

**PUENTES CON ESTRIBOS INTEGRALES COMO SOLUCION PARA PASOS A
DESNIVEL.**

GERSON FABIAN LUNA ALARCON

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIA FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
ESPECIALIZACION EN ESTRUCTURAS
BUCARAMANGA
2015**

**PUENTES CON ESTRIBOS INTEGRALES COMO SOLUCION PARA PASOS A
DESNIVEL.**

GERSON FABIAN LUNA ALARCON

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:
Especialista en estructuras.**

**Director:
ÁLVARO VIVIESCAS JAIMES
PhD. Ing. Civil**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIA FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
ESPECIALIZACION EN ESTRUCTURAS
BUCARAMANGA
2015**

AGRADECIMIENTOS

A Dios porque siempre ha estado presente en mi vida y ha permitido que me encuentre rodeado de grandes personas.

A mi familia, principalmente a mis padres Belisario Luna Remolina y Martha Patricia Alarcón Beltrán, que siempre me han apoyado y orientado en todas las decisiones que he tomado para mi vida. Además porque han inculcado los valores que me han permitido crecer tanto personal como profesionalmente.

A mi hermano José Leonardo que siempre ha sido un gran amigo incondicional.

A mi novia, María Angélica Alarcón, que me ha apoyado y ayudado en la ejecución de este proyecto. Además porque hemos logrado cumplir con las metas planteadas en nuestras vidas.

Al profesor y amigo Álvaro Viviescas Jaimes, por su apoyo, principalmente por su tiempo y dedicación en la realización de este proyecto.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	13
1 GENERALIDADES.....	20
1.1 CLASIFICACION DE LOS PUENTES	21
1.2 HISTORIA.....	21
2 PUENTES CON ESTRIBOS TRADICIONALES. VENTAJAS, LIMITACIONES, PROCESO CONSTRUCTIVO Y PRINCIPALES CARACTERISTICAS DE DISEÑO.....	24
2.1 PUENTES CON ESTRIBOS TRADICIONALES.....	24
2.1.1 Estribos de gravedad.....	24
2.1.1.1 Introducción.	24
2.1.1.2 Características.....	25
2.1.1.3 Clasificación.....	28
2.1.1.4 Limitaciones.....	31
2.1.1.5 Proceso de construcción.	34
2.1.1.6 Principales características de diseño.....	38
2.1.2 Estribos en voladizo o en cantiliver.	43
2.1.2.1 Introducción.	43
2.1.2.2 Características.....	44
2.1.2.3 Clasificación.....	48
2.1.2.4 Limitaciones.....	49
2.1.2.5 Proceso de construcción.	50
2.1.2.6 Principales características de diseño.....	53
2.1.2.6.1 Verificación al volcamiento.....	54
2.1.2.6.2 Verificación al deslizamiento.....	55
2.1.2.6.3 Dimensión de la base del muro.....	57
2.1.3 Estribos con contrafuertes.....	58
3 PUENTES CON ESTRIBOS INTEGRALES. VENTAJAS, LIMITACIONES, PROCESO CONSTRUCTIVO Y PRINCIPALES CARACTERISTICAS DE DISEÑO.....	61

3.1	INTRODUCCION.....	61
3.2	HISTORIA.....	63
3.3	CARACTERISTICAS.....	65
3.4	CLASIFICACION.....	69
3.5	LIMITACIONES.....	74
3.6	PROCESO CONSTRUCTIVO.....	76
3.7	PRINCIPALES CARACTERISTICAS DE DISEÑO.....	79
3.7.1	Unión entre el estribo integral y la superestructura.....	79
3.7.2	Continuidad de la losa del tablero.....	79
3.7.3	Continuidad entre la losa de transición y la losa del tablero.....	80
3.7.4	Movimientos de la superestructura.....	80
3.7.5	Momento negativo entre el estribo y la superestructura.....	80
3.7.6	Juntas de dilatación.....	81
3.7.7	Cimentaciones.....	81
4	VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS PUENTES CON ESTRIBOS INTEGRADOS COMO SOLUCION ALTERNA EN LA CONSTRUCCION DE PASOS A DESNIVEL EN EL MARCO NACIONAL.....	82
5	CONCLUSIONES.....	84
	BIBLIOGRAFÍA.....	87

TABLA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Deterioro de juntas en puentes construidos con estribos tradicionales. .	13
Figura 2. Colapso del puente Nishihomiya.....	14
Figura 3. Comparación entre puente construido con estribos integrados y estribos convencionales.	15
Figura 4. Desnivel entre el acceso y el tablero del puente producto del asentamiento del terreno.	16
Figura 5. Puentes con vanos isostáticos. Primera generación.....	17
Figura 6. Puente con tableros continuos en las pilas y juntas en los estribos. Segunda generación.....	17
Figura 7. Puente con pilas empotradas al tablero y juntas en los estribos. Tercera generación.	17
Figura 8. Puente con pilas y estribos integrados al tablero. Cuarta generación. ..	18
Figura 9. Puente integrado de un vanoconstruido con viga prefabricada de hormigón.....	19
Figura 10. Puente integral construido en piedra.....	22
Figura 11. Puente de Oresund.....	22
Figura 12. Estribo de gravedad.....	25
Figura 13. Distribución de cargas al terreno debido al uso de la estructura.....	26
Figura 14. Tipologías de estribos por gravedad.....	27
Figura 15. Cabezal en concreto en un estribo de gravedad.....	28
Figura 16. Puente construido con estribos de gravedad de concreto ciclópeo.	29
Figura 17. Partes de un gavión.	30
Figura 18. Puente construido con estribos por gravedad de gaviones.....	30
Figura 19. Ejemplo de socavación en estribo de puente.....	33
Figura 20. Colapso de puente construido con estribos de gravedad de gaviones producto de la socavación.	33
Figura 21. Esquema sobre la segregación del concreto.	35
Figura 22. Adecuación del terreno para construcción del estribo de gravedad.....	36
Figura 23. Preparación de la malla del gavión antes de iniciar su llenado.....	36
Figura 24. Sellado de la malla del gavión después del llenado de la caja.	37
Figura 25. Puente construido con estribos y pilas por gravedad de gaviones	37
Figura 26. Predimensionamiento del estribo de gravedad en función de su base y altura.....	38
Figura 27. Predimensionamiento con pata de los estribos de gravedad.....	39
Figura 28. Chequeo del estribo de gravedad por deslizamiento.	40
Figura 29. Chequeo del estribo de gravedad por volcamiento.....	41
Figura 30. Chequeo del estribo de gravedad por capacidad de carga.....	42

Figura 31. Chequeo del estribo de gravedad por estabilidad global.	43
Figura 32. Estribo en voladizo.....	44
Figura 33. Partes principales de los estribos en voladizo.	46
Figura 34. Deformaciones generadas por el terreno sobre el estribo.	47
Figura 35. Ubicación del refuerzo principal en los estribos en voladizo.....	47
Figura 36. Puente construido con estribos en voladizo.....	48
Figura 37. Diferentes formas de estribos en voladizo.	49
Figura 38. Alternativa usada cuando el nivel de fundación se encuentra por debajo del nivel inferior de la zapata.	50
Figura 39. Recomendación para el uso del concreto de limpieza en la cimentación.....	51
Figura 40. Colocación del armado en un estribo en voladizo.....	52
Figura 41. Encofrado de un estribo en voladizo.....	52
Figura 42. Etapa final de la construcción de un estribo en voladizo.....	53
Figura 43. Predimensionamiento de estribo en voladizo en función de su altura..	54
Figura 44. Fuerzas actuantes para la verificación al volcamiento. Estribo en voladizo.....	55
Figura 45. Fuerzas actuantes para la verificación al deslizamiento. Estribo en voladizo.....	56
Figura 46. Dentellón adicional que puede ser usado para aumentar el factor de seguridad por deslizamiento.	57
Figura 47. Diagrama de fuerzas actuantes sobre el talón del muro.	58
Figura 48. Principales partes de los estribos con contrafuertes.	59
Figura 49. Tramo de estructura necesaria para evaluar el comportamiento de un estribo con contrafuertes.	60
Figura 50. Primer puente de la época moderna construido con principios de integrar la superestructura con la subestructura.	64
Figura 51. Puente integral instrumentado en la provincia de Ávila, España.	65
Figura 52. Principales partes de un puente integral.	66
Figura 53. Puente integral Over Hokviksan.....	67
Figura 54. Puente integral construido en acero.....	67
Figura 55. Losa de transición en puentes.	68
Figura 56. Principales partes de un estribo integrado típico.	70
Figura 57. Principales partes de un estribo semi-integrado típico.....	70
Figura 58. Estribo integral, tipo remate soportado por pilotes.....	71
Figura 59. Estribo semi-integral, tipo encapsulado de tetrón con viga de acero. ...	72
Figura 60. Estribo semi-integral con viga de cajón en concreto y zapata de cimentación.....	72
Figura 61. Estribo integral tipo marco rígido.	73

Figura 62. Estribo integral con neopreno móvil y fijo sobre columna y zapata de cimentación.....	73
Figura 63. Angulo de esviaje en un puente.....	75
Figura 64. Proceso de hincado de pilotes para la construcción del estribo.....	77
Figura 65. Ubicación del refuerzo para integración de las pilas con el estribo.....	78
Figura 66. Armado del acero de refuerzo en un puente integral.	78
Figura 67. Distribución de momentos para puentes tradicionales e integrales.	81

RESUMEN

TITULO:

PUENTES CON ESTRIBOS INTEGRALES COMO SOLUCION PARA PASOS A DESNIVEL.*

AUTOR:

GERSON FABIAN LUNA ALARCON **

PALABRAS CLAVES:

Puentes, estribos, gravedad, voladizo, contrafuerte, integral.

CONTENIDO:

Colombia es un país que en los últimos años ha venido presentando un crecimiento exponencial en el parque automotor en las principales ciudades del país, lo que ha generado grandes congestiones viales en el interior de las ciudades.

A raíz de la necesidad que surge actualmente de acometer una gran cantidad de puentes de pequeñas luces y pasos elevados, se pretende dar a conocer un sistema constructivo que ha tenido una gran acogida en varias partes del mundo. Este sistema tiene como principales características bajos costos de mantenimiento, vida útil mayor frente a sistemas tradicionales, confort al usuario, mejor comportamiento frente a eventos sísmicos debido a que presenta una mayor estabilidad.

Dentro de los temas a tratar se presentaran una serie de ventajas y limitaciones que tienen los estribos tradicionales usados en Colombia y adicionalmente se dará a conocer las particularidades en los puentes con estribos integrales usados en países como Estados Unidos, Japón, Alemania, Chile, entre otros.

Debido a estas razones surge la idea de realizar el estudio de una de las tipologías de puentes que da la opción de aumentar la vida útil y a su vez minimizar las labores de mantenimiento de estas estructuras; principalmente en lo relacionado con las juntas de dilatación y los apoyos. Esto con el único propósito de evaluar la posibilidad de incorporar esta técnica a nuestro medio.

*Proyecto de grado.

** Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de ingeniería civil. Director: Álvaro Viviescas Jaimes.

RESUME

TITLE:

INTEGRAL ABUTMENT BRIDGES AS SOLUTION FOR OVERPASSES*

AUTHOR:

GERSON FABIAN LUNA ALARCON **

KEYWORDS:

BRIDGES, STIRRUP, GRAVITY, OVERHANG, ABUTMENT, INTEGRAL

CONTENT:

Colombia is a country which has experienced a growth in relation with the vehicle fleet park in the main cities of the country. This event has generated huge vehicular congestion inside the cities.

Nowadays there is need to build a variety of bridges, straight bridges or boardwalks. This paper aims to inform about a building system that has had an acceptance in several countries around the world. The main characteristics of this system are: low maintenance cost, a longer service life in comparison with traditional systems, greater user comfort and better behavior in relation with seismic events due to the stability of the construction.

Some of the topics presented in this paper are: advantages and limitations of the stirrups traditionally used in Colombia. Furthermore the characteristics of integral abutment bridges used in countries such as United States, Japan, Germany, Chile, etc.

Given the previous reasons the idea to make a study about the different types of bridges comes up to show how to improve the service life and how to lower the maintenance and repair of the structures; mainly in relation with expansion joints and bearings. The main purpose is to find a way to adopt this building technique into the Colombian engineering context.

*Research Work.

** Physical mechanics engineering facult. Civil engineering school. Project director: Álvaro Viviescas Jaimes

INTRODUCCION

Observando la realidad de nuestro país y tratándose del tema de la ingeniería de puentes, Colombia ha sido un país con muy poco nivel de avance en infraestructura vial, debido a que en la totalidad de los casos se tienen puentes construidos con estribos tradicionales sin considerar otros métodos de diseño como por ejemplo los puentes con estribos integrales que generan menores costos de mantenimiento, mejor comportamiento ante sismos, entre otros factores [1], [23].

Colombia ha sido un país que en los últimos años ha venido presentando un gran crecimiento en el parque automotor en las principales ciudades del país, lo que ha generado grandes congestiones viales en el interior de las ciudades. Una de las alternativas que se han presentado para el mejoramiento de la movilidad además de la ampliación de las vías, es la construcción de pasos elevados y puentes de pequeñas luces.

Sin embargo, a la fecha se han observado problemas funcionales de forma muy frecuente en la zona que comprende la unión del tablero, el estribo y la calzada de acceso en un gran número de puentes en nuestro país.

En la figura 1 se observa el puente Av. Américas localizado por la Av. Boyacá en Bogotá. Donde se puede ver los daños a los que son expuestos los puentes construidos con estribos tradicionales y el costo que genera el continuo mantenimiento de cambio de juntas, sellos de fisuras, pintura y pavimentación en estas zonas[4], [30].

Figura 1.Deterioro de juntas en puentes construidos con estribos tradicionales.



FUENTE: idu. Instituto de desarrollo urbano. Mantenimiento de puentes vehiculares.

Estos inconvenientes en algunos casos se hubiesen podido evitar si se diera el espacio para la incorporación a nuestro país de alternativas de diseño que desde hace varios años se han venido trabajando, principalmente en Estados Unidos, Japón y Europa.

Con el paso de los años a nivel internacional se ha observado que es de gran importancia controlar cada uno de los elementos del puente, con el fin de evitar el colapso o deterioro de la estructura. Generalmente estas fallas ocurren por eventos extraordinarios como son los sismos de gran magnitud o en otros casos simplemente a su continuo uso [11], [26].

En la figura 2, se muestra el colapso de un tramo del puente Nishihomiya en Japón, donde se observa una insuficiente longitud de soporte y adicionalmente el tablero se encuentra simplemente apoyado sobre la pila, estas razones han dado lugar a generar procesos constructivos y de diseño de integración entre la superestructura y la subestructura. Este sismo ocurrió en Kobe, 1995.

Figura 2. Colapso del puente Nishihomiya.



FUENTE: Evaluación del potencial de licuación de suelos. Jorge Alva Hurtado.

Por estas razones en los últimos años el estudio de los puentes se ha venido centrando en los elementos críticos, con el fin de mejorar la seguridad, rigidez y confort en el uso de la estructura, además minimizar los posibles riesgos de colapso y las necesidades de mantenimientos frecuentes [3], [18].

En la actualidad tiene gran acogida una solución alternativa para los puentes con estribos tradicionales que consta en integrar el estribo, el tablero del puente y la calzada de acceso [11]. En los países que se ha implementado esta solución se ha observado que los puentes tienen una mayor estabilidad ante sismos debido a su

redundancia estructural, generada como consecuencia de la integración del tablero con el estribo [14], [30].

En la figura 3 se observa las dos tipologías, un puente construido con estribos integrados (figura 3.a) y otro por el método convencional (figura 3.b), en el que las diferencias no pueden ser observadas a simple vista, sin embargo hay varias como es el caso de la construcción de juntas, integración entre superestructura y subestructura, eliminación de apoyos como en neopreno, entre otras [4], [6], [23].

Figura 3. Comparación entre puente construido con estribos integrados y estribos convencionales.



FUENTE: Structural engineering. The Pennsylvania state university- Civilcad.

Otra de las principales ventajas que presenta los puentes con estribos integrales es un menor costo en operaciones de mantenimiento debido a que no se debe realizar sustitución de juntas ni aparatos de apoyo [7], [32]. Además, con la incorporación de puentes con estribos integrados se ha eliminado significativamente el sobrecosto que se genera al tener separado la zona de acceso, el estribo y el tablero, ya que estos con el uso van presentando diferencias de nivel lo que ocasiona frecuentes necesidades de mantenimientos en estas zonas [13]. Este factor cobra especial relevancia en la actualidad si se tiene en cuenta el gran desarrollo de obra pública que se empieza a dar en Colombia bajo el esquema de concesión.

En la figura 4 se observa un daño recurrente en los puentes con estribos tradicionales, generado como consecuencia de tener dos rigideces diferentes, es decir el concreto tiene una mayor rigidez en comparación con el terreno ya que sus características propias presenta una mayor flexibilidad lo que genera asentamientos diferenciales, esto ocasiona desniveles en los accesos de entrada y salidas de la estructura [25]. El puente se encuentra localizado en la ciudad de Bucaramanga (Colombia), donde se observa lo antes mencionado.

Figura 4. Desnivel entre el acceso y el tablero del puente producto del asentamiento del terreno.

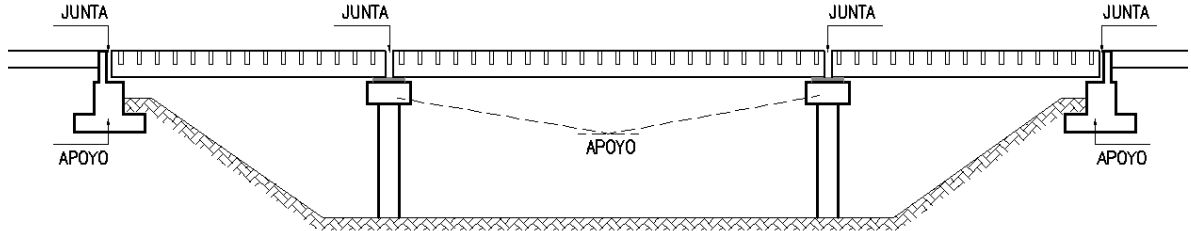


Los puentes con estribos integrales son definidos como aquellos que no disponen de juntas transversales ni sobre pilas ni estribos [23], [34]. Cabe aclarar que Colombia es un país que aún no ha implementado este sistema constructivo en puentes, permitiendo así un mayor sobrecosto en el mantenimiento.

Básicamente el avance que han tenido los puentes a nivel internacional están catalogados en una serie de mejoras denominados generaciones. En la gran mayoría esta serie de avances constructivos han estado determinados a nivel internacional según la integración existente entre la superestructura con la subestructura [20]. A medida que se van conectando tanto pilas como estribos con el tablero estos han teniendo mejores características tanto de comportamiento como de bajos costos de mantenimiento [6].

Dentro de la primera generación se puede encontrar aquellos puentes con vanos isostáticos cuya principal ventaja es la facilidad de cálculo y construcción [2], [3], [5] (Figura 5), sin embargo como consecuencia a ello se tenía un mantenimiento constante en las juntas y en los apoyos (pilas) lo que ocasionaba un sobrecosto a mediano y largo plazo.

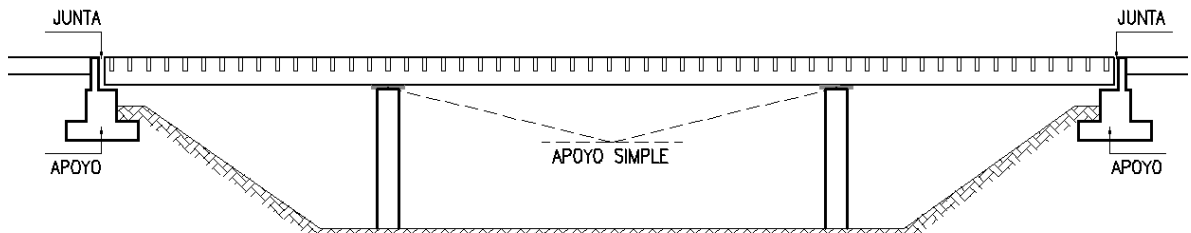
Figura 5. Puentes con vanos isostáticos. Primera generación.



FUENTE: guía para la concepción de puentes integrales en carreteras. Ministerio de fomento. España [20].

Posteriormente el siguiente avance que se realizó a nivel estructural en los puentes fue de trabajar tableros continuos en las pilas, dejando así juntas únicamente en los estribos [2], [3], [5] (Figura 6). Además con este tipo de estructuras se logró una mejor distribución de momentos y por ende una distribución de acero uniforme entre la parte superior e inferior del tablero.

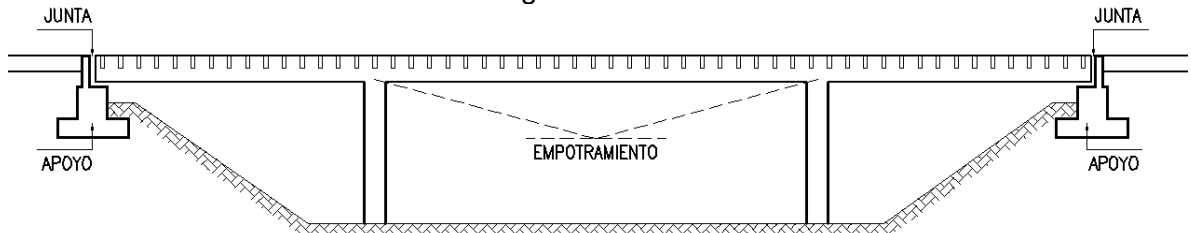
Figura 6. Puente con tableros continuos en las pilas y juntas en los estribos. Segunda generación.



FUENTE: guía para la concepción de puentes integrales en carreteras. Ministerio de fomento. España [20].

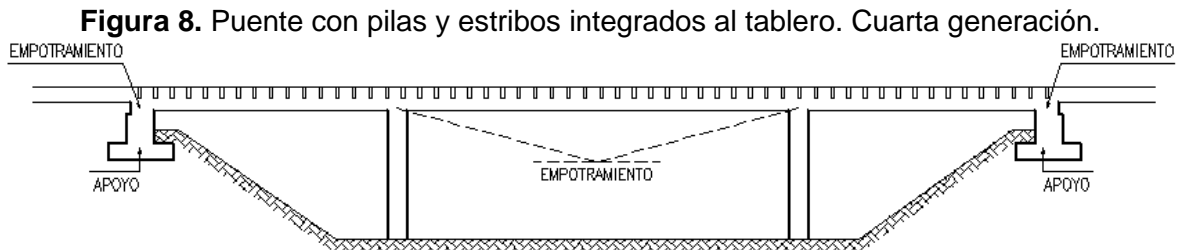
El siguiente paso sería el de empotrar las pilas en el tablero, dejando aun las juntas en los estribos. Este avance fue denominado puentes de tercera generación [2], [3], [5] (Figura 7).

Figura 7. Puente con pilas empotradas al tablero y juntas en los estribos. Tercera generación.



FUENTE: guía para la concepción de puentes integrales en carreteras. Ministerio de fomento. España [20].

Finalmente aparece la última generación que consiste en la integración entre el tablero, la losa de transición y el estribo. Eliminando así las molestias generadas al usuario al ingreso y a la salida de los puentes [2], [3], [5], [15] (Figura 8).



FUENTE: guía para la concepción de puentes integrales en carreteras. Ministerio de fomento. España [20].

Descritas las anteriores generaciones de puentes se puede decir que Colombia actualmente se encuentra en la segunda y tercera generación de puentes, encontrándose por ello una oportunidad de mejora incorporando esta alternativa.

Es importante aclarar que los países con mayor desarrollo están impulsando los puentes de cuarta generación ya que al tener la integración entre el tablero, la losa de transición y el estribo se generan grandes ventajas en las que se encuentran el confort al ingreso de los puentes, tener una mayor vida útil, minimizar los costos de conservación de puentes y tener puentes con una mayor rigidez global permitiendo así una mayor estabilidad de la estructura en el caso de generarse algún evento sísmico[28].

Los puentes integrales no son una tipología moderna ya que desde los años 50 Estados Unidos ha venido impulsando este tipo de solución y que con el paso de los años cada vez son mayores los puentes construidos por medio de esta tipología [5].

Inicialmente este tipo de puentes era utilizado únicamente para pequeñas longitudes sin embargo en la actualidad existen puentes con longitudes de gran importancia. En la figura 9 se observa un puente integral de un vano construido con viga prefabricada de hormigón armado, con una luz aproximada de 20 metros ubicado en la Avenida del Valle (Chile).

Figura 9. Puente integrado de un vano construido con viga prefabricada de hormigón.



FUENTE: Diseño de puentes y viaducto. Raúl Campos. V congreso AICE-Chile [3].

A continuación se presentaran una serie de generalidades derivadas de los puentes con estribos integrales y algunas recomendaciones dadas por los manuales de diseño y construcciones internacionales sobre esta tipología de puentes, esto con el fin de poder informar sobre el uso de este sistema de construcción para poder concluir sobre la viabilidad en la incorporación a nuestro país de esta tecnología.

1 GENERALIDADES

Los estribos se pueden definir como elementos que sirven de apoyo a los puentes ubicados en la entrada y salida de estas estructuras. La función principal que ejerce los estribos en un puente son básicamente dos, es el encargado de distribuir las cargas de servicio presentadas en los tableros de los puentes como consecuencia de su uso y además ayudan como contención de los terraplenes que se encuentran en ambos extremos del puente [10]. Adicionalmente el terreno contenido en estos terraplenes genera una fuerza pasiva sobre las estructuras las cuales deben ser soportadas por los estribos [26].

La construcción de puentes tiene como objetivo comunicar dos puntos geográficos, salvando obstáculos naturales como pueden ser ríos, lagos, valles; así también puede tener obstáculos artificiales como son las carreteras, vías férreas, entre otros.

Basándose en los procesos constructivos que existen en el país se puede decir que la alternativa de uso exclusivo son los puentes con estribos tradicionales en los que se generan una junta entre el estribo y el tablero. Esta técnica ha estado acorde a nuestras necesidades de poca demanda en infraestructura y de no tener en cuenta el costo que genera el continuo mantenimiento de estas uniones.

Además se estudiarán las ventajas y limitaciones que tienen los puentes con estribos integrados con el fin de generar una puerta para la incorporación de esta tipología. Como anteriormente se explicó no es una solución nueva que se encuentra en fase de estudio a nivel internacional sino por el contrario lleva más de medio siglo en un continuo avance tecnológico. Por ejemplo actualmente en Estados Unidos se encuentran construidos un aproximado de 9000 puentes integrales y 4000 puentes semi-integrales [3], [14].

Este documento presentará una serie de ventajas, limitaciones y características de diseño usados tanto para puentes con estribos tradicionales como estribos integrales. Y así determinar en base a estas particularidades cuáles serían las posibles ventajas y limitaciones de los puentes con estribos integrados como solución alterna al sistema tradicional en nuestro país.

Es importante tener en cuenta que la clasificación de los puentes no se debe únicamente a sus apoyos (estribos integrales o tradicionales). Además existen

otras clasificaciones como pueden ser según su funcionalidad, el tipo, material de la superestructura, su geometría y su proceso constructivo.

1.1 CLASIFICACION DE LOS PUENTES

Los puentes se pueden clasificar:

- Según su funcionalidad: pueden ser viaductos, pasos elevados, entre otros.
- Según el tipo de superestructura: los puentes pueden ser de losa maciza, losa aligerada, viga sección cajón, viga T, viga I, en arco, entre otros.
- Según su geometría: los puentes pueden ser rectos, curvos tanto en planta como en perfil o esviados.
- Según el material de la superestructura: los puentes pueden ser de hormigón armado, hormigón pretensado, de acero o mixtos.
- Según el proceso constructivo: pueden ser hormigonados “in situ” o prefabricados. Además de puentes empujados, puentes construidos con autocimbra, puentes extradosados y puentes por voladizos sucesivos.
- Según sus apoyos en los estribos: pueden ser tradicionales e integrales.

1.2 HISTORIA

La implementación de puentes integrales en la actualidad no es una idea moderna, ya fue una alternativa utilizada durante cientos de años y fue abandonada debido a la incorporación de nuevos materiales en la construcción de puentes [34]. Inicialmente los puentes usados para salvar obstáculos naturales o artificiales (ríos, presas, entre otros) eran de pequeñas longitudes, debido a que siempre se buscaba la forma de realizar lo más sencillo posible estas estructuras [3], [5].

En la figura 10 se observa el puente romano que servía para comunicar los pueblos de Bierge y Casbas de Huesca separados por el río Alcanadre, España. Como se puede observar esta estructura fue construida en piedra y de forma monolítica.

Figura 10. Puente integral construido en piedra.



FUENTE: Asociación de empresarios de la Sierra de Guara.

Sin embargo con el paso de los años y la incorporación de nuevos materiales como el acero consecuencia de la revolución industrial, se empezaron a generar ambiciosas ideas de construir estructuras cada vez más grandes y trazados tanto en planta como en altura cada vez más exigentes [5].

En la figura 11 se observa el puente de Oresund construido en el año 2000 y que sirve para la conexión entre Dinamarca y Suecia. Este puente tiene una longitud total de 16 kilómetros y como es de esperarse una estructura de tal longitud no se puede construir como un sistema integrado, debido a que las deformaciones causadas por los materiales son tan grandes que podrían generar fallas tempranas en la estructura. Por estas razones es que hace un esta tipología de puentes fue dejada con el fin de dar paso a estas mega estructuras.

Figura 11. Puente de Oresund.



FUENTE: GOOGLE imágenes.

Debido a la construcción de puentes de grandes luces se vio la necesidad de incorporar juntas en los apoyos de los puentes [15], con el fin de minimizar los movimientos generados y así controlar los problemas presentes en los cambios de los materiales, debido a que el acero y el hormigón se veían afectados por efectos como la expansión, contracción y deformaciones por temperatura [5], [13].

Años más tarde con la construcción de estas juntas se empezó a observar que en la mayoría de puentes había problemas en los puntos de unión entre los estribos y el tablero. Dentro de los inconvenientes recurrentes estaban el confort al ingreso y salida de puentes debido a desniveles en la ruta de acceso, mayores costos de mantenimiento debido a que era necesaria la repavimentación continua para evitar las molestias causadas a los conductores por la diferencia de asentamientos[18], a su vez restringir el uso de estas estructuras cuando se debían hacer las reparaciones y dificultades por reemplazo de juntas y aparatos de apoyo que con el paso de los años se iban desgastando debido a tener vidas útiles menores que la estructura. Consecuencia a ello en países donde se tiene una alta demanda se generó la necesidad de incorporar nuevamente la construcción de puentes integrales, con el fin de minimizar el gran costo generado por las reparaciones [22].

En los puentes con estribos integrales se observó que se tenía un mejor comportamiento en aquellas estructuras que tenían longitudes menores a los 100 metros [22] y específicamente en aquellas de un solo vano con características promedio de 30 metros de longitud. Debido a ello hoy en día existen normas en ciertos países que exigen el uso de puentes integrales siempre y cuando cumplan con las características descritas en ellas [8], [20].

Este documento abordará el estudio bajo la clasificación de puentes según sus apoyos en los estribos tal como lo menciona la norma AASHTO-LRFD 2010, ya que clasifica los puentes en función de la tipología de estribos que lo conforma [24].

2 PUENTES CON ESTRIBOS TRADICIONALES. VENTAJAS, LIMITACIONES, PROCESO CONSTRUCTIVO Y PRINCIPALES CARACTERISTICAS DE DISEÑO.

En este primer capítulo se abarcará el tema referente a los puentes con estribos tradicionales ya que es el sistema utilizado en nuestro país.

2.1 PUENTES CON ESTRIBOS TRADICIONALES.

Según la norma AASHTO- LRFD 2010 los estribos tradicionales se pueden clasificar dentro de tres grupos en los que se encuentra [24]:

- Estribos de gravedad.
- Estribos en voladizo o en cantiléver.
- Estribos con contrafuertes.

2.1.1 Estribos de gravedad.

A continuación se da la descripción de esta tipología de estribos donde se incluye las ventajas, limitaciones, procesos constructivos que presenta el estribo de gravedad.

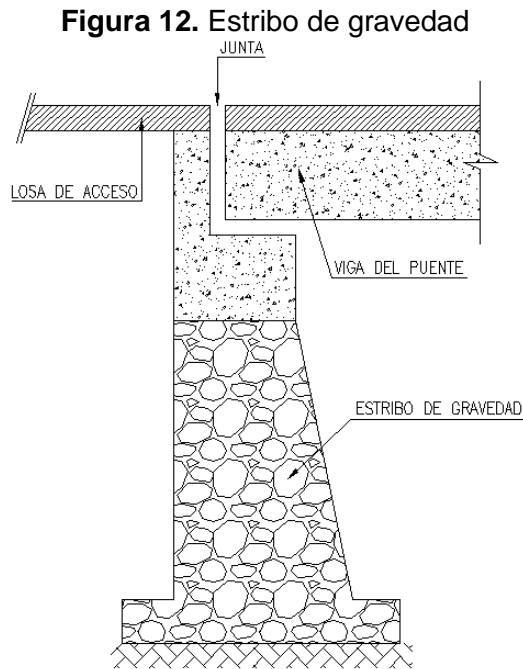
2.1.1.1 Introducción.

Los estribos de gravedad son estructuras que basan su estabilidad en su peso propio, es decir debido a su gran rigidez son capaces de generar acciones que permiten resistir fuerzas de empuje del terreno y cargas ocasionadas por el uso del puente [12], [33].

Debido a las características mencionadas y a la forma en que trabaja este tipo de estribo se debe esperar que sean estructuras de un gran volumen de material, ya que deben ser capaces de funcionar sin ningún tipo de refuerzo adicional [31].

Este tipo de estribos con el paso de los años ha venido pasando a un segundo plano, debido a la incorporación de estribos que no requieren una gran cantidad de material para su construcción, lo que genera obras más rápidas y disminución de errores en la fase de ejecución [27].

En la figura 12 se tienen las principales partes de un estribo de gravedad donde se observa el tamaño que requiere para su estabilidad, debido a que trabajan únicamente con ayuda de su peso propio [17].



FUENTE: GOOGLE imágenes.

2.1.1.2 Características.

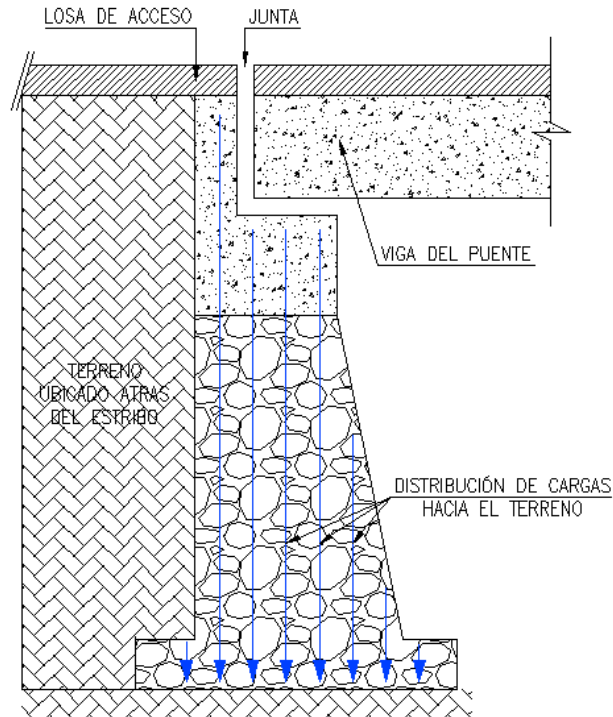
Estas estructuras como ya se mencionó anteriormente se centran en tener una gran masa, que con su peso propio ayuda a resistir el empuje generado por el suelo. Adicionalmente distribuye las cargas al terreno que son originadas debido al uso del puente [31].

Los estribos de gravedad son estructuras que bajo comportamientos normales se encuentran sometidos a dos fuerzas principalmente, el empuje del terreno y las cargas producidas por el uso del puente. El empuje del terreno genera desplazamientos y posibles volamientos; y el uso del puente posibles asentamientos.

El otro aspecto es la distribución de cargas que ejerce el estribo al terreno como consecuencia de su peso propio, uso del puente, impactos accidentales, eventos sísmicos, entre otros factores [27]. A continuación en la figura 13 se observa la

distribución de cargas aplicadas al terreno como consecuencia del uso de la estructura.

Figura 13. Distribución de cargas al terreno debido al uso de la estructura.



Una de las ventajas que presentan este tipo de estribos es que suelen ser económicos, especialmente cuando se tienen canteras cerca a la ubicación del puente y cuando se utiliza en alturas moderadas. Además estas estructuras son construidas a base de dos tipos de materiales como son el concreto simple y los estribos en gaviones. En estas estructuras no se requiere del uso de refuerzo [24]. Estos estribos son usados cuando el terreno tiene una buena capacidad portante a nivel superficial y la altura a cubrir se encuentra entre los 3 y 5 metros aproximadamente [5].

Dentro de las ventajas que generan los estribos de gravedad de gaviones se encuentra un fácil alivio de las presiones de agua, ya que al ser construido con piedras estas generan un filtro que hace al estribo una estructura 100% permeable, evitando así una presión hidrostática adicional [31].

Una de las ventajas que posee los muros de gravedad de gaviones es que la malla es llevada al lugar de la obra y una vez allí se rellenan con piedras. Para realizar una construcción por medio de esta tipología de estribos es necesario

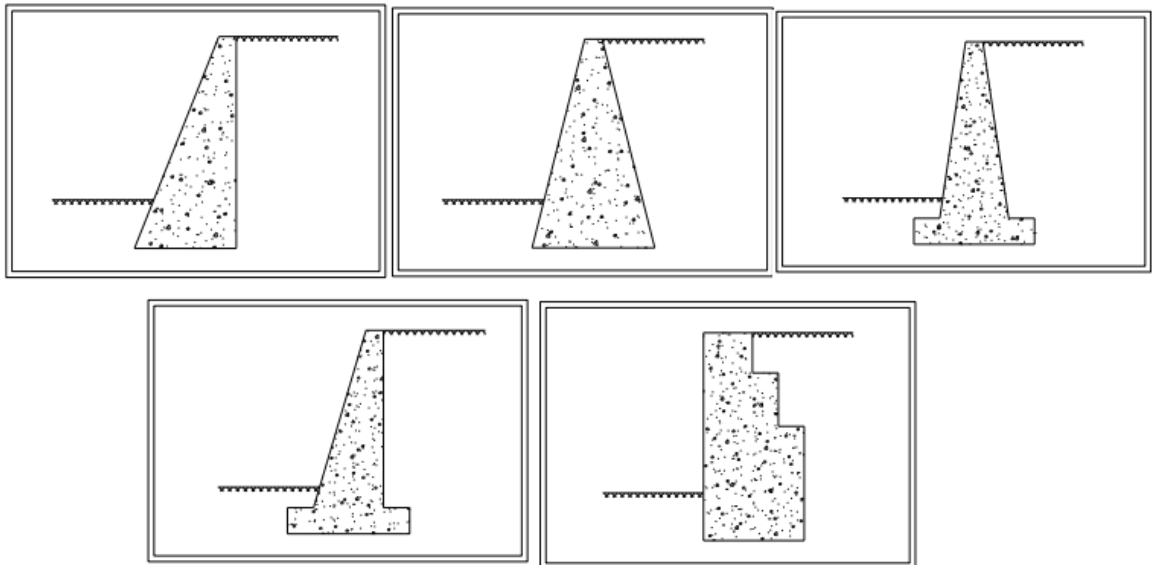
tener una cantera cerca al sitio de ejecución de la obra, ya que si esto no ocurre se empezaría a generar un sobre costo en el transporte de materiales.

Generalmente este tipo de estructuras es usado en sitios de difícil acceso o donde las plantas de concreto se encuentran muy retiradas del lugar del proyecto, por lo tanto el transporte de materiales se vuelve de gran importancia a nivel de costos de ejecución.

Este tipo de estructuras requiere de un diseño previo con el fin de evitar que se presenten fallas o quede sobre-diseñada. Dentro de las principales verificaciones que se deben realizar al estribo se encuentran una serie de estabilidades que deben ser garantizadas con un factor de seguridad descrita más adelante.

Los estribos de gravedad son estructuras que deben ir variando en espesor desde la base hasta la terminación del elemento, sin olvidar que la parte superior debe ser lo suficientemente ancha con el fin de facilitar el proceso de fundida. En la figura 14 se observa diversas tipologías de muros de gravedad en las que se muestra la variación del ancho en función de su altura.

Figura 14. Tipologías de estribos por gravedad.



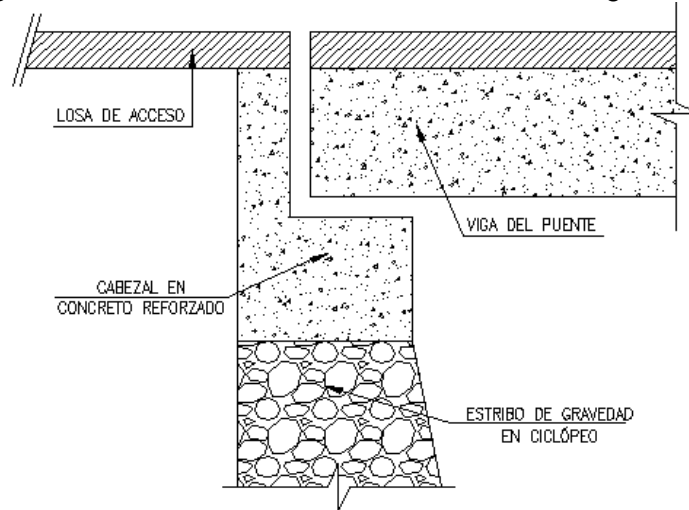
FUENTE: Análisis y diseño de muros de contención. Universidad central de Ecuador. William Rodríguez [17].

Otra de las principales ventajas que tienen los estribos de gravedad es que no requieren ningún tipo de refuerzo para lograr su estabilidad. Además debido a los materiales que componen estos estribos no requiere ser controlados por retracción

y fraguado [10]. Sin embargo se recomienda que el cabezal sea de hormigón armado.

En la figura 15 se señala el cabezal del estribo que debe ir reforzado ya que por efectos de las cargas puede generar fisuras y desprendimiento de material a temprana edad.

Figura 15. Cabezal en concreto en un estribo de gravedad.



2.1.1.3 Clasificación.

Dentro de los estribos de gravedad se pueden distinguir dos tipos, los de concreto ciclópeo y los estribos de gaviones [12].

- Estribos de gravedad de ciclópeo: Son estribos formados por concreto y una gran cantidad de agregado grueso que incluye grava gruesa, piedra bruta sin ningún tipo de tratamiento, entre otros. El porcentaje de material para este tipo de estructuras puede estar en el orden de un 60% de concreto y un 40% de canto rodado o piedras de tamaños considerables [31].

La característica principal del concreto usado en este tipo de estribos es su baja resistencia debido a que funcionan por peso propio, caso contrario de otras tipologías de estribos que al no tener grandes cantidades de material la resistencia de los materiales usados son de gran importancia [17].

En la figura 16 se observa el puente sobre el Rio Niñey, en Pandora de Limón en Costa Rica. Construido con estribos de gravedad de concreto ciclópeo el cual consta de 60 metros de longitud con dos luces y un ancho de 6,6 metros. La superestructura está compuesta por vigas prefabricadas y el tablero está construido con concreto reforzado fundido "in situ".

Figura 16. Puente construido con estribos de gravedad de concreto ciclópeo.

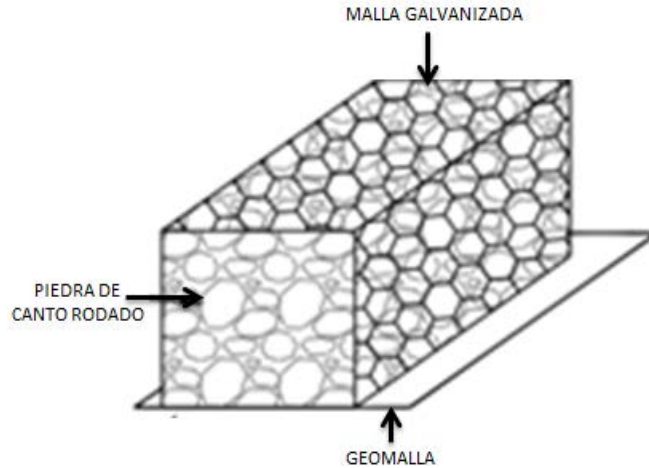


FUENTE: Codocsa construcción de infraestructura. Diseño y construcción de puentes.

- Estribos de gravedad de gaviones: Son estructuras conformadas por una serie de elementos que con la ayuda de su peso propio llegan a ser estables. La principal parte de estos estribos es la conformación de gaviones que consisten en una serie de cubos delimitados por mallas galvanizadas de calibres apropiados, cuya función es resistir la cantidad de piedra contenidas en ellas [31].

Los gaviones durante su proceso constructivo deben ser llenados de forma que queden la menor cantidad posible de vacíos, ya que de no ser así se pueden presentar deformaciones en los canastos ocasionando colapsos en la estructura del gavión. Cada uno de estos cubos deben ser amarrados unos con otros en las aristas adyacentes entre ellos con el fin de generar una estructura lo más homogénea posible y generando así una mayor estabilidad del estribo. En la figura 17 se muestran las principales partes que conforman un gavión.

Figura 17. Partes de un gavión.



FUENTE: Manual práctico para el pre-dimensionamiento de puentes en acero y concreto para una luz menor a 15 metros. Héctor Ramos García.

Las principales dimensiones de este tipo de gaviones pueden variar con anchos de aproximadamente un metro, longitudes de 1 a 4 metros y alturas de 0,50 a 1,0 metro [17]. En la figura 18 se observa un puente construido con estribos de gravedad de gaviones, que consta de elementos conformados por malla galvanizada y piedras.

Figura 18. Puente construido con estribos por gravedad de gaviones.



FUENTE: Infraestructura estribos. Universidad de Buenos Aires.

2.1.1.4 Limitaciones.

Dentro de las principales desventajas que presentan los estribos de gravedad se encuentran:

- El proceso constructivo de los estribos de gravedad de gaviones es lento, debido a que se debe llevar la malla galvanizada a la obra y allí iniciar el proceso de llenado de cada uno de los elementos. Adicionalmente se tiene una gran probabilidad de cometer errores si no se tiene una buena supervisión en la construcción. Dentro de los principales fallas en la construcción de estos estribos se encuentran el uso de roca sucia, dejar vacíos de gran tamaño dentro de los gaviones lo que ocasiona asentamientos inesperados, entre otros.
- En el caso de los estribos de gravedad con concreto ciclópeo se tiene que controlar la homogeneidad en la mezcla, por lo que se recomienda es uso de una mezcladora ya que al realizarlo manualmente se puede incurrir en un mal mezclado, debido al tamaño de las rocas usadas en este concreto [17].
- Los estribos de concreto ciclópeo son construidos en fases de aproximadamente un metro de alto por fundida, por lo tanto se vuelve tediosa la construcción frecuente de juntas en frío las cuales tienen dos funciones principalmente, generar la homogeneidad de la estructura y adicionalmente evitar que se presenten filtraciones de agua en estos puntos de unión.
- El análisis elaborado en el diseño de estos estribos contienen factores de seguridad muy altos lo que ocasiona un mayor volumen de material a utilizar, esto como consecuencia del grado de incertidumbre que se tiene en la homogeneidad de los materiales [5].
- Debido a que en los estribos de gravedad el acero de refuerzo es nulo (ya que estos trabajan por estabilidad de su peso propio) se usan grandes volúmenes de materiales lo que ocasiona menores rendimientos de ejecución. Es por ello que este tipo de estribos hoy en día es utilizado en lugares donde se vuelve estrictamente necesario su uso, como consecuencia de difíciles accesos y plantas de tratamiento de concreto muy alejados de la obra.

- En el caso de los estribos de gaviones se debe tener un especial cuidado del lugar donde se va a construir estas estructuras ya que se debe garantizar que el terreno que sirva de soporte no presente ningún tipo de acidez ya que al contener mallas galvanizadas sin ningún tipo de protección estas pueden presentar corrosiones a temprana edad [31]. Aun así la vida útil de estos elementos es mucho menor que cualquier otra tipología de estribos ya que también se pueden ver afectados por problemas de humedad y control de agua generando así corrosiones en las mallas.
- El mantenimiento de los estribos de gaviones debe ser realizado periódicamente ya que si las mallas se llegan a corroer estas deben ser cambiadas lo antes posibles con el fin de conservar la estabilidad de la estructura.
- Con gran frecuencia se incurre en problemas como el mal amarre entre los gaviones lo que ocasionan que los elementos que conforman el estribo no actúen de forma íntegra. Por estas razones se debe tener un buen chequeo en el amarre entre los gaviones verificando que sean unidos entre las aristas de cada uno de los cubos. Adicionalmente garantizar que la resistencia usada en el amarre de los gaviones sea por lo menos igual a la resistencia de la malla galvanizada [31].
- Otra de las limitaciones es que estas estructuras se pueden construir siempre y cuando se tenga una buena capacidad portante a nivel superficial [33], ya que si se llega a profundizar para obtener la capacidad portante deseada la altura de los estribos aumentaría lo que ocasionaría un aumento de material que se encuentra relacionado en forma exponencial en función de la altura, generando así el uso de una gran cantidad de material lo que conduciría a un proyecto inviable.
- Este tipo de estructuras al no tener acero de refuerzo son estructuras que trabajan por compresión por lo tanto si en algún momento llegan a estar sometidas a tracciones la estructura puede fallar fácilmente. Debido a ello se debe estar en un frecuente chequeo que el terreno donde se soportan los estribos este firme y en ningún caso socavado. La socavación se define como la erosión generada al concreto como consecuencia principalmente de corrientes de agua que con el tiempo generan desgaste en el concreto y así posibles fallas de estabilidad. En la figura 19 se observa la socavación generada en el estribo de un puente.

Figura 19. Ejemplo de socavación en estribo de puente.



FUENTE: Hidrodemolición.HIDRODEM.

En los casos en que la socavación no es tratada de una forma correcta para su respectiva reparación se tienen consecuencias como lo ocurrido sobre el río Cañas en el corregimiento de Mingueo, municipio Dibulla, La Guajira, (figura 20) donde colapso uno de los puentes construidos en estas zonas como consecuencia de la socavación producida por el río en las bases del puente.

Figura 20. Colapso de puente construido con estribos de gravedad de gaviones producto de la socavación.



FUENTE: Diario del norte.

- Otra de las limitaciones tanto de los estribos de gaviones como de concreto ciclópeo es que se debe tener cerca una cantera donde se pueda extraer la principal fuente de construcción de estas estructuras que es la roca. De no ser así se vuelve inviable la construcción ya que el transporte de estos materiales aumentaría considerablemente el costo de la obra. Por estas razones el uso de estas estructuras se ve con mayor frecuencia en zonas

tropicales o montañosas donde este tipo de material se puede obtener con una mayor facilidad.

2.1.1.5 Proceso de construcción.

Los estribos de gravedad como ya se mencionó anteriormente son estructuras limitadas a terrenos donde se tenga una capacidad portante superficial adecuada para su construcción sin olvidar que los asentamientos de estos suelos sean mínimos, esto debido a tener estructuras sin ningún tipo de acero de refuerzo lo que origina que sean estructuras que necesitan un buen terreno de soporte con el fin de que puedan funcionar de una manera correcta. Cabe mencionar que los concretos utilizados en este tipo de estribos son de resistencia de 14 Mpa (140 Kg/cm²) [17].

- **Construcción de estribo de gravedad en concreto ciclópeo:** Como primera medida en la construcción de este tipo de estructuras se debe realizar procesos preliminares correspondientes al descapote, topografía con la ubicación de los elementos y seguidamente la excavación hasta encontrar el nivel necesario para la base de estas estructuras que van a ser el soporte del puente.

Después de llegar al nivel de cimentación deseado se hace necesario realizar compactación del terreno con el fin de tener un suelo nivelado. Además es de gran importancia que antes de iniciar el proceso de construcción la base en la que se va a cimentar estas estructuras estén limpias es decir que el terreno no contenga barro u otras impurezas que puedan alterar una base adecuada para la construcción.

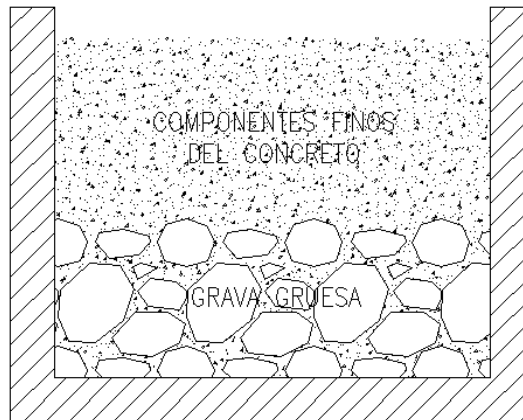
En la mayoría de veces se recomienda el uso de un concreto pobre de limpieza de 5 cm de espesor con el fin de generar una capa de trabajo necesaria para la ejecución del proyecto.

Seguidamente a ello se procede a realizar el encofrado de los estribos. Una recomendación dada para la construcción de estos elementos es que debe realizarse por fases, es decir cada fundida no debe tener una altura superior a un metro con el fin de evitar dificultades en la ubicación de rocas.

Además si el encofrado se realiza con alturas superiores a la recomendada se generan mayores probabilidades de ocurrencia de la segregación del concreto, que consiste en la separación de los materiales que componen el

concreto como consecuencia de tener materiales de mayor densidad. En la figura 21 se observa un esquema de segregación en el que se observa que el agregado de mayor tamaño desciende hasta el fondo de la estructura mientras que las demás componentes se encuentran en la parte superior de esta.

Figura 21. Esquema sobre la segregación del concreto.



FUENTE: Generalidades del concreto. Carlos Quintana.

Debido a las recomendaciones en la construcción de estribos de concreto ciclópeo para llegar a las alturas finales de estas estructuras se deben realizar aproximadamente entre 3 y 5 fundidas. Por lo que es importante que entre cada fase de fundida del concreto se generen unas juntas de aproximadamente 15 cm de altura con el fin de generar un buen comportamiento en el estribo. Cabe aclarar que el tamaño del agregado usado es de un diámetro aproximado entre 20 y 30 cm [27].

- **Construcción de estribo de gravedad en gaviones:** El proceso constructivo para este tipo de estructuras en su fase inicial es muy similar debido a que de igual forma se requiere llegar a la profundidad establecida según las características del terreno y posteriormente realizar la limpieza y nivelación.

Seguidamente a ello se instala un filtro de geotextil de tal forma que cubra el piso y los lados de la excavación. En la figura 22 se observa la adecuación del terreno que se necesita para iniciar con el proceso de construcción de los gaviones.

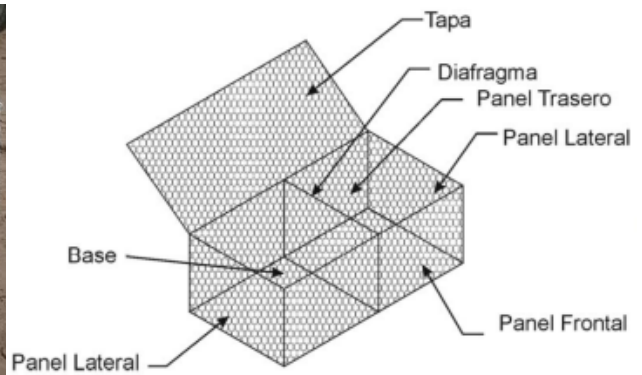
Figura 22. Adecuación del terreno para construcción del estribo de gravedad.



FUENTE: Informe exposición estructuras de contención. Tecnólogo obras civiles. Mario Acuña.

Posteriormente, se empiezan a ubicar las mallas que han sido debidamente transportadas a la obra con el fin de iniciar el proceso de desdoblado de estas para finalmente llenarlas con el material seleccionado. En la figura 23 se observa la forma en que llegan las mallas de los gaviones y como deben quedar con el fin de realizar su respectivo llenado.

Figura 23. Preparación de la malla del gavión antes de iniciar su llenado.



FUENTE: Informe exposición estructuras de contención. Tecnólogo obras civiles. Mario Acuña

Cuando ya se tiene la malla completamente llena de piedra seleccionada se procede a cerrar la pata de la canasta y se cosen todas las aristas superiores a las paredes del gavión. Este procedimiento es realizado uno tras otro hasta obtener la totalidad de la estructura. En la figura 24 se observa cómo se fija la tapa de la canasta después de tener la malla llena de material seleccionado.

Figura 24. Sellado de la malla del gavión después del llenado de la caja.



FUENTE: Informe exposición estructuras de contención. Tecnólogo obras civiles. Mario Acuña

Finalmente después de tener los gaviones necesarios para la conformación del estribo se realiza el proceso de fundida del tablero de acuerdo a su proceso constructivo planteado y se obtienen estribos en los puentes con un nivel de acabado tal como se observa en la figura 25.

Figura 25. Puente construido con estribos y pilas por gravedad de gaviones

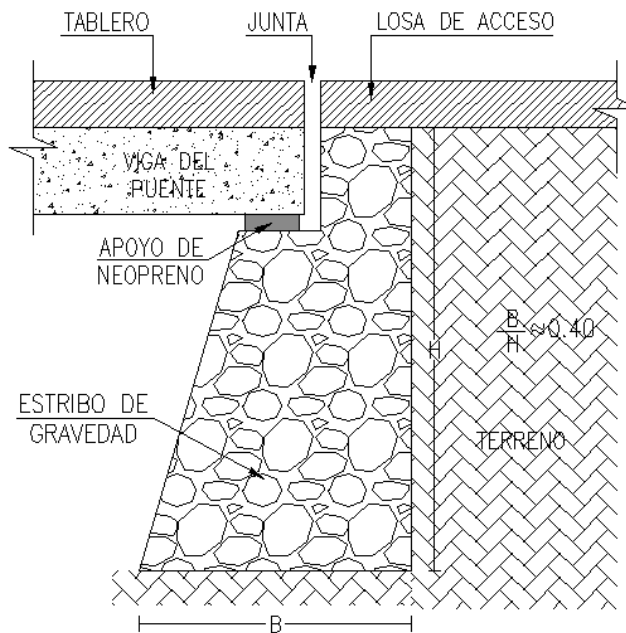


FUENTE: Infraestructura estribos. Universidad de Buenos Aires.

2.1.1.6 Principales características de diseño.

Los estribos de gravedad deben ser estructuras capaces de soportar eventos como deslizamientos y volcamientos generados por el terreno; y además como se ha mencionado deben estar sobre terrenos de buenas características [24]. Una primera aproximación sobre un predimensionamiento de este tipo de estribos es la relación entre la base y altura la cual debe estar en una proporción aproximada de un 40% tal como lo indica la figura 26 [24].

Figura 26. Predimensionamiento del estribo de gravedad en función de su base y altura.

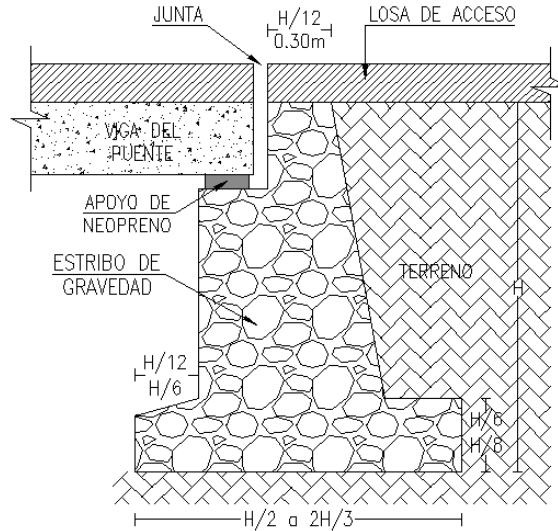


FUENTE: AASTHO –LRFD 2010. Rodríguez A. [24].

Otra de las alternativas planteadas para el predimensionamiento de un estribo de gravedad es el uso de una pata adicional. Este tipo de estructuras es usado cuando se requiere una mayor área de contacto entre el terreno y la estructura generando una mayor fricción entre ellos y permitiendo así una fuerza opuesta al empuje ejercido por el terreno que contiene.

En la figura 27 se observa el predimensionamiento de los estribos de gravedad cuando se necesita el apoyo adicional. Allí se puede observar que dentro de las recomendaciones se encuentra que la parte superior del estribo no sea menor a 30 cm debido a que se necesita una abertura lo suficiente para generar un fácil ingreso de las rocas que conformaran la estructura [17].

Figura 27. Predimensionamiento con pata de los estribos de gravedad.



FUENTE: estudio comparativo entre estribos de concreto armado convencional y sus equivalentes de tierra armada en puentes vehiculares. Jessica Senior. Gema Lozano.

Durante la fase de diseño este tipo de estructuras debido a que son uniformes durante toda su longitud se recomiendan el diseño por ancho unitario, es decir se puede evaluar únicamente un metro de longitud de la totalidad del estribo y este es suficiente para el diseño de todo el elemento.

Dentro de los chequeos que se deben realizar en el diseño de este tipo de estructuras se encuentra el deslizamiento, el volcamiento y además verificar que la capacidad portante del terreno sea suficiente para que el suelo no genere falla. Además durante estas verificaciones algunos autores recomiendan no usar la presión pasiva del terreno para realizar el chequeo, ya que la consideran como un factor de seguridad adicional. Sin embargo el U.S. Army Corps of Engineers recomienda su uso siempre y cuando la base de la estructura se encuentre lo suficientemente empotrada en el terreno [31].

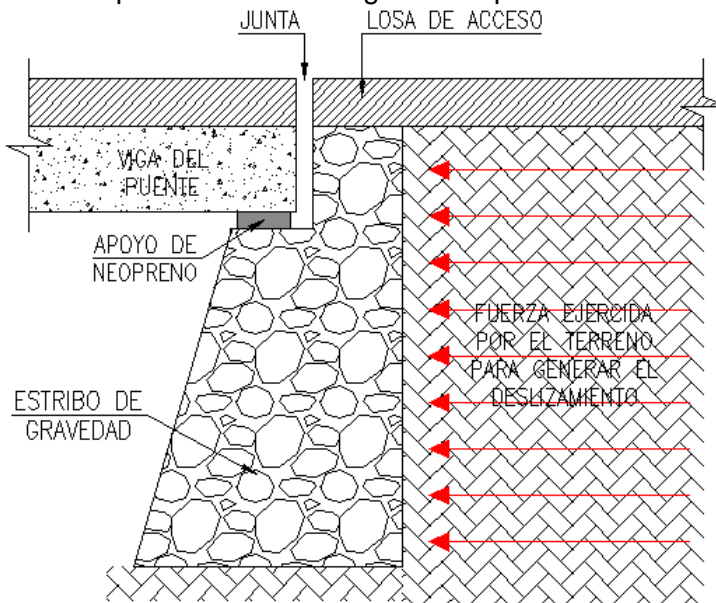
En la fase de diseño para los estribos de gravedad se debe chequear los siguientes aspectos con el fin de evitar fallas futuras en estas estructuras, como son:

- Deslizamiento: Es uno de los tres chequeos que se deben realizar a los muros de gravedad. Esta verificación consiste en calcular la fuerza ejercida por el terreno debido a presiones activas y compararlas con las fuerzas que ejerce el estribo en la dirección contraria [17]. En este diseño se puede

determinar el uso del muro de gravedad con pata con el fin de generar un aumento significativo del área de contacto entre el muro y el suelo al tener una base mayor, esto se realiza con el fin de obtener una mayor estabilidad al deslizamiento.

El factor de seguridad para este tipo de chequeo debe ser superior a 1,5 [17] y se obtiene de calcular las fuerzas ejercidas por el estribo para su estabilización dividido en aquellas que tratan de causarle movimiento a la estructura. En la figura 28 se observa la fuerza que ejerce el terreno al estribo, la cual debe ser soportada con el fin de mantener la estabilidad de la estructura.

Figura 28. Chequeo del estribo de gravedad por deslizamiento.



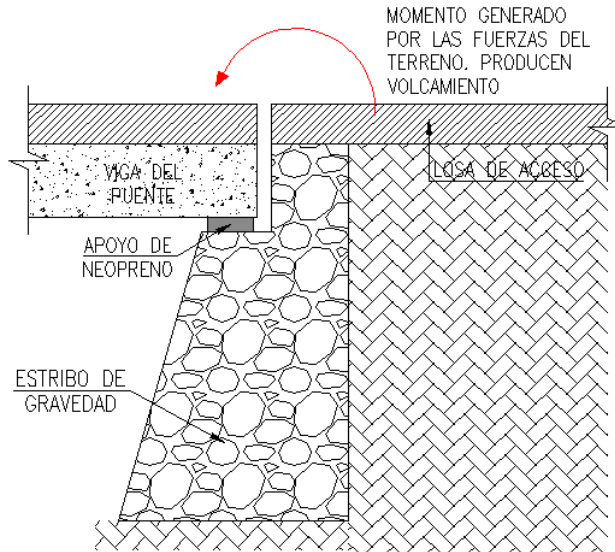
FUENTE: Allan block muros de contención. BreincoLandscaping.

- Volcamiento: Este chequeo consiste en calcular el momento que se ejerce en la parte superior o corona del estribo con el fin de obtener el momento causado por las presiones activas del terreno [26]. Una de las formas de aumentar la fuerza actuante en sentido contrario al volcamiento es el aumento de la base del estribo con el fin de generar una mayor estabilidad y evitar así su falla.

El factor de seguridad para este chequeo debe ser superior a 1,5. Este valor se obtiene de calcular los momentos actuantes de la estructura para lograr su estabilidad y dividirlo en el momento generado por las presiones del

terreno. En la figura 29 se observa el momento que ejerce la presión activa del terreno sobre el estribo.

Figura 29. Chequeo del estribo de gravedad por volcamiento.



FUENTE: Allan block muros de contención. BreincoLandscaping.

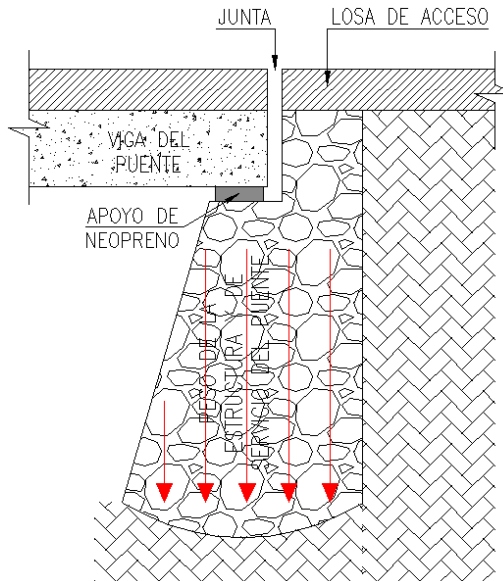
- Capacidad de carga: Este chequeo principalmente depende del terreno que sirve de base a los estribos y consiste en verificar la capacidad portante que tiene el terreno en el nivel de desplante de la estructura con el fin de garantizar que la presión ejercida por el suelo hacia arriba es suficiente para soportar el peso de la estructura más las cargas tanto de servicio como las eventuales (sismos) Adicionalmente se debe controlar que los asentamientos del terreno sean permisibles con la tipología de estribos a utilizar, en el caso de los estribos de gravedad se debe tener un especial cuidado ya que estos no pueden estar sometidos a tensiones debido a que en su construcción no se utiliza acero de refuerzo y los materiales usados trabajan únicamente a compresión [17].

El factor de seguridad en este chequeo debe ser superior a 1,5 y se obtiene de tener la capacidad portante del terreno y multiplicarla por el área de contacto entre la estructura y el suelo, es decir la base del estribo.

Después de obtenido este valor se divide sobre la carga que debe soportar el suelo como consecuencia de la estructura es decir peso propio del estribo, carga generada por el área aferente del puente, cargas de servicio, entre otras.

En la figura 30 se observa los asentamientos que puede generar el obtener una capacidad de carga del suelo inferior a la necesaria para la construcción de la estructura.

Figura 30. Chequeo del estribo de gravedad por capacidad de carga.

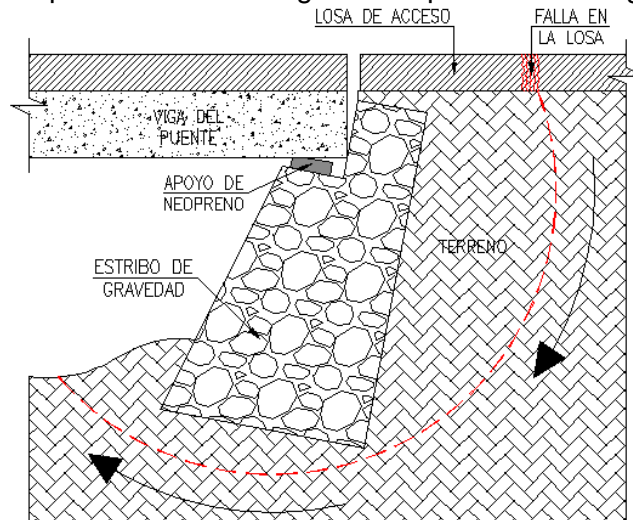


FUENTE: Allan block muros de contención. BreincoLandscaping.

- Estabilidad global: Esta estabilidad consiste en controlar una falla general de la estructura y causada por una ruptura del suelo desde atrás del estribo que pasa por debajo de este generando así una inestabilidad al puente.

En la figura 31 se observa la falla ocasionada cuando no se realiza esta verificación en el suelo, se produce de forma circular y ocurre cuando las características del terreno no son las aptas para servir de soporte al estribo.

Figura 31. Chequeo del estribo de gravedad por estabilidad global.



FUENTE: Allan block muros de contención. BreincoLandscaping.

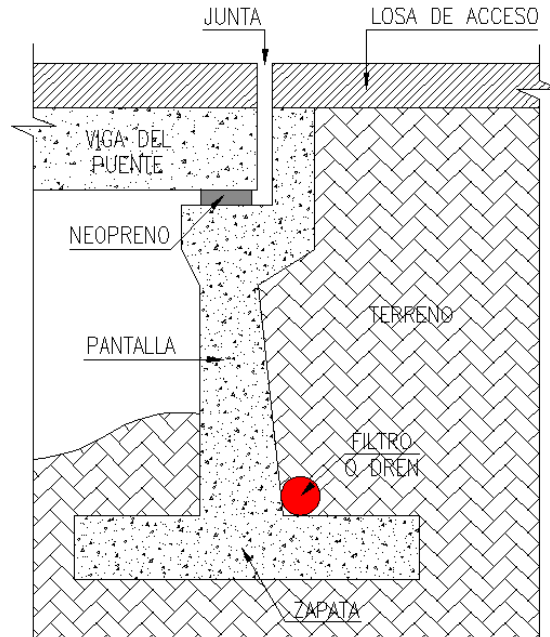
2.1.2 Estribos en voladizo o en cantiliver.

A continuación se da la descripción de esta tipología de estribos donde se incluye las ventajas, limitaciones, procesos constructivos, entre otros, que presenta el estribo en voladizo.

2.1.2.1 Introducción.

Los estribos en voladizo es una de las tipologías más usadas en la construcción de puentes. Esta estructura funciona con la ayuda de una base en la parte inferior del estribo denominada zapata que tiene como función empotrar el estribo en la parte baja [10], [33]. Además es el encargado de soportar las cargas solicitadas por la presión activa del terreno. A diferencia de los estribos de gravedad esta estructura requiere de acero de refuerzo. En la figura 32 se observa los dos principales elementos que conforman esta tipología de estribos (pantalla y zapata).

Figura 32. Estribo en voladizo.



FUENTE: Calculo de muros de contención en voladizo. Julieth Collazos.

2.1.2.2 Características.

Los puentes construidos con estribos en voladizo tienen características similares a los estribos en gravedad en cuanto a su forma más no en su dimensionamiento, es decir que también presentan mayor sección en la parte baja y una disminución de espesor en la parte superior de la estructura, esto como consecuencia de tener presiones del terreno mayores a medida que la estructura se encuentra a una mayor profundidad.

Esta tipología de estribos tiene como uso obligatorio el acero de refuerzo, ya que las secciones son más delgadas que los estribos de gravedad y generalmente por ser de alturas mayores los efectos generados por el suelo a la estructura como son el cortante y la flexión no pueden ser resistidos únicamente con concreto y por ello se hace necesario el uso del refuerzo del acero con el fin de controlar los esfuerzos [12], [17].

Los estribos en voladizo al igual a los de gravedad son estructuras que van disminuyendo su espesor a medida que se va creciendo en altura la estructura, sin embargo se debe garantizar un espesor mínimo en la parte alta del estribo con el fin de facilitar el vaciado del concreto durante su construcción [17].

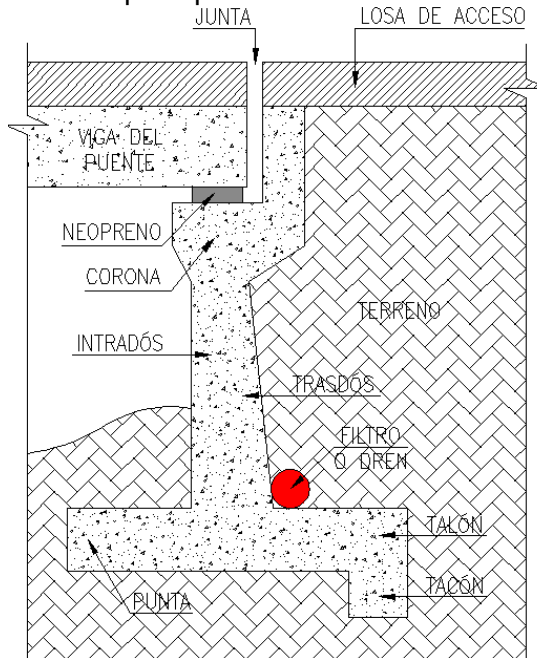
En los estribos en voladizo es de uso obligatorio los filtros o drenes con el fin de controlar las presiones hidrostáticas que se pueden generar por la retención de líquidos en el terreno que contiene el estribo, esto se deriva como consecuencia de tener un material con un mayor grado de homogeneidad que los estribos de gravedad y por consiguiente se genera una estructura impermeable [29]. En caso de no controlarse la concentración de fluido en el estribo esto podría llevar a fallas en las estructuras debido a que el incremento de presiones aumentaría considerablemente [12].

Dentro de las partes principales que contienen los estribos en voladizo se encuentran [27]:

- Punta: Parte de la cimentación del estribo que está ubicada por fuera del terreno a contener.
- Pata o tacón: Elemento adicional a la zapata del estribo usado en ocasiones para obtener mejores comportamientos ante efectos de deslizamiento.
- Talón: Segmento de la cimentación que está ubicada dentro del terreno a contener y por ende presenta las mayores cargas verticales generadas por el suelo.
- Pantalla: Parte de estribo encargado de soportar el terreno que contiene el estribo del puente con el fin de generar la calzada de acceso a estas estructuras.
- Intradós: Parte de la pantalla que no se encuentra en contacto con el terreno contenido por el estribo.
- Trasdós: Parte de la pantalla que se encuentra en contacto con el terreno contenido por el estribo.

A continuación en la figura 33 se observa las principales partes que conforman un estribo en voladizo.

Figura 33. Partes principales de los estribos en voladizo.



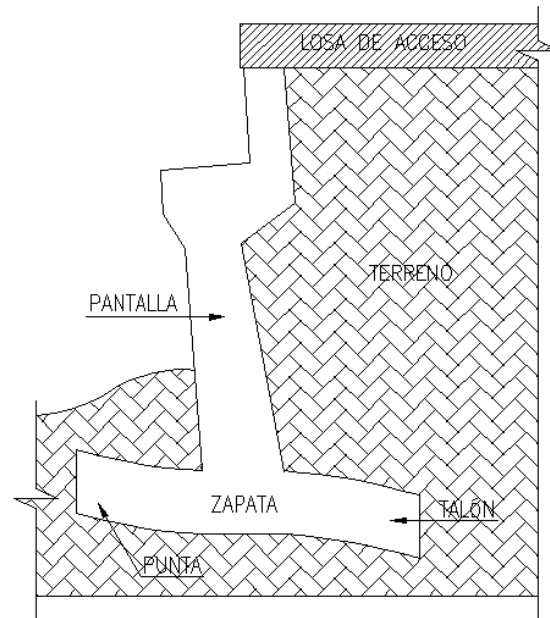
FUENTE: Estudio comparativo entre sistemas de muros de contención de tierra mecánicamente estabilizada con geosintéticos y muros de concreto reforzados. Dolly Álvarez. Carlos Saurith [27].

El refuerzo principal en los estribos en voladizo se encuentra principalmente en los sectores que se encuentran sometidos a mayores momentos generados principalmente por el terreno.

En el muro el refuerzo principal está en la cara que se encuentra en contacto con el terreno, donde este se encuentra protegido con la ayuda del recubrimiento que le brinda el concreto (este recubrimiento es dado según la normativa de cada país y generalmente puede variar entre 4 y 7 centímetros). El acero del muro es mayor en este sector ya que el terreno intenta flexionar el muro hacia el otro sentido.

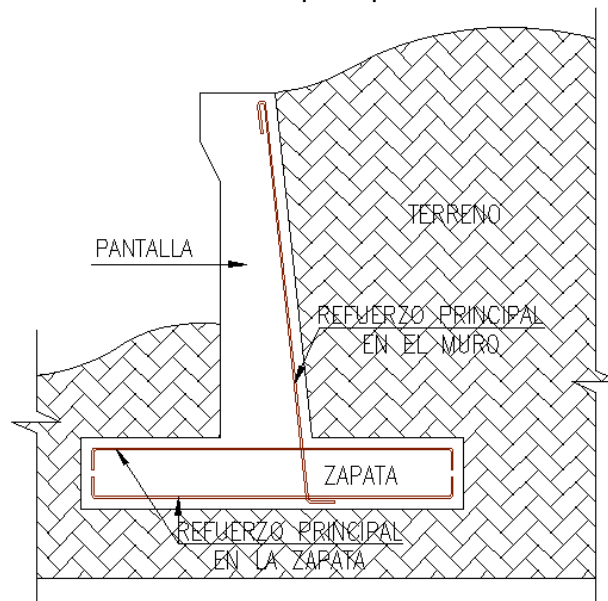
El acero en la zapata se encuentra ubicado tanto por la parte superior como inferior debido a que el terreno empuja hacia abajo en la parte del talón como consecuencia del sobrepeso generado por el terreno y además ya que genera una carga hacia arriba intenta girar la punta del estribo [17]. En la figura 34 se muestra las deformaciones que intenta generar el terreno sobre el estribo debido a las cargas antes mencionadas.

Figura 34. Deformaciones generadas por el terreno sobre el estribo.



Con el fin de controlar los esfuerzos causados por estas deformaciones se hace necesario ubicar el refuerzo en este tipo de estructura [17]. En la figura 35 se observa los principales refuerzos que deben tener los estribos ocasionados debido a las cargas del terreno.

Figura 35. Ubicación del refuerzo principal en los estribos en voladizo.



Los estribos en voladizo generalmente son económicos para alturas entre 4 a 10 metros [12], [24]. En la figura 36 se observa un puente construido con estribos en

voladizo o cantiléver, en donde se observa que tanto el tablero como el estribo no se encuentran integrados y adicionalmente el tablero se encuentra sobre un apoyo de neopreno.

Figura 36. Puente construido con estribos en voladizo.



FUENTE: Infraestructura estribos. Universidad de Buenos Aires.

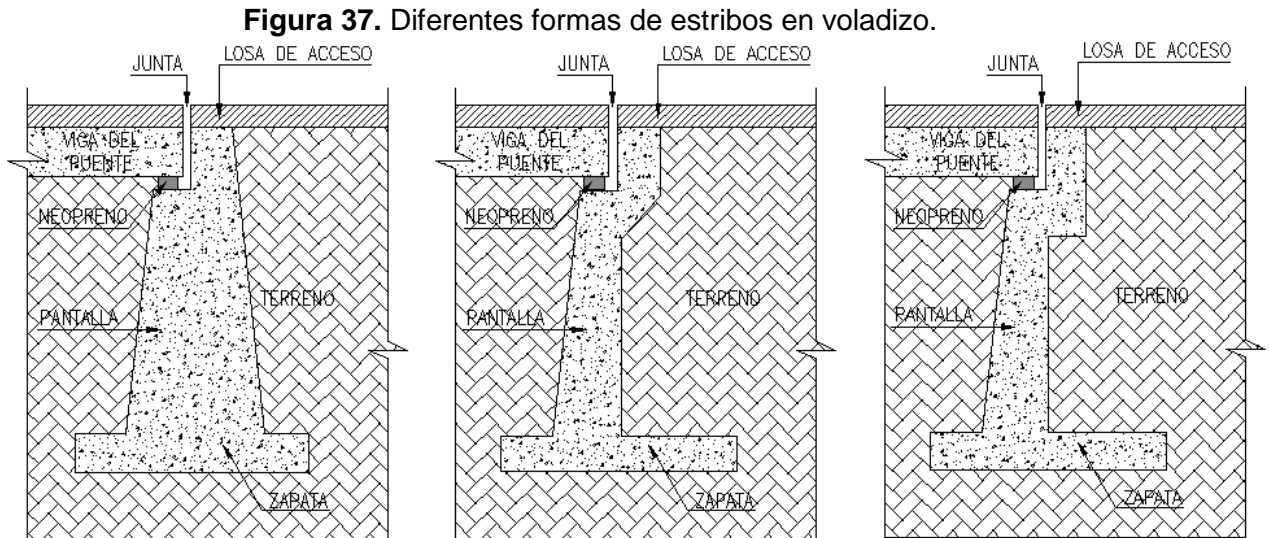
Los estribos en voladizos son adecuados cuando no se tiene presencia de una buena capacidad portante en el terreno. Además son de gran solución cuando los agregados son escasos y el transporte de estos no es económico [24].

2.1.2.3 Clasificación.

La clasificación de los estribos en voladizo depende básicamente de su geometría mas no de los materiales usados como es el caso de los estribos en gravedad. El único material usado para estos estribos es el concreto reforzado debido a los esfuerzos que son sometidos estos elementos.

Dentro de la tipología de estribos en voladizo más usada se encuentra la denominada “T invertida” [12], que consiste en construir la zapata con una suficiente ancho de tal forma que se tengan principalmente dos beneficios, por una parte se logra una mayor estabilidad al tener una mayor base y adicionalmente el mismo peso del terreno que está intentando volcar el estribo sirve de restricción debido a que ejerce una carga vertical sobre la zapata [10], [27]. Conjuntamente al tener un mayor ancho de zapata la estabilidad por deslizamiento es mayor debido a que hay una mayor área de contacto entre la estructura y el terreno [12].

En la figura 37 se muestra diferentes formas de estribos en voladizo que como se puede observar varían geoméricamente dependiendo de las sollicitaciones de diseño, como son el cortante y el momento flector los cuales dependen de las características del terreno, la altura del estribo, el nivel de desplante de la estructura, entre otros.



FUENTE: Descripción del puente y breve detalle de memoria de cálculo ante carga vertical. Escuela politécnica del ejército [10].

2.1.2.4 Limitaciones.

Dentro de las principales limitaciones que presentan los estribos en voladizo se encuentran:

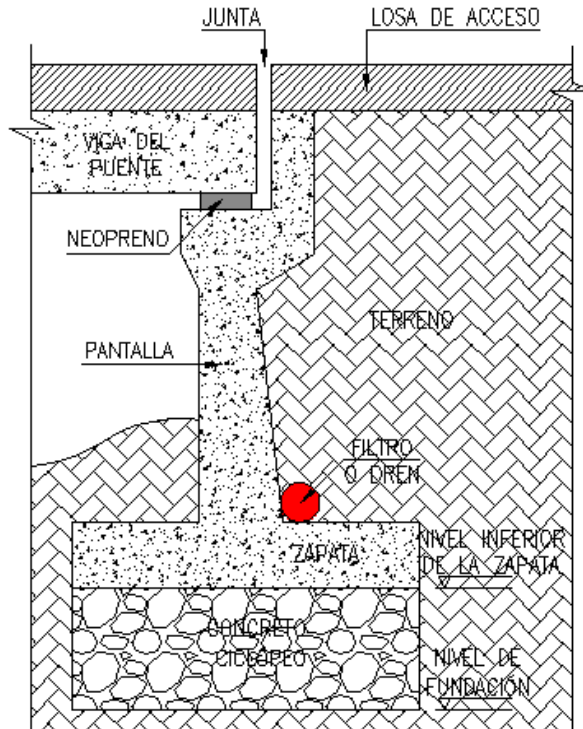
- Son limitados en función de su altura al igual que los estribos de gravedad, sin embargo son usados con una mayor frecuencia debido a que su construcción puede estar en el orden de los 10 metros de altura además de poder ser usados donde la capacidad portante superficial no es la mejor.
- Debido a su peso es menor en comparación con los estribos de gravedad se debe tener un mayor cuidado en el análisis de estabilización y deslizamiento del estribo. Por esta razón es que en ocasiones se debe usar el tacón en los estribos.
- Al igual que los estribos de gravedad al no estar integrado con la superestructura en casos de eventos sísmicos de gran magnitud tendrían una mayor posibilidad de sufrir un colapso como consecuencia de ello.

2.1.2.5 Proceso de construcción.

Inicialmente al igual que en la gran mayoría de obras civiles se debe realizar un descapote seguidamente del replanteo de la estructura. Después de esto se inicia el proceso de excavación en el que se debe llegar a la capacidad portante recomendadas en los estudios preliminares a la construcción.

En caso que la capacidad portante del terreno se encuentre por debajo del nivel inferior de la zapata del estribo como consecuencia de referir una mayor capacidad portante entonces se recomienda el uso de concreto ciclópeo desde el nivel de zapata hasta el nivel de capacidad portante deseado. En la figura 38 se observa la alternativa planteada con concreto ciclópeo cuando la capacidad portante deseada según los estudios preliminares indica que el nivel de fundación se encuentra por debajo del nivel inferior de la zapata.

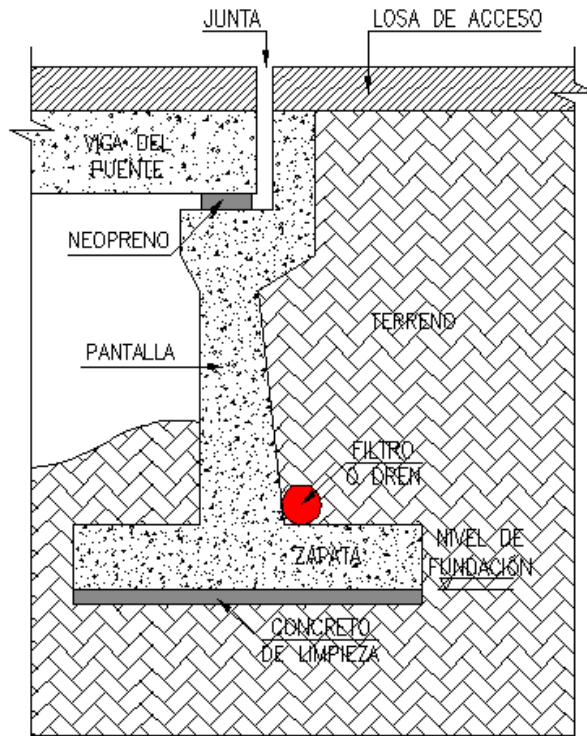
Figura 38. Alternativa usada cuando el nivel de fundación se encuentra por debajo del nivel inferior de la zapata.



Cuando se tienen capacidades portantes a nivel superficial deseadas según el proyecto a ejecutar no se debe olvidar que siempre se debe tener qué la zona de fundación siempre debe estar libre de barro, agua o materiales extraños. Debido a esto se recomienda realizar un concreto de limpieza con el fin de proteger el terreno de fundación. En la figura 39 se muestra el uso de concreto pobre o de

limpieza que consiste en una capa fina ubicada debajo de la base de la zapata de tal forma que a la hora de realizar el armado del refuerzo no descansa sobre el suelo, cabe aclarar que este concreto no es estructural.

Figura 39. Recomendación para el uso del concreto de limpieza en la cimentación.



Después de tener nivelado y compactado el nivel de fundación de la estructura se procede a realizar el armado del estribo. En la figura 40 se observa la ubicación del refuerzo de un estribo en voladizo después de haberse realizado la nivelación del terreno.

Figura 40. Colocación del armado en un estribo en voladizo.



FUENTE: Puente San Lorenzo en el distrito alto andino de Kañaris. Perú.

Posteriormente se inicia el proceso de encofrado con el fin de tener un molde temporal que permita dar la forma deseada del concreto. En la figura 41 se observa el proceso de encofrado del estribo de un puente construido en voladizo.

Figura 41. Encofrado de un estribo en voladizo.



FUENTE: Proyecto C3L2 003. Construcción del puente Warpa Picchu. Municipio Carmen Alto. Perú.

Finalmente se realiza el proceso de vaciado de concreto con el fin de obtener el estribo que posteriormente servirá de apoyo para el tablero del puente o del paso elevado. En la figura 42 se observa el estribo después de realizado el proceso de fundida.

Figura 42. Etapa final de la construcción de un estribo en voladizo.



FUENTE: GOOGLE imágenes.

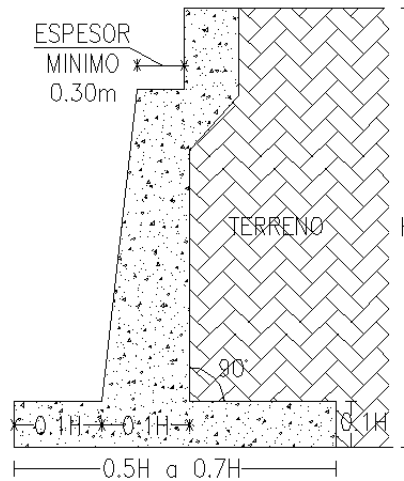
2.1.2.6 Principales características de diseño.

Para poder realizar el diseño de un estribo se debe seguir el mismo procedimiento que se ejecuta para cualquier otra estructura es decir primero se debe realizar un predimensionamiento para posteriormente realizar los respectivos chequeos y así determinar si las dimensiones propuestas son aptas o si por el contrario se encuentran sobre diseñado o no resiste las capacidades solicitadas.

Como primera medida el predimensionamiento de un estribo en voladizo está sujeto principalmente a la altura de esta estructura es por esto que según el autor Braja (2001) establece un predimensionamiento geométrico que debe tener el estribo en función de la altura del talud a contener. Sin embargo esta no es la única limitante que define el diseño final de la estructura debido a esto como ya se mencionó es solo un predimensionamiento [19]. Adicionalmente a su altura hay otras limitantes como son las características del suelo, la resistencia de los materiales a usar, el suelo de relleno usado para poder generar la losa de acceso al puente, entre otros.

En la figura 43 se observa una gráfica que define el predimensionamiento de los muros en voladizo en función de una limitante como es la altura del muro.

Figura 43. Predimensionamiento de estribo en voladizo en función de su altura.



FUENTE: Braja 2001. Predimensionamiento de estribo en voladizo.

Dentro de los chequeos que se deben realizar en los estribos se encuentran principalmente la verificación al volcamiento, deslizamiento y adicionalmente que la zapata del estribo tenga el suficiente tamaño de tal forma que evite tensiones en el terreno. En el caso de no cumplir alguno de estos tres parámetros se deberá realizar un aumento de sección en el estribo hasta obtener una estructura capaz de ser estable y adicionalmente capaz de resistir con las cargas solicitadas.

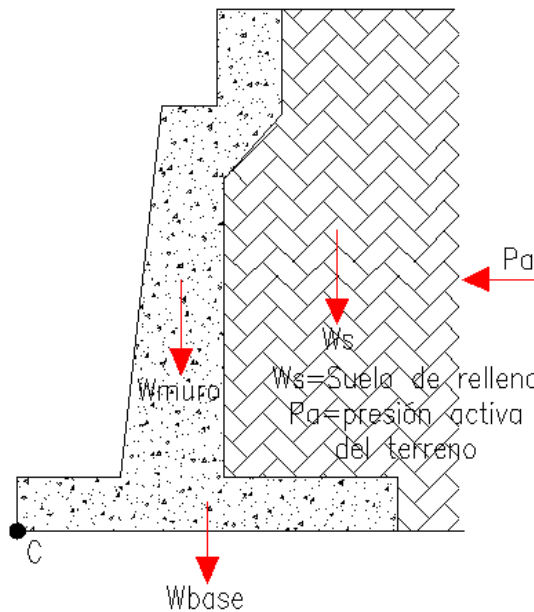
A continuación se explica cada una de las tres etapas correspondientes al diseño de un estribo en voladizo:

2.1.2.6.1 Verificación al volcamiento.

Este chequeo se realiza para evitar que la estructura tenga un sobreesfuerzo que pueda ocasionar la inestabilidad de la estructura. Esta primera fase de diseño consiste en realizar momentos en la punta de la zapata (punto c) teniendo en cuenta que las cargas que inducen al volcamiento como es el caso del empuje activo del terreno y comparándolas con los momentos que ayudan a generar la estabilidad frente a esta condición como es el caso del peso del suelo de relleno y el peso propio del muro [19]. Sin embargo en los estribos en voladizo el peso de la estructura no es significativo como en el caso de los estribos de gravedad donde el material utilizado es mayor y por ende el peso de la estructura genera una mayor estabilidad frente a este fenómeno.

En la figura 44 se observa las fuerzas mencionadas y el punto donde se realizan los momentos con el fin de verificar la estabilidad por volcamiento de los estribos.

Figura 44. Fuerzas actuantes para la verificación al volcamiento. Estribo en voladizo



FUENTE: Universidad de cuenca. Miguel Méndez. Christian Morocho.

A continuación se muestra la formula general que permite calcular el factor de seguridad por volcamiento el cual debe ser mayor de 1,5.

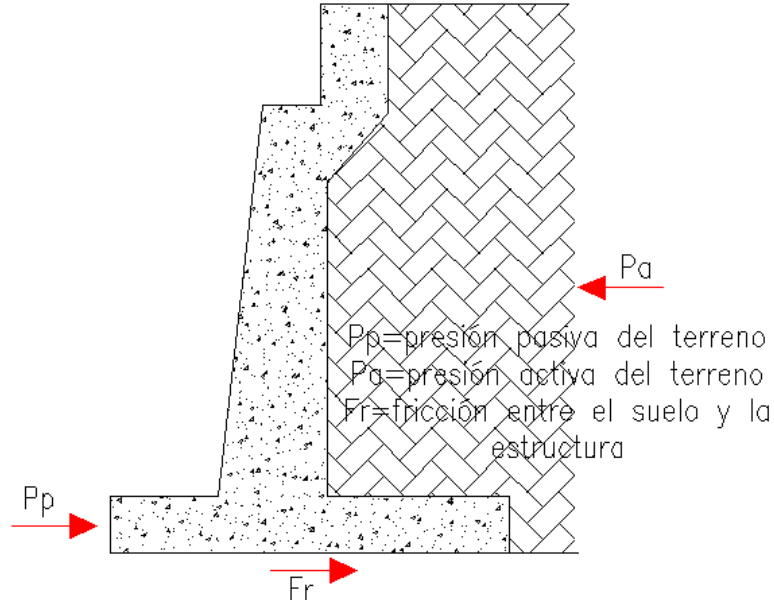
$$FS \text{ volcamiento} = \frac{\sum \text{momentos resistentes}}{\sum \text{momento actuante}} = \frac{\sum \text{momentos resistentes}}{Pa * \bar{y}}$$

2.1.2.6.2 Verificación al deslizamiento.

La verificación al deslizamiento consiste en chequear que las fuerzas que generan el deslizamiento como es el caso de la presión activa del terreno sean menor que las fuerzas resistentes al deslizamiento como pueden ser la fuerza de fricción generada entre la base de la estructura y el terreno y la presión pasiva[19]. Sin embargo algunos autores recomiendan que la presión pasiva no se involucre en el chequeo de esta verificación y lo que recomiendan es que esta fuerza se tenga como un factor de seguridad adicional.

En la figura 45 se observan las fuerzas actuantes y las fuerzas resistentes al deslizamiento del estribo.

Figura 45. Fuerzas actuantes para la verificación al deslizamiento. Estribo en voladizo



FUENTE: Universidad de cuenca. Miguel Méndez. Christian Morocho.

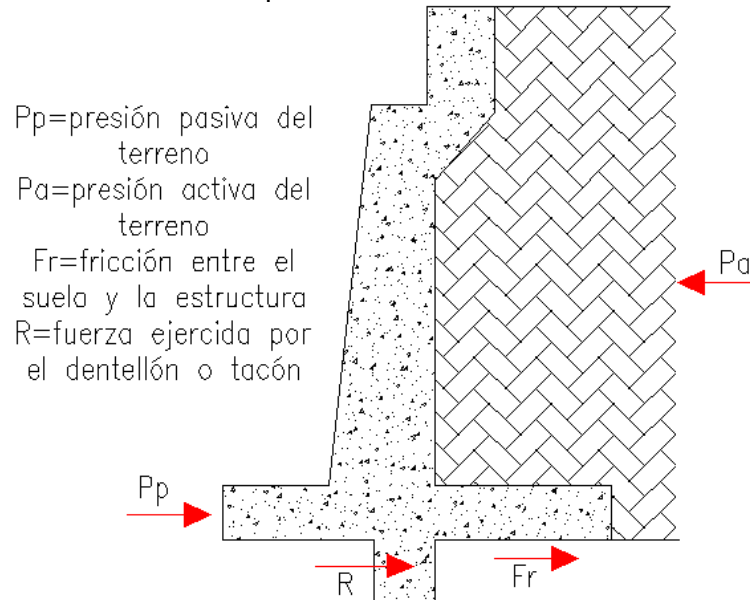
La fórmula que permite calcular el factor de seguridad por deslizamiento es la mostrada a continuación la cual debe dar como resultado un factor de seguridad mayor o igual a 1,5.

$$FS_{\text{deslizamiento}} = \frac{\sum \text{fuerzas resistentes horizontales}}{\sum \text{fuerzas actuantes horizontales}}$$

En el caso que el factor de seguridad no sea superior a 1,5 hay una alternativa que puede ser la solución frente a este chequeo y consiste en el uso de un tacón o dentellón ubicado en la base del muro que tiene como objetivo generar una fuerza opuesta a la presión activa del terreno ocasionando así un mayor valor en las fuerzas resistentes de la estructura [17].

En la figura 46 se observa la solución del tacón donde se puede apreciar que es ubicado casi de forma lineal con el muro del estribo.

Figura 46. Dentellón adicional que puede ser usado para aumentar el factor de seguridad por deslizamiento.



FUENTE: Universidad de cuenca. Miguel Méndez. Christian Morocho.

2.1.2.6.3 Dimensión de la base del muro.

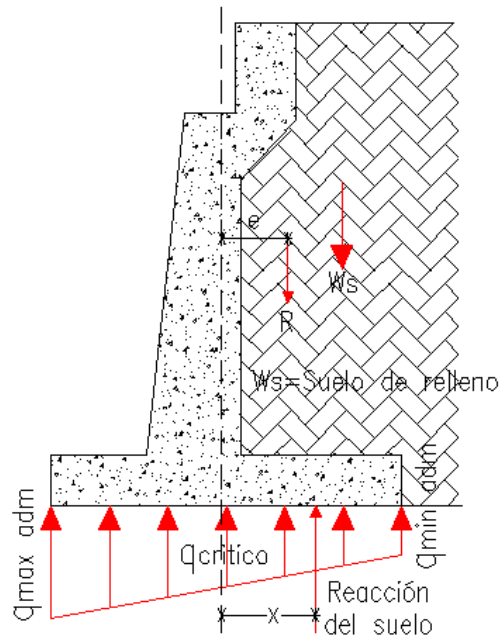
Este chequeo es realizado con el fin de garantizar que no existan fuerzas a tensión en algún extremo de la zapata del muro, ya que si esto ocurre se generarían tensiones en el terreno y por ende fallas en la estructura. Cabe recordar que el terreno trabaja por compresión [19]. El método de realizar este chequeo consiste en generar una excentricidad no mayor a 1/6 de la base del estribo y así verificar que la fuerza resultante de todas las cargas no produzca esfuerzos de tensión en ningún extremo de la base del muro.

A continuación se muestra la fórmula para determinar la excentricidad medida desde el centro de la base del muro recordando que este valor no puede ser mayor a 1/6 de la base.

$$e = \frac{B}{2} - \frac{\sum \text{momentos resistentes} - \sum \text{momentos actuantes}}{\sum \text{fuerzas verticales}}$$

En la figura 47 se observa el diagrama de fuerzas con su respectiva resultante ubicada a una excentricidad (e).

Figura 47. Diagrama de fuerzas actuantes sobre el talón del muro.



FUENTE: Universidad de cuenca. Miguel Méndez. Christian Morocho.

2.1.3 Estribos con contrafuertes.

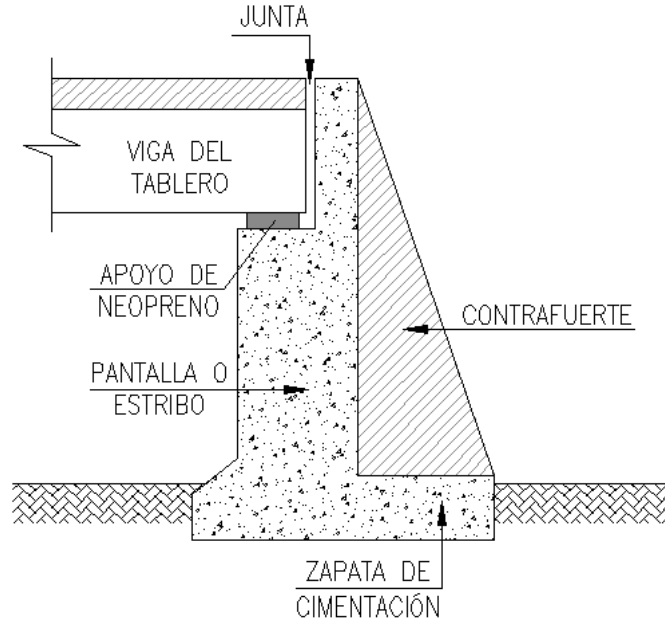
Al igual que los estribos en voladizo este tipo de estructuras se encuentra conformado por una pantalla vertical empotrada en una losa horizontal denominada zapata [27], [33]. Sin embargo la diferencia radica en la construcción de un muro adicional ubicado de forma perpendicular a las aletas que conforman el estribo [10]. Por esta razón se considera este tipo de estribo como una modificación necesaria para los estribos en voladizo cuando se tienen grandes alturas [12].

Debido a lo antes mencionado se darán una serie de diferencias entre los estribos en voladizo y los estribos con contrafuertes, sin entrar de manera detallada a enumerar cada una de particularidades que presenta este sistema estructural.

Los contrafuertes son necesarios cuando se requieren de estribos de alturas considerables. Como bien se sabe al aumentar la altura de un estribo y más aun estando en voladizo los espesores de los muros aumentan. Debido a ello se hace necesario incorporar los contrafuertes cuya función principal es servir de apoyo a los muros, con el fin de tener menores espesores y por ende menos consumo de material, tanto del concreto como del acero de refuerzo [27].

De forma general se recomienda el uso de estribos con contrafuertes cuando su altura es superior a los 10 metros [10], [12], [33]. En la figura 48 se observa las principales partes que conforman los estribos con contrafuertes.

Figura 48. Principales partes de los estribos con contrafuertes.



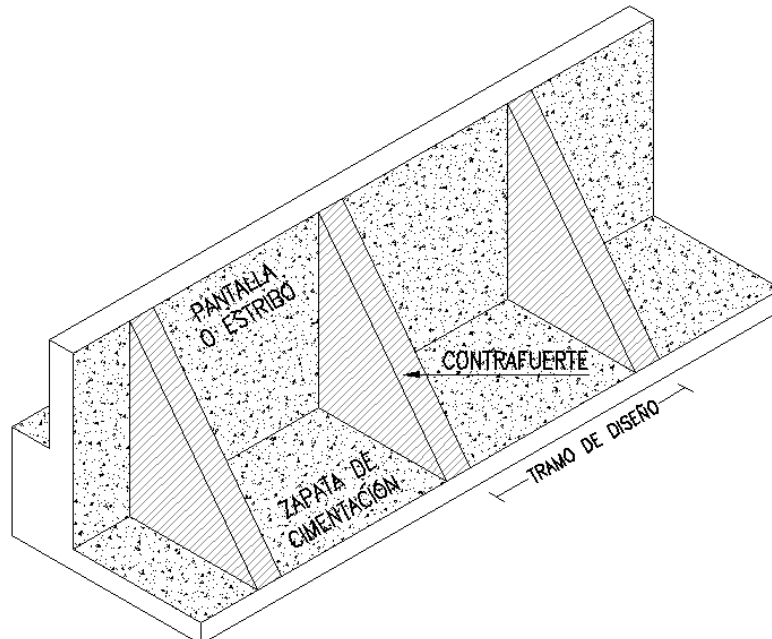
FUENTE: Escuela politécnica del ejército. Cimentaciones de estructuras, estribos de puentes [10].

Como se puede observar a nivel visual la diferencia solo radica en la incorporación del contrafuerte, sin embargo se debe tener un especial cuidado ya que el diseño de estas estructuras se realizan de forma diferente a los estribos en voladizo, debido a que el refuerzo principal pasa de ser vertical a estar ubicado horizontalmente. Esto sucede ya que los contrafuertes sirven de apoyo a los muros del estribo, generando así menores momentos que si estuviera en voladizo. Por esta razón el diseño de los contrafuertes debe tener un especial cuidado ya que son las estructuras que están soportando la presión ejercida por el terreno al estribo [12].

En el diseño de los contrafuertes se debe tener en cuenta que esta es la estructura que va a soportar la mayor sollicitación de carga generada por el terreno, ya que las aletas o pantallas del estribo descansan sobre el contrafuerte [12].

Se debe tener en cuenta que los estribos con contrafuertes no se pueden evaluar por metro lineal como en el caso de los estribos de gravedad o en voladizo, debido a que sus apoyos son diferentes; su diseño se realiza por tramos conformados entre la separación de los contrafuertes [17]. En la figura 49 se muestra el tramo de estructura que se debe evaluar para el diseño de los estribos con contrafuertes.

Figura 49. Tramo de estructura necesaria para evaluar el comportamiento de un estribo con contrafuertes.



FUENTE: Escuela politécnica del ejército. Cimentaciones de estructuras, estribos de puentes [10].

Durante la fase de diseño y construcción se debe garantizar que los contrafuertes sean lo suficientemente rígidos y además que sean capaces de resistir con las solicitaciones necesarias para la estabilidad del puente y del estribo [31].

Finalmente se puede decir que este tipo de estructuras requiere los mismos chequeos de estabilidad que los estribos en voladizo y de igual forma se pueden realizar elementos adicionales que permitan la estabilidad del estribo como es el caso del tacón utilizado para brindar estabilidad frente al deslizamiento [33].

3 PUENTES CON ESTRIBOS INTEGRALES. VENTAJAS, LIMITACIONES, PROCESO CONSTRUCTIVO Y PRINCIPALES CARACTERISTICAS DE DISEÑO.

Con el desarrollo en infraestructura vial que está teniendo nuestro país se requiere el uso de sistemas industrializados que permitan un menor tiempo de ejecución en obras, menores costos de mantenimiento y un mejor comportamiento de estructuras antes eventos extraordinarios debido a la alta sismicidad que se presenta [18].

Es por ello que a continuación se describirá un sistema que se ha venido implementando con buenos resultados en países como Estados Unidos, Alemania, España, Chile, Gran Bretaña, Suiza entre otros [15].

Cabe resaltar que en los últimos años no se ha presentado una evolución en términos de la subestructura de puentes en Colombia, limitándose siempre a estribos tradicionales donde no hay ningún tipo de integración. Consecuencia de ello nos hemos estancado frente a otros países incluso suramericanos, en términos de implementación de puentes con estribos integrales.

3.1 INTRODUCCION.

Los puentes con estribos integrales son estructuras cuyo objetivo ha estado centrado en mejorar las deficiencias que se han presentado en puentes con estribos tradicionales.

Una de las posibles razones por la cual este sistema constructivo no ha sido implementado en nuestro país es tal vez por la poca demanda que se ha requerido en la construcción de pasos elevados y puentes de pequeñas luces. Sin embargo dado el desarrollo del país y la creciente demanda de nuevos vehículos se hacen necesaria la búsqueda a la incorporación de estructuras que tengan un menor costo de mantenimiento, mayor estabilidad ante eventos sísmicos, un mejor confort al usuario, entre otros [22].

Debido a lo antes mencionado se ve la necesidad de generar un capítulo que pretende dar a conocer un sistema de construcción utilizado en países con un mayor desarrollo, los cuales han sido de gran ayuda en el campo de la reducción de costos por mantenimiento y la estabilidad global de la estructura.

La construcción de puentes ha experimentado en los últimos años cambios en los procesos constructivos derivados de las nuevas tecnologías, materiales construidos por el hombre, necesidad en la disminución de costos y el uso de estructuras más cómodas a la hora de ser usadas [30].

Los puentes con estribos integrales son estructuras monolíticas que trabajan como un solo conjunto ante la eventualidad de un sismo, razón por la cual proporcionan un mejor comportamiento dinámico [4][11], [18]. Estos puentes son de rápida construcción, además cabe aclarar que los puentes con estribos integrados tienen un costo inicial mayor pero que comparados con los puentes convencionales requieren un menor mantenimiento lo que genera costos menores a mediano y largo plazo [14], [30].

Es importante tener en cuenta que la construcción con este sistema de estribos hoy en día está siendo implementada por países latinoamericanos que se encuentran ubicados en zonas de alta sismicidad debido a que se ha observado un mejor comportamiento en estas estructuras que en los estribos tradicionales. Es por esto que países como Chile debido al terremoto del 27 de febrero del 2010 se vieron obligados a incorporar nuevos aspectos en el diseño y cálculo de estructuras con el fin de mejorar su comportamiento sísmico, introduciendo así el uso de puentes con estribos integrales [3], [8].

Como ventaja en el proceso de construcción se encuentra la eliminación de juntas y aparatos de apoyo requeridos en los puentes tradicionales [30], [32]. Sin embargo con el fin de obtener comportamientos deseables se hacen necesarios el uso de estribos que tengan cierto grado de flexibilidad para absorber las deformaciones generadas por el uso continuo del puente sin que esto lleve a un fallo de la estructura [14], [18].

Se ha observado que los puentes con estribos tradicionales generan mayores costos de mantenimiento que los puentes con estribos integrales [32]. Es por esto que países con grandes redes viales se han preocupado por tener estructuras con un mayor tiempo de duración, un menor costo de mantenimiento y un mejor confort en su uso [30]. En países industrializados ha llegado al punto en que se hacen de un nivel obligatorio su construcción y diseño por medio de esta tipología, siempre y cuando las características del puente lo permitan [32].

Estados Unidos con el paso de los años se ha dado cuenta del gran costo que se genera por mantenimientos en puentes, ya que tiene la red más extensa y un gran

número de puentes antiguos [23]. En el año 2003 se registró 160.570 puentes funcionalmente obsoletos o estructuralmente deficientes lo que corresponde al 27% del total de puentes en Estados Unidos; además un estimado de costos de 9.4 billones de dólares que deben ser invertidos en los próximos 20 años para el mantenimiento de estas estructuras [18], [32].

Países industrializados como Alemania, Reino unido, España han visto una gran importancia en construir puentes con estribos integrales al punto que los han vuelto de obligatoriedad siempre y cuando sea técnicamente posible la construcción de estas estructuras [18]. Esto se debe a que no requieren con la misma frecuencia operaciones de mantenimiento y conservación, que los puentes con estribos tradicionales.

Cabe aclarar que se estima que cerca del 80% de puentes de pequeñas luces y pasos elevados construidos serian aptos para ser realizados con estribos integrales [3], [14], [25], [28].

3.2 HISTORIA

Estados Unidos como ya se mencionó anteriormente tiene una gran experiencia en esta tipología de puentes y cuenta actualmente con unos 13000 puentes construidos con estribos integrales [11], [18]. El departamento de transporte de Ohio fue la primera en usar estructuras continuas en el año 1930 [16]. En la figura 50 se observa el puente “TeensRun Bridge” en Ohio, Estados Unidos, lo que para muchos autores corresponde a el primer puente integral en la época de puentes modernos [2].

Figura 50. Primer puente de la época moderna construido con principios de integrar la superestructura con la subestructura.



FUENTE: Integral Bridges. Chapter 1. Frank A. Clark.

Desde entonces en diversos lugares se han tratado de incorporar el uso de puentes integrales, por ejemplo en 1970 Nueva York entro hacer parte de los estados que adoptaron este sistema de construcción de estribos, por lo que hoy en día cuenta con un aproximado de 450 puentes integrales. El manual que rige a Estados Unidos en el diseño de puentes con estribos integrales es el New York State Bridge Manual [18].

Debido a los continuos avances presentados por Estados Unidos, fue que en el año 1989 el Reino Unido publicó el llamado maunsellReport que consistía en una serie de resultados después de realizada una inspección aleatoria de un conjunto de 200 puentes en el que se manifestaba que las juntas de dilatación era una fuente significativa de costos por mantenimiento, como consecuencia a ello el departamento de transportes Británico, 6 años más tarde publico unos documentos denominados DesignforDurability (Diseño por durabilidad) en el que se recomendaba el uso de puentes con estribos integrales [32].

Con el fin de conocer mejor los esfuerzos, comportamiento y movimientos en los estribos integrados en los últimos años se ha monitorizado diversos puentes integrales como en Finlandia el puente “Haavistonjoki” en el año 2003 en el cual se obtuvo datos de desplazamiento, rotación, empuje de tierras, desplazamiento de la superestructura y variaciones térmicas generadas en el estribo. Además otros países como Suecia y Alemania también han estado involucrados en el monitoreo de este tipo de estructuras con el fin de obtener datos que permitan conocer un comportamiento más real de estas estructuras [18].

Adicionalmente puentes en España como el situado en la provincia de Ávila han sido igualmente monitorizados e instrumentados el cual consta de un tablero de losa maciza postensada que se encuentra unida rígidamente a pilas y estribos. Estos estribos tienen una altura de 1,2 metros desde la cabeza de los micropilotes hasta el tablero y consta de 5 micropilotes metálicos de 22,5 centímetros de diámetro los cuales dan la flexibilidad necesaria para los movimientos horizontales [5], [7] en la figura 51 se observa algunas fotografías del puente. El ancho total de este tablero es de 9 metros [2].

Figura 51. Puente integral instrumentado en la provincia de Ávila, España.



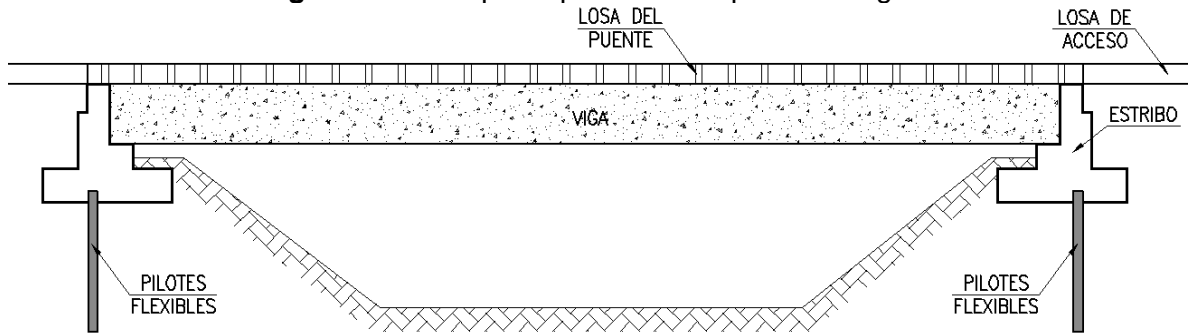
FUENTE: Estudio teórico y experimental de temperaturas y deformaciones en un puente integral. AmetsBerecibar [2].

Con el monitoreo e instrumentación que se ha presentado en los últimos años en los puentes integrales ha permitido que los países industrializados generen manuales de diseño que contemplan limitaciones, longitudes, esviaje y curvatura recomendadas para un buen funcionamiento de este tipo de puentes[29], [34].

3.3 CARACTERISTICAS

Los puentes integrales están conformados por las mismas partes que los puentes convencionales ya que ambos tienen una superestructura, subestructura y la cimentación básica. Además el proceso de construcción es muy similar, sin embargo la diferencia radica en el enfoque de diseño que se realiza con respecto a la unión entre el puente y la losa de transición [25]. En la figura 52 se muestran las principales partes de un puente integral.

Figura 52. Principales partes de un puente integral.



FUENTE: Proceso constructivo de puentes integrales cortos. Sinue de la Vega García [9].

Dentro de las ventajas principales que presentan los puentes con estribos integrados se encuentran [2], [18]:

- Una mejor funcionalidad ya que el usuario no percibe las singularidades presentes en las juntas [29].
- No se generan problemas en la transición calzada-estructura debido a que al estar integrado estos dos elementos la deformabilidad es la misma.
- No requieren operaciones costosas y frecuentes por sustitución de juntas y aparatos de apoyos.

Debido a la experiencia que se ha tenido con los años sobre puentes integrales se ha observado que aquellos que presentan un mejor funcionamiento son los que tienen en promedio longitudes de 90 metros o menos, ya que en puentes con mayores longitudes se presentan limitaciones como consecuencia de las deformaciones propias de la estructura causadas por los mismos materiales que lo componen, como es el caso de la retracción por fraguado y temperatura [6], [25].

En la figura 53 se observa el puente OverHokviksan el cual fue construido en 2004 y sirvió para reemplazar un antiguo puente de concreto en arco convencional. El puente tiene 7 metros de ancho y 42 metros de longitud, se encuentra conformado por 8 pilares.

Figura 53. Puente integral OverHokviksan



FUENTE: Evaluation of in-situ measurements of composite bridge with integral abutments. Martin Nilsson [22].

Sin embargo en Estados Unidos se han realizado puentes con esta tipología con 150 metros de longitud e incluso el estado de Tennessee logra superar los 240 metros en la construcción de puentes integrados [2], [4], [20]. Adicionalmente esta tipología de puentes no limita arquitectónicamente la estructura [28]. En la figura 54 se observa el puente de la estación de tren construido en acero en el año 1998 en Berlín, Alemania.

Figura 54. Puente integral construido en acero.

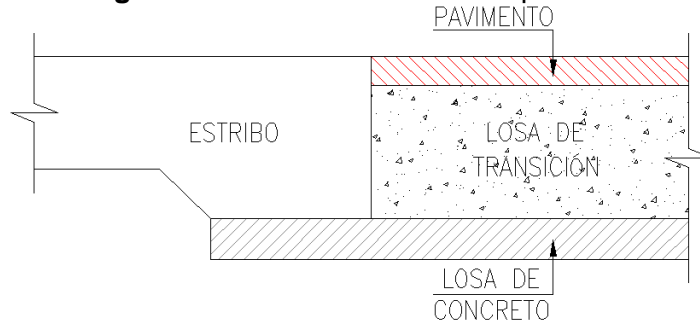


FUENTE: Integral Railway bridge-new bridges in Germany. Mike Schlaich [28].

En los puentes con estribos integrales además de tener la unión del estribo con el tablero del puente surge la necesidad de realizar un empotramiento con la losa de transición con el fin de minimizar los costos por mantenimiento que se pueden generar al tener asentamientos en el acceso al puente [20]. Además esta unión permite impermeabilizar el terreno que se encuentra bajo la losa y así evitar que

el estribo tenga socavaciones generadas por la remoción de suelo que se encuentra bajo la estructura [2], [23], [30]. En la figura 55 se observa la losa de transición de un puente que es el acceso y salida de estas estructuras.

Figura 55. Losa de transición en puentes.



FUENTE: Calter ingeniería S.L. Madrid.

Otra de las ventajas que permite la unión de la losa de transición al puente es la de obtener un mayor grado de ductilidad, lo que permite un mejor comportamiento ante eventos sísmicos [9]. Debido a estas integraciones entre los componentes del puente se genera una estructura hiperestática la cual permite un mayor nivel de estabilidad de la estructura [5]. Por lo anterior en los últimos años países que presentan continuos movimientos telúricos han venido incorporando este proceso de construcción en puentes [25].

Para el proceso de construcción de los estribos integrales generalmente se utilizan una serie de pilotes que tienen como característica una gran flexibilidad [2], cuya función principal consiste en transmitir las cargas verticales al terreno sin limitar los movimientos horizontales que presenta el tablero [21].

Generalmente los pilotes utilizados para este tipo de construcción son metálicos y pretensados [33]. Los pilotes metálicos presentan una ventaja sobre los de concreto debido a su material, ya que este genera una mayor ductilidad y por ende tolera mejor las deformaciones [34]. Sin embargo presentan una limitante como es el caso de la corrosión ya que al estar expuesto al terreno con el paso del tiempo se deterioran [2], [13].

Dentro de las principales recomendaciones que se presentan en este tipo de estructuras es la de conformar una buena base de compactación para la losa de transición ya que si esto no es realizado de una manera correcta la estructura puede quedar apoyada de tal que genera una falla en las placas de acceso al puente [9].

Es importante dar a conocer que España después de incluir los puentes integrales con la ayuda de ministerio de fomento ha tratado de implementar la mayor cantidad de puentes por medio de este sistema principalmente en puentes que conectan vías de alta velocidad con el fin de mitigar las juntas y así obtener estructuras con un mayor nivel de confort para el usuario [21], [34].

3.4 CLASIFICACION

Esta tipología de puentes presenta una clasificación basada según el nivel de profundidad que se necesite llegar para obtener una capacidad portante ajustada las características del proyecto [5]. Debido a esto se clasifican en dos tipos de estructuras, puentes integrados y los puentes semi-integrados.

Los puentes con estribos integrados son aquellos que requieren el uso de pilotes para poder transmitir de una forma satisfactoria las cargas generadas por la estructura al terreno [22]. Son estructuras construidas en terrenos donde las características del suelo a nivel superficial no son suficientes para soportar las cargas solicitadas por el puente.

Por otro lado los puentes con estribos semi-integrados son aquellos que requieren el uso de zapatas o una cimentación superficial debido a que el sitio donde se va a realizar el proyecto está conformado por terrenos que permiten un buen comportamiento de la estructura. Adicionalmente en ocasiones requieren de aparatos de apoyo en puntos determinados del puente teniendo en cuenta que en ningún momento se pierde la idea central de la estructura que es la integridad [25].

En la figura 56 se nombran las principales partes que constituyen un estribo integral típico, sin embargo se debe tener claridad en que estos varían según la profundidad de suelo competente necesaria para la estructura.

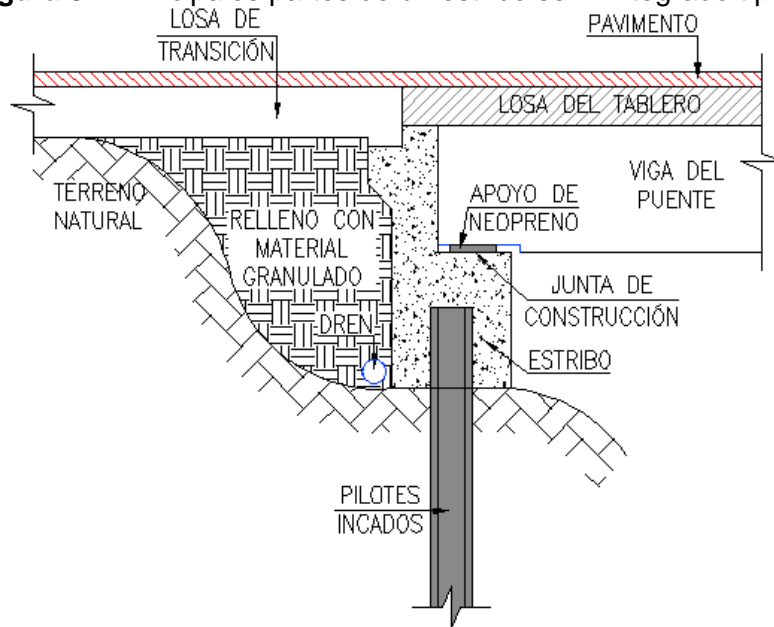
Figura 56. Principales partes de un estribo integrado típico.



FUENTE: Proceso constructivo de puentes integrales cortos. Sinue de la Vega García [9].

Por otro lado en puentes construidos con estribos semi-integrales se tienen diferencias como es la sustitución de la pila por pilote o zapata de cimentación y el uso del apoyo de neopreno [25], [34], como se observa en la figura 57.

Figura 57. Principales partes de un estribo semi-integrado típico.



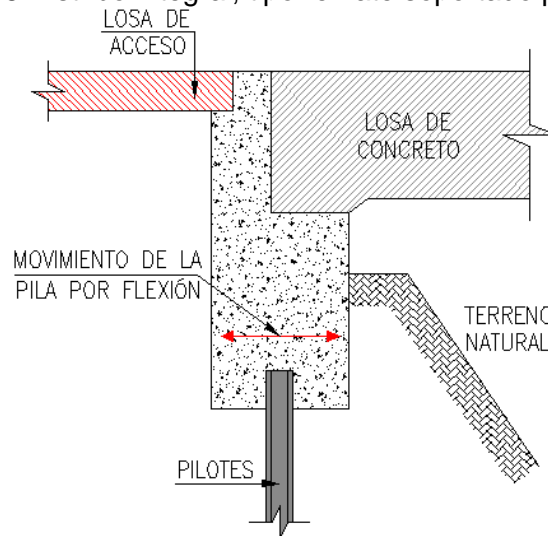
FUENTE: Proceso constructivo de puentes integrales cortos. Sinue de la Vega García [9].

Sin embargo los estribos integrados también se pueden clasificar según el nivel de profundidad a la que se requiera realizar la cimentación de la estructura. A continuación se describe la clasificación de los puentes con estribos integrales en función del nivel de desplante necesario para obtener la capacidad portante deseada para la construcción del puente.

Respecto a lo antes descrito se observará desde la figura 58 hasta la figura 62, 5 tipologías diferentes de estribos que se encuentran limitadas únicamente a los requisitos de diseño necesarios y a las características del terreno que tenga el sitio del proyecto.

La figura 58 corresponde a un estribo integrado cuya viga del tablero se encuentra construida en concreto y el terreno competente se encuentra a tal profundidad que es necesario el uso de pilas.

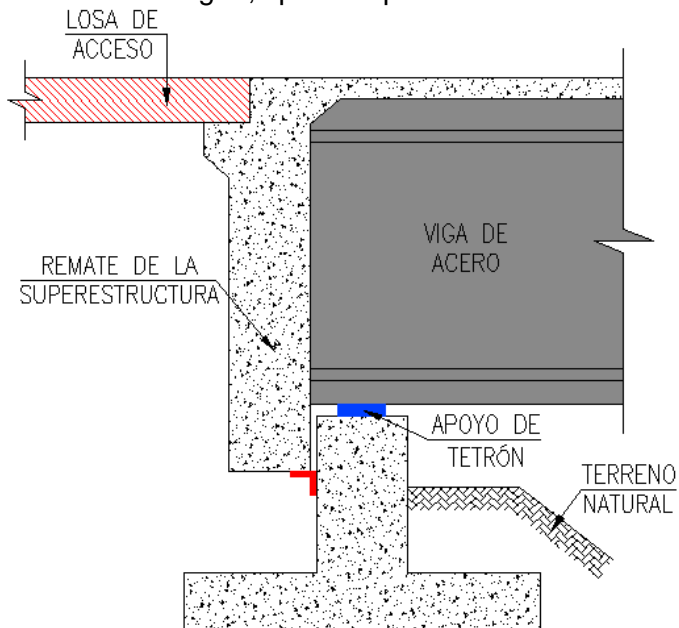
Figura 58. Estribo integral, tipo remate soportado por pilotes.



FUENTE: Proceso constructivo de puentes integrales cortos. Sinue de la Vega García [9].

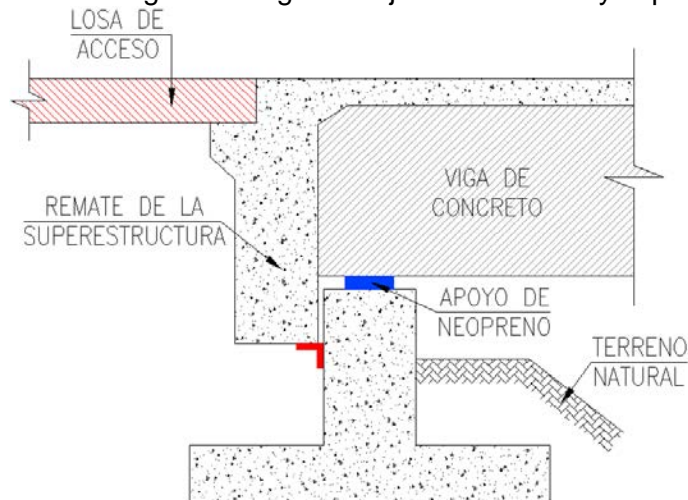
La figura 59 corresponde a un estribo semi-integral, con una cimentación superficial cuya viga del tablero es de acero y requiere del uso de un apoyo de tetrón. Este tipo de apoyo se caracteriza por permitir movimientos horizontales, además de una gran resistencia a cargas dinámicas, necesario en este tipo de estructuras [18].

Figura 59. Estribo semi-integral, tipo encapsulado de tetrón con viga de acero.



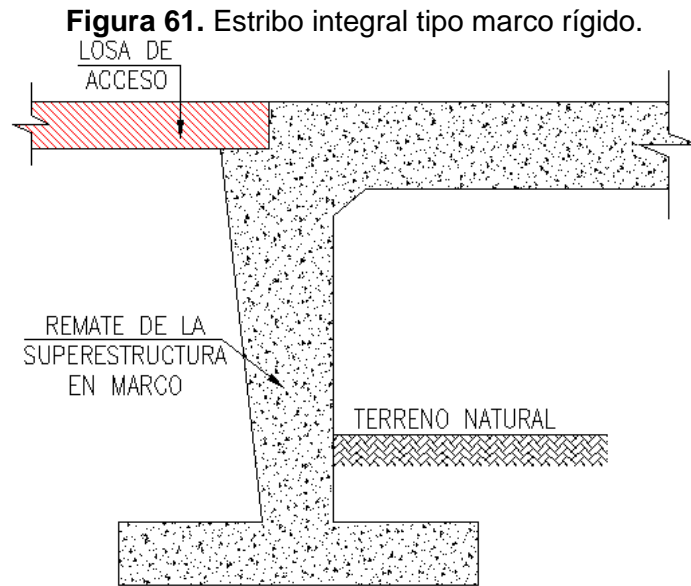
FUENTE: Proceso constructivo de puentes integrales cortos. Sinue de la Vega García [9]. En la figura 60 se observa un estribo semi-integral cuya viga del tablero es en concreto, la cimentación es superficial y el apoyo es de neopreno.

Figura 60. Estribo semi-integral con viga de cajón en concreto y zapata de cimentación.



FUENTE: Proceso constructivo de puentes integrales cortos. Sinue de la Vega García [9].

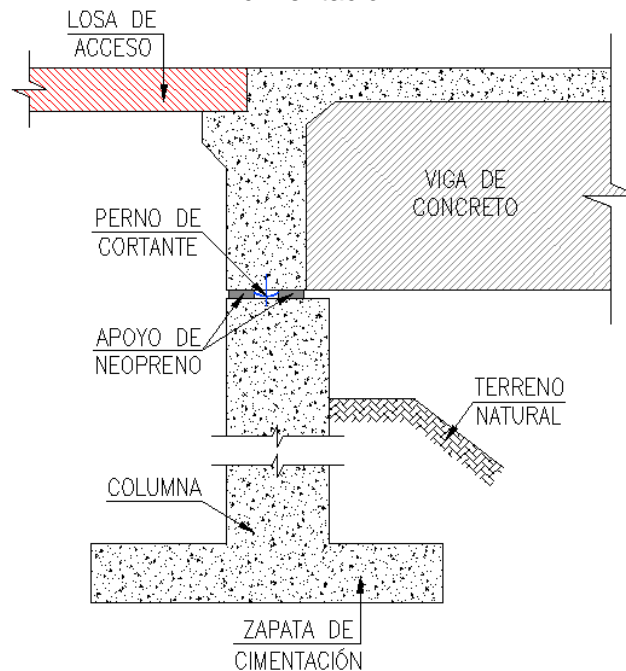
En la figura 61 se observa un estribo tradicional en el ámbito de los estribos integrados, ya que se ve la integración de la superestructura con la subestructura de una forma más directa.



FUENTE: Proceso constructivo de puentes integrales cortos. Sinue de la Vega García [9].

Finalmente en la figura 62 se puede apreciar el uso de un estribo integral conformado por 2 tipos de apoyos de neopreno, uno móvil y el otro fijo. Su cimentación es a nivel superficial.

Figura 62. Estribo integral con neopreno móvil y fijo sobre columna y zapata de cimentación.



FUENTE: Proceso constructivo de puentes integrales cortos. Sinue de la Vega García [9].

Como se puede observar las diversas tipologías de estribos integrales al igual que en los convencionales se encuentran limitados al nivel de desplante y a las características que presente la estructura, siendo allí donde surgen las diversas soluciones que se han presentado para la selección del estribo integral.

3.5 LIMITACIONES

Las principales desventajas que presentan este tipo de estructura en relación con los puentes de estribos tradicionales es que se deben diseñar para que los movimientos horizontales sean mayores, ya que esto puede llegar a producir fallas en el puente. Dentro de las causas que originan los movimientos horizontales se pueden identificar en tres grupos [2]:

- Movimientos generados por las características de los materiales o procesos constructivos del puente como es el caso de la retracción, temperatura y pretensado [32].
- Movimientos generados por cargas externas como el viento, sismos y el mismo uso del puente debido al frenado de los vehículos.
- Movimientos del terreno consecuencia del asentamiento que se presenta por la construcción de la estructura y empujes del suelo generados principalmente al estribo del puente.

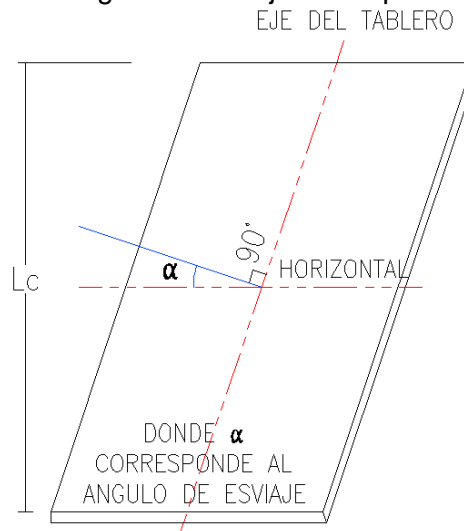
Adicionalmente existen una serie de limitaciones que han sido obtenidas debido a los diversos estudios que se han realizado en este tipo de estructuras y que por esto se encuentran enunciados en la mayoría de manuales para el diseño de los puentes con estribos integrales como son:

- Según la mayoría de los manuales la luz máxima que se puede usar en este tipo de puentes es de 30 metros sin tener algún cuidado especial, sin embargo esto no quiere decir que no se pueden construir estructuras con mayores luces [3]. Esta recomendación es dada debido a que los esfuerzos generados en una unión monolítica entre la subestructura, la superestructura y la losa de acceso son de gran importancia.
- Según su longitud también se tiene cierta limitación debido al tener mayor cantidad de vanos en el puente la complejidad en el diseño estructural aumenta. Por ejemplo en Dinamarca se permite la proyección de puentes

integrales con longitudes menores a 100 metros sin cálculos específicos que lo justifiquen [2], esto debido al buen comportamiento que se ha observado en puentes integrales de estas longitudes.

- Según el esviaje también se encuentran limitados este tipo de estructuras y se recomienda que el ángulo sea menor a 30 grados [2], [29]. En países como Estados Unidos las especificaciones dadas en los manuales obliga a construir puentes integrales siempre y cuando el esviaje sea inferior a 30 grados y las luces del puente menores a 60 metros. El esviaje es el ángulo generado entre la horizontal de los apoyos y el eje longitudinal del tablero del puente. En la figura 63 se observa esta característica del puente.

Figura 63. Angulo de esviaje en un puente



FUENTE: Proyecto y apuntes teórico- prácticos de Ingeniería civil.

- La carga que recibe cada uno de los pilotes en el caso de los puentes con estribos integrales debe ser menor al 40% de su capacidad, esto con el fin de limitar los desplazamientos y rotaciones en la cabeza del pilote generando así un mejor comportamiento de la estructura [22]. Además cumpliendo con los desplazamientos máximos permitidos en la parte superior del pilote los cuales no deben exceder los 3 centímetros [2].
- Debido a la unión monolítica de estas estructuras no se recomienda la construcción en terraplenes elevados o en terrenos que presenten un alto nivel de deformación. debido a que si se presentan grandes

desplazamientos los esfuerzos en la estructura aumentarían considerablemente lo que ocasionaría fallas en los elementos.

- Debido a que los estribos en la mayoría de casos deben ser pilotados las aletas en pocas ocasiones pueden unirse al estribo por lo que se debe construir de forma independiente.

3.6 PROCESO CONSTRUCTIVO

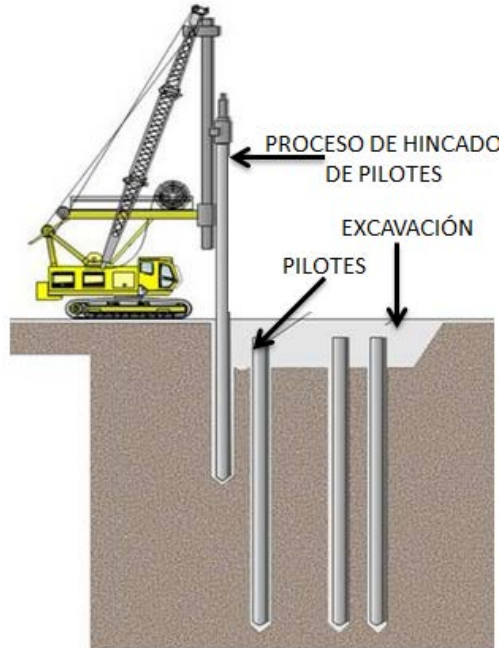
Debido a las características similares que tienen los puentes con estribos integrados en relación a los materiales usados y al proceso constructivo estos se vuelven adecuados para reconstruir o sustituir puentes convencionales. Este tipo de estribos pueden ser aplicados en proyectos que requieran una rápida construcción y en los que se deseen además minimizar los periodos de reparación que consigo conllevan a mayores costos de mantenimiento, restricción de tránsito vehicular, entre otros [9].

El proceso de construcción de los puentes con estribos integrados es idéntico a aquellos conformados con estribos convencionales [29], su única diferencia en la construcción radica en realizar una estructura integral donde la única estructura por fuera de esta unión son las aletas y el estribo.

Con el fin de obtener una estructura monolítica entre el tablero, el estribo y la losa de acceso del puente se ancla el refuerzo de tal forma que permita la continuidad y por ende la unión de los elementos antes mencionados [9].

Como primera medida en la construcción de estos estribos se debe realizar las respectivas tareas preliminares como es el descapote y excavación en la zona en que se va a construir el estribo. Posteriormente a ello se procede con la ayuda de la topografía a realizar la ubicación de los pilotes necesarios para el estribo del puente, para su posterior construcción [1]. En la figura 64 se observa la fase de construcción de los pilotes, después de construidos en su totalidad se procede en la ejecución de los estribos.

Figura 64. Proceso de hincado de pilotes para la construcción del estribo

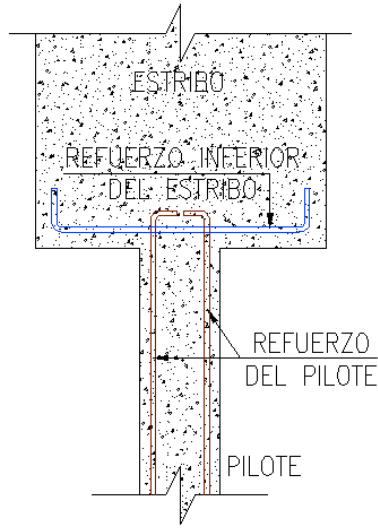


FUENTE: civilgeeks.com. Ingeniería y construcción.

Cabe recordar que para tener un buen comportamiento e integración entre el estribo y los pilotes se hace necesario que la parte superior se encuentre dentro del estribo con el fin de formar una estructura monolítica. Con el fin de hacer esto posible generalmente se funde la totalidad del pilote y posteriormente a ello se realiza un proceso de remoción del concreto en los últimos centímetros del pilote con el fin de garantizar que el refuerzo ancle correctamente en el estribo.

Seguidamente se inicia construcción del estribo donde se debe garantizar que el refuerzo inferior de este elemento quede por debajo a los ganchos dejados en los pilotes del puente. En la figura 65 se observa la ubicación del refuerzo inferior del estribo como de la parte superior de los pilotes o pilas.

Figura 65. Ubicación del refuerzo para integración de las pilas con el estribo



Finalmente se realiza el proceso de encofrado y fundida del estribo al igual que los puentes convencionales con la única diferencia que el refuerzo del estribo debe quedar de tal forma que permita la integración con el tablero del puente y la losa de acceso. En la figura 66 se observa la fase del encofrado y ubicación del acero de refuerzo de un puente construido en Alemania por medio de estribos integrados.

Figura 66. Armado del acero de refuerzo en un puente integral.



FUENTE: NOE Formwork.

3.7 PRINCIPALES CARACTERISTICAS DE DISEÑO

Como ya se mencionó anteriormente los puentes con estribos integrales tienen un funcionamiento similar a los estribos tradicionales cuya única diferencia se centra en la integración de la superestructura, la subestructura y la losa de transición [2], [34].

Sin embargo se debe tener claridad que durante el diseño de los estribos integrales se debe garantizar que estos sean capaz de soportar movimientos laterales generados por diversas sollicitaciones de carga o simplemente por su proceso constructivo, es decir se deben tener en cuenta desde la retracción hasta fuerzas pasivas generadas por el terreno al estribo.

A continuación se presenta una serie de aspectos principales que se deben tener en cuenta durante el diseño de los puentes con estribos integrales obtenida de “diseño de un puente con estribo integral” (Aníbal M, Zotar C).

3.7.1 Unión entre el estribo integral y la superestructura.

Esta es la principal diferencia entre los estribos integrales y los convencionales, debido a que en los primeros se realiza una conexión entre el estribo con la superestructura por medio del acero de refuerzo permitiendo así una unión monolítica entre estas dos estructuras [25]. Sin embargo se debe garantizar que los momentos generados por esta conexión sean minimizados de tal forma que no sean soportados por el estribo.

Por otro lado los estribos convencionales soportan la superestructura con un apoyo simple es decir no existe transmisión de momento ni en el arranque del tablero y mucho menos en el estribo.

3.7.2 Continuidad de la losa del tablero.

Con el fin de garantizar un mejor comportamientos en los puentes con estribos integrales y estar más acorde con el sistema de integración en la gran mayoría de casos se debe dar continuidad en la losa del tablero debido a dos una es la eliminación de juntas sobre pilas y estribos [2], lo cual permite la eliminación de la filtración del agua a la estructura lo que puede conllevar a realizar reparaciones o mantenimientos en el puente. Además la continuidad de la losa permite que los momentos positivos disminuyan y por ende el acero de refuerzo equilibrando la

estructura ya que este acero eliminado sería ubicado en proporciones similares en la parte superior de la losa [28].

3.7.3 Continuidad entre la losa de transición y la losa del tablero.

Sobre esta conexión existen dos tipos de recomendaciones, hay unos autores que recomiendan que se deba dar continuidad a estas dos estructuras con el fin de garantizar la eliminación de juntas en el puente y el continuo mantenimiento que se genera en estas zonas de la estructura [25]. Sin embargo existe otros ingenieros cuya recomendación se basa en realizar por separado la losa de transición con la losa de la estructura debido a que si llega a ocurrir la socavación bajo dicha losa existe una gran posibilidad de que la losa de acceso se parta y el costo por mantenimiento de la estructura aumente.

En el diseño la continuidad de estos elementos se produce anclando el acero de refuerzo de la losa de transición en el tablero del puente.

3.7.4 Movimientos de la superestructura.

Estos movimientos son generados debido a la expansión y contracción causadas por efectos de temperatura [11]. Dentro de los tipos de materiales usados para este tipo de puentes se encuentran el concreto y el acero, siendo el concreto el que presenta una ventaja importante siempre y cuando los elementos utilizados sean vigas prefabricadas y pretensadas. Esto debido a que al estar integrado toda la estructura se debe garantizar movimientos horizontales teniendo en cuenta que sean los menores posibles [14].

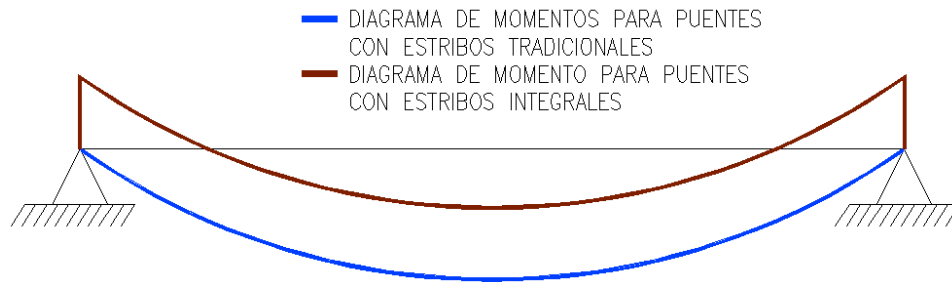
Por ejemplo una estructura de hormigón puede llegar a contraerse y expandirse un aproximado de 1.2 cm a temperaturas normales teniendo un puente con una luz de 30 metros, mientras que el acero podría llegar a tener deformaciones del doble a la del concreto. Por esta razón se recomienda que el diseño y construcción de esta tipología de puentes sea realizada en concreto [2].

3.7.5 Momento negativo entre el estribo y la superestructura.

Dentro de las primeras instrumentaciones que se realizaron sobre este tipo de puentes se observó que en algunos casos presentaban fisuras al inicio y al final del puente, estas fisuras se originan paralelas al estribo. Esto se debe a que al

integrar el tablero del puente con el estribo se genera unos momentos que para obtener un buen funcionamiento de estos se hace necesario adicionar el acero de refuerzo superior suficiente de tal forma que permita un buen comportamiento del puente [13]. En la figura 67 se observan los diagramas de momentos para los puentes con estribos tradicionales y con estribos integrales, donde se aprecia que existe una mejor distribución de acero entre la parte superior e inferior del puente debido a que los momentos suben como consecuencia de la integración.

Figura 67. Distribución de momentos para puentes tradicionales e integrales.



3.7.6 Juntas de dilatación.

Este tipo de estructura se basa en la eliminación de cualquier tipo de juntas, sin embargo cuando la longitud del puente lo amerita pueden ser colocadas.

3.7.7 Cimentaciones.

Como ya se mencionó la cimentación de los puentes integrales pueden estar conformadas por una fila de pilotes cuando la capacidad portante está a un nivel de profundidad considerable o también pueden utilizarse zapatas cuando la capacidad portante se encuentra a nivel superficial [2], [28]. Cabe aclarar que la principal condición que se debe tener en cuenta para la cimentación de los estribos integrales es al de permitir movimientos horizontales producto de la integración de toda la estructura.

4 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS PUENTES CON ESTRIBOS INTEGRADOS COMO SOLUCION ALTERNA EN LA CONSTRUCCION DE PASOS A DESNIVEL EN EL MARCO NACIONAL.

A raíz de la consulta bibliográfica realizada en este proyecto se recomienda la incorporación de puentes con estribos integrales al caso colombiano, ya que es un país que se encuentra en un creciente desarrollo y además en un aumento considerable en la infraestructura vial.

Un beneficio que presenta los estribos integrales es el de brindar un mayor confort al usuario, ya que no se generan los desniveles presentes en los puentes con estribos tradicionales [32]. Además a velocidades considerables los baches generados en las juntas de los estribos tradicionales pueden llegar a ocasionar accidentes [20].

Adicionalmente debido a la creciente demanda que se espera tener en infraestructura vial sería importante impulsar el uso de los estribos integrales con el fin de evitar sobrecostos por mantenimiento a mediano y largo plazo. Además las continuas reparaciones que se deben realizar a las juntas de los puentes generan molestias y caos en las ciudades, consecuencia de los cierres parciales que se deben realizar en las vías de acceso al puente.

Aunque los puentes con estribos integrales no presenten juntas, no quiere decir que no requieran tareas de mantenimiento ya que se deben realizar limpiezas en los drenes y subdrenes, además de una buena construcción de pavimento rígido que ayude a eliminar posibles asentamientos generados en el acceso y salida de estos puentes. Sin embargo lo que sí ha demostrado es que este sistema constructivo tiene menores costos de reparación que los puentes con estribos tradicionales, por lo que sería de gran importancia que entrara a Colombia los puentes con estribos integrales con el fin de evitar a futuro sobrecostos debido a lo antes descrito.

Si países como Canadá, Japón y Chile que presentan altos riesgos sísmicos se han visto obligados a incorporar este sistema constructivo, con el fin de proteger las estructuras ante eventos extraordinarios, sería de gran importancia que Colombia empezará a dar sus primeros pasos frente a la acogida de este sistema de construcción, que como ya se mencionó lleva varios años de estudio obteniendo resultados favorables frente a los puentes con estribos tradicionales.

Aunque este proyecto no pretende desvirtuar la construcción de puentes con estribos tradicionales, si recomienda la posible incorporación de puentes integrales. En el caso de realizarse se deberá basar en manuales internacionales los cuales presentan las características que deben tener los puentes, para obtener comportamientos favorables basados en reportes e instrumentaciones realizadas a estos puentes, teniendo en cuenta las condiciones particulares de nuestro país.

Aunque los puentes construidos por medio de estribos tradicionales en muchos casos podrían ser reemplazados por los integrales, es importante resaltar que estos seguirán siendo muy útiles en situaciones especiales, donde debido a su geometría o diversos factores (grandes longitudes, tipo de material usado para las vigas del puente) no puedan ser desarrollados como puentes integrales.

Otra ventaja que presente este sistema constructivo es que no requieren de elementos auxiliares especiales diferentes a los usados en un estribo tradicional, lo que genera en los constructores cierta facilidad para impulsar esta tipología.

Además al tener de forma integral la totalidad de la estructura se genera un beneficio adicional, ya que se protege la estructura de problemas generados por el agua. En los puentes tradicionales el principal daño ocurre en las juntas y posteriormente pasa a los estribos y pilas, consecuencia de las filtraciones en las juntas.

Finalmente se puede recomendar que debido a la necesidad que tiene Colombia de realizar una cantidad considerable de puentes de pequeñas luces y pasos elevados, es importante observar hacia nuevas tecnologías y técnicas en la construcción de estas estructuras. Además la constante de los puentes en Colombia es la construcción de estribos tradicionales donde en comparación con los integrales presenta ciertas desventajas a nivel de costo de mantenimiento, confort al usuario y un menor nivel de seguridad ante eventos sísmicos [20].

5 CONCLUSIONES.

Con respecto a los puentes construidos con estribo tradicionales en Colombia:

- ✓ Se identificó que los estribos de uso en Colombia son los tradicionales, clasificados en de gravedad, voladizos y contrafuertes principalmente.
- ✓ Los estribos en voladizo y con contrafuertes son los que hoy en día se trabajan con mayor frecuencia en nuestro país. Esto ocurre ya que la construcción por medio de estribos de gravedad requiere de grandes gastos de material ya que trabajan únicamente bajo efectos de su propio peso, además sus comportamientos son deficientes en comparación con los otros tipos de estribos.
- ✓ Con respecto a las ventajas que presentan los puentes con estribos tradicionales se encuéntralos menores costos durante su proceso de construcción. Sin embargo a mediano y largo plazo se ve reflejado una compensación e incluso sobrecostos como consecuencia de requerir mantenimiento con un mayor nivel de frecuencia que los puentes con estribos integrales.

Con respecto a los puentes construidos con estribos integrales:

- ✓ Es una de las técnicas que ha tenido una gran acogida debido a que estructuralmente el comportamiento del puente mejora considerablemente producto de un alto nivel de redundancia estructural, ocasionada por la integración del tablero del puente, el estribo y la losa de transición.
- ✓ A pesar de ser una técnica de gran uso presenta varias limitaciones debido a su luz, longitud, esviaje, entre otros factores que se encuentran relacionados con las características de cada puente, por lo cual se hace indispensable en el caso de incorporar este sistema a nuestro medio, continuar con los estribos tradicionales para ciertos casos particulares.

Conclusiones finales:

- ✓ En estudios realizados en países donde hoy en día se ha implementado el uso de puentes con estribos integrados se observó que un gran porcentaje de los puentes construidos pueden ser aplicables a una solución integral lo que ocasiona una gran ventaja para la incorporación de este sistema estructural a nuestro país.
- ✓ Debido a que existe una mayor facilidad tanto en el diseño como en la construcción de puentes con estribos integrales de una sola luz, se recomienda que el uso inicialmente sea de estas características y que a medida que sean construidos se realicen los estudios pertinentes con el fin de observar el comportamiento de estos y así ir mejorando normativas sobre su construcción para el caso colombiano.
- ✓ Los factores que pueden definir si el sistema constructivo a utilizar son los estribos tradicionales o los estribos integrales dependen básicamente de los factores geométricos que tenga el puente.
- ✓ Debido al continuo estudio que están realizando diversos países sobre los puentes con estribos integrales, es probable que se puedan llegar a generar luces y longitudes mayores a las ya establecidas y así lograr aumentar el porcentaje de puentes que pueden ser construidos por medio de sistema.
- ✓ Los puentes integrales presenta una buena alternativa en la solución de pasos a desnivel y pequeñas longitudes, sin importar que sean construidos con acero o concreto, debido a que presenta buenos comportamientos con cualquiera de los dos materiales. Sin embargo las deformaciones del concreto son menores y por ende o en día prevalece este material.
- ✓ De acuerdo a la evidencia reportada en la literatura, se hace necesario la construcción de estribos integrales con la ayuda de pilas que permitan tener cierto grado de flexibilidad con el fin de disminuir los momentos flectores generados por los empotramientos al integrar la estructura.
- ✓ Se destaca el uso de pilas o pilotes en acero, con el fin de tener estructuras con un mayor grado de ductilidad. Sin embargo se recomienda realizar los procesos necesarios para proteger acero y así evitar posibles corrosiones del material a temprana edad.

- ✓ Los puentes con estribos integrales presentan una relación a tener en cuenta con el terreno donde se va a apoyar, por lo que se debe analizar de manera minuciosa la interacción suelo-estructura con el fin de tener un buen comportamiento de la estructura.
- ✓ Inicialmente se puede plantear la incorporación de los puentes con estribos integrales, cuando se requieran soluciones de un solo vano con una luz menor a los 30 metros. Este valor es tomado como referencia de diversos manuales internacionales que rigen en la construcción de estas estructuras.

BIBLIOGRAFÍA.

- [1] **ARSOY, SAMI.** The behavior of integral abutment bridges. Virginia Polytechnic and State University. Blacksburg, Virginia. November 1999.
- [2] **BERECIBAR OREGUI, A.** Estudio teórico y experimental de temperaturas y deformaciones en un puente integral. Universidad politécnica de Madrid. España. 2012.
- [3] **CAMPOS Q, RAUL.** Diseño de puentes y viaductos. V congreso AICE-Chile/La ingeniería que viene. Chile. Noviembre 2012.
- [4] **CARVAJAL URIBE, J.** Seismic embankment- abutment-structure interaction of integral abutment bridges. University of British Columbia. June 2011.
- [5] **CHOQUEVILCA ZOTAR, MAX A.** Diseño de un puente con estribo integral. Universidad Nacional de Córdoba. Argentina. Septiembre 2014.
- [6] **CORRES, H; MARTIN, J; PETSCHKE, T; MORENO, V; TORRICO, J.** Estudio analítico y experimental de los efectos de las deformaciones impuestas en las estructuras integrales. U.D. de Hormigón Estructural. E.T.S. de Ing. De Caminos, Canales y Puertos. UPM.
- [7] **CORRES, H; EZEBERRY, J; PHILIPP, T; PEREZ, A.** Instrumentación y auscultación de un Puente integral. España.
- [8] **DEPARTAMENTO DE PROYECTOS DE ESTRUCTURAS.** Nuevos criterios sísmicos para el diseño de puentes en Chile. Versión 1. Julio 2010.
- [9] **DE LA VEGA GARCIA, S.** Proceso constructivo de puentes integrales cortos. Universidad Nacional Autónoma de México. México D.F. Noviembre 2012.
- [10] **ESCUELA POLITECNICA DEL EJÉRCITO.** Descripción del Puente y breve detalle de memoria de cálculo ante carga vertical. Ecuador.
- [11] **FROSCH, R; KREGER, M; TALBOTT, A.** Earthquake resistance of integral abutment bridges. Technical Summary technology transfer and project implementation information. May 2009.

- [12] **GUEVARA ANZULES, M.** Estudio comparativo del análisis de muros de contención tanto como, muro en voladizo Vs muro contrafuertes, de un muro de altura=7.5m, tanto como en su análisis estructural como en su análisis técnico-económico. Guayaquil, Ecuador. 2009.
- [13] **HORVATH, JOHN S.** Integral-abutment bridges: Problems and innovative solutions using EPS geofoam and other geosynthetics. School of Engineering. May 2000.
- [14] **ITANI, A; PEKCAN, G.** Seismic performance of steel plate girder bridges with integral abutments. University of Nevada, Reno. August 2011.
- [15] **JURADO CABAÑES, C.** Puentes (II). Evolución-Tipología-Cálculo-Construcción. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Civil (España). Primera edición septiembre 2013.
- [16] **LARSON, MICHAEL B.** Bridge decks going jointless. C & T Research Record, Pag. 1-4. Michigan, StatesUnites. August 2005.
- [17] **LUCERO PARDO, F; PACHACAMA CAISA, E; RODRIGUEZ MONTERO, W.** Análisis y diseño de muros de contención Universidad Central del Ecuador. Quito. 2012.
- [18] **MARTINEZ MUÑOZ, F.** Estudio sobre la redundancia estructural de puentes integrales de hormigón. Universidad Politécnica de Cataluña. España. Junio 2012.
- [19] **MENDEZ PERALTA, M; MOROCHO QUIZHPI, C.** Cálculo y diseño estructural para el parqueadero subterráneo del campus central de la Universidad de Cuenca en estructura metálica y hormigón armado. Universidad de Cuenca. Abril 2014.
- [20] **MINISTERIO DE FOMENTO.** Guía para la concepción de puentes integrales en carreteras / Dirección general de carreteras. Centro de publicaciones.España, 2000.
- [21] **MINISTRY OF TRANSPORTATION ONTARIO.** Semi- Integral abutment bridges.Bridge office. Report BO-99-03. Ontario. 1999.

- [22] **NILSSON MARTIN.** Evaluation of In-situ measurements of composite bridge with integral abutments. Lulea University of Technology. January 2008.
- [23] **NOTICRETO.** Construcción acelerada de puentes. Infraestructura. Página 60-63. Enero / Febrero 2012.
- [24] **RODRIGUEZ SERQUEN, A.** Puentes con AASHTO-LRFD 2010 (Fifth Edition). Perú. 2012.
- [25] **SALVÁ LOPEZ, Y.** Estudio de la influencia de las deformaciones impuestas en el proyecto de puentes integrales de ferrocarril. Noviembre 2010.
- [26] **SANJUAN, P; AFANADOR, N; MEDINA, D.** Diseño sísmico de muros de contención en gravedad y voladizo. Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada. Universidad Francisco de Paula Santander. Ocaña, Colombia. Junio 2012.
- [27] **SAURITH MANJARREZ, C; ALVAREZ SUAREZ, D.** Estudio comparativo entre sistemas de muros de contención de tierra mecánicamente estabilizada con geosintéticos y muros de concreto reforzado. Universidad Industrial de Santander. Colombia. 2010.
- [28] **SCHLAICH, MIKE.** Integral railway bridges – New bridgers in Germany.
- [29] **SCOTT, O; JAMES, L; JAMES, H; DZUIGAS, R; JAMES, L.** Modification of idot integral abutment design limitations and details. University of Illinois at Urbana-champaign. August 2009.
- [30] **SIMA, FERNANDO.** Tendencias actuales en el diseño y construcción de puentes: Puentes integrales y puentes con pretensado extradorsal. 4to seminario de ingeniería civil. Universidad de la República. Uruguay. Septiembre 2012.
- [31] **SUAREZ DIAZ, JAIME.** Estructuras de contención de gravedad. Deslizamientos: técnicas de remediación. Capítulo 3.
- [32] **TORRICO LIZ, JAVIER.** Puentes integrales. Ingenieros consultores Fhecor. Madrid, España.

[33] **VELA OÑATE, VICTOR A.** Diseño de estribos para puentes vehiculares aplicando criterios de las especificaciones AASHTO por el método elástico y de los estados limite. Universidad Central del Ecuador. Quito, Ecuador. 2013.

[34] **WAMBA MARTIJA, JAVIER R.** Puentes integrales y semi-integrales de ferrocarril. Revista de obras públicas No 3.44529. Junio 2004.