REHABILITACIÓN DE OBRAS DE DRENAJE TRANSVERSAL TIPO ACERO CORRUGADO

Corrugated steel pipe culvert repair

Antonio González Meijide[a], Jesús Corbal Álvarez[b] y Arturo Antón Casado[c]

[a] Ing. Caminos, Canales y Puertos. TEMHA SL

[b] Ing. Caminos, Canales y Puertos. TEMHA SL

[c] Ing. Caminos, Canales y Puertos. TEMHA SL

RESUMEN

Se analiza el comportamiento y las patologías que presentan las obras de drenaje transversal (ODT) construidas con tubos de acero corrugado. Esta tipología presenta un especial interés debido a que muchas de sus realizaciones están alcanzando el final de su vida útil. Se describen los tipos de daño que se pueden presentar y se determina su origen. En función del tipo de daño se proponen diversos sistemas de reparación para recuperar su capacidad estructural e hidráulica inicial.

ABSTRACT

The behaviour and pathologies of culverts built with corrugated steel pipes (CSP) are analysed. This typology is of special interest due to the fact that many of eethese structures are reaching the end of their lifespanlifespan. The types of damage that may occur are described and their origin is determined. Depending on the type of damage, different repair systems are proposed to recover their initial structural and hydraulic capacity.

PALABRAS CLAVE: ODT, tubo acero corrugado, reparación, durabilidad, mantenimiento.
KEYWORDS: Culvert, corrugated steel pipe, durability, maintenance.

1. Introducción

Las obras de drenaje transversal (ODTs) son estructuras que transportan el agua de la superficie y de los arroyos bajo los trazados de obras lineales como carreteras o vías férreas.

Hay miles de obras de drenaje bajo las infraestructuras del transporte de nuestro país, muchas con más de 50 años de antigüedad. Estas estructuras no reciben mucha atención, principalmente porque generalmente están ocultas a la vista de los usuarios de dichas infraestructuras. Ocasionalmente, sin embargo, ocurre un incidente que sirve como recordatorio de que el fallo de una obra de drenaje puede tener consecuencias graves.

Debido al gran número de ODTs deterioradas por el paso del tiempo que siguen en uso a día de hoy, los departamentos de la Administración se enfrentan a un gasto importante en la reparación, rehabilitación y sustitución de estas estructuras a medida que llegan al final de su vida útil de diseño.

Uno de los problemas asociados con la reparación, rehabilitación y reemplazo de ODTs es que el trabajo frecuentemente está enfocado estrictamente como una actuación de

mantenimiento sin considerar las condiciones estructurales o hidráulicas subyacentes por las cuales se originó el deterioro. Aunque se dispone de información considerable sobre el diseño y la construcción de nuevas ODTs, empleando gran diversidad de materiales constructivos, hay pocas directrices en la literatura técnica sobre cómo reparar y reforzar las ODTs. Esencialmente, no existen criterios para seleccionar la alternativa más adecuada para el trabajo que debe realizarse.

A continuación se analizará el comportamiento, las patologías y los procedimientos de reparación de obras de drenaje construidas con tubos de acero corrugado. Esta tipología presenta un especial interés debido a que su extenso empleo hace cuatro o cinco décadas ha dado lugar a un parque de estructuras que están alcanzando el final de su vida útil.

2. Características de las obras de drenaje flexibles

Para tubos de comportamiento flexible, como los de acero corrugado, se debe producir una interacción entre el tubo y el suelo circundante para que el tubo sea capaz de transferir la mayor parte de la carga al terreno. En otras palabras, es el suelo, no el tubo, quien soporta la mayoría de las cargas permanentes y variables.

Para lograr un comportamiento correcto de la ODT son de vital importancia un material de relleno y una compactación adecuados, especialmente en la porción inferior de la ODT. Para desarrollar las presiones laterales necesarias para mantener la forma del tubo se necesita una cobertura de suelo bien compactada y de anchura suficiente.

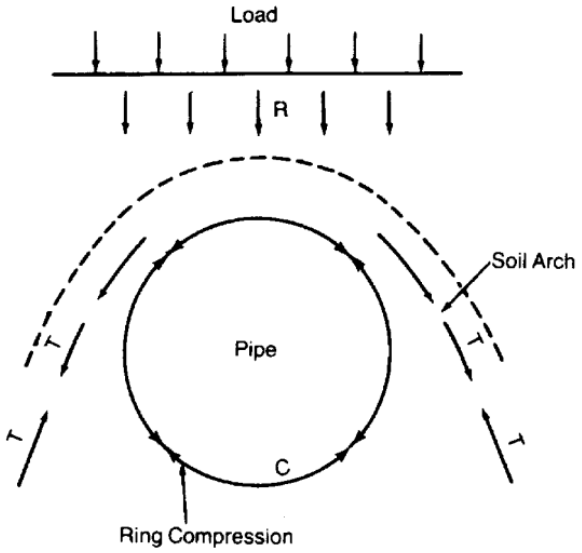

Figura 1. Esquema de arco de descarga del suelo sobre el tubo flexible.

Desde el punto de vista de la durabilidad, los tubos metálicos disponen de recubrimientos que están diseñados para proporcionar una barrera contra la corrosión. En la mayoría de las situaciones esta protección consiste en el galvanizado de los tubos de acero. Este galvanizado ocasionalmente se recubre mediante un revestimiento polimérico. La durabilidad depende de la resistividad mínima del suelo, el pH del agua y del suelo, la concentración de sulfato, la velocidad del agua y el tipo, el tamaño y la dureza de los materiales de los arrastres del cauce.

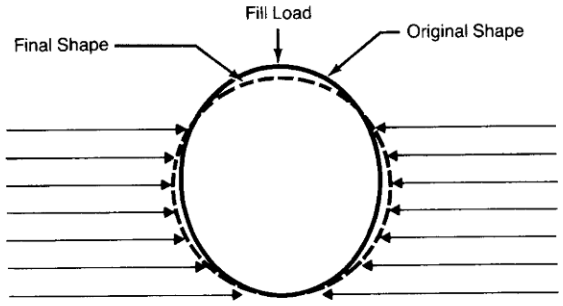

Figura 2. El suelo dispuesto lateralmente al tubo lo confina a medida que aumenta el relleno.

3. Tipos de daño

Los tipos comunes de deterioro de las ODT metálicas que se describen a continuación, asociados a su condición estructural, a menudo

están relacionados entre sí y se influyen mutuamente. Por ejemplo, la abrasión y la corrosión trabajan en tándem para eliminar la sección de material de la contrabóveda de un tubo metálico. La pérdida progresiva de sección llevará a la perforación de la contrabóveda y a la socavación de relleno bajo la misma, lo que puede llevar a la merma de su integridad estructural, a la deformación de la sección transversal y a la reducción de la capacidad portante e incluso a su colapso.

3.1 Deformación de la sección transversal

La característica más importante que se debe observar y medir cuando se inspeccionan los tubos de acero corrugado es la geometría de la sección transversal del tubo. El tubo depende del relleno o terraplén para mantener su forma y estabilidad adecuadas. El tubo se deformará, asentará o distorsionará cuando el relleno no proporcione el soporte requerido.

Figura 3. Ovalización de la sección y plastificación de las generatrices horizontales.

La deflexión del tubo flexible es la suma de dos componentes principales: la "desviación de la instalación", que refleja la técnica y el cuidado con el que se manipuló e instaló el tubo, y la "deflexión de servicio", que refleja la acomodación del sistema tubo-suelo construido (tubo y relleno compactado) al peso propio del suelo y a otras cargas aplicadas. Las cargas o el movimiento del suelo pueden causar distorsión.

Es bastante común que se produzca alguna distorsión simétrica o asimétrica en los tubos de acero corrugado. Se considera que un tubo flexible admite una deformación de un 2% sin problemas estructurales. Habitualmente el tubo es estable con esa forma distorsionada, es decir, que no sigue deformándose. Por tanto es importante determinar mediante la medición y el control si el tubo ha alcanzado una situación estable en su forma distorsionada o si continúa deformándose.

Figura 4. Ovalización de ODT reforzada con cerchas THN debido a incremento del relleno sobre el tubo.

Por lo general, el 85-90% de la deflexión ocurre dentro del primer mes de construcción. Este es el tiempo que tarda el suelo en asentarse y estabilizarse. Sin embargo, si hay inestabilidad en el relleno, el tubo continuará deformándose. En general, deben tenerse en cuenta desviaciones de más del 7-8% (ya sean horizontales o verticales) porque pueden provocar problemas estructurales. Para deformaciones superiores al 10%, incluso las juntas diseñadas para ser estancas serán propensas a las filtraciones. La separación de las juntas entre las placas corrugadas que conforman el tubo o el pandeo de estas placas pueden ocurrir para deformaciones superiores al 15%.

Figura 5. Deformación y desgarro de la chapa producido por retroexcavadora en la ejecución.

La desviación simétrica de la bóveda del tubo puede ser indicativa de problemas con el apoyo de su contrabóveda o de un relleno/cobertura insuficiente sobre la parte superior de la obra de drenaje. La deformación asimétrica de la bóveda del tubo puede ser el resultado de la pérdida del soporte del suelo en un lado de la parte inferior (potencialmente debido a problemas debidos a infiltración en las juntas, o perforaciones de la contrabóveda debido a su corrosión), o a la compactación inadecuada del relleno en un lado de la obra de drenaje.

3.2 Abrasión del recubrimiento de protección

La abrasión de las placas metálicas que conforman el tubo se produce por la acción de los acarreos transportados en el flujo que impactan en la pared del tubo. Se ve afectado por la frecuencia de arrastre de cargas abrasivas en el flujo y por la velocidad del flujo (1.5 m/s o superior). La cantidad, tipo y tamaño del material transportado y la frecuencia del flujo tienen un impacto significativo en la esperanza de vida del tubo.

Uno de los problemas más comunes de los tubos de acero corrugado es el deterioro de la contrabóveda, generalmente debido a una combinación de corrosión y abrasión una vez que la capa de galvanizado se ha desgastado. La corrosión que ataca al acero desnudo es acelerada por la abrasión que constantemente elimina la capa de óxido levemente protectora formada por la corrosión.

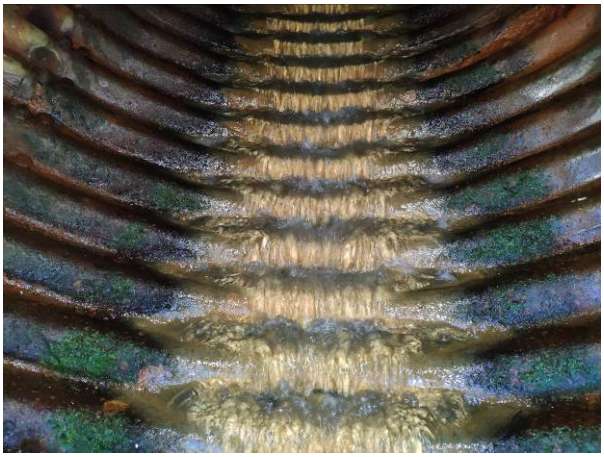

Figura 6. Abrasión de las placas metálicas debido a la elevada velocidad del cauce.

La acción continuada de esta situación, si no se controla, puede conducir en última instancia a la pérdida de la contrabóveda y a la creación de huecos debajo y alrededor de la ODT. Puesto que un tubo de acero corrugado es una estructura flexible que requiere interacción con el suelo para su estabilidad, la pérdida de la contrabóveda puede resultar en una distorsión y colapso severo de la ODT.

Figura 7. Hundimiento de la ODT provocado por la socavación debido a rotura de la contrabóveda.

3.3 Corrosión

Los daños por corrosión en los tubos de acero se muestran visualmente de manera muy diferente a los desgastes generados por la

abrasión. La corrosión se manifestará en el interior del tubo como óxido con nódulos y picaduras.

Las primeras perforaciones pueden aparecer en un área amplia relacionada con la línea de flujo. Esta área suele ser más extensa que la correspondiente a las perforaciones producidas por la abrasión. Por ejemplo, en la Figura 8 se muestran las perforaciones se están produciendo extendidas a toda la zona oscura, que corresponde a la zona de flujo habitual del cauce. El patrón de desgaste en la contrabóveda de un tubo de acero corrugado severamente corroído parecerá tener bordes ásperos y a menudo quedan hilos de metal de las corrugas de la contrabóveda.

La zona oscura, manchada y desgastada presente en la mayoría de los tubos de metal corroídos generalmente indica el límite de acero expuesto donde la capa de galvanizado se ha desgastado. Incluso en flujos no abrasivos, la mayoría de los galvanizados expuestos a flujos frecuentes generalmente duran un máximo de 10 años.

Figura 8. Corrosión en bandas laterales a la zona de flujo preferente.

La corrosión en el trasdós del tubo puede estar presente si hay manchas de óxido dentro del tubo alrededor de las juntas y de los tornillos de unión fuera (es decir, por encima) de la zona de flujo general.

Figura 9. Corrosión de la contrabóveda debido a la agresividad del agua.

Figura 10. Corrosión generada por la agresividad del relleno del trasdós.

Existen varios tipos de corrosión que provocan fallos en los tubos: corrosión atmosférica, microbiológica y galvánica. Los criterios más comúnmente utilizados para indicar la potencial corrosividad del acero son el pH, la resistencia eléctrica específica y el contenido de cloruro y sulfato tanto del suelo como del agua. Otros factores que pueden influir en las tasas de corrosión son los efectos de los efluentes industriales o residenciales, o las corrientes eléctricas parásitas en las proximidades de la tubería. Las fuentes de corrientes parásitas incluyen las líneas de transmisión de electricidad, las líneas ferroviarias electrificadas y otras similares.

3.4 Migración del suelo

Cuando el tubo se encuentra por debajo del nivel freático, se debe considerar la posibilidad de pérdida de apoyo lateral a través de la migración del suelo (el transporte por el agua subterránea de partículas más finas a los huecos de los suelos más gruesos).

Figura 11. Migración de finos por infiltración de agua desde el trasdós.

Para que se produzca la migración, el suelo in situ debe ser erosionable, y debe haber una trayectoria de flujo para el agua. Normalmente, los suelos erosionables son arenas finas y limos. Esta situación se agrava cuando existe un gradiente significativo en el agua subterránea desde el exterior de la zanja hacia el interior del tubo, es decir, la zanja debe actuar como un drenaje, y las juntas del tubo no son herméticas, o la pared del tubo está perforada por la corrosión.

Los huecos en el terraplén debajo y alrededor de la zona de lavado de finos se manifiestan a menudo en los asentamientos de la carretera y en defectos del pavimento.

3.5 Defectos en las uniones de placas

Las uniones longitudinales de las placas de acero estructural que constituyen las ODT flexibles están sujetas a desplazamiento y agrietamiento debido a un ensamblaje incorrecto de las placas y a presiones diferenciales del suelo o, más habitualmente, si hay inestabilidad en el relleno causada por la infiltración de agua.

Figura 12. Deformación en unión longitudinal entre placas.

Las uniones longitudinales o transversales en los ensamblajes de placas corrugadas pueden deteriorarse debido a tornillos cizallados o corroídos, tuercas pérdidas o corroídas, o roturas de placas.

4. Procedimientos de reparación

Los métodos de rehabilitación que se analizan a continuación están concebidos para restaurar la obra de drenaje a su condición inicial o mejorarla, incluyendo la capacidad de proveer apoyo estructural.

4.1 Revestimiento de la contrabóveda

Cuando, debido a la abrasión del revestimiento, la obra de drenaje presenta ligeros síntomas de corrosión en la zona de la contrabóveda, sin pérdidas significativas del espesor de chapa, se puede restaurar la protección mediante una solera de hormigón, de unos 10 cm de espesor, con un mallazo para controlar la retracción. El ángulo abarcado por la reparación varía habitualmente entre 90º y 120º, dependiendo de la extensión del deterioro, lo que permite su ejecución sin necesidad de encofrados. Cuando la abrasión sea un factor significativo, se utilizarán la relación agua/cemento lo más baja

posible y los áridos más duros disponibles, y se incrementará el espesor del revestimiento.

Este procedimiento de reparación puede también aplicarse a obras de nueva construcción para aumentar su durabilidad, puesto que gran parte de los problemas que presentan los tubos metálicos tienen su origen en los daños producidos por la abrasión y la corrosión de la contrabóveda.

Figura 13. Obra de drenaje con ligera corrosión en la contrabóveda.

4.2 Reparación de contrabóveda estructural

Para situaciones donde el tubo metálico presenta daños importantes por corrosión de la chapa, fundamentalmente en la parte inferior de la sección, no basta con disponer un revestimiento de hormigón para sustituir el acero deteriorado. Cuando la abrasión de los acarreos y la agresividad química del agua del cauce han dañado la protección del acero del tubo, perdiendo totalmente el espesor de la chapa en la contrabóveda, el tubo deja de funcionar como arco, por lo que resulta necesario ejecutar una reparación estructural que restaure su continuidad.

Para reparar la porción inferior puede construirse un canal de hormigón armado, concéntrico con el tramo de contrabóveda, que sea capaz por sí mismo de resistir los empujes del terreno sin la colaboración de la estructura metálica existente. La extensión de la reparación abarca habitualmente su tercio inferior (120º), lo que permite su ejecución sin necesidad de encofrados. Si la extensión a reparar es mayor, en la porción superior deben emplearse encofrados u hormigón proyectado. Para mantener la continuidad de esfuerzos en el tubo, se conecta la porción metálica sana con la parte de hormigón correspondiente a la reparación empleando conectores metálicos.

Figura 14. Drenaje provisional y montaje de conectores.

Para poder ejecutar la contrabóveda de hormigón resulta necesario eliminar temporalmente el agua de la parte inferior del tubo. Para ello se construye una ataguía provisional mediante sacos de arena y se desvía del agua del cauce mediante un tubo de PVC dispuesto a través de la obra de drenaje. El tubo de PVC se apoya en unos pates que lo elevan, permitiendo la ejecución de la contrabóveda.

Figura 15. Contrabóveda de hormigón terminada.

La reducción de la sección hidráulica del tubo resulta reducida y es compensada en parte por la mejora en el flujo (menor coeficiente de Manning) que presenta la pared de hormigón liso con respecto a la pared ondulada de acero.

4.3 Reparación de sección completa con hormigón

En determinadas situaciones, además de en la contrabóveda, el tubo presenta daños por corrosión en la su porción superior, por lo que resulta necesario realizar una reparación de la sección completa de la obra de drenaje. Habitualmente estos daños se presentan en las zonas de unión de las placas que conforman el tubo arco, en donde la agresividad del terreno del trasdós y el agua presente han provocado corrosión. Esta corrosión suele resultar visible en algunos tornillos y en el deterioro en el galvanizado en las zonas próximas a las uniones.

Cuando la reparación se ejecuta con hormigón armado, la nueva sección suele consistir en una geometría concéntrica interior a la existente y de 20-30 cm de espesor de pared, dependiendo de la anchura de la obra de drenaje y la altura del terreno que la recubre. El tercio inferior de la sección (contrabóveda) se construye empleando hormigón armado convencional que, dada la pequeña pendiente resultante, puede ejecutarse sin encofrado. Los dos tercios superiores que completan la sección (bóveda) se construyen mediante hormigón armado proyectado, lo que evita el uso de encofrados en todo el intradós de la sección. Considerando la ovalización que en muchas situaciones ha experimentado la sección transversal de la obra de drenaje existente, resultaría complejo adaptar un encofrado a la geometría variable consecuencia de esta deformación.

Para poder ejecutar el hormigón proyectado en el interior de la obra de drenaje, elel diámetro mínimo deldel tubo debe ser superior a 2,50 m.

Figura 16. Armado de sección completa.

Figura 17. Hormigón convencional en contrabóveda y proyectado en bóveda.

4.4 Reparación de sección completa con entubado de PRFV

Para obras de drenaje en las que las dimensiones de su sección transversal son inferiores a 2,50 m, la reparación a sección completa con hormigón es técnica y económicamente poco viable.

Como en el caso descrito en el punto anterior, es necesario reponer la capacidad estructural perdida del tubo reemplazándola por un nuevo elemento con capacidad resistente suficiente para resistir los empujes que el terreno transmite a la obra de drenaje.

Una solución alternativa para estas situaciones consiste en realizar un entubado (relining) empleando secciones de poliéster

reforzado con fibra de vidrio (PRFV). Las secciones suministradas por los fabricantes pueden ser circulares u ovoidales, en longitudes que habitualmente están en el rango de 2,00 a 6,00 m. Los tubos de PRFV se fabrican mezclando una resina de poliéster termoendurecible de alta resistencia, arena y fibra de vidrio para formar una sección compuesta, que presenta un comportamiento semirrígido.

Para poder insertar los tubos de PRFV en la obra de drenaje existente es necesario disponer unos carriles por los que deslizarán los tubos. Los carriles se materializan mediante dos perfiles metálicos, habitualmente fijados mediante tornillos al tubo metálico existente. Para poder colocar estos carriles puede resultar necesario eliminar temporalmente el agua de la parte inferior del tubo. Esta puede canalizarse mediante un tubo provisional de PVC, como el descrito en las soluciones anteriores. Una vez insertados los tubos de PRFV, el caudal se puede pasar por su interior, mientras se finalizan el resto de trabajos.

Figura 18. Carriles para deslizamiento de tubo.

Después de la inserción del tubo de PRFV, el espacio anular entre el tubo insertado y el tubo metálico existente se inyecta con un material cementoso (lechada o mortero) para proporcionar un sellado hermético. La misión de esta inyección es garantizar el contacto entre la obra de drenaje existente y la nueva obra, evitando la concentración local de empujes en el trasdós del nuevo tubo. La inyección no tiene misión estructural, no se considera su posible aportación resistente.

Figura 19. Inserción de tubos de PRFV.

Figura 20. Inyección de lechada de cemento.

5. Conclusiones

Se ha analizado el comportamiento y las patologías que presentan las obras de drenaje transversal (ODT) construidas con tubos de acero corrugado. Esta tipología presenta un especial interés debido a que muchas de sus realizaciones están alcanzando el final de su vida útil. Se han descrito los tipos de daño que se pueden presentar y se ha determinado su origen. En función del tipo de daño se han propuesto diversos sistemas de reparación para recuperar su capacidad estructural e hidráulica inicial.

Referencias

[1] Culvert Repair Practices Manual. Vol I. FHWA-RD-94-096. Federal Highway Administration. 1995.

[1] Culvert Repair Practices Manual. Vol II. FHWA-RD-95-089. Federal Highway Administration. 1995.

[1] Caltrans Supplement to FHWA Culvert Repair Practices Manual. DIB-83. California Department of Transportation. 2014.

[1] Culvert Assessment and Decision Making Procedures Manual. FHWA-CFL/TD-10-005. Federal Highway Administration. 2010.

[1] Summary of Trenchless Technology for use with USDA Forest Service Culverts. USDA Forest Service. 2005.

[1] Hydraulic Design of Highway Culverts. Third Edition. FHWA-NHI-12-029. Federal Highway Administration. 2012.

[1] Culvert Repair Best Practices, Specications and Special Provisions. Minnesota Department of Transportation. 2014.

[1] Assessment and Rehabilitation of Existing Culverts. NCHRP Synthesis 303. Transportation Research Board. 2002.

[1] Buses Metalliques. Guide pour la Surveillance Specialisee, l'Entretien et la Reparation. Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes. 1992.

[1] J. Aubeso, A. Barroso, R. Lahera, Rehabilitación de Obras de Drenaje Transversal (ODT). Revista Rutas Nº179. 2019.