

Artículo Científico

Rediseño Hidráulico de una Alcantarilla que intercepta la vía Intervalles, en la parroquia El Tambo

Hydraulic Redesign of a Culvert that Intercepts the Intervalles Road, in the El Tambo Parish



Luna-Chalán, Ángel Arcecio ¹



<https://orcid.org/0009-0006-7406-704X>



alunac@uteq.edu.ec



Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador, Ciudad.



Cuenca-Tamayo, Luz Daniela ²



<https://orcid.org/0009-0002-9662-6835>



cuencaDaniela698@es.uazuay.edu.ec



Universidad del Azuay, Ecuador, Cuenca.

Autor de correspondencia ¹



DOI / URL: <https://doi.org/10.55813/gaea/rcym/v4/n1/156>

Resumen: La alcantarilla existente en la parroquia El Tambo, ubicada en la intersección de las calles Rosalino Paute y la vía Intervalles, presenta una reducción aproximada del 48 % de su sección hidráulica debido al azolvamiento, además de fisuras diagonales en sus elementos estructurales. Ante esta problemática, la investigación tuvo como objetivo determinar el caudal de diseño y desarrollar el rediseño hidráulico y estructural de la alcantarilla, garantizando un desempeño hidráulico y una estabilidad estructural conforme a la normativa vigente. La metodología correspondió a un estudio cuantitativo de tipo aplicado, que incluyó el análisis hidrológico, modelación hidráulica en el software HY-8. El diseño estructural se realizó conforme a la norma AASHTO LRFD 2020, empleando parámetros geotécnicos obtenidos mediante ensayos SPT. Como resultado, se determinó un caudal de diseño de 0,613 m³/s para un período de retorno de 25 años y se propuso una alcantarilla tipo cajón de hormigón armado de 1,10 m × 1,10 m y 80,40 m de longitud. Los resultados confirman la insuficiencia hidráulica de la estructura existente y validan el rediseño propuesto, el cual mejora significativamente la capacidad hidráulica, la seguridad estructural y la resiliencia de la infraestructura vial frente a eventos extremos.

Palabras clave: Alcantarilla, HY8, caudal de diseño



Check for updates

Received: 11/Ene/2026

Accepted: 03/Feb/2026

Published: 22/Feb/2026

Cita: Luna-Chalán, Ángel A., & Cuenca-Tamayo, L. D. (2026). Rediseño Hidráulico de una Alcantarilla que intercepta la vía Intervalles, en la parroquia El Tambo. *Revista Científica Ciencia Y Método*, 4(1), 357-370. <https://doi.org/10.55813/gaea/rcym/v4/n1/156>

Revista Científica Ciencia y Método (RCyM)

<https://revistacym.com>

revistacym@editorialgrupo-aea.com

info@editorialgrupo-aea.com

© 2026. Este artículo es un documento de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la **Licencia Creative Commons, Atribución-NoComercial 4.0 Internacional**.



Abstract:

The existing culvert in the El Tambo parish, located at the intersection of Rosalino Paute Street and the Intervalles Road, shows an approximate 48% reduction in its hydraulic cross-section due to sedimentation, in addition to diagonal cracks in its structural elements. In response to this problem, the study aimed to determine the design discharge and develop the hydraulic and structural redesign of the culvert, ensuring adequate hydraulic performance and structural stability in accordance with current regulations. The methodology consisted of a quantitative applied study, which included hydrological analysis and hydraulic modeling using the HY-8 software. Structural design was carried out in accordance with the AASHTO LRFD 2020 standard, using geotechnical parameters obtained through SPT tests. As a result, a design discharge of 0.613 m³/s was determined for a 25-year return period, and a reinforced concrete box culvert measuring 1.10 m × 1.10 m and 80.40 m in length was proposed. The results confirm the hydraulic inadequacy of the existing structure and validate the proposed redesign, which significantly improves hydraulic capacity, structural safety, and the resilience of road infrastructure to extreme events.

Keywords: culvert, HY8, design flow.

1. Introducción

El diseño de la infraestructura de drenaje menor constituye un componente esencial en la planificación y operación de las redes viales, ya que permite conducir adecuadamente el escurrimiento superficial y proteger la estructura del pavimento frente a eventos de precipitación intensa (Torres-Cobo et al., 2024). Un diseño hidráulico deficiente puede provocar erosión, inundaciones localizadas y fallas estructurales, comprometiendo la seguridad vial y la funcionalidad de la infraestructura, tal como señalan estudios sobre hidrología aplicada y drenaje vial (Kang, 2009).

En zonas con crecimiento urbano acelerado, la expansión de superficies impermeables incrementa significativamente los volúmenes y velocidades de escorrentía superficial, superando la capacidad hidráulica de muchas obras de drenaje existentes. A ello se suma la antigüedad de las estructuras y la falta de mantenimiento, factores que favorecen procesos de azolvamiento, obstrucción parcial y deterioro progresivo de alcantarillas construidas décadas atrás en contextos viales sometidos a lluvias intensas (Güenal, 2017) & (Smith, 2024).

Ante este escenario, resulta indispensable evaluar y actualizar el diseño de las obras de drenaje transversal mediante métodos hidrológicos actualizados, modelación hidráulica y criterios estructurales acordes a la normativa vigente. La literatura técnica demuestra que el rediseño hidráulico y estructural permite mejorar el desempeño de

las alcantarillas y reducir los riesgos asociados a eventos hidrometeorológicos extremos (Jasim, 2018); (Luo, 2021). En este contexto, la presente investigación tiene como objetivo desarrollar el rediseño hidráulico y estructural de una alcantarilla ubicada en la vía Intervalles, garantizando la continuidad hidráulica y la seguridad vial.

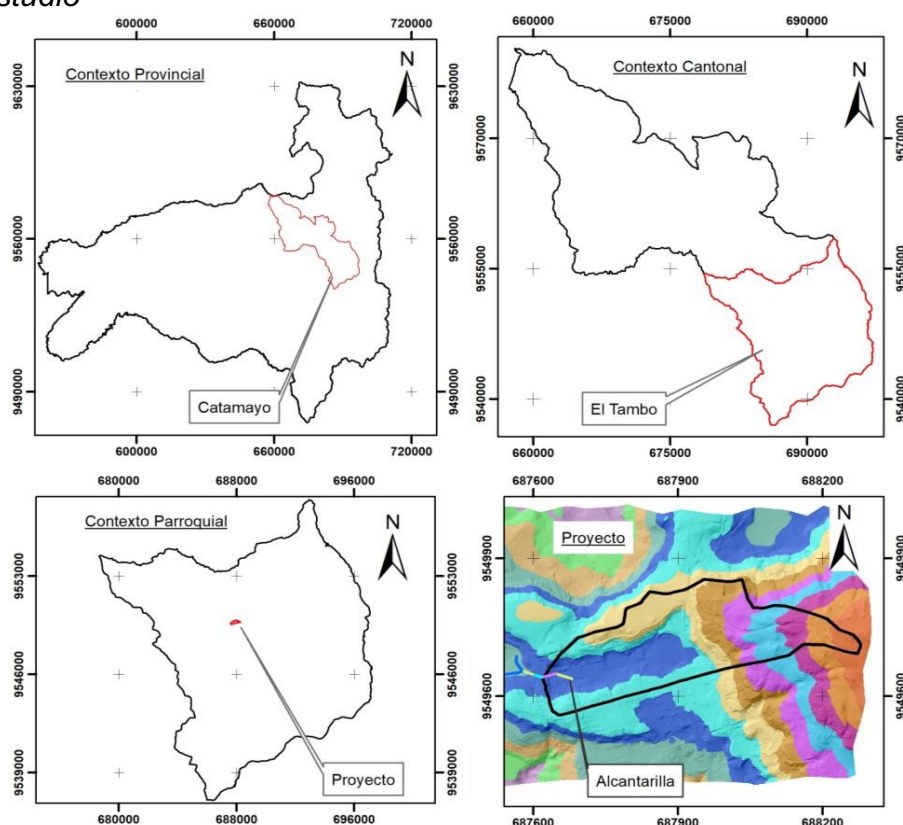
2. Materiales y métodos

La investigación presenta un enfoque cuantitativo, con un tipo de estudio aplicado y un diseño no experimental. El alcance es descriptivo-propositivo, ya que se analizan las condiciones hidráulicas de una alcantarilla existente y se propone un rediseño técnico que garantice su correcto funcionamiento y la seguridad vial. Se emplearon métodos analítico y deductivo, aplicando ecuaciones hidráulicas y criterios normativos vigentes para el análisis y rediseño de la alcantarilla.

Área de estudio y delimitación de cuenca:

El área de estudio se encuentra ubicada en la parroquia El Tambo, cantón Catamayo, provincia de Loja, en la vía Intervalles, a 500 metros antes del centro parroquial desde Catamayo.

Figura 1
Área de estudio



Nota: (Autores, 2026).

La cartografía digital del terreno fue delimitada mediante información topográfica obtenida con un vehículo aéreo no tripulado (dron), con lo cual se obtuvo el Modelo

Digital del Terreno. A partir de este modelo se delimitó la cuenca de aporte, haciendo uso del software ArcMap 10.5, mediante la herramienta Hydrology, generando la dirección del flujo, acumulación del flujo y delimitación del área de drenaje de forma semiautomática. Sin embargo, al tratarse de una cuenca pequeña la delimitación también se realizó de forma manual en el software antes indicado.

Análisis hidrológico:

Se recopilaron datos de precipitación máxima en 24 horas de cuatro estaciones; La Argelia, Gonzanamá, Malacatos y Catamayo (29 a 50 años de datos). Las etapas de análisis fueron: Evaluación y depuración de outliers con metodologías de England et al. (2029), Pearson III, Log-normal, y criterios de Leiva & Rodríguez (2026); Ajuste probabilístico mediante la prueba de Kolmogorov–Smirnov; Generación de isomáximas e interpolación espacial en SIG; Generación de curvas IDF con ecuaciones del (INAMHI, 2019), para la zona 17; el caudal de diseño se estimó mediante el Método Racional, recomendado por (EMAAP, 2009) & (MTOP, 2003), para cuencas con áreas menores a 100-400 hectáreas.

Modelación hidráulica:

El análisis hidráulico de la alcantarilla existente se realizó en el software HY-8 v7.8, oficial de la (FHWA, 2022), donde automatiza los cálculos hidráulicos de alcantarillas utilizando el método de la energía que facilita el análisis y diseño de alcantarillas. Las entradas principales a considerar fueron: Geometría del ducto existente (mampostería y ARMICO); Cotas de entrada y salida levantadas en campo; Pendiente y rugosidad de cauces naturales y artificiales. También se evaluaron las condiciones de entrada y salida, transporte de sedimentos y niveles críticos.

Diseño estructural:

Para el diseño de alcantarillas se ha considerado la norma AASHTO LRFD 2020, (Rodríguez A. , 2022), para cargas vehiculares, empujes de tierra, sobrecargas, cargas vivas HL-93 y tándem. La norma ACI 350 y ACI 224R-90, para control de fisuración en estructuras hidráulicas. Parámetros geotécnicos obtenidos mediante ensayo SPT para obtener esfuerzo admisible y ángulo de fricción (20°). Se diseño un ducto tipo cajón de hormigón armado con dimensiones de 1.10 m de ancho por 1.10 m de altura, valor que corresponde a la sección mínima recomendada por (MTOP, 2003); cabezal de ingreso y salida, rejillas y canal trapezoidal de salida. El diseño estructural se realizó mediante hojas de cálculo y el software CYPE, considerando cargas permanentes, sobrecarga vehicular y presiones hidrostáticas.

3. Resultados

3.1. Área de la cuenca

La cuenca de aporte tiene un área de drenaje de 9.27 ha, según el criterio (INEFAN, 1995), es considerada como microcuenca.

3.2. Análisis hidrológico

Los valores de precipitación máxima en 24 horas obtenidos por mejor ajuste para los periodos de retorno analizados de cada estación se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 1

Precipitación máxima en 24 horas, para diferentes Tr.

Estación	Pmax_25Tr mm	Pmax_50Tr mm	Pmax_100Tr mm
La Argelia	65.1	70.3	75.4
Gonzanamá	122.2	138.1	154.6
Malacatos	68.0	74.1	80.0
Catamayo	75.3	85.6	96.0

Nota: (Autores, 2026).

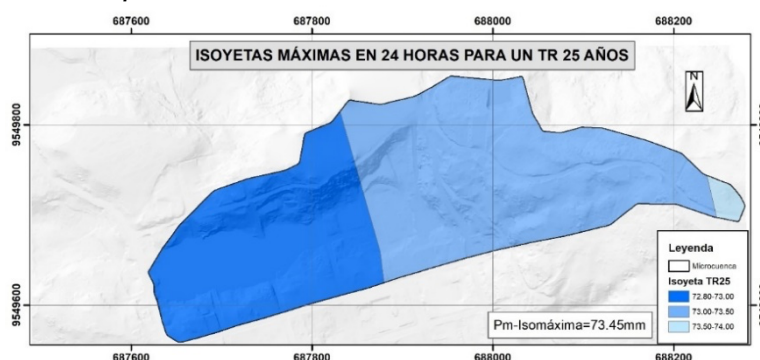
Para la selección del método global, se comparó los resultados del ajuste gráfico y el método de Kolmogorov-Smirnov. Coincidiendo los resultados entre el ajuste gráfico y el ajuste estadístico. El método de Log Pearson Tipo III para las estaciones de La Argelia, Malacatos y Gonzanamá y el método de Log Normal para la estación de Catamayo.

3.2.1. Interpolación de Isomáximas

En el software ArcMap 10.5, se generó las isomáximas, donde se utilizó el método de las Isoyetas para un periodo de retorno de 25, 50 y 100 años.

Figura 2

Isomáxima en 24 horas para un TR de 25 años



Nota: (Autores, 2026).

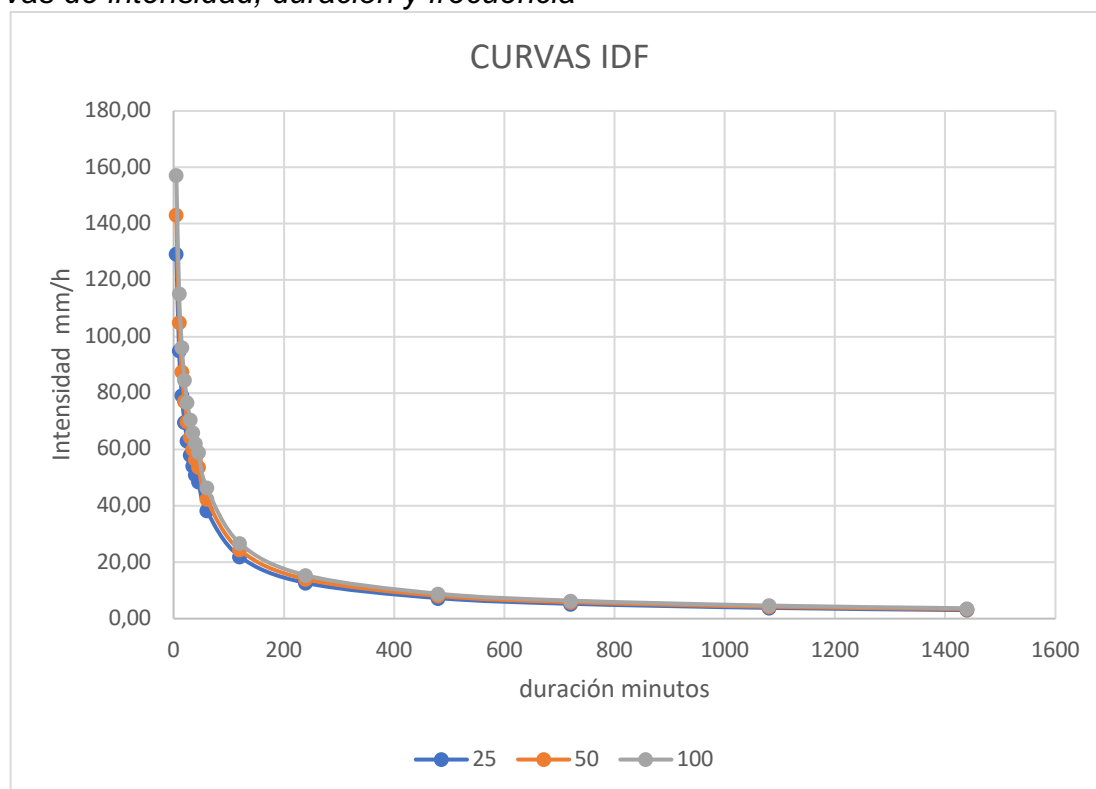
Los valores de precipitación máxima en 24 horas obtenidos para los períodos de retorno de 25, 50 y 100 años evidencian un incremento progresivo de la magnitud de los eventos extremos conforme aumenta la recurrencia, registrándose precipitaciones de 73.24 mm, 81.29 mm y 89.25 mm/24 h, respectivamente. Este comportamiento es consistente con los principios del análisis hidrológico, donde los eventos menos frecuentes presentan mayores intensidades y volúmenes de lluvia.

3.2.2. Curvas de Intensidad- Duración- Frecuencia

Las intensidades de precipitación alcanzan valores elevados para duraciones cortas y disminuyen progresivamente a medida que aumenta la duración del evento.

Figura 3

Curvas de intensidad, duración y frecuencia



Nota: (Autores, 2026).

Para duraciones inferiores a 30 minutos, las intensidades son significativamente mayores, destacándose la curva correspondiente a un período de retorno de 100 años, lo que evidencia la ocurrencia de lluvias intensas de corta duración con alto potencial de generación de escorrentía superficial. Asimismo, para una misma duración, las intensidades incrementan conforme aumenta el período de retorno, siendo menores para 25 años y mayores para 100 años. En duraciones superiores a 200 minutos, las intensidades tienden a converger hacia valores bajos, inferiores a 15 mm/h, lo que indica una menor incidencia de eventos extremos prolongados. Estas curvas constituyen la base para la estimación de los caudales de diseño utilizados en el rediseño hidráulico de la alcantarilla.

3.2.3. Caudal máximo

Los caudales máximos para diferentes escenarios son fundamentales, ya que permiten estimar los valores correspondientes a cada período de retorno y diseñar estructuras hidráulicas capaces de evacuar de manera segura y eficiente el caudal de diseño, garantizando así su adecuado funcionamiento y reduciendo el riesgo de inundaciones.

Tabla 2*Caudales máximos para el escenario A*

Duración	Q(m³/s)	TR - 25 años	Q(m³/s)	TR - 50 años	Q(m³/s)	TR - 100 años
C_actual				0.471		
30 minutos	1.0043			1.1644		1.283
45 minutos	0.601			0.696		0.767
60 minutos	0.391			0.453		0.499

Nota: (Autores, 2026).

El caudal de diseño seleccionado para el estudio es de 0.613 m³/s, obtenido mediante el escenario B, para un TR de 25 años y es lo que recomienda el (MTOP, 2003), para vías colectoras. Así mismo de las dos tablas se concluye que al tener un menor tiempo de concentración los caudales picos son más significativos, es decir que los eventos de crecida tienden a presentarse en tiempos cortos. Esto se ratifica con lo que menciona (Rodríguez M., 2011), que indica que a medida que se elimina la vegetación, afecta en mayor o menor grado los picos de las avenidas. Y los problemas involucrados son muy serios y de diferente tipo, máximo si no se toman las consideraciones sobre lo que pueda suceder con el paso de los años.

Tabla 3*Caudales máximos para el escenario B.*

Duración	Q_TR-25 años	Q_TR-50 años	Q_TR-100 años
C_proyectado		0.592	
15 minutos	1.4762	1.7114	1.885
30 minutos	0.613	0.711	0.783
45 minutos	0.366	0.425	0.468

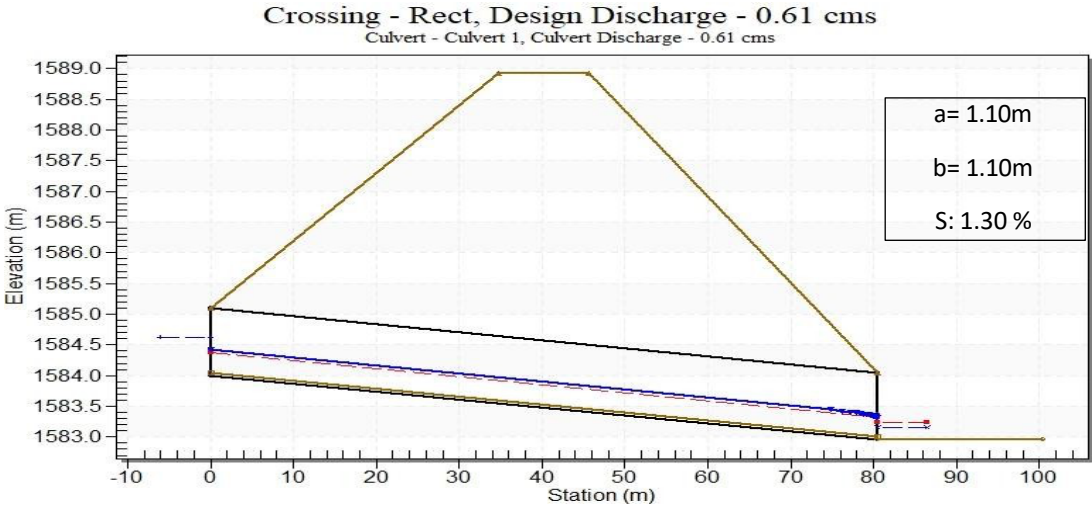
Nota: (Autores, 2026).

3.3. Modelación hidráulica

La modelación indica que el flujo en el ducto es subcrítico (tipo 2-M2c), con velocidades dentro de los rangos recomendados (1,76 m/s en ducto y 2,26 m/s en salida). El tirante normal es de 0,37 m; sin embargo, la normativa del (MTOP, 2003), establece un diámetro mínimo equivalente a 1,10 m para secciones cuadradas, dimensión adoptada para este estudio.

El ducto propuesto transporta adecuadamente tanto el caudal de diseño como el caudal máximo modelado (1,47 m³/s).

Figura 4
Vista lateral de la alcantarilla propuesta.



Nota: (Autores, 2026).

3.4. Resultados geotécnicos (SPT)

El proyecto se encuentra en zona sísmica II (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda [MIDUVI], 2014), con factor $Z = 0,25$ y suelo tipo D ($F_a = 1,40$). El perfil geotécnico incluye dos estratos de arcillas CL, de media y baja plasticidad respectivamente, hasta los 6 m de profundidad.

Tabla 4
Valores de capacidad de carga para el diseño.

Descripción	Valor	Unidad
Q último	3.197	kg/cm ²
Q admisible	1.066	kg/cm ²
Ángulo de fricción	20.28	°
Factor de seguridad	3	
Cohesión (c')	1.22	Tn/m ²
Densidad	1.276	g/cm ³

Nota: (Autores, 2026).

3.5. Diseño estructural

La alcantarilla es de sección monolítica cuadrada, con cabezal de entrada y salida, con una pendiente de 1.30 %, que se conecta a un canal trapezoidal en su salida. Para el diseño, se utilizó el procedimiento establecido en el (MTOP, 2003).

Especificaciones:

- a) Norma de diseño: AASHTO LRFD 2020 (9th Edition).
- b) Presión vertical y horizontal.
- c) Carga de camión HL-93.
- d) Replanteo: $f'c = 180 \text{ kg/cm}^2$
- e) Resistencia del hormigón para la estructura: $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$
- f) Acero de refuerzo estructural: $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$

Tabla 5*Resume de Cargas de la Alcantarilla.*

Descripción	Valor	Unidad
Carga Muerta (DC)		
Carga Muerta de Losa	600.00	Kgf /m
Carga Muerta en el fondo	1633.85	kgf/m
Presión vertical de terreno (EV)	8600.0	kgf/m ²
Presión Horizontal del terreno (EH)		
EH1 (superior)	4216.50	kgf/m ²
EH2 (inferior)	5785.43	kgf/m ²
Sobrecarga por carga viva (LS)		
LSsup	755.05	kgf/m
LSinf	598.15	kgf/m
Carga de agua en el Fondo WA	1100.00	kgf/m ²
Carga de camión HL-93 (una vía cargada)		
lw1	9.47	m
PL1	253.97	kgf/m ²
Carga de Tándem (una vía cargada)		
lw2	6.40	m
PL2	587.13	kgf/m ²

Nota: (Autores, 2026).

El diseño estructural de la alcantarilla tipo cajón y de los elementos complementarios se desarrolló conforme a la normativa AASHTO LRFD 2020, considerando una estructura monolítica de hormigón armado con sección interna de 1.10 m × 1.10 m, pendiente longitudinal de 1.30 % y una longitud total de 80.40 m. Para el análisis se incluyeron cargas permanentes, presiones verticales y horizontales del terreno, carga hidrostática, sobrecarga vehicular y carga viva HL-93. La presión vertical máxima del terreno alcanzó 8600 kgf/m², mientras que las presiones horizontales variaron entre 4216.50 kgf/m² en la parte superior y 5785.43 kgf/m² en la base del ducto, valores que gobiernan el diseño de los muros laterales.

Tabla 6*Envolvente de momentos, estado de Resistencia.*

Descripción	Valor	Unidad
M_Neg_Losa_Sup=	2.16	kgf*m
M_pos_Losa_Sup=	2.47	kgf*m
M_Neg_Losa_Inf=	2.15	kgf*m
M_Pos_Losa_Inf=	2.46	kgf*m
M_Neg_Mur_ext=	2.18	kgf*m
M_Posi_Muro_Ext=	2.30	kgf*m
M_Neg_Muro_Int=	0.00	kgf*m

Nota: (Autores, 2026),

La envolvente de momentos en el estado límite de resistencia mostró valores máximos de 2.47 kgf·m en la losa superior y 2.46 kgf·m en la losa inferior, mientras que en los muros exteriores los momentos alcanzaron hasta 2.30 kgf·m. En el estado límite de servicio, los momentos se redujeron significativamente, registrándose valores máximos de 1.64 kgf·m, lo que evidencia un comportamiento estructural adecuado frente a las deformaciones y fisuración. Todas las solicitaciones se mantuvieron dentro de los límites admisibles para un hormigón con resistencia $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ y acero de refuerzo $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$.

En el canal de salida, el análisis estructural indicó momentos máximos de 87.80 kgf·m en el muro y 190.99 kgf·m en la solera, con esfuerzos cortantes actuantes de 0.61 kgf/cm² y 0.91 kgf/cm², respectivamente, inferiores al esfuerzo cortante permisible del concreto (4.20 kgf/cm²). El diseño del refuerzo, conformado por malla electrosoldada de Ø8 mm con espaciamiento de 15 × 15 cm, garantiza la resistencia frente a flexión, corte y tracción. En conjunto, los resultados confirman que el diseño estructural propuesto cumple con los criterios de seguridad, estabilidad y durabilidad, mejorando significativamente el desempeño de la obra de drenaje frente a la estructura existente.

4. Discusión

Los resultados obtenidos en esta investigación confirman que la alcantarilla existente en la vía Intervalles presenta una capacidad hidráulica insuficiente frente a las condiciones hidrológicas actuales de la cuenca. La reducción del área permeable, asociada al crecimiento urbano y a la modificación del uso del suelo, ha incrementado los caudales pico y reducido el tiempo de concentración, lo que concuerda con lo señalado por (Rodríguez, Mendoza, & Sepúlveda, 2000), quien afirma que la eliminación de cobertura vegetal incrementa significativamente la magnitud de las avenidas máximas. De manera similar, (Daza, 2013), evidenció que el aumento del coeficiente de escorrentía genera sobrecargas hidráulicas en sistemas de drenaje originalmente diseñados bajo condiciones de menor urbanización.

El caudal de diseño determinado (0,613 m³/s para un período de retorno de 25 años) se encuentra dentro de los rangos recomendados para vías colectoras según (MTOP, 2003), y otros manuales de drenaje vial, como el Ministerio de Obras Públicas y Transportes (2026) y el (INVIAS, 2009), los cuales destacan la importancia de seleccionar periodos de retorno acordes a la jerarquía vial y al riesgo aceptable de falla hidráulica. La coherencia de los resultados con dichas normativas valida la metodología empleada en el análisis hidrológico.

La modelación hidráulica desarrollada en HY-8 permitió evidenciar que la estructura actual opera bajo condiciones desfavorables debido al azolve y deterioro del ducto. Este comportamiento coincide con lo reportado por (Briceño, 2020), quienes demostraron que la acumulación de sedimentos reduce significativamente la capacidad de transporte de alcantarillas en carreteras de montaña, incrementando el riesgo de desbordamientos y socavación. Asimismo, (Arellano-Choca, 2020), destacan que las condiciones de entrada y la geometría del ducto influyen de manera determinante en el comportamiento hidráulico de este tipo de estructuras.

El reemplazo por una sección tipo cajón de hormigón armado representa una solución adecuada desde el punto de vista hidráulico y estructural. Estudios previos, como el de Federal Highway Administration (2012), señalan que las alcantarillas tipo cajón presentan ventajas en cuanto a estabilidad estructural, facilidad de mantenimiento y comportamiento hidráulico más controlado frente a secciones circulares o ductos

metálicos corrugados. Además, la elección del hormigón armado contribuye a mejorar la durabilidad frente a la corrosión y al desgaste hidráulico, aspectos críticos en zonas con alto contenido de sedimentos, tal como lo menciona (Rodríguez J. S., 2000), en estudios de patología de alcantarillas.

Desde el enfoque hidrológico, el uso de análisis probabilístico y curvas IDF generadas mediante Hidrognomon sigue metodologías aceptadas internacionalmente (Kozanis, 2010); England et al. (2029). La integración de información pluviométrica regional, interpolación espacial y delimitación de cuenca mediante modelos digitales de terreno de alta resolución permitió obtener resultados consistentes con principios clásicos de la hidrología aplicada (Ponce, 2014). Esto refuerza la confiabilidad del caudal de diseño seleccionado.

En el ámbito estructural, la aplicación de la normativa AASHTO LRFD 2020 garantiza que la estructura propuesta cumple con criterios modernos de diseño por estados límite, considerando cargas vehiculares, empujes de suelo y efectos hidrostáticos. Este enfoque coincide con prácticas internacionales recomendadas para infraestructura vial crítica, donde la seguridad estructural debe evaluarse bajo múltiples combinaciones de carga (Federal Highway Administration, 2012). Adicionalmente, la consideración de parámetros geotécnicos obtenidos mediante ensayos SPT permite asegurar un adecuado desempeño de la cimentación, aspecto fundamental en suelos arcillosos de baja resistencia, como los identificados en el sitio de estudio (Guerrero-Calero et al., 2024).

El rediseño propuesto contribuye a la resiliencia de la infraestructura vial frente a eventos hidrometeorológicos extremos, alineándose con las recomendaciones de gestión del riesgo en drenaje vial descritas por Ministerio de Obras Públicas y Transportes (2026) y con los principios de sostenibilidad en la gestión del agua pluvial. En este sentido, la intervención propuesta no solo mejora la seguridad hidráulica de la vía, sino que también aporta al cumplimiento del Objetivo de Desarrollo Sostenible 6, al reducir la probabilidad de inundaciones y garantizar la adecuada conducción de aguas superficiales.

5. Conclusiones

La evaluación de la estructura existente evidenció daños estructurales significativos y una reducción considerable de su capacidad hidráulica, lo que justifica técnicamente su sustitución. El caudal de diseño determinado para la alcantarilla, equivalente a $0,613 \text{ m}^3/\text{s}$ para un período de retorno de 25 años, resulta adecuado para vías colectoras de acuerdo con los lineamientos establecidos por el MTOP. Este valor permitió definir una solución hidráulica eficiente, capaz de conducir los caudales generados por eventos de precipitación intensa sin comprometer la seguridad vial ni la continuidad hidráulica del sistema de drenaje transversal.

El rediseño propuesto, consistente en una alcantarilla tipo cajón de 1,10 × 1,10 m y 80,40 m de longitud, en una estructura de Hormigón armado que garantiza un adecuado funcionamiento bajo régimen de superficie libre, además de cumplir con los criterios estructurales establecidos por la normativa AASHTO LRFD frente a cargas vehiculares, empujes de suelo y acciones hidrostáticas.

El diseño del canal de salida trapezoidal, con solera de 1,10 m, pendiente de 1,50 % y talud 0,5, se adapta a las condiciones geotécnicas del sitio, caracterizadas por estratos de arcilla de media y baja plasticidad. Finalmente, la nueva infraestructura propuesta contribuye al cumplimiento del Objetivo de Desarrollo Sostenible 6, al mejorar la gestión del drenaje pluvial y reducir riesgos de inundación y deterioro de la infraestructura vial.

CONFLICTO DE INTERESES

“Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses”.

Referencias Bibliográficas

- Arellano-Choca, G. S. (2020). Evaluación hidráulica de alcantarillas mediante modelación computacional. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*, 12(1), 55–68. <https://doi.org/10.5154/r.inagbi.2018.10.020>
- Briceño, E. O. (2020). Evaluación de la capacidad de transporte de caudales y sedimentos del drenaje transversal en una carretera montañosa en los Andes del Ecuador. *Avances: Investigación en Ingeniería*, 18(1), 2–14. <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.2.6628>
- Daza, M. (2013). *Estudio para determinar la variación del coeficiente de escorrentía y su impacto en la capacidad de la red de alcantarillado en los colectores de las calles Arirumba e Imbabura* [Tesis de pregrado, Universidad de Cuenca]. Repositorio Institucional Universidad de Cuenca. <https://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/4540>
- Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable de Quito [EMAAP-Q]. (2009). *Normas de diseño de sistemas de alcantarillado para la EMAAP-Q* (1.^a ed.). https://www.aguaquito.gob.ec/Alojamientos/PROYECTO%20LA%20MERCED/ANEXO%20%20NORMAS_ALCANTARILLADO_EMAAP.pdf
- England, J. F., Jr., Cohn, T. A., Faber, B. A., Stedinger, J. R., Thomas, W. O., Jr., Veilleux, A. G., Kiang, J. E., & Mason, R. R., Jr. (2019). *Guidelines for determining flood flow frequency—Bulletin 17C* (ver. 1.1, May 2019) (Techniques and Methods, Book 4, Chap. B5). U.S. Geological Survey. <https://doi.org/10.3133/tm4B5>
- Federal Highway Administration. (2012). *Bridge and culvert scour design* (FHWA-HIF-12-026). <https://www.fhwa.dot.gov/engineering/hydraulics/pubs/12026/hif12026.pdf>

- Guerrero-Calero, J. M., Moran-González, M., Zapata-Velasco, M. L., Mieles-Giler, J. W., & Cárdenas-Baque, D. A. (2024). Potencial fotovoltaico para sistemas de bombeo de agua para la comuna de Joa, Manabí, Ecuador. *Journal of Economic and Social Science Research*, 4(3), 32–45. <https://doi.org/10.55813/gaeal/jessr/v4/n3/119>
- Günel, M. A. (2017). Cross-drainage culvert design by using GIS. *Acta Physica Polonica A*, 132(3), 595–598. <https://doi.org/10.12693/APhysPolA.132.595>
- Instituto Ecuatoriano Forestal y de Áreas Naturales y Vida Silvestre [INEFAN]. (1995). *Manual de procedimiento forestal*. <https://www4.quito.gob.ec/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=43768>
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología [INAMHI]. (2019). *Determinación de ecuaciones para el cálculo de intensidades máximas de precipitación*. https://www.inamhi.gob.ec/Publicaciones/Hidrologia/ESTUDIO_DE_INTENSIDAD_DES_V_FINAL.pdf
- Instituto Nacional de Vías [INVIAS]. (2009). *Manual de drenaje para carreteras*. <https://onl.dnp.gov.co/sites/comunidadvirtual/Tecnologas%20%20intervenciones/Manual%20de%20drenajes%20para%20carreteras.pdf>
- Jasim, N. A. (2018). Design of box culvert in Iraqi highways considering catchment areas. *International Journal of Engineering and Technology*, 7(4.37), 157–162. <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i4.37.24093>
- Kang, M. S. (2009). Design of drainage culverts considering critical storm duration. *Biosystems Engineering*, 104(3), 425–434. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2009.07.004>
- Kozanis, S., Christofides, A., Mamassis, N., Efstratiadis, A., & Koutsoyiannis, D. (2010). Hydrognomon—Open source software for the analysis of hydrological data. En *Geophysical Research Abstracts* (Vol. 12, Resumen 12419). European Geosciences Union. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.21350.83527>
- Leiva, D., & Rodríguez, Y. (2016). *Identificación de modelos estadísticos para la regionalización de los caudales máximos de la cuenca Magdalena-Cauca* [Trabajo de grado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. Repositorio institucional. <http://hdl.handle.net/11349/3212>
- Luo, Z. G. (2021). Comparison of hydraulic design methods for highway culverts and analysis on influencing factors between China and US. *Highway and Transportation Research and Development*, 38(7), 69–76. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1002-0268.2021.07.010>
- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda [MIDUVI]. (2014). *NEC-SE-DS: Peligro sísmico, diseño sismo resistente (parte 1)*. <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/2.-NEC-SE-DS-Peligro-Sismico-parte-1.pdf>
- Ministerio de Obras Públicas y Transportes. (2016). *Guía técnica para la gestión del riesgo en infraestructura vial*. <http://repositorio.mopt.go.cr:8080/xmlui/123456789/488>

- Ministerio de Transporte y Obras Públicas [MTOP]. (2003). *Normas de diseño geométrico de carreteras*. <https://sjnavarro.wordpress.com/wp-content/uploads/2011/08/manual-de-diseno-de-carreteras.pdf>
- Ponce, V. M. (2014). *Engineering hydrology: Principles and practices* (2nd ed., en línea). <https://ponce.sdsu.edu/enghydro/>
- Rodríguez, O., Mendoza, R., & Sepúlveda, T. (2000). Metodología para el estudio de la patología de las alcantarillas en las carreteras colombianas. *Ingeniería y Universidad*. <https://revistas.javeriana.edu.co/index.php/iyu/article/view/34039>
- Smith, J. D. (2024). Improvements to the hydraulic performance of culverts under inlet control conditions by optimisation of inlet characteristics. *Water*, 16(11), 1569. <https://doi.org/10.3390/w16111569>
- Torres-Cobo, L. E., Alcázar-Espinoza, J. A., Vera-Guerrero, D. I., & Verdugo-Arcos, J. A. (2024). Propuesta de diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales domesticas a escala piloto. *Journal of Economic and Social Science Research*, 4(4), 107–121. <https://doi.org/10.55813/gaea/jessr/v4/n4/135>