



UNIVERSIDAD MICHOACANA  
DE  
SAN NICOLAS DE HIDALGO

---

---

**Facultad de Ingeniería Civil**

TESIS

**DESCRIPCIÓN GEOMÉTRICA DE PUENTES  
CARRETEROS EN MÉXICO**

PARA OBTENER EL TÍTULO DE

**INGENIERO CIVIL**

PRESENTA

**JOSÉ JAVIER CONTRERAS GARCÍA**

ASESOR

**DR. HUGO HERNÁNDEZ BARRIOS**

**Morelia, Michoacán, Enero de 2007**



---

## **AGRADECIMIENTOS**

No hay palabras que puedan describir mi profundo agradecimiento hacia mis Padres y Hermanos, quienes me apoyaron todos estos años, con su amor, cariño y comprensión.

Tampoco puedo explicar la gran satisfacción que me da poder terminar esta carrera en donde profesores y compañeros dejan parte de su vida, para dar vida a las ilusiones de niño y que hoy en día se hacen realidad.

Solo se que este camino es solo el comienzo de una gran historia de virtudes y gracias, para mi y mi familia.

Agradezco a mi facultad, sobre todo a mi asesor y profesores, los cuales me dieron las facultades para pensar en mi futuro.

**ESTA TESIS FUE REALIZADA GRACIAS A UNA BECA DE CONACYT**

---

---

---

# ÍNDICE

## RESUMEN

<b>Capítulo 1 GENERALIDADES</b> .....	1
1.1 Tipos de puentes construidos en México.....	3
1.2 Características geométricas de los puentes vehiculares existentes en México.....	4
1.3 Gráficas estadísticas de las características de los puentes.....	10
1.3.1 Año de construcción.....	11
1.3.2 Tipo de estribos.....	12
1.3.3 Material de los estribos.....	13
1.3.4 Tipo de pilas.....	14
1.3.5 Material de la pila.....	15
1.3.6 Relación de claros.....	16
1.3.7 Relación de esbeltez.....	18
1.3.8 Longitud de asiento.....	20
1.3.9 Fórmula de la AASHTO.....	21
1.3.10 Ángulo de esviaje.....	22

---

---

---

1.3.11 Longitud total.....	23
1.3.12 Tipo de superestructura.....	25
1.3.13 Longitud del claro mayor.....	26
1.3.14 Zona sísmica.....	27
1.3.15 Tipo de apoyos.....	29
1.3.16 Relación entre altura mayor y altura menor.....	30
 <b>Capítulo 2 PUENTES TIPO PIV Y PSV</b>	
2.1 Puentes de paso superior e inferior vehicular.....	31
2.1.1 Paso inferior vehicular.....	31
2.1.1.1 Geometría general de los puentes PIV y PSV.....	31
2.1.1.2 Tipos de apoyos extremos de los puentes PIV y PSV.....	31
2.1.1.3 Tipos de apoyos intermedios de los puentes PIV y PSV.....	34
2.1.2 Paso superior vehicular.....	36
2.1.3 Paso superior de ferrocarril.....	36
2.1.4 Paso inferior de ferrocarril.....	37
2.2 Gálibo Horizontal y Vertical.....	38

---

---

2.2.1 Gálibo horizontal o espacio libre horizontal.....	38
2.2.1.1 Para estructuras que crucen una carretera.....	39
2.2.1.2 Para estructuras que crucen una vía férrea.....	39
2.2.1.3 Para puentes.....	39
2.2.2 Gálibo vertical.....	39
2.2.2.1 Para estructuras que crucen una carretera.....	39
2.2.2.2 Para estructuras que crucen una vía férrea.....	39
2.2.2.3 Para puentes.....	40
2.3 Cargas vehiculares.....	42

### **Capítulo 3 PRUEBAS DE VIBRACIÓN EN PIV KM 157 Y 187, MÉXICO-MARAVATÍO**

3.1 Descripción de los puentes PIV.....	44
3.1.1 Puente kilómetro 157+496.....	44
3.1.1.1 Apoyos extremos.....	45
3.1.1.2 Apoyos intermedios.....	45
3.1.2 Puente kilómetro 187+310.....	48

---

---

3.1.2.1 Apoyos extremos.....	49
3.1.2.2 Apoyos intermedios.....	49
3.2 Prueba de Vibración Ambiental.....	52
3.2.1 Distribución de los sensores de la instrumentación.....	55
3.3 Modelos analíticos y propiedades dinámicas.....	58
3.3.1 Puentes kilómetro 157+496.....	58
3.3.2 Puentes kilómetro 187+310.....	63
<b>Capítulo 4 CONCLUSIONES GENERALES.....</b>	<b>67</b>

## **REFERENCIAS**

## **TABLAS Y FIGURAS**

---

---

## **RESUMEN**

La elaboración de este trabajo surge por la necesidad de conocer más acerca de los puentes carreteros existentes en nuestro país, ya que estos son de gran importancia debido a que por medio del transporte terrestre se traslada una gran parte de personas y mercancías que son vitales para el desarrollo económico de México.

Por lo anterior es de vital importancia el conocer el comportamiento de un puente, logrando esto gracias a un mayor conocimiento de sus características y elementos que lo forman.

El objetivo principal de esta tesis es el de describir las características geométricas más importantes de los puentes carreteros, tales como: su descripción física, dimensionamiento, materiales y datos estructurales básicos; con el fin de que estas sean utilizadas para su posterior uso en diversas áreas de la ingeniería como pudieran ser: la evaluación y conservación de puentes.

---

*Capítulo 1*  
GENERALIDADES

---



## Capítulo 1 GENERALIDADES

El puente es una estructura que salva un obstáculo, sea río, foso, barranco o vía de comunicación natural o artificial, y que permite el paso de peatones, animales o vehículos. Todos los puentes se basan en modelos naturales, a los que, conforme la tecnología ha ido avanzando, se han incorporado nuevas formas de resolver los mismos problemas.

A partir de un tronco derribado sobre un cauce, una piedra desprendida de una ladera o una maraña de lianas y enredaderas tendidas sobre un barranco, que desde siempre han servido para salvar accidentes naturales, se ha desarrollado una técnica que es parte importante de las aplicaciones de la ingeniería civil: el proyecto y construcción de puentes.

Los puentes se dividen en dos partes principales: la superestructura, o conjunto de los tramos que salvan los vanos situados entre los apoyos, y la infraestructura, formada por los cimientos, los estribos y las pilas que soportan los tramos. 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 ubicado a su alrededor. Las pilas son los apoyos intermedios de los puentes de dos o más tramos; los cimientos están formados por el terreno de apoyo y losas apoyadas o no sobre pilotes que soportan el peso de estribos y pilas. Los tramos más cortos que conducen el acceso al puente se llaman “apiodies”.

Cada tramo consta de una o varias armaduras de apoyo, de un tablero o piso y de los arriostramientos laterales o contraventeos. El tablero soporta directamente las cargas dinámicas (tráfico) y por medio de las armaduras se transmiten sus tensiones a estribos y pilas, que, a su vez, las hacen llegar a los cimientos, donde se disipan en la roca o terreno circundantes. Las armaduras pueden estar formadas por placas y vigas, 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 mismo tiempo.

El tablero está compuesto por un piso de placas, 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 soportan al tablero. En una tercera clase de puentes el piso descansa sobre el armado sin utilizar ni vigas ni largueros.

Los arriostramientos laterales van colocados entre los armados para unirlos y proporcionares la rigidez lateral necesaria. El arriostramiento transmite también a estribos y pilas las tensiones producidas por las fuerzas laterales, como las debidas a lo viento, 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 contraventeos ni diafragmas.

Los puentes de gran tamaño se apoyan generalmente sobre cimientos apoyados en roca, aunque haya que apoyarlos 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 cimentarse 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 cimentación no tiene suficiente resistencia o cuando es preciso prevenir los peligros de la erosión.

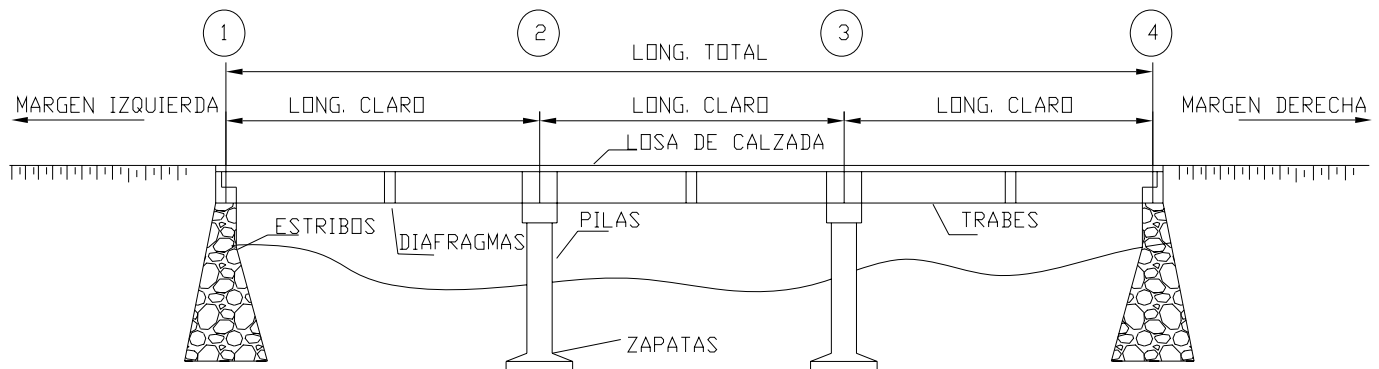


Figura 1.1 Elementos de un puente

En la figura 1.1 se aprecia el croquis de un puente, y en el cual se observan algunos de los elementos mencionados anteriormente.

## 1.1 TIPOS DE PUENTES CONSTRUIDOS EN MÉXICO

A los puentes en general, los podemos clasificar según su función y utilización, materiales de construcción y tipo de estructura como a continuación se muestra.

Según su función y utilización se les puede clasificar en:

- \*Puentes peatonales
- \*Puentes, viaductos o pasos carreteros
- \*Puentes, viaductos o pasos ferroviarios

Según sus materiales de construcción, los puentes pueden ser de:

- \*Madera
- \*Mampostería
- \*Metálicos
- \*Concreto Armado
- \*Concreto Presforzado
- \*Concreto Postensado
- \*Mixtos.

Dependiendo del tipo de estructura, los puentes podrán ser de:

- \*En arco
- \*En viga
- \*En armadura
- \*Colgante
- \*Atirantado
- \*Cantiléver
- \*Etc.

En general, en México la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) clasifica a los puentes como a continuación se enlista:

- \*Puentes de concreto reforzado
- \*Puentes de concreto pretensado
- \*Puentes de concreto postensado
- \*Puentes de traves metálicas
- \*Puentes de armaduras
- \*Puentes con arcos metálicos o de concreto
- \*Puentes de paso inferior vehicular
- \*Puentes de armaduras

## 1.2 CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE LOS PUENTES VEHICULARES EXISTENTES EN MÉXICO

Según la Dirección General de Conservación de Carreteras (DGCC), en México existen aproximadamente 6,854 puentes en carreteras libres de peaje, lo cuales tienen que ser constantemente evaluados para su correcto funcionamiento.

Para ello existe el programa denominado Sistema de Puentes de México (SIPUMEX), el cual lleva una evaluación constante del sistema de puentes, y por medio del cual se evalúa su estado físico y de acuerdo con el mayor grado de desgaste o el resultado de su evaluación, se atiende con prontitud el puente en estudio.

Este sistema cuenta con un inventario de todos los puentes, y en el cual se tiene una relación de todas las características geométricas y estructurales de los mismos, así como también su ubicación, estado físico en que se encuentran y la cantidad y tipo de vehículos que transitan sobre ellos.

En este trabajo se obtuvieron datos sobresalientes de una muestra de 156 puentes ubicados en nuestro país, con la cual se realizó una serie de gráficas y estadísticas con la finalidad de clasificarlos de acuerdo a sus características físicas.

DGCC/SCT	SIPUMEX	Fecha	Hoja
	Reporte de inspección principal	196.01	1
Puente: 15-002-06,0-0-11.0 Chilchota			
Estado.....: Michoacán			
Carretera.....: Morelia - Guadalajara (Ruta 15)			
Kilometraje.....: 118.389			
Tramo.....: Carapan - Zanora			
Año de construcción.....: 1941			
Año de la última reconstrucción.....: 1997			
Paso Superior / Inferior.....: S			
Dir. de km. de la car.princip.....: C			
Requisitos de Inspección.....: 2 Nada			
Número de secciones de inspección.....: 1			
Colección de datos: Fecha.....: 1994.01.31			
Iniciales.....: MSG			
Posición geográfica:			
Latitud: 019 gra 59.99 min Longitud: 102 gra 05.59 min Altitud: 1555 m			
Geometría: Número de claros.....: 5			
Longitud de claro m(1).....: 4.4			
Longitud de claro máx.....(m): 4.5			
Longitud total.....(m): 22.2			
Ancho total.....(m): 12.2			
Ancho del canal en.....(m): 0.0			
Ancho de la banda iz.....(m): 0.7			
Ancho de la banda de.....(m): 0.7			
Ancho de la calzada.....(m): 7.1			
Ancho entre bordillos.....(m): 10.2			
Ancho del acceso.....(m): 7.1			
Área.....(m <sup>2</sup> ): 270			
Pendiente en curva.....(cm/m): 0			
Desajuste.....(gr): 0			
Superestructura, tipo principal:			
Diseño tipo.....: 5			
Diseño de la sección transversal.....: 10 Loso			
Diseño de la elevación.....: 10 Simpt. apezado, secc. const.			
Material.....: 20 Concreto reforzado, in situ			
Superestructura, tipo secundario:			
Diseño tipo.....: 91			
Diseño de la sección transversal.....: 91 No aplicable			
Diseño de la elevación.....: 91 No aplicable			
Material.....: 91 No aplicable			

Figura 1.2 Reporte de inspección de SIPUMEX

La figura 1.2 es un ejemplo de un reporte de inspección de SIPUMEX que se realizó a un puente denominado Chilchota, que se encuentra sobre la carretera federal Morelia-Guadalajara, y en el cual se anotan algunas de las características más importantes, como son: año de construcción, geometría del puente, etc.

Nombre	Ubicación	Km	Año Const.	Longitud Total (m)

Apoyo Extremo	Tipo	No. Columnas	Material	Altura

Pilas	Tipo	No. Columnas	Sección	Material	Altura (m)	Dimensiones (cm)		
						Bb - Bs	Lb - Ls	tb - ts

Apoyos	Conexión	Tipo	Espesor (cm)	Dimensiones (cm)	Long. Asiento (cm)

TIPO	ANCHO TOTAL (m)	ANCHO CALZADA (m)	AREA (m2)	ESVIAJE	L CLAROS (m)	DIM TOPES (cm)	CURVATURA (Grados)		Tipo Junta
							HORIZONTAL	VERTICAL	

TIPO	ANCHO TOTAL (m)	ANCHO CALZADA (m)	AREA (m2)	ESVIAJE	L CLAROS (m)	DIM TOPES (cm)	CURVATURA (Grados)		Tipo Junta
							HORIZONTAL	VERTICAL	

Figura 1.3 Ejemplo de formato de puentes

Para el análisis de los datos más importantes de cada uno de los puentes registrados en los reportes SIPUMEX, se propuso un formato de tablas, en las cuales se capturaron los datos de cada uno de los puentes, como se muestra en la figura 1.3.

La simbología empleada en la captura de cada una de las características de los puentes, es la siguientes:

Tipo de apoyo extremo:	Tipo de Pilas:
MU = Muro	MU = Muro sólido
CA = Caballete	MH = Muro hueco
OT = Otro	CO = Columna
	MA = Marco
	OT = Otro
Sección Transversal:	Material:
SO = Sólido	MA = Mampostería
HU = Hueco	CC = Concreto ciclópeo
CI = Circular	CR = Concreto reforzado
RE = Rectangular	AC = Acero
VA = Variable	
Conexión:	Tipo de apoyo:
CM = Continua monolítica	NE = Neopreno
CN = Continua no monolítica	CA = Cartón asfaltado
SA = Simplemente apoyado	ME = Mecedoras
	PA = Placas de acero

En la tabla 1.1 se resumen las características de los 156 puentes estudiados, y que estan ubicados en diversos estados de nuestro país, y en la cual se observan las características más representativas de cada uno de ellos.

Los espacios en blanco que se encuentran en las columnas indican que los registros de los puentes no contaban con esa información.

Tabla 1.1 Resumen de puentes analizado

No.	Nombre	Ubicación	Km	Año de const.	No. Claros	Long. Total	L-Claro Mayor	L-Claro Menor	S Esviaje	H- Mayor	H- Menor	h (cm)	L-Asient (AASHTO)	Tip-Estrubo	Mat-Estrubo	Tip-Pila	Mat-Pila	Superestructura	Tip Apoyo	Zona Sísmica
1	Acatic	Lagos de Moreno-Guadaluajara	0+900	1944	1	16	16		0.00	5	5		39.48		MA		Losaviga	JC		
2	Homero Blderes Enríques	Monterrey - Nvo. Laredo	55+100	1964	3	45.3	15.1		0.00	3	2.4		36.95		MA		LM	JC	A	
3	Las Jaras	Monterrey - Nvo. Laredo	116+400	1961	3	27.2	9.9		0.00	2.7	2.2		35.40		MA		LM	JC	A	
4	Río Lerma Izaq	México - Toluca	51+000	1971	1	24.1	24.1		0.00	2.1	2.1		38.60				Losaviga	NE	B	
5	Sin Nombre	Lagos de Moreno-Guadaluajara	11+100	1944	1	16	16		0.00	3	3		37.48				Losaviga	JC		
6	Acuatempán I	Pachuca - Tuxpan(ruta 130)	209+100	1973	5	51.9	10.4		0.00	5.2	5.2		38.28				Losaviga	Desc	B	
7	Acuatempán II	Pachuca - Tuxpan(ruta 130)	209+600	1973	2	51.9	17.3		0.00	12.3	6.2		44.05				Losaviga	MA	B	
8	Amayuca	Santa Barbara - Iznacar de Matamoros	92+800	1965	2	41.8	20.9		0.00	12	12		47.70				Losaviga	Desc		
9	Conchos	Chihuahua - Parral	119+250	1982	10	292.4	28.7		0.00	8	8		45.65				LM		B	
10	El Guachico	Leon - Aguascalientes	38+000	1940	3	31	10.7		25.00	5	5		42.06				Losaviga	JC	B	
11	El Mirador	Lim. Edo. Dgo. - Chih. Hidalgo del Parral	401+870	1945	3	46.9	15.7		21.00	4	4		40.61				Losaviga	MA	A	
12	El Nacimiento	Cd. Valles - S. Luis Potosi	22+830	1967	3	23.6	8.9		0.00	4	4		36.70				Losaviga		A	
13	El Negro	Posa Rica - Veracruz	59+400	1960	1	30.7	30.7		10.00	7.1	7.1		46.14				Losaviga	MC	B	
14	El Pastos	Chihuahua - Ojinaga	108+150	1976	2	52.5	26.4		0.00	9	9		46.08				Losaviga	NE		
15	El Refugio	Cadereyta - Altamira	15+700	1963	3	13.6	4.7		0.00	3.1	2		34.20				LM	JC		
16	Hidalgo	Monterrey - Monclova	27+300	1966	3	61.3	25.6		0.00	12	10.8		48.28				Losaviga	JC	A	
17	Huizacate	Pachuca/Hid. - Tuxpan	200+160	1972	1	36	36		10.00	8	8		48.48				Losaviga	NE	B	
18	Ing. Miguel Cervantes	Cuernavaca - Chilpancingo	156+950	1960	1	12.4	12.4		0.00	4	4		37.58				Losaviga	JC	B	
19	La Pila	Monterrey - Nvo. Laredo	67+000	1964	5	60.3	15.1		60.00	3.4	2.8		51.30				LM	JC	A	
20	La Raya	Cd. Valles - Tampico	4+297	1940	1	8.5	8.5		0.00	5.7	5.7		38.30				Losaviga	MA		
21	Las Cañas	Posa Rica - Veracruz	56+100	1960	1	35.7	35.7		0.00	6.5	6.5		45.90				Losaviga	NE	B	
22	Los Angeles Izaq	Monterrey - Nvo. Laredo	179+700	1964	3	14.4	4.8		0.00	2.3	2.3		33.98				LM	JC	A	
23	Los Molinos	Puebla - Huajuapán	209+100	1960	3	77	23.8		48.00	12.5	12.5		85.43				Losaviga	JC	B	
24	Los Villares	Monterrey - Nvo. Laredo	180+200	1964	2	9.7	4.8		0.00	1.9	1.9		33.58				LM	JC	A	
25	Tembembe I	Cuernavaca - Chilpancingo	39+561	1930	3	75	25		0.00	4.9	4.9		41.63				MA	Armadura	MA	
26	Tembembe II	Alpuyeses - Grutas	18+900	1940	3	23.6	6.5		0.00	5.5	5.5		37.60				MA	Arco inferior		
27	Zapotitán	Tehuaca - Huajuapán de Leon	30+000	1940	2	15.8	8.5		0.00	2.4	2.4		35.00				LM	JC		
28	Chilchota	Morelia-Guadaluajara	118+350	1940		22.2	4.4	4.4	0.00	3	3		34.58	ALEROS INT.	CR	MU	LM	JC	C	
29	Las Adjuntas	Morelia-Guadaluajara	132+600	1940		16.3	16.3		0.00	4	4		38.55	CA	CR		LOS AVIGA	JC	C	
30	Pejo	Morelia-Guadaluajara	127+050	1940		13.4	13.4		15.00	3	3		37.67	E.ALE.INTEG.	MA		LOS AVIGA	NE	C	
31	Tangancitaro	Morelia-Guadaluajara	130+900	1940		12.2	12.2		15.00	3	2.5		42.08	E.ALE.INTEG.	MA		LOS AVIGA	JC	C	
32	Pea. Trinidad	Morelia-Guadaluajara	71+600	1998		22.4	22.4		0.00	6	6		42.08				CA	NE	C	
33	Pv. Fm. Naranja	Morelia-Guadaluajara	73+800	1940		9.6	9.6		45.00	4.2	4.2		47.71	E.ALE.INTEG.	MA		LOS AVIGA	JC	C	
34	Cojumatán I	Morelia-Guadaluajara	23+800	1965		14.6	7.3	7.3	0.00	3	3		35.30	E.ALE.INTEG.	MA		LOS AVIGA	JC	C	
35	Cojumatán II	Morelia-Guadaluajara	25+500	1965		46	15.4	15.2	0.00	3	3		37.33	E.ALE.INTEG.	MA		LOS AVIGA	JC	C	
36	Cojumatán III	Morelia-Guadaluajara	25+600	1965		23.8	8	7.8	0.00	4	4		36.48	E.ALE.INTEG.	MA		LOS AVIGA	JC	C	
37	El Callejón	Morelia-Guadaluajara	32+900	1965		8.4	8.4		15.00	1.5	1.5		34.50	E.ALE.INTEG.	MA		LOS AVIGA	JC	C	
38	La Ladrillera	Morelia-Guadaluajara	8+150	1965		14.8	14.8		0.00	8	8		42.18	E.ALE.INTEG.	MA		LOS AVIGA	JC	C	
39	Palo Alto I	Morelia-Guadaluajara	34+500	1965		7.1	7.1		0.00	1.5	1.5		33.75	E.ALE.INTEG.	MA		LOS AVIGA	JC	C	
40	Palo Alto II	Morelia-Guadaluajara	34+700	1965		6.5	6.5		45.00	1.2	1.2		36.34	E.ALE.INTEG.	MA		LOS AVIGA	JC	C	
41	Palo Alto III	Morelia-Guadaluajara	35+441	1965		8.4	4.2	4.2	0.00	1.35	1.35		32.88	E.ALE.INTEG.	MA		LOS AVIGA	JC	C	
42	Palo Alto IV	Morelia-Guadaluajara	35+727	1965		7.8	3.9	3.9	0.00	1.5	1.5		32.95	E.ALE.INTEG.	MA		LOS AVIGA	JC	C	
43	Pea. Sahuayo I	Morelia-Guadaluajara	5+300	1998		32.5	18	14.5	0.00	5.8	5.8		40.78				AC	AR		
44	Pea. Sahuayo II	Morelia-Guadaluajara	6+200	1975		40	25.4	14.6	0.00	5	5		41.83				AC	AR		
45	Pea. Sahuayo III	Morelia-Guadaluajara	7+800	1998		31.2	18	6	0.00	5.85	5.85		40.83				AC	AR		
46	Sta. Martha	Morelia-Guadaluajara	26+600	1965		45.3	15.1	15.1	0.00	3.5	3.5		37.75	E.ALE.INTEG.	MA		LOS AVIGA	JC	C	
47	Libra - Jiquilpan	Morelia-Guadaluajara	0+980	1970		28.5	9.5	9.5	0.00	6	6		38.85	E.ALE.INTEG.	MA		LOS AVIGA	JC	C	
48	Chaparaco	Morelia-Guadaluajara	6+800	1990		13.4	13.4		60.00	2.5	2.5		47.58	E.ALE.INTEG.	MA		LM	NE	C	
49	Valtado Del Rey	Morelia-Guadaluajara	9+009	1987		17	17		68.00	2	2		48.29	E.ALE.INTEG.	MA		LOS AVIGA	NE	C	
50	Puente Madero	Morelia-Guadaluajara	1+200	1963		9.4	9.4		0.00	1.4	1.4		34.23	E.ALE.INTEG.	MA		LOS AVIGA	JC	C	

Tabla 1.1 Continuación

51	Chupicuaro	Morelia-Guadaluajara	46-500	1940	12	12	30.00	3.9	3.9	41.77	E.ALE.INTEG.	MA		LOSAVIGA	JC	C			
52	Santa Fe	Morelia-Guadaluajara	42-409	1940	8.7	8.7	45.00	3.5	3.5	45.01	E.ALE.INTEG.	MA		LOSAVIGA	JC	C			
53	E Duro Der.	Morelia-Guadaluajara	147-322	1993	26.4	26.4	0.00	3.5	3.5	40.58	E.ALE.INTEG.	CR		LOSAVIGA	NE	C			
54	El Duro Izq.	Morelia-Guadaluajara	147-322	1993	26.4	26.4	0.00	3.5	3.5	40.58	CA	CR		LOSAVIGA	NE	C			
55	El Tolan	Morelia-Guadaluajara	198-880	1940	10	5	0.00	1.2	0.7	32.68	E.ALE.INTEG.	MA	MA	LM	JC	C			
56	Jacma	Morelia-Guadaluajara	148-650	1945	12.7	6.4	0.00	2	2	34.08	E.ALE.INTEG.	CR	CR		JC	C			
57	Jaripo	Morelia-Guadaluajara	191-600	1940	31.4	10.6	0.00	5.5	5.5	38.63	E.ALE.INTEG.	MA	MA	LOSAVIGA	JC	C			
58	Fmm Est. Moreno	Morelia-Guadaluajara	175-450	1940	10.8	10.8	0.00	6.8	6.65	39.90	E.ALE.INTEG.	MA		LOSAVIGA	NE	C			
59	Santiago Tangamandapio	Morelia-Guadaluajara	164-500	1940	16	16	15.00	5	5	40.89	E.ALE.INTEG.	MA		LOSAVIGA	NE	C			
60	El Huizache Izq.	Monterrey - Nvo. Laredo	179-000		3	14.03	4.65	4.65	4.88	44	MU	CR	MU	LM	NE	A			
61	El Retamal	Monterrey - Nvo. Laredo	178-900		3	14.03	4.65	4.65	4.88	190	MU	CR	MU	LM	NE	A			
62	Esquedá	Moctezuma-Aguia Prieta	123-800		3	52.21	31.11	10.55	10.94	150	97.7	65.96	CA	CR	TA-RE	NE	A		
63	Río Lerma Izq.	México DF-Toluca	51-000		1	24.02	24.02	0.00	0.00	26	26	36.48	CA	CR	TA-RE	NE	B		
64	Los Angeles Izq.	Monterrey - Nvo. Laredo	176-600		3	14.03	4.65	4.65	3.15	170	44	34.94	MU	CR	LM	NE	A		
65	Los Villareal	Monterrey - Nvo. Laredo	180-000		3	9.34	4.65	4.65	0.00	206	44	34.52	MU	CR	LM	NE	A		
66	Maruata II	Playa Azul-Manzanillo	150-276		4	128.48	35	24.94	0.00			39.23	MU	CR	CA	D			
67	Ing. Miguel Cervantes	Cuernavaca - Chilpancingo	156-950		1	12.55	12.55	0.00	4	3.35	27	37.29	MU	MA	TR-CR	NE	B		
68	Motin del oro II	Playa Azul-Manzanillo	166-056		1	110.55	110.55	0.00	4	3.35	61.79	MU	MA	CA	NE	D			
69	KM 11-741 (canal)	Lbramiento México	11-741		1	9.3	9.3	0.00	14.11	4.11	46	46.92	CA	CR	LM	NE	B		
70	KM 11-741 (Dren)	Lbramiento México	11-742		1	13.3	13.3	0.00	13.91	13.91	46	47.71	CA	CR	TA-PRE	NE	B		
71	KM 13-416	Lbramiento México	13-416		1	10.8	10.8	0.00	7.04	7.04	46	40.22	CA	CR	LM-TC	NE	B		
72	KM 17-100	Lbramiento México	17-100		1	6.8	6.8	0.00	14.95	14.95	46	47.13	CA	CR	LM-TC	NE	B		
73	KM 19-3,23(Norte)	Lbramiento México	19-323		1	8.8	8.8	0.00	5.02	5.02	46	37.70	CA	CR	LM-TC	NE	B		
74	KM 19-3,23(Sur)	Lbramiento México	19-324		1	8.8	8.8	0.00	5.26	5.26	46	37.94	CA	CR	LM-TC	NE	B		
75	KM 7-070	Lbramiento México	7-070		1	13.3	13.3	0.00	15.13	15.13	46	48.93	CA	CR	TA-PRE	NE	B		
76	KM 9-704	Lbramiento México	9-704		1	8.8	8.8	0.00	13.72	13.72	46	46.40	CA	CR	TC	NE	B		
77	Cabocra	Lauro del Villar-Tijuana	103-700		3	31.55	10.61	10.52	13.00	5.04	2.93	37.96	MU	MU	TR-CR	NE	D		
78	Chalma	Puente de Ixtla, Morelos	103-700		3	37.46	16.59	10.47	0.00			34.63	MU	MA	TR-CR	NE	B		
79	P. Cujulaipan-Crios Carrillo	La Tinaja-Sayula	103-140		4	60.18	18.72	11.37	0.00	7.01	46	38.66	CA	CR	TA-RE	NE	B		
80	Dahlia	Zacatecas-Durango	5-100		4	66.32	16.58	16.58	10.00	10.92	50	46.91	MU	CR	TR-CR	NE	B		
81	El Orejon	Morelia Apatzingan	186-800		5	67	13.4	13.4	0.00	18	18	51.83	MU	MA	TR-CR	NE	B		
82	El Pelon	Morelia Apatzingan	194-994		1	18	18	0.00				34.98	MU	MA	TM	NE			
83	Manzanillo	La Tinaja-Sayula	104-426		4	61.28	18.72	11.92	0.00	8.44	8.35	80	46	43.55	CA	CR	TA-RE	NE	B
84	Parras de la Piente	Zacatecas-Durango	7-451.78		2	21.6	10.8	10.8	0.00	5.82	5.67	80	38.92	MU	MA	TR-CR	NE	B	
85	San Nombre	La Tinaja-Sayula	102-900		4	58.68	18.62	10.62	0.00	7.64	7.59	80	46	42.75	CA	CR	TA-RE	NE	B
86	Puente las Arboledas	Queretaro Leon	54-900		1	21.8	21.8	0.00	3.7	3.7	60	39.63	MU	MA	CA	NE	B		
87	La Lama cuerpo Der.	Cd. Obregon Hermosillo	150-900		1	13.65	13.65	47.00	3.78	3.78	51	48.11	MU	MA	TA-PRE	NE	B		
88	Los Castillos	Queretaro Leon	11-400		1	30.63	30.63	0.00	3.64	3.02	50	41.47	MU	MA	CA-(TA-PRE)	NE	B		
89	Papalote I	México-Tulancingo	47-800		3	47.55	15.85	15.8	10-30		160	#VALOR!	MU	MA	TA-PRE	NE	B		
90	La Cnial	Sn Pedro Tapanatepec-Tuxtla Gutierrez	682-286		10	284.54	28.64	28.55	0.00			37.64	MU		AR				
91	Sonoraya	Lauro del Villar-Tijuana	253-700		3	39.98	13.3	13.3	0.00	7.9	7.9	180	41.70	MU	CR	TR-CR	NE	D	
92	Tomatlan	Melaque-Pto. Vallarta	115-600		5	171-55	35.58	35.47	0.00	7.75	7.75	220	23	47.12	MU	CA	TR-CR	NE	D
93	Puente Salitre	Toluca-Morelia	55-900		1	25.32	25.32	0.00	3.98	3.38	66	40.49	MU	MA	CA-(TA-PRE)	NE			
94	San Jeronimo	Carretera Acapulco-Zihuatanejo	85-750		8	230.8	31.98	31.94	0.00			38.47	MU	CR	TA-PRE	NE	D		
95	Puente Taxhe	Toluca-Palmillas	122-000		3	43.11	13.64	13.41	0.00	6.3	5.2	190	33	39.64	MU	MA	TR-CR	NE	
96	Puente Yucaltepeten II	Merida-Progresso	7-490		1	14.34	14.34	0.00			76	34.06	MU	CR	CA	NE	A		
97	Puente Yucaltepeten	Merida-Progresso	7-830		1	14.57	14.57	0.00			76	34.12	MU	CR	CA	NE	A		
98	10280	Veracruz-Poza Rica	41-1926			44.78	22.39	22.39	15.00	7.4	7.4	100	52	45.56	CA	CR	TA	NE	B
99	10281	Veracruz-Poza Rica	44-460			44.64	22.32	22.32	0.00	9.6	9.6	100	56	45.66	CA	CR	TA	NE	B
100	10282	Veracruz-Poza Rica	49-304			44.64	22.32	22.32	0.00	8.22	8.22	100	56	44.28	CA	CR	TA	NE	B





### 1.3 GRÁFICAS ESTADÍSTICAS DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS PUENTES

Las siguientes gráficas muestran algunas de las características más importantes de los puentes tomadas del análisis estadístico de la tabla 1.1, y en las cuales se observa la cantidad de puentes que cuentan con dichas características.

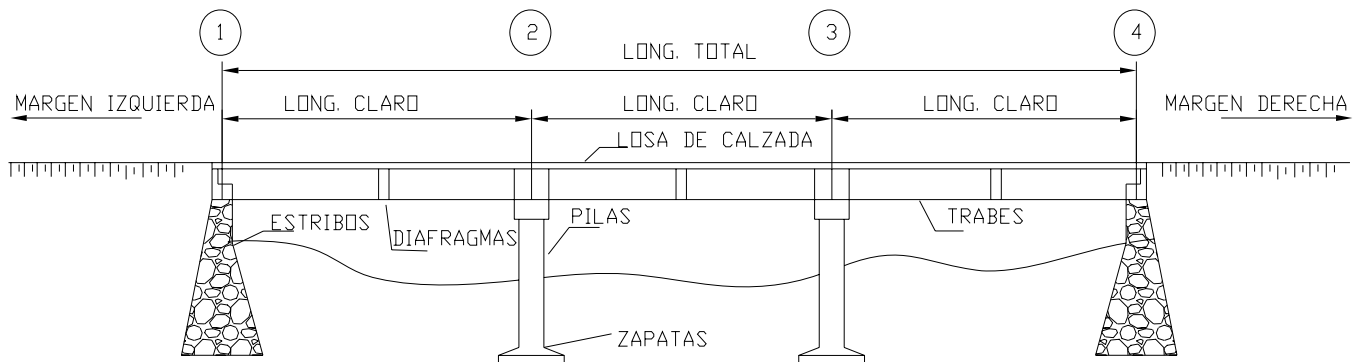


Figura 1.4 Características de un puente

En el puente de la figura 1.4 se observan algunas de las características obtenidas para la realización de las siguientes gráficas, según la tabla 1.1, estas son:

- \*Tipo de estribos
- \*Material del estribo
- \*Tipo de pilas
- \*Material de las pilas
- \*Relación entre claros
- \*Relación de esbeltez
- \*Longitud de asiento
- \*Fórmula de la AASHTO
- \*Ángulo de esviaje
- \*Longitud total
- \*Superestructura
- \*Claro mayor
- \*Zona sísmica
- \*Tipo de apoyo
- \*Relación entre alturas

### 1.3.1 AÑO DE CONSTRUCCIÓN

En la figura 1.5 se observa que la mayoría de los puentes analizados en la tabla 1.1, fueron construidos en el período que comprende entre 1960-1980; siendo muy pocos los construidos entre 1930 y 1940, según se observa en la tabla 1.2.

Tabla 1.2 Año Construcción

No.puentes	Año
1	1930-1940
20	1940-1960
30	1960-1980
8	1980-2000

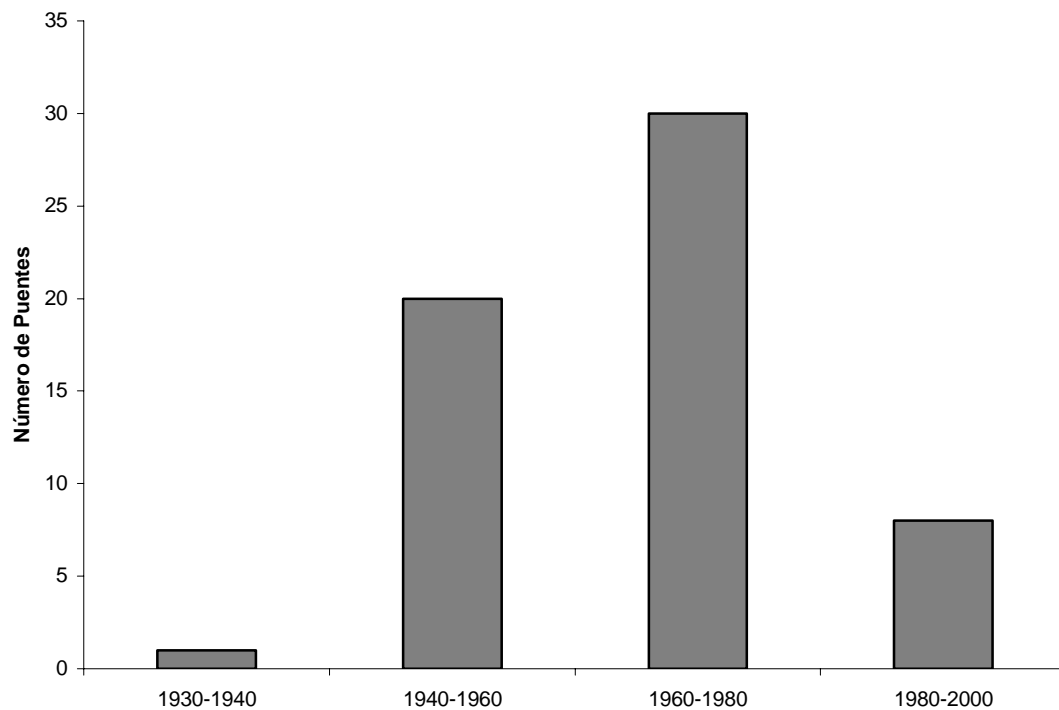


Figura 1.5 Año de construcción de los puentes analizados

### 1.3.2 TIPO DE ESTRIBOS

La mayoría de los puentes cuentan con estribos de tipo caballete y muros como se muestra en la figura 1.6, y según la tabla 1.3.

Tabla 1.3 Estribos

No Puentes	Tipo-Estribo
54	Muros
63	Caballetes
32	Otros

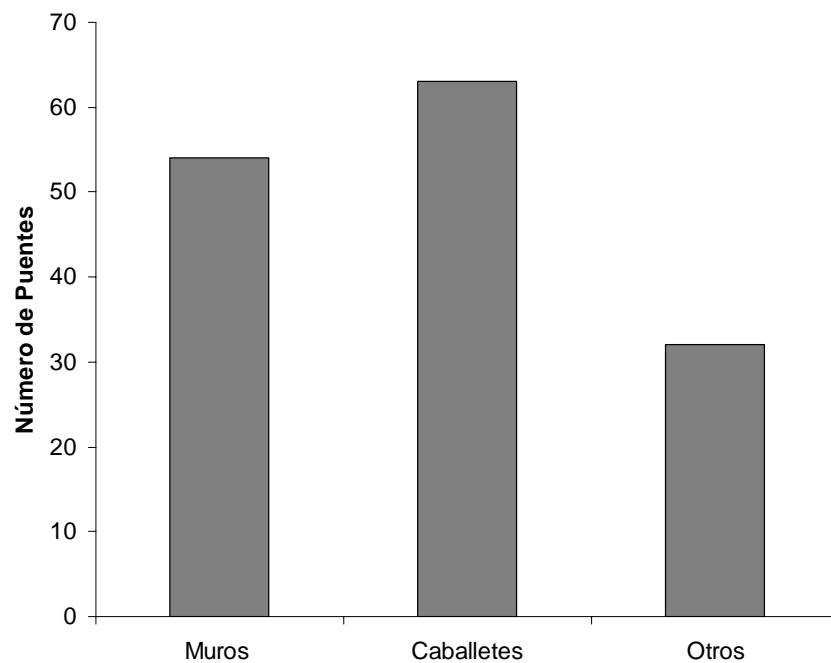


Figura 1.6 Tipo de estribo de los puentes analizados

### 1.3.3 MATERIAL DE LOS ESTRIBOS

En la figura 1.7 se observa que gran parte de los estribos con los que cuentan los puentes son construidos de concreto reforzado, no siendo mucha la diferencia entre estos con los construidos de mampostería.

Tabla 1.4 Material de estribos

No Puentes	Mat-Estribo
64	Mamposteria
80	Concreto Ref.

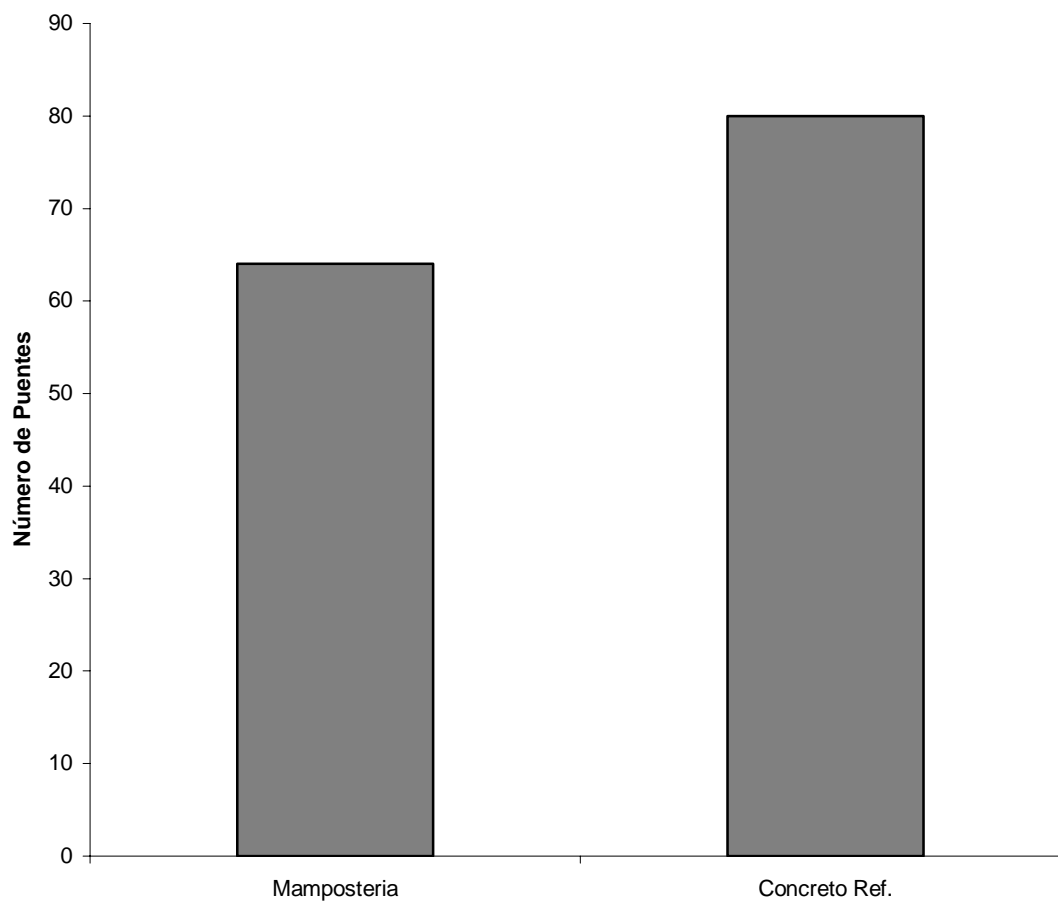


Figura 1.7 Material de los estribos de los puentes analizados

### 1.3.4 TIPO DE PILAS

Las pilas, en su gran mayoría, son de tipo muro sólido, según se observa en la tabla 1.5 y la figura 1.8.

Tabla 1.5 Tipo de pilas de los puentes

No. Puentes	Tipo-Pila
33	Muro Sólido
3	Columna
27	Marco
9	Otros

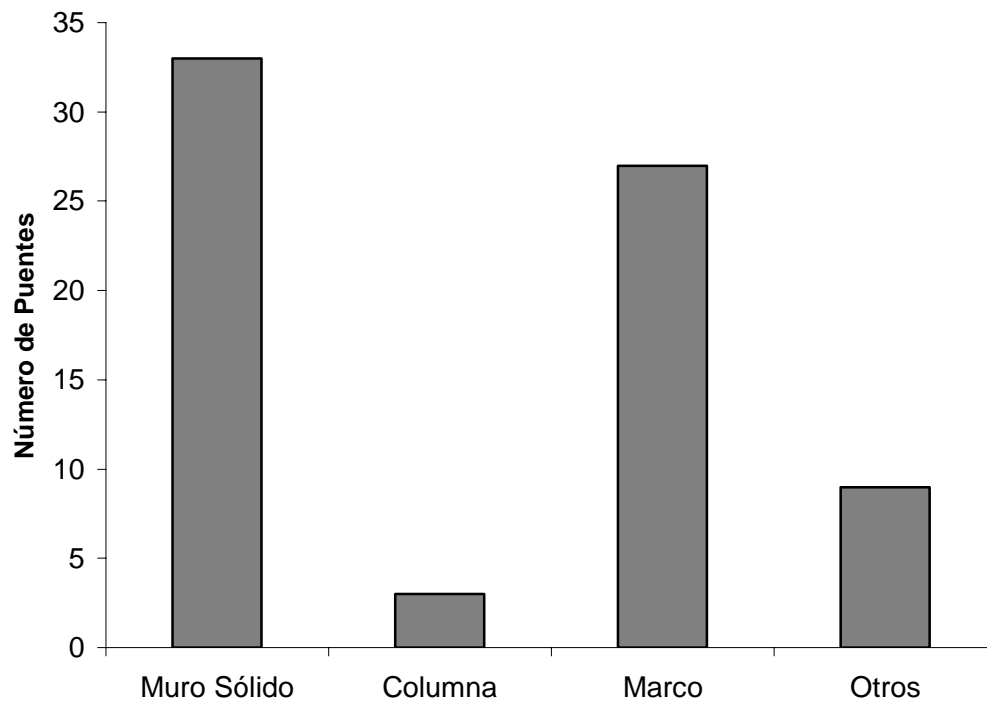


Figura 1.8 Tipo de pilas de los puentes analizados

### 1.3.5 MATERIAL DE LA PILA

El material de las pilas con que cuentan los puentes, es de tres tipos: de mampostería, concreto y acero, siendo el de concreto el más común entre ellos, según se observa en la figura 1.9 y en la tabla 1.6.

Tabla 1.6 Material de pila de los puentes

No Puentes	Material
38	Mamposteria
62	Concreto
4	Acero

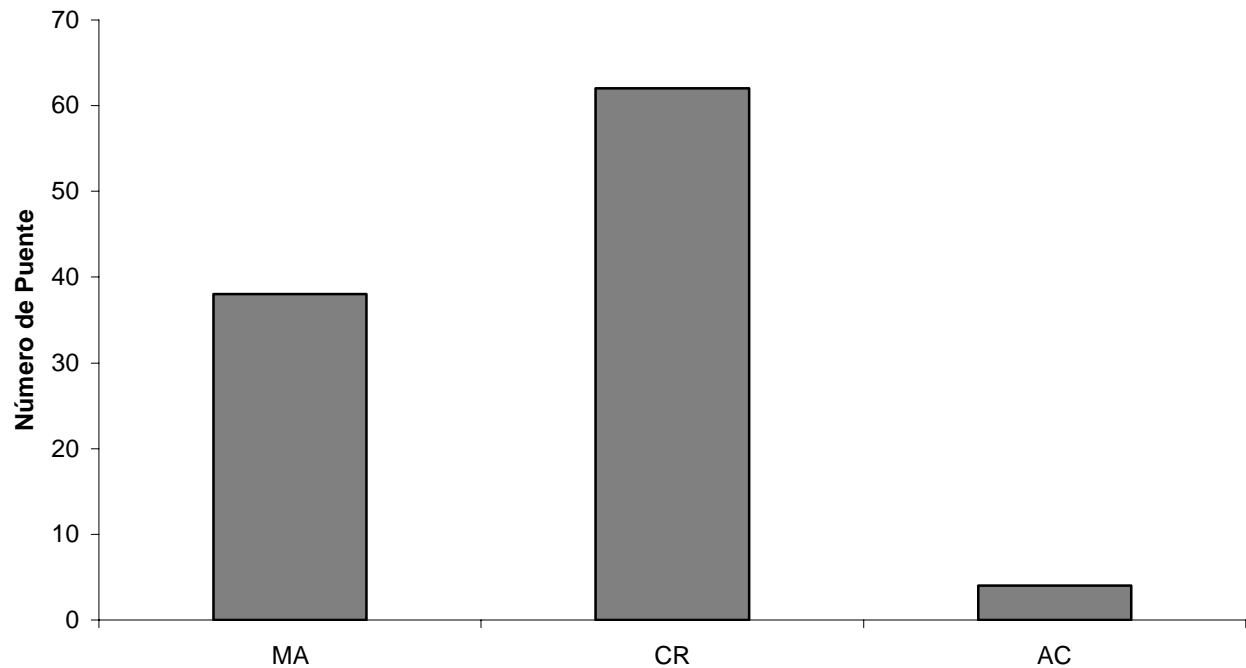


Figura 1.9 Material de pila de los puentes analizados

### 1.3.6 RELACIÓN DE CLAROS

En la figura 1.11 y según la tabla 1.7, se presenta la relación existente entre el claro mayor y menor de los puentes analizado, como se muestra en la figura 1.10 siguiente.

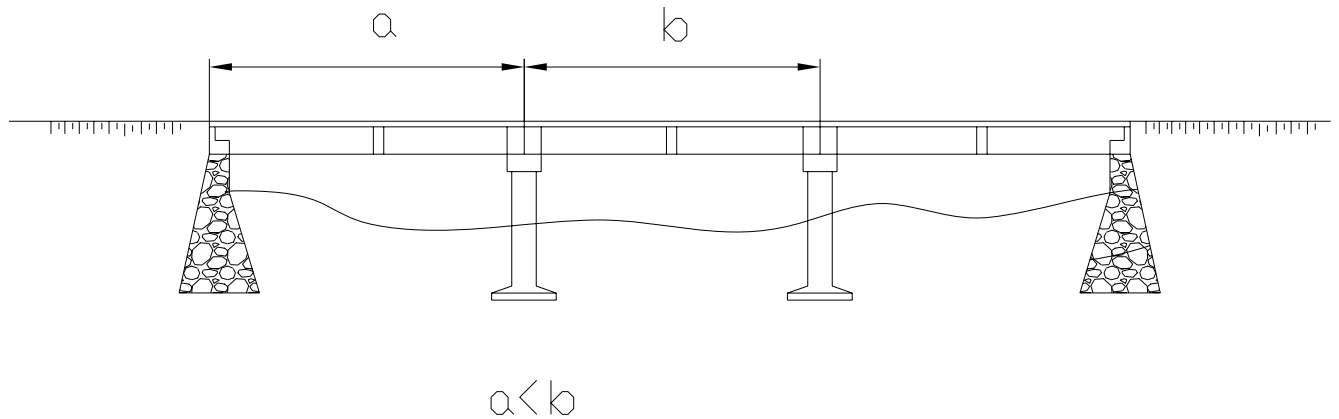


Figura 1.10 Relación de claros en los puentes analizados

En la figura 1.10 se observa que la relación de los claros se utilizó en el caso en donde estos son continuos y en donde el claro (b) es mayor al claro (a).

Tabla 1.7 Relación de los claros de los puentes

No. Puentes	Relación
47	1
26	1-1.5
14	1.5-2.0
0	2.0-2.5
2	2.5-3
0	>3.0



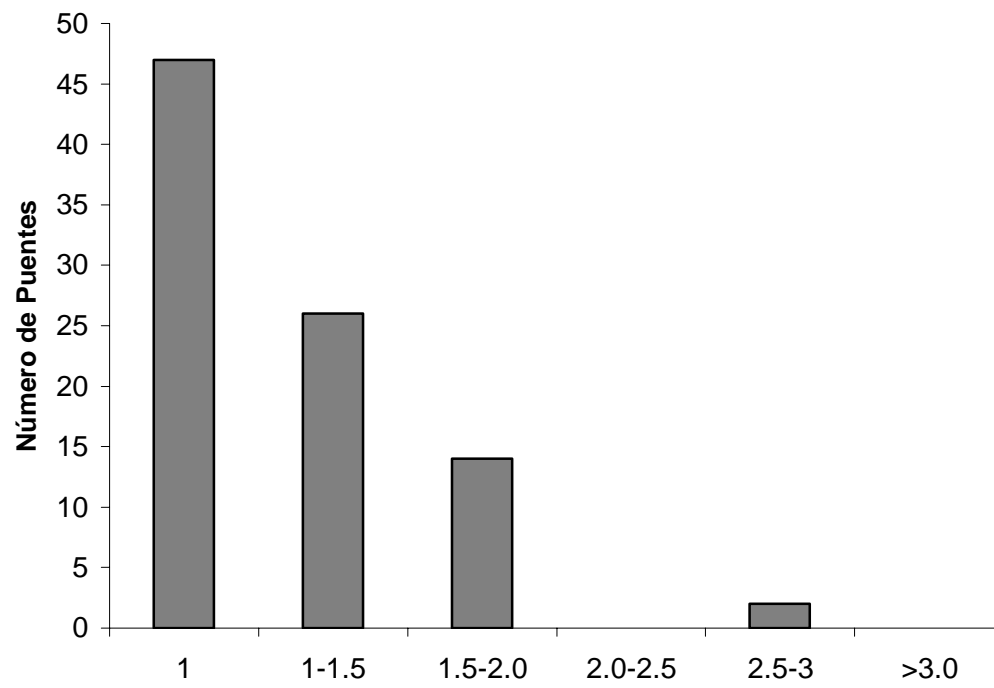


Figura 1.11 Relación (Claro Mayor/Claro Menor) de los puentes analizados

### 1.3.7 RELACIÓN DE ESBELTEZ

La figura 1.13 y según la tabla 1.8, se muestra la relación de esbeltez existente en las pilas de los puentes, es decir, la relación que existe entre el ancho y la altura de la pila más desfavorable de cada uno de los puentes, y la cual se encuentra expresada en porcentaje.

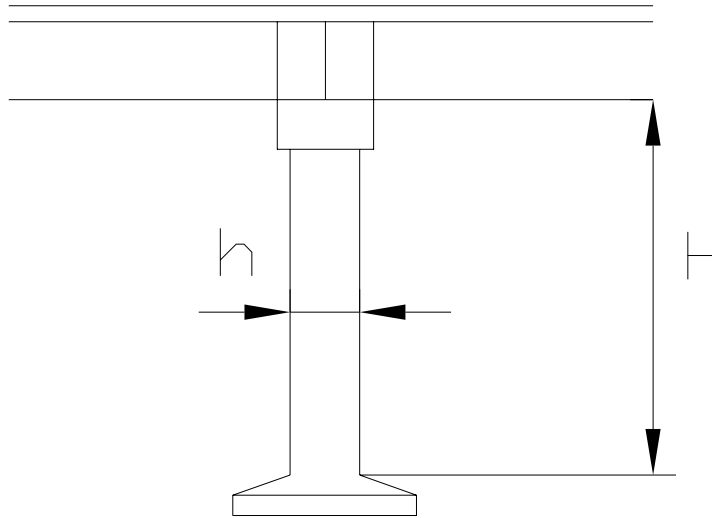


Figura 1.12 Relación  $h/H$

La figura 1.12 representa la pila de un puente, y de la cual se define tanto su ancho ( $h$ ), así como su altura ( $H$ ) de la pila.

Tabla 1.8 Esbeltez de las pilas de los puentes

No Puentes	Esbeltez (%)
9	<10%
19	10-20%
14	20-30%
8	30-40%
7	>40%

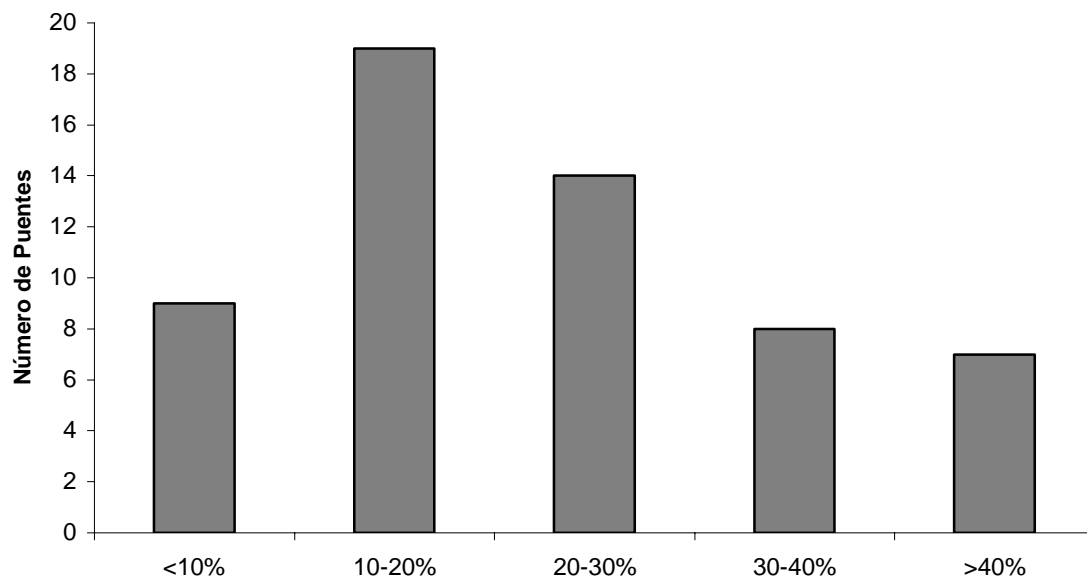


Figura 1.13 Relación de esbeltez de las pilas de los puentes analizados

### 1.3.8 LONGITUD DE ASIENTO

La mayoría de las longitudes de asiento con las que cuentan los puentes, son de entre 40 y 70 cm , siendo pocos los que contaban con longitudes mayores a 100 cm.

Tabla 1.9 Longitud de asiento de los puentes

No Puentes	L-Asiento (real)cm
0	<10
19	10-40
42	40-70
8	70-100
3	>100

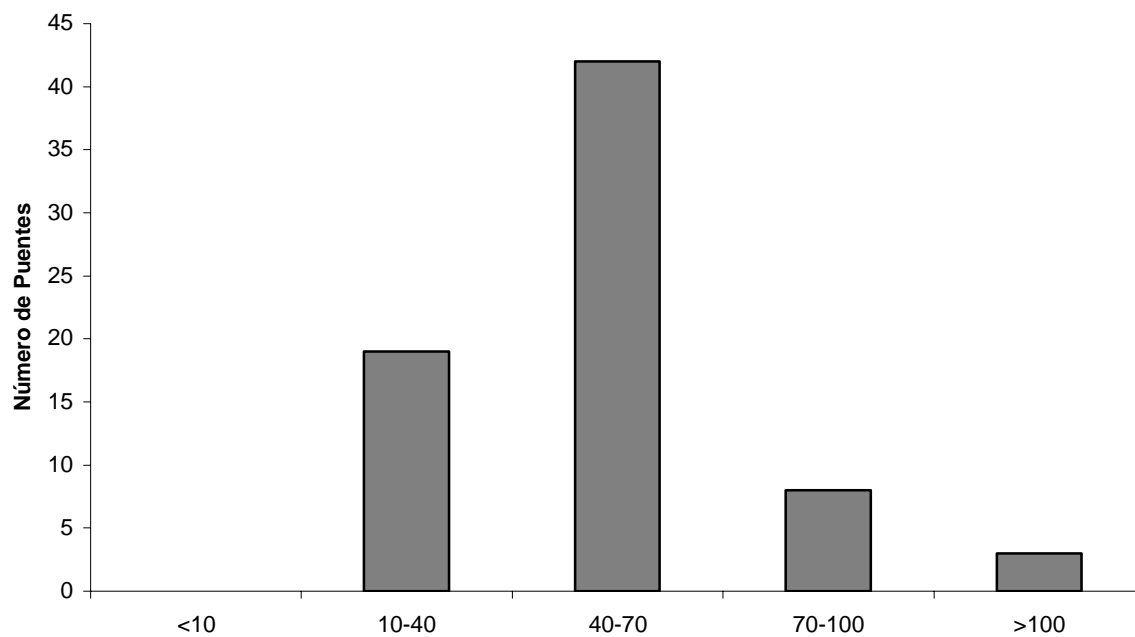


Figura 1.14 Longitud de asiento en los puentes analizados

### 1.3.9 FÓRMULA DE LA AASHTO

En la figura 1.15 se muestra la relación existente entre la longitud de asiento real (que se observa físicamente en los puentes), y la longitud de asiento por la fórmula de la AASHTO, expresados en por ciento. La fórmula propuesta por la AASHTO es la siguiente:

$$(12 + 0.03L + 0.12H)(1 + 0.000125s^2) \quad (1)$$

Donde: L es longitud del claro expresada en pies, H es la altura de la pila en pies, y s representa el ángulo de esviaje del puente analizado expresado en grados.

Tabla 1.10 Relación en %

No Puentes	Relación %
39	<0%
20	0-50%
5	50-100%
6	100-200%
2	>200%

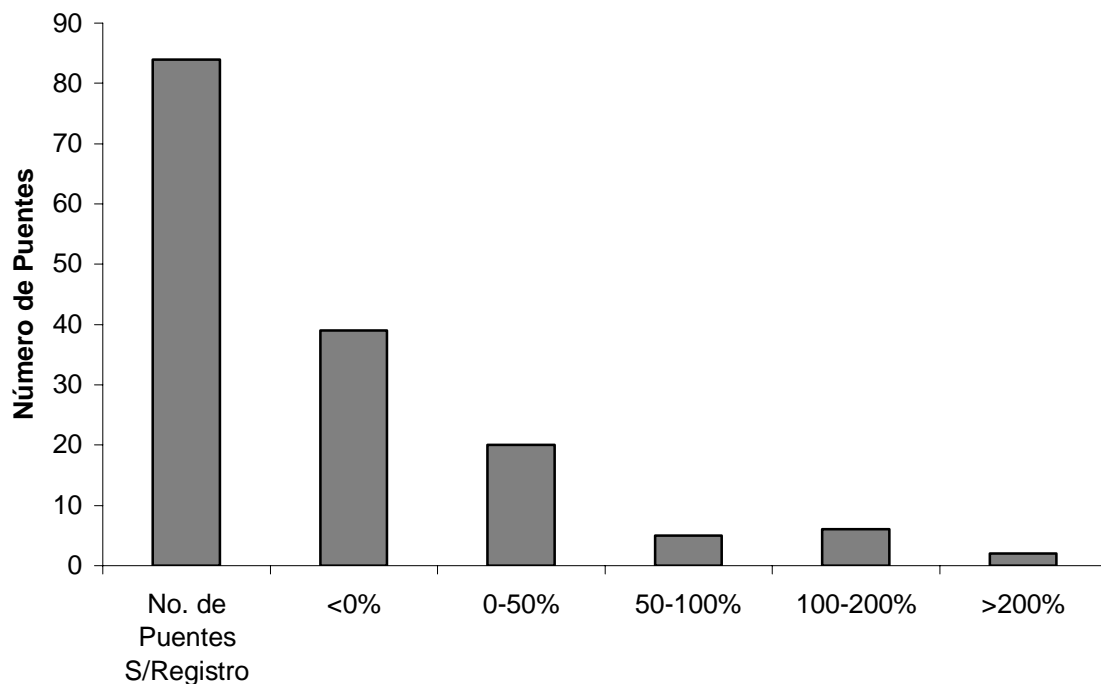


Figura 1.15 Porcentaje de relación (longitud asiento real/longitud asiento AASHTO)

Los valores mayores a 0% exceden lo especificado por la AASHTO de acuerdo al porcentaje con el que cuentan.

### 1.3.10 ÁNGULO DE ESVAIAJE

La mayoría de los puentes cuentan con un ángulo de esviaje del eje de puente con respecto al eje de la carretera, igual a cero. En la figura 1.16 se muestran los ángulos de los puentes analizados, estos ángulos se encuentran expresados en grados como se ve en la tabla 1.11.

Tabla 1.11 Ángulo de esviaje de los puentes

No Puentes	S Esviaje
96	0
10	0-10°
12	10-20°
12	20-30°
11	30-40°
9	40-50°
2	50-60°
2	60-70°

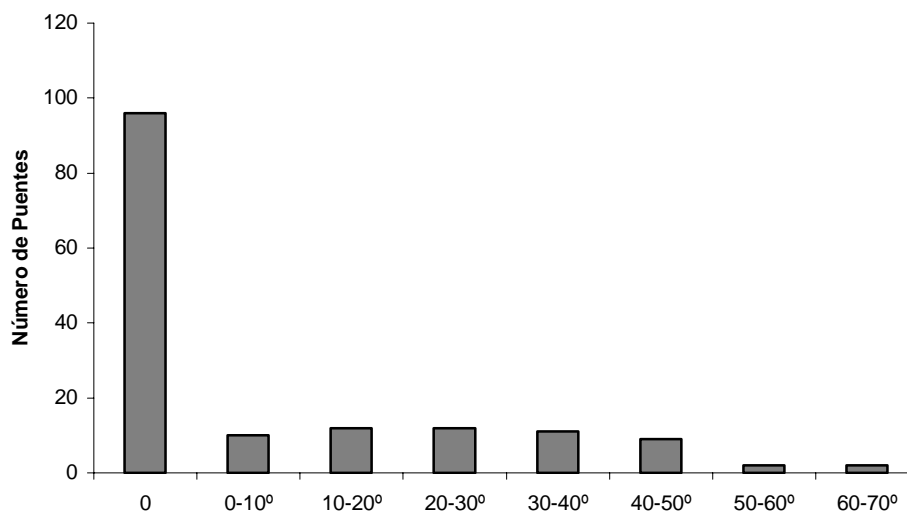


Figura 1.16 Ángulo de esviaje de los puentes analizados

### 1.3.11 LONGITUD TOTAL

En la figura 1.18 se muestra una serie de rangos de la longitud total con la que cuentan los puentes expresadas en metros, y en la que se puede apreciar que las longitudes llegan ser en algunos casos mayores de 200 m.

En la figura 1.17 se muestra la distancia que se consideró como longitud total, es decir la comprendida de extremo a extremo del puente.

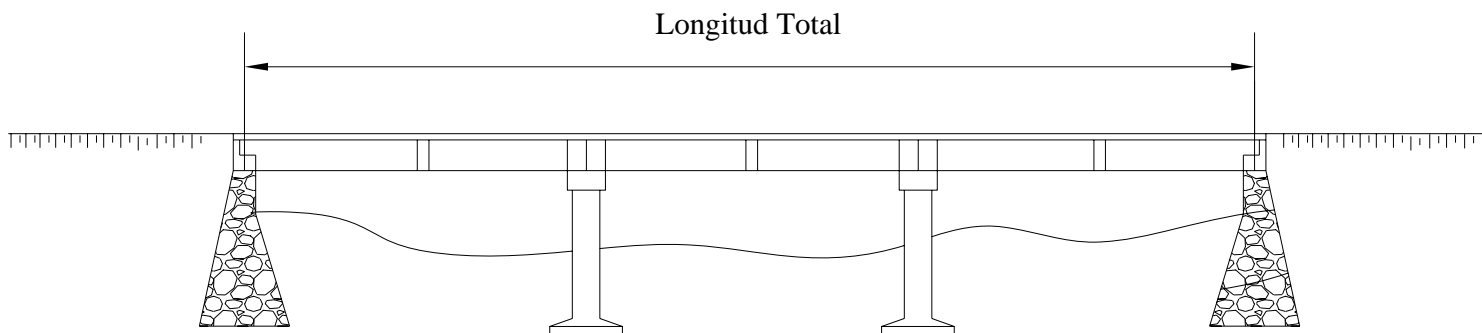


Figura 1.17 Longitud total

Tabla 1.12 Longitud total de los puentes analizados

No Puentes	Longitud Total(m)
39	0-15
24	15-30
28	30-45
20	45-60
37	60-90
5	90-200
4	>200

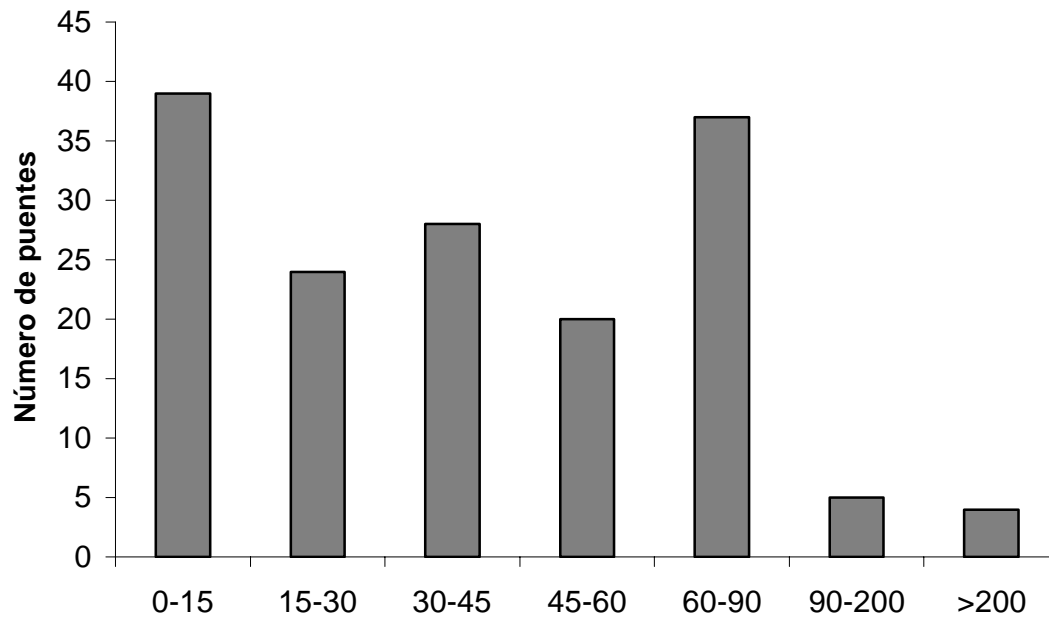


Figura 1.18 Longitud total en los puentes analizados



### 1.3.12 TIPO DE SUPERESTRUCTURA

El tipo de superestructura en los puentes analizados es muy variada, siendo las de traves tipo AASHTO y losa/viga las de mayor cantidad de puentes. En la figura 1.19 y según la tabla 1.13, se muestran los diferentes tipos de superestructura con la que cuentan los puentes.

Tabla 1.13 Superestructura en los puentes analizados

No Puentes	Superestructura
20	LM
7	CA
38	TA
6	TA-PRE
2	TA-POS
5	TA-RE
19	TR-CR
40	Losa/viga
14	OT

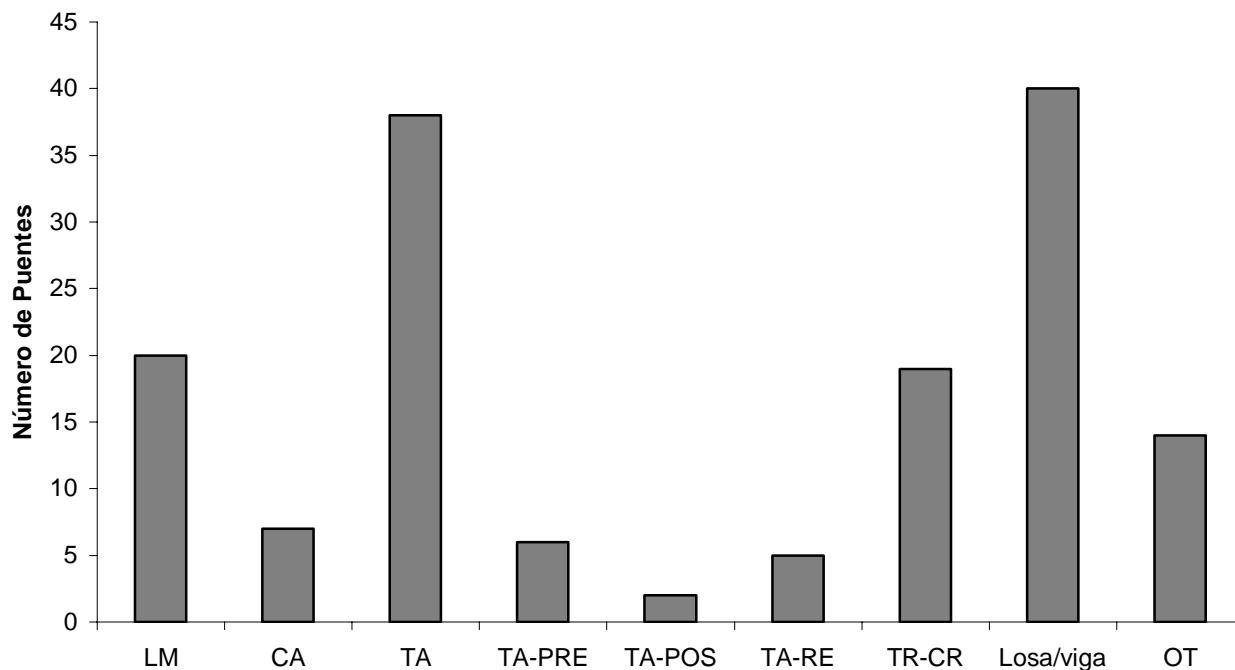


Figura 1.19 Superestructura de los puentes analizados

### 1.3.13 LONGITUD DEL CLARO MAYOR

La figura 1.20, muestra los rangos de longitudes del claro mayor de cada uno de los puentes, siendo muy poca cantidad de ellos que cuentan con claros mayores a 36 m.

Tabla 1.14 Longitud de claro mayor de los puentes

No Puentes	L. Claro (m)
12	0-6
35	6-12
34	12-18
18	18-24
22	24-30
33	30-36
1	>36

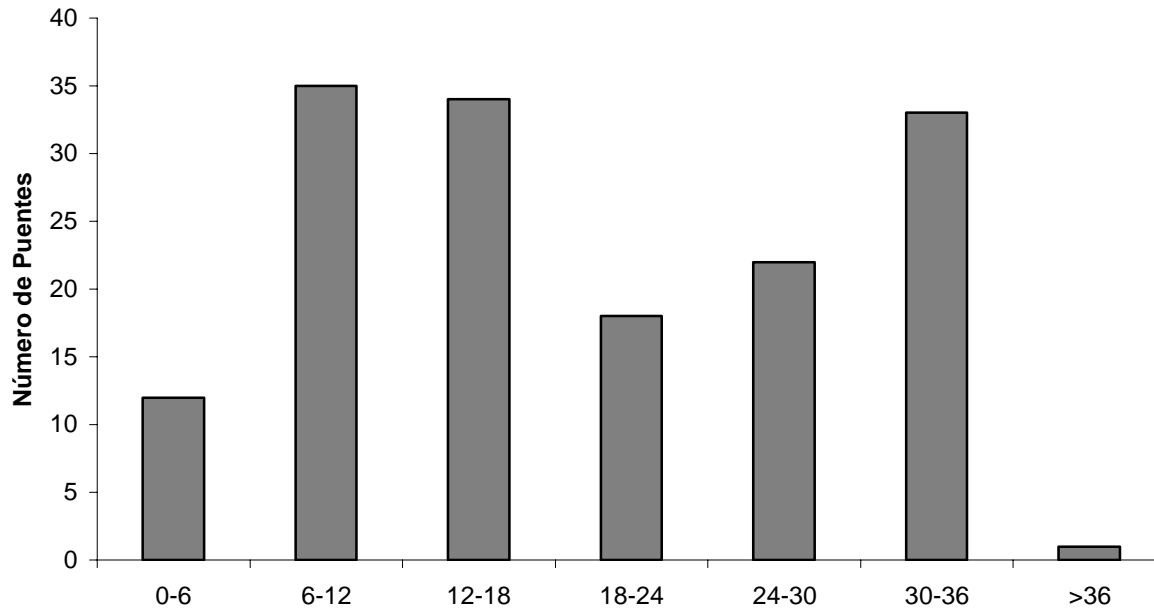


Figura 1.20 Claro Mayor de los puentes analizados

### 1.3.14 ZONA SÍSMICA

La figura 1.21 muestra la regionalización sísmica en la cual se encuentra dividido nuestro país, y la cual se divide en regiones A, B, C y D, considerando A como región asísmica, es decir, donde no existen eventos sísmicos; B y C son regiones donde acontecen eventos sísmicos esporádicamente; D son donde ocurren frecuentemente eventos sísmicos.

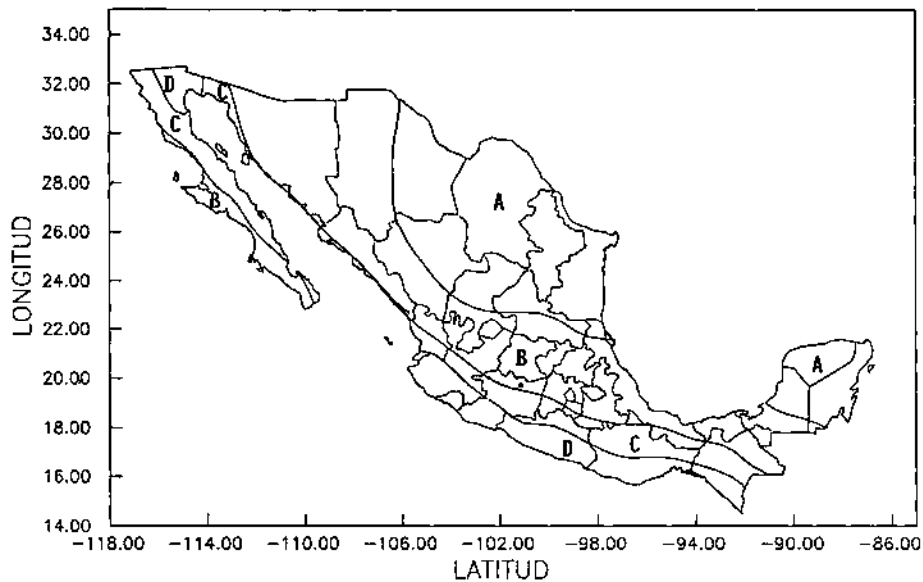


Figura 1.21 Regionalización sísmica de la República Mexicana

En la figura 1.22 y según la tabla 1.15, se muestran la cantidad de puentes analizados correspondientes a una determinada región sísmica de la República Mexicana.

Tabla 1.15 Zona sísmica de los puentes

No Puentes	Zona Sismica
50	A
48	B
32	C
6	D

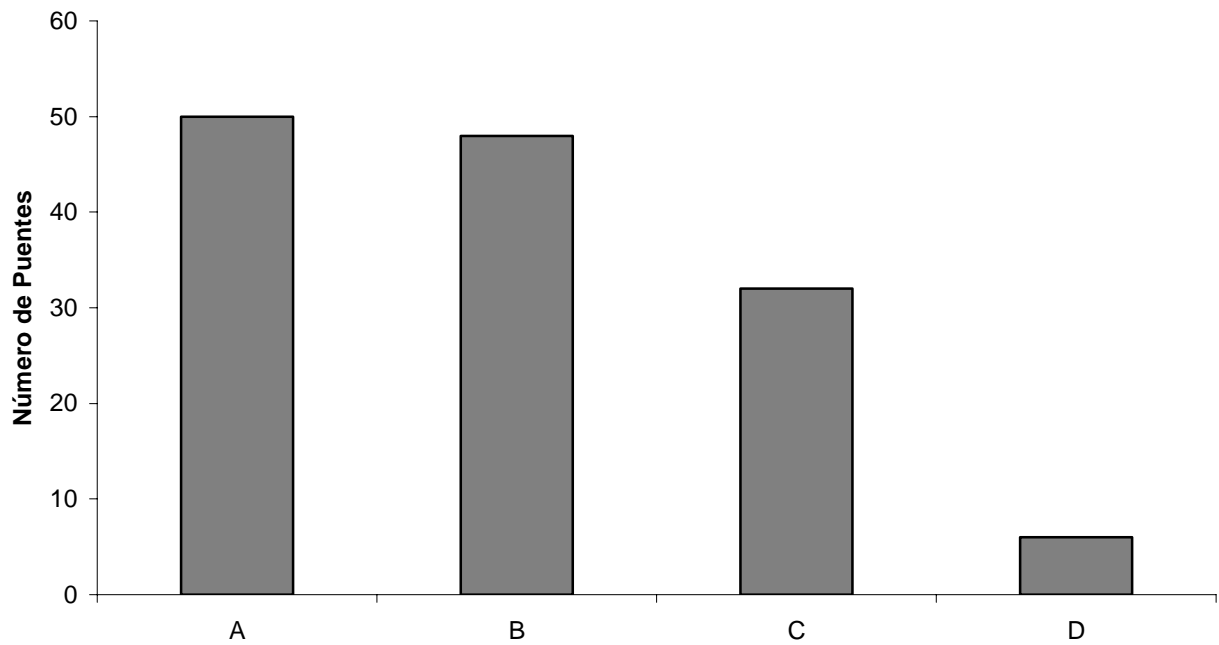


Figura 1.22 Zona sísmica de los puentes analizados

La mayor cantidad de puentes analizados se encuentran localizados dentro de las zonas sísmicas A y B, y unos cuantos menos en la zona C, siendo en la zona D donde se localiza la menor cantidad de ellos.

### 1.3.15 TIPO DE APOYOS

Los apoyos de neopreno son los más comúnmente utilizados en los puentes analizados, siendo 93 los puentes que cuentan con este tipo de apoyo, según se muestra en la figura 1.23 y en la tabla 1.16.

Tabla 1.16 Apoyos en los puentes analizados

No Puentes	Apoyo
93	NE
34	JC
12	OT

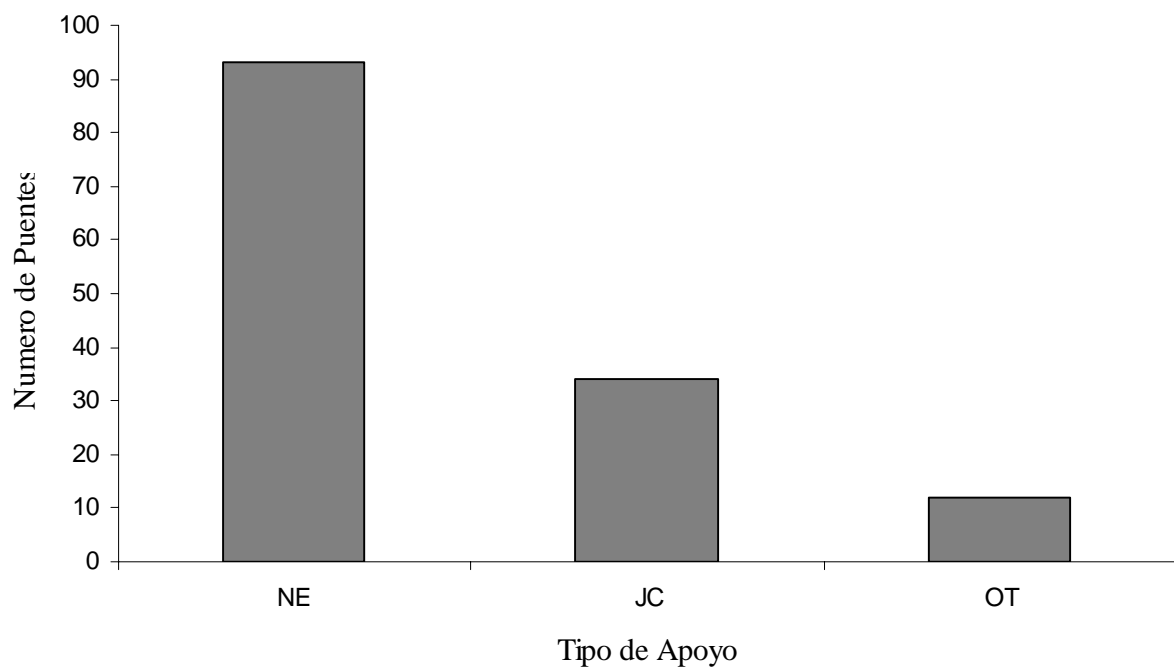


Figura 1.23 Tipo de apoyo de los puentes analizados

### 1.3.16 RELACIÓN ENTRE ALTURA MAYOR Y ALTURA MENOR

La Figura 1.25 nos muestra la relación existente entre la altura mayor y la altura menor de las pilas que forman un puente, y en donde se aprecia que esta relación en la mayoría de los casos es igual a uno, es decir, que las pilas en la mayoría de los puentes tenían la misma altura.

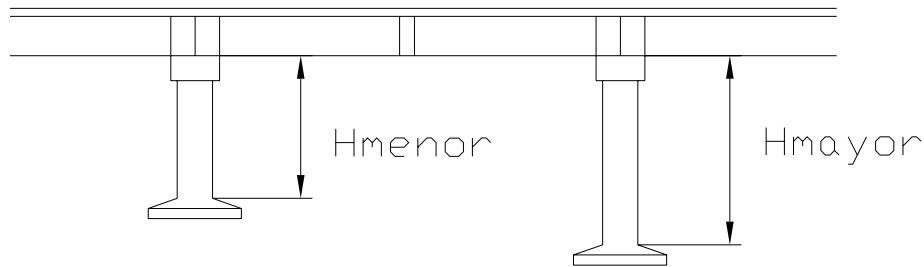


Figura 1.24 Relación Hmayor/Hmenor

En la figura 1.24 se observa que la relación de las alturas de las pilas se realizó solamente en el caso en el que estas eran continuas, es decir, en los casos en donde la pila mayor (b) era mayor a la pila (a) y continuo a este.

Tabla 1.17 Relación entre pilas de los puentes

No Puentes	Relación
93	1
36	1-1,5
4	1,5-2

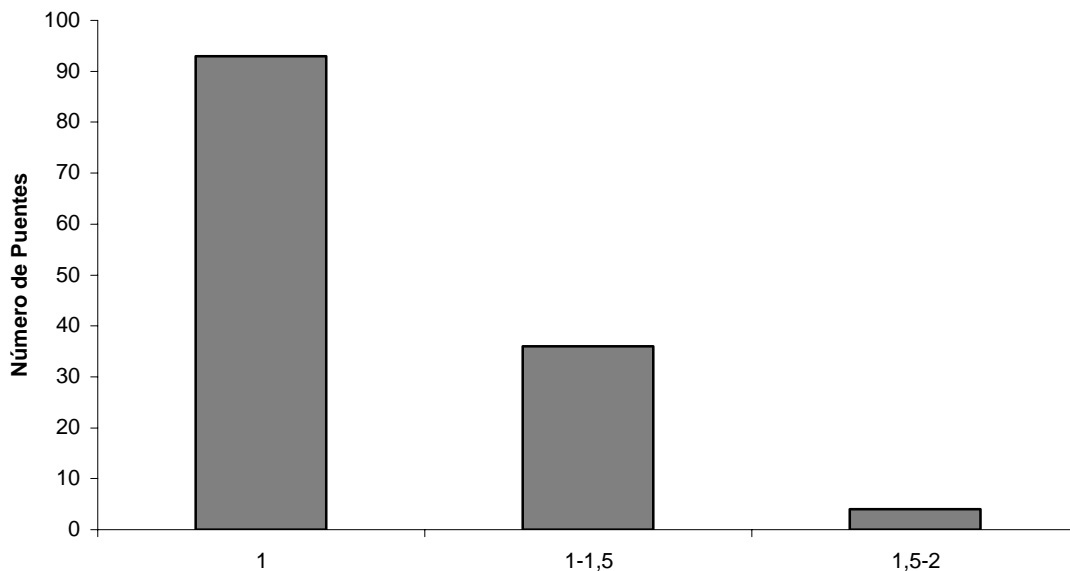


Figura 1.25 Relación Hmayor/Hmenor de las pilas de los puentes analizados

*Capítulo 2*  
PUENTES TIPO PIV Y PSV

---

## Capítulo 2 PUENTES TIPO PIV Y PSV

### 2.1 PUENTES DE PASO SUPERIOR E INFERIOR VEHICULAR

#### 2.1.1 PASO INFERIOR VEHICULAR

Los Paso Inferior Vehicular (figura 2.1) se construyen en donde existe un cruce de la carretera de referencia por abajo de otra vialidad y cuyas dimensiones quedan definidas por las características geométricas y rasantes de ambas vialidades.



Figura 2.1 Puente PIV

#### 2.1.1.1 GEOMETRÍA GENERAL DE LOS PUENTES PIV Y PSV

En general, los PIV y PSV cuentan con uno a cinco claros, y dichos claros se encuentran comprendidos entre los 6 m y 30 m de longitud.

La altura de las pilas ubicadas en los PIV y PSV, son de 6 m como mínimo y de 15 m las de mayor tamaño. El ancho de la calzada de estos puentes varía de entre 4 m y 10 m.

#### 2.1.1.2 TIPOS DE APOYOS EXTREMOS DE LOS PUENTES PIV Y PSV

En la figura 2.2 se muestra un tipo de apoyo extremo de un puente PIV que consta de caballetes de concreto reforzado con cimentación superficial, formado por columnas circulares o rectangulares. Los cabezales son regularmente de sección rectangular de 1 x 1.2 m, las columnas pueden ser de 1.2 hasta 1.6 m de diámetro y de hasta 15 m de altura.

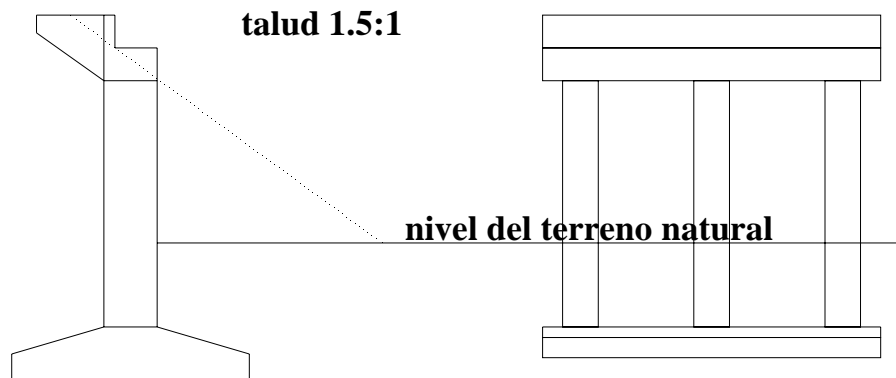


Figura 2.2 Caballete de cimentación superficial de un puente



La figura 2.3 muestra unos caballetes de concreto reforzado que sirven como apoyos extremos a los PIV y que cuentan con cimentación profunda, formado por pilas (pilotes) circulares. Los cabezales son regularmente de sección rectangular de 1 x 1.2 m, las pilas pueden ser de 1.2 hasta 2m de diámetro y de 3 hasta 15 m de altura. Las pilas se pueden ampliar en la zona bajo el terreno natural o en su base.

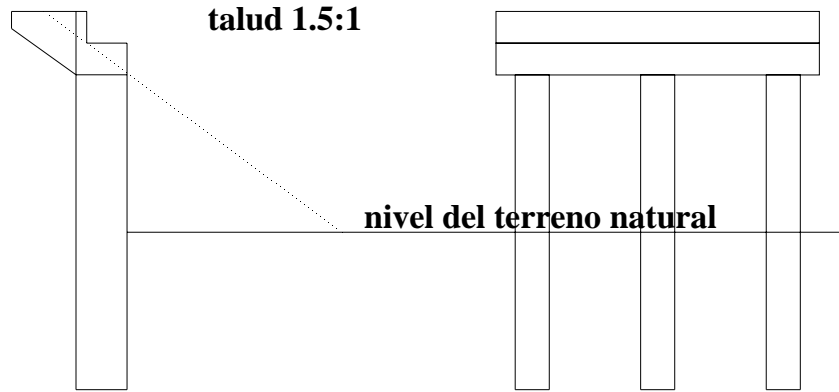


Figura 2.3 Caballete con cimentación profunda de un puente

Se observa en la figura 2.4 el apoyo extremo formado por un cuerpo de tierra armada sobre el cual se apoya el cabeza y muro de respaldo de concreto reforzado. La tierra armada se coloca en una longitud necesaria para evitar el derrame sobre el camino y el resto del acceso esta formado por un terraplén. La altura varía de 3 hasta 10 m aproximadamente y su cimentación es superficial.

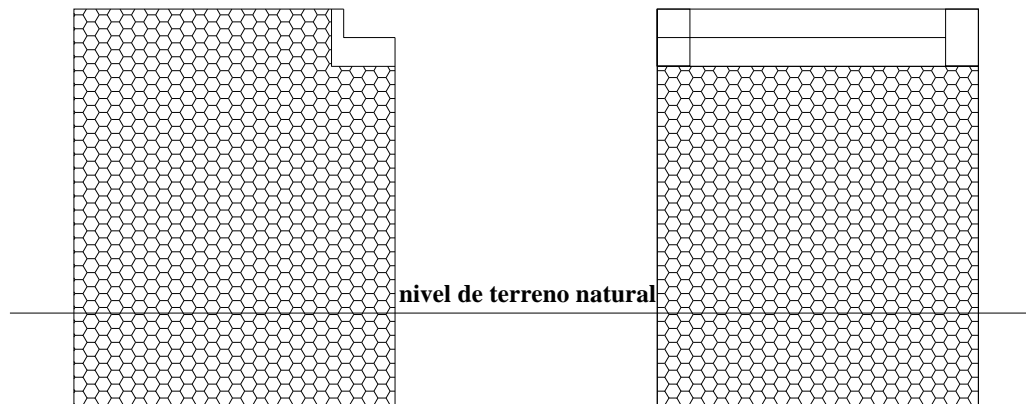


Figura 2.4 Cabezal sobre tierra armada

La figura 2.5 muestra a los estribos de mampostería y corona y muro de respaldo de concreto reforzado. Los estribos pueden tener desde 3 hasta 10 m de altura y su cimentación es superficial.

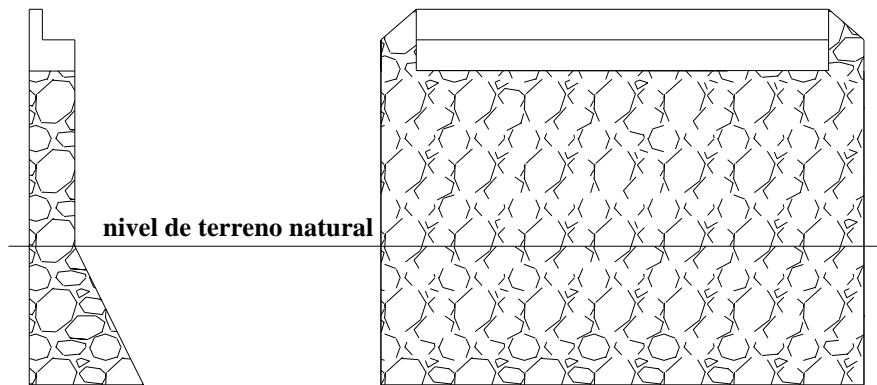


Figura 2.5 Estribos de mampostería

Otro tipo de apoyos extremos es el mostrado en a figura 2.6 y en la que se ven estribos de concreto reforzado con aleros o también en cajón. Estos estribos tienen una altura entre 3 a los 10 m y su cimentación es superficial.

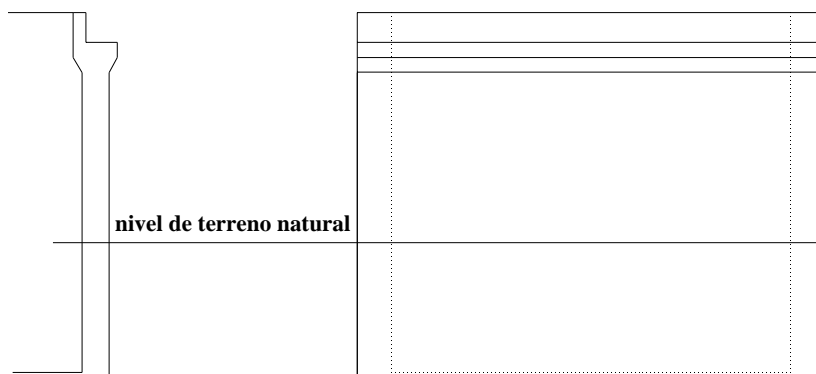


Figura 2.6 Estribos con alerón o en cajón

### 2.1.1.3 TIPOS DE APOYOS INTERMEDIOS DE LOS PUENTES PIV Y PSV

La figura 2.7 muestra un apoyo intermedio formado por pilas de concreto reforzado con cimentación superficial, formado por columnas circulares o rectangulares. Los cabezales, son rectangulares de sección rectangular de 1 x 1.2 m, las columnas pueden ser de 1.2 hasta 1.6 m de diámetro y de 3 hasta 15 m de altura.

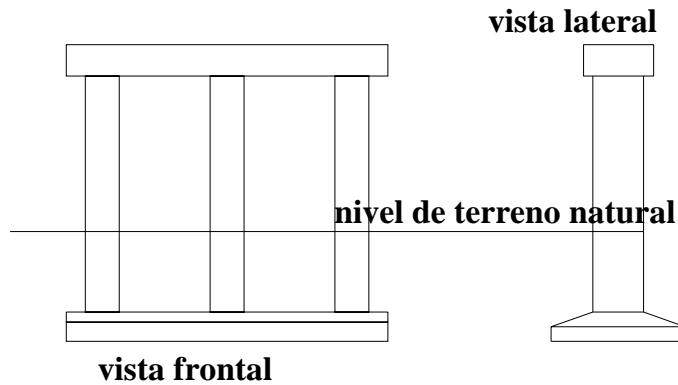


Figura 2.7 Pilas con cimentación superficial

La figura 2.8 muestra apoyos parecidos a los anteriores de pilas de concreto reforzado pero con cimentación profunda, y los cuales están formado por columnas circulares o rectangulares y por pilas (pilotes) circulares. Los cabezales son rectangularmente de sección rectangular de 1 x 1.2 m, las pilas pueden ser de 1.2 hasta 2 m de diámetro y de 3 hasta 15 m de altura. Las pilas (pilotes) se pueden ampliar en la zona bajo el terreno natural o en su base.

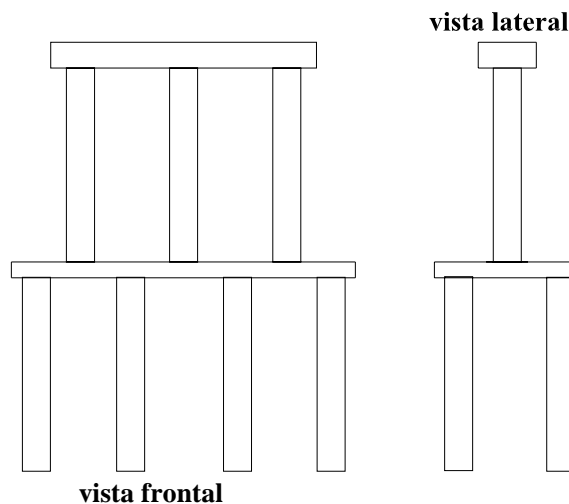


Figura 2.8 Pilas con cimentación profunda

En la figura 2.9 se aprecia un tipo de apoyo intermedios constituido por pilas de concreto reforzado con cimentación superficial, formado por un muro columna. Los cabezales son regularmente de sección rectangular de 1 x 1.2 m, las columnas pueden ser de 0.6 a 0.8 m de ancho y de 3 hasta 15 m de altura.

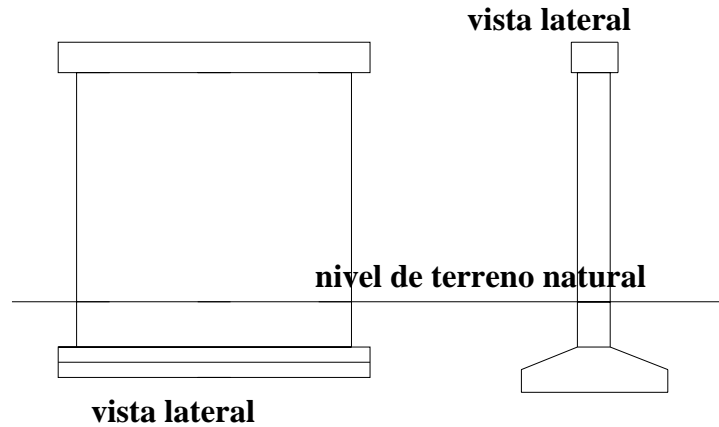


Figura 2.9 Pila con cimentación superficial

Las pilas de concreto reforzado con cimentación profunda (figura 2.10), están formados por un muro columna. Los cabezales son regularmente de sección rectangular de 1 x 1.2 m, las pilas (pilotes) pueden ser de 1.2 hasta 2 m de diámetro y de 3 hasta 15 m de altura. Las pilas se pueden ampliar en la zona bajo el terreno natural o en su base.

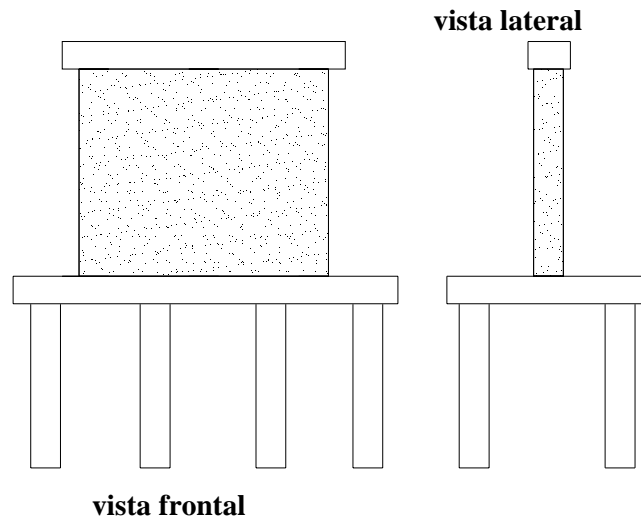


Figura 2.10 Pila con cimentación profunda

### 2.1.2 PASO SUPERIOR VEHICULAR

El Paso Superior Vehicular (figura 2.11), es una estructura que se construye en un cruce de la carretera de referencia por encima de otra vialidad y cuyas dimensiones quedan definidas por las características geométricas y rasantes de ambas vialidades.



Figura 2.11 Paso Superior Vehicular

### 2.1.3 PASO SUPERIOR DE FERROCARRIL

El Paso Superior de Ferrocarril (figura 2.12), es una estructura que se construye en un cruce de la carretera de referencia por encima de una vía de ferrocarril y cuyas dimensiones quedan definidas por las características geométricas y rasantes de la carretera y de la vía.



Figura 2.12 Paso Superior Ferrocarril

### 2.1.4 PASO INFERIOR DE FERROCARRIL

El Paso Inferior de Ferrocarril (figura 2.13), es una estructura que se construye en un cruce de la carretera de referencia por abajo de una vía de ferrocarril y cuyas dimensiones quedan definidas por las características geométricas y rasantes de la carretera y de la vía.



Figura 2.13 Paso Inferior de Ferrocarril

## 2.2 GÁLIBO HORIZONTAL Y VERTICAL

### 2.2.1 GÁLIBO HORIZONTAL O ESPACIO LIBRE HORIZONTAL

Se le llama gálibo horizontal al ancho libre que permite la circulación de vehículos por debajo de un puente o estructura que tenga por objeto cruzar una carretera o vía férrea, en tanto que el gálibo vertical será la altura libre, tal como se muestra en la figura 2.14:

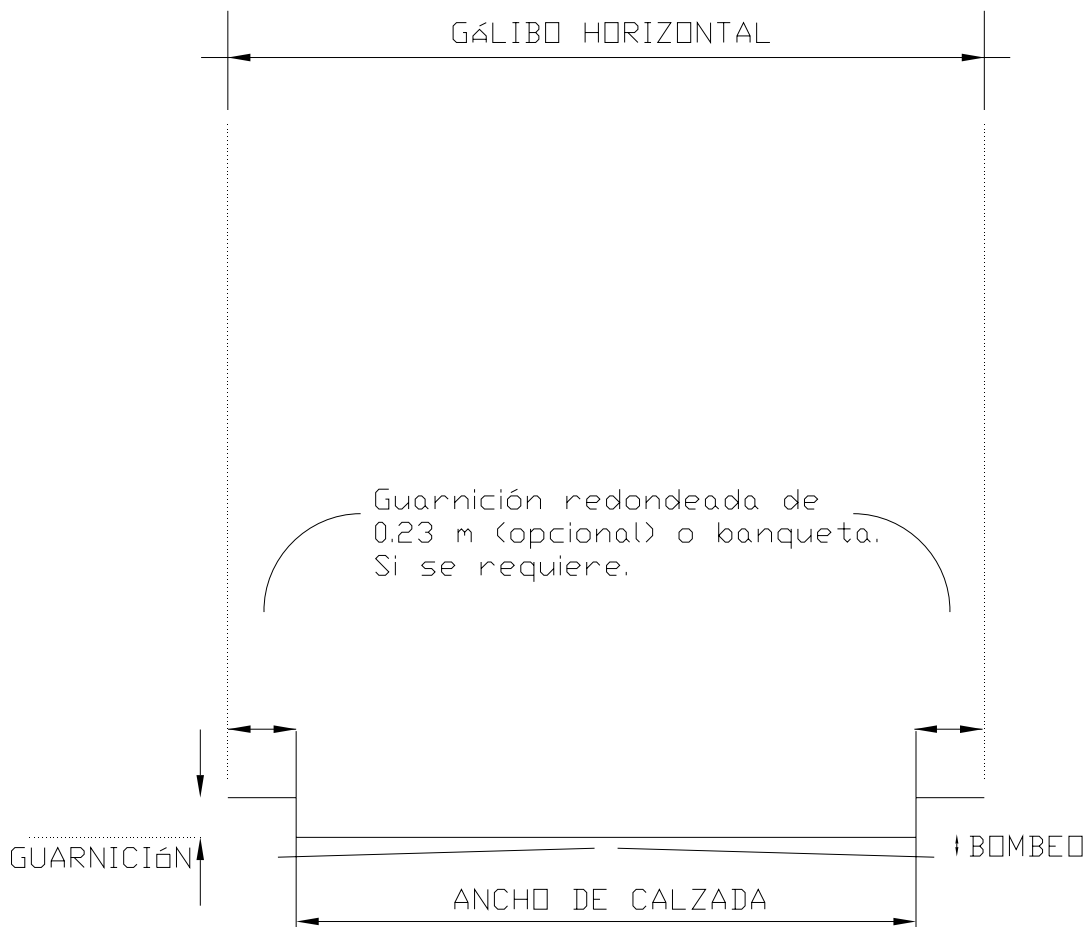


Figura 2.14 Diagrama de Gálidos para Puentes

Las dimensiones con las que cuentan los gálidos horizontales deben cumplir con una serie de normas para su correcta aplicación como las que a continuación se describen:

### 2.2.1.1 PARA ESTRUCTURAS QUE CRUCEN UNA CARRETERA

En el caso de pasos inferiores vehiculares (PIV), de ferrocarril (PIF), así como pasos superiores vehiculares (PSV), el gálibo horizontal o espacio libre horizontal debe ser, como mínimo, igual que el ancho total de la calzada de la carretera que se cruce más sus acotamientos y adicionado preferentemente por 1.2 m a cada lado, con el propósito de colocar defensas de protección que disten como mínimo 60 cm del paramento del estribo o de la pila.

### 2.2.1.2 PARA ESTRUCTURAS QUE CRUCEN UNA VÍA FÉRREA

Cuando se trate de pasos superiores de ferrocarril (PSF) como se muestra en la Figura 2.12, si la vía férrea es sencilla, el gálibo horizontal o espacio libre horizontal debe ser, como mínimo, 3.5 m a cada lado del eje de la vía, o si es doble, igual o mayor que la distancia entre los ejes de ambas vías más 3.5 m a cada lado.

Cuando la vía férrea tenga un trazo en curva y si la deflexión del trazo en el sitio donde se ubique la estructura es mayor de 3°, el espacio libre horizontal se aumentará en 10 %.

### 2.2.1.3 PARA PUENTES

Tratándose de un puente, los gálibos horizontales o espacios libres horizontales entre los paramentos de los apoyos, deben ser como mínimo, los que se determinen con base en las longitudes mínimas de los claros que establezca el estudio hidrológico correspondiente. Si el puente cruza una vía navegable federal, dichos gálibos deberán ser sometidos a la aprobación de la Secretaría de Marina.

## 2.2.2 GÁLIBO VERTICAL O ESPACIO LIBRE VERTICAL

Cuando se trate de un puente o de una estructura que tenga por objeto cruzar una carretera o una vía férrea, el gálibo vertical, es decir, el espacio libre vertical definido por la distancia mínima vertical entre la cara inferior de la superestructura y cualquier punto de la superficie de la calzada y de sus acotamientos, la parte superior del riel más alto, o el nivel de aguas de diseño de la corriente, cumplirá con lo siguiente:

### 2.2.2.1 PARA ESTRUCTURAS QUE CRUCEN UNA CARRETERA

Cuando se trate de pasos inferiores vehiculares (PIV), de ferrocarril (PIF), así como pasos superiores vehiculares (PSV), el gálibo vertical o espacio libre vertical debe ser como mínimo, de 5.5 m. Si se prevé que no se colocarán sobre carpetas en la carretera inferior, como es el caso de las pavimentadas con concreto hidráulico o de los caminos rurales, el gálibo vertical puede reducirse hasta 5.0 m. Esto se muestra en la figura 2.15

### 2.2.2.2 PARA ESTRUCTURAS QUE CRUCEN UNA VÍA FÉRREA

Cuando se trate de pasos superiores de ferrocarril (PSF), el gálibo vertical o espacio libre vertical (figura 2.16) sobre el riel más alto, debe ser como mínimo de 7.5 m.



## 2.2.2.3 PARA PUENTES

Tratándose de puentes, el gálibo vertical o espacio libre vertical, debe ser como mínimo, el que establezca el estudio hidráulico-hidrológico correspondiente. Si el puente cruza una vía navegable federal, dicho gálibo deberá ser sometido a la aprobación de la Secretaría de Marina.

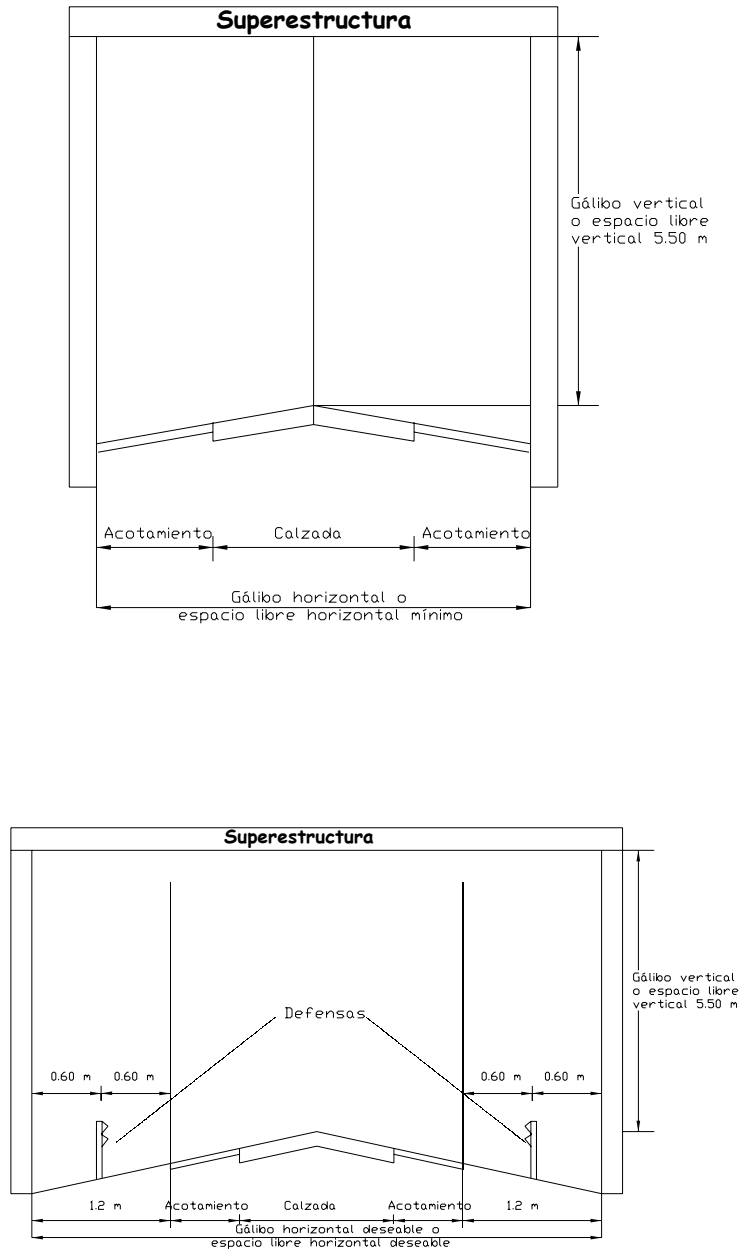


Figura 2.15 Gálibos en estructuras que cruzan una carretera

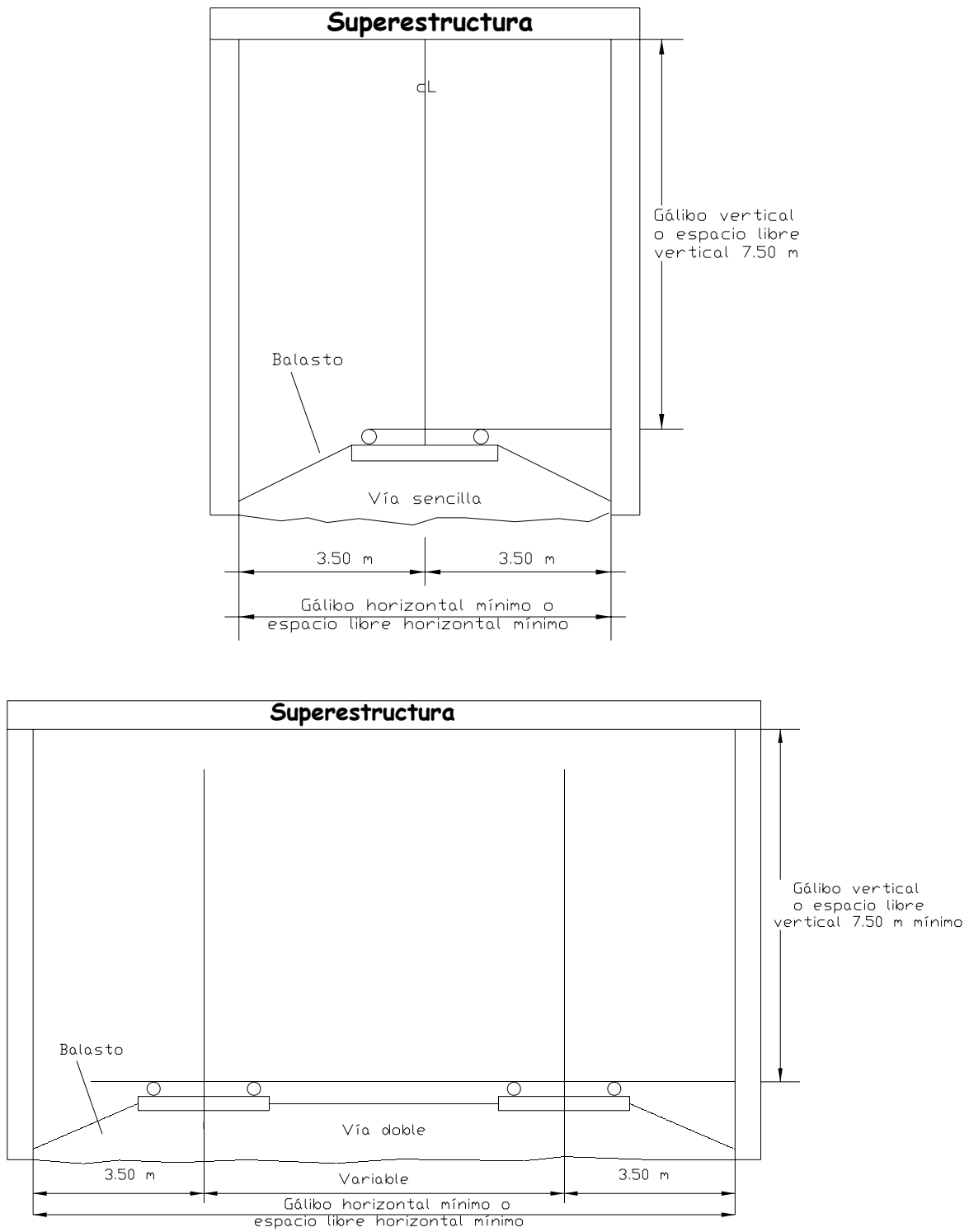


Figura 2.16 Gálibos en estructuras que cruzan una vía férrea

## 2.3 CARGAS VEHICULARES

Según la Dirección General de Conservación de Carreteras (DGCC), dentro de la Red Federal de Carreteras, se cuenta con más 6,500 puentes, los cuales tienen más de 6 m. de longitud y que en total conforman aproximadamente 200 km.

De los puentes analizados en los anteriores registros y gráficas, algunos de los que fueron construidos entre el período de 1930-1960, fueron construidos con una carga de diseño correspondiente a la de un camión HS15 (figura 2.17) de 24.5 t con una descarga máxima por eje de 10.9 t.

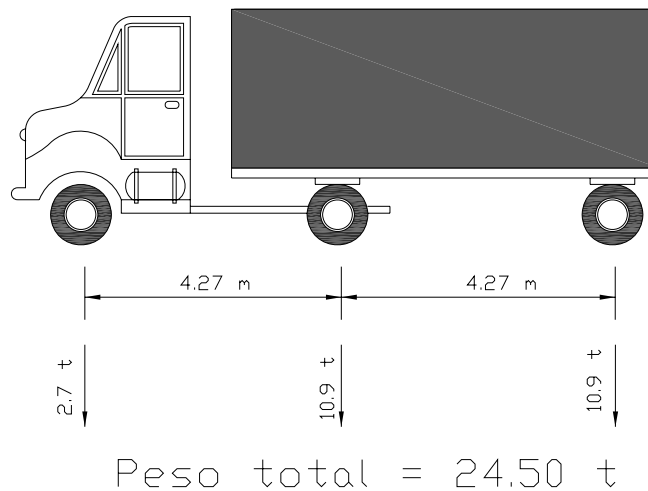


Figura 2.17 Camión tipo HS-15

A partir de 1970, se adoptó en el diseño de los puentes, un incremento en el peso de los vehículos de tipo HS-20 (figura 2.18), y el cual llegó a una carga total de 32.8 t con una descarga máxima por eje de 14.6 t.

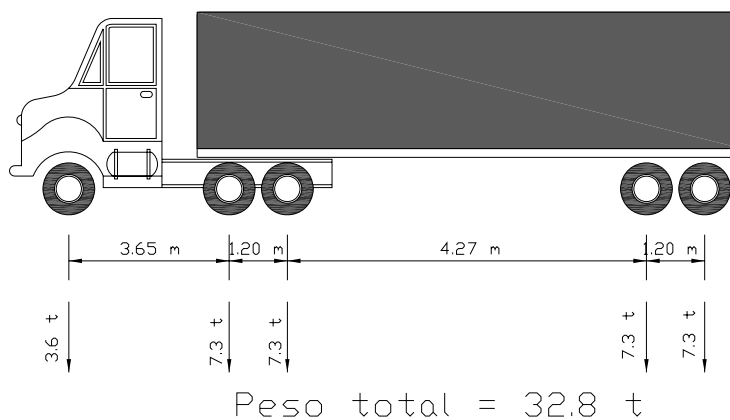


Figura 2.18 Camión tipo HS-20

En los años 80's, se adoptaron cargas aun mayores, como la T3-S3 (figura 2.19), que tiene un peso total de 46 t con una descarga máxima por eje de 9.75 t.

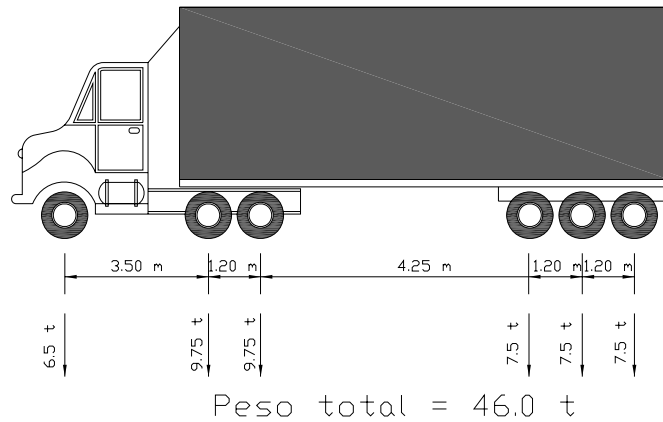


Figura 2.19 Camión tipo T3-S3

En la actualidad, en las carreteras de nuestro país transitan camiones aun mayores que los mencionados en los párrafos anteriores, y los cuales están compuestos por un tractor, semi remolque y remolque, los cuales son conocidos como T3-S2-R4 (figura 2.20).

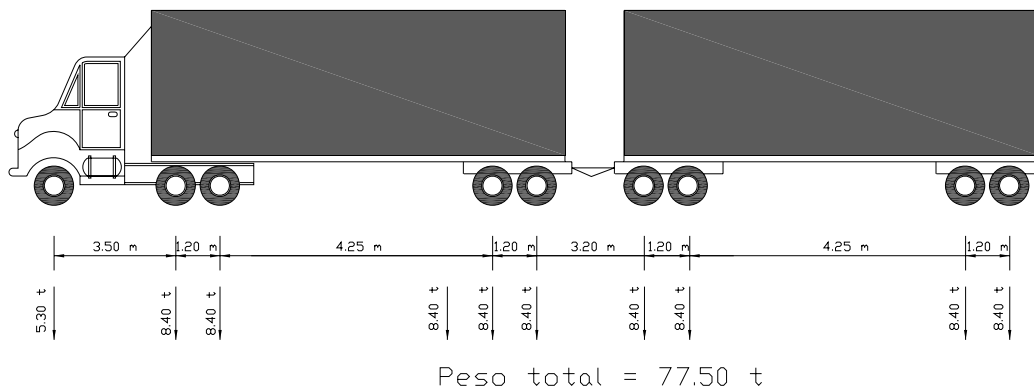


Figura 2.20 Camión tipo T3-S2-R4

La carga máxima vehicular para la cual fueron diseñados la mayoría de los puentes registrados corresponde a la de un HS-20. Dicha carga en la actualidad ya ha sido rebasada debido a que sobre algunos de estos puentes transitan vehículos más pesados que los considerados para su diseño.

### *Capítulo 3*

## PRUEBAS DE VIBRACIÓN EN PIV KM 157 Y 189, MÉXICO-MARAVATÍO

---

## Capítulo 3 PRUEBAS DE VIBRACIÓN EN PIV KM 157 Y 187, MÉXICO-MARAVATÍO

Se realizó una visita de campo para la obtención de las mediciones de dos puentes ubicados sobre la autopista Morelia-México, en el tramo México-Maravatío, y que son de tipo PIV, es decir, puentes que permiten el paso por arriba de la autopista sin la necesidad de obstaculizar su libre tránsito.

Esto con la finalidad de obtener sus características físicas, ya que no se contaba con ninguna información de estos puentes y que además contribuyera a la recopilación de datos geométricos de puentes tipo en el Estado de Michoacán.

### 3.1 DESCRIPCIÓN DE LOS PUENTES PIV

A continuación se presentan algunos de los resultados obtenidos en dos puentes PIV, y que son nombrados de acuerdo al kilómetro que se encontraban sobre la autopista.

#### 3.1.1 PUENTE KILÓMETRO 157+496

En la figura 3.1 se observa una vista en general del puente PIV ubicado en el kilómetro 157+496 de la autopista: Morelia-México, el cual tiene una longitud total de 53.4 m, y está formado por dos claros de 26.7 m respectivamente como se observa en la figura 3.1. Cada claro se encuentra formado por cinco vigas de sección "I". Cada viga se encuentra apoyada sobre placas de neopreno con un espesor de 5 cm como se observa en la figura 3.3. Además cuenta con un ancho de calzada de 10 m.



Figura 3.1 Perfil del puente

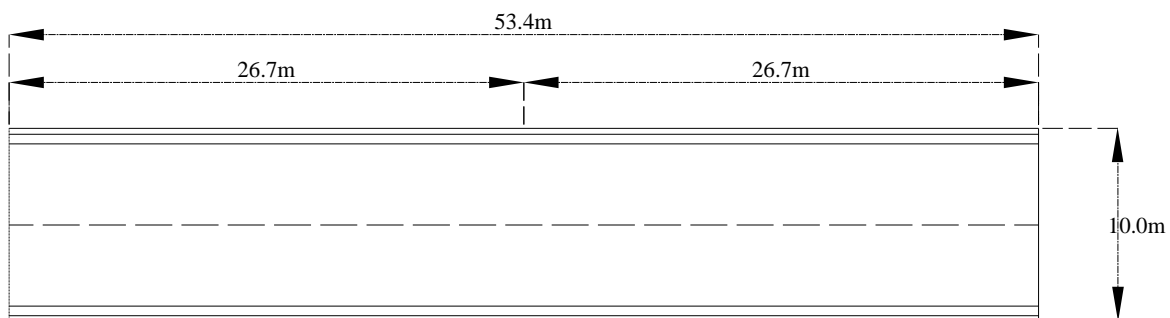


Figura 3.2 Vista en planta del puente

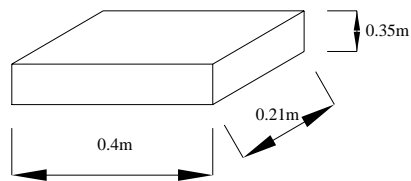


Figura 3.3 Placa de Neopreno

### 3.1.1.1 APOYOS EXTREMOS

En la figura 3.4 se observa que el puente se encuentra apoyado en sus extremos por medio de caballetes de concreto reforzado, el cual se encuentra estabilizado por un terraplén.



Figura 3.4 Apoyos extremos del puente

### 3.1.1.2 APOYOS INTERMEDIOS

En la figura 3.5 se observa que el puente, en su parte intermedia, se encuentra apoyado sobre tres columnas circulares de concreto reforzado. Sobre las columnas se encuentra un cabezal y en el cual descansan las vigas de tipo "T".



Figura 3.5 Apoyos intermedios del puente.

En la figura 3.6 se puede observar las dimensiones del caballete que tiene columnas con una altura de 4.65 m, y un diámetro aproximado de 1.20 m.

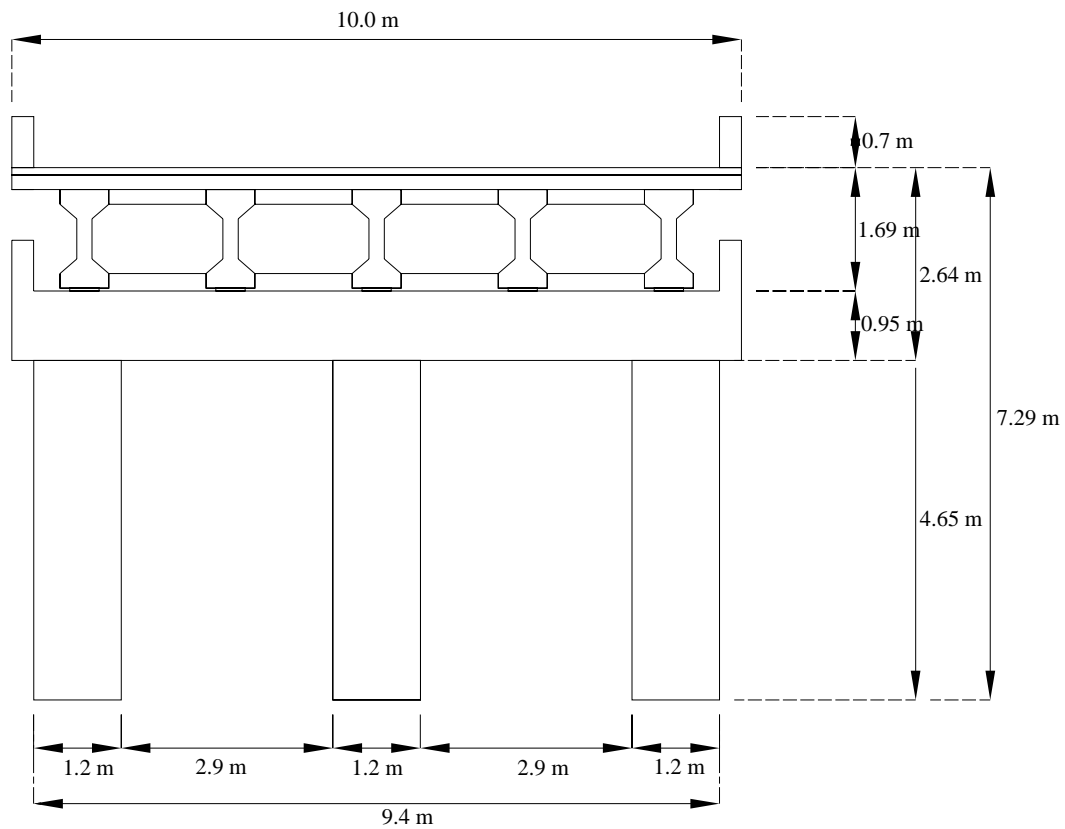


Figura 3.6 Parte central del puente PIV kilómetro 157+496 de la autopista: México-Maravatío

Las cinco vigas “T” con las que cuenta el puente PIV del kilómetro 157+496 de la autopista: Morelia-México y se muestran en la figura 3.7, y tienen las dimensiones que se muestran en la figura 3.8.



Figura 3.7 Vigas “T” apoyadas sobre cabalzal



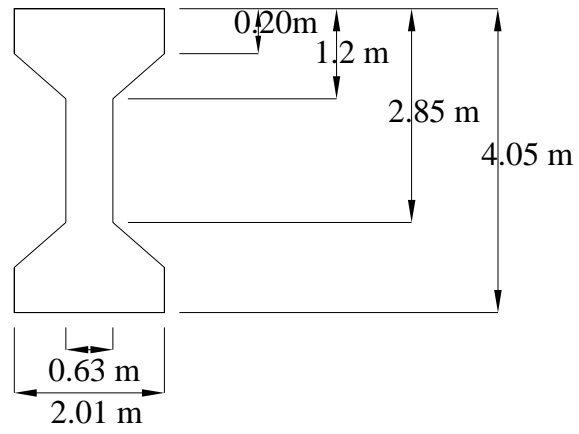


Figura 3.8 Viga tipo "T"

### 3.1.2 PUENTE KILÓMETRO 187+310

El puente PIV ubicado en el kilómetro 187+310 de la autopista: Morelia-México (Figura 3.9) tiene las dimensiones geométricas que se presentan en la figura 3.10. Como se observa en esta figura el puente tiene un ancho de calzada de 7.70 m, con una longitud de cada claro de 24.85 m. Cada claro se encuentra conformado por cinco vigas de sección “I”, y cada viga se encuentra apoyada sobre placas de neopreno con un espesor de 5 cm, las cuales se muestran en la figura 3.11.



Figura 3.9 Perfil del puente

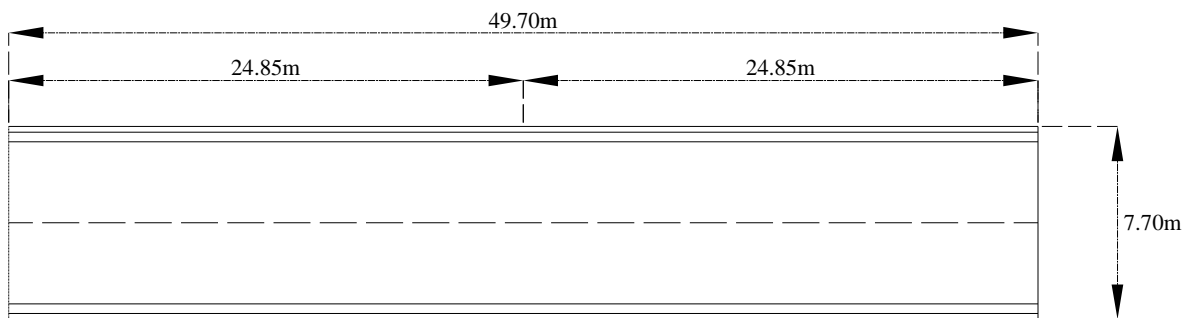


Figura 3.10 Vista en planta del puente

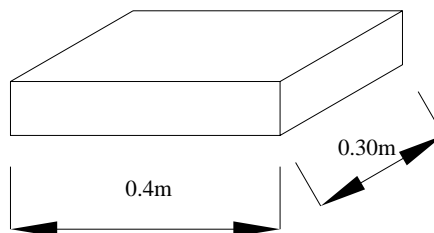


Figura 3.11 Placa de Neopreno

### 3.1.2.1 APOYOS EXTREMOS

Los apoyos extremos del puente están formados por caballetes de concreto reforzado (Figura 3.12)



Figura 3.12 Apoyos extremos del puente

### 3.1.2.2 APOYOS INTERMEDIOS

El apoyo intermedio del puente esta formado por dos columna circulares de concreto reforzado (Figura 3.13). Sobre las columnas se encuentra un cabezal y en el cual descansan vigas de tipo "I".



Figura 3.13 Apoyos intermedios con los que cuenta el puente.

En la figura 3.14 se muestran las dimensiones geométricas del apoyo intermedio, las columnas tienen una altura de 6.21 m y un diámetro aproximado de 1.20 m. La altura total desde la base de las pilas hasta la rasante del PIV es de 8.92 m, y la altura de cabezal de concreto es de aproximadamente 1.00 m (Figura 3.15).

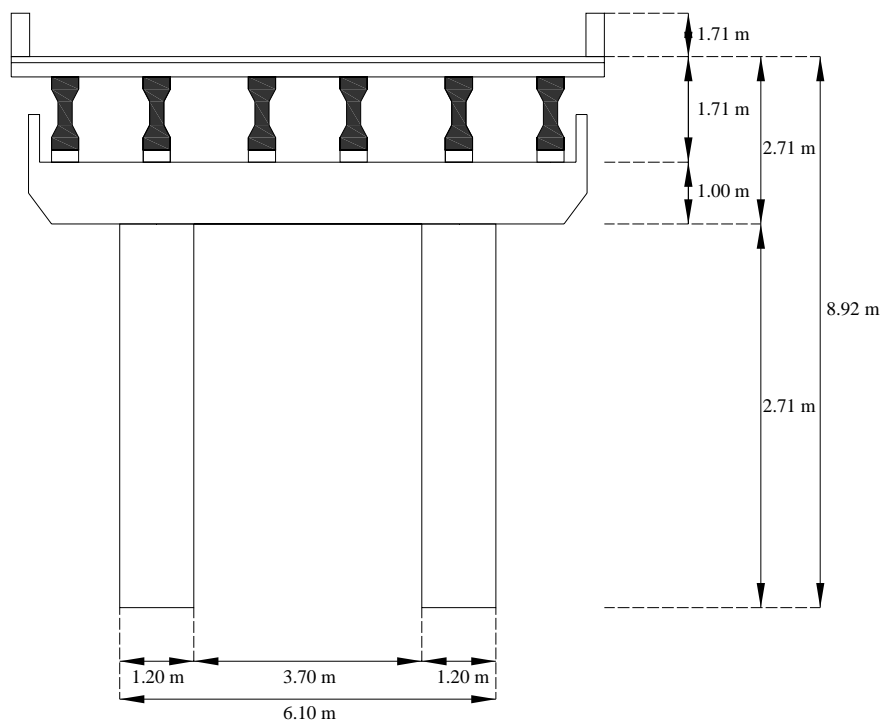


Figura 3.14 Parte central del puente PIV



Figura 3.15 Cabezal en la parte central del puente.

Las seis vigas "I" con las que cuenta el puente PIV, tienen las dimensiones que se muestran en la figura 3.16.

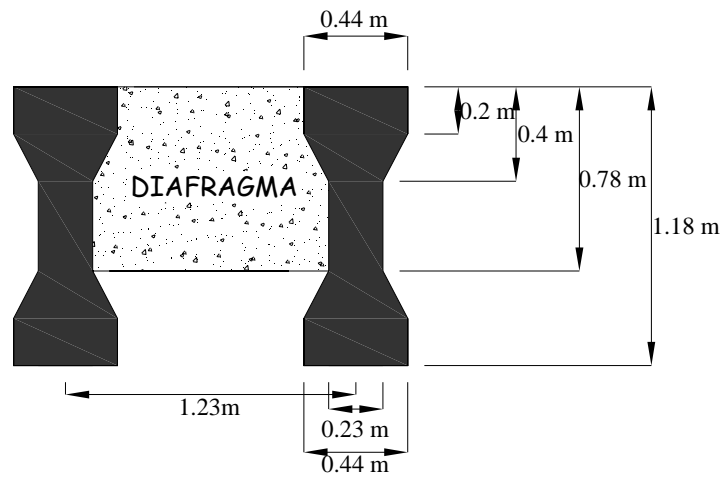


Figura 3.16 Vigas "I" del puente PIV

### 3.2 PRUEBA DE VIBRACIÓN AMBIENTAL

En general, cualquier estructura, incluyendo los puentes, se encuentran expuestos a diversos factores que en un momento dado pueden llegar a deteriorar o dañar la estructura y modificar así el comportamiento al que fueron diseñados. Estos factores pueden ser climáticos, vehiculares y geológicos, entre otros.

Es por ello necesario el estudio de los puentes en su estado actual, y para esto se proponen modelos matemáticos que nos puedan dar una idea más clara del comportamiento real que tienen en la actualidad los puentes, mediante la determinación de sus propiedades dinámicas. Esto se realiza por medio de pruebas que miden la respuesta dinámica del puente, y que pueden ser de dos tipos diferentes: de vibración forzada y de vibración libre.

Las pruebas de vibración forzada, son aquellas en las cuales el puente es excitado artificialmente, es decir, obligado a vibrar de manera constante y que pueda modificarse esa excitación para obtener resultados dentro de los parámetros deseados.

Las pruebas de vibración libre, consisten en medir las vibraciones en el puente debido a factores de carácter ambiental, como lo son el tránsito de vehículos y el viento, los cuales excitan de manera instantánea a la estructura del puente. Es por ello que se considera a este método como simple y rápido en la obtención de datos. Es esta última prueba, en la que se participó durante su desarrollo, principalmente en la ayuda de la instrumentación de los puentes PIV, el análisis de las señales se registran en ( Echeverría T.B., 2006).

#### EQUIPO UTILIZADO EN LAS MEDICIONES

El equipo que se utilizó en las mediciones de vibración ambiental, consta de sensores uniaxiales de aceleración, sensores triaxiales, y una consola Kinematics Altus K2 (Figura 3.17).



Figura 3.17 Consola Kinematics Altus K2

Las señales que los sensores detectaron, se transmitieron a través de cables blindados y por medio de un programa o software se obtuvo el análisis de las señales (Echeverría, 2006)

Los sensores se colocan sobre una placa de aluminio de 2.54 cm x 35 cm x 35 cm, para dar soporte adecuado y uniforme con respecto a la superficie de la losa del puente PIV, además permiten poder nivelarlos correctamente.



Figura 3.18 Sensores uniaxiales

La figura 3.18 muestra tres de los sensores uniaxiales ubicados sobre la calzada y montados en la placa de aluminio.

En las figuras 3.19 a 3.21 se muestra, la consola Kinematics Altus K2, los sensores uniaxiales y el sensor triaxial, respectivamente; y los cuales fueron utilizados durante las pruebas de vibración ambiental.



Figura 3.19 Consola Kinematics Altus K2



Figura 3.20 Sensores uniaxiales



Figura 3.21 Sensores triaxiales



### 3.2.1 DISTRIBUCIÓN DE LOS SENSORES DURANTE LA INSTRUMENTACIÓN

Para la recolección de datos de vibración ambiental y que se menciona en (Echeverría, ,2006), se necesitó colocar una serie de sensores y aparatos a lo largo de los puentes en estudio.

Los sensores se distribuyeron sobre la calzada y el terreno natural, es decir tres sobre el puente y uno sobre el terreno debajo del puente, y el cual era utilizado como referencia para los demás.



Figura 3.22 Sensores sobre la calzada

La figura 3.22 muestra la distribución de los sensores a lo largo de la calzada del puente PIV Morelia-México kilómetro 187+310.

Los sensores se colocaron en función de los modelos que se obtuvieron con el programa SAP 2000, seleccionando aquellas partes del puente en donde se pudiera detectar alguna forma modal. Los sensores que se ubicaron en la calzada, se colocaron a la misma distancia unos de otros.

Previo a la obtención de los registros, los sensores fueron calibrados; así también se niveló la placa sobre la cual se encontraban estos.

Los sensores se encuentran distribuidos de manera de poder estudiar el movimiento espacial de la estructura del puente, los desplazamientos, distorsiones de piso, torsión, rotación entre otros aspectos.

En las figuras 3.23, 3.24 y 3.25 se observa la distribución que tuvieron los sensores sobre el puente.

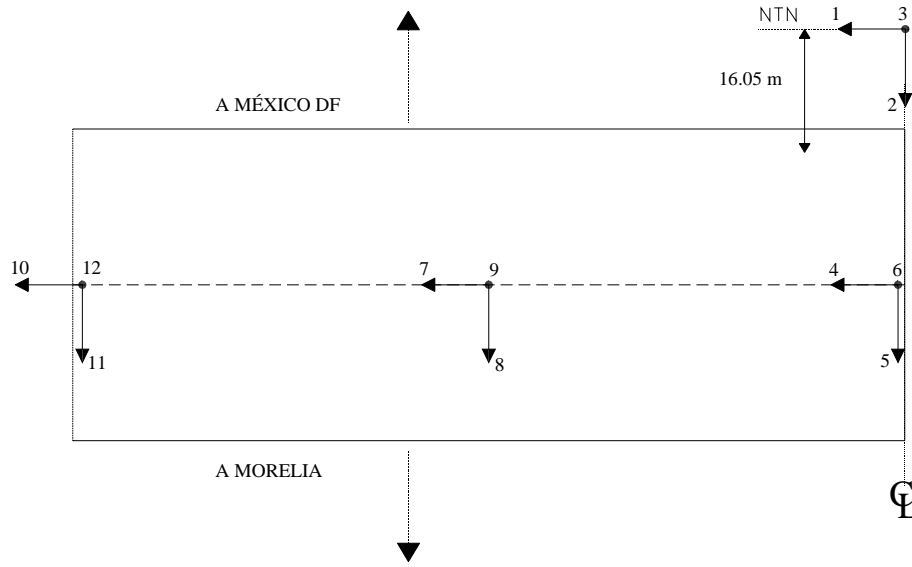


Figura 3.23 Distribución de sensores puente Maravatío kilómetro 157+496

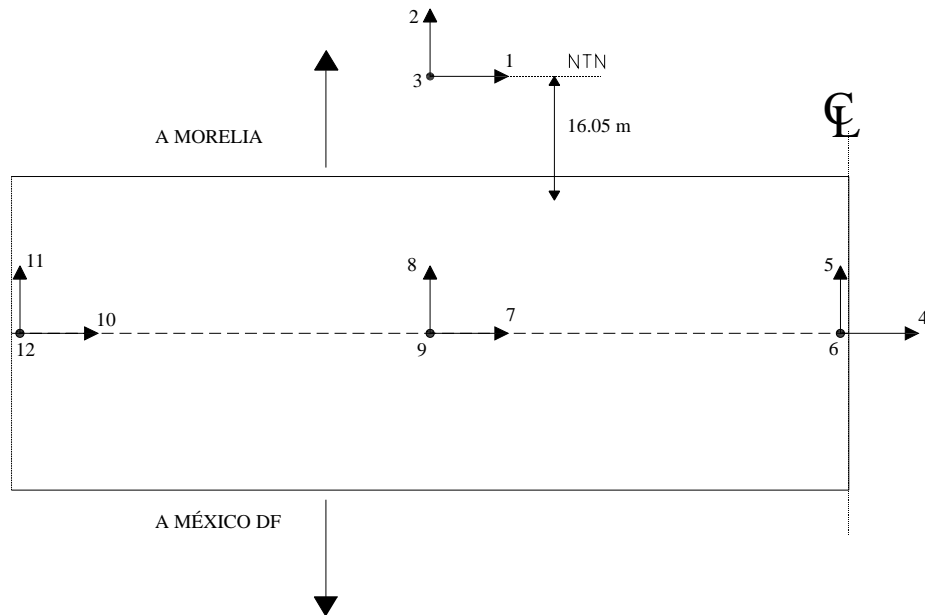


Figura 3.24 Distribución de los sensores para la primera alternativa en el puente Maravatío kilómetro 187+310

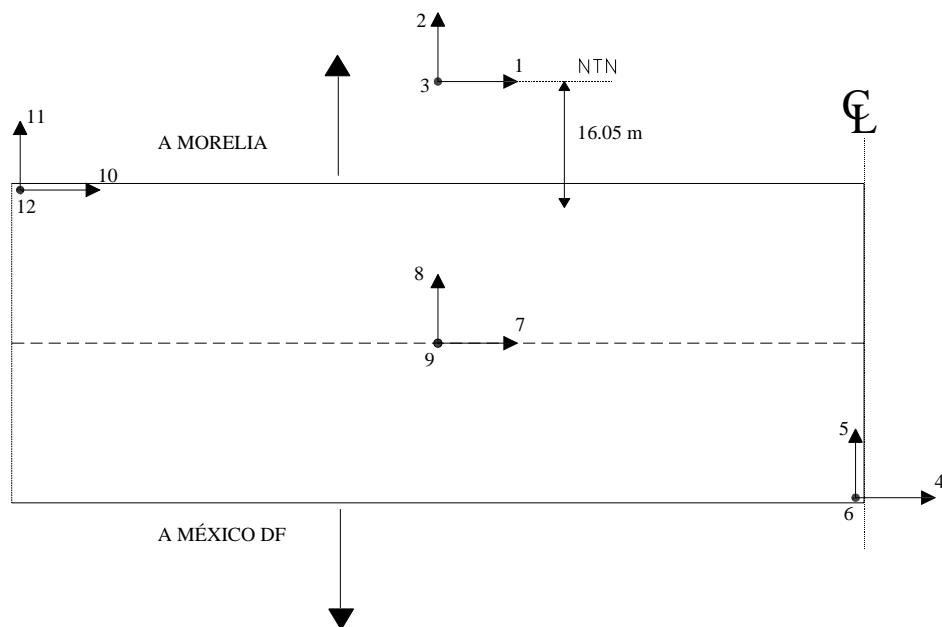


Figura 3.25 Distribución de los sensores en la segunda alternativa en el puente Maravatío kilómetro 187+310

Como se observa en las figuras 3.24 a 3.25, los sensores se colocaron en la parte central del puente, en sus extremos y también en la mitad de sus claros.

Las flechas en la figura indican la dirección del movimiento, es decir, si este ocurre en sentido longitudinal como es el caso de las flechas con los números 1, 4, 7 y 10, en sentido transversal 2,5,8 y 11, o en sentido vertical 3,6,9 y 12.

### 3.3 MODELOS ANALÍTICOS Y PROPIEDADES DINÁMICAS

Con las características físicas del puente obtenidas anteriormente en el tema 2.1 y con base a modelos realizados (Echeverría, 2006), realizados con el programa SAP 2000 (v.9.0), se obtuvieron los 30 modos de vibrar más importantes de los dos puentes antes mencionados, así como sus períodos y graficas modo-período, en la que el período.

Se llama modo de vibrar a la escala por medio de la cual se distribuye la amplitud de la vibración a todo el puente, es decir, la forma en que se comporta el puente en cada uno de los modos.

#### 3.3.1 PUENTE KILÓMETRO 157+496

En la figura 3.26 obtenidas con el programa SAP 2000 (ver. 9.0.3) se observan los modos más representativos del puente, así como sus respectivas gráficas modo-período.

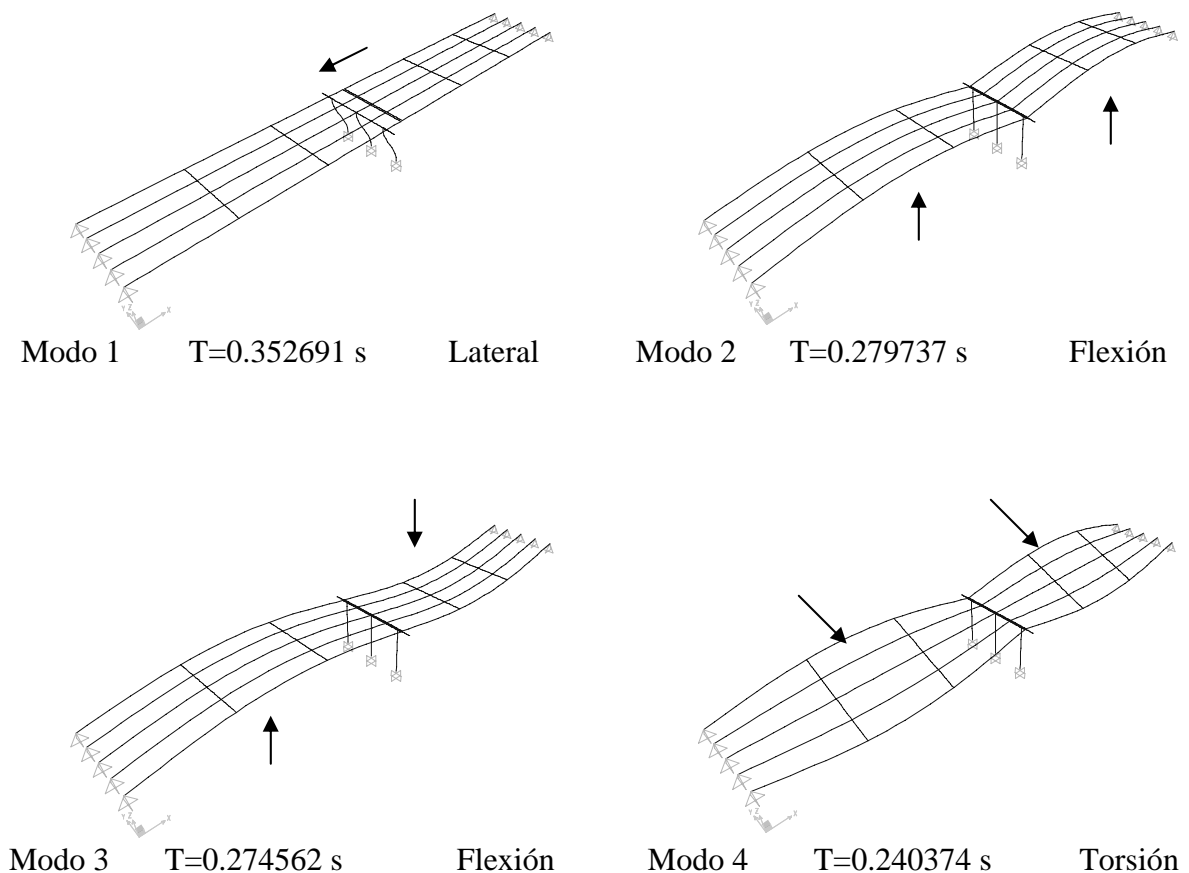


Figura 3.26 Modos de vibrar

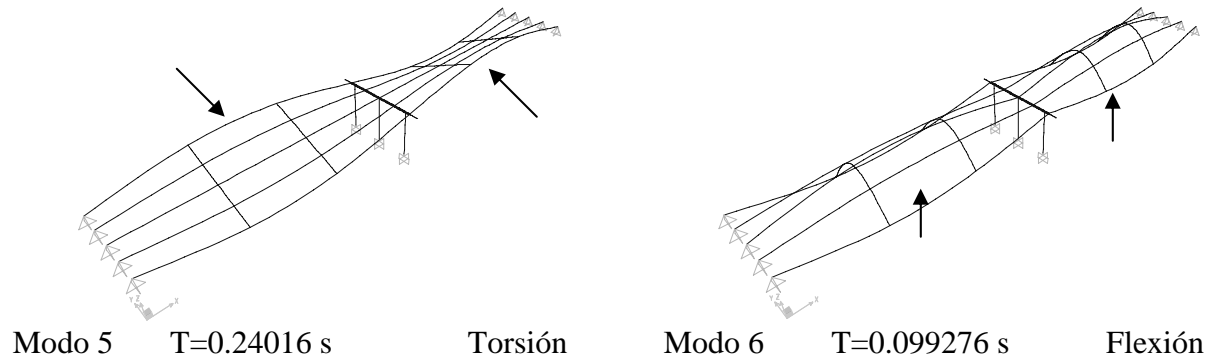


Figura 3.26 Continuación

En la figura 3.26 se observan los primeros seis modos de vibrar del modelo del puente y en el los cuales se observa el comportamiento y tipo de movimiento del mismo indicado por las flechas.

Tabla 3.1 Movimiento Lateral

MODO	T(s)
1	0.352691
23	0.004208
24	0.004142
28	0.002446
30	0.002053

En la tabla 3.1 se enlistan los períodos que corresponden al movimiento de tipo lateral, para cada modo de vibrar, y los cuales ocurren en su mayoría entre los últimos diez modos.

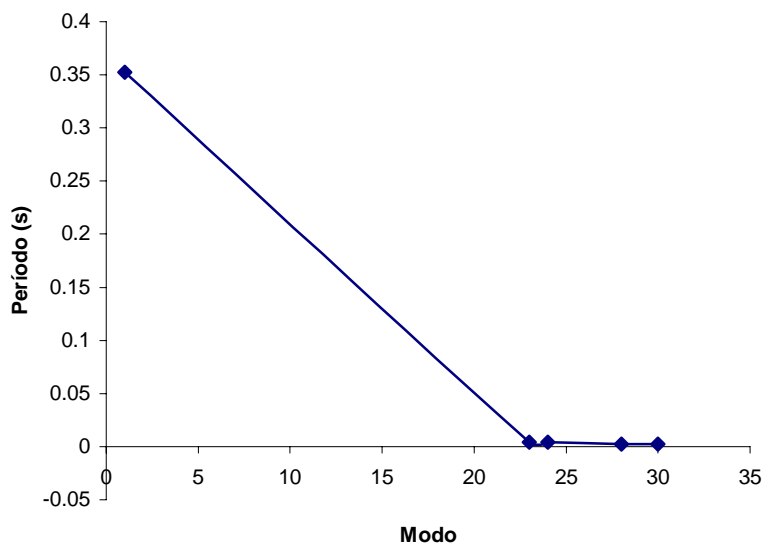


Figura 3.27 Modo-Período

En la figura 3.27 se observa la gráfica Modo-Período correspondiente al movimiento lateral, y en la cual se aprecia que en el modo 1 se efectúa el mayor período del puente, y a partir del modo 23 el comportamiento de la gráfica tiende a ser una línea recta asintota al eje de los modos.

Tabla 3.2 Movimiento en Flexión

MODO	T(s)
2	0.279737
3	0.274562
6	0.099276
7	0.099276
8	0.078346
9	0.073685
12	0.057595
13	0.055009
14	0.055005
15	0.042846
16	0.042844
17	0.035218
18	0.035218
19	0.026025
20	0.026025
21	0.024275
22	0.024275

En la tabla 3.2 se observa que en la mayoría de los modos existe flexión en el tablero del puente.

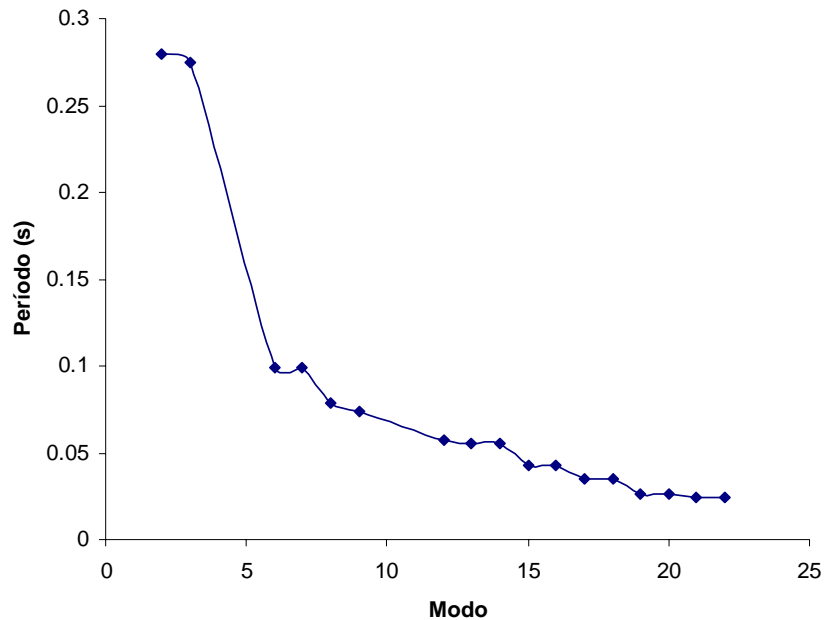


Figura 3.28 Modo-Período

En la figura 3.28 se observa la gráfica Modo-Período correspondiente al movimiento en flexión, y en la cual se observa una marcada diferencia en la magnitud de los dos primeros períodos con respecto a los demás. A partir del modo 6, la gráfica tiende a tener un comportamiento parecido al de una línea recta.

Tabla 3.3 Movimiento en Torsión

MODO	T
4	0.240374
5	0.24016
10	0.070003
11	0.069999

En la tabla 3.3 se enlistan los modos en los cuales existe un movimiento torsional, es decir, en donde el tablero del puente se mueve en dirección contraria en cada uno de sus claros.

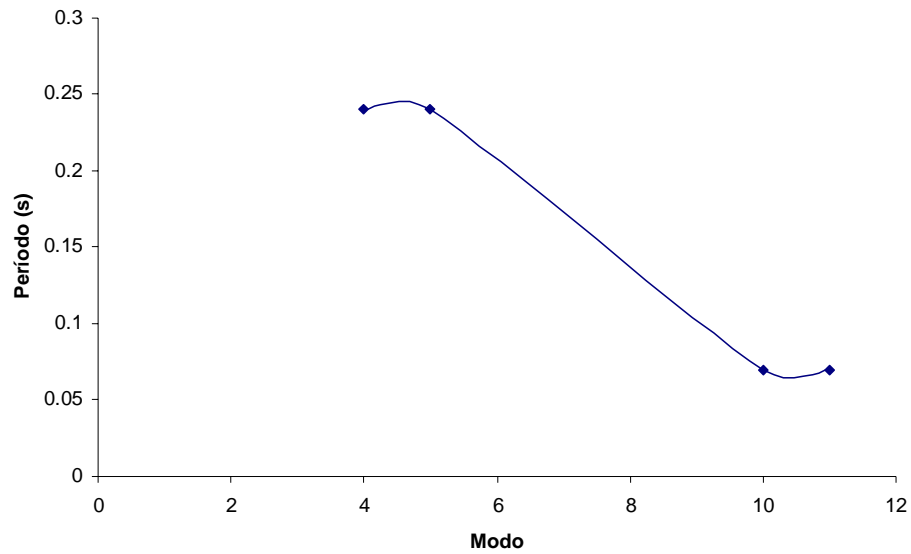


Figura 3.29 Modo-Período

La figura 2.9 representa la gráfica Modo-Período que corresponde al movimiento torsional y la cual tiene un comportamiento casi lineal.



### 3.3.2 PUENTE KILÓMETRO 187+310

En la figura 3.30 se observan los primeros seis modos de vibrar del modelo del puente PIV y en los cuales que se muestra el comportamiento y tipo de movimiento del mismo obtenido mediante el programa SAP 2000 (v.9.0).

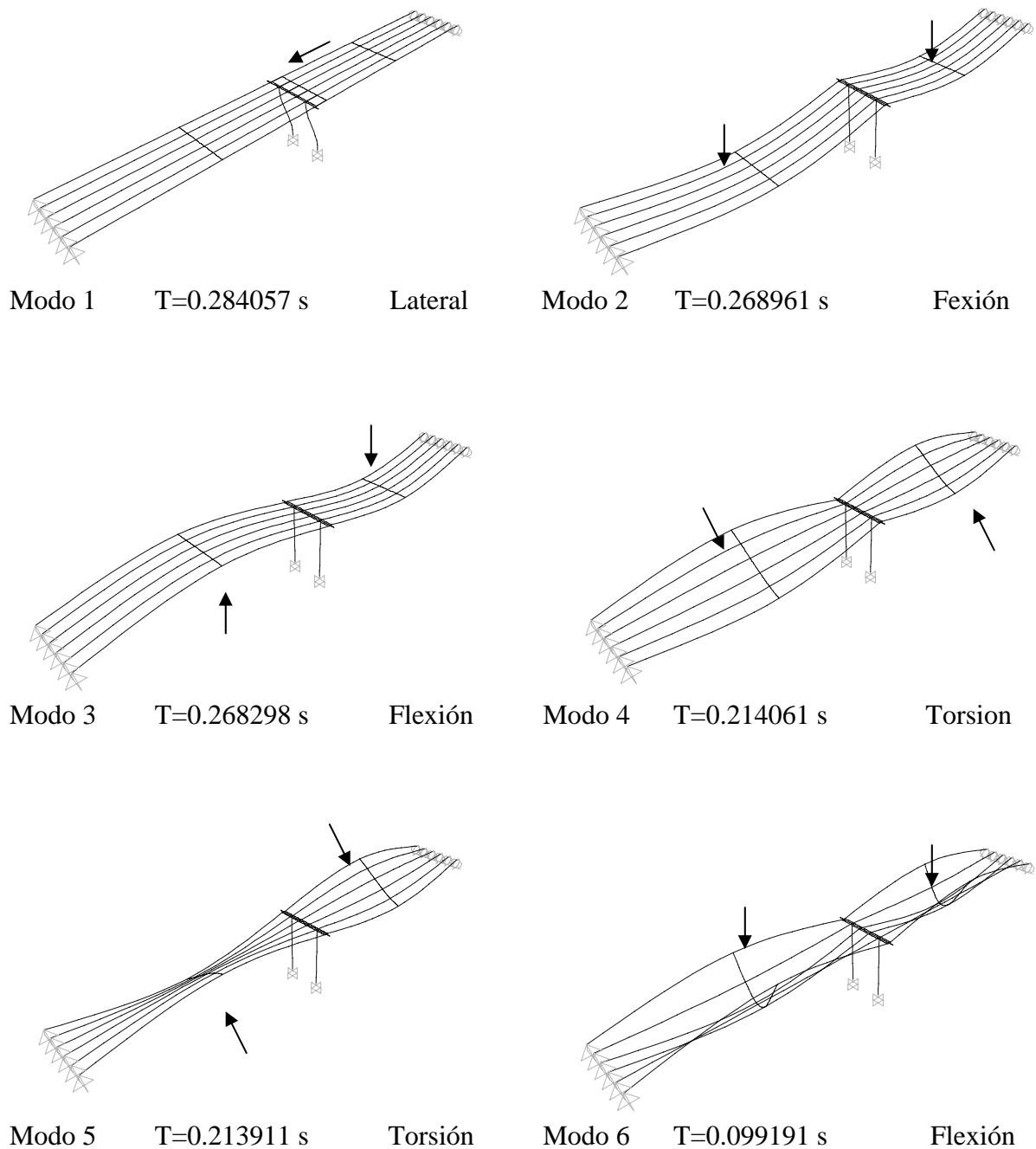


Figura 3.30 Modos de vibrar

En la tabla 3.4 se enlistan los modos que corresponden al movimiento de tipo lateral, así también se observan sus respectivos períodos, y los cuales representan la mayoría de los modos del puente.

Tabla 3.4 Movimiento Lateral

MODO	T
1	0.284057
11	0.031219
12	0.03065
13	0.02999
14	0.02949
17	0.022454
20	0.013129
21	0.013092
22	0.013034
23	0.012993
24	0.012903
27	0.001544
28	0.001527
30	0.001524

En la figura 3.31 se observa la gráfica Modo-Período correspondiente al movimiento lateral, y en la cual se aprecia que en el modo 1 se efectúa el mayor período del puente, y a partir del modo 11 el comportamiento de la gráfica tiende a ser una línea recta asintótica al eje de los modos.

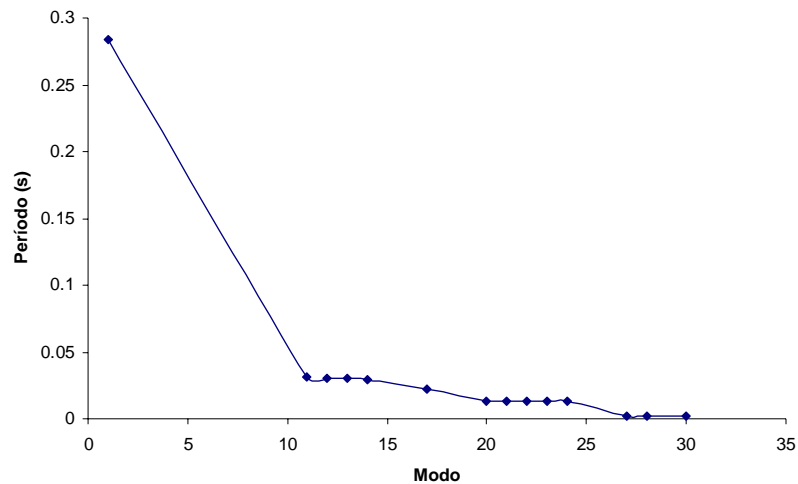


Figura 3.31 Movimiento Lateral

En la tabla 3.5 se observa que en la mayoría de los modos existe flexión en el tablero del puente.

Tabla 3.5 Movimiento en Flexión

MODO	T
2	0.268961
3	0.268298
6	0.099191
7	0.099184
8	0.047971
9	0.047961
10	0.031431
15	0.02908
16	0.029079
18	0.02168
19	0.021679
25	0.001649
26	0.001571
29	0.001526

En la figura 3.32 se observa la gráfica Modo-Período correspondiente al movimiento en flexión, y al igual que en el modelo del puente anterior se observa una marcada diferencia en la magnitud de los dos primeros períodos con respecto a los demás. A partir del modo 10, la gráfica tiene un comportamiento más lineal.

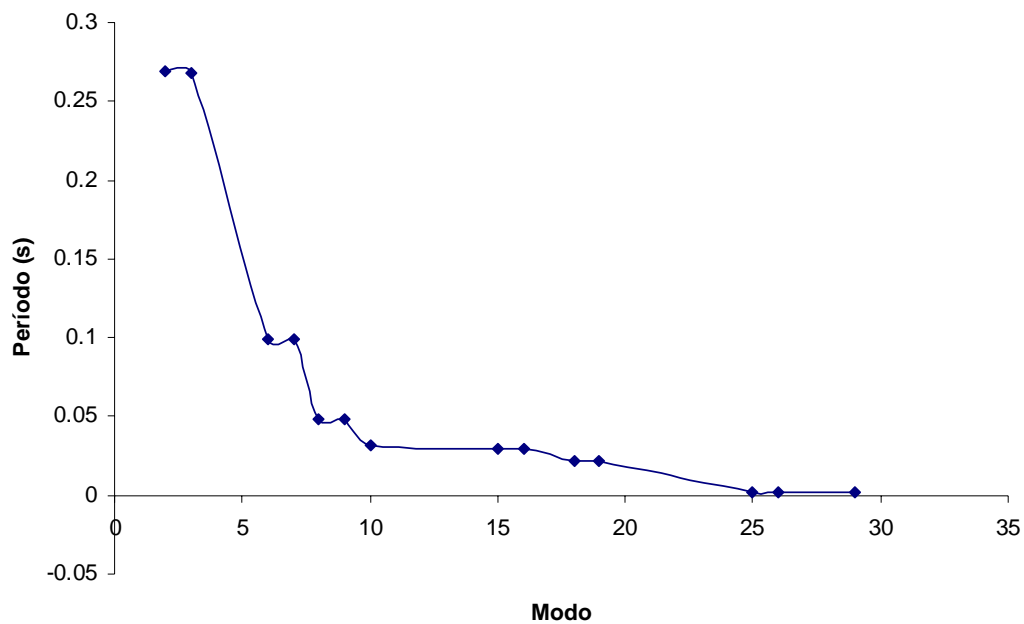


Figura 3.32 Modo-Período

En la tabla 3.6 se enlistan los modos en los cuales existe un movimiento torsional, es decir, en donde el tablero del puente se mueve en dirección contraria en cada uno de sus claros.

Tabla 3.6 Movimiento en Torsión

MODO	T
4	0.214061
5	0.213911

La figura 3.33 representa la gráfica Modo-Período que corresponde al movimiento torsional y la cual tiene un comportamiento lineal.

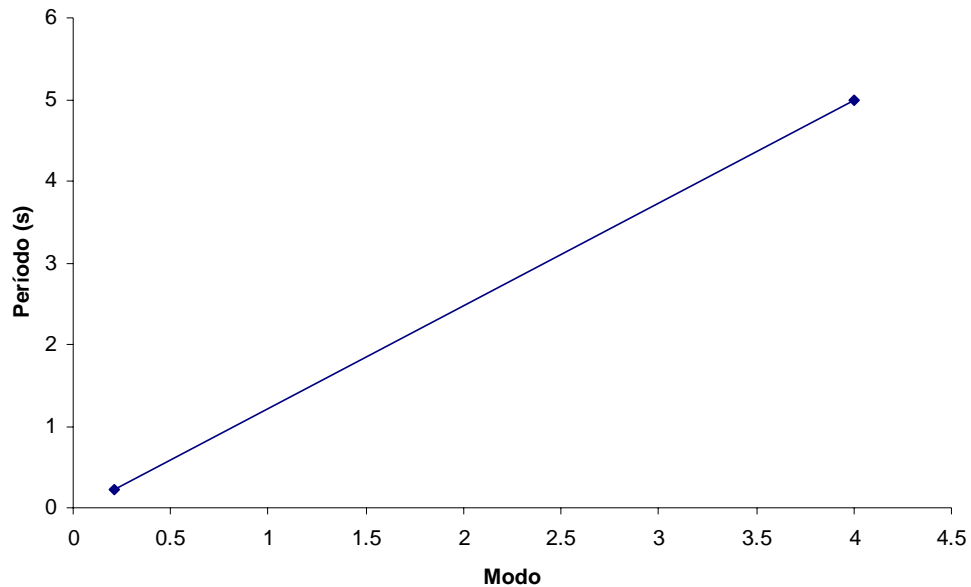


Figura 3.33 Modo-Período en Torsión

## *Capítulo 4*

### CONCLUSIONES GENERALES

---

## Capítulo 4 CONCLUSIONES GENERALES

Los puentes carreteros juegan un papel muy importante en el desarrollo de nuestro país, pues forman parte de la infraestructura carretera que sirve como vía de comunicación entre diversos puntos del país y el extranjero, siendo así, fundamentales en las redes viales pues estos son puntos medulares de las mismas.

Por ello es necesario ampliar el conocimiento que se tiene de los puentes en su estado actual, es decir, analizar su comportamiento una vez que estos se encuentran ya construidos.

Con el estudio de la geometría de los puentes de nuestro país, se pretende conocer más a detalle las características con los que estos cuentan, y así, tener una visión más amplia en posteriores evaluaciones en cuanto al comportamiento de estos.

Es por este motivo que se necesita identificar las partes que los forman, para así poder realizar constantes revisiones a los puentes para evitar un futuro deterioro o fallas en ellos, ya que estos son expuestos a factores que los puedan dañar, ya sea internos o externos, entre los que se encuentran los vehiculares, geológicos, fallas en su diseño, etc., modificando su comportamiento en relación a lo contemplado en su diseño.

La cantidad de puentes que fueron clasificados en esta tesis es una muestra representativa de los puentes que se encuentran ubicados en diversas carreteras de nuestro país y que de acuerdo a sus características geométricas se considera suficiente para la realización de posteriores análisis de comportamiento en puentes de tipo carreteros, quedando la posibilidad de aumentar aún más la muestra que aquí se presenta, y que abarque una mayor parte del territorio nacional.

Las pruebas físicas de vibración ambiental juegan un papel muy importante en determinar las propiedades de las estructuras de los puentes, realizándolo mediante la comparación

entre estas pruebas y el uso de modelos analíticos, como los modelos preexistentes utilizados en el capítulo 3 del presente trabajo.

La instrumentación de los puentes para la realización de las pruebas de vibración ambiental son de gran importancia debido al grado de sensibilidad con que cuenta los aparatos empleados, y es por ello que se deben elegir adecuadamente los puntos adecuados para lograr los resultados que se buscan.

En este trabajo se emplearon 30 modos de vibrar para cada modelo de puente analizado, pero se consideró que los primeros seis son los más representativos debido a lo difícil de interpretarlos.

La interpretación de los modos de vibrar de cada uno de los puentes PIV es muy complicada debido a los períodos tan pequeños con los que cuentan estos, ya que los puentes que fueron analizados son muy rígidos.

Las gráficas realizadas por medio de las tablas modo-período tienden a tener un comportamiento lineal debido a que los períodos varían muy poco entre unos y otros debido a como ya se comentó, a la rigidez de los puentes.

Debido a lo anterior, resulta ser muy difícil la identificación del tipo de movimiento que se presenta en cada uno de los modos, y lo cual esta sujeto a la manera en que el observador lo interpreta.

---

## REFERENCIAS

Echeverría T. B., “Obtención de las propiedades Dinámicas de cuatro puentes tipo PIV”, 2006.

Normas SCT, “Proyecto de puentes y estructuras”, Capítulo I y II, 2001.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), “Sistema de Puentes de México (SIPUMEX)”, 1995.

Paz M. “Dinámica Estructural”, 1992.

Jara M. “Clasificación de puentes tipo PIV”

---



---

# LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

## Figuras

### Capítulo 1

Figura 1.1 Elementos de un puente.....	2
Figura 1.2 Reportes de inspección de SIPUMEX.....	4
Figura 1.3 Ejemplo de formato de puentes.....	5
Figura 1.4 Características de un puente.....	10
Figura 1.5 Año de Construcción de los puentes analizados.....	11
Figura 1.6 Tipo de estribo de los puentes analizados.....	12
Figura 1.7 Material de los estribos de los puentes analizados .....	13
Figura 1.8 Tipo de pilas de los puentes analizados.....	14
Figura 1.9 Material de pila de los puentes analizados.....	15
Figura 1.10 Relación de claros en los puentes analizados.....	16
Figura 1.11 Relación (Claro Mayor/Claro Menor) de los puentes analizados.....	17
Figura 1.12 Relación h/H.....	18
Figura 1.13 Relación de esbeltez de las pilas de los puentes analizados.....	19
Figura 1.14 Longitud de asiento en los puentes analizados.....	20
Figura 1.15 Porcentaje de relación (longitud asiento real/longitud asiento AASHTO).....	21
Figura 1.16 Ángulo de esviaje de los puentes analizados.....	22
Figura 1.17 Longitud total de los puentes analizados.....	23
Figura 1.18 Longitud total en los puentes analizados.....	24
Figura 1.19 Superestructura de los puentes analizados.....	25
Figura 1.20 Claro Mayor de los puentes analizados.....	26

---

---

Figura 1.21 Regionalización sísmica de la República Mexicana.....	27
Figura 1.22 Zona sísmica de los puentes analizados.....	28
Figura 1.23 Tipo de apoyo de los puentes analizados.....	29
Figura 1.24 Relación Hmayor/Hmenor.....	30
Figura 1.25 Relación Mayor/Menor de las pilas de los puentes analizados.....	30
Capítulo 2	
2.1 Puente PIV.....	31
2.2 Caballete de cimentación superficial de un puente.....	31
2.3 Caballete con cimentación profunda de un puente.....	32
2.4 Cabezal sobre tierra armada.....	32
2.5 Estribos de mampostería.....	33
2.6 Estribos con alerón o en cajón.....	33
2.7 Pilas con cimentación superficial.....	34
2.8 Pilas con cimentación profunda.....	34
2.9 Pila con cimentación superficial.....	35
2.10 Pilas con cimentación profunda.....	35
2.11 Paso Superior Vehicular.....	36
2.12 Paso Superior de Ferrocarril.....	36
2.13 Paso Superior de Ferrocarril.....	37
2.14 Diagrama de gálibos para puentes.....	38
2.15 Gálibos con estructuras que cruzan una carretera.....	40
2.16 Gálibos en estructuras que cruzan una vía férrea.....	41
2.17 Camión tipo HS-15.....	42
2.18 Camión tipo HS-20.....	42

---

---

2.19 camión tipo T3-S3.....	43
2.20 Camión tipo T3-2-R4.....	43
Capítulo 3	
3.1 Perfil del puente.....	44
3.2 Vista en planta del puente.....	44
3.3 Placa de Neopreno.....	45
3.4 Apoyos extremos del puente.....	45
3.5 Apoyos intermedios del puente.....	45
3.6 Parte central del puente PIV kilómetro 157+496.....	46
3.7 Vigas “I” apoyadas sobre cabezal.....	46
3.8 Viga tipo “I”.....	47
3.9 Perfil del puente.....	48
3.10 Vista en planta del puente.....	48
3.11 Placa de Neopreno.....	48
3.12 Apoyos extremos del puente.....	49
3.13 Apoyos intermedios con los que cuenta el puente .....	49
3.14 Parte central del puente PPIV.....	50
3.15 Cabezal en la parte central del puente .....	50
3.16 Vigas “I” del puente PIV.....	51
3.17 Consola Kinematics Altus K2.....	52
3.18 Sensores uniaxiales.....	53
3.19 Consola Kinematics Altus K2.....	53
3.20 Sensores uniaxiales.....	54
3.21 Sensores triaxiales.....	54

---

---

3.22 Sensores sobre la calzada.....	55
3.23 Distribución de sensores puente Maravatío kilómetro 157+496.....	56
3.24 Distribución de los sensores para la primera alternativa en el puente Maravatío kilómetro 187+310.....	56
3.25 Distribución de los sensores en la segunda alternativa en el puente Maravatío kilómetro 187+310.....	57
3.26 Modos de vibrar.....	58
3.27 Modo-Período.....	60
3.28 Modo-Período.....	61
3.29 Modo-Período.....	62
3.30 Modos de vibrar.....	63
3.31 Movimiento lateral.....	64
3.32 Modo-Período.....	65
3.33 Modo-Período en Torsión.....	66

---

---

## Tablas

### Capítulo 1

1.1 Resumen de puentes analizados.....	7
1.2 Año Construcción.....	11
1.3 Estribos.....	12
1.4 Material de estribos.....	13
1.5 Tipo de pilas de los puentes.....	14
1.6 Material de pila de los puentes.....	15
1.7 Relación de los claros de los puentes.....	16
1.8 Esbeltez de las pilas de los puentes.....	18
1.9 Longitud de asiento de los puentes.....	20
1.10 Relación en %.....	21
1.11 Ángulo de esviaje de los puentes.....	22
1.12 Longitud total de los puentes analizados.....	23
1.13 Superestructura en los puentes analizados.....	25
1.14 Longitud de claro mayor de los puentes.....	26
1.15 Zona sísmica de los puentes.....	27
1.16 Apoyos en los puentes analizados.....	29
1.17 Relación entre pilas de los puentes.....	30

### Capítulo 3

3.1 Movimiento lateral.....	59
3.2 Modo-Período.....	60
3.3 Movimiento en Torsión.....	61

---

---

3.4 Movimiento Lateral.....	64
3.5 Movimiento en Flexión.....	65
3.6 Movimiento en Torsión.....	66

---

