

## Diseño mejorado de alcantarillas de drenaje pluvial en carreteras

M. Sc. Ing. Zivko Gencil

Universidad Nacional de Piura, Miraflores, Castilla, Piura, Perú.

email: [zaugencil@yahoo.com](mailto:zaugencil@yahoo.com)

### RESUMEN

Los diseñadores de obras hidráulicas de drenaje pluvial de carreteras, a menudo se satisfacen con aplicar modelos típicos de alcantarillas y badenes (cruce de dren y carretera a nivel) antes de prever un puente. Estos criterios con frecuencia presentan errores de concepto que se repiten por falta de revisiones altamente especializadas y por no poseer suficiente experiencia positiva. En el trabajo se incluye una novedosa propuesta de bajo costo y que cumple con las siguientes condiciones: *primero*, que en su función normal es resistente a daños del terraplén por la entrada y dispone de la protección contra erosión aguas abajo y, *segundo*, que en el caso en que el caudal supere la capacidad de la alcantarilla permite el paso del agua por encima de la carretera con eventual suspensión del tránsito.

**Palabras clave:** alcantarillas seguras, flujo por encima del pavimento, interrupciones del tránsito, protección de taludes, solución económica.

## Improved design for highway culverts

### ABSTRACT

The designers of road (highway) cross-drainage structures frequently use culverts instead of bridges. However, culvert design is usually characterized by some conceptual errors which persist without modification because of lack of critical analysis and knowledge of useful experiences. In this paper, the proposed solution attempts to offer a novel type of hydraulic low cost structures for conveying the surface water through and over the embankment as well as fulfilling the following: *first*, for the design discharge the culvert suffers no damage to the embankment nor to the pavement and, *second*, in case the discharge increases the water is allowed to flow over the pavement (embankment) without damage; naturally the traffic would suffer a short interruption.

**Keywords:** economical solution, embankment slope protection, flow over pavement, safe culverts, traffic interruption.

## **INTRODUCCIÓN**

La costa norte del Perú es un ambiente geográfico que, cuando se trata de obras de drenaje de carreteras fuera de áreas urbanas, exige soluciones propias al margen de las prácticas usuales.

Tal como se especifica (Monsalve 1999), los criterios para definir la capacidad hidráulica de una obra de drenaje lateral son: la vida útil de la obra, tipo de estructura, facilidad de reparación y ampliación y peligro de pérdida de vidas humanas. Según estos criterios, en la práctica mundial, las alcantarillas para carreteras, fuera de áreas urbanas, se dimensionan para un caudal con un periodo de retorno de uno a cinco años. Este periodo de retorno es confirmado o aumentado ligeramente (Harrigan 1998a) pero nunca por encima de 25 años. Considerando el periodo de vida útil de una carretera como unos cincuenta años, o menos, es evidente que este criterio es razonable.

Sin embargo en la costa norte del Perú, se debe tener en cuenta la permanente amenaza del fenómeno “El Niño” que puede alcanzar magnitudes extraordinarias. El promedio de precipitación en la costa norte del Perú, de clima semi-árido, es alrededor de 100a 250mm/año, pero un fenómeno “Mega-Niño” significa precipitaciones mayores de 2000 mm en un periodo de pocos meses (tres o cuatro). La incidencia de estos eventos hidrológicos extraordinarios ha aumentado últimamente, habiéndose producido uno en el año 1983 y el siguiente en 1998. Los daños producidos en carreteras a causa de los mencionados eventos obligan a pensar sobre soluciones más seguras. La intención es evitar pérdidas económicas por interrupción de vías terrestres y costosas reparaciones cada vez que la hidrología se escapa de la rutina.

Aunque el fenómeno de “El Niño” no siempre implica estas mega-precipitaciones, casi siempre significa mayores caudales y como su incidencia media es cada cuatro años, tanto aquí como en zonas geográficas de semejante hidrografía, se debe pensar sobre una mejor protección en las obras de alcantarillas de carreteras, siempre y cuando el costo total de la obra sea significativamente menor que el de un puente.

## **PRESTAR ATENCIÓN A DETALLES IMPORTANTES**

El autor del presente participó como asesor técnico en las tareas de Defensa Civil de la Municipalidad Provincial de Piura (a 1050km al norte de la capital Lima) hacia fines del año 1999. El día 31/12/1999 se presentó una lluvia inusual en la cuenca de la quebrada Pajaritos cuyo curso es interceptado por el trazo de la vía Panamericana Norte (hacia la ciudad de Sullana al norte) y por el de la carretera hacia Paita (puerto más cercano al oeste), a través de alcantarillas a pocos kilómetros de distancia de la ciudad de Piura.

El caudal máximo alcanzó y superó ligeramente la capacidad de las alcantarillas. La intensidad de la precipitación fue notable y el escurrimiento relativamente rápido siendo la cuenca compuesta por campos agrícolas y tierras eriazas de escasa vegetación. Al momento de producirse el llamado de alerta y la salida de la defensa civil al lugar, la alcantarilla en el tramo de la carretera hacia la ciudad de Sullana ya había colapsado y el terraplén de la otra (hacia Paita) estaba en peligro de colapsar por la intensa vorticidad lateral a la salida de la alcantarilla. La entrada de la alcantarilla no estuvo comprometida en la misma medida ya que el agua en esta zona estaba remansada y tenía velocidades menores. El mecanismo de erosión del terraplén a la

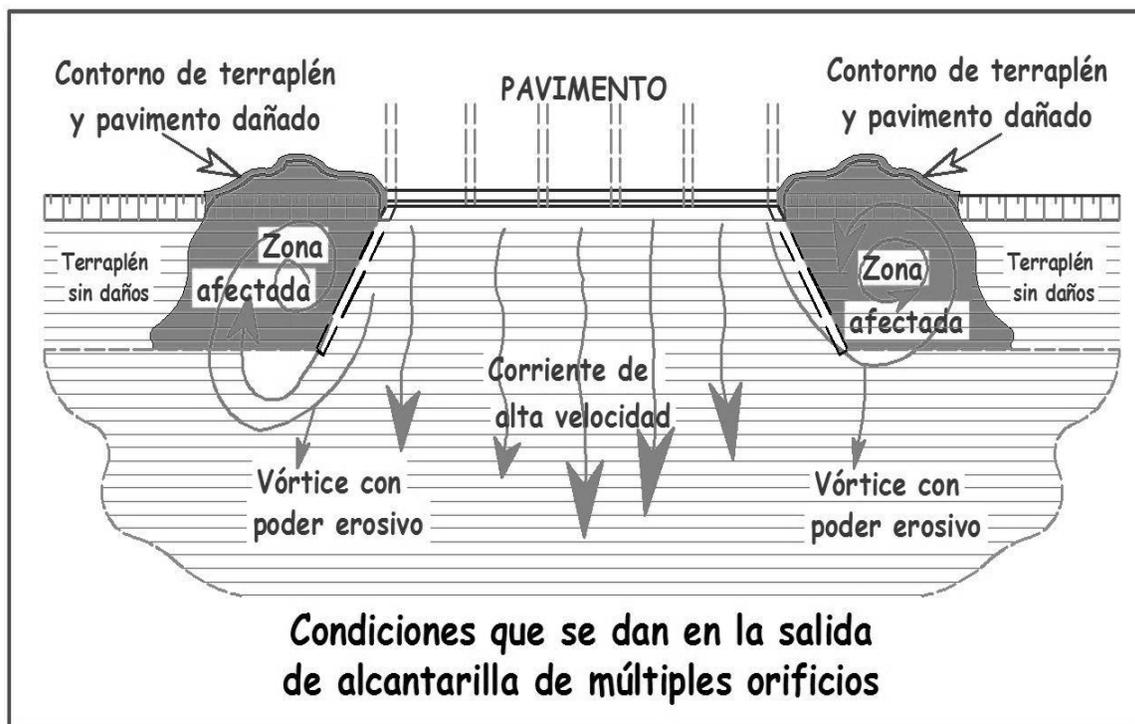
salida de la alcantarilla y los visibles daños, testimonian sobre lo inadecuado que resultó la forma de los muros aleros en su diseño tradicional (ver figuras 1, 2, 3 y 4).

Fue muy evidente que el nivel del agua superó fácilmente los niveles de los muros aleros que no pudieron cumplir su función por la forma, tradicionalmente adoptada (ver figura 2), de reducción de la altura con la distancia desde el parapeto de la carretera.

Una breve verificación en la bibliografía (Marek 2010, Harrigan 1998b, Gencel 2011) confirma que esta forma de muros aleros, a pesar de no ser la adecuada, es común. Entonces esto sería el primer detalle importante a introducir en el diseño mejorado de alcantarillas; la observación es válida para la salida tanto como para la entrada del agua a la alcantarilla.

La cimentación de los muros aleros así como la cimentación del fondo a la salida de la alcantarilla debe tener la profundidad suficiente para prevenir la socavación de la estructura.

Además de ello el ángulo central de los muros debe ser tan próximo a  $14^\circ$  como sea posible para evitar la estimulación de vorticidad cerca de la salida o para alejarla más allá de la misma.



**Figura 1. Presentación gráfica de líneas de corriente y daños ocasionados por flujo que se extiende por encima de los muros aleros a la salida de alcantarilla.**



**Figura 2. Huellas notorias del daño que amenazó con destruir el terraplén a la salida de la alcantarilla.**



**Figura 3. Daños del terraplén a la entrada de una alcantarilla: se nota que los aleros han sido sobre-elevados hasta el nivel máximo del orificio; aún así sería mucho mejor tenerlos nivelados con la altura del parapeto.**



**Figura 4. Daños más frecuentes a la salida de alcantarillas: son consecuencia de la erosión de fondo; no es difícil evitarlos con medidas relativamente simples.**

#### **SI EL NIVEL DE AGUA SUPERA EL NIVEL DEL TERRAPLÉN O PAVIMENTO**

En caso de que el caudal llegue a tener magnitudes que excedan la capacidad de la alcantarilla y ocurra vertimiento por encima del tramo de carretera adyacente se produce lo ilustrado en las cuatro fases del croquis (figura 5) así como lo que representa la figura 6.

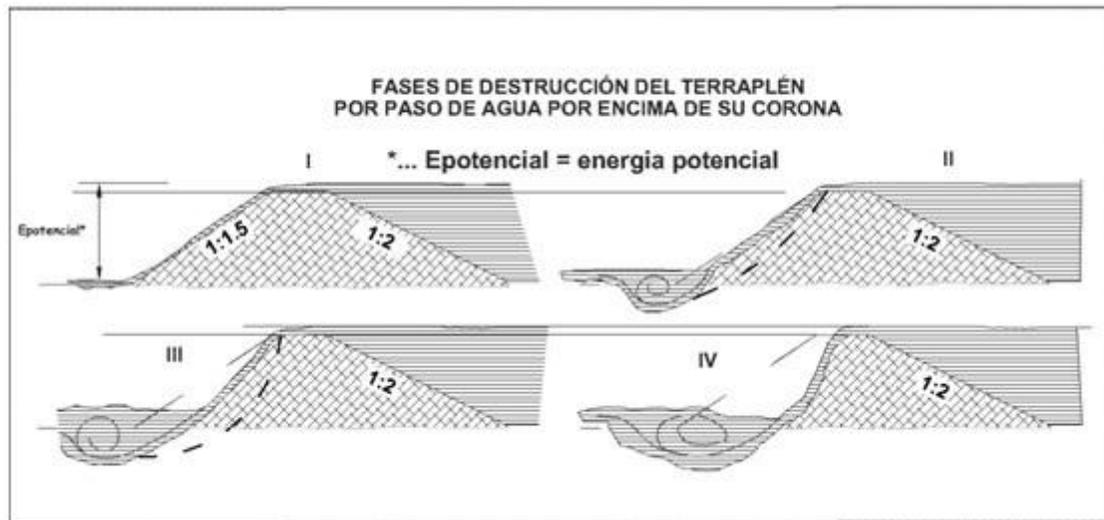
En la figura 5 se presentan gráficamente las fases de daños al terraplén que se producen como consecuencia del vertimiento por encima de la carretera una vez sobrepasada la capacidad de evacuación de la alcantarilla.

La figura 6 (a) y (b) muestra restos del terraplén y pavimento de la carretera Panamericana Norte dañados por el agua al excederse la capacidad de la alcantarilla. La flecha en la figura 6 (b) señala el sentido de flujo. La causa de la destrucción está en el exceso de energía potencial que adquiere el agua almacenándose por el lado aguas arriba de la carretera.

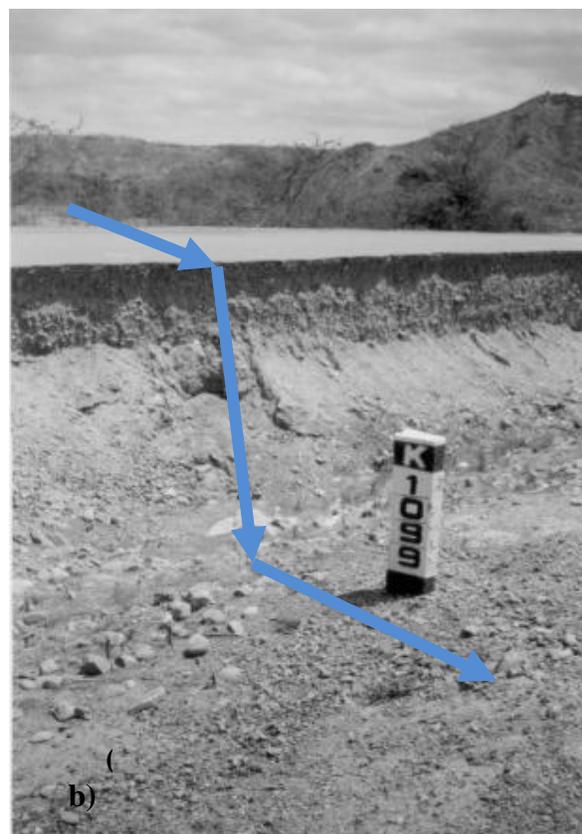
Esta energía potencial se transforma, casi en su totalidad, en energía cinética de un chorro vertiente causando cárcavas en el talud del terraplén y erosión al pie de este. El proceso es progresivo y termina con la destrucción parcial o total del terraplén con pavimento.

#### **ALCANTARILLA CON CONDICIONES DE MAYOR RESISTENCIA**

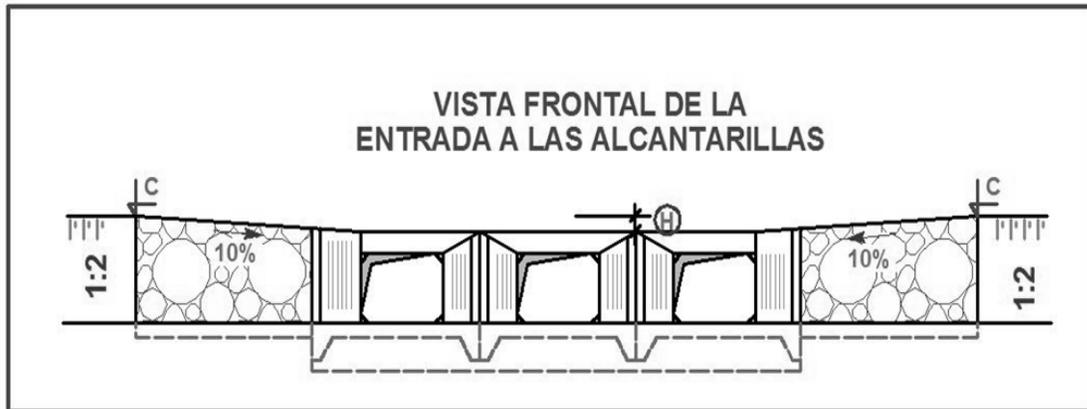
En una situación donde se requiere resolver muchos cruces del trazado de la carretera con cursos de quebradas la limitación financiera se vuelve notoria. La mejor solución es construir puentes pero es a la vez la más costosa. La ingeniería se caracteriza por ofrecer soluciones funcionales al menor costo posible. Teniendo este propósito en la mente el autor del presente trabajo propone adoptar tipos de alcantarillas más resistentes conforme a las figuras 7 y 8 siguientes que no requieren mucha explicación.



**Figura 5. Fases de daños al terraplén**

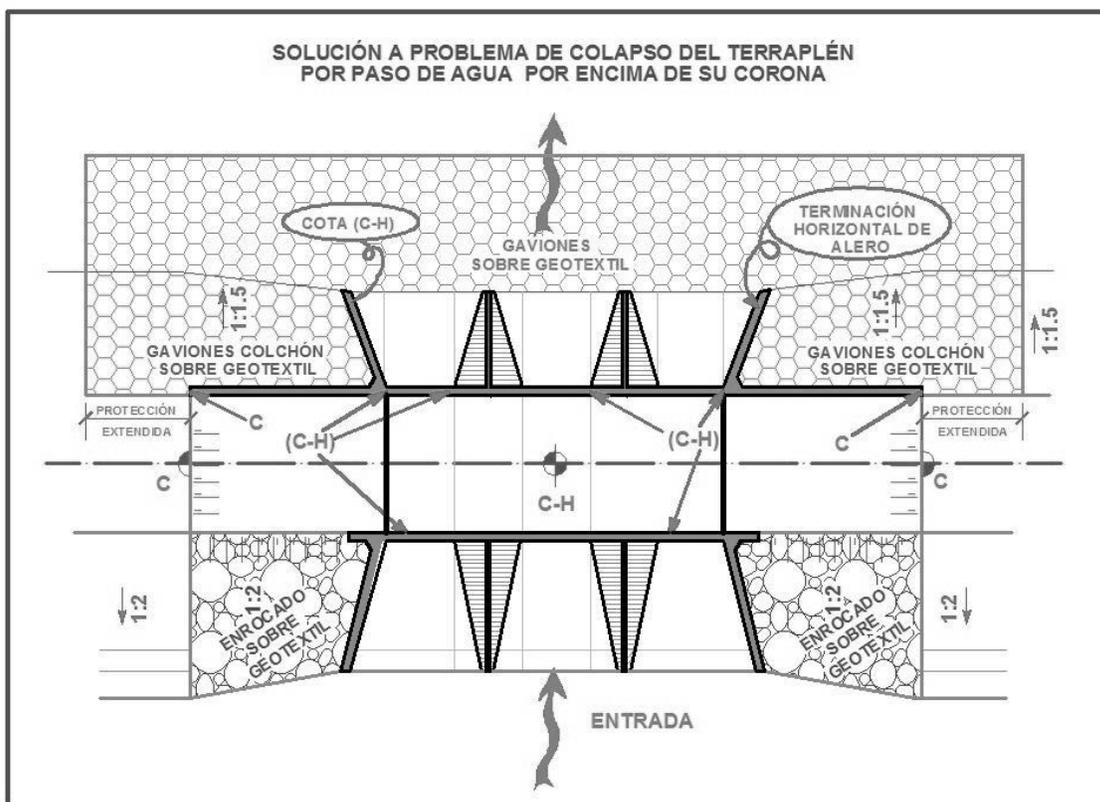


**Figura 6. Restos de terraplén y pavimento de la carretera Panamericana Norte dañados por el agua.**



**Figura 7. Alcantarilla protegida desde aguas arriba haciendo factible el vertimiento sobre el tramo de carretera**

La alternativa aquí propuesta se recomienda fuertemente para aplicarla en carreteras de un volumen de tránsito mediano a bajo. En otros casos también, aunque asegurándose que su costo sea significativamente más bajo que el de un puente.



**Figura 8. Vista en planta de la alcantarilla más resistente.**

Esta solución es particularmente adecuada en las secciones anchas y planas de quebradas donde el puente pueda quedar fácilmente fuera del cauce principal por erosión de uno de sus estribos, como fue el caso del puente Bocapan (al sur de Tumbes, sobre la Panamericana Norte).

La descripción básica de lo propuesto consiste en asegurar elementos de parapeto junto a la(s) alcantarilla(s) de concreto armado de alcance suficiente como para poder servir de estructura que permita suspender sobre ella la protección de los taludes aguas abajo mediante gaviones tipo colchón asistiendo a la vez a la impermeabilidad de las uniones entre los distintos materiales.

El perfil longitudinal de la carretera experimentará una variación del nivel del pavimento en forma de vertedor lateral fijo, cuya capacidad máxima se puede obtener como el del vertimiento sobre un umbral ancho.

La(s) capacidad(es) de la(s) alcantarilla(s) se reducirán ligeramente al presentarse el vertimiento pudiéndose calcular suponiendo la posición del nivel piezométrico, a la salida de la alcantarilla, ligeramente mayor que la altura del límite superior del orificio. Su posición más precisa se podrá definir según la altura de la lámina vertiente por encima del “vertedor fijo” y aún con más precisión analizando el nivel del agua aguas abajo de la carretera.

Una condición adicional es importante: el terraplén, en el más amplio tramo comprendido en el nuevo concepto de alcantarilla más segura, debe de ser construido de material relativamente impermeable con un coeficiente de permeabilidad menor que  $10^{-5}$  cm/s.

En la figura 9 se observa la zona representativa (plana y amplia) que fue equipada, por sugerencia del autor, con protecciones de gaviones tipo colchón antes que todo aguas abajo, no siendo posible aplicar la totalidad de las medidas aquí recomendadas ya que se trata de un tramo diseñado y construido con anterioridad. En el año 2004 se aplicó la protección con gaviones.



**Figura 9. Tramo reconstruido de la carretera Panamericana Norte entre las ciudades Talara y Tumbes del Perú.**

Es curioso notar que el constructor aplicó más protección aguas arriba que aguas abajo (contrario a la sugerencia del diseño de protección) por no tener un concepto claro de lo que pasa en situaciones de extremas cargas hidrológicas y por considerar que sabía más.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las obras de evacuación de aguas pluviales –caudales de quebradas– a través de terraplenes de carreteras y sobre todo en zonas de violentos escurrimientos (áridas, semiáridas) y planas, deben recibir mucha atención en el diseño de los detalles hidráulicos y estructurales.

Los muros aleros deben tener altura suficiente para impedir el acceso libre de las corrientes hacia el terraplén lo que significa, en su mejor versión, que deben de ser horizontales en su límite superior (igualando el nivel del parapeto de la carretera). Su ángulo central en la salida debe ser como máximo de 14° para evitar vorticidades entre ellos y alejar las vorticidades más allá de su punto final. Aguas arriba este ángulo también debe mantenerse bajo para evitar la reducción de la capacidad de alcantarilla por contracción en la entrada. Los muros aleros así como la salida de la alcantarilla deben ser cimentados a suficiente profundidad para evitar la erosión que puede causar el colapso de la alcantarilla y de la sección del terraplén.

Es posible aumentar la capacidad de las alcantarillas adoptando la solución propuesta por el autor del presente trabajo: los taludes de tramos de carreteras que corren el riesgo de ser sobrepasados por un caudal fuera de registros usuales por ocasionales presentaciones de fenómenos de hidrología alterada, deben ser reforzados con adecuada protección que finalmente hagan viable el vertimiento por encima del terraplén.

Teniendo una situación así el perfil longitudinal de la carretera en el tramo debe presentar facilidad para el vertimiento creando una depresión de longitud suficiente y de suficiente diferencia de alturas para que pueda actuar como un vertedor de umbral ancho. Este vertimiento no debe afectar tramos aledaños salvo por temporal interrupción de tránsito y mientras la lámina vertiente se mantenga alta.

## REFERENCIAS

- Marek M. A.** (2010). "Roadway Design Manual" TxDOT Online Manuals, Texas Department of Transportation, Austin, Texas, USA.
- Monsalve G.** (1999), "Hidrología en la Ingeniería". 2da edición, Editora Alfa Omega, Colombia.
- Harrigan E. T.** (1998a). "Scanning review of European practice for bridge scour", Digest July - Number 241, National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board of the National Academies, USA.
- Harrigan E.T.** (1998b). "Performance of pavement subsurface drainage", Digest November - Number 268, National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board of the National Academies, USA.
- Gencel Zivko** (2011). "Dilemas del diseñador de drenaje superficial transversal de carreteras". X Congreso Internacional de Ingeniería Hidráulica, Holguín, Cuba.