

Cruzar obstáculos (ríos, riachuelos, quebradas)

6-2010

Gilles Corcos

Introducción

Una zanja para tubería llegará inevitablemente a obstáculos de todo tipo: ríos, quebradas, riachuelos, barrancos, carreteras hundidas... Para cada uno de estos obstáculos uno puede escoger de pasar la línea *por bajo* o *por alto*.

A cada vez que un tubo emerge de una zanja profunda y bien rellena es vulnerable: a los cascos de caballos, mulas, vacas, a los juegos a veces destructores de los niños y ocasionalmente hasta al vandalismo de un adulto hostil. Es entonces preferible pasar por bajo siembre que es posible. En cualquiera de los casos la técnica de cruce es muy importante y requiere de materiales y de tiempo adicionales. ¡No es este el lugar donde aflojar el seguimiento de las normas de construcción!

¿Cuándo pasar por bajo?

Es factible pasar por bajo un río permanente u ocasional cuando todas estas condiciones se reúnen:

- 1) la profundidad de agua en el río en la estación de construcción no excede los 50 cm o el cauce puede ser desviado temporalmente
- 2) una zanja se puede cavar en el lecho del río. Esto significa que el material del fondo sea algo cohesivo o que se utilice formalete para cavar
- 3) los bordes del río deben ser suficientemente consolidados para resistir la erosión en épocas de inundación o de aguas altas. **Esta es una condición crucial** porque es mucho más difícil proteger una tubería bajando un borde empinado que al atravesar un cauce poco profundo. También hay que preguntarse si los eventuales meandros del río cambiaran mucho, plantar árboles en los bordes es una manera de controlar este riesgo.

Si se reúnen estas condiciones hay que pasar el obstáculo por bajo.

Pasar por bajo

Como escoger el lugar donde cruzar

Se escoge el lugar donde pasar el obstáculo considerando varios factores:

- a) ¿cuan segura estará la tubería en periodos de inundación?
- b) Como afectan los perfiles del pase la generación de bolsas de aire en la tubería (ver *Aire en Tuberías de Agua*)
- c) ¿Cuántos metros de tubería de hierro, más cara, será necesaria?

Se debe buscar como minimizar la anchura del cruce (c), evitando, si posible, zonas pantanosas en invierno (a). Si la pendiente del lecho del río es grande antes y después del cruce, es probable que el nivel del río no crezca mucho en invierno. Sin embargo, tendremos entonces un problema de control de los bordes del río. Encontrar el buen compromiso requiere experiencia. Es bueno buscar un cruce con un lecho de piedras quebradas y de piedrin grande. También hay que recolectar información de los comunitarios sobre los niveles y las anchuras del río en la estación de lluvias.

La construcción del cruce

Se necesitará mucha piedra bolón, si no hay suficientes en la zona, estas se tendrán que traer de donde sea con mulas, caballos, o a lomo de espalda. Sin piedra bolón o cemento no se puede construir un cruce adecuado aunque el obstáculo parezca corto y manso en verano.

La zanja tiene que ir profundizándose algo antes de llegar al río y se debe pasar a tubería de hierro algo antes de llegar al lecho de este. La unión entre el PVC y el hierro es una zona frágil, se tendrá que inmovilizar con un bloque de cemento.

La profundidad de la zanja en el lecho del río a menudo no se puede asegurar de antemano, lo importante, es entonces, la solidez y permanencia de la capa que protege el tubo. Es posible, en vez, o además de cavar una zanja elevar el lecho del río aguas arriba o aguas abajo del cruce con grandes bloques de piedra y piedras más pequeñas. Esto es lo que se tiene que hacer cuando la zanja da con una laja de piedra poco después de ser iniciada. Si se puede evacuar el agua de la zona de zanjeo es posible usar cemento para unir piedras por encima, aguas arriba y aguas abajo del tubo. Además, si la pendiente del lecho del río disminuye la pasar la zanja, el río depositará sedimento en el cruce en vez de erosionarlo. A veces, el único cruce aceptable pasa por encima de una laja de piedra lisa. En este caso se puede pegar el tubo a la laja usando cemento.

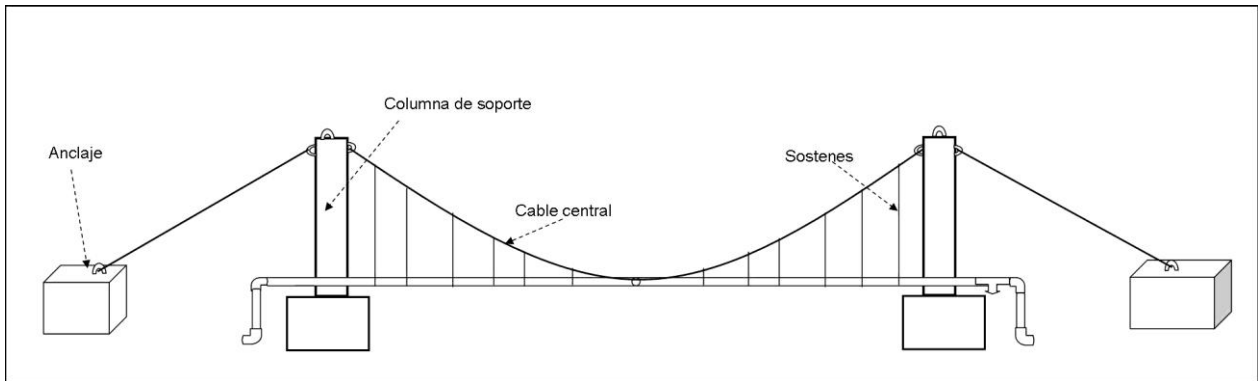
Puede ser útil proteger los bordes del río de la erosión plantando árboles o usando gaviones (ver *Sistemas de agua potable por gravedad para poblaciones rurales* de Thomas Jordan).

La limpieza

Si se sospecha que el agua de la fuente lleva mucho sedimento o que la velocidad del agua en el tubo aguas arriba del cruce es pequeña (inferior a 0.5 m/s) se debe poner un tubo de hierro de diámetro ligeramente inferior en el cruce y una válvula de limpieza justo aguas abajo del cruce. Esta se compone de una T, un niple vertical corto y un tampón hembra PVC con rosca. Estos elementos deben ser de un diámetro aproximadamente igual al de la tubería en este punto. La limpieza tiene que estar enterrada y su salida cubierta de piedra bolón. Si hay poca piedra en la zona estas deberán estar cimentadas lo suficiente para que no sean levantadas.

Pasar por alto: los puentes: 1. Generalidades. 2. el uso del programa ABRIDGE de Agua para la Vida.

1. Generalidades



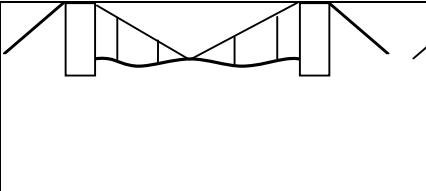
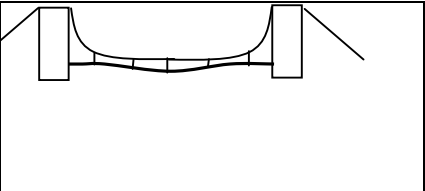
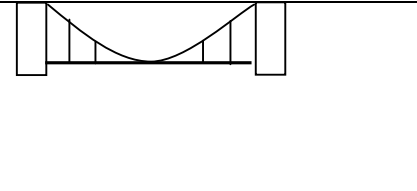
Puente colgante

Los puentes cuestan mas que los cruces por bajo, también son mas vulnerables, sin embargo son divertidos de construir y pueden resultar bellas obras técnicas (ver el puente de Wanawas).

A veces la larga del puente mide seis metros o menos, la longitud de un tubo de hierro. En estos casos el tubo puede soportar su peso por si solo, especialmente si es de diámetro elevado (de dos pulgadas en adelante). Para puentes de longitud mayor, la solución la más sencilla y la más barata es el puente colgante.

La idea es que el cable del puente lleve la carga del tubo en tensión de manera que cada sección del tubo solo necesita cargarse de su propio peso. De esta manera se eviten las cargas importantes y los momentos de flexión en algunos tubos. Hay que tomar en cuenta que si el cuerpo de un tubo de HG es muy resistente, en las roscas el grosor del tubo es menor y hay concentración de esfuerzos. Se puede evitar de sobre cargar las uniones sosteniendo cada tubo de 6 m con dos o tres cables verticales. Con tubos de hierro solo necesitamos dos sostenes por tubo. Claro es mejor que estos sostenes lleven cargas iguales o casi iguales. En este caso cada tubo solo lleva solo su propio peso y no hay esfuerzos a las uniones que traten doblar les, Es la forma del cable principal y no la distribución de carga en el tubo que asegura que los sostenes lleven el mismo peso: Un tubo de diámetro constante, lleno de agua es una carga uniforme; sin embargo, si la forma del cable principal no es parabólica (porque los sostenes no tienen la buena repartición de largas) los cables

verticales no serán cargados igualmente y parte de la tubería ella mismo tendrá que llevar una parte del peso de sus vecinos. Vean las figuras siguientes:

		
Ningún sostén excepto el central esta cargado. La tubería solo esta sostenida en el centro y se pandeará de cada lado de centro.	Ningún sostén esta cargado excepto los de los extremos, estos están sobre cargados y pueden fallar. La tubería no esta sostenido en el centro y pandeará.	El cable principal es parabólico, los sostenes están cargados de manera uniforme: el tubo se mantiene recto.

La mejor solución es la del cable parabólico; para lograr esa forma, se escogerán longitudes y distancias adecuadas para cada sostén.

Esta claro que la tensión máxima en el cable principal debe estar siempre por debajo de la tensión de trabajo de un cable del tipo y del diámetro escogido. La tensión máxima en el cable principal (que se encuentra cerca al empiezo o/y al fin del cable) es una función del peso total del puente y de la flecha del cable. Se va a diseñar con estos parámetros.

Diseño de un puente colgante de HG

Antes de empezar se necesita hacer lo siguiente:

- ubicar donde se va a cruzar el río
- determinar la altura máxima a la que subió el río en años recientes (durante un huracán por ejemplo) y asegurar que la tubería pueda pasar por lo meno unos 2 m, 2 m 50 por encima de este nivel: cuando sube mucho el nivel de ríos gran árboles se arrancan y flotan en los ríos con ramas mas bastante mas altos que el nivel del agua.
- decidir si el puente será horizontal o si conviene darle un ángulo α con la horizontal (en este caso será necesario usar un teodolito o un nivel inteligente)
- medir la longitud L (horizontal) entre las columnas futuras de soporte del puente
- decidir que longitud horizontal X_o se necesita para amarrar las columnas de soporte a sus anclajes. También decidir si vas a usar dos anclajes por columna o solo una. Si dos escoger la larga Z_o de cada anclaje al lado de la columna.

- Decidir del diámetro d de la tubería de hierro del puente. Se puede escoger de un diámetro ligeramente inferior al diámetro de la tubería arriba y abajo del puente: es mas barato.
- Decidir si encima de un cable principal (con 2 columnas de altura igual) vas a proveer cables horizontales para impedir el movimiento horizontal de la tubería, por ejemplo por el viento.
- En todos casos tienes que escoger el mismo desnivel (entre la base donde se encuentra la tubería) y el nivel donde se fija el cable principal.
-

Ideas clave:

1. La altura minima de las columnas es aproximadamente la flecha del cable principal. Con el peso del puente y su larga dados, la tensión en el cable principal depende de la flecha. Con flecha más grande, la tensión se vuelve menor. La tensión minima (con flecha muy grande) tiene la limita (peso/2). Con flecha pequeña la tensión crece bastante y sin limita. El cociente que conviene, E/L (donde E es la flecha del cable y L la larga del puente) se encuentra entre 0.03 y 0.11. Entonces tiene la posibilidad de columnas altas que necesitan solo cables finos o de columnas cortas que necesitan cables gruesos.

La relación entre flecha E , peso W y tensión máxima en el cable es:

$$T_{\max} = \frac{WL}{8E} \sqrt{1 + \left(\frac{4E}{L} + |\tan \alpha| \right)^2}$$

Donde T_{\max} es la tensión máxima en el cable (que se encuentra cerca de la columna la más alta), y α es el ángulo del pendiente de la tubería.

2. El cable es de acero y por eso un poco elástico. Se estrecha con la tensión. Construyendo el puente vas a fijar el cable a las columnas antes de que el peso total del puente sea sostenido por el cable. Por eso el cable va estrecharse más después y esto va aumentar la flecha de manera importante. Por eso se necesita calcular la flecha inicial que corresponde a la flecha final que quieres. Esto se hace en el programa ABRIDGE.

3. Tiene que calcular la larga de los sostenes y también donde se fijan en el cable principal si quieres evitar fuerzas que van a doblar la tubería.

4. Siempre necesitas anclajes para asegurar las columnas.

5. Hay varias maneras de componer tal puente. Algunas se pueden emplear con puentes cortos pero con puentes grandes necesitas técnicas diferente. En el programa ABRIDGE de

Agua Para La Vida los cálculos se hacen tomando en cuenta solo dos maneras de componerlo.

Con la primera manera se fija primero el cable principal con sus sostenes y nada más. Este método se puede usar con puentes cortos.

Con la segunda manera se usa un cable auxiliarlo.

Se compone el puente a un lado del río (o del cañón) con los sostenes y se fije el cable a la columna de este lado y la columna al anclaje también. Luego use un cable auxiliarlo de larga suficiente y temporáneo también fijado a la columna y con lazos de mecate o cuerda fijados al lado del cable por cada varios metros. Luego se pasa el puente por los lazos hasta el fin del cable. Luego se tira el cable auxiliarlo llevando el cable principal, cruzando el río hasta la segunda columna y se fija el cable auxiliarlo por encima de ella hasta el anclaje de manera que el cable principal sea suficientemente alto. Ahora se fija el cable principal con la posibilidad de ajustar un poco su comba.

Normalmente el diámetro del cable auxiliarlo puede escogerse el mismo que el del cable principal.

Ayuda mucho un tensor para ajustar la flecha del puente. Hay que verificar cual tensión el puede aguantar. Y su extensión debe ser por lo menos 25 centímetros.

Con el primer método el peso inicial es poco. Con el segundo método el peso inicial es mas.

Si quiere usar otro método para componer tu puente tendrá que evaluar el peso inicial, (cuando fijas el cable principal)

El diseño de las columnas y de los anclajes.

Si no permita al cable principal deslizar en cima de las columnas la fuerza del cable hasta la columna es vertical. La calculamos por la formula:

$$F_v = W/2 + T_0 \times \{E/L\}$$

T_0 es la tensión horizontal del cable central y vale:

$$T_0 = WL/8E$$

En nuestro ejemplo, si escogimos $l_s = 7m$

$$F_v = 349/2 + (1418 \times 1.86/7) = 551kg$$

Hay que notar que esto es poco para una fuerza vertical. Por ejemplo si hacemos nuestras columnas de concreto de 35 cms cuadrados por 1.86m más una base abajo del suelo de 45cms cuadrado por 50 cms, la mampostería pesa:

$$2200kg/m^3 (1.86 \times 35 \times 35 + .50 \times 45 \times 45) = 724 kgs$$

El mensaje es claro: Si hace las columnas aun mas anchas, ellas soportaran casi solo su propio peso, entonces no sirve de nada hacerlo.

Por otro lado es buena idea proveer dos cables de anclajes para cada soporte a los lados de la línea del puente en vez de uno alineado con la tubería. De esta manera no pueden caer los soportes a un lado u otro de la línea del puente. En esto caso hay que revisar la larga de la parte l_s , por ejemplo doblándola. Pero su tensión será casi la mitad.

Volumen de la manpostería de los anclajes.

Para anclajes si el ángulo entre el horizontal y el cable de anclaje no supera 20^0 , suffices usar un volumen de concreto de

$$V_c = 1/6000(WL/E)$$

Y menos si el anclaje se toca a piedras bien compactadas. Puede amarrar el cable a un pedazo de tubo de hierro que se pone a dentro del bloque de concreto. La sección vertical del bloque que para la tracción del cable no se hace demasiado pequeña.

El volumen total es el total de los volúmenes de los dos soportes y de los dos bloques anclajes.

B): Cuando la tubería no es horizontal.

Suponemos que los dos soportes, aunque no son de nivel tienen la misma altura E. Puedes seguir los mismos pasos con los cambios siguientes:

En el paso 1 la última columna de la tabla 1 se necesita dividir por el cosene del ángulo α entre la tubería y la horizontal. Esto cambia poco el peso w por metro horizontal a menos que α sea grande.

En el paso 2 la columna 2 de tabla 2, (T/W) sale un poco diferente:

$$\frac{T}{W} = \frac{L}{8E} \sqrt{1 + \left(\frac{4E}{L} + |\tan \alpha|\right)^2}$$

Esto solo cambia los valores de T/W un poco si α solo vale algunos grados. Esta tensión máxima se encuentra donde el cable central empieza al lado del soporte superior.

En el paso 3,

- la larga de la parte central del cable principal vuelve a ser:

$$L_{cc} = L \{ 1 + .5 \tan^2 \alpha + 8/3 (E^2/L) \}$$

Pero esto es la larga final del cable, después que el soporte el peso total del puente. Cuando se fija el cable a los dos columnas (antes que el suporta el peso final) su larga vale:

$$L_{cci} = L(1 + 1/2 (\tan^2 \alpha) + 8/3 (E_t^2/L))$$

- La larga de los dos pedazos L_s hasta los anclajes no cambia.
- La larga de los sostenes se calcula así:

$$(L_{vy})_n = (36.36E/L^2 \cos^2 \alpha n^2$$

- La larga total de los sostenes se calcula de la misma manera que antes pero con las nuevas largas individuales.
- Los sostenes se ubican a lo largo del cable con la distancia desde el punto donde se juntan tubo y cable:

$$L_n = n \{ (1 + 1.5 \tan^2 \alpha) 3 \cos \alpha \} + n^2 (36 \tan \alpha \cos^2 \alpha E/L^2) + n^3 (288 \cos^3 \alpha E^2/L^4)$$

Los sostenes no se ubican a la misma distancia a ambos lado del centro porque n extiende de $-m$ hasta m , ($n=1,2,3\dots m$ y también $-1,-2,-3\dots -m$). Por eso por ejemplo el primer sostén a la derecha del centro se ubica a lo largo del cable

$$L_1 = (1 + 1.5 \tan^2 \alpha) 3 \cos \alpha + 36 \tan \alpha \cos^2 \alpha E/L^2 + 288 \cos^3 \alpha E^2/L^4$$

Pero el primer sostén a la izquierda del centro se ubica a

$$L_{-1} = -(1 + 1.5 \tan^2 \alpha) 3 \cos \alpha + 36 \tan \alpha \cos^2 \alpha E/L^2 + 288 \cos^3 \alpha E^2/L^4$$

y recuerde que $\tan \alpha$ es negativo cuando α es negativo, (el tubo se baja a la derecha).

- El diseño de los soportes y anclajes es casi el mismo que cuando el tubo es horizontal. La tensión máxima del cable central es un poco más grande al lado del soporte superior y por eso pues se multiplica por 1.10. También el valor de T_0 .

El uso del programa Abridge

Este programa dimensiona los componentes del puente de manera casi automática. \ Te da:

- El diámetro del cable principal que conviene para una flecha escogida.
- La flecha inicial que corresponde a una flecha final.
- La varias largas útiles del cable principal.
- La larga de cada sostén y la larga total del cable para los sostenes.
- La ubicación de los sostenes en el cable y en la tubería.

- El diámetro y la larga del cable de constreñimiento horizontal si escoges usar uno.

El programa sigue el curso en Ingles sobre puentes colgantes por G.Corcors que se llama: New Bridge Notes , que se puede descargar del sitio de Agua Para la Vida , www.aplv.org

Datos que proveer:

Larga del puente, L_0 , m

Pendiente de la tubería, α , grados

Diámetro interno D de la tubería, m

Peso de la tubería w , Kg./metro

Manera de componer el puente, (1 si cable fijado inicialmente solo o 2 si puente completo se sube por un cable auxiliarlo. 1 se puede utilizar por largas pequeñas; 2 se escoge para largas grandes

Elevación f de la tubería encima de la base de las columnas. Opción usada cuando los lados del rio son bajos.

Distancia X_0 del retiro de los anclajes.

Si quieres que el cable de anclajes tenga el mismo diámetro que el cable principal, X_0 debería medir por lo menos 2 veces H .

Distancia lateral Z_0 entre los anclajes y el plano vertical de la tubería si se escogen anclajes dobles, (caso 4). Les sugiero anclaje sencillo si la larga del puente es < 30 metros y anclajes dobles si la larga es más, especialmente si no usas constreñimiento horizontal.

Escoge constreñimientos horizontales: (1 si les use, 0 si no). Sugiero: 0 si $L < 40$, 1 si $L > 40$.

Elevación h_i de la cumbre de las columnas encima del punto donde se fija el cable.

.Larga m del sostén al centro del puente (entre el cable y la tubería)

.Modo de anclaje para las columnas: 4 si doble anclaje, 2 si anclaje sencillo.

Distancia lateral Z_n de los anclajes de los cables de constreñimiento horizontal.

Algunos datos se sugieren (color <Pink> pero se pueden cambiar.

Después que los datos sean especificados clic en <entra>. En la hoja Parte 1 (a la derecha) se muestra una lista corta de flechas y de cables cuyo diámetro puede aguantar la tensión que resulta del peso del puente y de la flecha. Cada uno tiene un número. Tienes que escoger la para (flecha- diámetro del cable) que prefieres por su numero y clic <entra>. En la hoja Parte 2, clic la área gris ("macro Zero pol" que calcula la flecha inicial que tiene que imponer para llagar a la flecha final que has escogido.

Todos los resultados se muestran en el demás de la hoja 2 y en la hoja <resultados>