

Estado de las bóvedas de la carretera que conduce de Santa Ana a Ahuachapán

Ana Aracely Quiteño

Ingeniera Civil

Docente investigadora, Facultad de Ingeniería y Arquitectura

Universidad Católica de El Salvador, El Salvador

Email: aracely.qui@catolica.edu.sv

Fecha de recepción: 21-10-2018/ Fecha de aceptación: 08-01-2019

Resumen

El artículo pretende establecer la importancia que tienen en una carretera los sistemas de drenajes, los cuales permiten un manejo adecuado de los fluidos, para lo cual son importantes los procesos de captación, conducción y evacuación de los mismos. Las carreteras en El Salvador se encuentran sometidas – durante la época de lluvia - a la acción del agua con más frecuencia; lamentablemente, las obras de drenaje muchas veces son utilizadas como botaderos de basura, generando azolvamientos. De ahí la importancia de verificar en qué condiciones se encuentran actualmente las bóvedas de la carretera RN-13 en el tramo El Portezuelo – Ahuachapán, constatando su estado y mantenimiento.

En el tramo estipulado se encontraron nueve bóvedas, de las cuales siete de ellas tienen más de 70 años; únicamente fueron ampliadas cuando se trabajó la carretera. En la inspección realizada se verificó que existe mantenimiento para ellas, pero no es rutinario, siendo necesario concientizar sobre la importancia de la inspección periódica y mantenimiento de las obras de drenaje para evitar el cierre en las carreteras.

Palabras clave: Bóvedas, azolvamientos, obras de drenaje, inspección, mantenimiento.

Abstract

The article pretends to establish the importance of drainage systems in a highway, which allow an adequate management of fluids, for which the processes of capture, conduction and evacuation of them are important. The roads in El Salvador are subjected - during the rainy season - to the action of water more frequently; unfortunately, drainage works are often used as garbage dumps, generating silting. There is the importance of verifying in which conditions the vaults of the RN-13 highway are currently located on El Portezuelo - Ahuachapán section, confirming their status and maintenance.

In the section stipulated nine vaults were found, of which seven of them are more than 70 years old; they were only extended when the road was worked. In the inspection carried out it was verified that there is maintenance for them, but it is not routine, being necessary to raise awareness about the importance of the periodic inspection and maintenance of the drainage works to avoid the closure of the roads.

Key words: Vaults, silts, drainage works, inspection, maintenance

1. Introducción

Una infraestructura vial adecuada es fundamental para el desarrollo socio económico del país, siendo las carreteras una pieza importante para la integración e interconexión del mismo. Por esta razón, entre otras, es muy importante que el sistema nacional de carreteras permanezca en buenas condiciones de transitabilidad, a fin de que el transporte se efectúe en forma eficiente y seguro.

En muchos casos, los puentes y las bóvedas son el componente más vulnerable de una carretera, estas son obras de drenajes importantes que influyen en que la continuidad del servicio de transporte se efectúe en forma permanente y segura, favoreciendo en general un apropiado funcionamiento del sistema nacional de carreteras del país.

La condición de las obras de drenaje mayor de la Red Vial de El Salvador varía considerablemente. Muchas estructuras con más de cincuenta años de uso, generalmente sufren daños por falta de un mantenimiento adecuado, más que por su antigüedad. Algunas de las estructuras presentan un estado crítico con respecto a su estabilidad estructural y capacidad de carga y, en esas condiciones, la seguridad del tránsito asume altos niveles de incertidumbre asociados a riesgos crecientes.

Ya se ha experimentado en las calles y carreteras de El Salvador que cuando un puente o una bóveda falla, hay cierres de arterias que son importantes para el desarrollo económico del

país, generando más costos a los usuarios de las carreteras. Tomando en cuenta estos aspectos, y que durante las visitas técnicas realizadas con alumnos de la carrera de Ingeniería Civil, se verificó el daño que presentan algunas bóvedas en la carretera hacia Ahuachapán, observando que año con año presentan más daños. En total hay nueve bóvedas, cuatro cajas y dos puentes; en los últimos años, por problemas de delincuencia no se han hecho visitas a las bóvedas, de allí han surgido las siguientes preguntas: ¿En qué condiciones se encuentran actualmente las obras de drenaje en la carretera hacia Ahuachapán? ¿Todas las bóvedas presentan daños?

El principal contenido de la investigación fue analizar el estado actual de las bóvedas que existen en la carretera que conduce de los departamentos de Santa Ana a Ahuachapán. Para ello se plantaron los siguientes objetivos:

- Realizar un levantamiento de las bóvedas que existen en la carretera que conduce de Santa Ana a Ahuachapán.
- Comprobar en qué estado se encuentran actualmente las bóvedas.
- Identificar los diferentes daños que presentan cada una de las bóvedas.

Estructuras de drenaje

En la construcción de carreteras es necesario evaluar los cruces de los ríos que se encuentran alrededor del proyecto que afectan a la carretera, siendo indispensable construir una obra de drenaje.

Las estructuras de drenaje son las encargadas de disminuir el agua en el pavimento. El exceso de agua, combinada con el alto crecimiento de volúmenes de tránsito y cargas inducen el deterioro progresivo de la estructura de pavimento. Un buen drenaje mantiene la capacidad de soporte de la subrasante y base del pavimento. El diseño hidráulico de una obra de drenaje transversal es determinar la sección hidráulica más adecuada que permita el paso libre del flujo líquido y flujo sólido, que eventualmente transportan los cursos naturales y conducirlos adecuadamente, sin causar daño a la carretera y a la propiedad adyacente (Marín E. 2014). Las estructuras que forman parte del drenaje transversal son las alcantarillas, las cajas, las bóvedas, los badenes y los puentes.

Bóveda

Se considera como bóveda, la obra de drenaje transversal formado por muros unidos por uno o varios arcos y que soportan las cargas de tránsito de vehículos, a través de un relleno. Una bóveda es un medio por el cual se conduce agua a través de un terraplén. La parte superior de una bóveda no forma parte del pavimento de la carretera, mientras que un puente está enlazado a la carretera. Aunque en el análisis y diseño estructural en ambas estructuras se estima como carga muerta de servicio. El agua de escorrentía superficial debe correr libremente tan pronto como sea posible para evitar la saturación del suelo, el cual provoca-

ría hundimientos o asentamientos, deslaves e inestabilidad a las estructuras que se construyan sobre ella (Hernández, 2014).

Otra definición de bóveda puede ser: son obras civiles constituidas por una superestructura apoyada sobre una subestructura, en donde la primera es la encargada de soportar las cargas de tráfico vehicular y del relleno del suelo sobre ella y estas son transferidas a la subestructura, la cual se encarga de transmitir las al suelo soportante (Palma, 1994).

En la entrada de una bóveda se produce un embalse o remanso y un aumento de la velocidad por dentro y a la salida, esto se debe a que se reduce el cauce de la corriente, por lo que se puede necesitar alguna protección contra la erosión y socavación. Usualmente para proteger la entrada y salida de agua se colocan cabezales, derivadores de caudales y sumideros (SIECA, 2001).

La importancia de las bóvedas radica en que por medio de ellas se puede aprovechar para drenajes de quebradas y ríos, así como también para solventar accidentes naturales del terreno. Su uso se aconseja cuando no se pueden colocar tubos, cuando la pendiente transversal es muy fuerte o cuando la profundidad de la quebrada es muy grande. El arco puede ser en forma parabólica, de sección uniforme y estará conformado además por los muros, los cuales a la vez sirven como muros de retención, cuya función principal es la de contener las fuerzas que ejercen los suelos de los rellenos de la obra.

Superestructura

La superestructura de una bóveda es aquel elemento estructural al que se denomina arco, el cual está apoyado directamente sobre la subestructura y cuya función principal es soportar con seguridad las cargas a las que se verá sometido. Estas cargas provienen de las presiones originadas por el relleno de tierra, por el tráfico vehicular y por su mismo peso. La geometría del arco puede ser parabólica, circular, elíptica o formada por la combinación de ellas, puede ser elaborada de concreto simple, concreto reforzado o de materiales prefabricados.

Subestructura

La subestructura de una bóveda está constituida por los elementos estructurales conocidos como muro y estribos; se presentan en pareja, ya que sirven de apoyo al arco. La función de estos elementos es la transmitir las reacciones del arco al suelo (ver figura 1).

Inspección

Se entiende por inspección al conjunto de acciones de gabinete y campo, desde recopilación de información (historia, expedientes técnicos del proyecto, planos post construcción, inspecciones previas, etc.), hasta la toma de datos en campo, a fin de conocer el estado de la bóveda en un instante dado (MTC, 2006).

2. Metodología

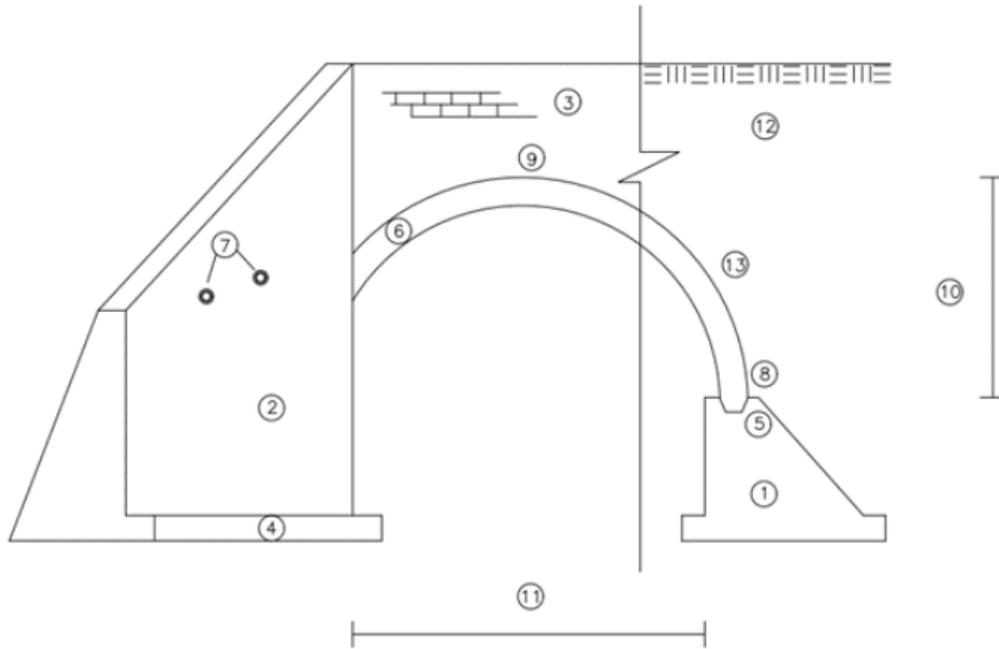
El estudio realizado es desde un planteamiento documental y descriptivo, ya que primero se abordó la búsqueda de información sobre las

obras de drenaje, específicamente las bóvedas; posteriormente se realizaron las visitas a cada una de las obras que se encuentran sobre la carretera, verificando las condiciones que estas presentan. El tramo en estudio constó de 37.6 km desde el municipio del Portezuelo hasta la ciudad de Ahuachapán, departamento con el mismo nombre; específicamente en la carretera que consta de cuatro carriles - dos por sentido -, cuya carpeta de rodadura es de concreto asfáltico.

Para conocer la condición real existente y evaluar cada uno de los elementos de las bóvedas, fue necesario un programa de inspecciones, el cual se efectuó en forma organizada.

El propósito de la inspección de las bóvedas fue determinar los daños en los elementos de la misma que pudieran afectar a la vía, estableciendo el tipo de daño y su extensión. Estos factores orientan en el momento de definir las posibles causas de los daños, y así establecer las alternativas de reparación más adecuadas y necesarias para reducir o eliminarlos daños y las causas que lo generan.

Como parte del trabajo de campo, primero se verificó la ubicación y nombre de cada una de las bóvedas programadas para inspección. Se tomaron las medidas de seguridad necesarias para poder bajar los taludes y llegar a ellas; dentro de las medidas de seguridad se solicitó acompañamiento por personal del Viceministerio de Obras Públicas de Santa Ana, especialmente en algunas zonas que se consideraban peligrosas.



| | | |
|-------------------------|-------------------|-----------------|
| 1. Estribo | 6. Arco | 10. Flecha |
| 2. Aletón | 7. Drenaje | 11. Luz o claro |
| 3. Muro de coronamiento | 8. Arranque | 12. Relleno |
| 4. Fundaciones | 9. Clave o corona | 13. Riñones |
| 5. Llave | | |

Figura 1. Partes que conforman una bóveda.

Ya *in situ*, se inspeccionó cada bóveda, al mismo tiempo que se tomaron fotografías que ayudaron a su identificación (ver figura 2).

Se tomó una fotografía de cada acceso a las bóvedas y se procedió a la inspección y calificación de la condición de cada uno de los componentes de la misma (arco, muros, aletones, fundaciones, emplantillados, etc).

Además, se inspeccionaron los taludes y obras de protección en los extremos de cada bóveda,

tomando las fotografías necesarias para respaldo y verificación de todas las partes que la componen, así como una foto de la elevación de la misma en la que se pudiera apreciar la subestructura y la superestructura (ver figura 3).

Se tuvo el cuidado de reportar los daños encontrados, siguiendo una numeración y colocando su respectiva ubicación en la vía. En la medida de lo posible, se colocaron las causas que pudieron generar los daños encontrados, teniendo



Figura 2. Fotografías de las entradas de las bóvedas de los municipios de Atiquizaya y la del río Pansín, ubicado en el departamento de Ahuachapán.



Figura 3. Fotografías de los accesos a la bóveda de Quebrada Honda, municipio de Ahuachapán y a la bóveda de Turín, municipio del mismo nombre; ambas en el departamento de Ahuachapán.

como base lo visto en campo. En el caso de que las causas no fueran muy evidentes, simplemente se reportó el daño.

3. Resultados

Durante las inspecciones se pudo observar que las bóvedas visitadas ya tenían varias décadas de haber sido construidas; y cuando se amplió la carretera (1998-1999), las existentes solo fueron ampliadas manteniendo el área hidráuli-

ca. Esto se observa claramente por la forma de construcción: solamente las bóvedas El Chinquí, ubicada en el municipio de Chalchuapa y la de Turín, municipio del mismo nombre, fueron construidas en su totalidad durante la ampliación (ver tabla 1).

A continuación, se detallan los datos encontrados en cada una de las inspecciones realizadas de las bóvedas de forma individual:

Tabla 1. Datos generales de bóvedas ubicadas en el tramo El Portezuelo- Ahuachapán

| Número | Nombre | Municipio | Departamento | Área (m ²) | Longitud (m) |
|--------|----------------|------------|--------------|------------------------|--------------|
| 1 | Cantarrana | Santa Ana | Santa Ana | 4.94 | 36.5 |
| 2 | El Chinquíz | Chalchuapa | Santa Ana | 10.84 | 40.18 |
| 3 | Barranca Honda | El Refugio | Ahuachapán | 8.23 | 37.06 |
| 4 | Cruz Verde | Atiquizaya | Ahuachapán | 4.26 | 27.17 |
| 5 | Atiquizaya | Atiquizaya | Ahuachapán | 18.55 | 36.67 |
| 6 | El Zapote | Atiquizaya | Ahuachapán | 3.75 | 32.25 |
| 7 | Turín | Turín | Ahuachapán | 4.65 | 54.54 |
| 8 | Río Pansín | Ahuachapán | Ahuachapán | 37.02 | 16.05 |
| 9 | El Avillo | Ahuachapán | Ahuachapán | 12.02 | 24.90 |

a. Bóveda Cantarrana

Es la primera bóveda que se encuentra en el tramo investigador, y está ubicada a la par de una caja para lograr el área hidráulica de la cuenca. La bóveda se observa que fue ampliada junto a los trabajos realizados en la carretera.

Los daños observados son: filtración entre el arco y el muro, el cual puede provocar corrosión en el acero de refuerzo del arco; el emplantillado del piso de la bóveda que es de concreto hidráulico presenta pérdida o degradación de material, debido al arrastre de sedimentos en la época lluviosa. A la salida de la bóveda se observa una leve socavación en el emplantillado de concreto hidráulico, que si no se apresura el mantenimiento puede existir hundimiento (ver figura 4).

b. Bóveda El Chinquíz

La bóveda se encuentra en el bypass de la ciudad de Chalchuapa, departamento de Santa Ana. Los

muros del arco no presentan daños, también la cama de agua que es de mampostería de piedra se encuentra en buen estado. En general, la obra no presenta ningún daño, pero el problema que se observó fue la acumulación de agua a la entrada y salida de la bóveda (ver figura 5).

c. Bóveda Barranca Honda

Esta bóveda está ubicada a la entrada del municipio de El Refugio, departamento de Ahuachapán, por lo que es de fácil acceso; pero no se pudo observar de qué materiales son los muros y la cama de agua, ya que la bóveda tiene acumulación de lodo. El arco es de concreto armado y no presenta ningún daño; la cama de lodo es de 0.60 metros de profundidad. Aquí urge que se realice la limpieza, ya que si no se efectúa, se azolvará toda la bóveda (ver figura 6).

d. Bóveda Cruz Verde

La bóveda está ubicada en el kilómetro 80+500; el daño lo presenta en el emplantillado de pie-



Figura 4. Fotografías de la cama de agua desintegrada y de la filtración en la bóveda Cantarrana, Santa Ana.



Figura 5. Fotografías de la entrada y de la cama de agua de la bóveda El Chinquíz, Chalchuapa.



Figura 6. Fotografías de la entrada y del azolvamiento de la bóveda Barranca Honda, El Refugio, Ahuachapán.

dra de la bóveda, ya que se perdió en gran parte el fino y las piedras se han desprendido, provocando estancamientos de agua.

En el arco se observan fisuras longitudinales que se pueden deber a juntas de construcción, observándose además que ya fueron reparadas unas grietas transversales. Unas varillas de acero de refuerzo se encuentran a la vista, provocando su corrosión. Las cunetas que descargan en la bóveda están desintegrándose, permitiendo que el agua se filtre lo que provocará mayor daño (ver figura 7).

e. Bóveda Atiquizaya

Es la bóveda más alta, teniendo una altura de 4.82 metros, ubicada del municipio del mismo nombre del departamento de Ahuachapán. Según lo observado, no se debe a la cantidad de agua que lleva la quebrada, sino a la altura a salvar en la carretera. En el arco se observó que ya se hicieron reparaciones a las grietas que presenta el concreto; el emplantillado de mampostería de piedra en la bóveda tiene unos niveles de severidad de bajo a medio en cuanto a desprendimientos de rocas, las cuales se deben a varias razones: la pérdida de adherencia con el mortero, miembros o piezas que tienden a trabajar a flexión; desmejoramiento de la calidad de la piedra y desgaste de la misma.

En los orificios dejados existe acumulación de agua, además de socavación en los disipadores que llegan a la salida de la bóveda; también se observa un árbol creciendo en el talud, el cual puede dañar la estructura (ver figura 8).

f. Bóveda El Zapote

El acceso a esta bóveda fue bastante difícil. El lugar por donde se bajó es un claro que hay entre las dos bóvedas, siendo una de ellas donde anteriormente pasaba la línea del tren.

La bóveda de la carretera no presenta daños en el arco ni en los muros; sin embargo, en la cama de agua que es de mampostería de piedra presenta serios daños: ya desapareció buena parte de este y presenta acumulación de agua (ver figura 9).

g. Bóveda Turín

En la entrada de la bóveda hay acumulación de lodo y en la salida hay agua estancada; ambos factores generan malos olores.

El arco y los muros se encuentran en buenas condiciones; la cama de agua, que es de concreto ciclópeo, se encuentra dañada justo en el centro donde se observa degradación, conocido comúnmente como descamado; es decir, la pérdida gradual y continúa del mortero del concreto que envuelve las rocas.

En estos puntos se observa acumulación de agua, el emplantillado del cabezal de salida ya desapareció, encontrándose pequeños vestigios de ello. El emplantillado del cabezal de entrada se encuentra bien, solamente existe una degradación ligera (ver figura 10).

h. Bóveda sobre río Pansín

La bóveda sobre el Río Pansín es una bóveda doble, la cual presenta bastante filtración de agua, específicamente en la pila central, que es



Figura 7. Fotografías de la cama de agua dañada y el desprendimiento en la bóveda Cruz Verde, Atiquizaya.



Figura 8. Fotografías del arco, muros, emplantillado y el cabezal de salida de la bóveda de Atiquizaya, Ahuachapán.



Figura 9. Fotografías del emplantillado, de la entrada, muros y arco de la bóveda El Zapote, Atiquizaya



Figura 10. Fotografías de la salida, del arco y muros y de la cama de agua de la bóveda de Turín, Ahuachapán.

de concreto armado. El agua brota entre la finalización del arco con el inicio de la pila, pero el problema es que puede estar dañando el acero de refuerzo de ambos elementos.

El emplantillado de mampostería de piedra en ambas bóvedas ya desapareció; en una de ellas se encontró acumulación de material de arrastre, y en la otra el agua acumulada que por rebalse continúa (ver figura 11).

i. Bóveda Quebrada El Avillo

Se observó que la bóveda ha tenido mantenimiento, ya que en la cama de la misma existen dos diferentes tipos de materiales: uno es de mampostería de piedra; y el otro tramo es de concreto hidráulico. Sin embargo, en la entrada

de la bóveda hay un tramo que está dañado, en donde ha desaparecido el empedrado; por otro lado, el arco y los muros no presentan daños (ver figura 12).

4. Discusión

Tomar fotografías de las bóvedas es de suma importancia para ver los daños más relevantes. Estas se tomaron desde una distancia adecuada para dejar constancia de la escala del deterioro en relación al elemento en donde se manifestaron. En los casos en los que esto no era posible, las fotografías fueron tomadas a distancia y/o mostrando el detalle del daño.

Se pudo deducir que, el mayor deterioro encontrado en las bóvedas se debe al arrastre y



Figura 11. Fotografías de la pila, arcos, cama de agua de la bóveda doble del Río Pansín, Ahuachapán



Figura 12. Fotografías del arco, muros y cama de agua de la bóveda El Avillo, Ahuachapán.

desprendimientos de elementos de protección. Es decir, el deterioro de la cama de agua, en algunas de ellas, solo es el mortero el que ha desaparecido; en otras, el daño es severo, ya que desapareció toda la cama de agua. Este es el caso de la bóveda doble del río Pansin; en las bóvedas de Cruz Verde, Atiquizaya, Turín y el Zapote, el daño es de severidad media.

Las piedras para la reparación podrían ser de canto rodado o roca labrada de cantera, ya que debe ser dura, sana, libre de grietas u otros defectos que tiendan a reducir su resistencia a las sollicitaciones a las que estaría sometida, y a los efectos de la intemperie. Las superficies de las piedras deben estar exentas de tierra, arcilla o cualquier materia extraña, que pueda obstaculizar la perfecta adherencia de esta con el mortero.

El arco de todas las bóvedas se encontró estructuralmente en buenas condiciones; sin deformaciones ni grietas. En el caso de presencia de estas últimas, las ya fueron reparadas y no presentan mayor daño. Los muros de las bóvedas se encontraron en buen estado, asimismo todos los muros de mampostería de piedra, los cabezales de entrada y de salida.

Las aguas provenientes de las cunetas han originado daños tanto en estas como en los taludes donde descargan, ya que el agua no se ha encauzado adecuadamente y ha corrido en terreno adjunto. Lo anterior ha provocado socavación y colapso en las cunetas. En el caso de las bóvedas de Cruz Verde y El Zapote se protegió

el cauce, y los taludes con muros de llantas de carro han dado buenos resultados.

Las bóvedas encontradas en el tramo desde el municipio del Portezuelo en Santa Ana hasta el departamento de Ahuachapán se encuentran en condiciones aceptables. La que presenta mayor daño es la bóveda doble del río Pansin, la cual tiene filtraciones en la pila y puede generarse corrosión en el acero de refuerzo.

Soluciones

Las fisuras en el concreto se pueden ligar mediante inyección de compuestos de ligamentos epóxicos bajo presión. El sistema de inyección epóxica debe cumplir con la norma ASTM C881. La calidad y clase deben escogerse para satisfacer las condiciones de trabajo y requerimientos. El sistema debe ser capaz de adherirse a superficies húmedas, a menos que pueda asegurarse que la fisura está seca.

Por otro lado, es necesaria una inspección y limpieza frecuente de las bóvedas para prevenir la acumulación de materias extrañas y escombros. Esto debe estar aunado a la elaboración de normativas institucionalizadas de inspección, evaluación y procedimientos de ejecución para la conservación de bóvedas. También se debe llevar un registro de las inspecciones realizadas, esto con el objeto de dar seguimiento al estado de deterioro de las bóvedas y poder detectar fallas de carácter estructural.

Otra forma de intervenir en el mantenimiento de las bóvedas es impulsar, a través de los pro-

gramas de mantenimiento de carreteras, las reparaciones oportunas de las obras de drenaje; y no esperar hasta que estas fallen, ya que esto provoca paro en el transporte y un alto costo de reparación.

Tampoco debe dejarse de lado la importancia de concientizar a los usuarios de las bóvedas y a los habitantes de la zona, para que no tiren basura en las quebradas, ya que esto provoca

que el agua se salga del cauce y ocasione socavaciones en los taludes, generando daños en las obras de drenaje en las carreteras.

En cuanto al gobierno central, se hace un llamado a mantener actualizado el Inventario de obras de drenaje; con el fin de tener conocimientos reales del estado y condición de estas, a fin de facilitar el empleo óptimo y eficaz de los recursos disponibles.

5. Referencias

- Carbonell, M. (1996). *Protección y reparación de estructuras de hormigón: aplicaciones de los nuevos materiales en edificios, obras hidráulicas y viales*. Barcelona: Omega
- Chaudry, M. H. (1993). *Open-Channel Flow*. USA: Prentice Hall Inc.
- Chávez, O. A. y Guzmán, F. G. (1987). *Obras de Manejo y Control de Cauces*. Seminario de Hidráulica: Obras de Drenaje y Riego por Goteo. Popayán, Colombia: Universidad del Cauca
- Chow, V. T. (1982). *Hidráulica de Canales Abiertos*. México: Editorial Diana
- Garber, N. J. (2007). *Ingeniería de Transito y carreteras*. México, D.F.: Edamsa Impresiones, S.A. de C. V.
- Hernández-Leal, J. M. (2014). *Análisis de costos de bóveda circular de concreto armado, utilizando barras de acero grado 40 vrs electromalla grado 70*. (Tesis de pregrado). Universidad de San Carlos de Guatemala. Recuperado de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3839_C.pdf
- Juárez-Badillo, E. y Rico-Rodríguez, A. (1992). *Mecánica de Suelos. México: Tomo III*. Limusa, Grupo Noriega Editores.
- Kraemer, C. (2009). *Ingeniería de carreteras, 1 y 2*. Madrid. España: MacGraw – Hill cop.
- Marín, E. y Pérez, I. (2014). Drenaje y Subdrenaje en carreteras. Recuperado de <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/15159/DRENAJE%20Y%20SUBDRENAJE%20EN%20CARRETERAS.pdf>
- Ministerio de Fomento de España (2012). Guía para la realización de inspecciones principales de obra de paso en la Red de Carreteras de Estado. Gobierno de España. Recuperado de http://www.fomento.es/NR/rdonlyres/EAAF10BD-4D0C-43D7-87F6_9FFD227A59_DC/110622/0870250.pdf

- Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones República del Perú (2006). Guía para inspección de puentes. Recuperado de https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/otras/GUIA%20PARA%20INSPECCION%20DE%20PUENTES.pdf
- Norman, J. M.; Houghtalen, R. J. y Johnston, W. J. (1985). Hydraulic Design of Highway Culverts. Recuperado de https://www.fs.fed.us/biology/nsaec/fishxing/fplibrary/FHWA_2005_Hydraulic_design_of_highway_culverts.pdf
- Palma, P. (1994). *Análisis y diseño de bóvedas como alcantarillas de drenaje mayor en carreteras*. Guatemala: Universidad de San Carlos
- Pérez, R. (2013). *Diseño y construcción de alcantarillados sanitarios, pluvial y drenajes de carreteras*. Bogotá, Colombia: Ecoe Ediciones
- Secretaría de Integración Económica Centroamericana (2001). *Manual centroamericano de especificaciones para la construcción de carreteras y puentes regionales*. Guatemala.
- Sotero, G. (2015). *Hidráulica general: fundamentos, I*. México: Limusa.
- Subash, J. C. (2001). *Open-Channel flow*. USA: John Wiley & Sons. Inc.
- Villela, M. S. y Mattos, A. (1975). *Hidrología Aplicada*. Brasil: Editora McGraw-Hill Do Brasil, Ltda.