



Análisis General de Estabilidad de los Puentes Sector La Concordia

General Stability Analysis of the Sector La Concordia Bridges

Autores: Boris Cabrera G.^{1*}, Cristóbal Crespo G.¹, Valentín Vélez V.¹
Coautores: Ing. Goethe Palomeque L.¹, Ing. Cristian Vintimilla U.¹

1. Universidad de Cuenca, Cuenca

bfcabrerag15@est.ucacue.edu.ec

DOI:



Resumen

Esta investigación detalla la recopilación, análisis y procesamiento de resultados de diferentes aspectos de los puentes de la avenida 16 de Abril sector la Concordia en la ciudad de Azogues, para estimar condiciones que permitan establecer factores que comprometan la estabilidad de los mismos. Para cumplir con los objetivos se determinan procesos de revisión de documentación existente, recopilación y generación de datos de los aspectos naturales, físicos y antrópicos que tienen influencia en la vida útil de un puente. El estudio determina las condiciones que influyen en la

infraestructura y superestructura de los puentes, condiciones hídricas e hidrológicas, características del suelo en los límites definidos dados por la topografía. Entre los resultados de esta investigación están principalmente las afecciones que presenta el sector, uso del suelo, la resistencia del material de la zona, condiciones actuales de socavación, delimitación de la cuenca hidrográfica que influye en el flujo del agua así como también el caudal promedio del río; la investigación se empezó en septiembre del año 2018 y culminó en abril del 2022, todos estos aspectos permitieron determinar si los puentes de la avenida 16 de Abril sector la Concordia son estables; aunque adicionalmente se presentan otros criterios como la confiabilidad, nivel del servicio y estado de señalética que los puentes actualmente está brindando a los usuarios del sector y a la población de Azogues en general.

Palabras clave: *cuenca hidrográfica; estabilidad estructural; hidrología; puente; socavación; suelo.*

Abstract

This research details the compilation, analysis and processing of results of different aspects of the bridges of the 16 de Abril avenue in Concordia sector of the Azogues city, to estimate conditions that will allow establishing factors that compromise their stability. To meet the objectives, review processes of existing documentation, collection and generation of data on natural, physical and anthropogenic aspects that influence the useful life of a bridge are determined. The study determines the conditions that influence the infrastructure and superstructure of the bridges, hydric and hydrological conditions, soil characteristics in the defined limits given by the topography. Among the results of this investigation are mainly the conditions presented by the sector, land use, the resistance of the material in the area, current conditions of scour, delimitation of the hydrographic basin that influences the flow of water as well as the average flow. from the river ; The investigation began in September 2018 and ended in April 2022. All these aspects made it possible to determine whether the bridges on 16 de Abril avenue la Concordia sector are stable; although other criteria are also presented, such as reliability, level of service and signal status that the bridges are currently providing to users of the sector and to the population of Azogues in general.

Key words: *bridge; hidrology; soil; structural stability; undermining; watershed.*

I. Introducción

La construcción de puentes cumple con un proceso sistematizado basado en diferentes estudios y procedimientos realizados correctamente para que el mismo no se deteriore por problemas hidrológicos, geotécnicos, estructurales o físicos según describen Hasan y Elwakil [1]. La obtención digital de la representación física de una cuenca hidrográfica puede llegar a ser compleja por lo cual se recurre a sistemas de información geográfica, que a partir de modelos digitales del terreno ofrecen información precisa y para delimitar la cuenca de aporte a los puentes objeto de estudio en la avenida 16 de Abril, y todas las características morfométricas que posee la misma. Por otra parte, realizar un análisis del suelo antes del diseño permite conocer las condiciones del mismo asimilando la estabilidad de un proyecto cuando esté construido como comprueban los estudios hechos por Kim, Laman, Zareian, Min y Lee [2], garantizando su desempeño y seguridad óptimo para el periodo de servicio que fueron diseñados estos puentes.

Por ello se indica la geología local de la cual forma parte la estructura estudiada; a su vez el tipo de suelo presente en las cimentaciones y sus diferentes características. Mediante el uso de las normativas vigentes en nuestro país se conoce todas las propiedades mecánicas que poseen los elementos estructurales de los puentes para así garantizar el desempeño óptimo de la obra estudiada y la seguridad que esta brinda a los usuarios.

Desde el año 2005 se comienza a mejorar las condiciones de infraestructura como parte de un cambio sistemático en la vialidad de Azogues, en estas épocas funcionaba como paso vehicular el antiguo puente del ferrocarril que era considerado como patrimonio, pero con el paso de los años ya no cumplía las necesidades requeridas por la

demografía de la zona y también se presentaba como un riesgo estructural.

Los puentes motivo de estudio en este proyecto, fueron ubicados en el mismo lugar atravesando el río Burgay y gracias a esto, en la actualidad se considera una de las principales vías del cantón para el acceso al nuevo mercado municipal.

El MTOP [3] indica que los puentes son utilizados como una solución al descongestionamiento vehicular de la vía panamericana en ambos sentidos de circulación, permitiendo que los habitantes del sector Borrero-Charasol obtengan una vía más eficiente y segura para llegar a sus hogares.

II. MARCO TEÓRICO

1. Puentes

Definición

Un puente es el resultado de una construcción, obra o proyecto que sirve para establecer continuidad en un trayecto, donde se ha presentado una perturbación del terreno cuya problemática no puede ser meramente solventada con el mejoramiento del mismo, por lo que necesita estructuras que se acondicionen a la morfología de la zona. Estas estructuras no deben tener una distancia menor a seis metros y debe formar parte de una carretera [4].

Puente de Hormigón con Losa Presforzada

La construcción de este tipo de puentes se da de manera relativamente rápida a comparación de estructuras convencionales, debido a

que se construye por tramos de placas continuas con secciones constantes y longitudes cortas. El hormigón pretensado ocupa aceros y concreto de mayor resistencia lo que permite aumentar sus límites elásticos, gracias a que inicialmente los aceros son tensados previo a la fundición y unión con el concreto [5].

2. Cuenca hidrográfica

Una cuenca hidrográfica es el contorno geográfico en el cual existen diferentes ramales por donde se drena el agua en un punto determinado, en esta definición se consideran esencialmente las aguas de índole superficial. Para delimitar una cuenca es primordial conocer las “líneas divisorias”; estas son líneas imaginarias que unen los sitios más altos donde se reúne la mayor cantidad del recurso hacia el río principal de la cuenca [6].

3. Geotecnia

Es la ejecución de diferentes metodologías de estudio ingenieriles para determinar, generar o interpretar las características de los materiales que conforman la estructura del suelo, para solucionar problemáticas en la vida profesional del ingeniero. Las estrategias propuestas por Hamza [7] revelan la importancia de los conocimientos geotécnicos en el mantenimiento de los puentes, principalmente para los estribos que son las zonas donde el suelo influye de manera directa.

III. METODOLOGÍA

A. Ubicación

De acuerdo con el Sistema de Proyección Universal Transversal de Mercator (UTM WGS84) en su

zona horaria 17 Sur, los puentes estudiados se encuentran ubicados en:

Este: 739262. **Norte:** 9694391.

La figura 1 representa la ubicación de los puentes, del mapa satelital de Google Earth.



FIG. 1. Ubicación de los puentes Av.16 de abril, Azogues

B. Topografía

Se realizó el levantamiento topográfico iniciando con el recorrido general del terreno y las vías que conforman los puentes, para establecer cinco estaciones y dos bancos de muestra (BM) por cada estación ubicadas estratégicamente que permitan una localización adecuada de puntos para generar a detalle la modelización digital de la zona, usando programas de diseño asistido por computador (CAD). En la tabla I se muestran las coordenadas de cada estación.

Tabla I. Coordenadas de las estaciones del levantamiento

ESTACIONES			
N° DE ESTACIÓN	NORTE	ESTE	ELEVACIÓN (m)
1	9694391	739262	2438
2	9694401	739327	2434.2
3	9694376	739337	2434.11
4	9694333	739316	2430.92
5	9694355	739283	2434

C. Delimitación de la cuenca

Mediante el uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), a partir del empleo de un modelo digital del terreno (MDT) y herramientas tipo CAD, se procedió a delimitar la cuenca hidrográfica correspondiente al río Burgay que llega a los puentes de estudio. Al final de su representación se consideró un punto de drenaje en el desnivel más bajo de la cuenca. Obtener el esquema de la cuenca es necesario debido a que esta permitirá conocer su flujo de agua, características del suelo, caudales, número de curva, entre otros.

D. Estaciones meteorológicas

Por la razón de que no existen datos ciertos para la ciudad de Azogues, se escogió la estación de Paute por su cercanía como se indica en la figura 2, puesto que la microcuenca del río Burgay forma parte de la cuenca del río Paute según lo manifestado por Bravo en su trabajo experimental "Propuesta de manejo ambiental para la microcuenca hidrográfica del río Burgay provincia del Cañar" [8].



FIG. 2. Ubicación de las estaciones de Paute y Ricaurte (Cuenca) respecto a los puentes de la Avenida 16 de Abril.

E. Hidrograma de diseño

Para el cálculo del hidrograma se obtuvo los datos de la intensidad de las precipitaciones de todo el Ecuador de la información del INAMHI en su estudio: "Determinación de ecuaciones para el cálculo de intensidades máximas de precipitación" del año 2019 [9], mostradas en la tabla II:

Tabla II. Intensidad duración frecuencia estación M0138 Paute [9]

ESTACIÓN		IT (min)	ECs i =	R	R ²
COD	N.				
		5 < 30	103,2125 *	0,9732	0,9472
			$T^{0,2620}$ $t^{-0,3919}$ *		
M0138	Paute	30 < 120	262,0571 *	0,9779	0,9563
			$T^{0,2563}$ $t^{-0,6679}$ *		
		120 < 1440	719,77 *	0,9939	0,9878
			$T^{0,2543}$ $t^{-0,8795}$ *		

Para el periodo de retorno se consideró cien años debido a que este tiempo se vincula con la vida útil que puede alcanzar un puente según sugiere la NEVI 12- VOLUMEN 3 “Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes” [10] explicando que estas estructuras pueden estar en funcionamiento entre veinte y cinco a cien años con un mantenimiento adecuado, relacionándolo también de manera directa con el aspecto económico.

F. Tiempo de retardo

El tiempo de retardo se establece como el 60% del tiempo de concentración, el cual según Máximo Villón [11] se expresa mediante la ecuación de Kirpich, donde T_c es el tiempo de concentración en minutos, L la longitud máxima de salida y S la pendiente media del lecho.

$$T_c = 0,02L^{0,77}S^{-0,385}$$

$$T_{ret} = 0,6T_c$$

G. Uso del suelo

La cuenca estudiada se extiende a lo largo del cantón Azogues que en la actualidad engloba una serie de actividades tanto en la zona urbana como en la zona rural. El uso residencial del suelo en

la urbe cada vez se expande más y tiene mayor densidad por lo que consecuentemente debe ser considerado, por otra parte, existen sectores que carecen de asentamientos humanos los cuales son de vital importancia para abastecer de insumos a la ciudad como lo son la agricultura y ganadería [12].

H. Características del suelo

1. Geología de la zona

A partir del mapa geológico brindado por el Instituto Geográfico Militar [13] se ubica a la zona de estudio, como muestra la figura 3:, en la misma se puede observar las formaciones geológicas adyacentes a la zona.

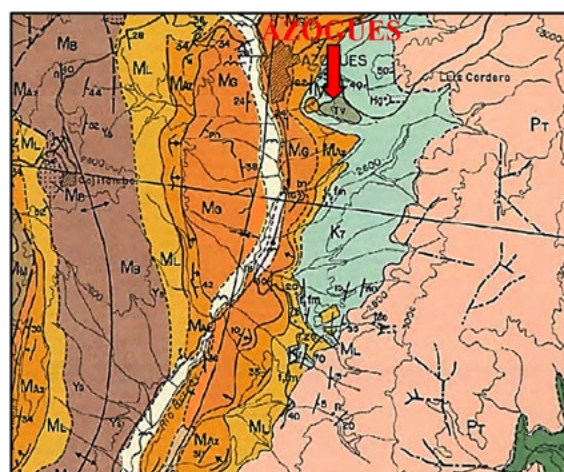


FIG. 3. Geología de la zona de estudio escala 1:10000 [13]

2. Coeficiente de rugosidad.

Para este procedimiento se requiere de información granulométrica del lugar de estudio, ver tabla III, la cual se obtuvo de las investigaciones sobre el

río Paute hechas por Córdova [14], estas tienen validez debido a la cercanía geográfica que tienen las ciudades según se visualiza en la figura 2.

Tabla III. Datos granulométricos de las orillas del río Paute [14]

TAMIZ No.	P.RETENIDOS PARCIALES (g)	P.RETENIDOS ACUMULADOS (g)	%RETENIDOS ACUMULADOS	% QUE PASA
3/8 "	0.00	0.00	0.00	100.00
No. 4	46.80	46.80	4.68	95.32
No. 8	304.70	351.50	35.15	64.85
No. 30	319.80	671.30	67.13	32.87
No. 50	86.30	757.60	75.76	24.24
No. 100	99.00	856.60	85.66	14.34
No. 200	48.10	904.70	90.47	9.53
PASA 200	904.70	95.30	9.53	
TOTAL	1000.00			

En el cálculo debido a falta de datos de la zona, se utilizan fórmulas empíricas de diferentes autores para estimar el coeficiente de Manning, el valor obtenido está descrito en la sección Resultados [15].

Meyer, Peter y Müller (1948)

$$n = 0,038d_{90}^{1/6} \quad (3)$$

Simons y Senturk (1976)

$$n = 0,047d_0^{1/6} \quad (4)$$

Raudkivi (1976) arenas

$$n = 0,042d_0^{1/6} \quad (5)$$

Raudkivi (1976)

$$n = 0,013d_{065}^{1/6} \quad (6)$$

I. Estructura de los puentes

En el documento dado por Dirección Provincial del Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Cañar [3] se presenta que los estribos de los puentes fueron diseñados sin considerar que el suelo este saturado bajo los mismos ya que el agua actuaría solamente alrededor de todo el estribo. Los materiales utilizados para infraestructura fueron: replantillos con un $f'c$ de 140kg/cm², acero de refuerzo con un f_y de 4200kg/cm² y estribos de 280kg/cm² [3].

1. Materiales

Para la construcción de los puentes se utilizaron varios tipos de hormigones, los cuales difieren en

su resistencia. Los materiales se especifican en las tablas IV y V.

Tabla IV. Materiales de los puentes-hormigón [3]

Estructura	Hormigón	
	$f'c$ (kg/cm ²)	
Estribos	280	
Losa y diafragmas de apoyo	280	
Protecciones y veredas	280	
Replanteo	140	

Tabla V. Materiales de los puentes-hormigón pre-comprimido [3]

Estructura	Hormigón pre comprimido	
	$f'c$ (kg/cm ²)	
Hormigón usado en losas	350	
Hormigón usado en vigas	500	

2. Acero usado en el refuerzo del hormigón

El acero de refuerzo para el hormigón tiene un límite de fluencia de 4200 kg/cm² y es corrugado. Este acero también fue utilizado en los elementos precomprimidos de hormigón como refuerzo pasivo [3].

J. Cargas en los puentes

El caso analizado está establecido en la norma AASHTO la misma que considera la carga de un camión HL-93 [4], con fuerzas puntuales en cada eje indicados en la tabla VI, por lo que se impuso, que sobre la luz de los puentes se ubiquen 3 camiones, este será el peso máximo por puente que pueden estar situados sobre ellos en un tiempo particular como se muestra en la figura 4. Cabe

mencionar que el alcance de este análisis está enfocado en determinar una estimación de momentos solo con respecto a su longitud, sin considerar materiales, cargas por peso propio y sísmicas.

Tabla VI. Cargas del camión [4]

HL-93	Camión seleccionado de diseño		
	W/Eje (KN)		
	35.6	142.3	142.3
	Eje1	Eje2	Eje3

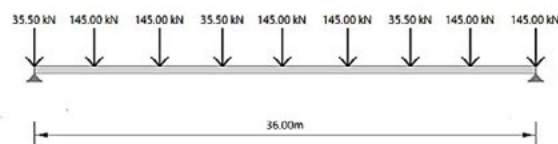


FIG. 4. Disposición de las cargas sobre cada puente considerando el camión HL-93.

K. Señalización vial

Mediante inspección en el sitio y con un radio de estudio de 200 metros alrededor de los puentes se recolectó datos de las diferentes señales de tránsito que inciden en el funcionamiento y seguridad de la zona; realizando el reconocimiento en sentido sur-norte de toda la señalética sin excepción.

L. Confiabilidad de los puentes para los transeúntes.

Se basó en un análisis de campo presentando un enfoque cualitativo lo que permitió determinar el nivel de confianza de los usuarios, almacenando datos contables de las preguntas que se realizaron en las encuestas y entrevistas. Las encuestas fueron aplicadas en el sector la Concordia, de la ciudad de Azogues; tomando una muestra de 552 personas en total, las cuales son el producto de las muestras desglosadas de la siguiente manera:

- 17 personas en viviendas del sector.
- 196 vehículos que transitan por los puentes.
- 194 usuarios del puente.
- 145 unidades de transporte comercial y urbano que circundantes de la zona.

Las encuestas realizadas estaban compuestas de diez preguntas con diferentes temáticas.

IV. RESULTADOS

A. Topografía de los puentes de la avenida 16 de Abril

Con base en la topografía se establece que cada puente está conformado por un tablero de 36 m de longitud, consta de dos carriles con ancho de calzada de 7.2m, dos sentidos viales y dos pasos peatonales a cada lado (veredas) de 1.55m de ancho, con bordillos de 28cm de espesor. El puente del ferrocarril en medio de las dos estructuras fue esquematizado sin tomar en cuenta sus dimensiones. La topografía detallada de los puentes de estudio se presenta en la figura 5.

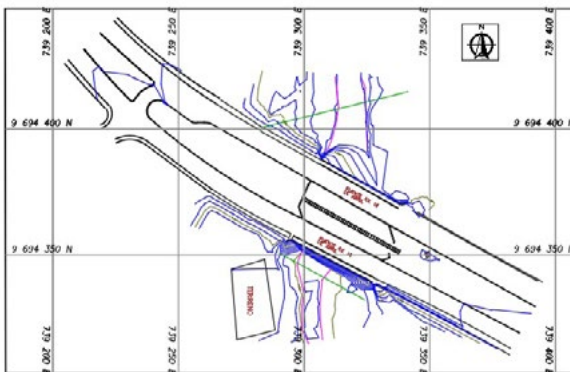


FIG. 5. Topografía de los puentes escala: 1:500 (Elaboración Propia).

B. Clasificación del uso del suelo

En los límites menos poblados de la cuenca se ubican los páramos, pastizales y vegetación en general, por otra parte la zona con mayor densidad poblacional se sitúa en el centro de la ciudad de Azogues [16]. Los usos de suelo descritos se especifican en la figura 6.

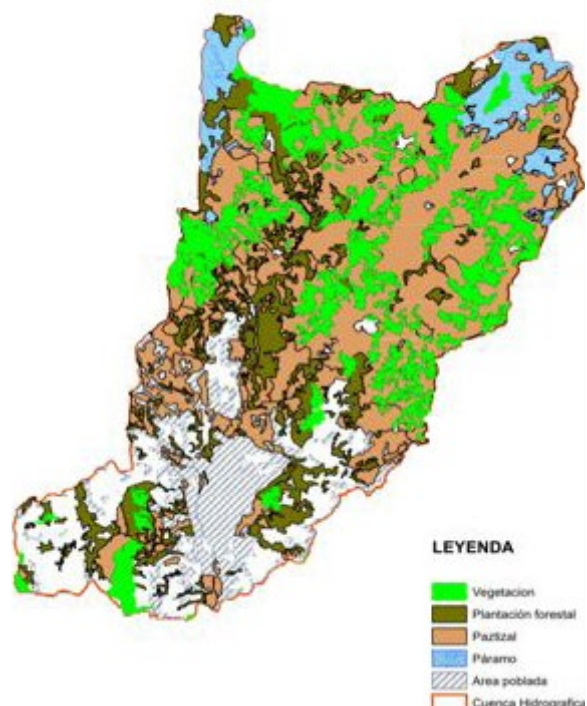


FIG. 6. Uso del suelo en la cuenca del río Burgay (Elaboración propia).

C. Características del suelo

Según lo expuesto en el mapa geológico de la figura 3 los puentes se encuentran ubicados en la formación Azogues y que por la descripción de su geología está formado por limolitas y areniscas [16]. Tomando en cuenta los análisis del MTOP [3], su morfología está ligada a una región con leves inclinaciones de pendientes compuestas de rocas redondeadas, gravas, arenas y limosos arcillosos que han sido transportados por el río.

D. Hietograma de precipitación e hidrograma de diseño.

Gracias a las ecuaciones descritas en la tabla II se determinaron las precipitaciones acumuladas y parciales que permitieron realizar el diseño de hietograma a partir de curvas IDF. Las intensidades obtenidas con las ecuaciones empíricas dadas por el INAMHI [9] de la tabla II se muestra los resultados de variación de precipitación en un día de la zona en la figura 7.

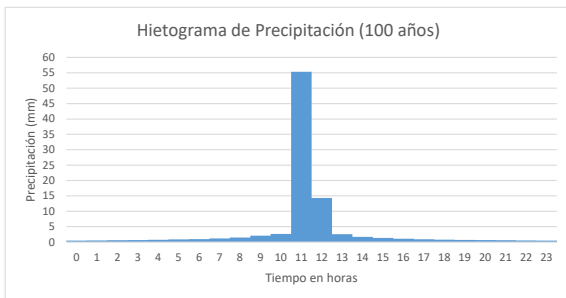


FIG. 7. Hietograma de precipitación en intervalos de una hora (Elaboración propia).

Por ende, el hidrograma de diseño para los puentes se representa en la figura 8 :

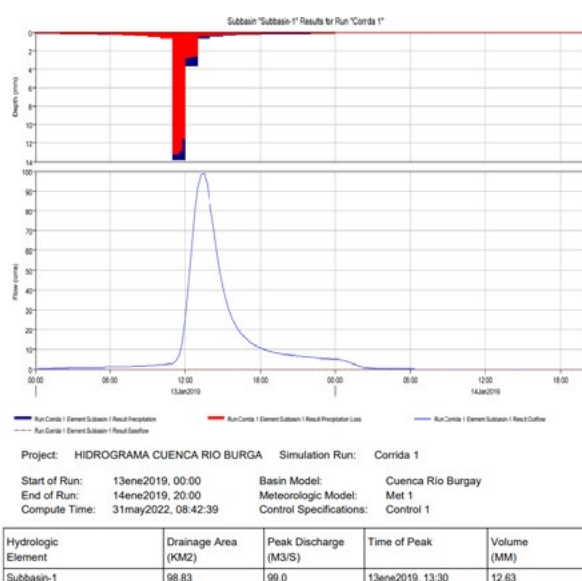


FIG. 8. Hidrograma de diseño para los puentes de la avenida 16 de Abril (Elaboración propia).

Se determinó que el caudal pico máximo para los puentes de la avenida 16 de Abril para un periodo de retorno de cien años llegaría a ser de 99 m³/s.

E. Generalidades de la cuenca.

La figura 9 expone los ramales de los ríos que inciden en el lecho del río Burgay hasta llegar al punto donde se encuentran ubicados los puentes. El área juega un papel fundamental en la ponderación del número de curva por lo que se determinó la superficie que ocupa cada uso de suelo este número de curva fue obtenido mediante la metodología SCS (Soil conservation System 1972) de abstracciones en un entorno SIG como explican Pacheco, Quiala y Martinez [17] que se muestran en la tabla VII.

Gracias a las herramientas digitales se establecieron los datos de la cuenca hidrográfica mostradas en la tabla VIII:



FIG. 9. Representación de la cuenca hidrográfica (Elaboración propia).

Tabla VII. Áreas de uso de suelo en la cuenca del río Burgay (Elaboración propia)

Área t. de la cuenca	98.89	Km ²		
	Áreas del uso de suelo en la cuenca del río Burgay m ²	Km ²	% de área	Número de curva
Área poblada	9321154.06	9.32115406	9.431502641	74
Páramo	5336008.24	5.33600824	5.39917863	58
Pastizal	42501939.2	42.5019392	43.00509883	59
Vegetación	14463032.1	14.4630321	14.63425283	58
Plantación forestal	13215249.4	13.2152494	13.37169831	66
		Ponderación	52.79703139	

Tabla VIII. Resultados generales de la delimitación de la Cuenca (Elaboración propia).

RESULTADOS GENERALES		
Área de la Cuenca	98.83	km ²
Longitud río principal	165.35	km
Desnivel	1300	m
Número de Curva	53	

1. Coeficiente de rugosidad.

Se realizó una ponderación general entre todos los valores de n obtenidos a partir de las ecuaciones (4)(5)(6), como muestra la tabla X partiendo de los coeficientes de uniformidad D10, D65, D84, D90 de la tabla IX; calculando un coeficiente de Manning ponderado de **0.044**; pero como estos valores son de diferencias significativas, se sugiere mayor profundidad en su estudio para una mejor aproximación.

Tabla IX. Cálculo de D10, D65, D84, D90.

Tamiz N°	% que pasa	diametro (mm)
3/8"	100	
N° 4	95.32	4.75
N° 8	64.85	2.36
N° 30	32.87	0.6
N° 50	24.24	0.3
N° 100	14.34	0.15

N° 200	9.53	0.075
RESULTADOS	D10	0.081
	D65	2.36
	D84	3.66
	D90	4.2

Tabla X. Cálculo del coeficiente de rugosidad del río Burgay (Elaboración propia).

Coeficiente de Rugosidad

Meyer, Peter y Müller (1948)	n= 0.048
Simons y Senturk (1976)	n= 0.061
Raudkivi (1976)	n= 0.015

F. Afecciones en la zona

La tabla XI ubica las coordenadas y descripción de las diferentes fallas y afecciones presentes en la zona de estudio:

Tabla XI. Puntos y descripción de afecciones en la zona (Elaboración propia)

# de Punto	Coordenadas		Descripción
	X	Y	
1	739249	9694335	Deslizamiento de Tierra
2	739227	9694300	Deslizamiento de Tierra
3	739247	9694299	Acumulación de Sedimentos
4	739248	9694288	Acumulación de Sedimentos
5	739238	9694274	Erosión de Suelo
6	739281	9694325	Acumulación de Sedimentos
7	739340	9694380	Deslizamiento de Tierra
8	739297	9694361	Fallas en el Talud
9	739306	9694377	Mala Ubicación de Tuberías
10	739305	9694382	Mala Ubicación de Tuberías

Como se muestra en la figura 10 a lo largo de los puentes están marcadas las zonas que se encuentran con alteraciones en el terreno, afectando algunos predios dificultando su intervención.



FIG. 10. Mapa de afecciones presentes en la zona (Elaboración propia).

G. Riesgo de inundación

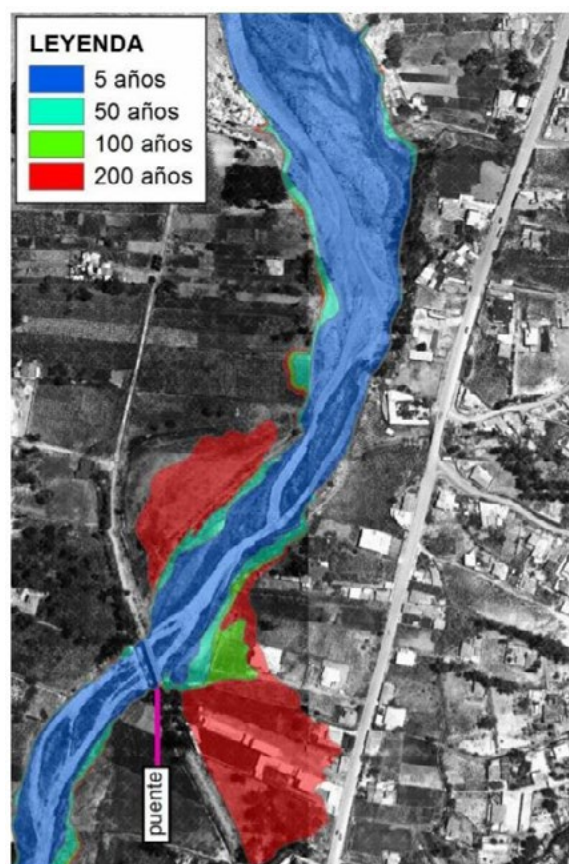


FIG. 11. Riesgo de inundación para periodos de retorno de 5,50,100,200 años. [18]

Con la revisión del artículo "Mapeo del peligro de inundación en ríos de montaña, caso de estudio del río Burgay" realizado por Luis y Edison Timbe en el año 2012 han esquematizado el riesgo de inundación para diferentes periodos de retorno en el sector "La Concordia" presentado en la figura 11.

Otros problemas visuales

Con el pasar de la investigación, se presenciaron varias crecidas del río Burgay donde se encontró un problema con el puente antiguo del ferrocarril en medio de los puentes analizados, el arrastre de material y sedimentos fue exagerada como muestra la figura 12, esto ha contribuido a un mayor desgaste del suelo donde se encuentra las bases estructurales, provocando problemas de socavación [19] permitiendo que materiales arrastrados por la corriente ingresen sobre las cimentaciones con riesgo de un volcamiento. En el último aumento del nivel de agua en el río producto de las fuertes lluvias registradas el 20 de abril de 2022, ocasionaron el colapso definitivo del puente patrimonial del ferrocarril como se muestra en la figura 13, el nivel de socavación sondeado fue perjudicial para que un pilar derribe la superestructura, por lo que falla el puente. El estudio hecho por Garg, Chandra y Kumar [20] destaca la importancia de tener un esquema adecuado para controlar dichos problemas producidos de forma repetida sobre los pilares del puente y el tajar, estas partes generalmente son las que más sufren las fuerzas hidrostáticas producidas por el inusual aumento de caudal.

"Se recomienda que este tipo de detalles se profundicen más con otras investigaciones para verificar que este fenómeno no comprometa a las estructuras funcionales actuales"



FIG. 12. Materiales sólidos debido a crecientes



FIG. 13. Puente colapsado después de la crecida del 20 de abril de 2022

H. Diagrama de momentos y cortante en los puentes considerando el camión HL-93

Mediante análisis matricial se logró estimar las fuerzas de corte y momentos que actúan en cada puente. La figura 14 demuestra que la mayor fuerza de corte ocurre en los extremos aproximadamente con una carga de 414.10 kN. El diagrama de momentos de la figura 15 muestra que el mayor momento se produce cuando la carga se encuentra en la mitad del trayecto donde tiene un valor de 3985 kN.m aproximadamente.

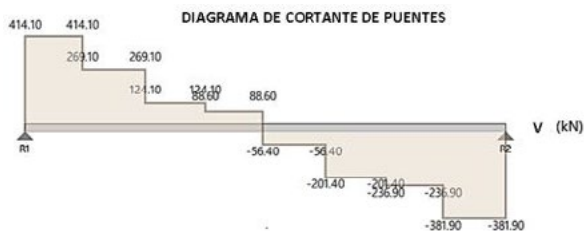


FIG. 14. Diagrama de Cortante de los puentes de estudio.



FIG. 15. Diagrama de Momentos de los puentes.

I. Señalización existente en los puentes de la Avenida 16 de abril sector la Concordia

Peso máximo: Se registró dos señales, una en cada sentido de circulación de los puentes, siendo el peso máximo 48 toneladas como se observa en la figura 16:



FIG. 16. Señal de peso máximo ubicada en sentido sur-norte de los puentes.

Límite máximo de velocidad Para los sectores aledaños a la zona se tienen 4 de estas señales, repartidas uniformemente en ambos sentidos de circulación figura 17:



FIG. 17. Límite de máxima velocidad sentido norte-sur de los puentes.

Las señales cuentan con las disposiciones descritas en el RTE INEN 4 de señalización vial[21], en cuanto a dimensiones y colores.

No estacionar: En el recorrido se observó 13 señales de No estacionar ubicadas a lo largo del trayecto de la vía cumpliendo con la Normativa existente para este tipo de carreteras, las cuales por la línea amarilla que indica en la vereda está prohibido estacionar en tal lugar, ver figura 18:



FIG. 18. Señal de No estacionar en el puente.norte-sur

Las señales cumplen con las disposiciones descritas en RTE INEN 4 de señalización vial [21].

Pare: Se instala en las aproximaciones a las intersecciones, donde una de las vías tiene prioridad con respecto a otra, y obliga a parar al vehículo frente a esta señal antes de entrar a la intersección. En el tramo inspeccionado se localizaron 3 señales de pare, las cuales fueron colocados en las entradas o salidas de vías aledañas a la vía principal, o ingreso a diferentes urbanizaciones una construida y la otra con proyección a construirse a futuro, ver figura 19:



FIG. 19. Pare ubicado en la entrada a una ciudadela a la posición noroeste a los puentes.

Seguridad de los puentes Los puentes cuentan con barandas a lo largo de toda su luz mostradas en la figura 20, las cuales cumplen con los criterios de seguridad para los que fueron diseñados evitando posibles accidentes vehiculares y permitiendo el paso de peatones que circulan por el sector.



FIG. 20. Barandas ubicadas a los costados de la luz de los puentes.

Iluminación: La estructura cuenta con la iluminación requerida a lo largo de toda su trayectoria cumpliendo con el propósito de lograr un tráfico seguro y ordenado mediante la iluminación de ciertas partes de las vías para que los conductores puedan identificar e interpretar rápidamente las características y condiciones existentes. De los puentes analizados se observa según la figura 21 que tiene el tipo I de iluminación[22], el cual debería ser analizado por el TPDA de la zona, pero al no contar con estos datos debe limitarse a una iluminación “Básica” del ramal de conexión a la vía y las intersecciones de ramales con caminos locales.

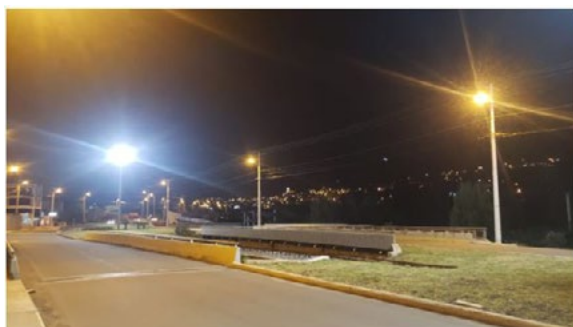


FIG. 21. Iluminación de los puentes de la avenida 16 de Abril sector la Concordia.

J. Seguridad para los usuarios.

Se graficaron los resultados obtenidos de las encuestas con un enfoque en el ámbito de circulación vehicular y seguridad requeridos por los usuarios.



FIG. 22. Resultados encuesta de seguridad para los usuarios.

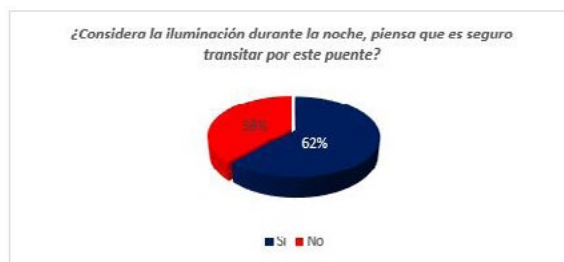


FIG. 23. Resultados encuesta de amplitud de vía para criterio de los usuarios.

Según la figura 22 el 37% de los usuarios recomendaría que se aumente la señalética en el puente debido a las altas velocidades con las que transitan los vehículos por los puentes; en otro aspecto importante también está la petición de vigilantes en la zona para garantizar un mayor control con el 26 %.

De la misma manera la figura 23 muestra que el 69% de los encuestados han expresado su conformidad en que el puente es lo suficientemente amplio para el paso de peatones y vehículos.

Análisis de Resultados

- Con base en la topografía de la zona y los estudios realizados por el MTOP [3] en el año 2016 sobre los márgenes del río Burgay, se establece que este relieve facilita el flujo de la escorrentía superficial por lo que las orillas del río esta formado por depósitos coluviales que actualmente son considerados estables, y definió que la zona de estudio no presenta lugares de alto peligro que comprometan la estructura de los puentes en condiciones normales, pero que pueden estar alteradas debido a cambios como sismos, lluvias intensas, y/o factores antrópicos según lo indica el estudio [3].

- Como se determinó en los resultados la zona de estudio está ubicada en la formación Azogues, que según los estudios de Vélez [23] indican, aunque sus materiales son expansivos, estos son firmes hasta en pendientes mayores de 30° por lo que el suelo de la zona es estable.
- Con fundamento en el "Mapeo del peligro de inundación en ríos de montaña, caso de estudio del río Burgay" realizado por Luis y Edison Timbe [18] el caudal obtenido de 99 m³/s mediante la metodología mostrada en la figura 8 no presenta un riesgo eminente de inundación para un periodo de retorno de 100 años, no obstante esta condición puede cambiar drásticamente si se considera este fenómeno para 200 años convirtiéndose en una amplia zona con riesgo de inundación debido a que la infraestructura de los puentes ocasiona una reducción de la sección del área transversal del río, que genera la acumulación de agua en la dirección de aguas arriba como se visualiza en la figura 11.
- Como consecuencia del análisis por inspección visual y fotografías aéreas realizados en el artículo presentado por Luis y Edison Timbe [18] el coeficiente de rugosidad obtenido es de 0.04 lo que valida el número de Manning estimado de 0.044 en esta investigación, como este valor es similar tanto para el método visual como el analítico se puede afirmar que este puede ser considerado el real, esto es importante debido a que la rugosidad incide de manera directa en el proceso y cálculo de la socavación en base a lo que exponen Sasidharan, Parlikad y Schooling [19].
- Además se experimentó en los últimos meses intensas lluvias en la ciudad de Azogues que han provocado grandes estragos estructurales en muchas obras civiles entre ellas el colapso mostrado en la figura 13 por lo que se recomienda realizar un estudio riguroso de las cimentaciones de todos los puentes que atraviesan el río Burgay para determinar el grado de socavación que puedan presentar y evitar nuevos desastres.
- Mediante la figura 6, se puede observar que en la zona donde están asentados los puentes, se trata de un sector de pastizales en su mayor extensión del área de estudio, también es una zona poblacional, que se encuentra corroborada con los análisis realizados por Luis y Edison Timbe [18] por lo cual características como el clima, servicios básicos, ubicación y vialidad como se analiza en el PDOT de la ciudad de Azogues [12] ha provocado que muchas personas levanten nuevas construcciones sobre estos pastizales lo cual se debe evitar por riesgo a futuras inundaciones que se pueden manifestar en las zonas planas como se ha mostrado en la figura 11.
- Producto la información visual del recorrido de la zona, se constató que la señalización tanto horizontal y vertical del sector cumplen con las especificaciones técnicas otorgadas por el MTOP [24] y a su vez este organismo regulador, indica que este aspecto es de vital importancia en la seguridad de puentes y la confianza de los transeúntes de la zona, y en este caso al ser un proyecto relativamente nuevo cuenta con todas las señales en buen estado, y por lo tanto son seguras y eficientes para los usuarios; en el caso de que la velocidad de los conductores se vuelva una problemática se sugiere la colocación de un radar en la zona.
- La norma INEN de "CÓDIGO DE PRÁCTICA PARA ALUMBRADO PÚBLICO"[22] resalta

que el alumbrado debe seguir la misma armonía en la hilera de luces del camino precedente al puente y con base al recorrido visual en campo se determinó que el puente cumple los requerimientos establecidos.

V. CONCLUSIONES

La investigación presentada abordó diferentes aspectos indicando que la estabilidad de los puentes de la avenida 16 de Abril no dependen netamente del aspecto estructural, sino que deben ser corroborada a criterio propio y fundamentada, a partir de los resultados que se han obtenido en los estudios diversos tanto topográficos, hidrológicos e hidráulicos; por ende los parámetros de estabilidad por parte del grupo de investigación son:

Se ha estudiado mapas geológicos indicando el suelo adyacente a la zona, el cual presenta condiciones óptimas para ser considerado estable debido a que los depósitos coluviales son suelos firmes, pero se debe considerar el aspecto sísmico según lo indica Vélez [23].

La información dada por el hidrograma es aceptable considerando que el caudal pico máximo y el periodo de retorno utilizados concuerdan con la información de los estudios realizados en años pasados sobre el río Burgay, los resultados de esta muestran que el riesgo de inundación en las zonas aledañas a los puentes es posible pero con periodos de retorno mayores a cien años como se evidenció en esta investigación. Por lo que esta comparación verifica que el tiempo de retorno elegido es el correcto y en este tiempo el riesgo de colapso por inundación sería poco probable.

El coeficiente de rugosidad calculado fue validado gracias a que se emplearon tres ecuaciones

empíricas diferentes y sobre todo fue relacionado con el resultado de la inspección visual hecha por otros investigadores como [14], consecuentemente se puede deducir que esta cifra es aceptable y puede ser tomada como dato certero del río Burgay para futuros proyectos.

Los mapas de uso de suelo realizados con base en la información proporcionada por el PDOT [12], muestran el nivel ocupacional del sector y como la influencia de las diversas actividades humanas tienen un efecto directo en la seguridad de obras que se construyan en la zona ya que el modificar la topografía sin previos estudios puede influir de manera directa a la estabilidad de las mismas; además tomando en cuenta que la amenaza de inundación en el sector es inminente para los predios cercanos a la ribera del río.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] S. Hasan and E. Elwakil, "Stochastic regression deterioration models for superstructure of prestressed concrete bridges in California," *Journal of Structural Integrity and Maintenance*, vol. 4, no. 2, pp. 97–108, 2019. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1080/24705314.2019.1603194>
- [2] W. Kim, J. A. Laman, F. Zareian, G. Min, and D. H. Lee, "Influence of construction joint and bridge geometry on integral abutment bridges," *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 11, no. 11, 2021.
- [3] Ministerio de Transporte y Obras Públicas, "Ampliación Y Mejoramiento De La Avenida 16 De Abril De La Ciudad De Azogues," 2016. [Online]. Available: <https://www.obraspublicas.gob.ec/>

- [wp-content/uploads/downloads/2017/01/LOTAIP_12_PROYECTO-AV.-16-DE-ABRIL.pdf](#)
- [4] American Association of State Highway Transportation Officials, “AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, 8th Edition - Table of Contents and Introduction,” p. 74, 2017.
- [5] S. S. Khedmatgozar Dolati and A. Mehrabi, “FRP sheet/jacket system as an alternative method for splitting prestressed-precast concrete piles,” *Case Studies in Construction Materials*, vol. 16, jun 2022.
- [6] E. Amendaño, “Propuesta de gestión del recurso hídrico de la vertiente la merced para el desarrollo sostenible, provincia de pichincha, cantón mejía, parroquia cutuglagua,” 2018.
- [7] O. Hamza, “Geotechnical assessment strategy for bridge maintenance—case study,” *Bearing Capacity of Roads, Railways and Airfields*, pp. 2289–2298, 2017.
- [8] A. Bravo, *Propuesta del manejo integral para la micro-cuenca hidrográfica del río Burgay bajo, provincia del Cañar*. Universidad Politécnica Salesiana, 2019.
- [9] *Determinación de ecuaciones para el cálculo de intensidades máximas de precipitación*, Instituto nacional de meteorología e hidrología, 2019.
- [10] *VOLUMEN N° 2 LIBRO A NORMA PARA ESTUDIOS Y DISEÑOS VIALES*, Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2013.
- [11] M. Villón, *Hidrología*. Instituto Tecnológico de Costa Rica, 2004.
- [12] G. A. D. AZOGUES, “*PLAN NACIONAL DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO Territorial*”. Gobierno autonomo descentralizado del cantón Azogues, 2018.
- [13] IGM, *Mapa Geológico de Azogues*. ”Escala 1:10000” Instituto Geográfico Militar, 2017.
- [14] F. DARQUEA, *Determinación del grado de absorción de los materiales áridos provenientes de la cuenca del río Paute y Jubones y su incidencia en los costos de producción de mezclas asfálticas*. Universidad de Cuenca, 2017.
- [15] C. Fernández, L. Alcides, and M. Paul, “Influencia del método de estimación en el coeficiente de manning para cauces naturales.” *INGENIERÍA HIDRÁULICA Y AMBIENTAL*, pp. 17-31, 2018.
- [16] GAD Azogues, “PLAN NACIONAL DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL,” 2018.
- [17] R. Pacheco, E. Quiala, and I. Martínez, “Determinación del parámetro número de curva en la cuenca las coloradas en un entorno sig.” *INGENIERÍA HIDRÁULICA Y AMBIENTAL*, pp. 60-71, 2018.
- [18] L. Timbe and E. Timbe, “Mapeo del peligro de inundación en ríos de montaña, caso de estudio del río Burgay,” *Maskana*, vol. 3, no. 1, pp. 87–96, 2012.

- [19] M. Sasidharan, A. K. Parlikad, and J. Schooling, “Risk-informed asset management to tackle scouring on bridges across transport networks,” *Structure and Infrastructure Engineering*, vol. 0, no. 0, pp. 1–17, 2021. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1080/15732479.2021.1899249>
- [20] R. K. Garg, S. Chandra, and A. Kumar, “Analysis of bridge failures in India from 1977 to 2017,” *Structure and Infrastructure Engineering*, vol. 18, no. 3, pp. 295–312, 2022. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1080/15732479.2020.1832539>
- [21] INEN, *Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 004*. Instituto Nacional de Normalización, 2012.
- [22] Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN, “CÓDIGO DE PRÁCTICA PARA ALUMBRADO PÚBLICO,” 1987.
- [23] P. Vélez, *Comprobación de las correlaciones de la presión de expansión con las propiedades índices en suelos del sector Challuabamba, Cuenca, recomendaciones para la construcción de cimentaciones*. Universidad de Cuenca, 2012.
- [24] Ministerio de Transporte y Obras Públicas, *Volumen 5 Procedimientos de Operación y Seguridad Vial*. MTOP, 2013. [Online]. Available: https://www.obras-publicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/12/01-12-2013_Manual_NEVI-12_VOLUMEN_5.pdf

Recibido:

Aprobado: