



UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES

Trabajo de Fin de Carrera Titulado:

**“EVALUACIÓN HIDRÁULICA ENERGÉTICA EN SISTEMAS DE
ALCANTARILLADO”**

Realizado por:

ALEJANDRO PAÚL LÓPEZ MOYA

Director del proyecto:

Msc. Mónica Delgado Yánez

Como requisito para la obtención del título de:

**MAGISTER EN ECOEFICIENCIA INDUSTRIAL, MENCIÓN EN EFICIENCIA
ENERGÉTICA**

Quito, 09 de marzo de 2020

EVALUACIÓN HIDRÁULICA ENERGÉTICA EN SISTEMAS DE ALCANTARILLADO

DECLARACIÓN JURAMENTADA

Yo, ALEJANDRO PAÚL LÓPEZ MOYA, con cédula de identidad número 1720941648, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado a calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.



FIRMA

ALEJANDRO PAÚL LÓPEZ MOYA

1720941648

EVALUACIÓN HIDRÁULICA ENERGÉTICA EN SISTEMAS DE ALCANTARILLADO

DECLARATORIA

El presente trabajo de investigación titulado:

EVALUACIÓN HIDRÁULICA ENERGÉTICA EN SISTEMAS DE ALCANTARILLADO

Realizado por:

ALEJANDRO PAÚL LÓPEZ MOYA

como Requisito para la Obtención del Título de:

MAGISTER EN ECOEFICIENCIA INDUSTRIAL, MENCIÓN: EFICIENCIA ENERGÉTICA

ha sido dirigido por el profesor

MÓNICA DELGADO YÁNEZ

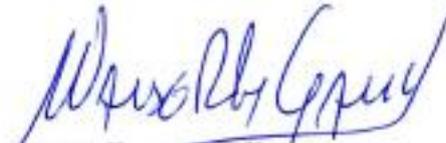
Quien considera que constituye un trabajo original de su autor



FIRMA

LOS PROFESORES INFORMANTES

Los Profesores Informantes:



Walberto Gallegos



Jefferson Rubio

Después de revisar el trabajo presentado,

lo han calificado como apto para su defensa oral

ante el tribunal examinador



Walberto Gallegos



Jefferson Rubio

Quito, 09 de marzo de 2020

EVALUACIÓN HIDRÁULICA ENERGÉTICA EN SISTEMAS DE ALCANTARILLADO

DEDICATORIA

A mis padres Patricia y Rigoberto, con su esfuerzo, ejemplo y sabiduría me han encaminado y apoyado incondicionalmente.

EVALUACIÓN HIDRÁULICA ENERGÉTICA EN SISTEMAS DE ALCANTARILLADO

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, a la vida por brindarme la oportunidad para alcanzar otra meta en mi carrera profesional, a la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento, a mis amigos y compañeros quienes han sido un pilar fundamental en el transcurso de la carrera.

EVALUACIÓN HIDRÁULICA ENERGÉTICA EN SISTEMAS DE ALCANTARILLADO

Para someter a:

To be Submitted:

EVALUACIÓN HIDRÁULICA ENERGÉTICA EN SISTEMAS DE ALCANTARILLADO

Alejandro Paúl López Moya¹,

Mónica Susana Delgado Yáñez²

¹Universidad Internacional SEK, Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales, Quito,
Ecuador. 09/03/2020 17:00

*AUTOR DE CORRESPONDENCIA: Mónica Delgado Yáñez, Ph.D(c), Universidad
Internacional SEK, Facultad de Ciencias Ambientales y Naturales, Quito, Ecuador.

Teléfono: +593 984042278; email: monica.delgado@uisek.edu.ec

EVALUACIÓN HIDRÁULICA ENERGÉTICA EN SISTEMAS DE ALCANTARILLADO

Resumen

El crecimiento poblacional desordenado puede afectar el comportamiento hidráulico de los sistemas de alcantarillado provocando sobrepresiones, que determina prematuramente el fin de período de vida útil del sistema.

Por lo cual el presente trabajo tiene como finalidad realizar una evaluación hidroenergética de un sistema a gravedad. La metodología usada es el método racional, a fin de obtener gradiente de energía y perfil hidráulico.

Se trabaja para un caso de estudio, ubicado en la zona centro sur en Quito-Ecuador, las Curvas de Intensidad, duración y frecuencia IDF tomadas fueron de la estación Quito - Observatorio y el coeficiente de escorrentía urbana para Método Racional en Tormentas de Recurrencia de 5-10 años en tormentas recurrentes fue de 0.4 a 0.75. Se considera el diámetro mínimo operativo real de 200 y 300 mm. La evaluación energética nos deja ver que el sistema no cumple la relación "calado/altura del conducto y se determinó >2 cuando el nivel de agua es mayor que la altura de la tubería. El tiempo de simulación fue de 120 minutos, a 25 años de retorno, el área total en estudio es de 3.78 Ha, y una población servida aproximadamente de 605 habitantes; la longitud total de la red evaluada es 382 metros, misma que se compone por secciones circulares y rectangulares en toda su longitud. La evaluación hidráulica energética muestra datos de exceso de carga de caudal sobre la cota del terreno, es decir la cantidad de agua que desborda por el pozo de revisión, en los seis primeros pozos en el séptimo, octavo y noveno pozo, no existe desbordamiento de agua, lo cual fue fundamental para posterior mantenimiento de la red y se realizaron los cambios de las secciones de la tubería, es decir de 200 mm a 300 y 400 mm de PVC, para un tiempo de máxima intensidad de lluvia entre los 35 y 40 minutos, con una gradiente hidráulica es de 0,01104 constante.

EVALUACIÓN HIDRÁULICA ENERGÉTICA EN SISTEMAS DE ALCANTARILLADO

Palabras clave: Alcantarillado, Impacto Ambiental, Calidad ambiental, Ingeniería Hidráulica, Saneamiento.

Abstract

Disordered population growth can affect the behavior of sewerage systems causing overpressures, which prematurely determines the end of the system's life span.

Therefore, the purpose of this work is to carry out a hydro-energy modeling of a gravity system. The methodology used is the rational method, in order to obtain energy gradient and hydraulic profile.

We are working for a case study, located in the south central zone in Quito-Ecuador, the IDF intensity, duration and frequency curves taken were 7 stations and the runoff coefficient was for the Rational method in recurrent storms 0.4 to 0.75. The minimum operating diameter of 200 and 300 mm is considered. The energy assessment shows us that the system does not meet the "draft / height of the duct and > 2 was determined when the water level is greater than the height of the pipe. The simulation time was 120 minutes, at 25 years of return, the total area under study is 3.78 hectares, and a population served approximately 605 inhabitants, the total length of the evaluated network is 382 meters, which is composed of circular and rectangular sections throughout its length. The hydraulic energy evaluation delivers excess load data on the land level, that is, the amount of water that overflows through the review well, in the first six wells in the seventh, eighth and ninth well, there is no water overflow, which It was essential for the maintenance of the network and changes have been made to the sections of the pipe, that is, from 200 mm to 300 and 400 mm of PVC, for a maximum rain intensity between 35 and 40 minutes, with A hydraulic gradient is 0.01104 constant.

EVALUACIÓN HIDRÁULICA ENERGÉTICA EN SISTEMAS DE ALCANTARILLADO

Keywords: Sewerage, Environmental Impact, Environmental Quality, Hydraulic Engineering, Sanitation.

Introducción

El cambio climático, la deforestación entre otros factores son consecuencia de los impactos negativos que recibe el ecosistema, lo que produce alteraciones en el clima y consecuentemente altas precipitaciones (Pa, 2019)

El crecimiento poblacional trajo consigo desafíos significativos en lo que respecta a dotar de servicios básicos, entre los más significativos se señalan agua potable y alcantarillado (Marisol & Sabag, n.d.); para tener un funcionamiento adecuado en las estructuras sanitarias, se recomienda que el mantenimiento se realice con equipos y personal capacitado (Õi, n.d.), consecuentemente el desempeño energético se torna eficiente (Gelber, 1995); sin embargo, en ocasiones la infraestructura sanitaria presenta ineficiencia hidráulica energética como sobrepresiones (Bravo, Castro, & Gutiérrez, 2011), para solventar estos aspectos energéticos, se consideran ciertas modificaciones en el sistema, como realizar un rediseño del mismo en base a parámetros técnicos ambientales e hidráulicos (Piura & Piura, 2019).

En la planificación, diseño y control de la escorrentía pluvial, se emplean estudios hidrológicos para estimar un hidrograma de diseño, esto permite contabilizar volúmenes de escorrentía y estimar caudales de descarga; datos principalmente provenientes de una cuenca específica (Congreso et al., 2020).

Para determinar la velocidad de flujo, presiones hidráulicas y líneas piezométricas a lo largo de un conjunto de tuberías (Chuquín, Chuquín, Miño, & Chuquín, 2018), se consideran los criterios relacionados a la intensidad de lluvia, periodo de retorno de la

EVALUACIÓN HIDRÁULICA ENERGÉTICA EN SISTEMAS DE ALCANTARILLADO

zona en estudio; de tal manera que la evaluación mediante una herramienta informática (Del, Una, & Colectiva, 2016), muestre distintos escenarios probabilísticos relacionados al comportamiento energético del del conjunto de tuberías (D. M. Pérez & Arzola, 2017).

Es factible realizar una planificación de trabajos de obra civil, en el que se considere la rehabilitación del sistema de alcantarillado en base a la evaluación hidráulica, y tomar en cuenta los tipos de impactos ambientales que lo generan, esto se detalla en el “Modelo Eco-Mapa Construcción de redes de alcantarillado con zanja”, investigación previa al desarrollo de este trabajo <https://doi.org/10.31876/er.v3i29.603>.

Objetivo general

Evaluar las relaciones hidro-energéticas de una red de aguas que trabajan a gravedad mediante gradientes de energía, perfil hidráulico e hidrogramas para un rediseño de secciones en redes de alcantarillado combinado.

Objetivos específicos

Evaluar la sección de carga hidráulica, mediante secciones de tuberías eficientes en red de alcantarillado.

Proponer rediseño de secciones de la tubería en función de la evaluación hidráulica de la red para el caso de estudio.

Estado del arte

Los parámetros de diseño que intervienen para una evaluación de eficiencia energética hidráulica, se describen a continuación (Pucuhuaranga Espinoza, 2018):

EVALUACIÓN HIDRÁULICA ENERGÉTICA EN SISTEMAS DE ALCANTARILLADO

Período de diseño

Es el intervalo de tiempo en el que se espera que la obra civil diseñada alcance el nivel de saturación, no debe sobrepasar la vida útil de la infraestructura (Potable et al., n.d.), adicionalmente se recomienda que el diseño sea para un tiempo de vida de 30 años como mínimo, en el sector urbano se considera mínimo de 10 años (Piura & Piura, 2019).

Período de retorno (Tr)

Se define como la cantidad de tiempo en la que la probabilidad de ocurrencia de un evento, se distribuye uniformemente en los periodos determinados (Wurl, García, & Lamadrid, 2015).

Tabla 1 Periodos de Retorno para Diferentes Ocupaciones del Área

<u>Tipo de ocupación del área de influencia</u>	<u>Tr (años)</u>
Residencial	5
Comercial	5
Área con edificios de servicio público	5
Aeropuertos	10
Áreas comerciales y vías de tránsito intenso	10-25
Áreas comerciales y residenciales	25
Áreas de importancia específica	50-100

Fuente: Normas de diseño de sistemas de alcantarillado de la EPMAAP-Q

Hidrogramas, caudales y volúmenes de diseño

El hidrograma de diseño se representa como la variación de la información hidrológica a través del tiempo (Tr), por medio del hidrograma se consigue el caudal y volumen de diseño (J. I. Pérez & Escobar, 2018).

Curvas de intensidad, duración y frecuencia IDF

La intensidad, (I) es producto de la división entre la altura (h) de lluvia y la duración (d) del evento suscitado, expresada en [mm/ hora] (Salvador, 2012).

EVALUACIÓN HIDRÁULICA ENERGÉTICA EN SISTEMAS DE ALCANTARILLADO

Las curvas IDF son fundamentales para el diseño de estructuras hidráulicas, se basan en la recepción de datos de las precipitaciones de lluvia, mismas que se obtienen por medio de los registros pluviográficos máximos anuales, emitidos por las estaciones hidro climatológicas (Acosta Castellanos & Sierra APonte, 2013).

Consideraciones a tomar para las ecuaciones IDF

El periodo de retorno es entre 2 y 25 años, la duración de lluvia comprende entre 5 y 360 minutos, las ecuaciones se usan de acuerdo al sector de estudio.

Escorrentía

Para la evaluación hidráulica energética, se requiere conocer el coeficiente de la escorrentía (C), este coeficiente depende de las condiciones destinadas a la ocupación del suelo (Padilla Santamaría, 2009).

Diámetro interno mínimo en el diseño hidráulico energético

Desde el punto de vista operativo para evitar obstrucciones, se considera un diámetro mínimo de 400 mm.

Velocidad mínima en el diseño hidráulico energético

Se considera la velocidad mínima permisible de 0,60 m/segundo en tubería parcialmente llena (De Biología et al., 2012).

Velocidad máxima en el diseño hidráulico energético

La velocidad máxima permisible está en función del tipo de material.

EVALUACIÓN HIDRÁULICA ENERGÉTICA EN SISTEMAS DE ALCANTARILLADO

Tabla 2 Velocidad máxima, en función del tipo de material

<u>Material de la tubería</u>	<u>Velocidad máxima</u> (m/s)
Tubería de hormigón simple hasta 60 cm de diámetro	4,5
Tubería de hormigón armado de 60 cm de diámetro o mayores	6,0
Hormigón armado en obra para grandes conducciones 210/240 Kg/cm ²	6,0 - 6,5
Hormigón armado 280/350 Kg/cm ² . Grandes conducciones	7,0 - 7,5
PEAD, PVC, PRFV	7,5
Acero *	9,0 o mayor
Hierro dúctil o fundido *	9,0 o mayor

*Se utiliza en rápidas y tramos cortos

Fuente: Normas de diseño de sistemas de alcantarillado de la EPMAAP-Q

Pendiente mínima para el diseño hidráulico energético

La pendiente mínima se relaciona directamente con la velocidad mínima, se debe evitar el azolve de los sedimentos en los conductos (Montejo, A, Arroyo, Honorato, & Zamora, 2018).

Pendiente máxima para el diseño hidráulico energético

Para la verificación de la pendiente máxima en tuberías, se debe considerar la velocidad máxima permisible, si sobrepasa la velocidad de diseño, se recomienda diseñar y colocar anclajes de estabilización o instalas disipadores de energía.

Profundidad hidráulica máxima para el diseño energético

La profundidad hidráulica máxima para caudales de diseño es del 85% del diámetro de conducto cerrado.

EVALUACIÓN HIDRÁULICA ENERGÉTICA EN SISTEMAS DE ALCANTARILLADO

Criterios de evaluación

Para el estado de carga de las tuberías, se utiliza la relación calado/altura del conducto (Civil, Recolección, & Carga, 2013).

Es <1 cuando, el estado de sobrecarga se calcula como el cociente de la profundidad del agua sobre la altura de la tubería, el gradiente hidráulico es menor o igual que el gradiente de la tubería, por tanto, la tubería no se sobrecarga.

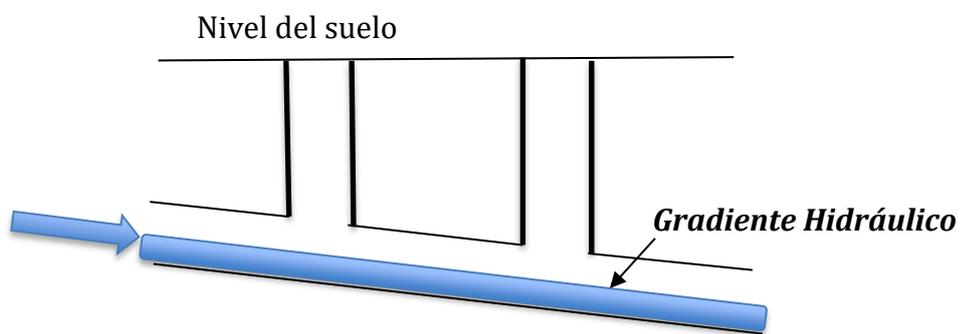


Figura 1 Gradiente hidráulico, igual al gradiente de la tubería

Es $=1$ cuando el nivel del agua alcanza el límite máximo de la altura de la tubería aguas arriba o aguas abajo, el gradiente hidráulico es mayor que el gradiente de la tubería.

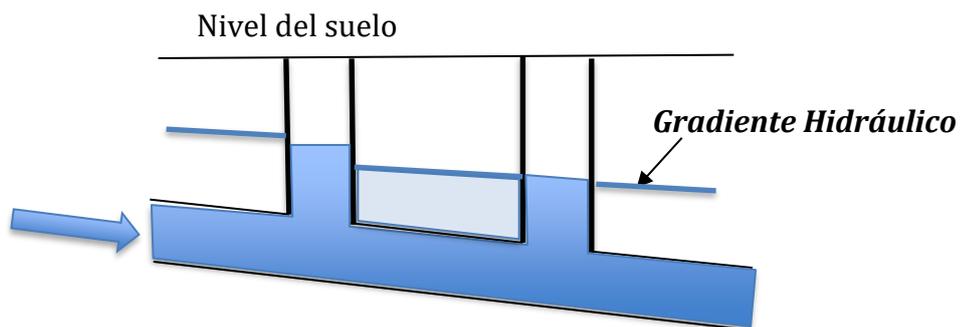


Figura 2 Gradiente hidráulico, mayor al gradiente de la tubería

Si >2 cuando el nivel de agua es mayor que la altura de la tubería aguas arriba o abajo, el gradiente hidráulico es mayor que el gradiente de la tubería.

EVALUACIÓN HIDRÁULICA ENERGÉTICA EN SISTEMAS DE ALCANTARILLADO

El estado de carga es la sobrecarga de la tubería, es decir el porcentaje de llenado, por tanto:

- ✓ Grado >= 0.7 indica conductos con llenado superior al 70 % y hasta el 100 %
- ✓ Grado >= 1 indica conductos completamente llenos.
- ✓ grado >= 2 indica llenado completo, es decir, que el conducto trabaja a presión, este valor únicamente indica conductos críticos, el agua no pasa.

Principio de la energía

La energía total en una línea de corriente en una determinada sección es la suma de las energías de posición, más la de presión y más la de velocidad (Vivas-vivas & Tafur-recalde, 2017).

$$\text{Energía total} = \text{Energía de posición} + \text{Energía de presión} + \text{Energía de velocidad}$$

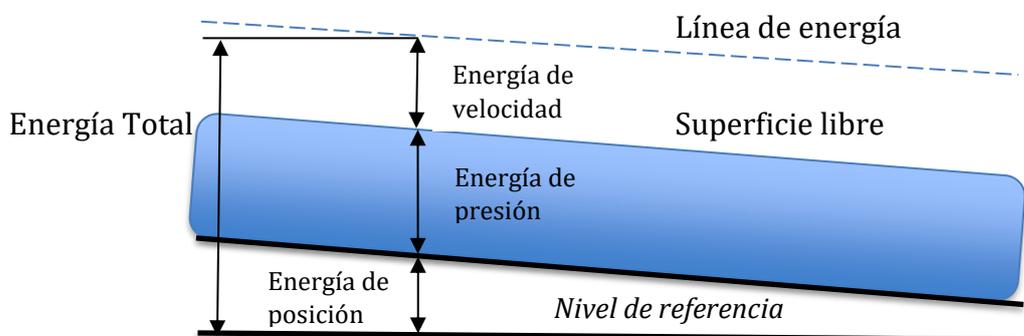


Figura 3 Energía total en canal. Fuente: P. Rodríguez. Hidráulica II. Pág. 120. Estado de Oaxaca, 2008.

EVALUACIÓN HIDRÁULICA ENERGÉTICA EN SISTEMAS DE ALCANTARILLADO

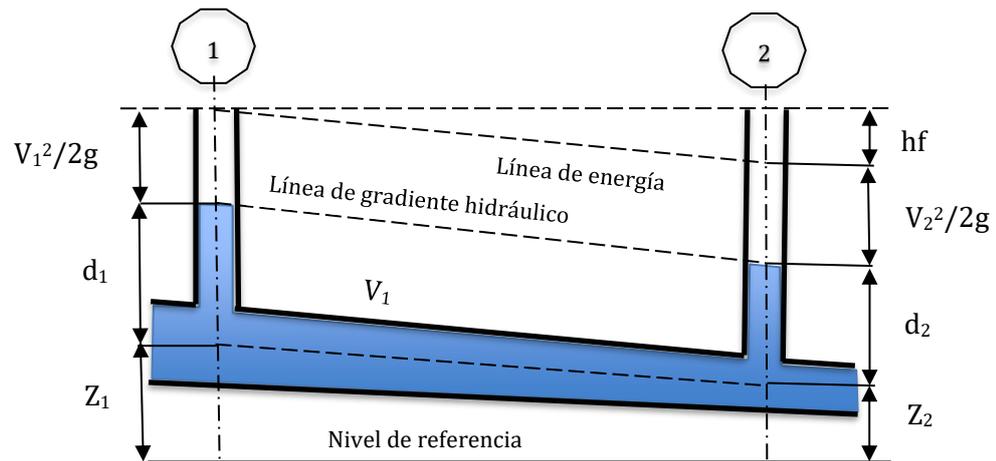


Figura 4 Flujo en tuberías, línea de energía o gradiente de energía.

Donde:

$$\frac{P}{\gamma} = d = \text{altura o carga de presión (m)}$$

$d = \text{profundidad del agua}$

$Z_1 = \text{altura o carga de posición (m)}$

$$h_f = \frac{V^2}{2g} = \text{altura o carga de velocidad (m)}$$

La Energía potencial o de presión se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$Z_1 + \frac{P}{\gamma} = Ep = d \quad (1)$$

La Energía cinética se presenta por la carga de la velocidad expresa mediante la siguiente ecuación:

$$E_c = d + \frac{V^2}{2g} \quad (2)$$

La energía total de la sección es:

$$H_T = Z_1 + d + \frac{V^2}{2g} \quad (3)$$

EVALUACIÓN HIDRÁULICA ENERGÉTICA EN SISTEMAS DE ALCANTARILLADO

Donde:

$Z_1 =$ carga de posición en el punto 1

$d =$ carga del agua en el punto 1 por debajo de la superficie del agua

$\frac{V^2}{2g} =$ carga de la velocidad del flujo en la línea de corriente en el punto 1

En base al principio de conservación de la energía, (Excel, 2017), se dice que la altura de energía en el punto 1 localizadas aguas arriba, es igual a la altura de energía total en la sección 2 localizadas aguas abajo más la pérdida de carga por fricción h_f :

$$Z_1 + d_1 + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + d_2 + \frac{V_2^2}{2g} + h_f \quad (4)$$

Cuando $h_f = 0$, la ecuación es:

$$E = Z_1 + d_1 + \frac{V_1^2}{2g} \quad (5)$$

Energía específica

Es la cantidad de energía por unidad de peso, es decir por kilogramo de agua que fluye en la sección de la tubería y es medida en relación a fondo de la misma, por tanto, se establece como la suma del tirante de agua más la carga de la velocidad (Castellanos, Collazos, Farfan, & Meléndez-Pertuz, 2017):

$$E = d + \frac{V^2}{2g} \quad (6)$$

Curvas de la Energía específica

La energía específica se grafica colocando en el eje de las abscisas los valores de la energía específica y en el eje de las ordenadas, los valores del tirante d , la variación de la energía (E) con respecto al tirante d , es lineal y a 45° que pasa por el origen:

EVALUACIÓN HIDRÁULICA ENERGÉTICA EN SISTEMAS DE ALCANTARILLADO

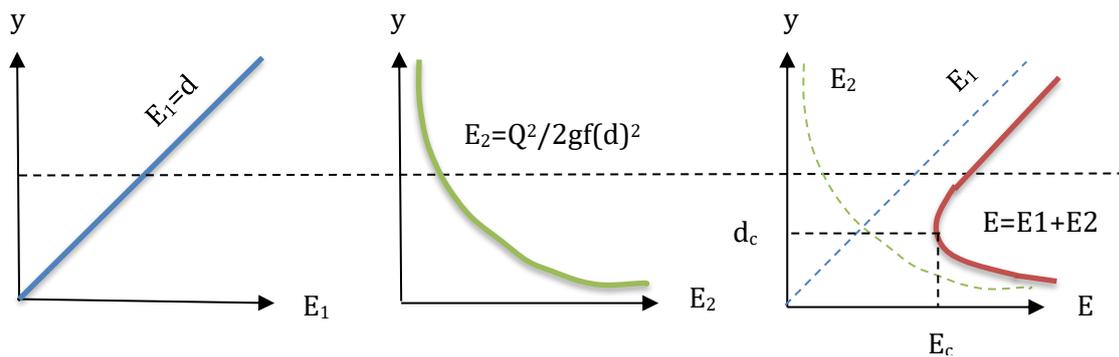


Figura 5 Energía Específica vs Tirante

El perfil hidráulico para conducciones de agua, es la representación de las cargas que tiene un fluido a lo largo del sistema hidráulico, se representa la variación de:

La línea de carga estática, es el nivel de energía más alto de la tubería o el depósito de agua del que se parte, esta línea es de característica horizontal y también se le conoce como plano inicial o línea de carga inicial.

La línea de energía es la suma de las cargas estáticas, a la energía de presión y a la energía cinética, la diferencia con respecto a la estática representa la pérdida de carga de rozamiento respecto a ese punto.

La línea piezométrica, es la suma de la carga de presión y la cota. Estas cargas están representadas frente a la trayectoria de la conducción, cuya distancia al plano de referencia ($z=0$) representa la posición de la conducción.

Parámetros de la evaluación hidráulica energética

- ✓ Tiempo de duración simulación: 120 minutos
- ✓ Período de Retorno: 25 años
- ✓ Tipo de volumen de esorrentía: Método racional

EVALUACIÓN HIDRÁULICA ENERGÉTICA EN SISTEMAS DE ALCANTARILLADO

- ✓ Modelo de Tránsito: El tránsito está en función de la rugosidad del ducto y de la superficie de la subcuenca seleccionada.
- ✓ Paso del tiempo: 60 segundos
- ✓ Multiplicador paso del tiempo: 5

Parámetros Hidrológicos-Hidráulicos utilizados en la evaluación

Las lluvias de diseño adoptadas para las simulaciones se basan en hietogramas obtenidos a partir de las ecuaciones de Intensidad-Duración-Frecuencia (curvas IDF) (Esteban & Alonso, 2017) adaptadas para la ciudad de Quito de acuerdo a las Normas de diseño de sistemas de alcantarillado de la EPMAPS-Q. Para el caso en estudio se seleccionó la ecuación de la estación Quito-Observatorio, para un período de retorno de 25 años y un tiempo de 60 minutos.

MATERIALES

Área de estudio

La evaluación hidráulica se realizó en la zona centro sur del cantón Quito, Provincia de Pichincha, y se consideró un área de estudio es de 3.78 Ha, una población servida aproximadamente de 605 habitantes, y una longitud total de la red de alcantarillado de 382 metros, dicha red se compone por secciones circulares y rectangulares en toda su longitud.

La red de alcantarillado es de hormigón simple de diámetro de 200 mm, que recoge caudal residual de una zona de tipo residencial, y posteriormente estas aguas descargan libremente a un colector ubicado en la parte baja del área considerada.

EVALUACIÓN HIDRÁULICA ENERGÉTICA EN SISTEMAS DE ALCANTARILLADO

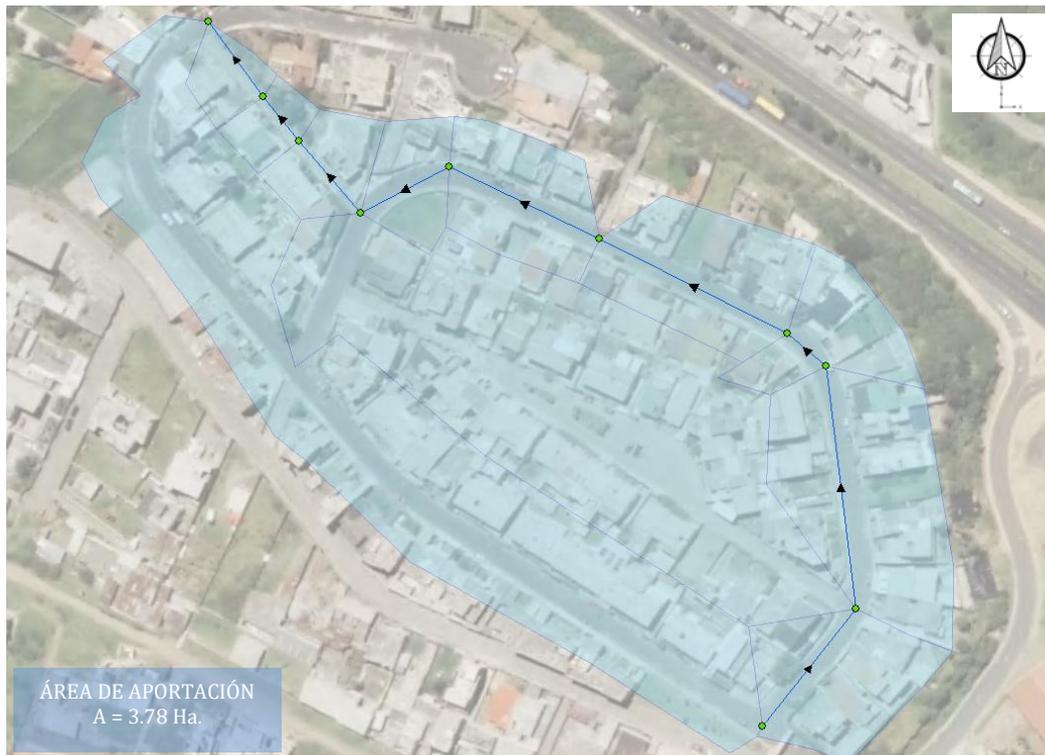


Figura 6 Área de estudio y dirección del caudal

Información hidrometeorológica y estación pluviométrica de la zona

En base a las ecuaciones IF, en la que se indica que la intensidad de lluvia es función de la zona de ubicación, se consideró la estación Quito-Observatorio.

Tabla 3 Ecuaciones IDF

<u>Estación</u>	<u>Latitud Sur</u>	<u>Longitud Oeste</u>	<u>Altitud m.s.n.m</u>	<u>Ecuación IF</u>
Izobamba	0°21'45"	78°33'11"	3058	$I = \{74,7140 * T^{0,0888} * [\ln(t + 3)]^{3,8202} * (lnT)^{0,1892}\}$
Quito-Observatorio	0°12'40"	78°30'00"	2820	$I = \{48,6570 * T^{0,0896} * [\ln(t + 3)]^{5,2340} * (lnT)^{0,2138}\}/t^{1,9674}$
Iñaquito-INAMHI	0°10'00"	78°29'00"	2789	$I = \{76,8002 * T^{0,0818} * [\ln(t + 3)]^{3,7343} * (lnT)^{0,2784}\}/t^{1,5847}$
DAC	0°08'24"	78°29'06"	2794	$I = \{55,6656 * T^{0,0922} * [\ln(t + 3)]^{4,1647} * (lnT)^{0,0985}\}$
La Chorrera	0°12'06"	78°32'06"	3165	$I = \{44,2595 * T^{0,0973} * [\ln(t + 3)]^{4,4013} * (lnT)^{0,0317}\}$
La Tola	0°13'46"	78°22'00"	2480	$I = \{39,9 * T^{0,09} * [\ln(t + 3)]^{5,38} * (lnT)^{0,11}\}/t^{1,93}$

Fuente: Normas de diseño de sistemas de alcantarillado de la EPMAAP-Q

EVALUACIÓN HIDRÁULICA ENERGÉTICA EN SISTEMAS DE ALCANTARILLADO

Información topográfica

Se realizó el levantamiento topográfico de la red de alcantarillado, y se consideró las cotas, pendientes, del terreno y del proyecto, número de pozos de revisión, longitudes parciales y total del sistema, así como los perfiles topográficos.

Posteriormente estos datos fueron cargados al sistema de información geográfica con la nomenclatura SIG.



Figura 7 Datos topográficos de la red de alcantarillado

Software

Se utilizó el software InfoWorks CS, que es un programa de modelación de redes de saneamiento y canales, para esta investigación se realizará la simulación hidráulica del comportamiento del caudal en las tuberías, durante un evento de precipitaciones correspondientes a periodos de retorno de 25 años.

EVALUACIÓN HIDRÁULICA ENERGÉTICA EN SISTEMAS DE ALCANTARILLADO

MÉTODO

El alcance de esta investigación es de tipo explicativo, pues por medio de una herramienta informática se mostró los distintos escenarios del comportamiento hidráulico-energético en la tubería existente de hormigón simple, así como la tubería propuesta en el rediseño de PVC, esta evaluación muestra las gráficas de gradiente hidráulico para las tuberías señaladas (Valle-tamayo, Valbuena-luna, Rojas-beltrán, & Cabarcas-simancas, 2018).

El uso de una herramienta informática otorga un método de un cálculo tipo probabilístico, en el cual se ingresan datos relacionados a las condiciones reales de la tubería implantada en campo (*Universidad de Manizales Facultad de Ingeniería Maestría en Tecnologías de la Información Geográfica, 2015*).

Del desarrollo de la evaluación hidráulica se plantearon los siguientes pasos a seguir a fin de obtener los resultados de rediseño de la red de alcantarillado.

EVALUACIÓN HIDRÁULICA ENERGÉTICA EN SISTEMAS DE ALCANTARILLADO



Figura 8 Flujograma metodológico de evaluación hidráulica energética

EVALUACIÓN HIDRÁULICA ENERGÉTICA EN SISTEMAS DE ALCANTARILLADO

Delimitación del área de estudio

Para el caso de estudio el área de recolección de aguas lluvias y sanitarias, se ha delimitado por medio de la información geográfica y topográfica de la zona utilizando el programa de aplicación de Sistema de Información Geográfica ArcGis.

Análisis hidrológico

Para la obtención de las lluvias de diseño, se consideró las curvas IDF, análisis de frecuencias y las lluvias en la zona del proyecto de acuerdo a la cuenca de aportación.

Escorrentía

En el desarrollo del método Racional, se utilizó los coeficientes de escorrentía correspondientes para una zona residencial de multi unidades contiguas, como se detallan en las siguientes tablas:

Tabla 2 Coeficientes de Escorrentía Urbana para Método Racional en Tormentas de Recurrencia de 5-10 años

<u>Descripción del área del coeficiente</u>	<u>Coeficiente de escorrentía</u>
<u>Negocios:</u>	
Centro	0.70 a 0.95
Barrios	0.50 a 0.75
<u>Residencial:</u>	
Unifamiliar	0.30 a 0.60
Multi unidades, contiguas	0.40 a 0.75
Departamentos	0.60 a 0.85
<u>Industrias:</u>	
Livianas	0.50 a 0.80
Pesadas	0.60 a 0.90
Sin mejoras	0.10 a 0.30

Fuente: ASCE, 1976

EVALUACIÓN HIDRÁULICA ENERGÉTICA EN SISTEMAS DE ALCANTARILLADO

Tabla 5 Valores para determinar un coeficiente de escorrentía de acuerdo a las características de la superficie

<u>Descripción del área</u>	<u>Periodo de retorno</u>		
	2	5	10
Asfáltico	0,73	0,77	0,81
Concreto / techo	0,75	0,80	0,83
<u>Zonas verdes (jardines, parques) cubierta de pasto el 50% del área</u>			
Plano 0-2 %	0,32	0,34	0,37
Promedio 2-7 %	0,37	0,40	0,43
Pendiente superior a 7%	0,40	0,43	0,45
<u>Zonas verdes (jardines, parques) cubierta de pasto del 50% al 75% del área</u>			
Plano 0-2 %	0,25	0,28	0,30
Promedio 2-7 %	0,33	0,36	0,38
Pendiente superior a 7%	0,37	0,40	0,42
<u>Zonas verdes (jardines, parques) cubierta de pasto al 75% del área</u>			
Plano 0-2 %	0,21	0,23	0,25
Promedio 2-7 %	0,29	0,32	0,35
Pendiente superior a 7%	0,34	0,37	0,40
<u>Área de cultivos</u>			
Plano 0-2 %	0,31	0,34	0,36
Promedio 2-7 %	0,35	0,36	0,38
Pendiente superior a 7%	0,39	0,42	0,44
<u>Pastizales</u>			
Plano 0-2 %	0,25	0,28	0,30
Promedio 2-7 %	0,33	0,36	0,38
Pendiente superior a 7%	0,37	0,40	0,42
<u>Bosques</u>			
Plano 0-2 %	0,22	0,25	0,28
Promedio 2-7 %	0,31	0,34	0,36
Pendiente superior a 7%	0,35	0,39	0,41

Fuente: ASCE, 1976

EVALUACIÓN HIDRÁULICA ENERGÉTICA EN SISTEMAS DE ALCANTARILLADO

Cabe recalcar que se considera que, la escorrentía superficial ingresa a las tuberías por medio de accesorios sanitarios como los sumideros sin haber obstrucción del paso de agua desde la vía pública hacia la red matriz (Gavilánez, 2017).

Superficie de correr ID	Descripción	Tipo de Tránsito de Escorrentía	Valor del Tránsito de Escorrentía	Tipo de Volumen de Escorrentía	Tipo de Superficie	Pendiente del Terreno (m/m)	Tipo de Pérdida inicial	Valor de la Pérdida inicial (m)	Factor Inicial de Abstracción	Modelo de Tránsito	Coefficiente de Escorrentía Fijo
10	Calles	Abs	0.014	Fixed	Impervious	0.000000	Slope	0.00000000	0.00000000	SWMM	0.60000
20	Tejados	Abs	0.014	Fixed	Impervious	0.050000	Slope	0.00000000	0.00000000	SWMM	0.60000
30	Espacio Verde	Abs	0.033	Fixed	Pervious	0.000000	Slope	0.00000000	0.00000000	SWMM	0.40000

Subcuenca: \Uso del Suelo Superficie de Escorrentía/

GeoPlan - El_Madrigal (R/O) [Target]



Figura 9 Ingreso datos coeficiente de escorrentía

Hietogramas de diseños

El hietograma de lluvia se obtiene en base a las curvas de Intensidad Duración y Frecuencia, comúnmente el más usado es el método de bloques alternos que se consigue por medio de una gráfica de profundidad en función del tiempo, el procedimiento es dividir el tiempo de duración T_c , en intervalos de tiempo Δt .

$$T_c = 0,066 \left(\frac{L}{j_{0,55}} \right)^{0,77} \quad (7)$$

Donde:

L= longitud expresada en Km

EVALUACIÓN HIDRÁULICA ENERGÉTICA EN SISTEMAS DE ALCANTARILLADO

J =pendiente expresada en m/m

Seleccionar el periodo de retorno correspondiente y mediante la curva IDF, obtener los datos de la precipitación en cada intervalo Δt , hasta la duración total de la intensidad de lluvia, posteriormente determinar el volumen de precipitación en cada intervalo, mediante el producto de la intensidad de lluvia por la duración del intervalo expresado en horas, restar los valores sucesivos de la profundidad de precipitación expresado en mm, cabe recalcar que el mayor valor se coloca en medio de la serie, y se alternan los demás valores de manera descendente y de manera progresiva a cada lado del valor máximo.

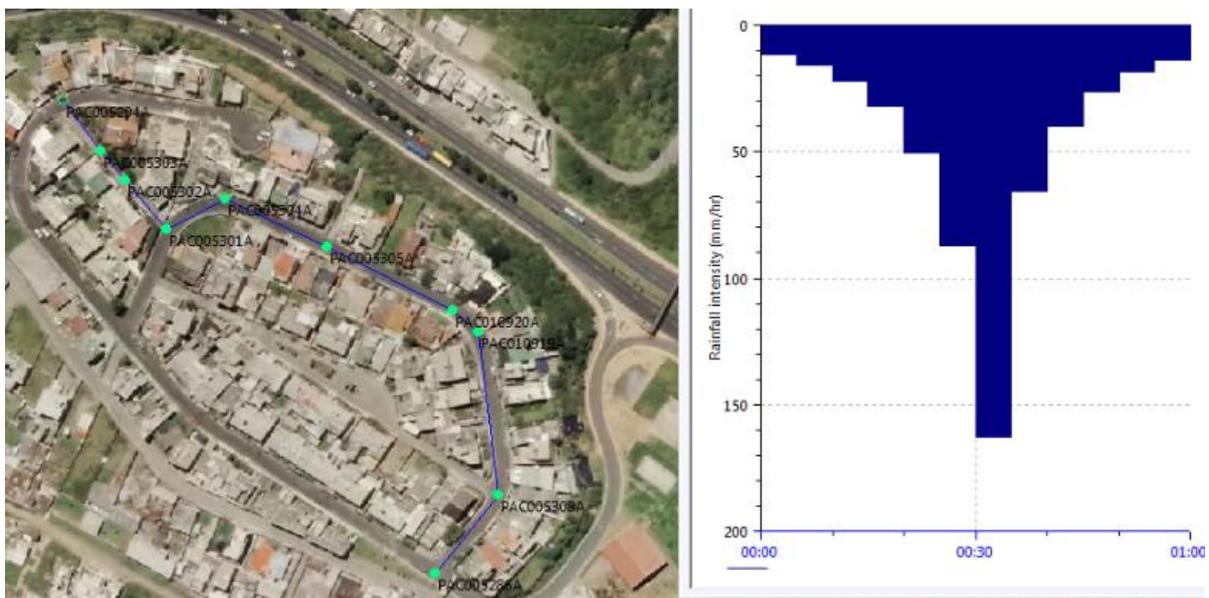


Figura 60 Hietogramas de diseño

EVALUACIÓN HIDRÁULICA ENERGÉTICA EN SISTEMAS DE ALCANTARILLADO

RESULTADOS

Primera evaluación hidráulica

Una vez ingresado los datos reales de las características de la tubería, topográficas, hidrográficas, se procede a la modelación hidráulica, donde el software muestra cómo trabaja hidráulicamente la tubería, se puede apreciar en el perfil.

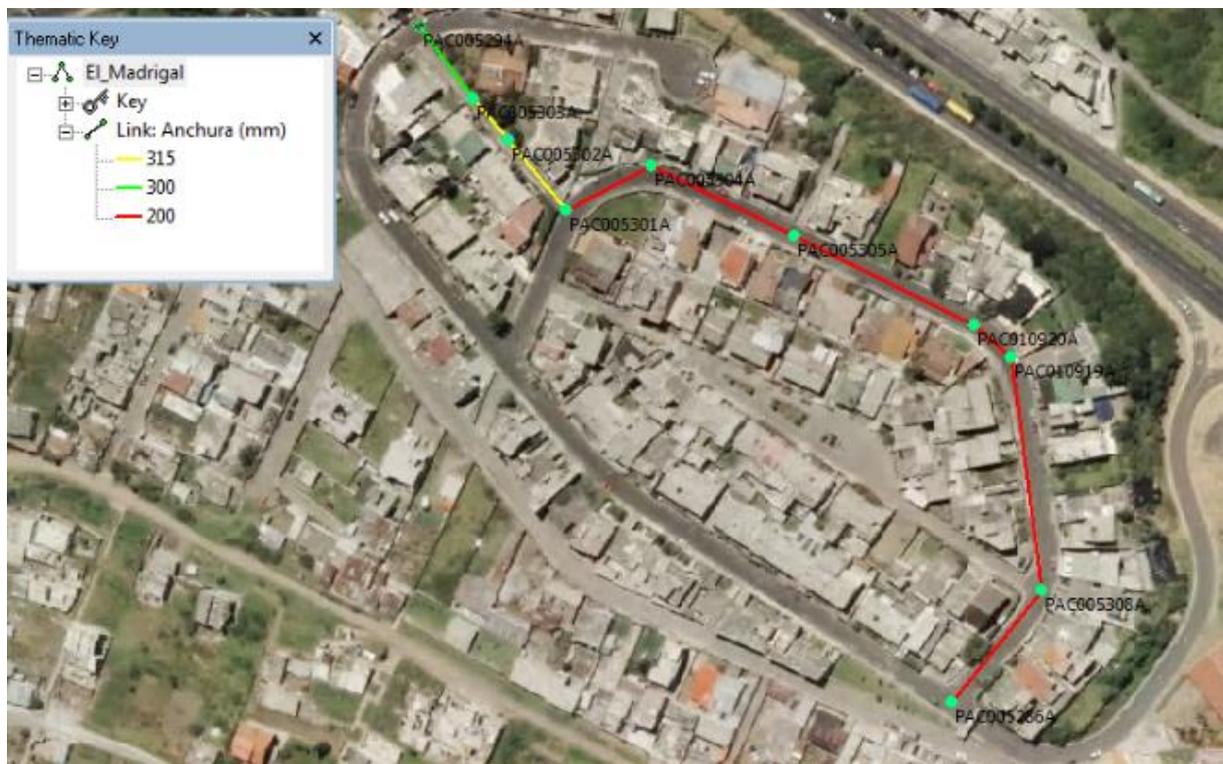


Figura 71 Planimetría de la red de alcantarillado una vez realizada la Evaluación Hidráulica Energética

EVALUACIÓN HIDRÁULICA ENERGÉTICA EN SISTEMAS DE ALCANTARILLADO

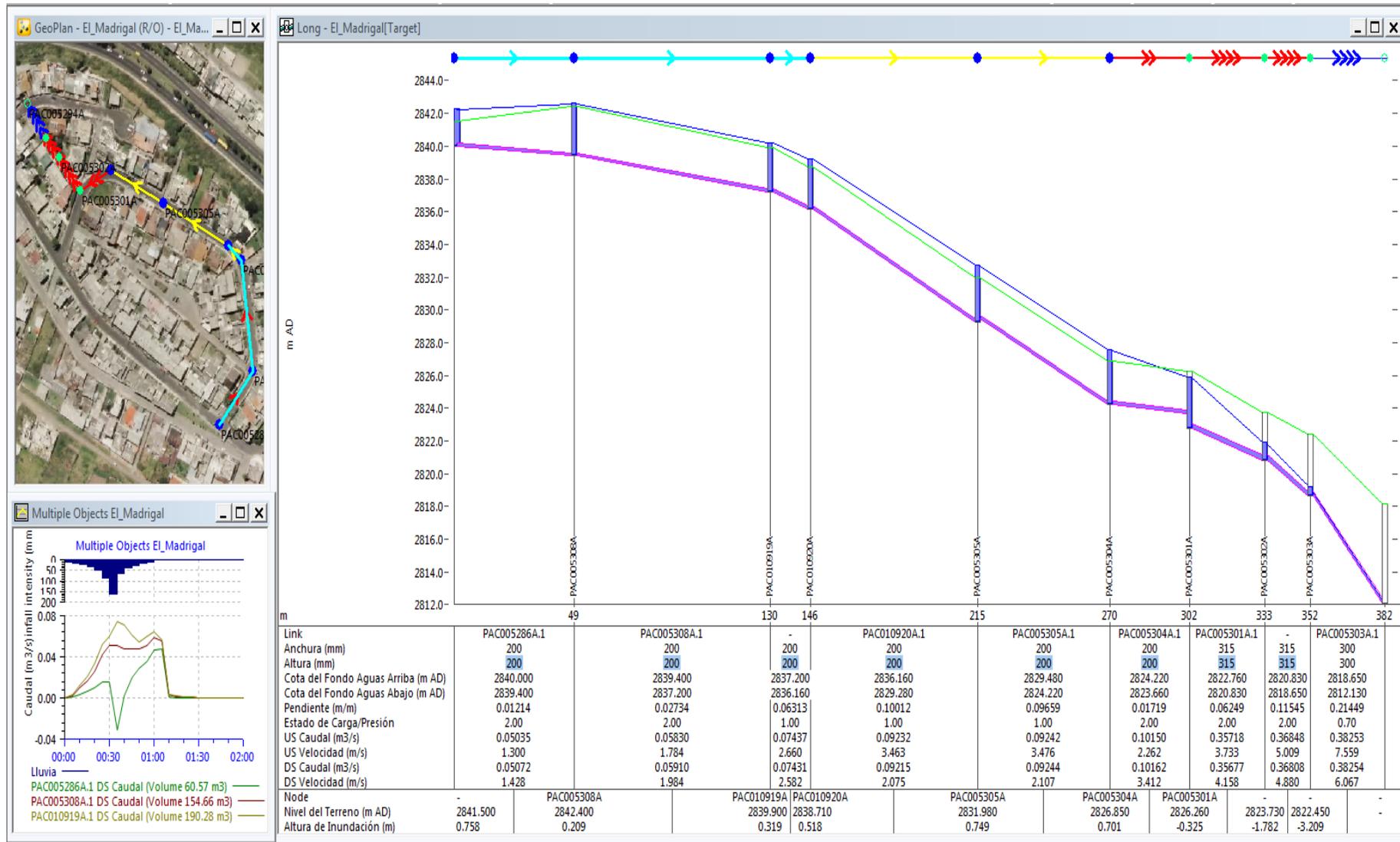


Figura 82 Perfil Hidráulico e Hidrograma de la red de alcantarillado que va desde el pozo PAC005286A hasta el pozo PAC005294A

EVALUACIÓN HIDRÁULICA ENERGÉTICA EN SISTEMAS DE ALCANTARILLADO

Gradiente hidráulica primera modelación

La gradiente hidráulica en el primer tramo de la tubería de 200 mm de hormigón simple permanece constante durante los primeros 25 minutos de lluvia, a partir de los 25 minutos la gradiente hidráulica es de 0,01104 y en los 35 minutos de inundación, la gradiente es de -0,00977, lo que implica que existe sobrepresión en este tramo de tubería, provocando remansos hidráulicos, a partir de los 35 minutos se determina que la intensidad de lluvia baja paulatinamente, por consecuencia el gradiente hidráulico tiende a mantener las condiciones iniciales a partir de 00:01:15 hasta los dos minutos.

La gradiente hidráulica desde el pozo PAC005286A hasta PAC005301A, sobrepasa la cota del terreno, lo que indica que en este tramo la tubería de 200 mm de hormigón simple trabaja a presión.

En los ocho primeros tramos la tubería transporta el caudal con sobrepresión, es decir que no se tiene flujo laminar.

Explicación esquemática de caudales y velocidades en la tubería:

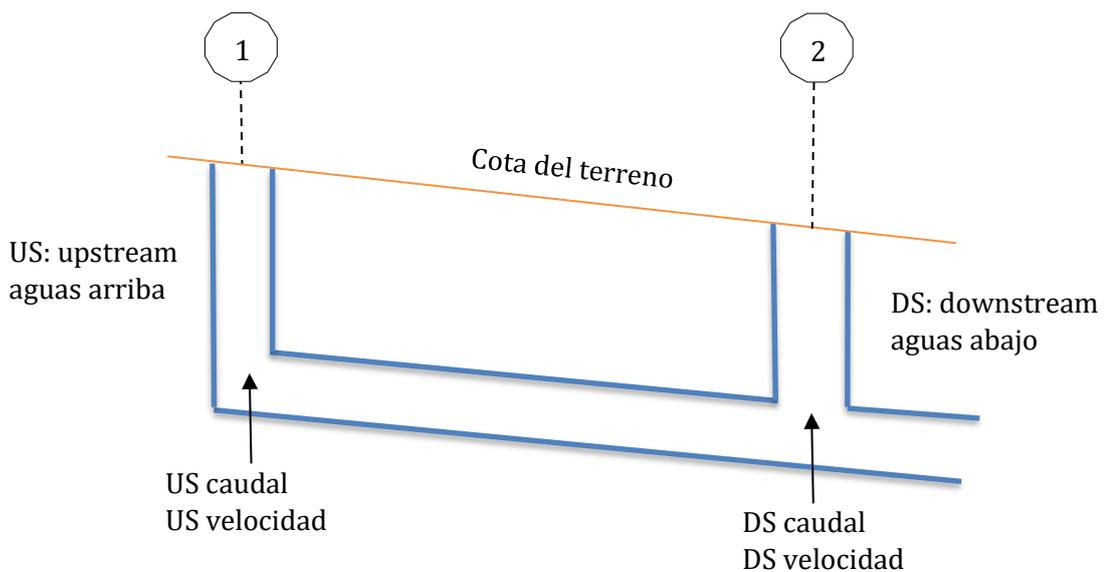


Figura 9 Caudal y Velocidad Aguas Arriba y Abajo en la Tubería

EVALUACIÓN HIDRÁULICA ENERGÉTICA EN SISTEMAS DE ALCANTARILLADO

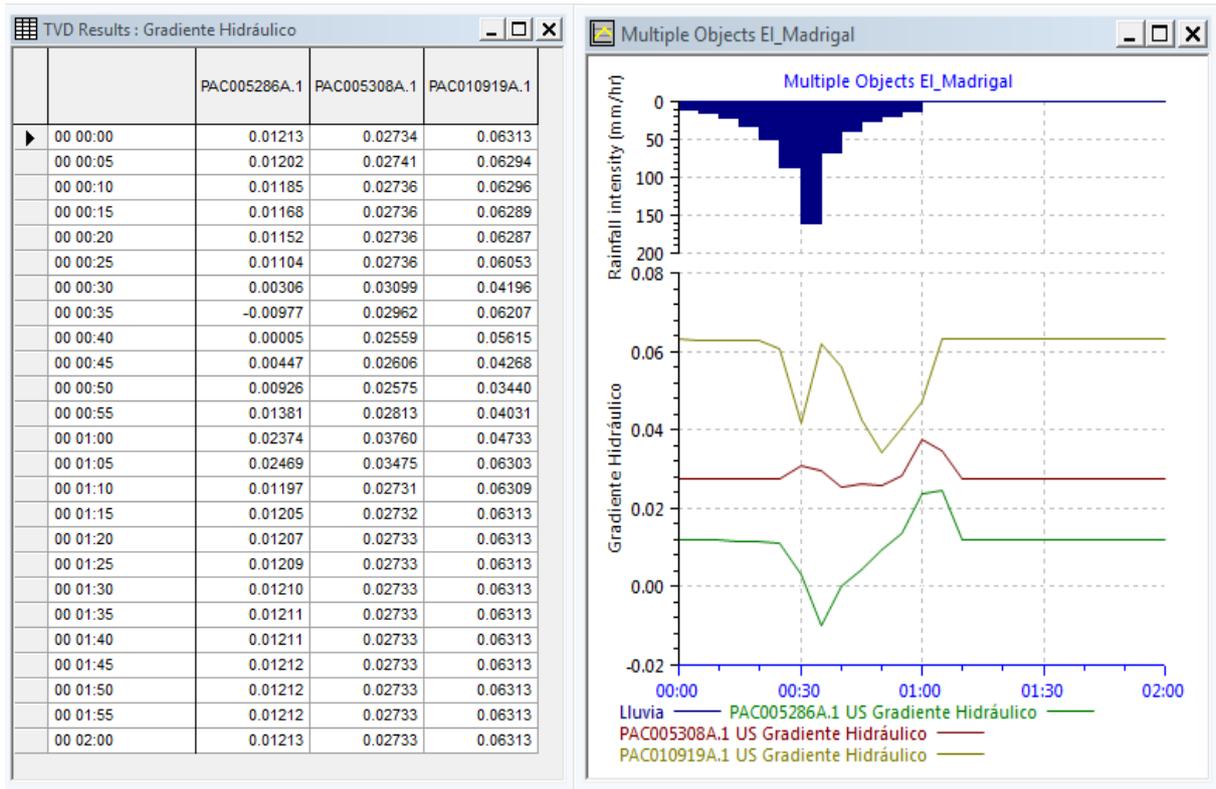


Figura 104 Gradiente Hidráulico Tramo desde Pozo PAC005286A.1 a PAC010919A.1

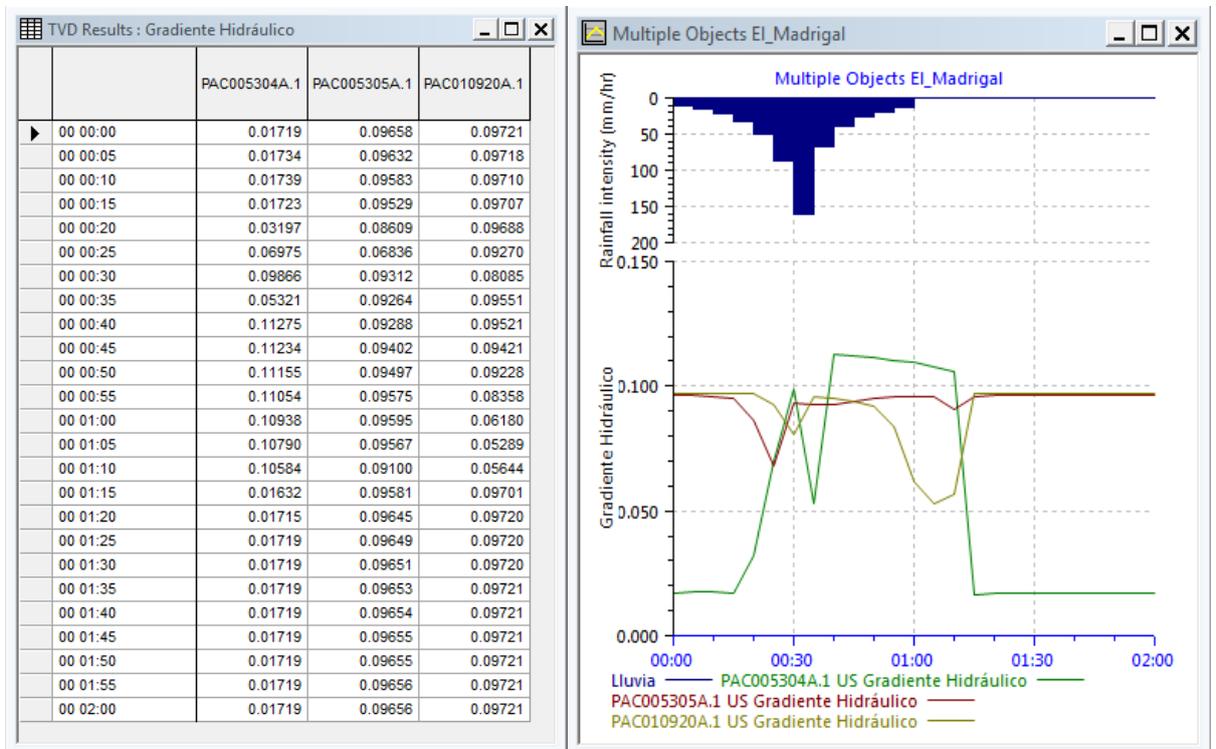


Figura 115 Gradiente Hidráulico Tramo desde Pozo PAC005304A.1 a PAC010920A.1

EVALUACIÓN HIDRÁULICA ENERGÉTICA EN SISTEMAS DE ALCANTARILLADO

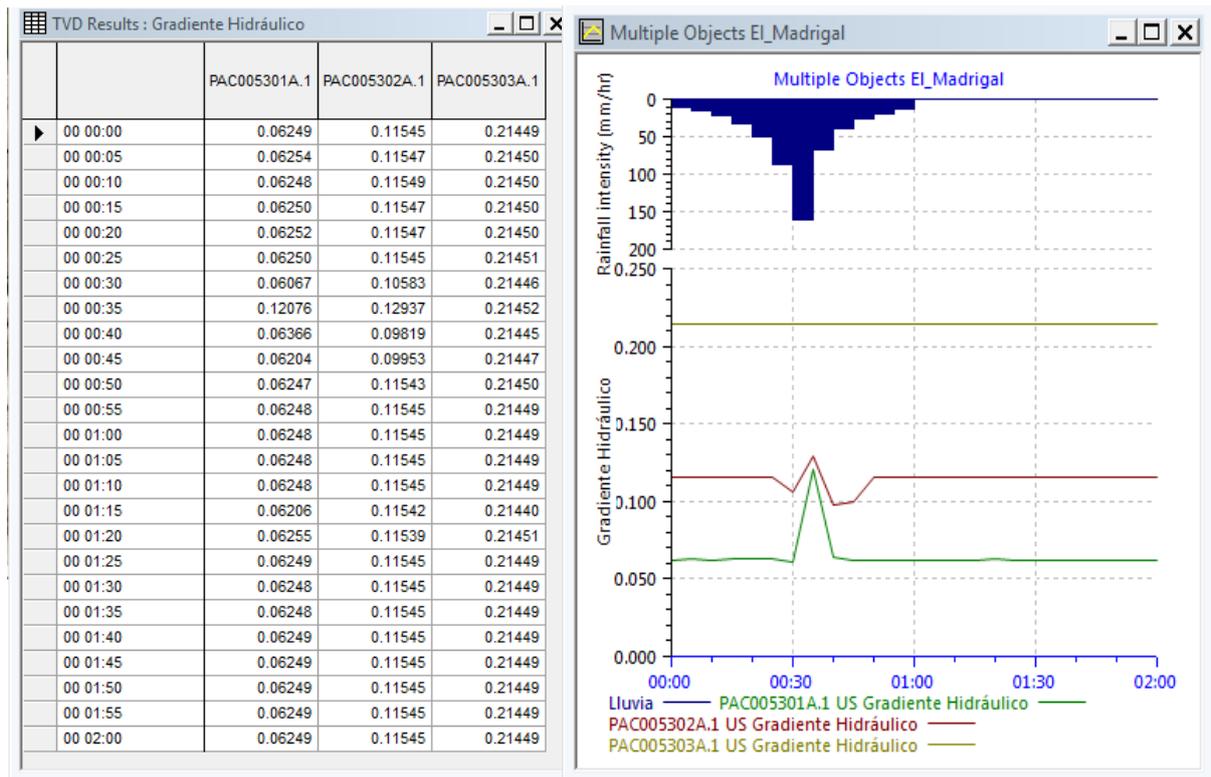


Figura 126 Gradiente Hidráulico Tramo desde Pozo PAC005301A.1 a PAC005303A.1

Rediseño de las secciones de la tubería

Se determinó que el tiempo de máxima intensidad de lluvia entre los 35 y 40 minutos, los pozos de alcantarillado se inundan, las alturas de inundación de la evaluación son:

Tabla 3 Alturas de inundación obtenidas de la evaluación hidráulica

Pozos	Altura de inundación (m)
PAC005286A	0.758
PAC005308A	0.209
PAC010919A	0.319
PAC010920A	0.518
PAC005305A	0.749
PAC005304A	0.701

Con la finalidad de que el sistema soporte la capacidad de carga en toda la red, se consideró variar las secciones de la tubería, mismas que se detallan en la siguiente tabla:

EVALUACIÓN HIDRÁULICA ENERGÉTICA EN SISTEMAS DE ALCANTARILLADO

Tabla 4 Secciones Modificadas en la Red de Alcantarillado

<u>TRAMO</u>		<u>DIMENSIONES ORIGINALES</u>			<u>DIMENSIONES MODIFICADAS</u>	
<u>INICIO</u>	<u>FIN</u>	<u>ANCHO (m)</u>	<u>ALTURA (m)</u>	<u>SECCIÓN</u>	<u>ANCHO (m)</u>	<u>SECCIÓN</u>
PAC005286A	PAC005308A	0.20		CIRCCULAR	0.30	CIRCCULAR
PAC005308A	PAC010919A	0.20		CIRCCULAR	0.30	CIRCCULAR
PAC010919A	PAC010920A	0.20		CIRCCULAR	0.30	CIRCCULAR
PAC010920A	PAC005305A	0.20		CIRCCULAR	0.40	CIRCCULAR
PAC005305A	PAC005304A	0.20		CIRCCULAR	0.40	CIRCCULAR
PAC005304A	PAC005301A	0.20		CIRCCULAR	0.40	CIRCCULAR
PAC005301A	PAC005302A	0.315		CIRCCULAR	0.40	CIRCCULAR
PAC005302A	PAC005303A	0.315		CIRCCULAR	0.40	CIRCCULAR
PAC005303A	PAC005294A	0.30	0.30	RECT	0.40	CIRCCULAR

En la segunda corrida de la evaluación hidráulica, la gradiente hidráulica en todo el tramo, prácticamente se mantiene paralela a la pendiente del proyecto.

El estado de carga es la sobrecarga de la tubería, no sobrepasa grado ≥ 1 .

Las velocidades se encuentran bajo 7,50 m/s, sin embargo, en el último tramo se obtuvo 8,869 m/s, debido a la pendiente del terreno.

En la altura de inundación, se obtuvieron valores negativos lo que indica que, en los pozos de revisión, no existe desbordamiento de agua.

EVALUACIÓN HIDRÁULICA ENERGÉTICA EN SISTEMAS DE ALCANTARILLADO

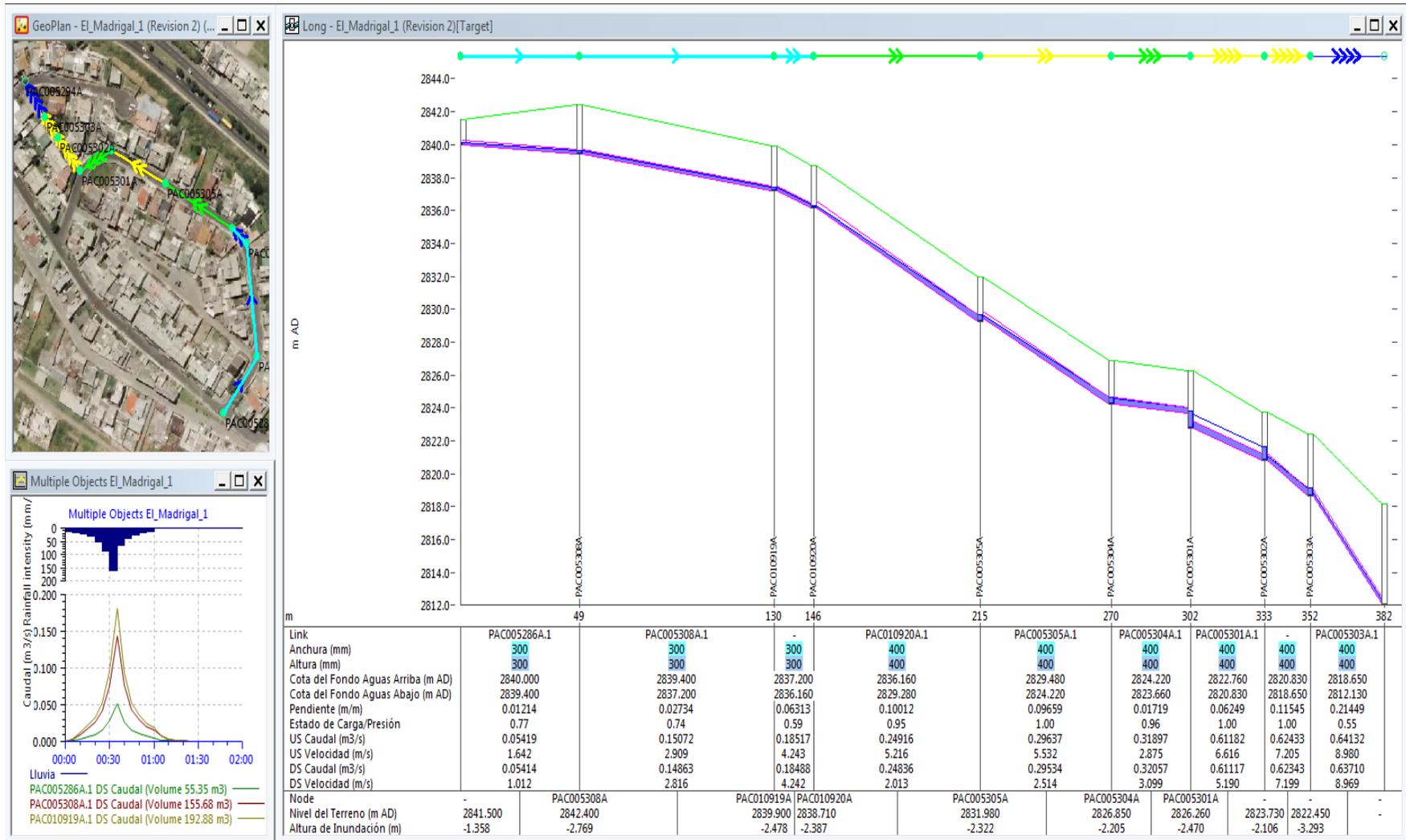


Figura 137 Perfil Hidráulico de la red de alcantarillado que va desde el pozo PAC005286A hasta el pozo PAC005294A (Rediseño de secciones)

EVALUACIÓN HIDRÁULICA ENERGÉTICA EN SISTEMAS DE ALCANTARILLADO

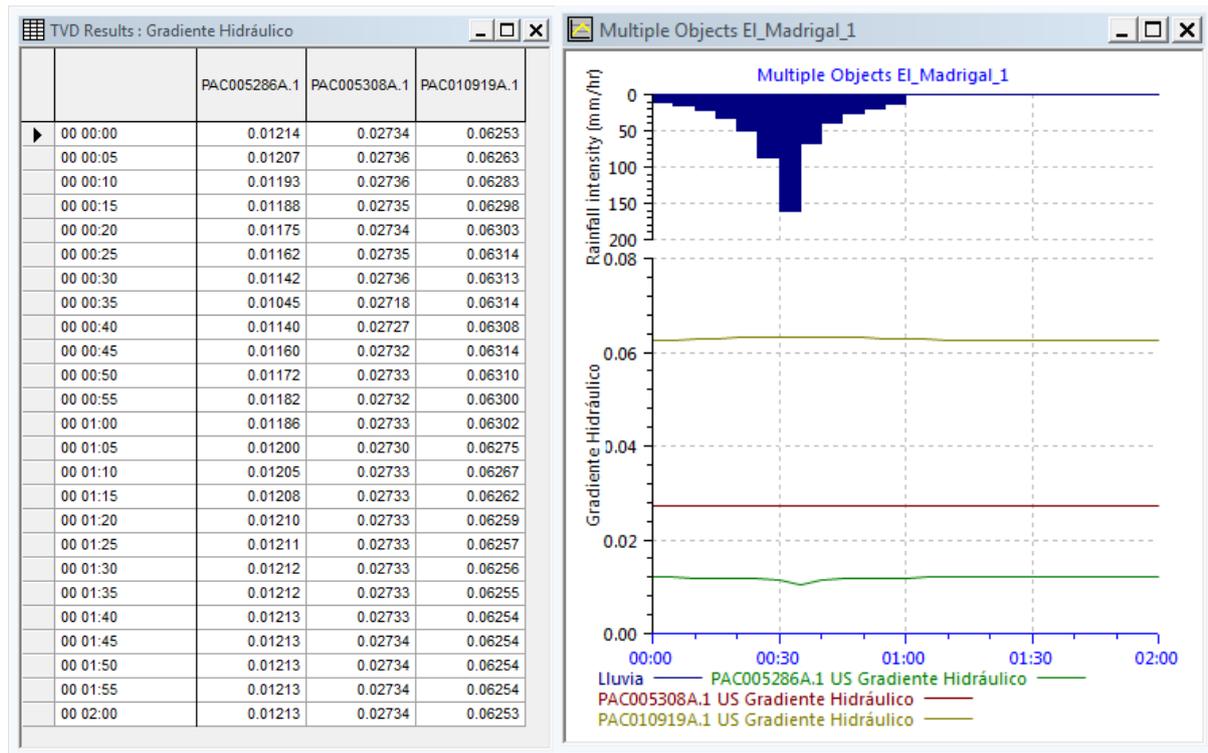


Figura 148 Gradiente hidráulica modelada tramo desde pozo PAC005286A.1 a PAC010929A.1

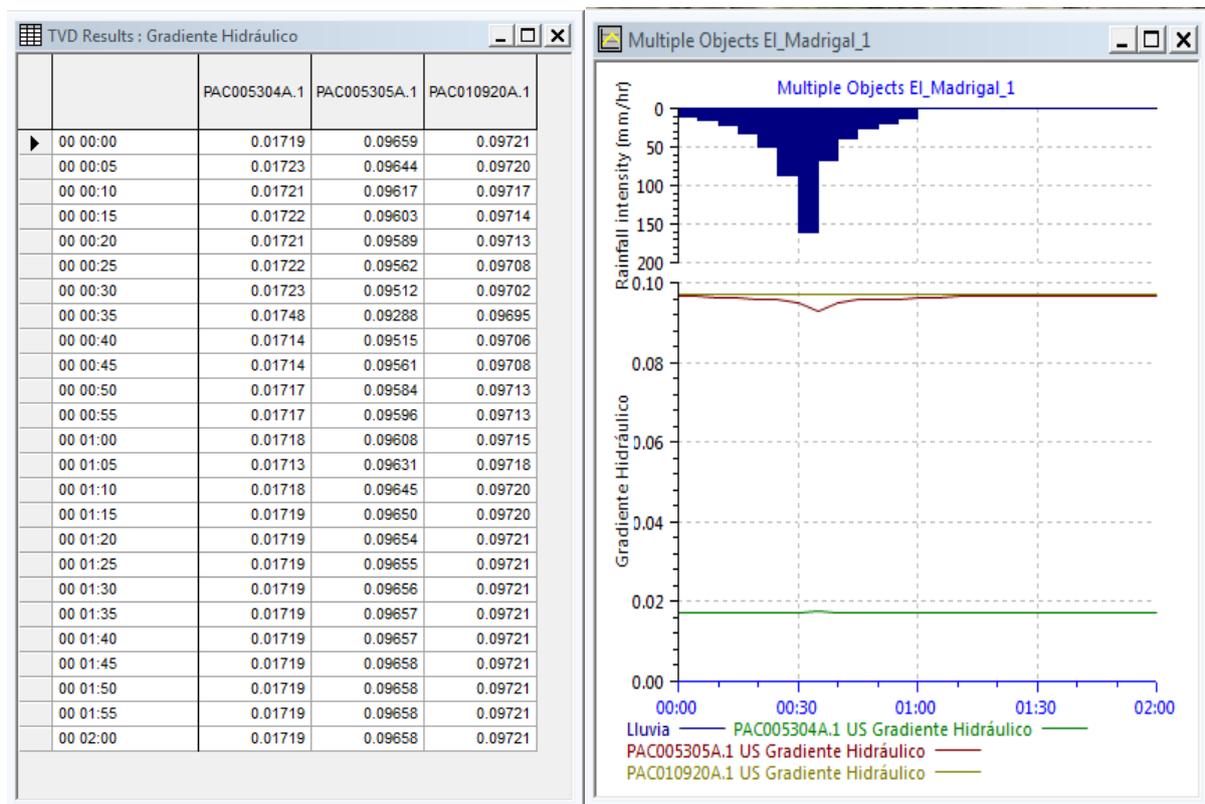


Figura 19 Gradiente hidráulica modelada tramo desde pozo PAC005304A.1 a PAC010920A.1

EVALUACIÓN HIDRÁULICA ENERGÉTICA EN SISTEMAS DE ALCANTARILLADO

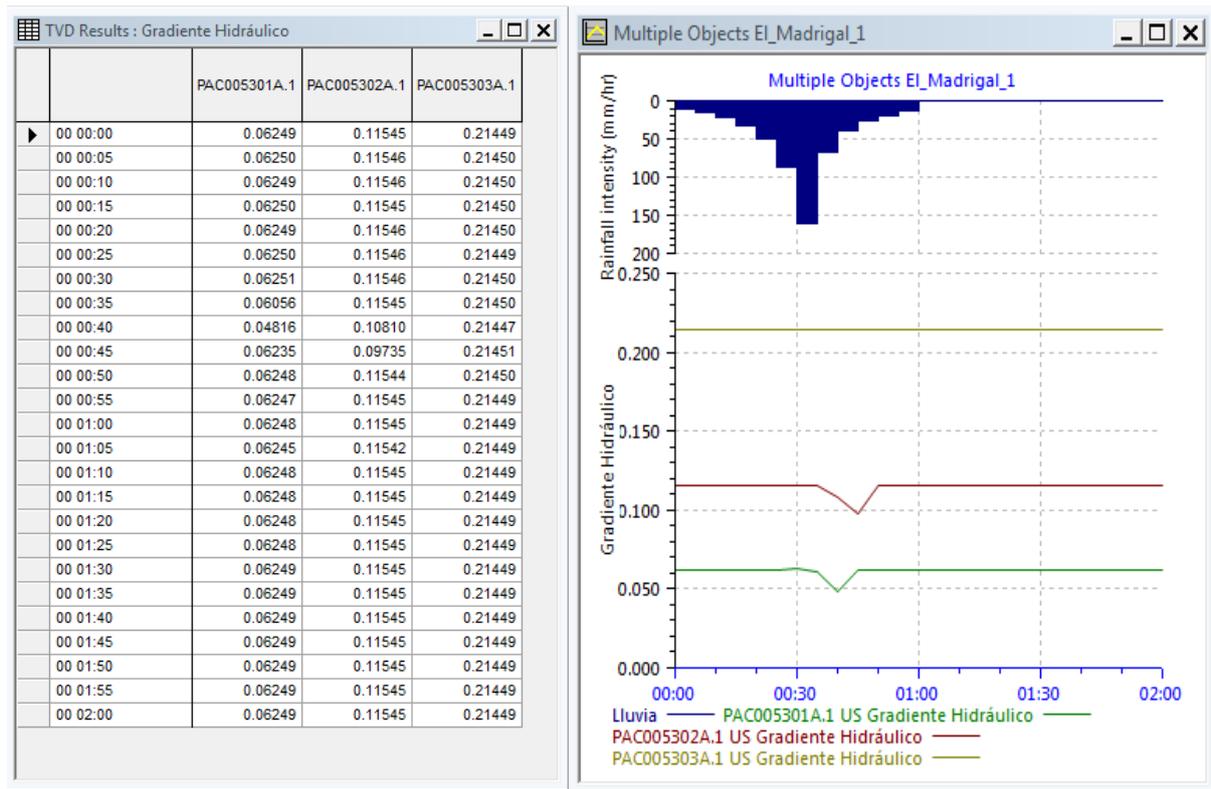


Figura 150 Gradiente hidráulica modelada tramo desde pozo PAC005301A.1 a PAC005303A.1

CONCLUSIONES

El rediseño de la red de alcantarillado con tubería 300 mm, indica que la gradiente hidráulica se mantiene constante prácticamente en todo el sistema, lo que implica que la energía evaluada trabaja eficientemente, evitando las sobrepresiones y retrocesos de caudal.

Las tuberías de alcantarillado previo al rediseño, en el tiempo de máxima precipitación trabajan a presión en toda su longitud; sin embargo, existe una disminución de carga hidráulica una vez modelada la red, debido al aumento del perímetro mojado y cambio de rugosidad del material.

EVALUACIÓN HIDRÁULICA ENERGÉTICA EN SISTEMAS DE ALCANTARILLADO

Las velocidades en todo el tramo están por encima de los parámetros de diseño, lo que provoca flujo turbulento, desgaste en las paredes internas de la tubería, contraflujos hacia las cajas de revisión domiciliarias.

La altura de inundación es el exceso de carga sobre la cota del terreno, es decir la cantidad de agua que desborda por el pozo de revisión, por lo expuesto en los seis primeros pozos se determina que existe desbordamiento de agua, mientras que, en el séptimo, octavo y noveno pozo, no lo hay, motivo por el cual se asume que el caudal transportado se realiza a descarga libre en la abscisa +382,00 m

Los resultados del rediseño de la red de alcantarillado con tubería de 300 mm, indica que las gradientes hidráulicas en todo el sistema permanecen constantes en relación a la línea base del proyecto.

El uso de una herramienta informática, colabora con el desarrollo en el campo de la ingeniería, ya que, para analizar la eficiencia hidráulica energética, se pretende conocer el comportamiento de distintos escenarios que presenta la red de alcantarillado, es por eso que se recomienda que se continúe evaluando los sistemas de alcantarillado a fin de optar por un escenario favorable para el desempeño energético, ambiental y social.

EVALUACIÓN HIDRÁULICA ENERGÉTICA EN SISTEMAS DE ALCANTARILLADO

Bibliografía

- Acosta Castellanos, P. M., & Sierra APonte, L. X. (2013). Evaluación de métodos de construcción de curvas IDF a partir de distribuciones de probabilidad y parámetros de ajuste. *Revista Facultad De Ingeniería*, 22(35), 25. <https://doi.org/10.19053/01211129.2512>
- Armadas-espe, F. (2017). *Precipitaciones extremas en la ciudad de Quito , provincia de Pichincha-Ecuador Extreme precipitations in the city XXXVIII*(June), 102–113.
- Bravo, H. M., Castro, J. C., & Gutiérrez, M. Á. (2011). Evaluación de una política fiscal para determinar el nivel óptimo de la inversión en los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento. *Gestion y Politica Publica*, 20(1), 63–95.
- Castellanos, H. E., Collazos, C. A., Farfan, J. C., & Meléndez-Pertuz, F. (2017). Diseño y construcción de un canal hidráulico de pendiente variable. *Informacion Tecnologica*, 28(6), 103–114. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642017000600012>
- Chuquín, N., Chuquín, D., Miño, G., & Chuquín, J. (2018). *Modelación matemática del Sistema Hidráulico de la Red de Agua Potable de la ciudad de Riobamba*.
- Civil, C. D. E. I., Recolección, C. D. E., & Carga, Y. T. D. E. (2013). *Universidad central del ecuador*.
- Congreso, X., Riegos, N. De, Del, O., Energético, C., Redes, E. N., García, F., ... Poyato, C. (2020). *Optimización del coste energético en redes de riego a presión mediante su rehabilitación*.
- De Biología, E., Gestión, E. Y., José, P., Tapia, M., Monserrath, G., Regalado, S., ... Webster, A. (2012). *Universidad Del Azuay Facultad De Ciencia Y Tecnología*.

EVALUACIÓN HIDRÁULICA ENERGÉTICA EN SISTEMAS DE ALCANTARILLADO

Del, A., Una, F. D. E., & Colectiva, R. E. D. (2016). *Resumen*.

Esteban, S., & Alonso, A. (2017). *AGUAS PLUVIALES URBANAS EN LA PARTE ALTA DE LA SUBCUENCA DEL RÍO SAN JUAN DE DIOS, GUADALAJARA, JALISCO Hydrological and Hydraulic Modeling of the Management*.

Excel, H. S. D. E. (2017). *Unidad académica de ingeniería civil carrera de ingeniería civil*.

Gavilánez, F. P. (2017). *Cálculo experimental de la eficiencia hidráulica en sumideros de aguas pluviales Experimental calculation of hydraulic efficiency of rain water drain inlets. XXXVIII(3), 17-29*.

Gelber, M. (1995). Eco-balance: An environmental management tool used in Germany. *Social and Environmental Accountability Journal*, 15(2), 7-9.
<https://doi.org/10.1080/0969160X.1995.9651517>

Huella energética del agua en función de los patrones de consumo en redes de distribución Energy footprint of water depending on consumption patterns in pressurized water networks. (2017). 197-212.

Iberoamericana, R., Edwin, P. V, Angely, V. C., Franz, C. P., Jesus, M. M., Chavarri, V., ... Usando, D. A. (2017). Ribagua Diseño Óptimo de Redes de Distribución de Agua Usando Un Software Basado En Microalgoritmos Genéticos Multiobjetivos Diseño Óptimo de Redes de Distribución de Agua Usando Un Software Basado En Microalgoritmos Genéticos Multiobjetivos. *Ribagua*, 4(1), 6-23.
<https://doi.org/10.1080/23863781.2017.1317087>

Laurencio, R. M. (1988). *climatización por agua helada en hoteles Introducción. 18(56), 43-46*. <https://doi.org/10.4114/ia.v18i56.1125>

Luis, A. H. J., Laura, V. M., Luis, A. H. J., Horacio, R. G., Una, H., & Territorio, P. (n.d.). *La*

EVALUACIÓN HIDRÁULICA ENERGÉTICA EN SISTEMAS DE ALCANTARILLADO

Modelación Numérica en Hidráulica . Una Herramienta en la Planeación del Territorio.

Marisol, A., & Sabag, A. (n.d.). *HÍDRICOS EN POLÍTICAS DE ORDENACIÓN TERRITORIAL*

Influencia de la Norma 26 en el diseño de sistemas para ahorro y reúso de agua en vivienda social.

Montejo, A., A, D. I. M., Arroyo, M., Honorato, A., & Zamora, S. A. (2018). *Comparativa de metodologías para el diseño de redes de alcantarillado sanitario Comparison of methodologies for the design of sanitary sewer networks. 3, 23–40.*

Pa, A. (2019). *Análisis metodológico para el desempeño ambiental en estructuras de saneamiento a fin de mitigar efectos de los contaminantes emergentes , PPCPS 1. 3(29), 131–143.*

Padilla Santamaría, M. A. (2009). *Diseño de la red de alcantarillado sanitario y pluvial del corregimiento de La Mesa - Cesar Mayra. 1–80.*

Pérez, D. M., & Arzola, L. C. R. (2017). *La simulación en el diseño de los sistemas hidráulicos navales. XXXVIII(2), 29–43.*

Pérez, J. I., & Escobar, J. R. (2018). *Modelación Hidráulica 2D de Inundaciones en Regiones con Escasez de Datos . El Caso del Delta del Río Ranchería , Riohacha-Colombia 2D Hydraulic Flood Modeling in Data-Scarce Regions The Case of Ranchería River Delta , Riohacha-Colombia. 29(4), 143–156.*

Piura, P. D. E., & Piura, D. D. E. (2019). *Facultad de ingeniería escuela profesional de ingeniería civil.*

Potable, D. E. L. O. S. S. D. E. A., Sanitario, A., Habilitacion, D. E. L. A., Condominio, U., Barraza, L. O. S. S. D. E., Libertad, L. A., ... Edificaciones, N. D. E. (n.d.). *Facultad de ingeniería.*

EVALUACIÓN HIDRÁULICA ENERGÉTICA EN SISTEMAS DE ALCANTARILLADO

- Pucuhuaranga Espinoza, L. M. (2018). Diseño hidráulico del sistema de abastecimiento de agua potable de la comunidad nativa San Juan de Cajeriari, Distrito de Pangoa, Provincia de Satipo – Junín. *Repositorio de Tesis - UNMSM*. Retrieved from <http://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/cybertesis/8811>
- Salvador, U. D. E. E. L. (2012). “ *Rediseño Del Sistema De Alcantarillado Sanitario , Alcantarillado Pluvial Y. Universidad de Manizales Facultad de Ingeniería Maestría en Tecnologías de la Información Geográfica.* (2015).
- Valle-tamayo, G., Valbuena-luna, L., Rojas-beltrán, C., & Cabarcas-simancas, M. (2018). *Modelo numérico para el análisis y el diseño de redes de tubería para flujo bifásico Numerical model for the analysis and design of piping networks for two-phase flow.* 17(2), 201–214.
- Vivas-vivas, R. J., & Tafur-recalde, V. L. (2017). *Jaime A. Pazmiño-Mayorga.* 2(6), 1081–1102. <https://doi.org/10.23857/casedelpo.2017.2.6.jun.1081-1102>
- Wurl, J., García, C. N. M., & Lamadrid, M. Á. I. (2015). Caracterización del peligro por inundaciones en el oasis La Purísima, Baja California Sur, México. *Investigaciones Geograficas*, 87(87), 76–87. <https://doi.org/10.14350/rig.41858>