

ESTRIBOS ESPECIALES PARA PUENTES DE LUCES PEQUEÑAS Y CAUCES PROFUNDOS.

Luciano Rivera C¹
lrivera53@hotmail.com

Carlos Escobar¹

INTRODUCCIÓN

El costo de los estribos tradicionales de concreto reforzado para puentes crece con el cuadrado de su altura, porque al aumentar la altura aumenta el espesor de la pared vertical y la longitud de la base necesaria para mantener la estabilidad a cargas verticales, deslizamiento y volteo, y por lo tanto la sección transversal de estas estructuras aumentan con el cuadrado de la altura. El costo de las aletas laterales también aumenta en la misma proporción. Cuando se tiene socavación profunda, los estribos y las aletas deben cimentarse por debajo de la máxima cota de socavación y se vuelven muy altos.

En muchos ríos de las cordilleras colombianas, las luces de los puentes son relativamente pequeñas, pero los cauces generalmente son profundos y lo mismo la socavación por la alta velocidad del agua. El valor de los estribos y de las aletas tradicionales es entonces considerablemente mayor que el del tablero del puente.

Estribos y aletas diseñados y construidos con pilares fundidos in situ o caissons y unidos con una delgada pantalla de concreto reforzado como se ilustra en la figura 1, son una alternativa mas económica para esos puentes. Su costo no aumenta con el cuadrado de la altura porque ni el diámetro del caisson ni el espesor de la pantalla aumenta en esa proporción. Una ventaja adicional de este tipo de estribo es la facilidad de construcción cuando se tienen grandes socavaciones, porque el volumen de excavación adicional para aumentar la longitud de los caissons hasta profundidades por debajo de las de socavación es mucho menor que la de los estribos tradicionales y mas fácil de hacer.

Hasta este momento se han construido con éxito, dos puentes con este tipo de estribo en el departamento del Cauca.

¹ Ingenieros de ESTUDIO DE SUELOS LTDA.

Estos estribos así construidos son un ejemplo de lo que podría llamarse desarrollo de la pequeña ingeniería, que es tan importante como el de la grande ingeniería, si se tiene en cuenta que el volumen de construcción de la pequeña ingeniería es comparable con el de la otra.

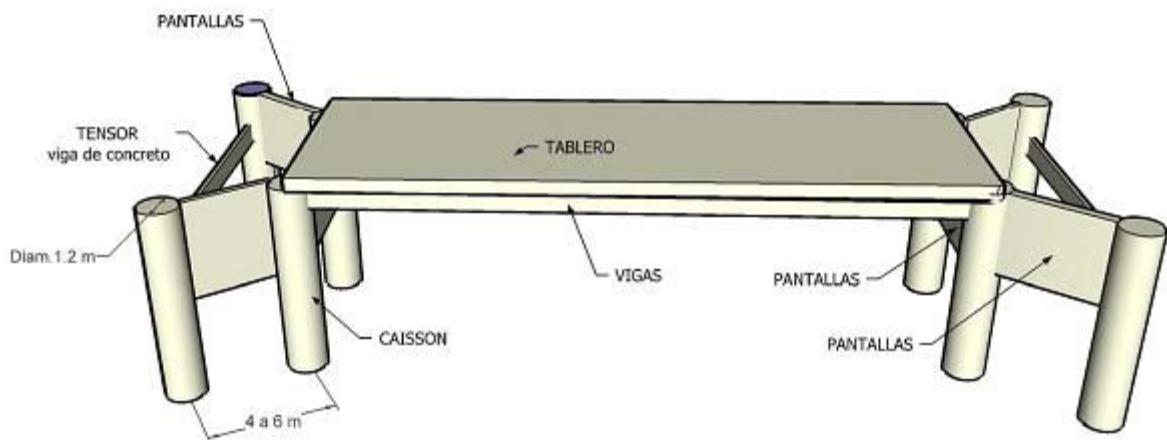


FIGURA N° 1. ESQUEMA GENERAL DEL PUENTE

CONSTRUCCIÓN DE CAISSENS

Para hacer las excavaciones de los caissons el método mas fácil y extendido en Colombia es el llamado método indio. Es excavación manual y se facilita para pequeños contratistas y en lugares muy apartados donde no es posible llevar máquinas excavadoras.

Se comienza la excavación haciéndola con un diámetro un poco mayor que la definida en el diseño del caisson y hasta una profundidad generalmente de un metro. Enseguida se funde un anillo de concreto a modo de encamisado que sirve para evitar que se derrumbe la excavación y por lo tanto para proteger los obreros. Este proceso se repite hasta alcanzar la profundidad definitiva, como se indica en la figura N° 2. Si el suelo es muy blando e inestable, la profundidad de las excavaciones individuales para los anillos se debe hacer menor que un metro.

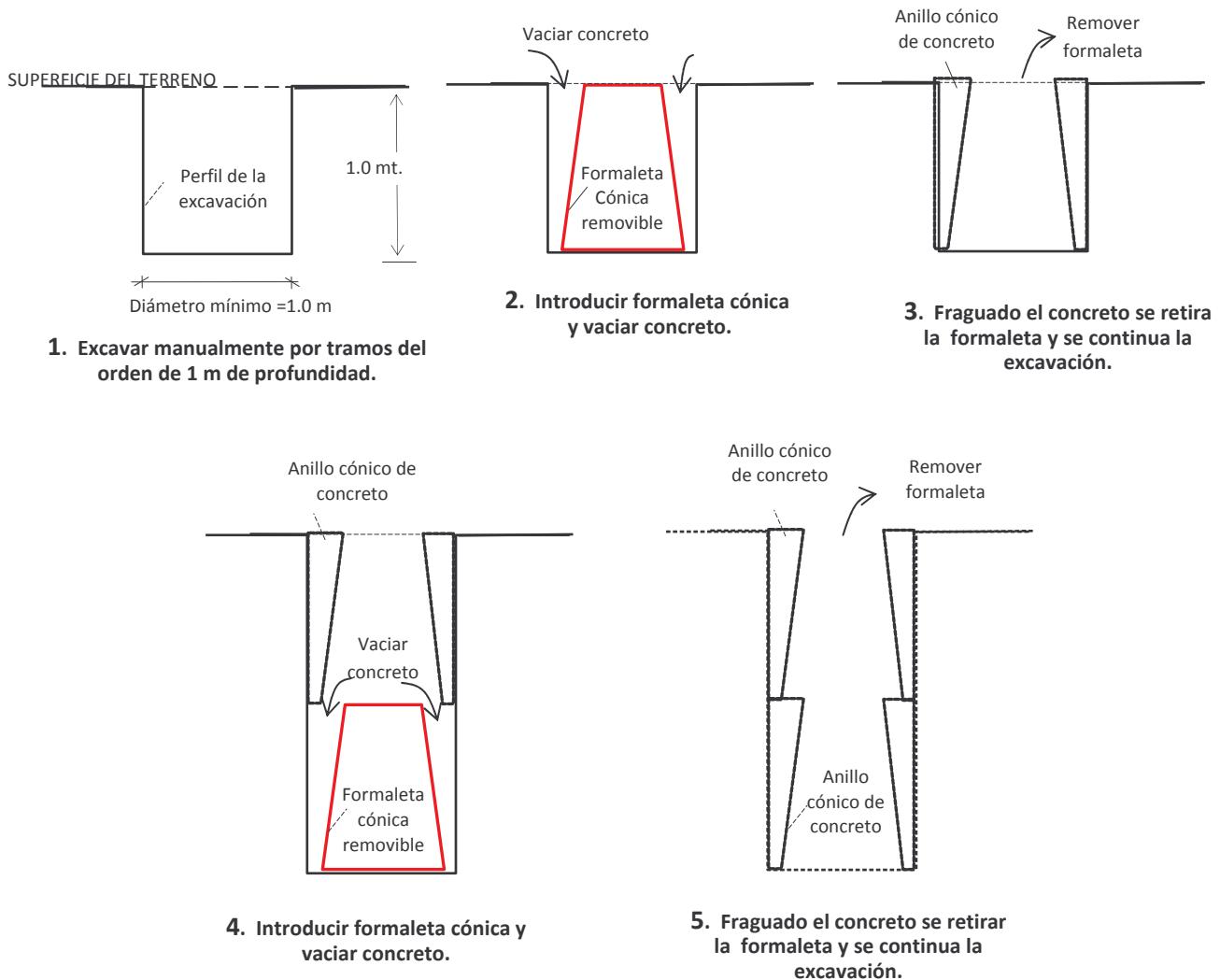


FIGURA N° 2. CONSTRUCCIÓN DE CAISONS

ESTRIBOS PROPUESTOS

El nuevo tipo de estribo propuesto, consiste en una pantalla relativamente delgada de concreto reforzado construida desde un poco por debajo de la superficie del suelo hasta la rasante del tablero y sostenida por caissons. En un estribo de 8.0 m de alto, de los dos construidos hasta ahora de esta forma, el espesor de la pantalla fue de solo 0.20 m. Las aletas también se hacen de esta forma y están monolíticamente unidas al estribo (ver figura 3). Los caissons deben construirse hasta una profundidad por debajo de la máxima socavación esperada. La carga vertical que viene del tablero se traslada al

suelo por la punta y a veces también por el fuste de los caissons que forman el estribo propiamente dicho. El empuje lateral del relleno en los extremos del puente lo debe contrarrestar la resistencia lateral pasiva del suelo a lo largo del fuste de los caissons del estribo y de las aletas. Cuando se presenta socavación, se considera que solo la longitud del fuste de los caissons por debajo de la profundidad de socavación es la disponible para resistir el empuje lateral, según se ilustra en la Figura N° 4. Los tensores que se observan en la parte posterior de las aletas de la Figura N° 3 que van de una aleta a la otra, tienen por objeto evitar que ellas se abran y se construyen como medida de seguridad adicional a la resistencia pasiva en los caissons como ya se mencionó.

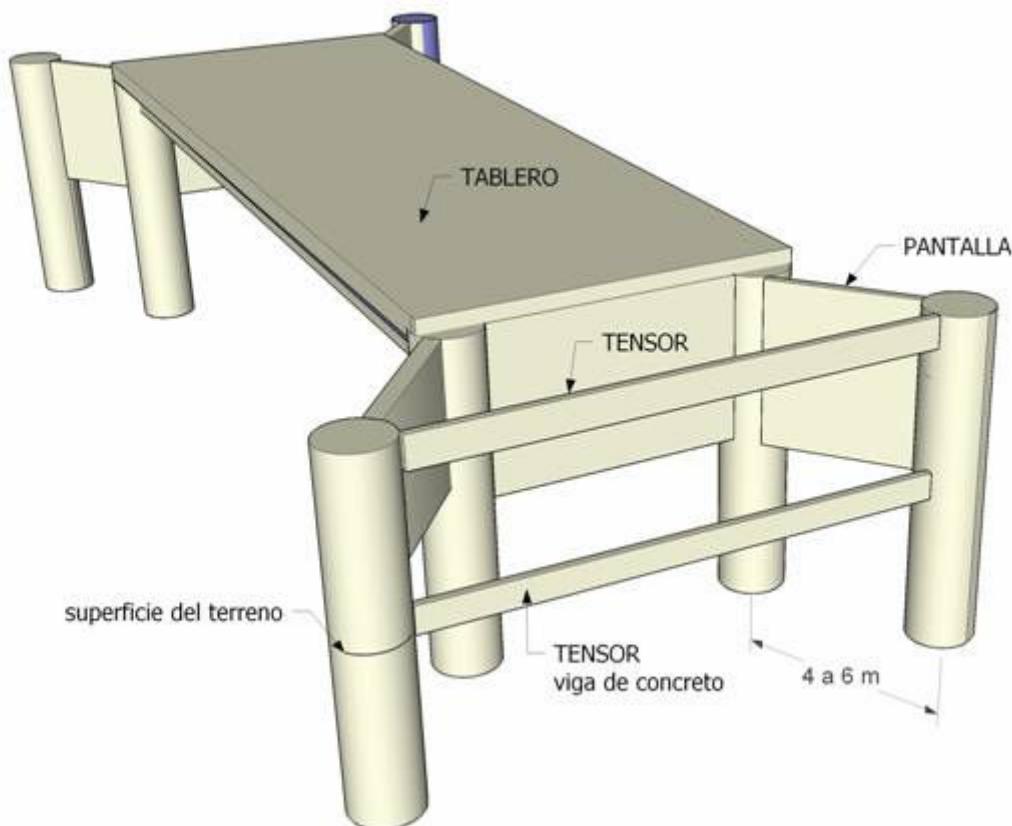


FIGURA N° 3. DETALLE DE LOS TENSORES EN LA PARTE POSTERIOR DE LAS ALETAS

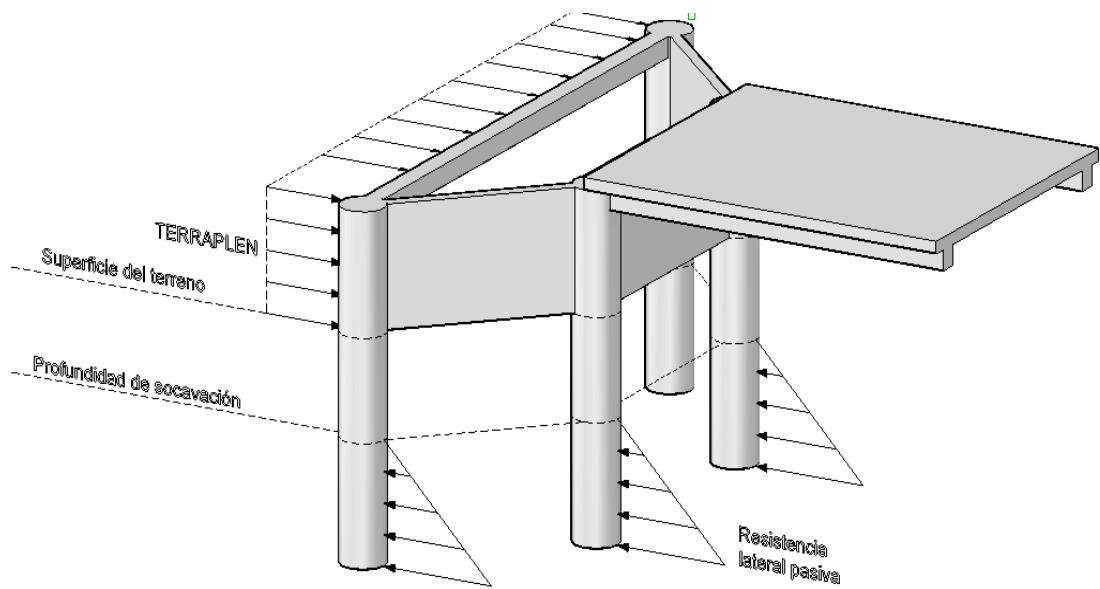


FIGURA N° 4. DIAGRAMA DE EMPUJES

VENTAJAS DE LOS ESTRIBOS PROPUESTOS

Los ríos de montaña, generalmente son cauces estrechos y profundos, adicionalmente se tienen grandes profundidades de socavación por la alta velocidad del agua en épocas de creciente. En estos casos, los estribos tradicionales salen muy altos y costosos porque deben construirse hasta una profundidad por debajo de la de socavación y pueden inclusive valer mas que el tablero del puente. El costo de los estribos y aletas tradicionales aumenta con el cuadrado de la altura porque la sección transversal de ellos aumenta en la misma proporción con la altura, en cambio en los caissons el costo solo es proporcional a su altura ya que el espesor de la pantalla es poco sensible a la altura del estribo. Por lo tanto en cauces profundos y estrechos, es clara la ventaja económica de los estribos y aletas –estas últimas son igualmente altas - hechos con caissons y pantalla.

Hay también unas ventajas que podrían llamarse “sicológicas”; en los estribos tradicionales, la excavación para el desplante de la cimentación debe hacerse a todo lo largo y ancho de la zapata, pero cuando las profundidades de socavación son grandes, los constructores de la obra tienden a hacerla menos profunda de lo indicado ya sea porque es muy difícil la construcción hasta la profundidad apropiada, especialmente cuando hay agua, o simplemente porque

es costosa por el gran volumen de la excavación. En cambio como el volumen de excavación de los caissons no solo es mucho menor sino también mas fácil de hacer cuando hay agua, se tiene mejor predisposición para hacerlos tan profundos como se requieran.

CONSIDERACIONES DE DISEÑO

Los detalles mas importantes que deben considerarse en el diseño de estos estribos son:

Los caissons que conforman el estribo propiamente dicho son los que deben encargarse de trasladar al suelo la carga del tablero. Por lo tanto hay necesidad de profundizarlos hasta encontrar un estrato resistente y además por debajo de la máxima profundidad de socavación esperada. En puentes con luces pequeñas es suficiente un solo caisson por cada viga del tablero. Se pueden acampanar para aumentar su capacidad portante o profundizarlos para aprovechar la resistencia lateral en la longitud del fuste que queda por debajo de la línea de socavación como ya se mencionó. En las aletas la distancia apropiada entre caissons está entre 4.0 y 6.0 m, dependiendo de la altura de ellas.

El empuje lateral total sobre la pantalla del estribo y de las aletas debe ser contrarrestado (con un cierto factor de seguridad) por la resistencia lateral pasiva actuando en la longitud del fuste de los caissons que queda por debajo de la línea de socavación máxima (ver figura Nº 4). Para el cálculo de esta resistencia pasiva en los caisson ver referencias 1y 2.

Como medida de seguridad adicional para que las aletas no se abran o se corran lateralmente, se colocan tensores en la parte posterior de las aletas (ver Figura Nº 3). Estos tensores pueden ser simplemente especies de vigas de concreto. El concreto es para proteger el acero de las varillas contra la oxidación.

Las telas de geotextil colocadas en la base del relleno, que se muestran en la Figura Nº 5, sirven para evitar que el suelo se salga por debajo, en la eventualidad de una socavación muy fuerte.

Como en todo muro de contención, hay necesidad de construir el drenaje apropiado a las pantallas. Generalmente es suficiente el filtro detrás de la pantalla y los lagrimales.

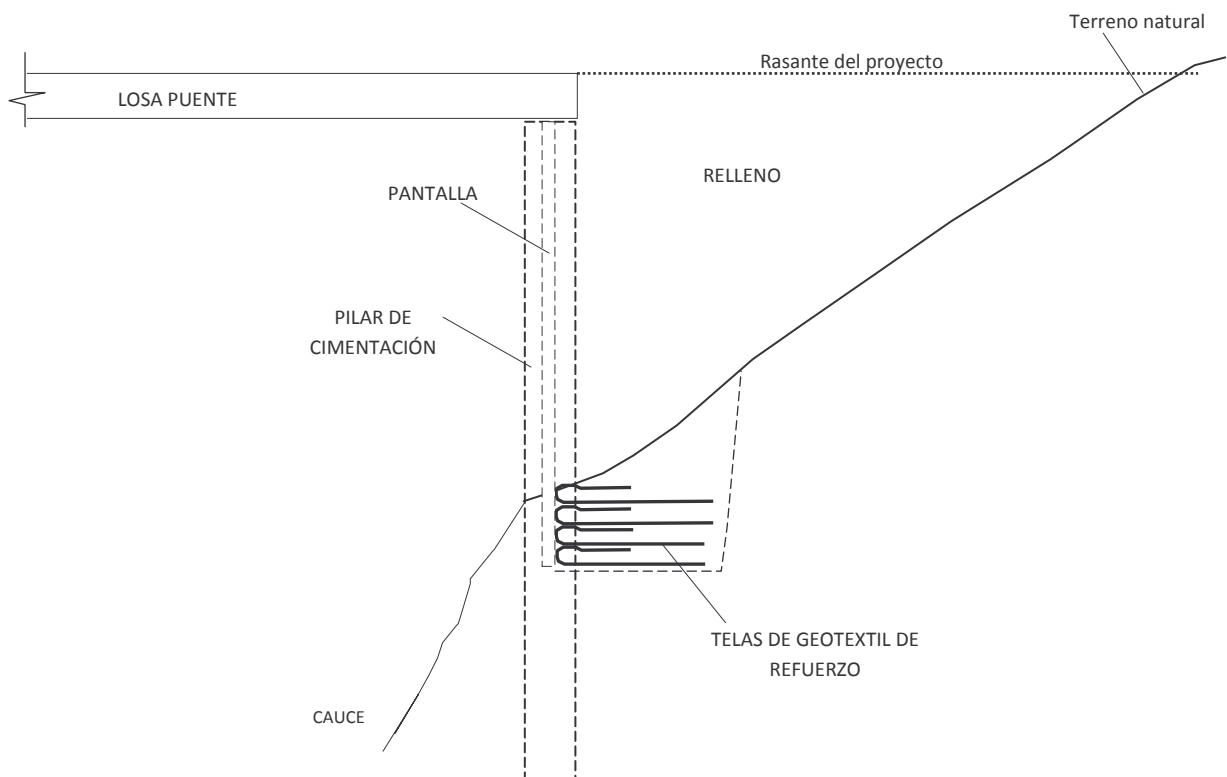


FIGURA N° 5. DETALLE DEL GEOTEXTIL DETRÁS DE LAS PANTALLAS

EXPERIENCIAS

Dos puentes han sido construidos con este tipo de estribo. El primero sobre el río Timbío en las afueras del pueblo del mismo nombre, que queda a 15 minutos al sur de Popayán por la vía Panamericana. El río socavó y tumbó el puente original. Se lo reemplazó hace ya aproximadamente 5 años con un nuevo puente de 12.0 m de luz y unos estribos de de 8.0 m de altura contada desde la superficie original del terreno. Las aletas tienen la misma altura. En las fotografías N° 1 y 2 se muestra el tamaño de ellos. Nótese que la longitud del tablero es casi igual a la altura del estribo y de sus aletas. En la fotografía N° 2 se observan los lagrimales de drenaje dejados en la pantalla.

El estribo tiene dos caissons y cada aleta tiene tres caissons. La socavación máxima es del orden de 2.5 m. Los caissons tienen una profundidad total de 7.0 m. En este puente, el estribo está unido monolíticamente al tablero.

El puente no habría sido económicamente viable si los estribos y aletas se hubieran diseñado de la forma tradicional.

El otro puente fue construido sobre la quebrada Guanacas en el municipio de Páez que está situado en el oriente del departamento del Cauca. Una creciente dejó inservible el puente original y se lo reemplazó por otro de 15.0 m de luz. Los estribos y aletas tienen alturas entre 3.0 y 4.0 m. En la fotografía Nº 3 se observa el puente, los estribos y las aletas. El estribo tiene dos caissons y cada aleta solo uno adicional, nótese que la sección transversal de los caissons es cuadrada, el cambio se hizo a partir de la superficie original. En este puente, el estribo está separado estructuralmente del tablero, es decir las vigas trabajan como simplemente apoyadas.

CONCLUSIONES

En puentes de luces pequeñas con estribos y aletas muy altos y profundidades de socavación grandes, la alternativa de hacerlos con simples pantallas sostenidas sobre caissons es más barata que la de los tradicionales.

Con respecto a un estribo tradicional, los diseñados con caissons y pantalla requieren menor volumen de excavación y la construcción es más fácil cuando se tiene agua subterránea por el menor volumen de agua que debe bombearse, en consecuencia los caissons se pueden hacer más profundos y lograr entonces mayor protección contra la socavación.

Cuando el subsuelo tiene al menos algo de cohesión y no se encuentran grandes piedras, la excavación para los caissons se puede hacer manualmente sin necesidad de equipo complejo. Estas circunstancias son una gran ventaja para los pequeños constructores y con mayor razón en sitios alejados de los centros urbanos.

Aunque están funcionando con éxito dos puentes construidos de esta forma, se desconoce la interacción suelo-estructura en el estribo y las aletas. Se recomienda hacer investigación sobre este tema.

BIBLIOGRAFÍA

1-Broms, B.B (1964). "Lateral Resistance of Piles in Cohesive Soils". *Soil Mech and Found. Div. ASCE* 90(2).

2-Poulos, H. G., and Davis, E. H. "Pile Foundation Analysis and Design". Wiley and Sons Inc, 1980.



FOTOGRAFÍA N° 1. ALETA PUENTE RÍO TIMBIO



FOTOGRAFÍA Nº 2. ESTRIBO Y ALETAS PUENTE RÍO TIMBÍO



FOTOGRAFÍA N° 3. ESTRIBOS Y ALETAS PUENTE GUANACAS.