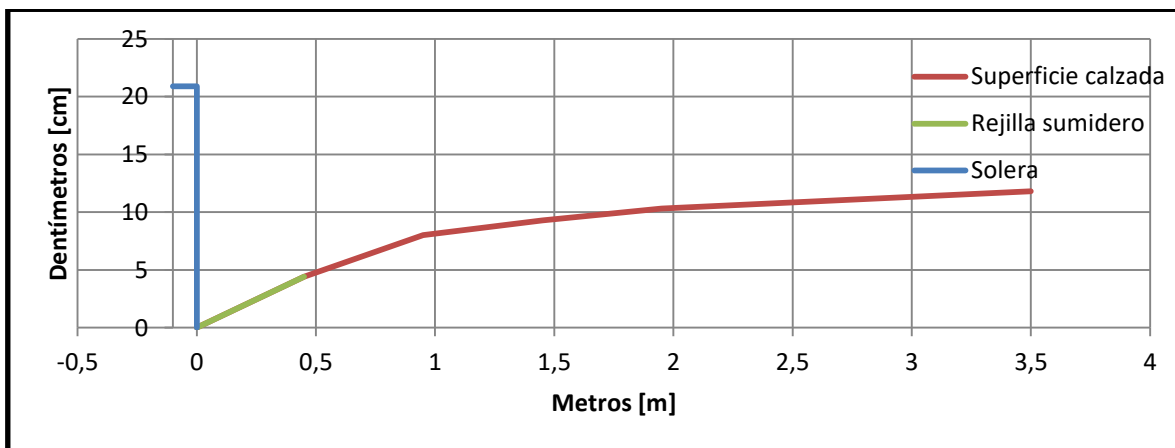


Figura D88. Sección Transversal Punto P70
(Fuente: Elaboración propia)

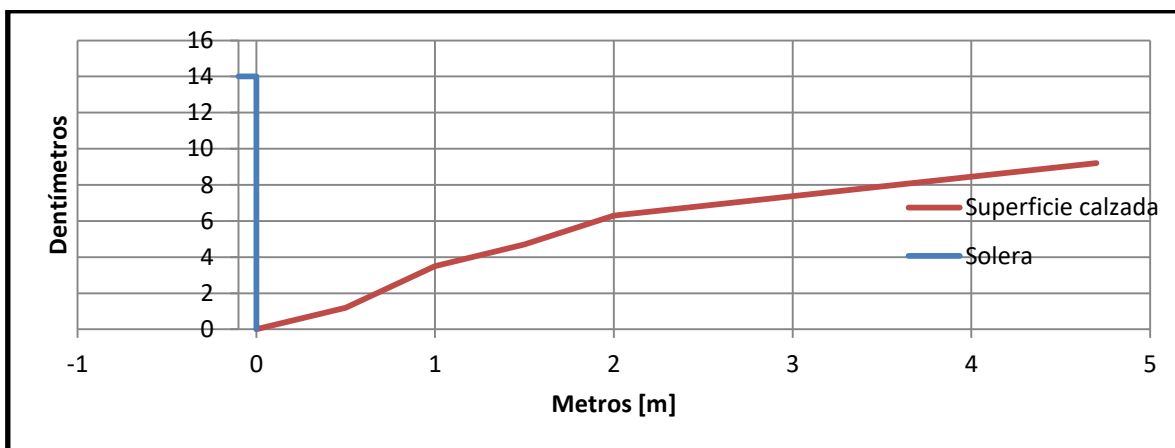


Figura D89. Sección Transversal Punto P71
(Fuente: Elaboración propia)

Sumidero S19

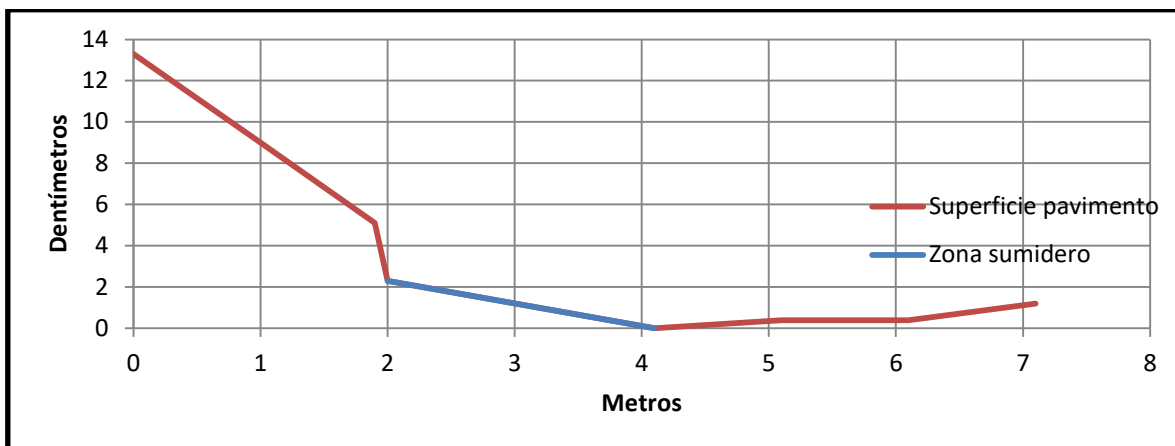


Figura D90. Perfil Longitudinal Sumidero S19
(Fuente: Elaboración propia)

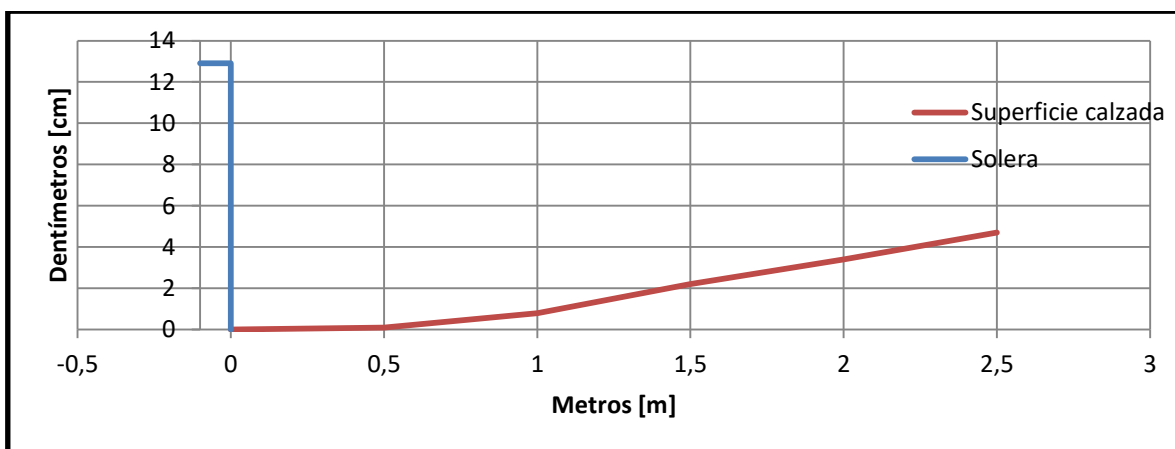


Figura D91. Sección Transversal Punto P72
(Fuente: Elaboración propia)

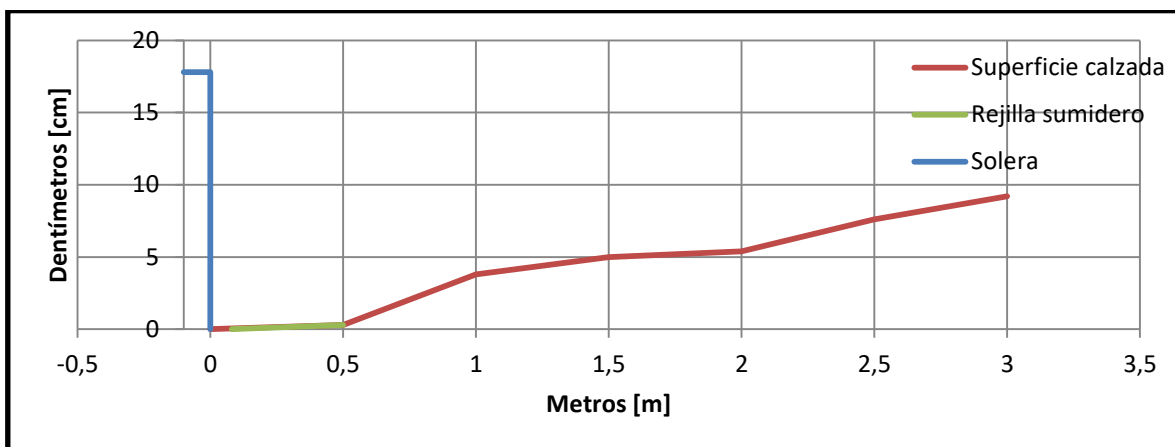


Figura D92. Sección Transversal Punto P73
(Fuente: Elaboración propia)

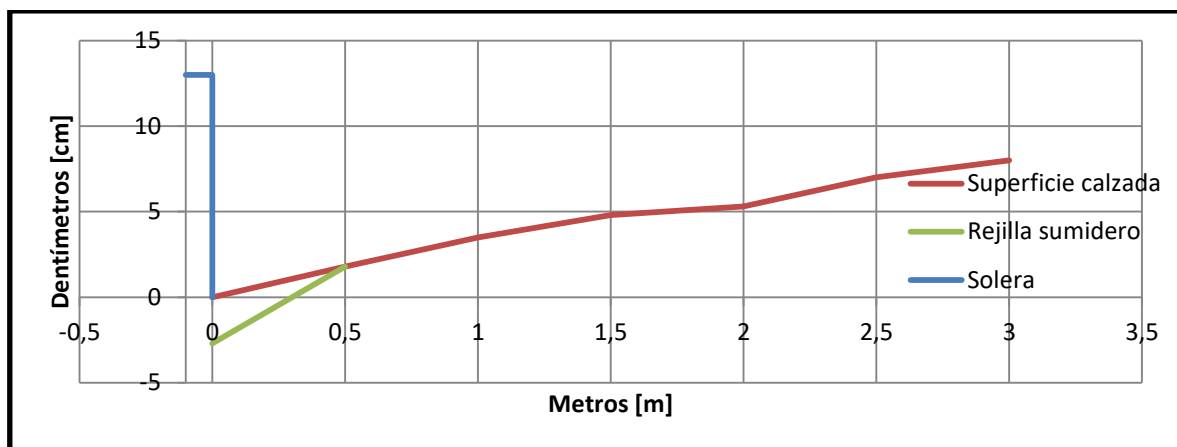


Figura D93. Sección Transversal Punto P74

(Fuente: Elaboración propia)

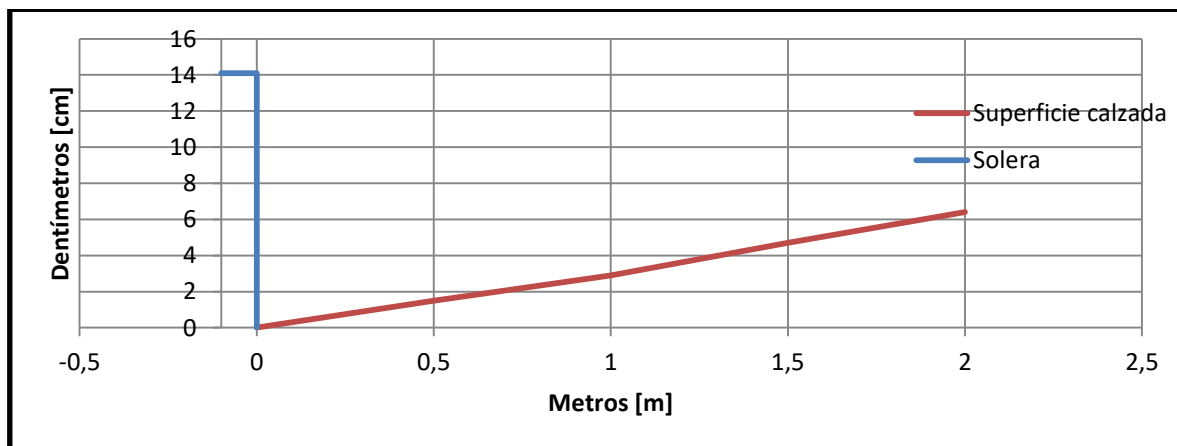


Figura D94. Sección Transversal Punto P75

(Fuente: Elaboración propia)

ANEXO E MEDICIONES DE VARIABLES DE OPERACIÓN

Se presentan en este anexo los valores medidos de ancho superficial en cada punto de control para cada tormenta y los valores calculados de profundidad de escurrimiento, asociados a los anchos superficiales y la geometría de la calzada en dicho punto. Además, según corresponda, se añaden los valores calculados de velocidad media y caudal, en caso de no haber estancamiento y de estar en presencia de flujo uniforme.

El coeficiente de rugosidad de Manning utilizado en este trabajo tiene un valor $n = 0.015$, recomendado para pavimentos asfálticos o de hormigón (Chow, 1994: 109; MINVU, 2005).

La pendiente longitudinal utilizada es del orden del 0.2% para todos los sumideros, de acuerdo a las mediciones de levantamiento topográfico realizadas.

Cabe señalar que, debido a la depresión en la calzada existente en la mayoría de los sumideros para aumentar su capacidad de captación de aguas, la sección transversal en los puntos de control ubicados en los bordes de las rejillas no corresponde al corte de un canal prismático, sobre todo en el caso en que el ancho superficial es mayor que al ancho de la rejilla

Tabla E1. Mediciones de variables de operación en Sumidero S01

Fecha Tormenta	Hora de Medición	Punto de Control	Ancho superficial [cm]	Profundidad [cm]	Velocidad media [m/s]	Caudal [l/s]	Observaciones
14/05/2014	12:57	P01	45	1,1	0,09	0,22	Rejilla obstruida con vegetación. Sumidero presenta dificultad para drenar escurrimiento.
		P02	15	1,0	-	-	
		P03	5	0,4	-	-	
		P04	7	0,6	0,06	0,01	
20/05/2014	14:12	P01	240	6,8	-	-	Sumidero colapsado.
		P02	250	11,9	-	-	
		P03	250	12,1	-	-	
		P04	>300	>>4	-	-	
28/05/2014	17:55	P01	110	3,1	-	-	Sumidero colapsado y tapado con hojas que sobresalen hasta la superficie.
		P02	100	7,5	-	-	
		P03	120	7,5	-	-	
		P04	>200	>4,0	-	-	
06/06/2014	13:08	P01	240	6,8	-	-	Sumidero colapsado.
		P02	250	11,9	-	-	
		P03	250	12,1	-	-	
		P04	>300	>>4	-	-	
31/07/2014	17:05	P01	70	1,8	-	-	Superficie libre del escurrimiento a nivel de rejilla, aunque sumidero aún capta caudal.
		P02	25	1,7	-	-	
		P03	10	0,8	-	-	
		P04	60	1,2	-	-	

(Fuente: elaboración propia)

Tabla E2. Mediciones de variables de operación en Sumidero S02

Fecha Tormenta	Hora de Medición	Punto de Control	Ancho superficial [cm]	Profundidad [cm]	Velocidad media [m/s]	Caudal [l/s]	Observaciones
14/05/2014	13:00	P05	30	1,5	-	-	Sumidero no capta la totalidad del flujo; ancho superficial medido desde 30 cm de la solera debido a sedimentos.
		P06	20	1,2	-	-	
		P07	44	3,8	-	-	
		P08	60	2,9	-	-	
20/05/2014	14:15	P05	60	3,1	-	-	Sumidero colapsado.
		P06	40	2,4	-	-	
		P07	90	9,4	-	-	
		P08	110	5,8	-	-	
28/05/2014	17:57	P05	50	2,5	-	-	Sumidero tapado, no se ve la rejilla.
		P06	60	5,3	-	-	
		P07	80	8,2	-	-	
		P08	100	9,9	-	-	
06/06/2014	13:02	P05	36	1,8	-	-	Sumidero entrega caudal a la calle; recibe escurrimiento que debería ser captado por el sumidero S01 y que es "empujado" por el tránsito vehicular.
		P06	64	5,8	-	-	
		P07	80	8,2	-	-	
		P08	100	9,9	-	-	
31/07/2014	17:07	P05	40	2,0	-	-	Sumidero colapsado.
		P06	40	2,4	-	-	
		P07	70	7,0	-	-	
		P08	80	4,0	-	-	

(Fuente: elaboración propia)

Tabla E3. Mediciones de variables de operación en Sumidero S03

Fecha Tormenta	Hora de Medición	Punto de Control	Ancho superficial [cm]	Profundidad [cm]	Velocidad media [m/s]	Caudal [l/s]	Observaciones
14/05/2014	13:05	P09	18	1,5	-	-	Sumidero lleno, recibe caudal de ambos sentidos; flujo abarca totalidad de la cuneta en punto 12.
		P10	17	0,3	-	-	
		P11	90	2,5	-	-	
		P12	46	4,3	-	-	
20/05/2014	14:21	P09	400	13,0	-	-	Imposible medir ancho superficial, sumidero colapsado.
		P10	450	13,0	-	-	
		P11	>450	15,0	-	-	
		P12	>450	15,0	-	-	
28/05/2014	18:00	P09	>400	>13	-	-	Sumidero completamente tapado, rejilla tapada con hojas.
		P10	>450	>15	-	-	
		P11	>450	>15	-	-	
		P12	>450	>15	-	-	
06/06/2014	12:56	P09	200	7,1	-	-	Sumidero colapsado.
		P10	220	7,1	-	-	
		P11	225	8,0	-	-	
		P12	210	11,5	-	-	
31/07/2014	17:09	P09	45	3,7	-	-	Sumidero colapsado.
		P10	70	2,6	-	-	
		P11	115	3,4	-	-	
		P12	45	4,3	-	-	

(Fuente: elaboración propia)

Tabla E4. Mediciones de variables de operación en Sumidero S04

Fecha Tormenta	Hora de Medición	Punto de Control	Ancho superficial [cm]	Profundidad [cm]	Velocidad media [m/s]	Caudal [l/s]	Observaciones
14/05/2014	13:09	P13	77	4,2	-	-	Sumidero aporta caudal a la calle.
		P14	110	3,8	-	-	
		P15	130	3,9	-	-	
		P16	70	3,3	-	-	
20/05/2014	14:30	P13	130	7,5	-	-	Sumidero aporta caudal a la calle.
		P14	220	7,5	-	-	
		P15	240	7,9	-	-	
		P16	200	8,3	-	-	
28/05/2014	18:04	P13	120	6,9	-	-	Sumidero aporta caudal a la calle.
		P14	>220	7,5	-	-	
		P15	-	-	-	-	
		P16	170	7,3	-	-	
06/06/2014	12:53	P13	100	5,8	-	-	Sumidero aporta caudal a la calle.
		P14	180	6,2	-	-	
		P15	180	5,5	-	-	
		P16	120	5,6	-	-	
31/07/2014	17:12	P13	90	5,1	-	-	Sumidero aporta caudal a la calle.
		P14	140	4,9	-	-	
		P15	140	4,3	-	-	
		P16	80	3,8	-	-	

(Fuente: elaboración propia)

Tabla E5. Mediciones de variables de operación en Sumidero S05

Fecha Tormenta	Hora de Medición	Punto de Control	Ancho superficial [cm]	Profundidad [cm]	Velocidad media [m/s]	Caudal [l/s]	Observaciones
14/05/2014	13:18	P17	90	3,1	0,20	3,03	Sumidero funcionando al 100%; flujo afectado por tránsito vehicular; presencia de barro en P20.
		P18	80	2,2	-	-	
		P19	65	1,4	-	-	
		P20	87	-	-	-	
20/05/2014	14:35	P17	100	3,5	0,21	4,20	Sumidero funcionando al 100%; flujo afectado por tránsito vehicular; presencia de barro en P19 y P20.
		P18	90	3,0	-	-	
		P19	-	-	-	-	
		P20	-	-	-	-	
28/05/2014	18:08	P17	130	5,1	0,27	10,33	Borde en punto P19 recibe caudal proveniente del sector sur y de Gral. Novoa. Presencia de barro en P20.
		P18	120	5,2	-	-	
		P19	100	3,6	-	-	
		P20	-	-	-	-	
06/06/2014	12:46	P17	60	1,7	0,13	0,74	Sin flujo en P19 y P20.
		P18	60	1,1	-	-	
		P19	0	0,0	-	-	
		P20	0	0,0	0,00	0,00	
31/07/2014	17:15	P17	80	2,6	0,18	2,08	Sumidero trabaja bien; no se puede determinar ancho superficial en punto 20 por presencia de barro.
		P18	70	1,5	-	-	
		P19	70	1,7	-	-	
		P20	-	-	-	-	

(Fuente: elaboración propia)

Tabla E6. Mediciones de variables de operación en Sumidero S06

Fecha Tormenta	Hora de Medición	Punto de Control	Ancho superficial [cm]	Profundidad [cm]	Velocidad media [m/s]	Caudal [l/s]	Observaciones
14/05/2014	13:22	P21	180	9,1	0,21	20,33	Sumidero capta totalidad del flujo. No hay registro en P23.
		P22	160	7,3	-	-	
		P23	-	-	-	-	
		P24	30	0,9	0,13	1,20	
20/05/2014	14:43	P21	130	7,5	0,28	10,88	Sumidero trabajando a la perfección.
		P22	80	4,5	-	-	
		P23	120	4,6	-	-	
		P24	160	4,8	0,41	17,40	
28/05/2014	18:12	P21	>300	>12	-	-	Sumidero no drena toda el agua de la calle, incluso ésta se cambia de pista pasando a formar parte del flujo que recibe el sumidero ubicado en la cuneta opuesta.
		P22	>300	>10	-	-	
		P23	>300	>10	-	-	
		P24	>300	>8	-	-	
06/06/2014	12:42	P21	65	4,8	0,22	3,15	Sin flujo en P23 y P24.
		P22	45	3,0	-	-	
		P23	0	0,0	-	-	
		P24	0	0,0	0,00	0,00	
31/07/2014	17:17	P21	140	7,8	0,28	12,40	Sumidero trabaja bien a pesar de tener hojas en la rejilla. Sin flujo en P23 y P24.
		P22	110	5,4	-	-	
		P23	0	0,0	-	-	
		P24	0	0,0	0,00	0,00	

(Fuente: elaboración propia)

Tabla E7. Mediciones de variables de operación en Sumidero S07

Fecha Tormenta	Hora de Medición	Punto de Control	Ancho superficial [cm]	Profundidad [cm]	Velocidad media [m/s]	Caudal [l/s]	Observaciones
14/05/2014	13:27	P25	30	0,5	0,06	0,05	Presencia de hojas dificulta el acceso del agua.
		P26	23	1,1	-	-	
		P27	45	3,1	-	-	
		P28	28	1,5	0,11	0,22	
20/05/2014	14:49	P25	>450	>10	-	-	Sumidero colapsado; superficie libre del escurrimiento al borde de la solera.
		P26	>450	>13	-	-	
		P27	>450	>17	-	-	
		P28	>450	>12	-	-	
28/05/2014	18:15	P25	>450	>13	-	-	Flujo 3 cm sobre la solera. Sumidero colapsado.
		P26	>450	>16	-	-	
		P27	>450	>20	-	-	
		P28	>450	>15	-	-	
06/06/2014	12:39	P25	0	0,0	0,00	0,00	Sin flujo en puntos 25 y 26.
		P26	0	0,0	-	-	
		P27	45	3,1	-	-	
		P28	70	3,4	0,18	2,08	
31/07/2014	17:18	P25	0	0,0	0,00	0,00	Sin flujo en puntos 25 y 26.
		P26	0	0,0	-	-	
		P27	50	3,4	-	-	
		P28	80	3,8	0,20	2,82	

(Fuente: elaboración propia)

Tabla E8. Mediciones de variables de operación en Sumidero S08

Fecha Tormenta	Hora de Medición	Punto de Control	Ancho superficial [cm]	Profundidad [cm]	Velocidad media [m/s]	Caudal [l/s]	Observaciones
14/05/2014	13:30	P29	0	0,0	0,00	0,00	Sin flujo en puntos 29 y 30.
		P30	0	0,0	-	-	
		P31	70	0,7	-	-	
		P32	40	1,0	0,09	0,18	
20/05/2014	14:53	P29	0	0,0	0,00	0,00	Sin flujo.
		P30	0	0,0	-	-	
		P31	0	0,0	-	-	
		P32	0	0,0	0,00	0,00	
28/05/2014	18:17	P29	0	0,0	0,00	0,00	Sin flujo en puntos 29 y 30.
		P30	0	0,0	-	-	
		P31	90	1,7	-	-	
		P32	50	1,3	0,10	0,33	
06/06/2014	12:36	P29	0	0,0	0,00	0,00	Sin flujo.
		P30	0	0,0	-	-	
		P31	0	0,0	-	-	
		P32	0	0,0	0,00	0,00	
31/07/2014	17:20	P29	0	0,0	0,00	0,00	Sin flujo.
		P30	0	0,0	-	-	
		P31	0	0,0	-	-	
		P32	0	0,0	0,00	0,00	

(Fuente: elaboración propia)

Tabla E9. Mediciones de variables de operación en Sumidero S09

Fecha Tormenta	Hora de Medición	Punto de Control	Ancho superficial [cm]	Profundidad [cm]	Velocidad media [m/s]	Caudal [l/s]	Observaciones
14/05/2014	13:33	P33	0	0,0	0,00	0,00	Sin flujo.
		P34	0	0,0	-	-	
		P35	0	0,0	-	-	
		P36	0	0,0	0,00	0,00	
20/05/2014	14:56	P33	0	0,0	0,00	0,00	Sin flujo.
		P34	0	0,0	-	-	
		P35	0	0,0	-	-	
		P36	0	0,0	0,00	0,00	
28/05/2014	18:19	P33	>300	>7	-	-	Esguerrimiento alcanza cota más alta de la calle, sobrepasando la solera.
		P34	>300	>8	-	-	
		P35	>300	>11	-	-	
		P36	>300	>17	-	-	
06/06/2014	12:34	P33	0	0,0	0,00	0,00	Sin flujo.
		P34	0	0,0	-	-	
		P35	0	0,0	-	-	
		P36	0	0,0	0,00	0,00	
31/07/2014	17:20	P33	0	0,0	0,00	0,00	Sin flujo.
		P34	0	0,0	-	-	
		P35	0	0,0	-	-	
		P36	0	0,0	0,00	0,00	

(Fuente: elaboración propia)

Tabla E10. Mediciones de variables de operación en Sumidero S10

Fecha Tormenta	Hora de Medición	Punto de Control	Ancho superficial [cm]	Profundidad [cm]	Velocidad media [m/s]	Caudal [l/s]	Observaciones
14/05/2014	13:33	P37	37	1,8	0,12	0,41	Sin flujo en puntos 39 y 40. Presencia de barro y vegetación obstruyen salida del sumidero.
		P38	40	1,7	-	-	
		P39	0	0,0	-	-	
		P40	0	0,0	0,00	0,00	
20/05/2014	14:56	P37	37	1,8	0,12	0,41	Rejilla obstruida con hojas y envoltorios plásticos (<15% libre). Sin flujo en puntos 39 y 40.
		P38	45	1,9	-	-	
		P39	0	0,0	-	-	
		P40	0	0,0	0,00	0,00	
28/05/2014	18:19	P37	70	3,3	0,19	2,15	Sumidero recibe caudal de pista de enfrente, que debería ser captado por sumidero S06; sumidero tiene presencia de barro y plantas en crecimiento, pero aún así funciona bien.
		P38	90	4,2	-	-	
		P39	0	0,0	-	-	
		P40	0	0,0	0,00	0,00	
06/06/2014	12:28	P37	0	0,0	0,00	0,00	Sin flujo.
		P38	0	0,0	-	-	
		P39	0	0,0	-	-	
		P40	0	0,0	0,00	0,00	
31/07/2014	17:21	P37	20	1,0	0,08	0,08	Sin flujo en puntos 39 y 40.
		P38	30	1,3	-	-	
		P39	0	0,0	-	-	
		P40	0	0,0	0,00	0,00	

(Fuente: elaboración propia)

Tabla E11. Mediciones de variables de operación en Sumidero S11

Fecha Tormenta	Hora de Medición	Punto de Control	Ancho superficial [cm]	Profundidad [cm]	Velocidad media [m/s]	Caudal [l/s]	Observaciones
14/05/2014	13:41	P41	30	2,7	0,16	0,64	Presencia de basura sobre rejilla dificulta desempeño de sumidero.
		P42	25	0,5	-	-	
		P43	30	2,8	-	-	
		P44	54	3,1	0,18	1,58	
20/05/2014	14:58	P41	25	2,3	0,14	0,40	Rejilla tapada con vegetación, tapas plásticas y envoltorios, pero trabajando correctamente.
		P42	10	0,2	-	-	
		P43	23	2,2	-	-	
		P44	43	2,4	0,15	0,78	
28/05/2014	18:27	P41	40	3,6	0,19	1,39	Gran parte de la rejilla obstruida; el escurrimiento pasa sobre la rejilla y cae en un hoyo formado entre la calzada y la rejilla, irónicamente esto lo hace funcionar mejor.
		P42	50	1,1	-	-	
		P43	90	7,8	-	-	
		P44	60	3,6	0,20	2,33	
06/06/2014	12:24	P41	25	2,3	0,14	0,40	Restos de hojas y bolsas plásticas en los primeros espacios de la rejilla.
		P42	30	0,7	-	-	
		P43	27	2,5	-	-	
		P44	45	2,5	0,16	0,88	
31/07/2014	17:24	P41	50	4,5	0,22	2,52	Rejilla con presencia de hojas y basura que no dificultan su desempeño.
		P42	35	0,8	-	-	
		P43	50	4,7	-	-	
		P44	60	3,6	0,20	2,33	

(Fuente: elaboración propia)

Tabla E12. Mediciones de variables de operación en Sumidero S12

Fecha Tormenta	Hora de Medición	Punto de Control	Ancho superficial [cm]	Profundidad [cm]	Velocidad media [m/s]	Caudal [l/s]	Observaciones
14/05/2014	13:43	P45	60	3,9	0,20	2,31	Sin flujo en puntos 47 y 48; agua estancada en punto 48. Sección en punto P45 no presenta solera ni acera, no es posible determinar velocidad ni caudal en la sección.
		P46	50	-	-	-	
		P47	0	0,0	-	-	
		P48	0	0,0	0,00	0,00	
20/05/2014	15:15	P45	29	0,2	0,13	0,37	No se puede medir ancho superficial en punto 46 debido a condiciones geométricas; sin caudal en puntos 47 y 48.
		P46	-	-	-	-	
		P47	0	0,0	-	-	
		P48	0	0,0	0,00	0,00	
28/05/2014	18:31	P45	0	0,0	0,00	0,00	Sin flujo.
		P46	0	0,0	-	-	
		P47	0	0,0	-	-	
		P48	0	0,0	0,00	0,00	
06/06/2014	12:20	P45	37	2,5	0,15	0,71	Sin flujo en puntos 47 y 48.
		P46	50	-	-	-	
		P47	0	0,0	-	-	
		P48	0	0,0	0,00	0,00	
31/07/2014	17:35	P45	60	3,9	0,20	2,31	Sin flujo en puntos 47 y 48.
		P46	50	-	-	-	
		P47	0	0,0	-	-	
		P48	0	0,0	0,00	0,00	

(Fuente: elaboración propia)

Tabla E13. Mediciones de variables de operación en Sumidero S13

Fecha Tormenta	Hora de Medición	Punto de Control	Ancho superficial [cm]	Profundidad [cm]	Velocidad media [m/s]	Caudal [l/s]	Observaciones
14/05/2014	13:46	P49	-	-	-	-	Vehículo estacionado en puntos 49 y 50; sumidero capta todo el flujo.
		P50	-	-	-	-	
		P51	40	3,2	-	-	
		P52	33	2,0	0,13	0,46	
20/05/2014	15:16	P49	30	1,1	0,09	0,15	Presencia de vegetación, botellas, basura en general, aún así el sumidero trabaja correctamente.
		P50	20	1,5	-	-	
		P51	-	-	-	-	
		P52	25	1,5	0,11	0,22	
28/05/2014	18:35	P49	-	-	-	-	Vehículos estacionados sobre sumidero imposibilitan medición, e influyen directamente en el flujo. Se aprecia que el flujo no es mayor y sumidero lo drena sin dificultad.
		P50	-	-	-	-	
		P51	-	-	-	-	
		P52	-	-	-	-	
06/06/2014	12:17	P49	-	-	-	-	Vehículos estacionados sobre sumidero imposibilitan medición, e influyen directamente en el flujo. Se aprecia que el flujo no es mayor y sumidero lo drena sin dificultad.
		P50	-	-	-	-	
		P51	-	-	-	-	
		P52	-	-	-	-	
31/07/2014	17:36	P49	0	0,0	0,00	0,00	Sin flujo.
		P50	0	0,0	-	-	
		P51	0	0,0	-	-	
		P52	0	0,0	0,00	0,00	

(Fuente: elaboración propia)

Tabla E14. Mediciones de variables de operación en Sumidero S14

Fecha Tormenta	Hora de Medición	Punto de Control	Ancho superficial [cm]	Profundidad [cm]	Velocidad media [m/s]	Caudal [l/s]	Observaciones
14/05/2014	13:49	P53	0	0,0	0,00	0,00	Sin flujo en puntos 53 y 54; hojas a la entrada del sumidero en punto 55; auto estacionado en punto 56.
		P54	0	0,0	-	-	
		P55	60	2,5	-	-	
		P56	-	-	-	-	
20/05/2014	15:17	P53	0	0,0	0,00	0,00	Sin flujo.
		P54	0	0,0	-	-	
		P55	0	0,0	-	-	
		P56	0	0,0	0,00	0,00	
28/05/2014	18:35	P53	0	0,0	0,00	0,00	Sin flujo en puntos 53 y 54.
		P54	0	0,0	-	-	
		P55	10	0,5	-	-	
		P56	50	2,0	0,13	0,67	
06/06/2014	12:15	P53	0	0,0	0,00	0,00	Sin flujo.
		P54	0	0,0	-	-	
		P55	0	0,0	-	-	
		P56	0	0,0	0,00	0,00	
31/07/2014	17:36	P53	0	0,0	0,00	0,00	Sin flujo.
		P54	0	0,0	-	-	
		P55	0	0,0	-	-	
		P56	0	0,0	0,00	0,00	

(Fuente: elaboración propia)

Tabla E15. Mediciones de variables de operación en Sumidero S15

Fecha Tormenta	Hora de Medición	Punto de Control	Ancho superficial [cm]	Profundidad [cm]	Velocidad media [m/s]	Caudal [l/s]	Observaciones
14/05/2014	13:54	P57	90	3,0	0,17	2,04	Presencia de hojas a la entrada del sumidero, pero no dificultan su desempeño.
		P58	97	3,0	-	-	
		P59	80	2,2	-	-	
		P60	100	2,7	0,17	2,45	
20/05/2014	15:26	P57	40	1,6	0,12	0,37	Sumidero con rejillas obstruidas.
		P58	55	0,3	-	-	
		P59	60	0,6	-	-	
		P60	50	1,2	0,10	0,29	
28/05/2014	18:39	P57	80	2,8	0,16	1,59	Primeros espacios de rejilla tapados, el agua es captada por la segunda columna de espacios.
		P58	110	3,7	-	-	
		P59	80	2,2	-	-	
		P60	140	4,6	0,26	9,70	
06/06/2014	12:08	P57	90	3,0	0,17	2,04	Sumidero limpio y trabajando correctamente.
		P58	60	0,6	-	-	
		P59	70	1,8	-	-	
		P60	80	2,1	0,15	1,29	
31/07/2014	17:38	P57	90	3,0	0,17	2,04	Sumidero trabaja correctamente, rejilla con bolsas plásticas que no influyen en su desempeño.
		P58	90	2,6	-	-	
		P59	80	2,2	-	-	
		P60	110	3,2	0,20	3,81	

(Fuente: elaboración propia)

Tabla E16. Mediciones de variables de operación en Sumidero S16

Fecha Tormenta	Hora de Medición	Punto de Control	Ancho superficial [cm]	Profundidad [cm]	Velocidad media [m/s]	Caudal [l/s]	Observaciones
14/05/2014	13:57	P61	80	3,0	0,20	2,93	Sin flujo en puntos 63 y 64; sumidero está siendo limpiado en el acto.
		P62	25	0,7	-	-	
		P63	0	0,0	-	-	
		P64	0	0,0	0,00	0,00	
20/05/2014	15:33	P61	40	1,0	0,09	0,18	Sin flujo, rejillas obstruidas con vegetación.
		P62	0	0,0	-	-	
		P63	0	0,0	-	-	
		P64	0	0,0	0,00	0,00	
28/05/2014	18:41	P61	80	3,0	0,20	2,93	Sin flujo en puntos 63 y 64.
		P62	40	1,1	-	-	
		P63	0	0,0	-	-	
		P64	0	0,0	0,00	0,00	
06/06/2014	12:08	P61	40	-	-	-	40 cm de agua estancada en punto 61; sin flujo en los demás puntos.
		P62	0	0,0	-	-	
		P63	0	0,0	-	-	
		P64	0	0,0	0,00	0,00	
31/07/2014	17:39	P61	80	3,0	0,20	2,93	Sin flujo en puntos 63 y 64.
		P62	25	0,7	-	-	
		P63	0	0,0	-	-	
		P64	0	0,0	0,00	0,00	

(Fuente: elaboración propia)

Tabla E17. Mediciones de variables de operación en Sumidero S17

Fecha Tormenta	Hora de Medición	Punto de Control	Ancho superficial [cm]	Profundidad [cm]	Velocidad media [m/s]	Caudal [l/s]	Observaciones
14/05/2014	14:00	P65	0	0,0	0,00	0,00	Sin flujo.
		P66	0	0,0	0,00	0,00	
		P67	0	0,0	0,00	0,00	
20/05/2014	15:33	P65	0	0,0	0,00	0,00	Sumidero completamente limpio.
		P66	0	0,0	0,00	0,00	
		P67	0	0,0	0,00	0,00	
28/05/2014	18:43	P65	0	0,0	0,00	0,00	Sin flujo.
		P66	0	0,0	0,00	0,00	
		P67	0	0,0	0,00	0,00	
06/06/2014	12:06	P65	0	0,0	0,00	0,00	Sin flujo.
		P66	0	0,0	0,00	0,00	
		P67	0	0,0	0,00	0,00	
31/07/2014	17:40	P65	0	0,0	0,00	0,00	Sin flujo.
		P66	0	0,0	0,00	0,00	
		P67	0	0,0	0,00	0,00	

(Fuente: elaboración propia)

Tabla E18. Mediciones de variables de operación en Sumidero S18

Fecha Tormenta	Hora de Medición	Punto de Control	Ancho superficial [cm]	Profundidad [cm]	Velocidad media [m/s]	Caudal [l/s]	Observaciones
14/05/2014	14:00	P68	55	1,8	0,13	0,63	Capta totalidad del flujo.
		P69	20	2,5	-	-	
		P70	30	2,9	-	-	
		P71	45	1,1	0,09	0,22	
20/05/2014	15:33	P68	0	0,0	0,00	0,00	Rejilla parcialmente obstruida; no hay flujo.
		P69	0	0,0	-	-	
		P70	0	0,0	-	-	
		P71	0	0,0	0,00	0,00	
28/05/2014	18:44	P68	90	3,1	0,19	2,74	
		P69	40	4,7	-	-	
		P70	70	6,2	-	-	
		P71	60	1,7	0,13	0,71	
06/06/2014	12:06	P68	0	0,0	0,00	0,00	Sin flujo.
		P69	0	0,0	-	-	
		P70	0	0,0	-	-	
		P71	0	0,0	0,00	0,00	
31/07/2014	17:42	P68	50	1,6	0,13	0,63	
		P69	20	2,5	-	-	
		P70	30	2,9	-	-	
		P71	40	1,0	0,08	0,16	

(Fuente: elaboración propia)

Tabla E19. Mediciones de variables de operación en Sumidero S19

Fecha Tormenta	Hora de Medición	Punto de Control	Ancho superficial [cm]	Profundidad [cm]	Velocidad media [m/s]	Caudal [l/s]	Observaciones
14/05/2014	14:02	P72	40	0,1	0,02	0,00	Capta totalidad del flujo.
		P73	10	0,1	-	-	
		P74	20	0,7	-	-	
		P75	25	0,8	0,07	0,07	
20/05/2014	15:33	P72	0	0,0	0,00	0,00	Sin flujo; sumidero completamente limpio.
		P73	0	0,0	-	-	
		P74	0	0,0	-	-	
		P75	0	0,0	0,00	0,00	
28/05/2014	18:46	P72	90	0,7	0,08	0,34	
		P73	-	-	-	-	
		P74	70	2,5	-	-	
		P75	80	2,3	0,15	1,37	
06/06/2014	12:05	P72	0	0,0	0,00	0,00	Sin flujo.
		P73	0	0,0	-	-	
		P74	0	0,0	-	-	
		P75	0	0,0	0,00	0,00	
31/07/2014	17:45	P72	35	0,1	0,01	0,00	
		P73	65	1,3	-	-	
		P74	20	0,7	-	-	
		P75	40	1,2	0,10	0,23	

(Fuente: elaboración propia)