

DOI: <https://doi.org/10.46296/ig.v8i15.0234>

DISEÑO DE LOS DIMENSIONAMIENTOS DE ALCANTARILLAS PARA LA PROTECCIÓN DE LA RED VIAL ESTATAL E20 EN EL TRAMO QUININDÉ – ESMERALDAS, ECUADOR

DESIGN OF CULVERT SIZING FOR THE PROTECTION OF THE STATE ROAD NETWORK E20, QUININDÉ – ESMERALDAS SECTION, ECUADOR

Chancay-Mora Pedro Eloy ¹; Zambrano-Acosta Jimmy Manuel ²

¹ Ingeniero Civil, Posgradista del programa de la Maestría en Hidráulica, mención Gestión de Recursos Hídricos, Instituto de Posgrado, Universidad Técnica de Manabí. Portoviejo, Ecuador.
Correo: pedro.chancay@utm.edu.ec. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9793-7718>.

² Ingeniero en Zootecnia, Magister en Investigación y Gestión de Proyectos, Magíster en Evaluación de la Calidad y Procesos de Certificación en Educación Superior, Doctor en Ciencias de la Educación. Docente Universidad Técnica de Manabí. Portoviejo, Ecuador.
Correo: jzambrano@utm.edu.ec. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9620-1963>.

Resumen

El presente trabajo analiza el diseño de alcantarillas para la red vial estatal E20 en el tramo Quinindé – Esmeraldas de la provincia de Esmeraldas, Ecuador. La investigación se justifica por la necesidad de proteger la infraestructura vial frente a daños ocasionados por escorrentía derivada de precipitaciones intensas en la región. Los objetivos incluyen el dimensionamiento de alcantarillas para mitigar el impacto de flujos hídricos. Se empleó un análisis hidrológico y una metodología racional generalizada, considerando datos de topografía y climatología. Los principales resultados indican la viabilidad de un diseño eficiente en el drenaje y la mitigación de daños estructurales en la vía. En conclusión, el diseño propuesto permitirá una optimización de los recursos de mantenimiento vial y favorecerá la durabilidad de la infraestructura.

Palabras clave: Diseño hidráulico, alcantarillas, red vial estatal, dimensionamiento, escorrentía, mitigación de daños.

Abstract

This study analyzes the design of culverts for the state road network E20, Quinindé – Esmeraldas section, in Esmeraldas Province, Ecuador. The research is justified by the need to protect road infrastructure from runoff damage caused by heavy rainfall in the region. Objectives include the sizing of culverts to mitigate the impact of water flows. A hydrological analysis and generalized rational methodology were used, considering topographic and climatological data. Key findings demonstrate the feasibility of an efficient design for drainage and structural damage mitigation on the road. In conclusion, the proposed design will optimize maintenance resources and enhance infrastructure durability.

Keywords: Hydraulic design, culverts, state road network, sizing, runoff, damage mitigation.

Información del manuscrito:

Fecha de recepción: 03 de octubre de 2024.

Fecha de aceptación: 19 de diciembre de 2024.

Fecha de publicación: 10 de enero de 2025.



1. Introducción

La red vial estatal E20, especialmente en el tramo Quinindé - Esmeraldas, es fundamental para la conectividad y el desarrollo socioeconómico de la provincia de Esmeraldas, Ecuador. Este tramo facilita no solo el tránsito de bienes y personas entre Esmeraldas y otras provincias, sino que también impacta directamente en sectores clave como la agricultura, la pesca y el comercio. Estas actividades dependen del transporte eficiente para la distribución de productos, y cualquier interrupción en la vía afecta la economía tanto local como nacional.

Debido a que esta región se caracteriza por una alta pluviosidad y un terreno accidentado con suelos propensos a la erosión, la infraestructura enfrenta desafíos constantes de integridad estructural debido a la intensa escorrentía y los fenómenos hidrológicos recurrentes que incrementan el riesgo de daños estructurales y colapsos en el sistema vial (Laraque et al., 2007).

La región costera de Esmeraldas, caracterizada por un clima tropical húmedo, experimenta lluvias

intensas y frecuentes, las cuales suelen desencadenar eventos extremos como inundaciones y deslizamientos de tierra. Estos fenómenos son exacerbados durante eventos climáticos de El Niño, los cuales generan precipitaciones anómalas y un aumento en el volumen de escorrentía. Esto pone a prueba la capacidad de la infraestructura de drenaje para manejar grandes cantidades de agua. La alta frecuencia de lluvias incrementa la vulnerabilidad de la red vial, donde el diseño y mantenimiento de obras de drenaje resulta crucial para evitar interrupciones del tránsito y reducir riesgos de desbordes y erosión de los bordes de la carretera (Laraque et al., 2007).

Un desafío adicional es la falta de mantenimiento adecuado y constante de la infraestructura de drenaje, lo cual agrava la situación y lleva a la aceleración de la erosión en las zonas críticas. Este problema no solo causa un deterioro progresivo de la carretera, sino que también genera costos de reparación más altos. Esto afecta directamente la seguridad de los usuarios y la continuidad del tránsito en esta

importante vía de acceso para la región. Los efectos acumulados de una gestión inadecuada en la infraestructura vial se traducen en un ciclo de deterioro y reparaciones costosas, reduciendo su vida útil y requiriendo intervenciones cada vez más urgentes y caras (Mora et al., 2013).

Estudios en áreas similares han demostrado que las infraestructuras viales en zonas de alta pluviosidad requieren sistemas de drenaje planificados y dimensionados adecuadamente para prevenir daños graves durante eventos de lluvias extremas. En ciudades como Quito, el uso de modelos de escurrimiento-precipitación ha permitido optimizar el diseño de alcantarillas y sistemas de drenaje, mitigando el riesgo de inundación urbana y mejorando la eficiencia en el manejo de escurrimientos. Este enfoque podría replicarse en regiones costeras como el tramo Quinindé - Esmeraldas, donde los patrones de lluvia presentan desafíos similares. La implementación de soluciones adaptadas a la variabilidad climática y los patrones de precipitación ayudaría a mejorar la durabilidad de

la infraestructura vial en áreas vulnerables (Perrin & Bouvier, 2004).

Dado el impacto potencial de estos factores, el diseño y la implementación de obras de drenaje bien planificadas son una necesidad crítica para proteger la infraestructura, especialmente en intersecciones donde la carretera cruza cursos de agua. Las alcantarillas y canales de drenaje, adecuadamente dimensionados, pueden mitigar significativamente la erosión y el socavamiento en puntos críticos, garantizando una mayor durabilidad de la infraestructura. Investigaciones indican que el diseño de estas estructuras debe considerar la variabilidad de precipitación estacional y las características geográficas locales para optimizar su resistencia ante escenarios de lluvias intensas (Sucozhañay & Céleri, 2018).

Además, estudios hidrometeorológicos en ecosistemas costeros del Ecuador destacan la importancia de un monitoreo detallado del comportamiento de las aguas pluviales en estas regiones. La combinación de precipitaciones intensas y terrenos de baja

capacidad de infiltración incrementa la susceptibilidad a inundaciones repentinas, lo que convierte la planificación y monitoreo del drenaje en una prioridad para reducir riesgos de daño en la infraestructura vial (Molina et al., 2007).

La situación se vuelve aún más compleja con el cambio climático y el aumento en la frecuencia de eventos meteorológicos extremos. Estudios recientes muestran que estos cambios pueden intensificar los patrones de lluvia en la región, aumentando el riesgo de sobrecarga en los sistemas de drenaje y resaltando la necesidad de adaptaciones estructurales en la infraestructura para enfrentar un clima cada vez más impredecible. Esto implica la integración de alcantarillas y canales con capacidad suficiente para soportar altos volúmenes de agua y adaptarse a condiciones climáticas extremas (Mora et al., 2013).

En particular, el uso de sistemas mejorados de drenaje subterráneo y alcantarillas sobredimensionadas ha mostrado resultados prometedores en áreas con condiciones climáticas adversas, proporcionando una mayor resistencia y reduciendo la

probabilidad de fallos en la infraestructura (Yuan et al., 2017).

Para enfrentar estos desafíos, la infraestructura de drenaje en el tramo Quinindé - Esmeraldas se beneficiaría de innovaciones tecnológicas, como el uso de sensores y estaciones meteorológicas para la recopilación de datos climáticos precisos en tiempo real. Esto facilita la planificación y adaptación de los sistemas de drenaje en respuesta a los eventos climáticos extremos, permitiendo una intervención oportuna y optimizada.

La implementación de alcantarillas de alta capacidad y sistemas de drenaje optimizados puede reducir significativamente el riesgo de desbordes y proteger la integridad de la infraestructura vial durante eventos de escorrentía elevada. Asimismo, el uso de modelos hidrológicos avanzados, apoyados por datos satelitales, permite anticipar y mitigar los efectos de lluvias intensas, mejorando la planificación y mantenimiento de la infraestructura para garantizar su funcionamiento en el largo plazo (Zubieta et al., 2015).

La tecnología de radar y la integración de datos de precipitación con observaciones en campo han demostrado su eficacia para mejorar la precisión en la estimación de escorrentías, permitiendo diseñar sistemas de drenaje específicos para las condiciones de la región costera de Esmeraldas (Rollenbeck & Bendix, 2011).

El presente estudio, por tanto, propone el diseño de alcantarillas y sistemas de drenaje optimizados como medidas de mitigación esenciales para asegurar la funcionalidad continua de la red vial en el tramo Quinindé - Esmeraldas. La implementación de estos sistemas permitirá no solo una mejor adaptación a las condiciones de pluviosidad extrema, sino también una reducción significativa de los costos de mantenimiento a largo plazo.

Esto beneficiará tanto al sector público, en términos de ahorro en reparaciones, como a las comunidades locales que dependen de esta vía para sus actividades diarias y desarrollo económico, asegurando así la sostenibilidad de

la infraestructura en condiciones de alta exigencia climática.

2. Materiales y métodos

La metodología empleada en este estudio consistió en un análisis hidrológico y estructural, enfocado en el diseño y dimensionamiento de alcantarillas adecuadas para el tramo Quinindé - Esmeraldas de la red vial estatal E20. Este análisis se centró en calcular los caudales de diseño necesarios para garantizar la eficiencia del sistema de drenaje y reducir el riesgo de daños por escorrentía.

Para el cálculo de caudales de diseño, se utilizó el método racional generalizado, el cual es ampliamente reconocido por su precisión en estudios hidrológicos de infraestructura vial en zonas de alta pluviosidad. Este método permite estimar caudales máximos de escorrentía en función de la intensidad de precipitación, la pendiente y las características de uso del suelo. La estimación de caudales se llevó a cabo con base en periodos de retorno entre 5 y 50 años, seleccionados de acuerdo con

el volumen de tráfico y la importancia del tramo en la conectividad regional.

Los datos topográficos de la región fueron obtenidos del Instituto Geográfico Militar de Ecuador, a una escala de 1:50,000, lo cual permitió un análisis detallado de las características geográficas y geomorfológicas del área. Estos datos se complementaron con registros meteorológicos proporcionados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), que incluyen series históricas de precipitación acumulada y eventos extremos. Los registros meteorológicos se analizaron para determinar las intensidades de lluvia en intervalos de tiempo críticos, ajustando los valores según la variabilidad climática registrada en los últimos años.

En el diseño de las alcantarillas, se evaluaron las velocidades de flujo máximas y mínimas en los puntos críticos de la vía, considerando tanto la rugosidad como la pendiente del terreno. La rugosidad del suelo se evaluó con base en las condiciones naturales y en el tipo de suelo predominante en cada zona, siguiendo las guías de diseño de

infraestructuras de drenaje. Las pendientes del terreno se determinaron mediante modelos digitales de elevación, que facilitaron el análisis detallado de los cambios de altura a lo largo de la vía y permitieron identificar las áreas con mayor riesgo de erosión y socavación.

Las estructuras de alcantarillado propuestas fueron diseñadas para manejar los caudales estimados en función de los periodos de retorno seleccionados. Se consideraron materiales de construcción que ofrecen alta resistencia a la erosión, como el concreto reforzado y el acero galvanizado, garantizando así la durabilidad de las estructuras ante la exposición constante a altos volúmenes de escorrentía. Además, se aplicaron criterios de dimensionamiento que toman en cuenta la relación entre el volumen de tráfico de la carretera y el impacto potencial de la falla de estas estructuras.

El proceso de diseño se complementó con simulaciones de flujo empleando software de modelación hidrológica, lo cual permitió ajustar los parámetros de diseño en función de las condiciones

específicas de la región. Estas simulaciones ayudaron a prever el comportamiento del sistema de drenaje en diferentes escenarios de lluvia extrema, permitiendo optimizar el diseño de las alcantarillas para minimizar el riesgo de fallos estructurales durante eventos climáticos severos.

Esta metodología integral, basada en datos topográficos y meteorológicos precisos, garantiza que las estructuras de drenaje propuestas cumplan con los estándares de eficiencia y sostenibilidad, asegurando así la transitabilidad continua y la protección de la infraestructura vial en el tramo Quinindé - Esmeraldas.

3. Resultados y discusión

El análisis de los datos topográficos y meteorológicos recopilados fue esencial para identificar los puntos críticos de la red vial estatal E20 en el tramo Quinindé - Esmeraldas, donde las precipitaciones elevadas y las características del terreno representan riesgos potenciales para la integridad estructural de la carretera. Los datos topográficos obtenidos a escala de 1:50,000

proporcionaron una visión detallada de las pendientes y las características geográficas que contribuyen al comportamiento de la escorrentía en el área de estudio. Además, los registros meteorológicos históricos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) permitieron evaluar patrones de precipitación y variabilidad climática, información clave para estimar los caudales en eventos de lluvia intensa.

El diseño de las alcantarillas se basó en la aplicación de cálculos hidrológicos usando el método racional generalizado y la metodología de tanteo. Este enfoque permitió calcular con precisión los caudales máximos y mínimos esperados en los puntos de mayor vulnerabilidad. Para cada uno de estos puntos críticos, se determinó el diámetro óptimo de las alcantarillas, tomando en cuenta la capacidad de flujo necesaria para evitar desbordes y socavación. La variabilidad en el tamaño de las alcantarillas, con diámetros que oscilan entre 1.2 y 2.8 metros, se ajustó específicamente a las condiciones de cada punto. Estos valores se establecieron en función de los parámetros de velocidad

máxima y mínima admisible para distintos tipos de materiales presentes en el lecho, como arena fina, grava y arcilla, asegurando un flujo controlado y reduciendo el desgaste prematuro de las estructuras.

El uso de alcantarillas de 1.2 metros de diámetro fue recomendado en áreas con caudales moderados, donde la pendiente es menos pronunciada y el flujo es más estable. En contraste, alcantarillas de hasta 2.8 metros fueron diseñadas para zonas con pendientes elevadas y flujos intensos, donde la alta velocidad de la escorrentía podría erosionar rápidamente los suelos y afectar la estabilidad de la vía. Los cálculos de caudal se basaron en periodos de retorno de 5, 25 y 50 años, con el fin de adaptar el diseño a diferentes escenarios de tráfico y condiciones climáticas extremas. Este rango de periodos de retorno garantiza que las estructuras de drenaje puedan soportar eventos de lluvia de distinta magnitud, desde situaciones cotidianas hasta precipitaciones extraordinarias asociadas a fenómenos como El Niño.

Para evaluar la eficacia de los diámetros propuestos, se realizaron simulaciones hidrológicas utilizando software especializado que permitió modelar el comportamiento de las alcantarillas bajo distintos volúmenes de flujo. Los resultados de las simulaciones mostraron que las estructuras diseñadas son capaces de manejar los caudales previstos sin causar desbordamientos, incluso en los escenarios más críticos. Este enfoque de modelación contribuyó a ajustar las dimensiones y a optimizar el diseño, asegurando que el sistema de drenaje será efectivo en prevenir la erosión y el daño estructural en los puntos críticos.

Los resultados de este análisis indican que el diseño de alcantarillas en el tramo Quinindé - Esmeraldas cumple con los estándares de durabilidad y funcionalidad necesarios para infraestructuras sometidas a condiciones de pluviosidad extrema. La combinación de datos meteorológicos históricos y modelación hidrológica garantiza que las alcantarillas mantendrán su capacidad operativa durante su vida útil, proporcionando una solución

sostenible para la gestión de la escorrentía. Esta implementación permitirá mitigar los efectos de la erosión y la socavación en los puntos críticos de la vía, reduciendo así los costos de mantenimiento y asegurando la continuidad del tránsito en esta importante red vial.

Finalmente, estos resultados confirman que la metodología aplicada en el diseño de las alcantarillas no solo permite identificar con precisión las áreas de mayor vulnerabilidad, sino que también optimiza los recursos, proporcionando soluciones específicas y adaptadas a las condiciones locales. Esto contribuye a prolongar la vida útil de la infraestructura y a mejorar la seguridad vial en el tramo Quinindé - Esmeraldas, beneficiando tanto a los usuarios de la vía como al sector público encargado de su mantenimiento.

4. Conclusiones

Los hallazgos de este estudio subrayan la importancia de un diseño adecuado de alcantarillas en la red vial E20, especialmente en una región expuesta a intensas

precipitaciones y variabilidad climática. La infraestructura propuesta se adapta a caudales previstos bajo escenarios de lluvia extrema, lo cual es crítico en zonas de alta pluviosidad para mitigar daños y optimizar recursos. Este enfoque coincide con estudios similares que indican que los diseños de drenaje en regiones húmedas deben considerar aumentos significativos en la intensidad de las lluvias debido al cambio climático. En Washington, EE.UU., un estudio mostró que la adaptación de alcantarillas para caudales futuros mejoraría la resistencia de las infraestructuras ante cambios en la hidrología, previniendo posibles fallos estructurales que podrían afectar los ecosistemas y la conectividad vial (Wilhere et al., 2017).

El uso de materiales resistentes a la erosión, como el concreto reforzado y el acero galvanizado, en combinación con dimensionamientos precisos de las estructuras de drenaje, reduce considerablemente el impacto de las lluvias intensas sobre la vía. Esta elección de materiales es esencial, ya que estudios en Canadá y

Australia han demostrado que las variaciones en la intensidad de la precipitación podrían superar en más del 50% las proyecciones de diseño actuales, poniendo en riesgo la estabilidad de las infraestructuras si no se consideran materiales y dimensionamientos resilientes (Verstraten et al., 2019) y (Denault, 2001).

Una limitación de este estudio es la variabilidad climática futura, que podría alterar los patrones de escorrentía en periodos de lluvias extremas. La variabilidad en los patrones de precipitación debida al cambio climático puede desafiar los diseños de infraestructura, un fenómeno destacado también en estudios de Osogbo, Nigeria, donde la frecuencia de eventos extremos y la subestimación de la intensidad de lluvias debido a datos históricos estacionarios generaron insuficiencia en sistemas de drenaje, sugiriendo la necesidad de actualizar los modelos de diseño a escenarios de alta variabilidad (Adegoke & Sojobi, 2015).

En investigaciones futuras, se recomienda evaluar el impacto del cambio climático en la pluviosidad regional y ajustar los diseños de

alcantarillas a aumentos potenciales en los caudales. Por ejemplo, en el caso de infraestructura en Tucson, Arizona, se encontró que la actualización de los índices de frecuencia de intensidad y duración de lluvias basada en modelos climáticos podría duplicar el tamaño de las estructuras de drenaje necesarias, destacando la importancia de considerar escenarios de cambio climático en las obras de drenaje (Tousi et al., 2021).

Finalmente, es relevante considerar estudios ambientales que promuevan la preservación de las cuencas hidrográficas adyacentes a la vía. El uso de sistemas de control de flujo adaptados puede contribuir a reducir el impacto ambiental, como lo señala un análisis en Canadá que vinculó la expansión de áreas impermeables con mayores riesgos para los ecosistemas locales (Arnbjerg-Nielsen, 2012). La integración de estas prácticas en el diseño de infraestructura vial podría optimizar la gestión de la escorrentía y favorecer la sostenibilidad a largo plazo de la red vial en la región Quinindé - Esmeraldas.

Bibliografía

- Adegoke, C. W., & Sojobi, A. O. (2015). Climate Change Impact on Infrastructure in Osogbo Metropolis, South-West Nigeria. *Journal of Emerging Trends in Engineering and Applied Sciences*, 6(3), 156-167. Disponible en <https://eprints.lmu.edu.ng/id/eprint/511>
- Alonso, F. (2005). Diseño hidráulico de alcantarillas. Recuperado de https://www.academia.edu/download/33602878/disenio_hidraulico__de_alcantarillas.pdf
- Arnbjerg-Nielsen, K. (2012). Quantification of climate change effects on extreme precipitation used for high-resolution hydrologic design. *Urban Water Journal*, 9(1), 57-65. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2011.630091>
- Consejo de Agua, M.-I. del (2000). La modelación física en las obras hidráulicas. Recuperado de <https://iwaponline.com/IA/article-abstract/7/1/55/68297>
- Denault, C. (2001). Assessment of the likely impact of climate change on infrastructure and natural ecosystems of a small watershed in British Columbia: Implications for hydraulic infrastructure design and stormwater management. University of British Columbia. <https://dx.doi.org/10.14288/1.0063718>
- Laraque, A., Ronchail, J., Cochonneau, G., Pombosa, R., & Guyot, J. (2007). Heterogeneous distribution of rainfall and discharge regimes in the Ecuadorian Amazon Basin. *Journal of Hydrometeorology*, 8(6), 1364–1381. <https://doi.org/10.1175/2007JHM784.1>
- Molina, A., Govers, G., Vanacker, V., Poesen, J., Zeelmaekers, E., & Cisneros, F. (2007). Runoff generation in a degraded Andean ecosystem: Interaction of vegetation cover and land use. *Catena*, 71(3), 357-370. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2007.04.002>
- Mora, D., Campozano, L., Cisneros, F., Wyseure, G., & Willems, P. (2013). Climate changes of hydrometeorological and hydrological extremes in the Paute basin, Ecuadorean Andes. *Hydrology and Earth System Sciences*, 18(2), 631-648. <https://doi.org/10.5194/hess-18-631-2014>
- Perrin, J., & Bouvier, C. (2004). Rainfall–runoff modelling in the urban catchment of El

- Batan, Quito, Ecuador. *Urban Water Journal*, 1(4), 299-308. <https://doi.org/10.1080/15730620412331299066>
- Rollenbeck, R., & Bendix, J. (2011). Rainfall distribution in the Andes of southern Ecuador derived from blending weather radar data and meteorological field observations. *Atmospheric Research*, 99(2), 277-289. <https://doi.org/10.1016/J.ATMOSRES.2010.10.018>
- Sucozhañay, A., & Céleri, R. (2018). Impact of rain gauges distribution on the runoff simulation of a small mountain catchment in Southern Ecuador. *Water*. <https://doi.org/10.3390/W10091169>
- Tousi, E. G., O'Brien, W. J., Doulabian, S., & Toosi, A. (2021). Climate changes impact on stormwater infrastructure design in Tucson, Arizona. *Sustainable Cities and Society*, 72, 103014. <https://doi.org/10.1016/J.SCS.2021.103014>
- Verstraten, L., Wasko, C., Ashford, G., & Sharma, A. (2019). Sensitivity of Australian roof drainage structures to design rainfall variability and climatic change. *Building and Environment*. <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2019.106230>
- Wilhere, G., Atha, J., Quinn, T., Tohver, I., & Helbrecht, L. (2017). Incorporating climate change into culvert design in Washington State, USA. *Ecological Engineering*, 104, 67-79. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLENG.2017.04.009>
- Yuan, T., Wang, S., Xu, D., Yuan, H., & Chen, H. (2017). Field and numerical experiment of an improved subsurface drainage system in Huaibei plain. *Agricultural Water Management*, 194, 24-32. <https://doi.org/10.1016/J.AGWAT.2017.07.015>
- Zubieta, R., Getirana, A., Espinoza, J. C., & Lavado, W. (2015). Impacts of satellite-based precipitation datasets on rainfall-runoff modeling of the Western Amazon basin of Peru and Ecuador. *Journal of Hydrology*, 528, 599-612. <https://doi.org/10.1016/J.JHYDROL.2015.06.064>