

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI  
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL**



**“CONSIDERACIONES DE DISEÑO EN LA  
INFRAESTRUCTURA DE PUENTES CARRETEROS”**

**Realizado por:**

**Anabel Yoedelin González Hernández.**

**María Carolina Guzmán Amaral.**

Trabajo de Grado presentado ante La Universidad de Oriente como  
Requisito Parcial para optar al Título de:

**INGENIERO CIVIL**

Barcelona, Junio de 2008

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI  
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL**



**“CONSIDERACIONES DE DISEÑO EN LA  
INFRAESTRUCTURA DE PUENTES CARRETEROS”**

**Realizado por:**

---

**Anabel Y. González Hernández**

---

**Maria C. Guzmán Amaral.**

**Revisado y Aprobado por:**

---

**Ing. Edmundo Ruiz**

Asesor Académico

Barcelona, Junio de 2008.

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI  
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL**



**“CONSIDERACIONES DE DISEÑO EN LA  
INFRAESTRUCTURA DE PUENTES CARRETEROS”**

**JURADO CALIFICADOR:**

---

**Ing. Luisa Torres**

Jurado Principal

---

**Ing. Miguel Molano**

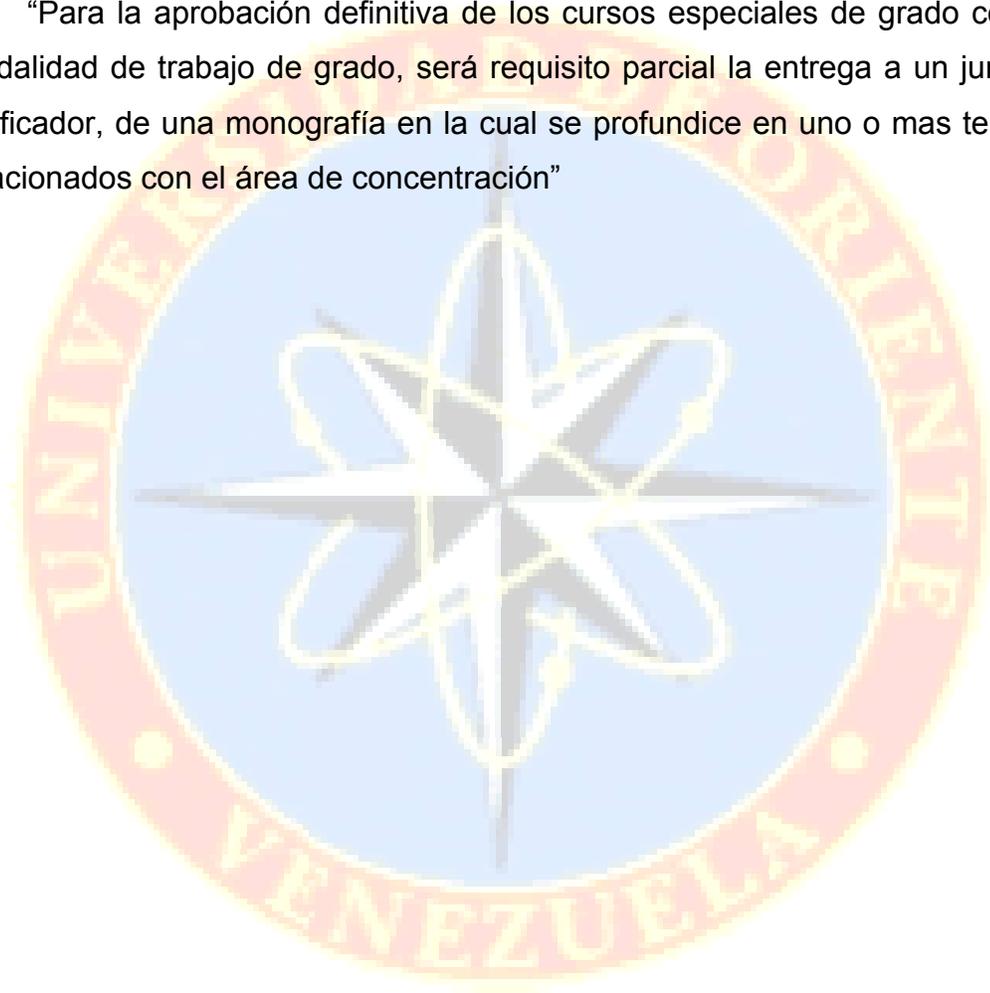
Jurado Principal

Barcelona, Junio de 2008.

## RESOLUCIÓN

De acuerdo al Artículo 57 del Reglamento de Trabajo de Grado:

“Para la aprobación definitiva de los cursos especiales de grado como modalidad de trabajo de grado, será requisito parcial la entrega a un jurado calificador, de una monografía en la cual se profundice en uno o mas temas relacionados con el área de concentración”



## DEDICATORIA

A mis padres **Zenén** y **Edén**, que con su amor, consejos, apoyo, perseverancia y dedicación me ayudaron a hacer de este sueño una realidad.

A mis hermanos, **Jossune** y **Edén**, que han sido mi guía y ejemplo a seguir.

A mis sobrinos, **Daniela**, **Leonela** y **Matías**, por hacerme tan feliz cada día, espero que este logro los impulse a ser los mejores, y a alcanzar sus metas.

A mi novio, **Cesar Enrique**, quien a estado conmigo en las buenas y en las malas, siendo parte de este sueño que se hace realidad.

*Anabel G. González*

## DEDICATORIA

Este logro se lo dedico ante todo a **Dios**, por cuidarme siempre y guiarme a lo largo de mi vida para tomar las decisiones correctas y levantarme en mis tropiezos.

A **Mi Mami** y **Mi Papi** por estar siempre ahí apoyándome, aconsejándome y haciendo que todo esto fuera mas fácil, LOS AMO! Espero que estén orgullosos de mí.

*María C. Guzmán.*

## AGRADECIMIENTOS

A **Dios Todopoderoso** y a la **Virgen del Valle**, por estar siempre a mi lado, y darme las fuerzas necesarias para seguir adelante cada día.

A mis padres, **Zenén** y **Edén**, por hacer de mí la persona quien hoy soy, porque han dedicado su vida por mí y mis hermanos, para que todo nos salga bien. Por su asesoría a lo largo de mi vida y confiar en que he aprendido sus enseñanzas. Gracias Papis ¡Los Amo!

A mis hermanos, **Jossune** y **Edén**, por su cariño, por estar siempre pendientes de mí, y demostrarme que las metas se pueden alcanzar.

A mi novio, **Cesar Enrique**, por tu apoyo, colaboración, comprensión y paciencia durante estos años de estudio. Por brindarme tu amor y enseñarme que nunca se está lejos de quien se quiere, porque siempre los llevamos cerquita en el corazón. ¡Gracias, mi Amor!

A mi Tía, **Eumelia**, que siempre ha estado pendiente de todos, y me ha brindado un especial apoyo para el logro de este sueño.

A mis **Abuelos**, a mis demás **Tíos** y **Primos**, que me han apoyado, brindándome su cariño y palabras de aliento mientras recorría este camino.

A la familia **Malavé Silva**, por su cariño y estar siempre pendientes de mí. Gracias por hacerme parte de su familia. Los quiero!

A mi compañera **Maria Guzmán**, que además de ser mi amiga, me acompañó hasta el final de la carrera, juntas alcanzamos esta victoria. Mujer, Felicidades!

A mis amigos **Andrea Carvajal**, **Sarina Cedeño**, **Johan Coronado**, y en especial a **Orlanellys Rodríguez**, por su amistad, apoyo incondicional, y colaboración cuando necesite de ustedes. Orla, Gracias, porque a pesar de los momentos amargos, siempre tuviste paciencia y no me abandonaste. Los Quiero!

A los **Profesores**, que durante estos años me enseñaron a crecer como profesional y como persona.

A todas las personas que de alguna u otra manera me ayudaron y estuvieron conmigo a lo largo de mi carrera, MIL GRACIAS!!!

*Anabel G. González*

## AGRADECIMIENTOS

Gracias **Dios**, por todas las personas especiales que ha puesto a mi lado a lo largo de mi vida y mi carrera, con ellas he aprendido a crecer y han hecho de esta experiencia una gran aventura.

Gracias **Papis** por todo, gracias porque nunca me ha faltado nada y por estar conmigo en las buenas y las malas. Los Adoro!

Gracias Hermanita Querida, **mi chiki** sabes que TE ADORO, gracias por todos tus consejos y estar ahí SIEMPRE!!!! Todos los días le doy gracias a Dios por tener una hermana así como tú!!!!.

Gracias **Abuelos** por apoyarme, por quererme y estar siempre a mi lado. LOS QUIERO MUCHO!!!.

Gracias Tías Queridas **Sonia y Flor**, se que puedo contar con ustedes siempre.

Gracias Tía **María**, por estar siempre ahí, brindarme tu cariño y ayudarme con tus conocimientos a lo largo de esta etapa! Te Quiero, Gracias!.

Gracias **Anabel**, por ayudarme en todo momento, por acompañarme durante toda la carrera. Te Quiero Anita. Lo Logramos Mujer!!!.

Gracias Amiguitas Queridas, en especial **Cris y Andre**, Cristi como pasó el tiempo, gracias por ser como eres y por todo tu apoyo, Te Quiero

Mucho Amiguita!. Andre, Gracias, porque en ti encontré una amiga que sé, que siempre estará allí cuando la necesite. Te Quiero!.

Gracias a los **Profesores**, que de una forma u otra me enseñaron, me guiaron y me hicieron querer esta carrera.

*Maria C. Guzmán.*

## CONTENIDO

	pág
<b>RESOLUCIÓN</b> .....	iv
<b>DEDICATORIA</b> .....	v
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	vii
<b>CONTENIDO</b> .....	xi
<b>INDICE DE TABLAS</b> .....	xiv
<b>INDICE DE FIGURAS</b> .....	xv
<b>RESUMEN</b> .....	xvii
<b>INTRODUCCION</b> .....	xviii
<b>CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES</b> .....	19
<b>1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	19
<b>1.2 OBJETIVOS</b> .....	21
1.2.1 General .....	21
1.2.2 Específicos.....	21
<b>CAPITULO II: MARCO TEÓRICO</b> .....	23
<b>2.1 PUENTES</b> .....	23
2.1.1 Definición.....	23
2.1.2 Partes de un Puente. ....	24
2.1.2.1 Superestructura.....	24
2.1.2.2 Infraestructura. ....	25
2.1.3 Tipos de Puentes.....	27
2.1.4 Tipos de Materiales Usados en Puentes. ....	27
<b>2.2 SOLICITACIONES PARA PUENTES CARRETEROS</b> .....	27
2.2.1 Solicitaciones Geométricas.....	27
2.2.1.1 Espaciamiento entre Pilas, Orientación y Tipo.....	28
2.2.1.2 Ancho de Calzadas y Banquetas. ....	28
2.2.1.3 Instalaciones Destinadas a Servicios Públicos. ....	29

2.2.2	Solicitud de Cargas. ....	29
2.2.2.1	Carga Muerta. ....	30
2.2.2.2	Carga Viva. ....	31
2.3.2.3	Impacto. ....	31
2.3.2.4	Viento. ....	31
2.2.2.5	Fuerzas Longitudinales. ....	31
<b>CAPÍTULO III: DESARROLLO</b> .....		32
<b>3.1 DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS QUE FORMAN LA INFRAESTRUCTURA DE PUENTES CARRETEROS.</b> .....		32
3.1.1	Estribos .....	32
3.1.1.1	Partes que Conforman un Estribo. ....	32
3.1.1.2	Tipos de Estribos.....	34
3.1.1.3	Materiales.....	36
3.1.2	Pilas. ....	36
3.1.2.1	Partes que Conforman una Pila. ....	37
3.1.2.2	Materiales.....	38
3.1.2.3	Tipos de Pilas.....	39
3.1.3	Aparatos de Apoyo. ....	41
3.1.3.1	Tipos de aparatos de apoyos. ....	42
3.1.4	Rotulas y Articulaciones.....	44
<b>3.2 CONDICIONES BASICAS QUE DEBEN SATISFACERSE EN EL DISEÑO DE LOS ESTRIBOS Y PILAS</b> .....		47
3.2.1	Condiciones Básicas del Diseño de los Estribos. ....	47
3.2.2	Condiciones Básicas del Diseño de Las Pilas. ....	49
3.2.2.1	Condiciones Básicas del Diseño de Las Pilas de Concreto. ...	51
3.2.2.2	Condiciones Básicas del Diseño de Las Pilas Metálicas.....	54
<b>3.3 PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DE LOS ELEMENTOS DE LA INFRAESTRUCTURA DE PUENTES CARRETEROS.</b> .....		54
3.3.1	Diseño de los Estribos. ....	54

3.3.2 Diseño de Las Pilas de Concreto.....	61
3.3.3 Diseño de Las Pilas Metálicas. ....	65
3.3.4 Diseño de Los Aparatos de Apoyo.....	67
3.3.4.1 Aparatos de Apoyo Fijos, para Puentes de Concreto.....	67
3.3.4.2 Aparatos de Apoyo Fijos, para Puentes Metálicos.....	68
3.3.4.3 Aparatos de Apoyo Móviles, para Puentes de Concreto.....	70
3.3.4.4 Aparatos de Apoyo Móviles, para Puentes Metálicos. ....	72
3.3.5 Diseño de Las Rotulas y Articulaciones.....	75
<b>CAPÍTULO IV: COMENTARIOS GENERALES.....</b>	<b>80</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS. ....</b>	<b>82</b>

## INDICE DE TABLAS.

	pág
<b>Tabla 3.1</b> Valores del coeficiente de forma. ....	51
<b>Tabla 3.2</b> Coeficientes de Fricción. ....	57
<b>Tabla 3.3</b> Ángulos de Fricción Interna de los Materiales de Relleno y de Roce. ....	61
<b>Tabla 3.4</b> Coeficiente C. ....	63

## INDICE DE FIGURAS

	pág
<b>Figura 2.1</b> Puente de Vigas Simplemente Apoyadas (Isostáticos).....	24
<b>Figura 2.2</b> Puente de Vigas Simplemente Apoyadas (Isostáticos) Varios Tramos.....	26
<b>Figura 3.1</b> Partes de un Estribo.....	33
<b>Figura 3.2</b> Estribo Recto. ....	34
<b>Figura 3.3</b> Estribo en Ala.....	35
<b>Figura 3.4</b> Estribo en U. ....	35
<b>Figura 3.5</b> Infraestructura de un Puente (Pilas).....	37
<b>Figura 3.6</b> Partes de una Pila.....	38
<b>Figura 3.7</b> Pila de Concreto.....	40
<b>Figura 3.8</b> Pila Metálica.....	41
<b>Figura 3.9</b> Aparato de Apoyo. ....	42
<b>Figura 3.10</b> Aparatos de Apoyo Multidireccional.....	43
<b>Figura 3.11</b> Aparatos de apoyo unidireccional. ....	43
<b>Figura 3.12</b> Aparatos de apoyo fijo. ....	44
<b>Figura 3.13</b> Semi Articulación Tipo Mesnager.....	45
<b>Figura 3.14</b> Semi Articulación Tipo Considere. ....	46
<b>Figura 3.15</b> Semi Articulación Tipo Freissynet. ....	46
<b>Figura 3.16</b> Semi Articulación Tipo Lossier.....	47
<b>Figura 3.17</b> Formas de las Pilas.....	50
<b>Figura 3.18</b> Perfil de una Pila de Concreto. ....	53
<b>Figura 3.19</b> Aparato de Apoyo Fijo: Balancín.....	68
<b>Figura 3.20</b> Aparatos de Apoyo Fijo: Planchas y Balancines. ....	69
<b>Figura 3.21</b> Balancín de Concreto Armado Tipo Considere.....	71
<b>Figura 3.22</b> Aparatos de Apoyo Móviles: Balancín.....	73
<b>Figura 3.23</b> Cilindros Elásticos.....	73

**Figura 3.24** Rodillos Segmentados. .... 75  
**Figura 3.25** Rótula..... 76

## RESUMEN

Un Puente es una estructura construida con el fin de permitir a una vía de comunicación cruzar un obstáculo natural, como ríos, valles, lagos, etcétera o bien atravesar obstáculos artificiales, como vías férreas o carreteras, sin que existan problemas de mezcla de los tráficos de ambas.

El diseño de cada puente varía dependiendo de su función y la naturaleza del terreno sobre el cual es construido.

La infraestructura de un puente es la encargada de soportar la superestructura y transmitir a la fundación las reacciones de las vigas del puente. La ubicación de sus elementos, la ubicación del puente, su altura y la subdivisión de sus tramos dependen unas de otras. El comportamiento de los estribos y de las pilas difiere, por su posición en la disposición longitudinal del puente, pues debido a ella resultan sometidos a diferentes solicitaciones de carga, razón por la cual se les estudia separadamente.

En este trabajo se dan a conocer cuales son, y los pasos a seguir, en el diseño de los elementos que conforman la infraestructura de un puente, así como también, las consideraciones a la hora de diseñarlos ya que dependen de muchos factores a ser tomados en cuenta para su estabilidad, resistencia y duración con el paso de los años.

## INTRODUCCION

Al desarrollar vías de comunicación, es común encontrarse con obstáculos naturales (valles, depresiones, ríos, etc.) o artificiales (otras carreteras, vías férreas, etc.) que interfieren en la trayectoria de la vía. Para salvar estos obstáculos, es necesario el diseño de los puentes.

Se cree, que los puentes tienen su origen en la prehistoria, posiblemente el primer puente fue un árbol que usó un hombre prehistórico para conectar las dos orillas de un río. Al pasar de los años, el hombre ha tenido la necesidad de perfeccionar las obras, ya que, los primeros puentes eran muy pobremente fundados y raramente soportaban cargas pesadas. Hoy en día, los puentes carreteros están formados por una superestructura, la cual soporta directamente las cargas dinámicas y una infraestructura que recibe las cargas de la superestructura y la trasmite a los cimientos.

Así como han evolucionado los puentes, se ha perfeccionado también la manera de diseñarlos. Se han establecido Normas y Criterios, como resultados de estudios y experimentos realizados, para hacerlos más resistentes al paso de los años, y a las acciones a las que están sometidos. Esta investigación contempla como esta formada la infraestructura de un puente carretero, así como, las condiciones que según las normas y criterios se deben cumplir al proyectarla, con el fin de que ésta absorba y transmita cabalmente las cargas. Además, se exponen los procedimientos que deben llevarse a cabo al realizar el proyecto de la infraestructura, explicándose el diseño de cada uno de los elementos que la conforman.

# **CAPÍTULO I**

## **ASPECTOS GENERALES**

### **1.1 Planteamiento Del Problema**

Los puentes son estructuras que los seres humanos han ido construyendo a lo largo de los tiempos para superar las diferentes barreras naturales (ríos, valles, lagos, etc.) y obstáculos artificiales (vías férreas y carreteras), con las que se han encontrado y poder transportar así sus mercancías, permitir la circulación de las personas y trasladar sustancias de un sitio a otro.

Dependiendo el uso que se les dé, algunos de ellos reciben nombres particulares, como acueductos, cuando se emplean para la conducción del agua, viaductos (puentes de gran longitud), si soportan el paso de carreteras (puentes carreteros) o vías férreas (puentes ferroviarios), y pasarelas, si están destinados exclusivamente a la circulación de personas.

Los puentes están formados por la superestructura, infraestructura y las fundaciones. La infraestructura es la encargada de soportar la superestructura, transmitiendo las reacciones de las vigas del puente a las fundaciones, y éstas transfieren las cargas a los estratos del subsuelo (Arnal, 2000).

La infraestructura de puentes carreteros esta compuesta por los apoyos extremos o estribos y los apoyos internos o pilas, las cuales separan al puente en tramos. Estos elementos se diseñan siguiendo un procedimiento,

dependiendo de las condiciones del puente (ubicación física, obstáculo a salvar, entre otras).

Cuando sea apropiado, los pilares y estribos se deben diseñar para resistir carga muerta, cargas de montaje, cargas vivas sobre la calzada, cargas de viento sobre la superestructura, fuerzas debido a las corrientes del curso de agua, hielo flotante y derrubio, temperatura y efectos de retracción, presiones de agua y empujes de tierra laterales, socavación y colisión, y cargas sísmicas. El asentamiento anticipado de los pilares y estribos se debería estimar mediante un análisis apropiado, y los efectos de asentamiento diferencial se deben considerar en el diseño de la superestructura. (AASHTO 1-7 Especificación para puentes de carretera - Diseño – Subestructuras).

En comparación con otro tipo de edificaciones, los puentes carecen de altos grados de redundancia y la falla de un elemento estructural podría resultar en el colapso de la estructura, mientras que por otro lado la simplicidad debe otorgar una mayor confianza en la predicción de la respuesta sísmica, sin olvidar que esta misma simplicidad puede resultar en una mayor sensibilidad a errores de diseño. Lo anterior puede hacer a los puentes más susceptibles a efectos tales como el  $P-\Delta$  y la influencia de la inercia rotacional (momento de cabeceo). (Riobóo, 1998).

Las Normas más utilizadas mundialmente en cuanto a diseño sísmico de puentes son el AASHTO versión estándar, el AASHTO LRFD, Caltrans, las provisiones del ATC-32, el Eurocode 8, el de Nueva Zelanda y el de Japón, los cuales incorporan dentro de su filosofía lo más avanzado en investigación y práctica. (Riobóo, 1998).

Hoy en día, es de vital importancia para el país el traslado de personas y mercancías, a los centros de producción económica y centros de consumo, Venezuela cuenta con una extensa red de transportes terrestres, formada por la red nacional de carreteras. Muchas veces en estas carreteras se necesitan salvar ciertos obstáculos con el uso de puentes. El proyecto del sistema vial es de suma importancia, ya que permite alcanzar los grandes objetivos fijados en los planes de desarrollo y que se traduce en última instancia en elevar la calidad de vida de los habitantes.

Se puede observar que, para que el suelo donde se funda el puente logre soportar las cargas de éste, y en consecuencia para garantizar seguridad a los usuarios del mismo, la infraestructura debe estar bien diseñada. Al momento de proyectar un puente carretero es importante conocer de forma clara y precisa las consideraciones de diseño establecidas por las Normas y Especificaciones.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 General**

Examinar las consideraciones de diseño en la infraestructura de puentes carreteros.

### **1.2.2 Específicos**

1. Describir los elementos que forman la infraestructura de puentes carreteros.

2. Formular las condiciones básicas que deben satisfacerse en el diseño de los estribos y pilas.
  
3. Explicar el procedimiento de diseño de los elementos de la infraestructura de puentes carreteros.

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 Puentes.**

##### **2.1.1 Definición.**

Es una estructura construida con el fin de permitir a una vía de comunicación cruzar un obstáculo natural, como ríos, valles, lagos o brazos de mar, etcétera. o bien atravesar obstáculos artificiales, como vías férreas o carreteras, sin que existan problemas de mezcla de los tráficos de ambas. (Ver Fig. 2.1). En su construcción, se deben cuidar muchos e importantes aspectos, tales como: estabilidad, resistencia al desplazamiento y a la rotura, entre otros. El diseño de cada puente varía dependiendo de su función y la naturaleza del terreno sobre el que el puente es construido.

El nombre de viaducto suele asignarse a un puente cuando sus dimensiones son desproporcionadas con respecto al obstáculo que salva; éstas vienen dadas por la necesidad de evitar pendientes grandes en la vía de comunicación; así, si el obstáculo es un río, el viaducto atraviesa el valle por cuyo fondo discurre aquél.



**Figura 2.1 Puente de Vigas Simplemente Apoyadas (Isostáticos)**

Fuente: [mipagina.cantv.net/constjomaga/PUENTES/PUENTES.HTM](http://mipagina.cantv.net/constjomaga/PUENTES/PUENTES.HTM)

## **2.1.2 Partes de un Puente.**

### **2.1.2.1 Superestructura.**

La superestructura o conjunto de los tramos que salvan los vanos situados entre los soportes; consiste en el tablero o parte que soporta directamente las cargas dinámicas (tráfico), y las armaduras constituidas por vigas, cables, o bóvedas y arcos que transmiten sus tensiones (cargas) a las pilas y los estribos; En la figura 2.2 se señalan las partes en que esta conformada la superestructura. Las armaduras pueden ser, placas, vigas, entre otras; que transmiten las cargas mediante flexión o curvatura principalmente; cables, que las soportan por tensión; vigas de celosía, cuyos componentes las transmiten por tensión directa o por compresión; y, finalmente, arcos y armaduras rígidas que lo hacen por flexión y compresión a un tiempo.

El tablero está compuesto por un piso de planchas, vigas longitudinales o largueros sobre los que se apoya el piso y vigas transversales que soportan a los largueros. En muchos puentes los largueros descansan directamente en las pilas, o en los estribos. Otros modelos carecen de tales miembros y sólo las vigas transversales, muy unidas, soportan al tablero. En

una tercera clase de puentes el piso descansa sobre el armazón sin utilizar ni vigas ni largueros. Los arriostramientos laterales van colocados entre las armaduras para unirlos y proporcionar la necesaria rigidez lateral. El arriostrado transmite también a estribos y pilas las tensiones producidas por las fuerzas laterales, como las debidas a los vientos, y las centrífugas, producidas por las cargas dinámicas que pasan por los puentes situados en curvas. En algunas ocasiones se utilizan chapas de refuerzo transversales o diafragmas para aumentar la rigidez de los largueros. Tales diafragmas mantienen la alineación de los largueros durante la construcción y tienden a equilibrar la distribución transversal de las cargas entre los mismos. Algunos puentes construidos de concreto armado no necesitan vientos ni diafragmas.

#### **2.1.2.2 Infraestructura.**

Está formada por los estribos o pilares extremos y las pilas o apoyos centrales. Estos son soportados por las fundaciones, que forman la base de ambos. (Ver figura 2.2).

Los estribos van situados en los extremos del puente y sostienen los terraplenes que conducen a él; a veces son remplazados por pilares hincados que permiten el desplazamiento del suelo en su derredor.

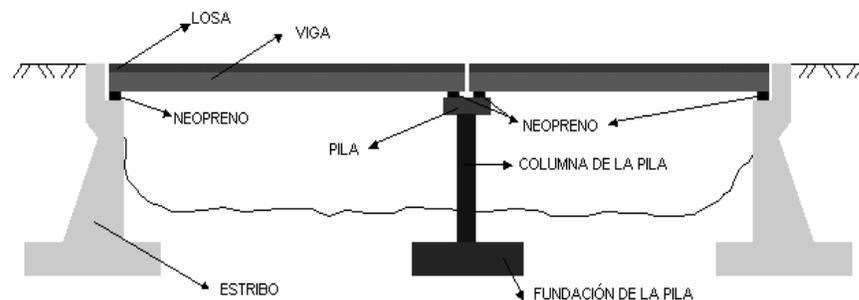
Las pilas son los apoyos intermedios de los puentes de dos o más tramos. En la mayoría de los casos, éstas se encuentran por encima del terreno hasta una altura considerada, de aguas máximas en el caso de puentes sobre ríos, o máxima en pasos elevados. Estas pilas no son parte de la fundación, generalmente se encuentran apoyadas en pilotes.

Las fundaciones están formadas por zapatas, losas o pilotes que soportan el peso de estribos y pilas. Los estribos y pilas reciben las cargas

de las vigas, y las hacen llegar a las fundaciones, donde se disipan en la roca o terreno circundantes.

Los puentes de gran tamaño descansan generalmente sobre fundaciones de roca o tosca, aunque haya que buscarlos a más de 30 m bajo el nivel de las aguas. Cuando tales estratos están muy lejos de la superficie, es preciso utilizar pilotes de profundidad suficiente para asegurar que la carga admisible sea la adecuada. Los puentes pequeños pueden fundarse sobre grava o arcilla compacta, siempre que sus pilas y, estribos tengan la profundidad necesaria para soportar la acción socavadora de las aguas. Los pilotes se utilizan cuando la fundación no tiene suficiente resistencia o cuando es preciso prevenir los peligros de la erosión.

Para absorber los desplazamientos y rotaciones a los que están sometidas las vigas de la superestructura (debidas a cambios de temperatura, retracción, tráfico, sismos, entre otros) se colocan aparatos de apoyo, entre éstas y la parte superior de los estribos y pilas, transmitiendo las cargas de un elemento constructivo a otro. Generalmente se utilizan aparatos de apoyos de neopreno. A continuación se ilustra las partes que conforman un puente:



**Figura 2.2 Puente de Vigas Simplemente Apoyadas (Isostáticos) Varios Tramos**

Fuente: [mipagina.cantv.net/constjomaga/PUENTES/PUENTES.HTM](http://mipagina.cantv.net/constjomaga/PUENTES/PUENTES.HTM)

### **2.1.3 Tipos de Puentes.**

Un puente es diseñado para trenes, tráfico automovilístico o peatonal, tuberías de gas o agua para su transporte o tráfico marítimo. En algunos casos puede haber restricciones en su uso. Por ejemplo, puede ser un puente en una autopista y estar prohibido para peatones y bicicletas, o un puente peatonal, posiblemente también para bicicletas.

Entre los puentes carreteros, o de tráfico automovilístico, existen seis tipos principales de puentes: puentes viga, colgantes, en ménsula, en arco, atirantados y apuntalados. El resto de tipos son derivados de estos.

### **2.1.4 Tipos de Materiales Usados en Puentes.**

Se usan diversos materiales en la construcción de puentes. En la antigüedad, se usaba principalmente madera y posteriormente se usó roca. A mediados de 1800 se comenzaron a construir puentes metálicos. Posteriormente se inicio la construcción de puentes de concreto armado y luego se desarrolló la técnica del concreto pretensado, el cual se convirtió en el material preferido por muchos diseñadores por su alta resistencia y durabilidad. Hoy en día los puentes se fabrican en su mayoría usando concreto pretensado o estructuras de acero.

## **2.2 Solicitaciones para puentes carreteros.**

### **2.2.1 Solicitaciones Geométricas.**

### **2.2.1.1 Espaciamiento entre Pilas, Orientación y Tipo.**

Las pilas de un puente deben ubicarse de acuerdo con los requerimientos de la navegación y de manera que produzcan la mínima obstrucción a la corriente. En general, deben colocarse paralelamente a la dirección de la misma en épocas de avenidas. Asimismo, para dar paso a los materiales de arrastre y a los hielos, los claros del puente y el espacio libre vertical deberán tener la amplitud adecuada, de acuerdo con el tipo de pila y, en caso necesario emplear desviadores de materiales de arrastre.

### **2.2.1.2 Ancho de Calzadas y Banquetas.**

El ancho de la calzada será el ancho libre entre las partes inferiores del brocal, medido normalmente al eje longitudinal del puente. Si no existen brocales, el ancho libre será la distancia mínima entre las cara interiores del parapeto del puente.

El ancho de la acera será el ancho libre entre la cara interior del parapeto y la parte externa del brocal medido normalmente al eje longitudinal del puente, salvo que exista una armadura, trabe o parapeto adyacente al brocal, en cuyo caso, el ancho se medirá hasta la orilla exterior de la acera.

La cara del brocal se define como el parámetro interior, vertical o inclinado del propio brocal. Las dimensiones horizontales del ancho de la calzada y del brocal se toman desde la base, o desde la base del paño inferior, si se trata de brocales escalonados. El ancho máximo de los brocales redondeadas será de 0.23 m.

En los tramos de acceso con brocales y cuneta, ya sea en uno o en ambos extremos del puente, la altura del brocal del puente debe coincidir con el de acceso, o ser, preferentemente, mayor. Cuando no se asignen brocales en el acceso, la altura del brocal en el puente no será menor de 0.20 m y de preferencia no mayor de 0.25 m.

Cuando se requieran aceras para el tránsito de peatones en las vías rápidas urbanas, deberán aislarse de la calzada del puente por medio de parapetos.

### **2.2.1.3 Instalaciones Destinadas a Servicios Públicos.**

Cuando así se requiera, se tomarán las precauciones necesarias para alojar a las bases y los postes para los cables de los troles o del alumbrado, así como los ductos para el agua, cables de electricidad, teléfono, gas o drenaje.

### **2.2.2 Solicitación de Cargas.**

Las estructuras se proyectarán considerando las siguientes cargas y fuerzas cuando existan:

- Carga muerta
- Carga viva
- Impacto o efecto dinámico de la carga viva.
- Cargas por viento
- Otras fuerzas, cuando existan, tales como:
  - Fuerzas longitudinales
  - Fuerza centrífuga.
  - Fuerzas por cambios de temperatura.

- Empujes de tierra.
- Subpresión.
- Esfuerzos por contracción del concreto.
- Esfuerzos de erección.
- Presión de la corriente de agua.
- Esfuerzos por sismo.

Los miembros del puente se proyectaran tomando en cuenta los esfuerzos permisibles y las limitaciones del material empleado de acuerdo con las especificaciones AASHTO.

En la hoja para cálculo de esfuerzos se incluirá un diagrama o notas sobre las cargas consideradas y por separado se indicaran los esfuerzos debidos a las diferentes cargas.

Cuando las condiciones del proyecto así lo requieran, se registrara el orden sucesivo de los vaciados de concreto en los planos o bien en las especificaciones complementarias.

#### **2.2.2.1 Carga Muerta o Permanente.**

La carga muerta o permanente estará constituida por el peso propio de la estructura ya terminada, incluyendo la carpeta asfáltica, aceras, parapetos, tuberías, conductos, cables y demás instalaciones para servicios públicos. Cuando al construir el puente se coloque sobre la carpeta una capa adicional para desgaste, o cuando se piense ponerla en el futuro, deberá tomarse en cuenta al calcular la carga muerta.

#### **2.2.2.2 Carga Viva o Variable.**

La carga viva o variable consistirá en el peso de la carga móvil aplicada, correspondiente al peso de los camiones, automóviles y peatones.

#### **2.2.2.3 Impacto.**

No se trata en sí de una carga actuante. Es un coeficiente de mayoración que tiene en cuenta los efectos dinámicos de las cargas de tránsito.

#### **2.2.2.4 Viento.**

Se trata de una acción secundaria que actúa en sentido transversal al eje del puente. Se considera como una presión con distintas intensidades y aplicada en distintas superficies según se considere el puente descargado o cargado.

#### **2.2.2.5 Fuerzas Longitudinales.**

Deberá considerarse el efecto de una fuerza longitudinal del 5% de la carga viva en todos los carriles destinados al tránsito en una misma dirección. En aquellos puentes donde se considere puedan llegar a ser en el futuro de una sola dirección, deberán considerarse cargados todos sus carriles.

## **CAPÍTULO III**

### **DESARROLLO**

#### **3.1 Descripción de los elementos que forman la infraestructura de puentes carreteros.**

##### **3.1.1 Estribos.**

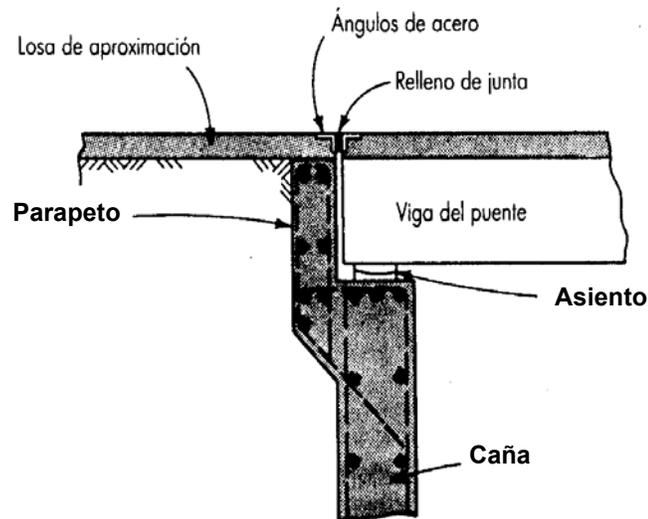
Son los apoyos extremos de un puente, los cuales además de soportar las cargas de las vigas y transmitir la carga desde la superestructura hasta la fundación están destinados a establecer continuidad entre la estructura y la carretera o vía férrea dispuesta, generalmente, sobre un relleno de acceso, y actúan como muros de contención para retener la tierra de relleno por detrás de ellos. Para los estribos instalados en la margen de un río, deberán, además, servir de protección, contra la corriente, del relleno de acceso al puente.

Los estribos constituyen un elemento fundamental para la concepción de la estructura, ya que la elección del tipo, ubicación y dimensiones de los estribos, determinan, el largo y las luces intermedias del puente, su adaptación a las condiciones topográficas del sitio y a las exigencias hidrológicas.

##### **3.1.1.1 Partes que Conforman un Estribo.**

En la Figura 3.1. se muestran las partes que conforman un estribo.

1) La Caña, proporciona la base de reacción para las vigas principales del puente y resiste también el empuje en la dirección de la luz del puente producido por el relleno de tierra.



**Figura 3.1 Partes de un Estribo.**

**Fuente: Diseño de Estructuras de Concreto. Arthur H Nilson. Año 1993.**

Los muros laterales o aletas pueden ir en voladizo, o prolongarse hacia abajo hasta la zapata en toda su longitud. También pueden ensancharse hacia fuera al observarlos en planta, según la necesidad de confinamiento del relleno de tierra, y su misión fundamental es asegurar que el pie del cono de vertido del terraplén no invada la zona de tráfico inferior o quede suficientemente alejado del cauce del río.

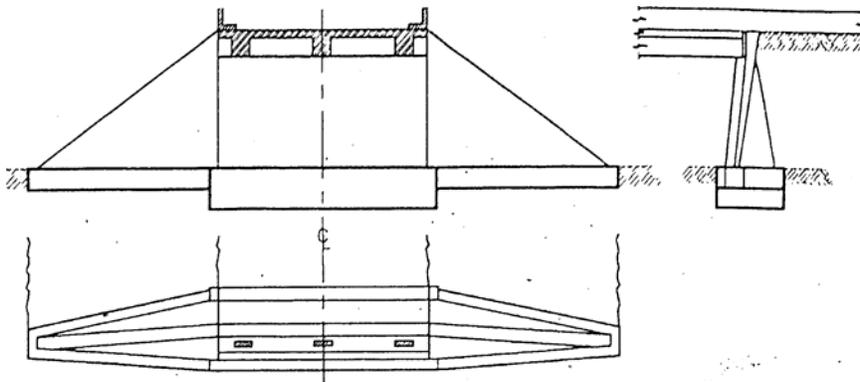
2) El Asiento de las Vigas, con sus correspondientes aparatos de apoyo.

3) El Parapeto, contiene la tierra por encima del asiento del puente. La losa de aproximación de la calzada se apoya sobre este, con el fin de minimizar los problemas que genera el asentamiento inevitable del relleno.

### 3.1.1.2 Tipos de Estribos.

Según la posición de los muros de ala, con relación al paramento del estribo:

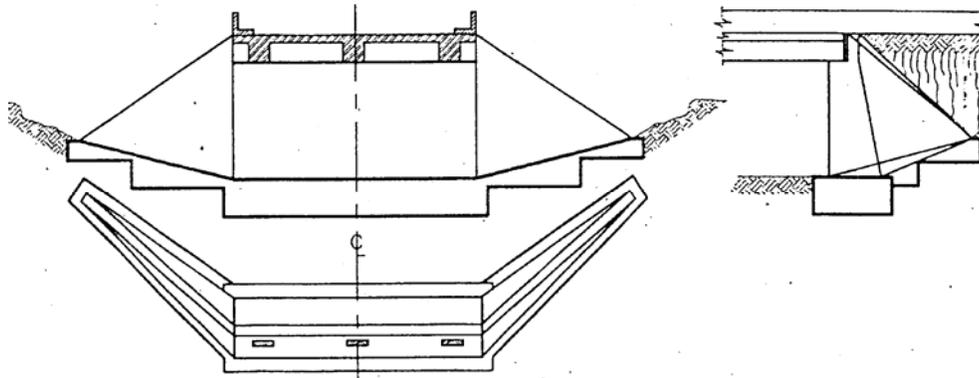
- Estribos rectos, los muros de ala se colocan a prolongación de la cara del estribo propiamente dicho (Ver Fig. 3.2).



**Figura 3.2 Estribo Recto.**

Fuente: Lecciones de puentes. Eduardo Arnal. Año 2000.

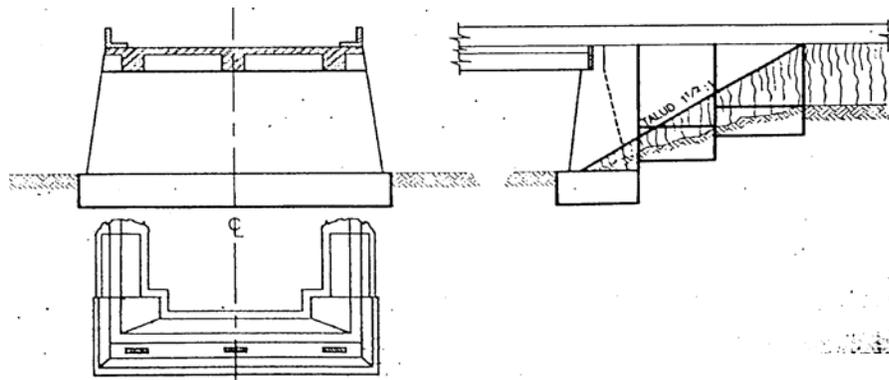
- Estribos en ala, los muros forman un ángulo de  $30^\circ$  a  $45^\circ$  con la prolongación del paramento del estribo (Ver Fig. 3.3).



**Figura 3.3 Estribo en Ala.**

Fuente: Lecciones de puentes. Eduardo Arnal. Año 2000.

- Estribos en U, los muros de retorno son construidos paralelos al eje de la viga (Ver Fig. 3.4).



**Figura 3.4 Estribo en U.**

Fuente: Lecciones de puentes. Eduardo Arnal. Año 2000.

- Estribos abiertos, no poseen muros de ala, se deja que el relleno asuma su talud natural de reposo y arrope completamente la caña del estribo.

### **3.1.1.3 Materiales.**

Los estribos comúnmente se construyen de:

- Mampostería.
- Concreto simple o armado.

Sin embargo en las estructuras provisionales generalmente se construyen de:

- Madera.
- Cribas rellenas con piedras.
- Gaviones hechos por cestas metálicas rectangulares.
- Mallas, que se superponen para formar un conjunto ciclópeo estable al volcamiento y al deslizamiento, de bajo costo y gran flexibilidad.

En estructuras metálicas pequeñas, se utiliza:

- Tablestacas metálicas coronadas con una viga metálica de repartición.
- Tierra armada, reforzando el relleno compactado de los accesos, con tiras metálicas, que llegan hasta un revestimiento de losas de concreto, que forman el paramento del estribo, el conjunto se remata con una viga de corona, que soporta los aparatos de apoyo de las vigas.

### **3.1.2 Pilas.**

Son los apoyos intermedios de un puente, en estas no actúa el empuje de los rellenos de acceso (Ver Fig. 3.5). Las principales fuerzas que estos elementos reciben son horizontales, transversales, debido al viento y/o las acciones sísmicas, principalmente cuando son de elevadas alturas.



**Figura 3.5 Infraestructura de un Puente (Pilas).**

Fuente: <http://www.basf-cc.es/NR/rdonlyres/153C273B-7296-4A6C-936F-E3C6130E6B7F/0/Aparatosdeapoyo.pdf>

La presencia de las pilas en el cauce del río, ocasiona un disturbio en el régimen normal del mismo, el cual se manifiesta con una sobre-elevación o remanso del nivel del río, aguas arriba del sitio del puente y por un aumento de la velocidad de la corriente y ocurrencia de remolinos, en la sección estrechada por la presencia de las pilas. Ambas acciones resultan perjudiciales para la seguridad y permanencia de la estructura, por eso deben disponerse de manera tal, que estas disminuyan.

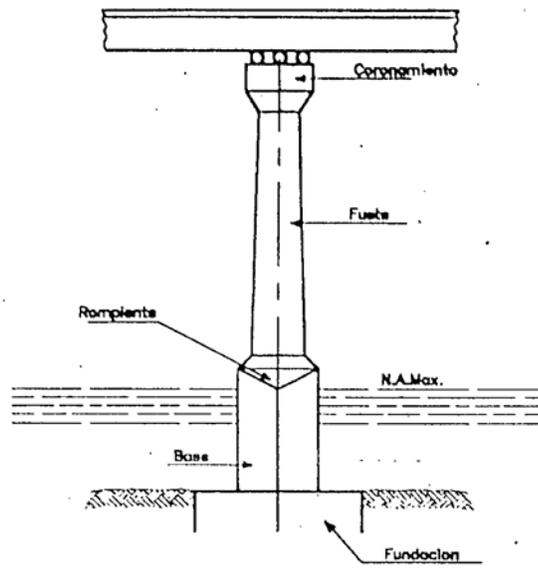
### **3.1.2.1 Partes que Conforman una Pila.**

Las pilas están formadas por *La Base*, *El Fuste o Cuerpo de la Pila* y *El Coronamiento* (Ver Fig. 3.6).

1) *La Base* se apoya en la fundación y queda generalmente sumergida por debajo del nivel de aguas máximas normales, por lo tanto se colocan comúnmente rompientes que disminuyen el efecto de las corrientes.

2) *El Fuste o Cuerpo de la Pila* salva la altura exigida por la rasante.

3) *El Coronamiento*, en el cual finaliza el fuste, y donde se colocan los aparatos de apoyo de la superestructura.



**Figura 3.6 Partes de una Pila.**

Fuente: Lecciones de puentes. Eduardo Arnal. Año 2000.

### 3.1.2.2 Materiales.

Los materiales mas usados en la construcción de pilas son:

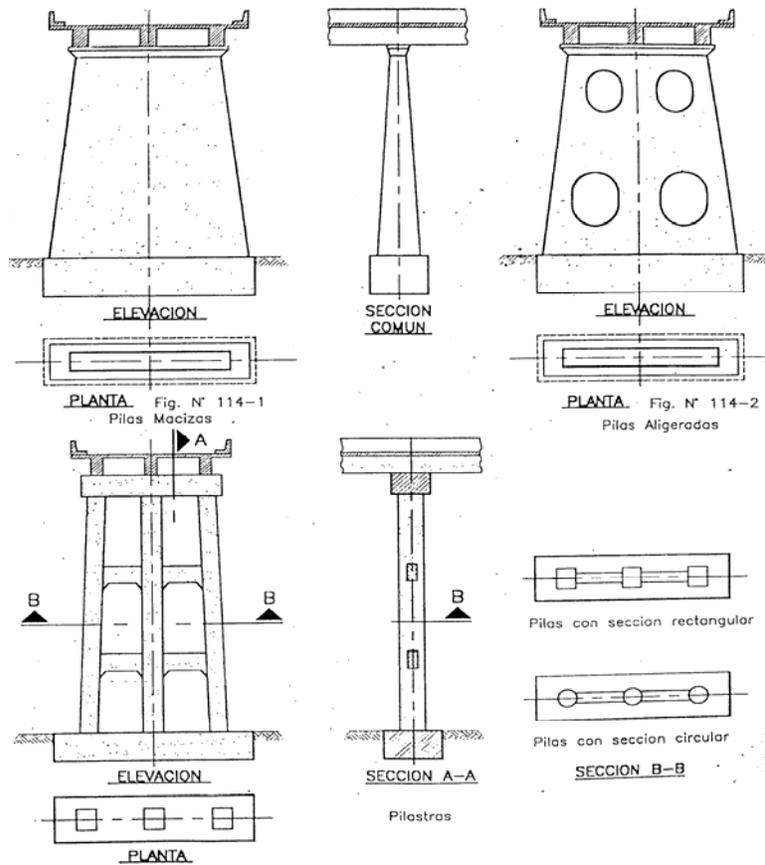
- Mampostería o concreto ciclópeo.
- Concreto armado, aporticadas o monocolumnares.
- Metálicas, tubulares o formando torres de celosía.

### 3.1.2.3 Tipos de Pilas.

#### a) *Pilas de Concreto.*

Las pilas de mampostería o de concreto, debido a la permanencia y estabilidad que ofrecen estos materiales, son las más utilizadas en su construcción (Ver Fig. 3.7). De acuerdo a su altura, se pueden utilizar uno de estos tipos:

- Pilas llenas o macizas: cuando no salvan grandes alturas, sus secciones son prácticamente constantes. Cuando la altura es considerable pueden construirse con un perfil de igual resistencia.
- Pilas aligeradas: se utilizan para reducir el peso propio de las mismas.
- Pilastras: están formadas por columnas independientes o ligadas entre si por medio de diafragmas. En ellas se incluyen las monocolumnas, muy usadas en los cruces urbanos, para disminuir la interferencia con el tránsito.



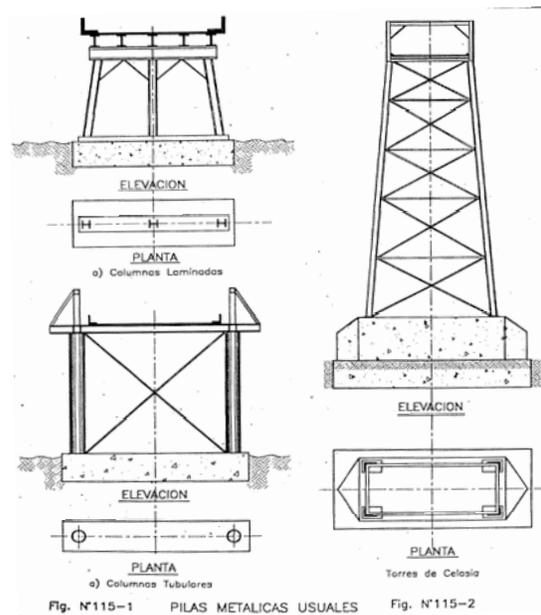
**Figura 3.7 Pila de Concreto.**

Fuente: Lecciones de puentes. Eduardo Arnal. Año 2000.

*b) Pilas Metálicas.*

Las pilas metálicas se emplean, cuando su altura es considerable y se desea reducir el peso propio de la infraestructura (Ver Fig. 3.8). Se recomiendan en el caso en que los suelos de fundación tengan bajo poder de soporte.

Estas pilas son aplicables para los puentes cuya superestructura sea también metálica. Se utiliza principalmente en viaductos, ya que no es recomendable utilizarlas por debajo del nivel de aguas máximas del río, donde producen considerables disturbios, además del peligro de oxidación de las piezas y uniones metálicas que quedan sometidas a la acción del agua.



**Figura 3.8 Pila Metálica.**

Pente: Lecciones de puentes. Eduardo Arnal. Año 2000.

### 3.1.3 Aparatos de Apoyo.

Son los elementos que van entre la viga del puente y el asiento del estribo (Ver Fig. 3.9). Los aparatos de apovo se utilizan para:

- Localizar el punto de apoyo de cada viga y por ende, el punto de aplicación de las reacciones del puente.
- Absorber los movimientos de apoyo de la estructura, debidos a la acción de las cargas o de los cambios de temperatura.
- Distribuir las reacciones del puente en áreas suficientes para tener presiones aceptables, en la cabeza de los estribos o pilas.
- Absorber, parcialmente, las acciones dinámicas del sismo permitiendo una reducción en las sollicitaciones determinantes del diseño de las pilas muy altas.



**Figura 3.9 Aparato de Apoyo.**

Fuente: <http://www.basf-cc.es/NR/rdonlyres/153C273B-7296-4A6C-936F-E3C6130E6B7F/0/Aparatosdeapoyo.pdf>

### **3.1.3.1 Tipos de aparatos de apoyos.**

1. *Aparatos de apoyo móviles:* se utilizan para permitir la variación en la longitud de la viga, originados por cambios de temperatura y las contracciones de fraguado en las estructuras de concreto.

a) *Apoyo Multidireccional.* (Ver Fig. 3.10)

- Soportan cargas de componente vertical.
- Permiten el giro en cualquier dirección.
- Permiten el movimiento horizontal tanto longitudinal como transversalmente.



**Figura 3.10 Aparatos de Apoyo Multidireccional.**

Fuente: <http://www.basf-cc.es/NR/rdonlyres/153C273B-7296-4A6C-936F-E3C6130E6B7F/0/Aparatosdeapoyo.pdf>

b) *Apoyo Unidireccional.* (Ver Fig. 3.11)

- Soportan cargas de componente vertical.
- Permiten el giro en cualquier dirección.
- Permiten el movimiento horizontal en un único eje.

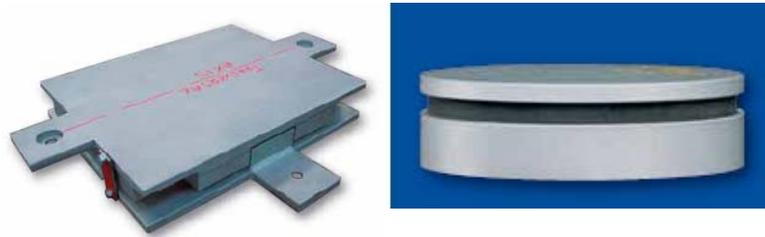


**Figura 3.11 Aparatos de apoyo unidireccional.**

Fuente: <http://www.basf-cc.es/NR/rdonlyres/153C273B-7296-4A6C-936F-E3C6130E6B7F/0/Aparatosdeapoyo.pdf>

2. *Aparatos de apoyo fijo*: son necesarios para repartir las reacciones de las vigas en un área suficiente para obtener presiones aceptables sobre los estribos. (Ver Fig. 3.12).

- Soportan cargas tanto verticales como horizontales.
- Permiten el giro en cualquier dirección.
- Movimiento horizontal coartado tanto longitudinal como transversalmente.



**Figura 3.12 Aparatos de apoyo fijo.**

Fuente: <http://www.basf-cc.es/NR/rdonlyres/153C273B-7296-4A6C-936F-E3C6130E6B7F/0/Aparatosdeapoyo.pdf>

### 3.1.4 Rotulas y Articulaciones.

Las rotulas y articulaciones son elementos que transmiten fuerzas axiales y transversales, pero no momentos. Y por lo tanto se les emplea cuando es necesario fijar puntos de paso elástica de las estructuras y eliminar grados de indeterminación en el proyecto de estas.

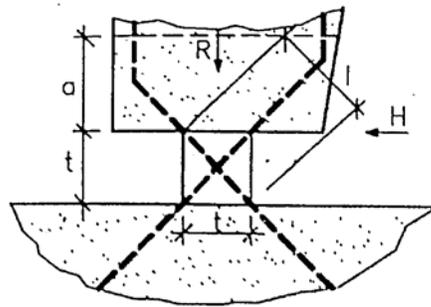
Es condición indispensable de una articulación permitir rotaciones, pero no desplazamientos.

Por razones de costo, y dificultades constructivas, estos dispositivos han sido desplazados por articulaciones o semi-articulaciones, las cuales tienen la ventaja de ser realizadas en la obra.

Estos dispositivos, no dan absoluta libertad de rotación, sin embargo, logran que no se transmitan momentos apreciables a través de ellas.

Las semi-articulaciones de concreto más comunes son:

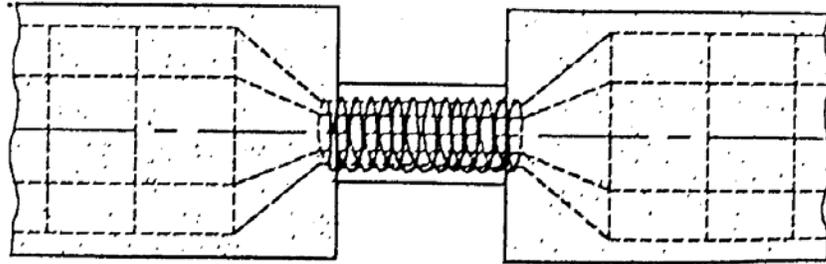
1° Tipo Mesnager. Esta formada por barras cruzadas en una sección reducida del concreto (Ver Fig. 3.13), es recomendable para cargas moderadas (hasta 150tons/m.). En ellas se calcula el área del acero de la rotula de manera que el esfuerzo pueda absorber la totalidad de las reacciones y de los empujes que recibe la articulación.



**Figura 3.13 Semi Articulación Tipo Mesnager.**

**Fuente: Lecciones de puentes. Eduardo Arnal. Año 2000.**

2° Tipo Considere. En esta rotula se reúne todo el esfuerzo principal en un núcleo de barras paralelas, cerca del eje del elemento, zunchandolas con un espiral continuo (Ver Fig. 3.14).

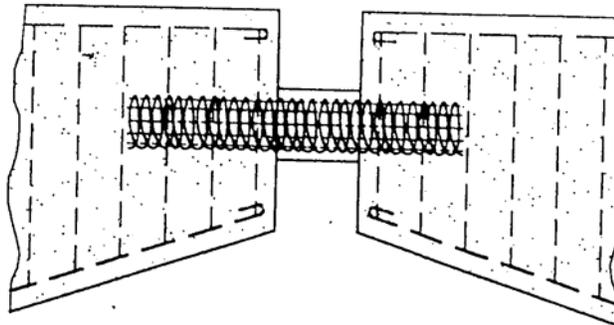


**Figura 3.14 Semi Articulación Tipo Considere.**

Fuente: Lecciones de puentes. Eduardo Arnal. Año 2000.

La articulación Considere es esencialmente una columna corta, con refuerzo en espiral, de dimensiones tales que su resistencia a la rotación es apreciablemente menor que la de los elementos que une.

3° Tipo Freissynet. Esta articulación es una variable del tipo Considere y tiene las mismas características que aquella. Se diferencia en que las barras de la rotula son independientes y se las dimensiona para absorber la totalidad de los empujes y las reacciones (Ver Fig. 3.15).

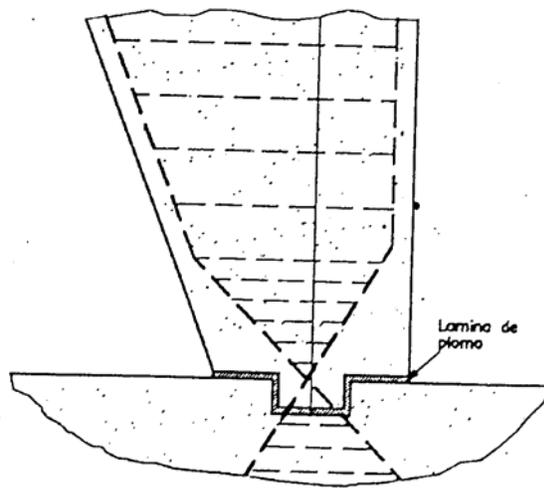


**Figura 3.15 Semi Articulación Tipo Freissynet.**

Fuente: Lecciones de puentes. Eduardo Arnal. Año 2000.

4° Tipo Lossier. Es el más sencillo de todos y se emplea con frecuencia en las articulaciones de los pies de los pórticos macizos. Se acostumbra a

intercalar una lamina de plomo entre los dos elementos de la rotula para hacer mas fácil su giro. Esta limitada a aquellas estructuras cuyo giro al deformarse será muy pequeña (Ver Fig. 3.16).



**Figura 3.16 Semi Articulación Tipo Lossier.**

Fuente: Lecciones de puentes. Eduardo Arnal. Año 2000.

### **3.2 Condiciones básicas que deben satisfacerse en el diseño de los estribos y pilas.**

#### **3.2.1 Condiciones Básicas del Diseño de los Estribos.**

El cuerpo del estribo esta sometido a las siguientes cargas verticales y horizontales.

- a) Cargas verticales debidas a las reacciones de la superestructura, que se calculan sin tomar en cuenta el efecto del impacto sobre las sobrecargas móviles.
- b) El peso propio del estribo.
- c) El peso del relleno que actúa sobre la base del estribo y contribuye así a su estabilidad.

d) El empuje de tierra para cuya determinación se debe tomar en cuenta el efecto de las sobrecargas de tránsito que actúan sobre el relleno.

Según las normas AASHTO, la sobrecarga de tránsito equivale a una altura adicional de relleno de 0.90 m.

Las acciones sísmicas que actúan sobre el material de relleno, cuyas propiedades estáticas se modifican por el efecto dinámico del sismo.

e) Los empujes de la superestructura, se calculan, al igual que las reacciones verticales, sin tomar en cuenta el efecto del impacto sobre la sobrecarga.

f) Presiones del viento y agua, que en la mayor parte de los casos resulta despreciable en comparación con la magnitud de otras cargas que actúan sobre los estribos.

g) Las fuerzas de tracción y frenado, cuya influencia en los puentes carreteros puede despreciarse. Son más importantes en los puentes ferrocarrileros.

El proyecto de diseño de los estribos de un puente, se hace bajo las combinaciones más desfavorables de cargas, a fin de satisfacer algunas condiciones, las cuales también se establecen para el caso de muros de sostenimiento. Dichas condiciones, son las siguientes:

- Estabilidad al volcamiento.
- Estabilidad al deslizamiento.
- Presión aceptable sobre el terreno de fundación.
- Resistencia de sus elementos a las fuerzas a que están sometidos.

En los muros de sostenimiento, se admite que la resultante de las cargas actuantes, ocupe cualquier punto del núcleo de la base; sin embargo, en los estribos es conveniente conservar la resultante, lo más cerca posible

del centro de gravedad de la base, ya que, dada la mayor magnitud de las cargas que actúan sobre el estribo, su comportamiento en condiciones de excentricidad producirían una concentración de presiones en el borde de la base, capaz de originar asentamientos desiguales considerables y grietas probables en el cuerpo del estribo.

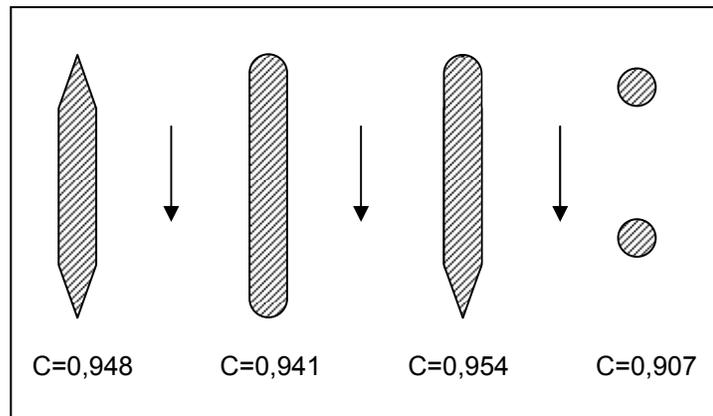
### **3.2.2 Condiciones Básicas del Diseño de Las Pilas.**

La disposición y proyecto de las pilas se realiza de manera de transmitir las cargas de la superestructura a la fundación, causando, al mismo tiempo, el mínimo disturbio posible al régimen del río que se puentea.

Las solicitaciones de cargas a que están sometidas las pilas, se deben a:

- a) Reacciones verticales: originadas por el peso propio de la superestructura y por el efecto de las cargas móviles.
- b) Reacciones horizontales: debidas a la acción del freno y los empujes horizontales ocasionados por la presión del viento y por la velocidad del agua, además de las acciones sísmicas si las hubiere.

Para reducir el disturbio originado por la presencia de las pilas en el cauce del río, se deben de diseñar las bases de éstas, dándoles una sección aerodinámica que reduzca la contracción de la sección de desagüe. Entre las formas más comunes se encuentran las indicadas en la Figura 3.17, para las cuales se ha determinado, por medio de modelos, el coeficiente  $C$  de contracción de la sección neta comprendida entre ellas.



**Figura 3.17 Formas de las Pilas.**

**Fuente: Lecciones de puentes. Eduardo Arnal. Año 2000.**

Además de diseñar la sección aerodinámica, existen otros mecanismos utilizados para la protección de la pila contra el fenómeno de socavación, entre éstos se encuentran:

- Disposición en el lecho de material granular. Dicho material se caracteriza por tener un diámetro mayor al de los sedimentos del lecho original del canal. El diámetro escogido debe ser tal que permita la resistencia a la erosión evitando el arrastre del material.

- Ubicación de la pila en sitios donde el lecho tenga características de no erodabilidad.

- Inyecciones de concreto en el lecho en la zona de cimentación de la pila.

- Reducción de vorticidad y de corrientes secundarias. Esta metodología consiste en implementar elementos no estructurales a la pila que permitan disipar la energía de las corrientes secundarias del flujo (vorticidad).

### 3.2.2.1 Condiciones Básicas del Diseño de Las Pilas de Concreto.

Al igual que los estribos, las pilas deben proyectarse para satisfacer las condiciones de estabilidad al volcamiento y al deslizamiento, bajo las combinaciones más desfavorables de cargas. Así, como la resistencia de los elementos que componen las pilas, a la acción de las cargas a que están sometidas.

Las cargas más desfavorables, se verifican para las correspondientes condiciones de puente cargado y descargado, bajo la acción del viento y la presión del agua.

Las presiones hidrodinámicas  $P$  se determinan por la expresión:

$$P = k.V^2.A \quad (3.1)$$

Donde,

$k$ : coeficiente de forma, que varía según la forma de la pila (Tabla 3.1).

$V$ : la velocidad del agua.

$A$ : el área frontal de la pila.

**Tabla. 3.1 Valores del coeficiente de forma.**

Forma de la pila	Valor de $k$
Rectangulares	0,07
Circulares	0,04
Perfiladas	0,02

Fuente: Lecciones de puentes. Eduardo Arnal. Año 2000.

La presión del viento depende de las condiciones locales de exposición y de la forma de la pila; para las caras cerradas puede estimarse en 200 a 350 kg/m<sup>2</sup>, mientras que, para pilastras cilíndricas esta estimación se reduce a 150 kg/m<sup>2</sup>.

Las pilas expuestas a colisiones de vehículos se someten a cargas concentradas de 100 ton. aplicadas a 1.20 m. sobre el pavimento inferior.

En las zonas sísmicas, deben considerarse las acciones debidas al sismo de diseño.

En los cauces de agua profunda, debe considerarse la sub-presión que actúa sobre la base de la pila, ya que ésta puede llegar a tener magnitud suficiente para influir en su estabilidad.

Las dimensiones del coronamiento de las pilas, así como del fuste de las mismas, dependen del ancho de la superestructura y del tamaño de los aparatos de apoyo. La compresión producida por las cargas es muy pequeña y solo influyen en la determinación de la sección de la pila, cuando estas tienen una altura considerable.

Para las alturas reducidas, los paramentos de la pila se pueden conservar verticales. A medida que la altura de la pila aumenta, se acostumbra inclinar los paramentos, con una pendiente comprendida entre 1:10 a 1:24, dándole así, un aumento de sección a la pila, con lo que se consigue darle mayor estabilidad y reducir la compresión sobre el concreto. Sin embargo, cuando la altura de la pila se considera muy alta, no resulta económico este procedimiento, utilizándose para ello, un perfil de igual resistencia que consiste en un perfil logarítmico que satisfaga la ecuación:

$$A_x = A_0 \cdot e^{\frac{\delta \cdot x}{sc}} \quad (3.2)$$

Donde,

$A_0$ : área de la sección en el tope de la pila, generalmente fijada por la relación  $R/sc$ .

$A_x$ : área de la sección a la distancia  $X$  del tope.

$e$ : base de los logaritmos neperianos.

$\delta$ : peso unitario del material.

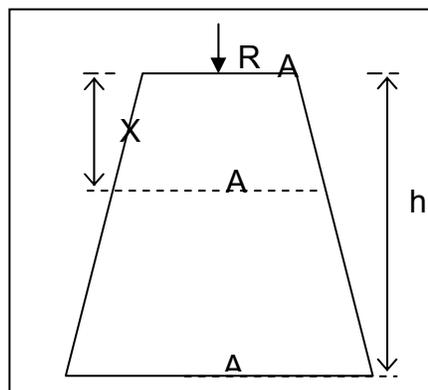
$sc$ : coeficiente del trabajo admisible para el concreto.

$x$ : distancia de la sección considerada hasta el tope de la pila.

El peso total  $W$  del sólido de altura  $h$  así obtenido tiene por valor:

$$W = A_0 \cdot sc \cdot \left( e^{\frac{\delta \cdot h}{sc}} - 1 \right) \quad (3.3)$$

En la Figura 3.18, se muestra el Perfil de una Pila de concreto con sus respectivas dimensiones.



**Figura 3.18 Perfil de una Pila de Concreto.**

Fuente: Lecciones de puentes. Eduardo Arnal. Año 2000.

### **3.2.2.2 Condiciones Básicas del Diseño de Las Pilas Metálicas.**

Las pilas metálicas se proyectan para satisfacer las mismas condiciones que las pilas de concreto.

Para conseguir la estabilidad al volcamiento y al deslizamiento, se debe diseñar la forma apropiada de la pila. Señalando que en estas estructuras se tolera la aparición de tracción en algunos de sus elementos siempre que estos se anclen firmemente al macizo de la fundación, la cual debe tener dimensiones suficientes para garantizar la estabilidad del conjunto.

Para obtener la combinación de cargas más desfavorables, que deben resistir los elementos de las pilas, se consideran las fuerzas horizontales debidas al viento, al sismo y al frenado, junto con las reacciones verticales correspondientes a los casos de puentes cargados y descargados. En algunos casos, el cambio de sentido de las fuerzas horizontales implica una inversión de las fuerzas en las componentes de la pila, circunstancia que debe de tomarse, muy en cuenta, para su verificación.

## **3.3 Procedimiento de diseño de los elementos de la infraestructura de puentes carreteroS.**

### **3.3.1 Diseño de los Estribos.**

1) Conocida la ubicación y las condiciones de relleno de acceso, se procede a dimensionar, de manera aproximada, los elementos que conforman el estribo. En los estribos de mampostería o concreto simple, se hace el espesor de la cabeza igual al espesor del parapeto, más el ancho de

los aparatos de apoyo, con un margen de seguridad de 20 cm. aproximadamente.

El parapeto se considera como un pequeño muro de sostenimiento apoyado al nivel de asiento de las vigas. Su espesor debe ser el menor posible, por ello se le diseña a veces, como una pantalla de concreto armado empotrada en la caña.

Se diseña el asiento de las vigas de manera tal que posea un ancho suficiente para los aparatos de apoyo, más el margen de seguridad. Cuando no se utilizan aparatos de apoyo exigen las normas AASHTO dejar para el asentamiento de las vigas un ancho igual a los 3/8 de su altura.

El ancho de la base se determina en función de la altura del relleno, se puede utilizar como primera aproximación un espesor igual a  $0.40h$ . Según Legat, el ancho aproximado de la base de los estribos ciclópeos debe ser:

$$b = \frac{2.R}{\gamma_c \cdot h} \left( \sqrt{1 + \frac{3.Q.y.\gamma_c \cdot h}{2.R^2}} - 1 \right) \quad (3.4)$$

Donde:

$R$ : Reacción máxima del puente, por metro de ancho.

En los estribos de concreto armado es necesario dimensionar aproximadamente las patas anteriores y posteriores de la base, cuyo ancho total puede estimarse en  $0.40h$ .

2) Se establecen las hipótesis de carga más desfavorables. Se verifican las condiciones del estribo, por lo menos para los siguientes casos:

- Estribo solo, sin relleno y sin la reacción del puente.
- Estribo y puente descargado, sin la acción del relleno.
- Estribo y puente descargado, con acción del relleno sobrecargado.
- Estribo y puente cargado, con la acción del relleno sin sobrecarga.
- Puente descargado y relleno activado por el sismo (solo en las zonas sísmicas)
- Puente cargado y relleno activado por el sismo (solo en las zonas sísmicas)

Para cada uno de estos casos, se deben calcular los valores de los empujes de la tierra y de las reacciones de la superestructura, combinándolos con el peso propio del estribo, para obtener la resultante de todas las acciones.

3) Con los valores anteriores se verifica:

- *La estabilidad del estribo al volcamiento*, comparando el punto de pase de la resultante con el centro de gravedad de la base, esta excentricidad debe ser la menor posible.

- *La estabilidad al deslizamiento*, comparando el empuje total horizontal, con la fricción  $P \cdot \tan \phi$  desarrollada por el peso  $P$  del estribo en la superficie de contacto entre la base y el suelo. El factor de seguridad al deslizamiento debe ser igual a 2, Según las normas usuales. Utilizándose como coeficientes de fricción los valores mostrados en la Tabla 3.2:

**Tabla 3.2 Coeficientes de Fricción.**

<b>Material</b>	<b>tan <math>\phi</math></b>
Mampostería o concreto s/concreto	0,60
Mampostería o concreto s/arena o grava	0,50
Mampostería o concreto s/arcilla	0,40

Fuente: Lecciones de puentes. Eduardo Arnal. Año 2000.

Cuando el factor de seguridad al deslizamiento no resulte aceptable, puede mejorarse la condición del estribo proporcionándole un dentellón debajo de su base, sin modificar las dimensiones del mismo.

En los estribos apoyados sobre pilotes, se puede tomar en cuenta la resistencia horizontal de estos, para compensar el efecto del deslizamiento.

4) Al comprobar que las condiciones de estabilidad resulten satisfactorias, se calculan las presiones producidas por el estribo sobre el terreno de fundación, las cuales deben ser lo mas uniformes posibles y no exceder a la resistencia admisible para el suelo considerado.

Cuando la base del estribo es rectangular las presiones máximas  $S_{MAX}$  y mínimas  $S_{MIN}$  sobre el terreno, se obtienen por medio de la expresión siguiente:

$$S_{MAX-MIN} = \frac{R}{b} \cdot \left( 1 \pm \frac{6.e}{b} \right) \quad (3.5)$$

Donde:

$R$ : resultante de todas las cargas verticales en la longitud unidad.

$b$ : ancho de la base.

$e$ : excentricidad de la resultante.

5) Una vez que se cumplan las condiciones de estabilidad y de presión admisible sobre el terreno se diseña la caña del estribo, esta debe resistir las fuerzas a la que esta sometida. Se dimensionan en detalle el parapeto, el cual generalmente se construye de concreto armado, considerándolo como empotrado en la caña del estribo, a fin de reducir al mínimo su espesor.

6) Se colocan los aparatos de apoyo, se comprueban los esfuerzos localizados de compresión que estos producen sobre la cabeza del estribo y se diseñan los detalles constructivos, tales como barbacanas para garantizar el drenaje del relleno contenido por el estribo, refuerzos para temperatura y contracción de fraguado, etc.

Es recomendable que el refuerzo de repartición de los estribos consista, al menos, en cabillas de 3/8", colocadas a 25 cm. centro a centro, en ambos sentidos, cerca del paramento exterior del estribo.

El diseño de los estribos se realiza por medio de tanteos, por lo que, se recomienda realizar un programa computarizado para su solución.

En el caso de los estribos muy altos ó que estén ubicados en terrenos débiles ó de elevada inclinación, es necesario un análisis completo del comportamiento del terraplén. En los estribos usuales, se acostumbra a utilizar la teoría simplificada de Rankine para calcular el empuje estático de tierra.

El empuje total de Q se expresa así:

$$k_0 = \frac{\gamma_s (1 - \text{sen} \phi)}{(1 + \text{sen} \phi)} \quad (3.6)$$

$$Q = k_0(h + 2 \cdot h') \cdot \frac{h}{2} \quad (3.7)$$

Donde:

$\gamma_s$ : El peso unitario del relleno.

$k_0$ : Coeficiente estático.

$h$ : La altura del relleno.

$h_1$ : La altura de la sobrecarga.

$\phi$ : Angulo de reposo del material del relleno.

El empuje se supone aplicando a una altura sobre la base dada por:

$$y = \frac{h \cdot (h + 3 \cdot h')}{3 \cdot (h + 2 \cdot h')} \quad (3.8)$$

Cuando el paramento del estribo esta inclinado, es preferible utilizar la formula de Coulomb, con el coeficiente:

$$k_0 = \frac{\cos^2(\phi - \beta)}{\cos^3 \beta \cdot \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin^2 \phi \cdot \tan \phi}{\cos \beta}} \right]^2} \quad (3.9)$$

Donde:

$\beta$ : el ángulo de inclinación del paramento.

Las expresiones de Coulomb y Mononobe-Okabe son utilizadas para estimar los empujes estáticos y dinámicos cuando el puente este ubicado en zona sísmica y los estribos sean de gran altura y de suma importancia.

El coeficiente de empuje estático esta dado por:

$$k_0 = \frac{\cos^2(\phi - \beta)}{\cos^2 \beta \cdot \cos(\delta + \beta) \cdot \left[ 1 + \sqrt{\frac{\text{sen}(\delta + \phi) \cdot \text{sen}(\phi - \tau)}{\cos(\delta + \beta) \cdot \cos(\beta - \tau)}} \right]^2} \quad (3.10)$$

Con el cual se determina un empuje inclinado dado por:

$$Q = 0,50 \cdot k_0 \cdot h^2 \quad (3.11)$$

Cuya proyección horizontal, aplicada a  $h/3$  de la base se usa para verificar la estabilidad del estribo, en los casos de carga correspondientes.

El coeficiente de empujes dinámicos  $k_d$ , se determina para tomar en cuenta el efecto dinámico del sismo.

$$k_d = \frac{\cos^2(\phi - \beta - \theta) \cdot (1 - k_v)}{\cos^2 \beta \cdot \cos(\delta + \beta + \theta) \cdot \left[ 1 + \sqrt{\frac{\text{sen}(\delta + \phi) \cdot \text{sen}(\phi - \tau - \theta)}{\cos(\delta + \beta + \theta) \cdot \cos(\beta - \tau)}} \right]^2} \quad (3.12)$$

Suponiendo que la proyección horizontal del empuje esta aplicada a una altura igual a  $(1,07 + 1,50 \cdot k_h) \cdot h/3$  sobre la base.

Donde:

$\beta$ : el ángulo de inclinación del paramento del muro.

$\delta$ : inclinación del empuje respecto al paramento.

$\tau$ : inclinación del tope del relleno.

$k_v$ : coeficiente de aceleración vertical del sismo.

$k_h$ : coeficiente de aceleración horizontal del sismo.

$\theta$ : ángulo auxiliar, dado por:

$$\theta = \arctan(k_h / 1 - k_v) \quad (3.13)$$

Según la AASHTO, los ángulos de fricción interna de los materiales de relleno y de roce con el paramento del muro, están comprendido dentro de los valores mostrados en la Tabla 3.3:

**Tabla 3.3 Ángulos de Fricción Interna de los Materiales de Relleno y de Roce.**

Material	$\Phi$	$\delta$
Tierra ordinaria	30° a 45°	14°
Arena seca	25° a 35°	17°
Arena húmeda	30° a 45°	22°
Relleno compactado	35° a 45°	17°
Grava	30° a 40°	22°

Fuente: Lecciones de puentes. Eduardo Arnal. Año 2000.

Los cuales pueden aplicarse al proyecto, salvo opinión del especialista en suelos.

### 3.3.2 Diseño de Las Pilas de Concreto.

Para el proyecto de las pilas de mampostería o de concreto simple, se puede seguir el siguiente procedimiento:

1) Se elige el tipo y forma de la pila que resulte más adecuada, según las condiciones locales, la magnitud de las cargas y la altura de la pila (según las condiciones del terreno), luego se determinan sus dimensiones aproximadas, de la siguiente manera:

a) La longitud del coronamiento debe ser por lo menos igual al ancho máximo entre las vigas de la estructura más un margen de seguridad de 0.60 m.

b) El ancho del coronamiento debe ser igual al ancho de los aparatos de apoyo, más un margen de seguridad de 20 cm. aproximadamente. En caso de que no se dispongan aparatos de apoyo, se debe proveer un asiento para las vigas igual a los  $\frac{3}{8}$  de su altura.

c) Los lados de la base dependen de la inclinación de los paramentos de la pila, los cuales pueden ser verticales o inclinados, según la altura de la pila. Se elige la forma de los rompientes, determinada para la mayor o menor velocidad del agua durante las crecientes máximas.

2) Se calcula la combinación más desfavorable de cargas que actúan sobre la pila. Las cargas actuantes se diferencian en cargas verticales y cargas horizontales.

a) Cargas verticales: comprende el peso propio de la pila, el peso propio de la superestructura y la reacción producida por las sobrecargas en la posición más desfavorable.

b) Cargas horizontales: comprenden la presión del viento y la presión dinámica del agua; así como, la acción del sismo de diseño, en las zonas sísmicas. La magnitud de la acción del freno es despreciable para los puentes carreteros.

El viento ejerce presión sobre la estructura de la pila, y sobre la sobrecarga, las Normas AASHTO establecen que esta presión sobre las vigas de alma llena es igual a  $250 \text{ kg/m}^2$ ; mientras que, para las celosías se

ejerce la proyección vertical de los elementos del puente, con una presión de  $365 \text{ kg/m}^2$ , con un mínimo de  $675 \text{ kg/ml}$ . La acción del viento sobre la sobrecarga equivale a una carga uniforme repartida de  $488 \text{ kg/ml}$ . aplicada a  $1,80 \text{ m}$ . sobre el nivel de la calzada, la cual se adiciona a la anterior, afectando el total de una reducción igual a  $0,70$ .

En Venezuela, en los sitios donde sea poco probable la ocurrencia de grandes tempestades, es suficiente asumir una presión de viento de  $150 \text{ kg/m}^2$ . sobre la estructura y de  $200 \text{ kg/ml}$ . sobre las sobrecargas.

La presión del agua depende de la velocidad de la creciente y el perfil de la pila, considerándose aplicada a  $1/3$  de la profundidad de ésta. Para obtener su valor, las Normas establecen la siguiente expresión:

$$p = 50,9.c.V^2 \quad (3.14)$$

Donde,

p: es la presión dinámica del agua, en  $\text{kg/m}^2$

V: es la velocidad de la creciente, en  $\text{m/seg}$ .

c: es un coeficiente que depende del perfil de la base de la pila (Tabla 3.4)

**Tabla 3.4 Coeficiente C.**

Forma de la base	c
Rompientes perfilados	0,26
Pilastras redondas	0,35
Pilas rectangulares	0,70

Fuente: Lecciones de puentes. Eduardo Arnal. Año 2000.

En Venezuela, esta presión puede considerarse equivalente  $250 \text{ kg/m}^2$ , en aguas tranquilas, con máximo de  $750 \text{ kg/m}^2$  en los ríos torrentosos.

3) Se calcula el punto de paso de la resultante de todas las cargas que actúan sobre la pila, la cual debe quedar comprendida dentro del núcleo de la sección de la base, verificándose la estabilidad de la pila al volcamiento.

Se calcula la inclinación de la resultante, para comprobar la estabilidad de la pila al deslizamiento, comparándola con el ángulo de fricción de los materiales que la componen.

Según las Normas, el coeficiente de seguridad al deslizamiento debe ser por lo menos igual a 2.0, admitiéndose los ángulos de fricción mostrados en la Tabla 3.2.

4) Tanto en pilas macizas como en las pilas de pilastras, se comprueban los esfuerzos unitarios de compresión, producidos por la combinación mas desfavorable de carga y se les compara con los esfuerzos admisibles para el material de que esta formada la pila.

En las pilas de pilastras deben verificarse, además de los esfuerzos de compresión, la acción de los momentos que les imponen las fuerzas horizontales que actúan sobre el conjunto de columnas y diafragmas, considerándolos como pórticos empotrados en los nodos.

Según las Normas, las columnas y vigas que componen las columnas y diafragmas de estas pilas, deben calcularse como piezas sometidas a flexo-

compresión, proveyéndolas de los refuerzos simétricos que fueren necesarios.

5) Se diseñan los detalles constructivos, como anclajes de los aparatos de apoyo, juntas de construcción y refuerzos para absorber los esfuerzos de contracción de fraguado y de temperatura.

### **3.3.3 Diseño de Las Pilas Metálicas.**

Las dimensiones generales de este tipo de pilas, dependen en gran parte de la disposición y separación de las vigas de la superestructura y deben satisfacer las condiciones de estabilidad. Un método ordenado para el dimensionado de estas pilas, es el siguiente:

1) Se fijan las dimensiones del coronamiento, tomando en cuenta los aparatos de apoyo de la superestructura.

2) Las dimensiones de la base del conjunto deben garantizar su estabilidad al volcamiento, en la mayoría de los casos, para satisfacer esta condición, se da a los montantes de las torres de celosía una inclinación comprendida ente  $1/6$  y  $1/10$ .

Según las normas AASHTO, el ancho de la base de la pila debe ser, por lo menos,  $1/3$  de su altura.

Al dimensionar los elementos de las pilas metálicas, se debe verificar que no se excedan los esfuerzos admisibles para el material, bajo la acción de las fuerzas producidas por la combinación de cargas más desfavorable, tomando muy en cuenta los efectos de pandeo, que se producen en las piezas esbeltas de estas estructuras.

De acuerdo con las condiciones locales, el diseño de las juntas o uniones de las piezas, se pueden efectuar por medio de pernos, remaches o soldaduras.

Para el análisis matricial de las estructuras modeladas como una celosía, se considera teóricamente, que las cargas verticales son absorbidas, tanto por los montantes como por la combinación de las diagonales, las contradiagonales y los separadores. En los casos usuales, cuando la porción de carga vertical absorbida por las diagonales es muy pequeña (por lo general representa 0,7 al 6,0% del total de las cargas, según el ángulo de las diagonales) no se toma en cuenta esta consideración, proyectándose los componentes de las torres, de la siguiente manera:

a) Los montantes se dimensionan como columnas esbeltas, sometidas a la compresión producida por las reacciones verticales de la estructura, más la componente vertical que contrarresta el momento producido por las fuerzas horizontales.

b) Las diagonales se diseñan para resistir los momentos producidos por las cargas horizontales, considerando a la pila como empotrada en su base y tomando en cuenta, para el análisis, solamente las diagonales que resultarían sometidas a la tracción, pero teniendo cuidado de proveer contradiagonales, que entrarían a trabajar cuando se cambie la dirección del viento y de las fuerzas sísmicas.

Las torres de celosía deben anclarse cuidadosamente en el macizo de fundación y por consiguiente, deben proyectarse las planchas de base de los montantes y los correspondientes pernos de anclaje, para que absorban con

seguridad las tracciones y las fuerzas cortantes a que resultan sometidas por la acción de las fuerzas horizontales.

### 3.3.4 Diseño de Los Aparatos de Apoyo.

Los aparatos de apoyo se diseñan según el material del cual esta hecho el puente, así como, de la longitud de las luces de este.

#### 3.3.4.1 Aparatos de Apoyo Fijos, para Puentes de Concreto.

En los puentes de luces moderadas, no se utilizan aparatos especiales en los apoyos fijos, soportando directamente, el estribo o pila, las reacciones de las vigas. Si el estribo o pila fuera de un material menos resistente que la estructura, debe coronárselo con una losa armada de repartición de la misma calidad del concreto.

Para luces grandes, debe intercalarse algún elemento que permita la rotación de la elástica en el apoyo, para esto utilizan, planchas de plomo o de neopreno, o balancines similares a los usados en los puentes metálicos.

En la Figura 3.19, se muestra un balancín compuesto de un sector de cilindro, en contacto con una superficie plana y sus dimensiones se determinan a base de la relación:

$$S_{MAX} = 0,418 \cdot \sqrt{\frac{R \cdot E}{l \cdot r}} \quad (3.15)$$

Donde:

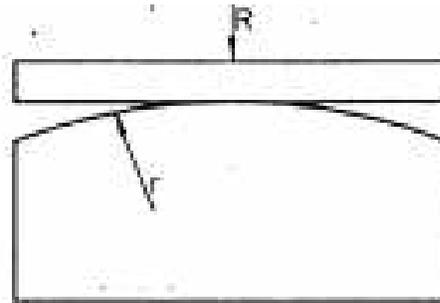
E: es el modulo de elasticidad del material.

R: es la carga normal máxima.

L: es la longitud del balancín.

r: es el radio.

$S_{MAX}$ : es el esfuerzo unitario en la zona de contacto, que no debe superar el coeficiente de trabajo del material del balancín.



**Figura 3.19 Aparato de Apoyo Fijo: Balancín.**

Fuente: Lecciones de puentes. Eduardo Arnal. Año 2000.

### 3.3.4.2 Aparatos de Apoyo Fijos, para Puentes Metálicos.

En los puentes de luces pequeñas (menores de 15m.) puede prescindirse de los aparatos de apoyo fijos, siempre que la presión de las vigas sobre el estribo no sobrepase de  $45 \text{ Kg/cm}^2$ .

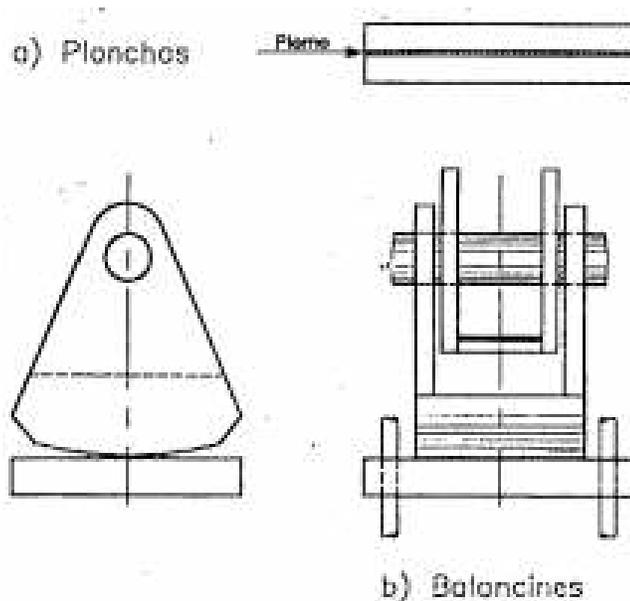
Para presiones mayores, es necesario intercalar entre la viga y el coronamiento, planchas o pedestales de repartición, que aumenten el área de apoyo de las vigas.

Para luces mayores de 15 m. y en especial en los puentes de celosía, se debe permitir el libre giro de la elástica. Utilizando planchas de plomo, intercaladas entre dos planchas de acero de repartición (Figura 3.20 a). Cuando la luz esta comprendida entre 20 y 40m, se utilizan balancines de

pasador que pueden obtenerse prefabricados, en tipos normales, para diferentes magnitudes de las reacciones, o bien construirse de acuerdo a un proyecto especial, verificando sus dimensiones, a fin de satisfacer sus condiciones de presión sobre el estribo, y de resistencia a la flexión, esfuerzo cortante y aplastamiento, este tipo de balancín se muestra en la Figura 3.20 b.

Los pasadores se consideran como vigas cortas cilíndricas, cuyo diámetro  $\phi$  para resistir el momento  $M$  producido por las cargas será:

$$\phi = \sqrt[3]{\frac{10,187.M}{S_{MAX}}} \quad (3.16)$$



**Figura 3.20 Aparatos de Apoyo Fijo: Planchas y Balancines.**

Fuente: Lecciones de puentes. Eduardo Arnal. Año 2000.

### 3.3.4.3 Aparatos de Apoyo Móviles, para Puentes de Concreto.

En los puentes de luces muy pequeñas, se intercalan dos capas de papel asfaltado entre las vigas y el tope de los estribos o pilas. Para luces medianas, menores de 20 m. es conveniente usar dos planchas metálicas lisas, entre las cuales se intercala una lámina de plomo de 1/8" de espesor, o laminas de neopreno.

Las Normas AASHTO, recomiendan, que para luces mayores de 15m, se utilicen rodillos.

El área de las planchas se determina para lograr una presión menor de 45Kg/cm<sup>2</sup>. sobre el concreto.

Para luces muy grandes, pueden utilizarse dos tipos de aparatos de apoyo:

- Balancines de concreto armado, prefabricados: con planchas de plomo intercaladas o revestidos con láminas de acero, las cuales tienen sus extremidades cortadas según cilindros de gran radio. Según su esfuerzo, se les clasifica en tres tipos industriales, tipo Considerere, con esfuerzo espiral; tipo Pendular, con superficie plana y tipo Pendular, con planchas de rodadura. Siendo el más utilizado el tipo Considerere (Figura 3.21), que puede proyectarse para ser construido en la obra, siempre que sus dimensiones cumplan las condiciones siguientes:

a) La presión sobre la lamina de plomo debe ser menor o igual a 120 Kg/cm<sup>2</sup>., lo que se logra si el ancho de la espiga es:

$$a_0 = \frac{R}{120 \cdot l} \quad (3.17)$$

b) La caña del balancín debe tener el mismo ancho que la viga y un espesor que se puede estimar entre 3 y 5 veces el anterior, siempre que cumpla la condición:

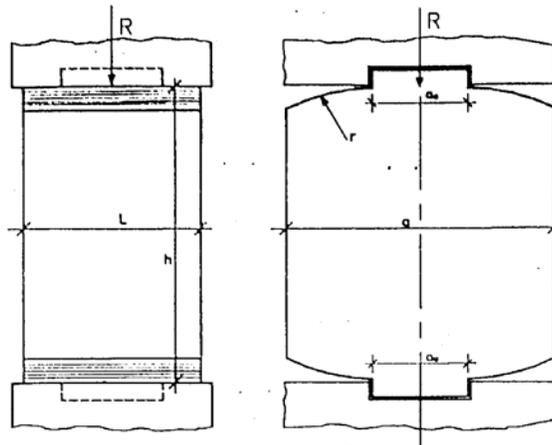
$$R \leq 0,66 \cdot f'_c \cdot a \cdot l \quad (3.18)$$

c) La altura  $h$  del balancín debe ser  $h = 2,2(a-a_0)$  y el radio de la cara de contacto se encuentra por medio de  $r = R/2460$ ; expresión donde  $R$  está dado en Kg, y se obtiene  $r$  en centímetros.

d) El concreto utilizado en el balancín debe tener una resistencia  $f'_c$  mayor que  $f'_c = 300 \cdot \sqrt[3]{a_0/a}$

e) El balancín debe llevar zunchos poco espaciados, con un área capaz de absorber una tensión total  $T$  igual a:

$$T = R \cdot \frac{a - a_0}{h} \quad (3.19)$$



**Figura 3.21 Balancín de Concreto Armado Tipo Consideré.**

Fuente: Lecciones de puentes. Eduardo Arnal. Año 2000.

- Rodillos y balancines de hierro fundido: son similares a los usados en los puentes metálicos, se consiguen en medidas normalizadas, industriales, para diferentes magnitudes de las reacciones de las vigas. Son necesarios para luces grandes y puentes muy esbeltos, siendo su peso y su costo bastante elevados.

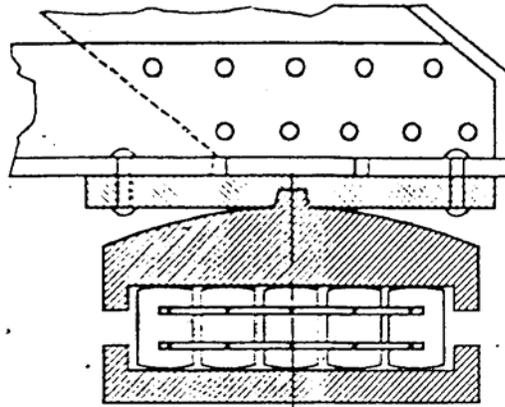
#### **3.3.4.4 Aparatos de Apoyo Móviles, para Puentes Metálicos.**

En los puentes de luces menores de 20 m. deben colocarse planchas deslizantes en los apoyos móviles, intercalándoles laminas de plomo de 1/8" de espesor o planchas de neopreno.

Según AASHTO, el menor espesor de las planchas debe ser 5/8" para aceros fundidos.

Para luces medianas de 20 a 45 m. pueden usarse simples balancines o mecedores, como el tipo mostrado en la Figura 3.22. Al dimensionarlos, deben cuidarse que la presión sobre el estribo sea menor de 45 Kg/cm<sup>2</sup> y que la presión entre el balancín y la plancha no sobrepase 45.r Kg/cm lineal, es decir, que su longitud  $l$  sea tal que:

$$l \geq R/45 \cdot r \quad (3.20)$$

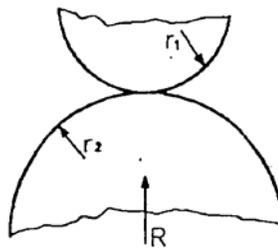


**Figura 3.22 Aparatos de Apoyo Móviles: Balancín.**

Fuente: Lecciones de puentes. Eduardo Arnal. Año 2000.

El radio que debe darse a los rodillos de un aparato de apoyo, se determinan considerando dos cilindros elásticos con radios  $r_1$  y  $r_2$  y largo  $l$  los cuales, se comprimen con una fuerza  $R$  (Figura 3.23), deformando la generatriz de contacto y el área de contacto viene a ser un rectángulo de largo  $L$  y de ancho  $a$  tal que

$$a = 2,16 \cdot \sqrt{\frac{(E_1 + E_2) \cdot (r_1 \cdot r_2) \cdot R}{(E_1 \cdot E_2) \cdot (r_1 + r_2) \cdot l}} \quad (3.21)$$



**Figura 3.23 Cilindros Elásticos.**

Fuente: Lecciones de puentes. Eduardo Arnal. Año 2000.

En ese caso, la compresión unitaria máxima viene dada por la expresión

$$S_{MAX} = \frac{1,27 \cdot R}{a \cdot l} \quad (3.22)$$

Relación que puede expresarse también como,  $S_{MAX} = \frac{2 \cdot R}{\pi \cdot b \cdot l}$  siendo,  
 $b = 0,76 \sqrt{Rm / Bl}$  una relación abstracta que depende de la calidad de los materiales  $m = \frac{E_1 + E_2}{E_1 \cdot E_2}$  y de la relación de los radios  $B = \frac{r_1 + r_2}{2 \cdot r_1 \cdot r_2}$

En el caso de los rodillos citados, el material de los dos cilindros es el mismo ( $E_1 = E_2$ ) y uno de ellos tiene radio infinito, pues es una plancha plana. Por consiguiente el área de contacto tendrá un ancho:

$$a = 3,04 \cdot \sqrt{\frac{R \cdot r}{E \cdot l}} \quad (3.23)$$

Y la compresión unitaria será:

$$S_{MAX} = 0,42 \cdot \sqrt{\frac{R \cdot E}{l}} \quad (3.24)$$

De esta última expresión puede derivarse el radio del cilindro necesario para no sobrepasar una determinada resistencia a la compresión.

Cuando los cilindros se apoyan sobre bases cóncavas del mismo material, se puede obtener el esfuerzo de contacto por la expresión:

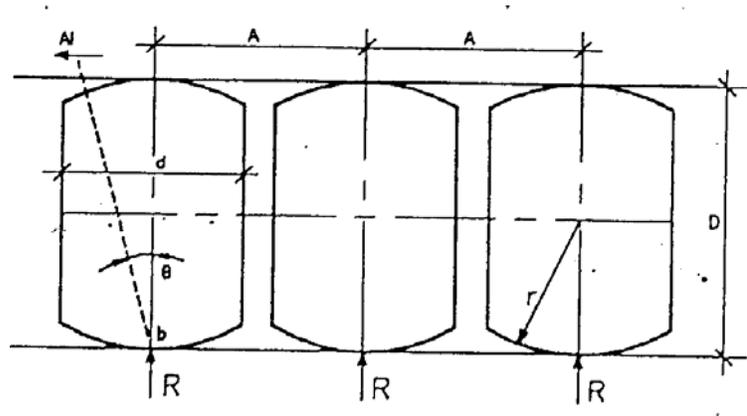
$$S_{MAX} = 0,42 \cdot \sqrt{\frac{R \cdot E}{l} \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)} \quad (3.25)$$

Según la AASHTO, el diámetro mínimo para los rodillos es 6" Ø. Para disminuir el ancho de los aparatos de apoyo, los rodillos tienen recortados sus sectores laterales.

Los grupos de rodillos segmentados, como se muestra en la Figura 3.24, se proyectan de tal forma que su radio satisfaga las condiciones antes fijadas y al mismo tiempo que:

- El espesor  $d$  sea suficiente para que no se rompa el contacto al girar el rodillo.

- La separación  $A$  sea suficiente para que no tropiecen los segmentos al girar. El máximo giro permisible para que el segmento no pierda contacto con la placa es  $\alpha = (a \cdot d - b)/D$  radianes, mientras que, un desplazamiento de la estructura hace girar al rodillo un ángulo  $\theta = 2 \cdot \Delta \cdot l/D$  radianes; es decir, que  $\theta \leq \alpha$ . Obteniéndose así, que cuando  $\alpha = \theta$ ,  $A = D \cdot \text{sen } \theta \cdot \cos(\theta + c)$ , donde  $c$  es un margen de tolerancia.



**Figura 3.24 Rodillos Segmentados.**

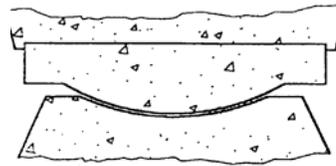
Fuente: Lecciones de puentes. Eduardo Arnal. Año 2000.

### 3.3.5 Diseño de Las Rotulas y Articulaciones.

- *Rotulas.*

En los puentes metálicos se utilizan pernos o pasadores, cuyo diámetro se proyecta para resistir los esfuerzos cortantes y de desplazamiento.

En los puentes de concreto se pueden usar rótulas prefabricadas, metálicas o de concreto armado, formadas por dos superficies concéntricas, una cóncava y otra convexa, las cuales se fijan a los extremos de los elementos estructurales (Figura 3.25).



**Figura 3.25 Rótula.**

Fuente: Lecciones de puentes. Eduardo Arnal. Año 2000.

#### - *Semi-articulaciones*

##### 1º Tipo Mesnager.

En la Figura 3.13, se observa las dimensiones de este tipo de articulación, las cuales pueden obtenerse utilizando el siguiente procedimiento desarrollado por A. Moreel:

a.- La separación  $t$  debe ser al menos igual al espesor del recubrimiento de las barras, y preferiblemente 30% mayor.

b.- Las barras cruzadas no deben ser muy gruesas ni muy cortas, su relación  $L/r$  debe estar comprendida entre 20 y 40.

c.- El ángulo  $\phi$  de las barras con el eje de los elementos que une, debe ser de  $30^\circ$  a  $45^\circ$  y preferiblemente  $35^\circ$ .

d.- El esfuerzo en las barras será:

$$S_{\max} = \frac{R}{A_s \cdot \cos \phi} + \frac{H}{A_s \cdot \sin \phi} \quad \text{Y se recomienda que } S_{\max} \leq 0,30f_y, \text{ siendo } f_y \text{ el}$$

punto cedente del acero.

e.- para evitar el desgarramiento del concreto, la rotula debe reforzarse con zunchos, que en una distancia  $a = 8\emptyset$  medida de la cara del concreto, deben tener un área  $\sum A_v$  tal que:

$$\sum A_v = \frac{0.50.R.\tan\phi + H.\frac{a}{j.d}}{f_s} - 0.005.ab, \text{ siendo } b \text{ la longitud de la}$$

articulación. El refuerzo así obtenido debe repetirse hasta el codo de las barras.

2º Tipo Considere.

Para diseñarlas se las considera como columnas zunchadas y se verifica que la rotación deseada no produzca, en las barras más alejadas del eje, deformaciones que superen los límites aceptables para el acero (Figura 3.14).

Para su diseño podría procederse así:

- a.- Elegir sus dimensiones tentativas como si fuera una columna zunchada con carga axial,
- b.- Verificar las deformaciones de las fibras extremas con la rotación máxima prevista.
- c.- Comprobar los valores de la tensión diagonal y el efecto del zunchado.

La rotación máxima en estas articulaciones se obtiene de la expresión:

$$\phi = \frac{\varepsilon_c.t}{2.k.d} \quad (3.26)$$

Siendo:

$\varepsilon_c$  = la deformación máxima del concreto a la ruptura.

$t$  = la apertura de la articulación (longitud del cuello).

$d$  = diámetro de la articulación.

$k.d$  = la posición límite del eje neutro.

La carga máxima esta dada por la expresión

$$R = f'_c \cdot A_g \cdot \left[ \frac{5.k.d}{12.d} + \frac{n.p}{4.k} \cdot \left( 2.k - \frac{d}{d'} \right) \right] \quad (3.27)$$

Siendo

$p$  = porcentaje de esfuerzo longitudinal.

$A_g$  = área bruta de la sección.

$d'$  = diámetro del anillo de barras metálicas.

Asimismo, el esfuerzo en el acero será:

$$f_s = \frac{n.f'_c.(l-k)}{2.k} \quad (3.28)$$

El zunchado en espiral debe tener área suficiente para absorber las tensiones diagonales, sin exceder el esfuerzo permisible en el concreto  $v_c$ , o sea que, por unidad de longitud de la articulación se requiere un área  $A_v$  de acero igual a:

$$A_v = \frac{R.d' \left[ \sqrt{1 + 9.h^2 / R^2} - (1 + v_c) \right]}{4.f_s.A_g} \quad (3.29)$$

Expresando  $\varepsilon_c$  en función de  $f_s$  se tiene  $\varepsilon_c = \frac{2.f_s}{(1-k).E_s}$  relación que

permite calcular la máxima rotación que admite una articulación dada.

3º Tipo Freissynet.

Esta articulación se diseña en la misma forma que el tipo Considere. Solo es necesario verificar, que las barras tengan una longitud suficiente dentro del concreto, para desarrollar su resistencia a la adherencia (Figura 3.15).

#### 4° Tipo Lossier.

Para el diseño se sigue el mismo procedimiento que para las rotulas Mesnager, teniendo en cuenta que la longitud libre de las barras es cero, por ser nula la separación  $t$ , como se muestra en la Figura 3.16, y por tanto, las rotaciones posibles son muy reducidas.

## **CAPÍTULO IV**

### **COMENTARIOS GENERALES**

- Se considera fundamental para el diseño de puentes la elección del tipo, ubicación y dimensiones de los estribos, ya que estos definen el largo y las luces intermedias del puente, su adaptación a las condiciones topográficas del sitio y a las exigencias hidrológicas.

- El viento y las acciones sísmicas deben ser tomados en cuenta al momento de diseñar las pilas, y es aun de mayor importancia si poseen alturas elevadas, ya que estas son las principales fuerzas horizontales que actúan en el elemento.

- Las pilas ocasionan disturbios en el régimen normal de las aguas y ocasionan acciones que resultan perjudiciales, para evitar esto, deben ser diseñadas dándoles una sección aerodinámica que reduzca la contracción de la sección de desagüe.

- Pilas metálicas, de concreto y Estribos, deben proyectarse para satisfacer condiciones de estabilidad al volcamiento y al deslizamiento, bajo las combinaciones de cargas más desfavorables.

- Las pilas de mampostería o de concreto, debido a la permanencia y estabilidad que ofrecen, son las más utilizadas en su construcción.

- En la actualidad es muy común el uso de láminas de neopreno en la construcción de los aparatos de apoyo, debido a su alta calidad y resistencia

a la intemperie y envejecimiento. Además, su procedimiento constructivo es más fácil, comparado con los balancines, rotulas y articulaciones.

- Debido a los cambios de temperatura y contracciones de fraguado en las estructuras de concreto es necesario utilizar aparatos de apoyo móviles, debido a que permiten variaciones en la longitud de la viga.

- Es necesario seguir cuidadosamente los pasos de diseño de cada uno de los elementos que conforman la infraestructura de un puente, ya que un mínimo error puede ocasionar daños graves en la estructura del mismo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

ARNAL, Eduardo. Lecciones de Puentes. Caracas, Universidad Central de Venezuela, 2000.

CAÑIZO, L, ESCARIO, B y FARACO, C. Geotecnia y Cimientos III Primera Parte. Madrid, Editorial Rueda.

NILSON, Arthur H. y WINTER, George. Diseño de Estructuras de Concreto. 11ª Edición. Mc Graw Hill, 1993.

WIKIPEDIA, *la enciclopedia libre* [en línea]. [consulta: 23 abril 2008] Disponible en: <<http://es.wikipedia.org/wiki/puente>>.

CONSTRUCTORA JOMAGA, C.A. *Puentes* [en línea]. [consulta: 23 abril 2008] Disponible en: <<http://mipagina.cantv.net/constjomaga/PUENTES/PUENTES.HTM>>

SÁNCHEZ, Jesús. *Conservación de Puentes Carreteros*. [en línea]. Septiembre 2006. [consulta: 24 abril 2008] Disponible en:<<http://www.construaprende.com/tesis02/2006/09/14-solicitaciones-para-puentes.html>>

BASF The Chemicals Company. *Aparatos de Apoyo* [en línea]. [consulta: 24 abril 2008] Disponible en: <http://www.basf-cc.es/NR/rdonlyres/153C273B-7296-4A6C-936F-E3C6130E6B7F/0/Aparatosdeapoyo.pdf>

PLATA, Francisco, NALLURI, Chandra y SALDARRIAGA, Juan G. *Medidas De Protección Contra La Socavación Local En Pilas De Puente* [en línea]. [consulta: 30 abril 2008]. Disponible en: <<http://revistaing.uniandes.edu.co/pdf/rev10art8.pdf?>

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**

<b>TÍTULO</b>	<b>CONSIDERACIONES DE DISEÑO EN LA INFRAESTRUCTURA DE PUENTES CARRETEROS</b>
<b>SUBTÍTULO</b>	

**AUTOR (ES):**

<b>APELLIDOS Y NOMBRES</b>	<b>CÓDIGO CULAC / E MAIL</b>
<b>GONZALEZ H ANABEL Y</b>	<b>CVLAC: 16.573.233 EMAIL: anabelyoedelin@hotmail.com</b>
<b>GUZMAN A MARIA C</b>	<b>CVLAC: 17.409.203 EMAIL: mariac_guzman@hotmail.com</b>
	<b>CVLAC: E MAIL:</b>
	<b>CVLAC: E MAIL:</b>

**PALÁBRAS O FRASES CLAVES:**

\_\_\_\_\_  
PUENTES

\_\_\_\_\_  
INFRAESTRUCTURA

\_\_\_\_\_  
ESTRIBOS

\_\_\_\_\_  
PILAS

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

## **METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**

<b>ÁREA</b>	<b>SUBÁREA</b>
Ingeniería y Ciencias Aplicadas	Ingeniería Civil

### **RESUMEN (ABSTRACT):**

Un Puente, es una estructura construida con el fin de permitir a una vía de comunicación cruzar un obstáculo natural, como ríos, valles, lagos, etcétera o bien atravesar obstáculos artificiales, como vías férreas o carreteras, sin que existan problemas de mezcla de los tráficos de ambas. El diseño de cada puente varía dependiendo de su función y la naturaleza del terreno sobre el cual es construido. La infraestructura de un puente es la encargada de soportar la superestructura y trasmitir a la fundación las reacciones de las vigas del puente. La ubicación de sus elementos, la ubicación del puente, su altura y la subdivisión de sus tramos dependen unas de otras. El comportamiento de los estribos y de las pilas difiere, por su posición en la disposición longitudinal del puente, pues debido a ella resultan sometidos a diferentes solicitaciones de carga, razón por la cual se les estudia separadamente. En este trabajo se dan a conocer cuales son, y los pasos a seguir, en el diseño de los elementos que conforman la infraestructura de un puente, así como también, las consideraciones a la hora de diseñarlos ya que dependen de muchos factores a ser tomados en cuenta para su estabilidad, resistencia y duración con el paso de los años.

---

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**

**CONTRIBUIDORES:**

<b>APELLIDOS Y NOMBRES</b>	<b>ROL / CÓDIGO CVLAC / E_MAIL</b>				
<b>Luisa C. Torres M.</b>	<b>ROL</b>	<b>CA</b>	<b>AS</b>	<b>TU</b>	<b>JU*</b>
	<b>CVLAC:</b>	<b>8.217.436</b>			
	<b>E_MAIL</b>	<b>torresl62@gmail.com</b>			
	<b>E_MAIL</b>				
<b>Miguel A. Molano M.</b>	<b>ROL</b>	<b>CA</b>	<b>AS</b>	<b>TU</b>	<b>JU*</b>
	<b>CVLAC:</b>	<b>4.025.186</b>			
	<b>E_MAIL</b>	<b>ingmolano@gmail.com</b>			
	<b>E_MAIL</b>				
<b>Edmundo D. Ruiz C.</b>	<b>ROL</b>	<b>CA</b>	<b>AS*</b>	<b>TU</b>	<b>JU</b>
	<b>CVLAC:</b>	<b>4.026.960</b>			
	<b>E_MAIL</b>	<b>Edmundoruizc@hotmail.com</b>			
	<b>E_MAIL</b>				
	<b>ROL</b>	<b>CA</b>	<b>AS</b>	<b>TU</b>	<b>JU</b>
	<b>CVLAC:</b>				
	<b>E_MAIL</b>				
	<b>E_MAIL</b>				

**FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:**

<b>2008</b>	<b>06</b>	<b>03</b>
<b>AÑO</b>	<b>MES</b>	<b>DÍA</b>

**LENGUAJE. SPA**

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**

**ARCHIVO (S):**

<b>NOMBRE DE ARCHIVO</b>	<b>TIPO MIME</b>
TESIS.Infraestructuradepuentescarreteros.doc	Aplication/ms word

**CARACTERES EN LOS NOMBRES DE LOS ARCHIVOS:** A B C D E F G H I J K L M N O  
P Q R S T U V W X Y Z . a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x y z . 0 1 2  
3 4 5 6 7 8 9 .

**ALCANCE**

**ESPACIAL:** \_\_\_\_\_ (OPCIONAL)

**TEMPORAL:** \_\_\_\_\_ (OPCIONAL)

**TÍTULO O GRADO ASOCIADO CON EL TRABAJO:**

Ingeniería Civil

**NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:**

Pregrado

**ÁREA DE ESTUDIO:**

Departamento de Ingeniería Civil

**INSTITUCIÓN:**

Universidad de Oriente. Núcleo Anzoátegui.

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**

**DERECHOS**

**De acuerdo al Artículo 57 del Reglamento de Trabajo de Grado:**

“PARA LA APROBACIÓN DEFINITIVA DE LOS CURSOS ESPECIALES DE GRADO COMO MODALIDAD DE TRABAJO DE GRADO, SERÁ REQUISITO PARCIAL LA ENTREGA A UN JURADO CALIFICADOR, DE UNA MONOGRAFÍA EN LA CUAL SE PROFUNDICE EN UNO O MAS TEMAS RELACIONADOS CON EL ÁREA CONCENTRACIÓN”

**Guzmán A. Maria C.**

**AUTOR**

**González H. Anabel Y.**

**AUTOR**

**Edmundo Ruiz**

**TUTOR**

**Luisa Torres**

**JURADO**

**Miguel Molano**

**JURADO**

**POR LA SUBCOMISION DE TESIS**