



**UNIVERSIDAD MICHOCANA
DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO**



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

**“PRUEBAS DE VIBRACIÓN AMBIENTAL EN
DOS PUENTES PIV DE LA CARRETERA
MÉXICO – MARAVATÍO”**

TESIS

PARA OBTENER EL GRADO DE

INGENIERO CIVIL

PRESENTA

RODRIGO ORNELAS AGUILAR

ASESOR

DR. HUGO HERNÁNDEZ BARRIO

MORELIA MICHOCÁN

ENERO DEL 2007

Doy gracias a Dios principalmente:

Por haber puesto los medios para que esta meta que me propuse al iniciar la carrera de Ingeniería Civil finalice favorablemente.

A mis padres Rodrigo y Socorro que con su apoyo entero me ayudaron a salir adelante durante todo el camino que me propuse recorrer cuando decidí estudiar, y que como forma de agradecimiento me honro en dedicarles los frutos que he logrado por haber terminado la carrera sin problemas y que con mi esfuerzo pude hacerlos sentir orgullosos que como hijo y con todo el amor de mi corazón es algo de lo más preciado que puedo ofrecerles.

A toda mi familia que tuvo esperanzas y fe en mí por que algún día fuera posible la realización de mi sueño de concluir mi carrera.

También a todos los profesores que con disposición, responsabilidad y ganas de servir en la enseñanza pueden hacer posible los objetivos de muchos compañeros.

A todos mis compañeros y amigos que mutuamente tuvimos el apoyo dentro y fuera del aula.

A mi asesor el Dr. Hugo Hernández Barrios por habernos brindado la oportunidad de poder realizar la tesis con su apoyo.

Por ultimo agradezco el apoyo brindado a CONACYT que con la beca recibida fue posible la realización de este trabajo.

ÍNDICE

	Resumen.....	IV
1	GENERALIDADES.....	1
1.1	Introducción.....	1
1.2	Definición de los Puentes PIV.....	2
1.3	Características geométricas.....	9
2	ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	12
2.1	Sistema SIPUMEX.....	12
2.2	Características generales de los puentes en México.....	17
2.3	Clasificación por año de construcción.....	25
2.4	Clasificación por su longitud.....	26
2.5	Clasificación por el tipo de estribo.....	27
2.6	Clasificación por el tipo de pilas.....	30
2.7	Clasificación del tipo de superestructura.....	32
2.8	Clasificación según su ángulo de esviajamiento.....	33
2.9	Clasificación por los claros que los forman.....	35
2.10	Comparativa entre longitud de asiento real y la calculada.....	44
2.11	Tipos de apoyos.....	49
2.12	Clasificación de acuerdo a su zona sísmica.....	51
3	PRUEBAS DE VIBRACIÓN AMBIENTAL.....	53

3.1	Descripción de los puentes PIV Maravatío km 206 y km 239...	53
3.2	Pruebas de vibración ambiental en los PIV.....	63
3.2.1	Equipo de medición de vibración ambiental.....	64
3.2.2	Instrumentación de las pruebas.....	65
3.3	Propiedades dinámicas analíticas de cada PIV.....	66
4	CONCLUSIONES GENERALES.....	71
	Referencias.....	73
	Lista de Tablas y Figuras.....	74

PRUEBAS DE VIBRACIÓN AMBIENTAL EN DOS PUNTES PIV DE LA CARRETERA MÉXICO – MARAVATÍO

RESUMEN

Como parte de un proyecto de investigación sobre vibración ambiental en puentes PIV en esta tesis se registran varios puentes que se encuentran ubicados en la Republica Mexicana, de los cuales se hizo su descripción geométrica como parte de monitoreos para su posible estudio de vibración ambiental para poder conocer sus condiciones dinámicas.

En esta tesis se muestran los resultados dinámicos de dos puentes PIV ubicados en la autopista Morelia – México denominados Maravatío km 206 y km 239 que se modelaron en SAP 2000 versión 9.3 (Echeerría T. B., “Obtención de las propiedades Dinámicas de cuatro puentes tipo PIV”)



CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

Los puentes son estructuras que los seres humanos han ido construyendo a lo largo del tiempo para superar las diferentes barreras naturales como ríos, cauces, cañadas, etc. con las que se han encontrado y poder transportar así sus mercancías, permitir la circulación de las gentes 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: si soportan el paso de carreteras y vías férreas, y pasarelas: están destinados exclusivamente a la circulación de personas.

Las características de los puentes están ligadas a las de los materiales con los que se construyen y por lo tanto un tipo de material de construcción implica un cambio de tecnología y en la manera de proyectar un puente, también se toma en cuenta la función para la que se vaya a destinar el uso del puente y también de acuerdo a su estructura.



Existen diferentes tipos de puentes los cuales se pueden clasificar de acuerdo a:

1) Material con que se construyen:

- Puentes de madera
- Puentes de piedra
- Puentes metálicos
- Puentes de concreto armado

2) Su estructura:

- Puentes de vigas
- Puentes arco
- Puentes de armaduras (metálicos de armaduras y armazón lateral)
- Puentes atirantados
- Puentes colgantes

3) Su estructuración:

- Acueductos
- Puentes canal
- Puentes peatonales
- Puentes de ferrocarril (FFCC)
- Puentes de carreteras
- Puentes de autopistas
- Puentes mixtos

1.2 DEFINICIÓN DE LOS PUENTES PIV

Existen diferentes tipos de estructuras empleadas para salvar diferentes obstáculos y solucionar varias necesidades, como es el caso de las siguientes estructuras que según su propósito y ubicación se clasifican como: 1) Puentes, son estructuras que sirven para superar las diferentes barreras naturales y/o necesidades de vialidad y por consiguiente son de diversos tipos de puentes. Por lo que para el caso y de acuerdo a normas (Proyectos y Estructuras de Puentes de la SCT, 2006) consideramos un puente como una estructura con longitud mayor de 6 metros, que se construye sobre corrientes o cuerpos de agua y cuyas dimensiones quedan definidas por razones hidráulicas, 2) Paso inferior vehicular (PIV), es la estructura que se construye en 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, en la Figura 1.1 podemos observar un puente conocido como paso inferior vehicular (PIV).



Figura 1.1 Paso Inferior Vehicular (PIV)



3) Paso superior vehicular (PSV), 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, en la Figura 1.2 podemos observar un puente conocido como paso superior vehicular (PSV).



Figura 1.2 Paso Superior Vehicular (PSV)

4) Paso inferior de ferrocarril (PIF), 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, en la Figura 1.3 podemos observar un puente conocido como paso inferior de ferrocarril (PIF).



Figura 1.3 Paso Inferior de Ferrocarril (PIF)



5) Paso superior de ferrocarril (PSF), 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, en la Fig. 1.4 podemos observar un puente conocido como paso superior vehicular (PSF).



Figura 1.4 Paso Superior de Ferrocarril (PSF)



6) Paso inferior peatonal (PIP), es una estructura destinada exclusivamente al paso de personas, que se construye por encima de una carretera. En la Fig. 1.5 podemos observar un puente en un paso inferior peatonal (PIP).



Figura 1.5 Paso Inferior Peatonal (PIP)



7) Paso inferior ganadero (PIG), es una estructura destinada al paso de personas y ganado, que se puede construir por abajo de una carretera. En la Figura 1.6 podemos observar un puente conocido como paso inferior ganadero.



Figura 1.6 Paso Inferior Ganadero (PIG)



1.3 CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS

Cuando se trate de un puente o de una estructura que tenga por objeto cruzar una carretera o una vía férrea, el gálibo es decir, el espacio libre horizontal y/o vertical (Figura 1.7 y 1.8) definido por la distancia entre los paramentos de los estribos, entre los paramentos de un estribo y una pila, entre los paramentos de dos pilas o columnas contiguas, entre los ceros de los conos de derrame o entre los ceros de un cono de derrame y el paramento de una pila, medida normalmente al eje longitudinal del cuerpo de agua, la carretera o vía férrea que se cruce, cumplirá con lo siguiente: Para estructuras que crucen una carretera (Figura 1.7), cuando se trate de pasos inferiores vehiculares (PIV), de ferrocarril (PIF), peatonales (PIP) y ganaderos (PIG), así como pasos superiores vehiculares (PSV), como se muestra en la Figura 1.1 a 1.6, 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, 1.2 metros a cada lado, con el propósito de colocar defensas de protección que disten como mínimo 60 centímetros del paramento del estribo o de la pila y el galibo vertical debe ser como mínimo 5.5 metros.

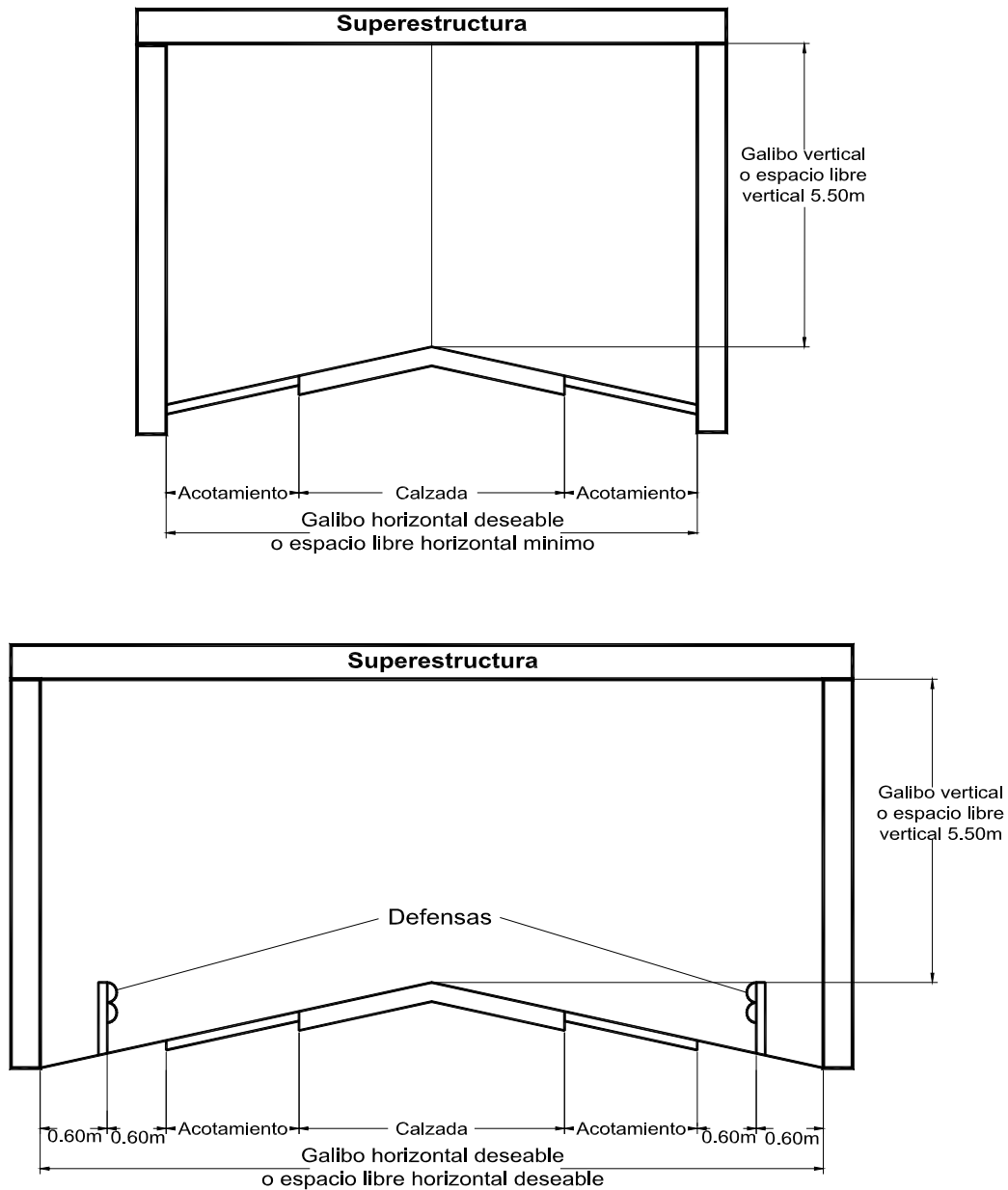


Figura 1.7 Gálibos o espacios libres vertical y horizontal para estructuras que crucen una carretera

Para estructuras que crucen una vía férrea (Figura 1.8) del tipo pasos superiores de ferrocarril (PSF), si la vía férrea es sencilla, el gálibo horizontal o espacio libre horizontal debe ser como mínimo de 3.5 metros 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 metros 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 diez (10 %) por ciento y el gálibo vertical o espacio libre vertical sobre el riel más alto, debe ser como mínimo de 7.5 metros.

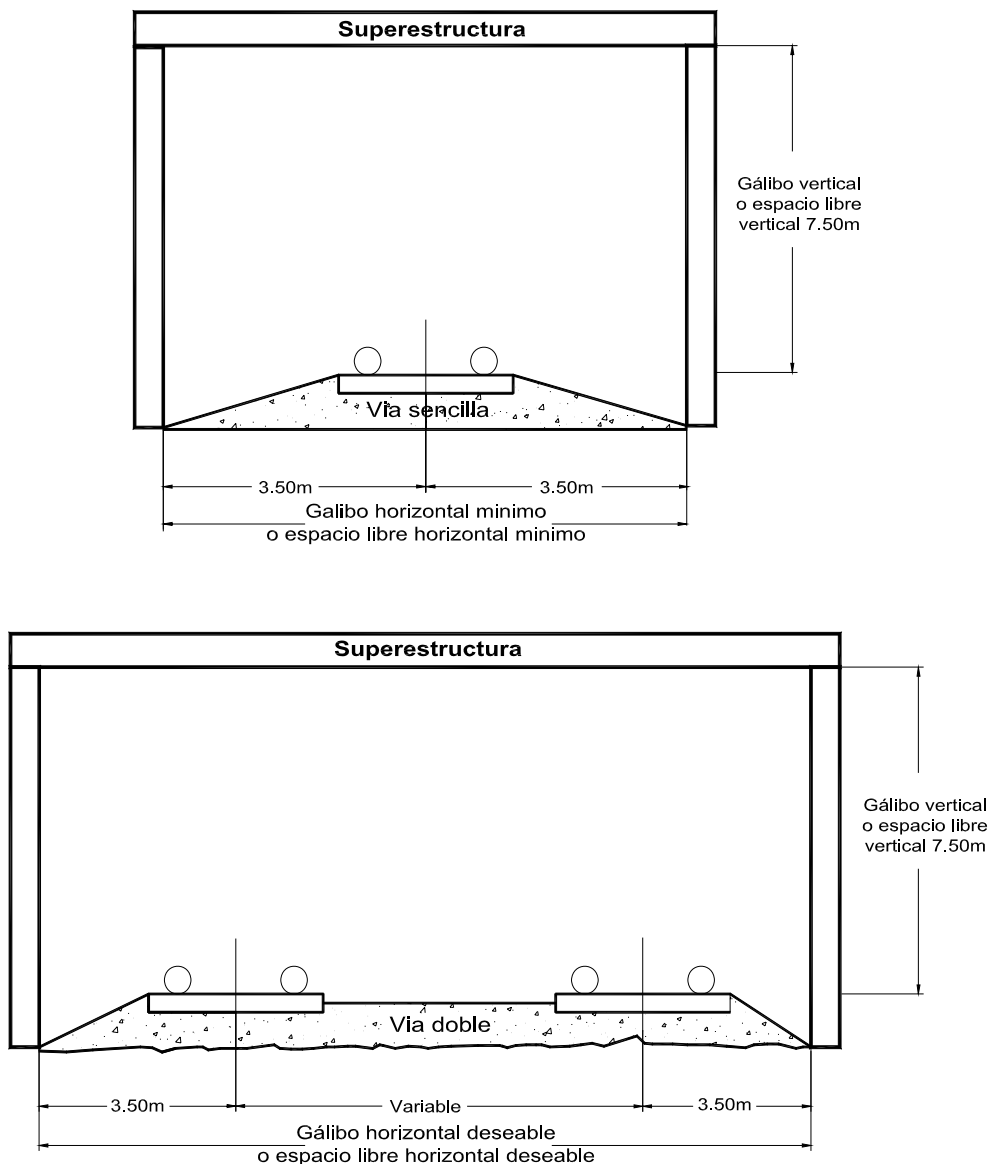


Figura 1.8 Gálibos o espacios libres vertical y horizontal para estructuras que crucen una vía férrea

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



CAPÍTULO II

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

2.1 SISTEMA SIPUMEX

En México no existe una gran diversidad de puentes y son pocos los puentes de grandes claros y longitudes que a su vez cuentan con una subestructura y superestructura de grandes magnitudes.

En México no existía ningún procedimiento para detectar la necesidad de mantenimiento de puentes en la red carretera federal, por lo que se daba atención a la estructura conforme se detectaba que tenía problemas. Por lo que para 1981 la Secretaría de Comunicaciones y Transporte (SCT) tuvo preocupación por que no se sabía si las estructuras podrían soportar las cargas autorizadas para circular por las carreteras federales según el reglamento de pesos y dimensiones que había sido publicado en 1980, también se desconocía el número de puentes existentes en la red carretera federal y no se contaba con un sistema que pudiese efectuar de forma ordenada el mantenimiento de los puentes. El inventario se terminó en 1982 y de él se obtuvo, en ese tiempo, que la red federal de carreteras contaba con 4500 puentes, pero como se detectaron errores en el inventario se abandonó y posteriormente, conciente las autoridades de la Secretaría, se inició una investigación para saber si algún país contaba con un sistema para tal fin y ver la posibilidad de implantarlo en México. Para 1992 se firmó con el directorado Danés de carreteras la primera fase del Sistema de Puentes de México (SIPUMEX).



Esta primera fase se constituyó por las siguientes actividades: 1) Inspecciones Principales, que son inspecciones visuales de las estructuras para determinar sus condiciones y evaluar las necesidades de atenderlas. En la Figura 2.1 y 2.2 se pueden ver con detalle los datos que se obtienen con las inspecciones principales y en la Figura 2.3 se muestra la calificación de la estructura con escala de 0 a 5, siendo 0 cuando la estructura no presenta daños en ninguno de sus elementos y 5 cuando está en peligro su estabilidad. 2) Inventario: con la inspección principal se puede obtener el inventario de los puentes existentes en la red federal de carretera. 3) Análisis Beneficio-Costo: se realiza en función de alternativas de reparación, costos de operación y desviación de tránsito. 4) Inspecciones Rutinarias: son inspecciones someras del aspecto superficial de los puentes. 5) Mantenimiento Menor y Limpieza: es la ejecución de trabajos menores como reparación de baches, resanes de concreto y de pintura, limpieza de calzada y drenes, reparación de parapetos. 6) Evaluación de la Capacidad de Carga: es un análisis para evaluar la capacidad de carga de las estructuras y su capacidad para satisfacer los requerimientos que les impone el paso de vehículos. 7) Jerarquización de los Trabajos de Rehabilitación: se establecen las prioridades para los trabajos de reforzamiento o rehabilitación de las inspecciones principales con base en la condición de los puentes. 8) Inspecciones Especiales: son inspecciones detalladas con el uso de equipo especial para determinar los daños y sus causas y programar los proyectos de rehabilitación. 9) Diseño de Reparación de Puentes: preparación de un manual de diseño de reparaciones. 10) Diseño y Especificaciones para Puentes Nuevos: incluir ajustes a las normas de diseño existentes con base en las experiencias obtenidas en las inspecciones. 11) Rutas para Transporte Pesado: establecimiento de rutas para vehículos especiales, de modo que no provoquen daños a los puentes.



DGCC/SCT	SIPUMEX	Fecha	Hoja
	Reporte de inspección principal	99.07.02	1
Puente: 29-005-00.0-0-03.0 Acuatempan I			
Estado.....: Veracruz Norte			
Carretera.....: Pachuca/Hid.- Tuxpan(Ruta 130)			
Kilometraje.....: 209.100			
Tramo.....: Poza Rica - Tuxpan			
Año de construcción.....: 1973			
Año de la última reconstrucción.....: 0			
Paso Superior / Inferior.....: S			
Dir. de kmt. de la car.princip.....: N			
Requisitos de inspección.....: 0 Nada			
Numero de secciones de inspección.....: 1			
Colección de datos: Fecha.....: 1994.05.11			
Iniciales.....: JADL			
Posición geográfica:			
Latitud: 020 gra 38.61 min Longitud: 097 gra 30.51 min Altitud: 17 m			
Geometría: Número de claros.....: 5			
Longitud de claro mín... (m): 10.2			
Longitud de claro máx... (m): 10.4			
Longitud total..... (m): 51.9			
Ancho total..... (m): 9.8			
Ancho del camellón..... (m): 0.0			
Ancho de la banq. iz.... (m): 0.6			
Ancho de la banq. de.... (m): 0.6			
Ancho de la calzada..... (m): 7.1			
Ancho entre bordillos... (m): 8.1			
Ancho del acceso..... (m): 7.1			
Area..... (m2): 508			
Puente en curva..... (S/N): N			
Esviajamiento..... (gra): 0			
Superestructura, tipo principal:			
Diseño tipo.....: S			
Diseño de la sección transversal.....: 14 Losa/Viga, 4 ó más vigas			
Diseño de la elevación.....: 10 Simpl. apoyado, secc. const.			
Material.....: 20 Concreto reforzado, in situ			
Superestructura, tipo secundario:			
Diseño tipo.....:			
Diseño de la sección transversal.....: 91 No aplicable			
Diseño de la elevación.....: 91 No aplicable			
Material.....: 91 No aplicable			

Figura 2.1 Formato SIPUMEX (Superestructura)



DGCC/SCT	SIPUMEX	Fecha	Hoja
	Reporte de inspección principal	99.07.02	2
Puente: 29-005-00.0-0-03.0 Acuatempan I			
Subestructura:			
Estribos: Tipo	: 10	Estribo con aleros integrados	
Material	: 10	Mampostería	
Tipo de cimentación	: 10	Cimentación directa	
Pilas...: Tipo	: 10	Pila sólida	
Material	: 10	Mampostería	
Tipo de cimentación	: 10	Cimentación directa	
Detalles:			
Tipo de parapeto	: 30	Viga concreto, pilastr. concr.	
Parapeto inclinado	: N		
Tipo de superficie de desgaste	: 10	Asfalto	
Tipo de juntas de expansión	: 92	Desconocido	
Tipo de apoyos fijos sobre soportes	: 92	Desconocido	
Tipo de apoyos móviles sobre soport.	: 92	Desconocido	
Tipo de apoyos fijos en trabes	: 91	No aplicable	
Tipo de apoyos móviles en trabes	: 91	No aplicable	
Carga de diseño	: HS15		
Cl. de distrib. de carga	: 2	Distribución en 1 dirección	
Obstáculo que cruza:			
Tipo de paso	: 30	Río ó arroyo	
Ident. de la carretera	:	Kmt...:	
Nombre de la carretera	:		
Espacio libre:			
Sobre el puente....(m):	I:	IM:	DM: D:
Bajo el puente....(m):	I: 5.20	IM: 5.20	DM: 5.20 D: 5.20
Propietario	: 100	DGCC/SCT (RED BASICA)	
Cooperador	: 29	VERACRUZ NORTE	
Resp. de la inspec.	: 29	VERACRUZ NORTE	
Proyectista	: 100	DGCC/SCT (RED BASICA)	
Observaciones:			
El puente presenta ampliacion lateral con una trabe a cada lado apoyada de los diafragmas. Cruza el rio Acuatempan			

Figura 2.2 Formato SIPUMEX (Subestructura)



DGCC/SCT	SIPUMEX		Fecha	Hoja
	Reporte de inspección principal		99.07.02	3
Puente: 29-005-00.0-0-03.0 Acuatempan I				
Resumen cronológico:	Fecha	Actividades		
	1994.05.11	Inspección principal		
	1996.12.19	Inspección principal		
Ultima inspección principal:				
Fecha:	1996.12.19	Iniciales:	JPM	Tiempo: SOLEADO
				Temperatura: 35
Tránsito: TPDA.....				11900
Carros %				67
Autobuses %				5
Camiones %				28
Año de la próxima inspección principal: 2000				

Nú. Componente Descripción del daño Tipo de daño	Fotos	Califi	Man ten	Ins Esp	Obras de reparación		
					T p	Canti	Año
1 SUPERFICIE DE PUENTE	1	2	-				
2 JUNTAS DE EXPANSION Filtraciones	2	4	-				
3 BANQUETA/CAMELLON	0	2	+				
4 PARAPETO/PASAMANOS	0	2	+				
5 CONOS/TALUDES	0	2	-				
8 PILAS	1	2	-				
9 APOYOS cambio de apoyos	0	3	+				
10 LOSA	0	?	+				
11 LARGUEROS/TRABES	0	2	-				
12 CAUCE	0	2	-				
14 PUENTE EN GENERAL	1	2	-				

Figura 2.3 Formato SIPUMEX (Inspección principal)

12) Presupuesto y Control de Avance: un sistema que elabore presupuestos y que controle los avances de los trabajos. 13) Mapas de Puentes: sistema para localizar los puentes de la red en mapas. 14) Sistema de Archivo: manejará todo el material de archivo SIPUMEX.



15) Libro de Precios: elaborará un catalogo de precios unitario para trabajos de mantenimiento y rehabilitación. 16) Supervisión de Obra: introducción de nuevos procedimiento de supervisión de obra incluyendo manuales.

En conclusión el Sistema de Puentes de México (SIPUMEX) es un sistema que permite contar con un inventario de la totalidad de los puentes de la Red Federal de Carreteras en el que se incluyen las características tanto de ubicación y estado físico. Esto permite efectuar una inspección de las necesidades de mantenimiento y rehabilitación, con lo que se logra una optimización de los recursos aplicables y atendiendo la seguridad de los usuarios.

2.2 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS PUENTES EN MÉXICO

En este trabajo se realizó un estudio estadístico a partir de los datos obtenidos de registros SIPUMEX (Sistema de Puentes de México) de los cuales se obtuvieron todas sus características físicas y datos generales del puente, además también se realizó esta misma actividad en planos de diseños de puentes existentes.

Para el registro de los puentes se realizó un formato donde se presentan todas las características generales necesarias para el registro de todos los puentes obtenidos a partir de los SIPUMEX y diseños de varios puentes obtenidos de la SCT y de empresas relacionadas al diseño de los mismos, cabe remarcar que todos los puentes registrados se encuentran distribuidos en gran parte de la Republica Mexicana. En la Figura 2.4 se muestra el formato que se utilizo para hacer los registros de cada puente.



NOMBRE DEL PUENTE: TAPIAS Proyecto CONACyT SEP-2004-C01-47314

UBICACIÓN	KM	AÑO DE CONST	L TOTAL(m)
ZACATECAS-DURANGO	39+600		32,74

APOYOS EXT	TIPO	No. COLUMNAS	MATERIAL	ALTURA	CIMENTACIÓN
1	MU		MA	2,28	
4	MU		MA	2,07	

PILA	TIPO	No. COL.	SECCIÓN	MAT.	ALTURA	DIMENSIONES (cm)		CIMEN.
						Bb - Bs	Lb - Ls	
					(m)			
2	MU		RE	MA	3,73	122-80	977-906	
3	MU		RE	MA	3,7	122-80	967-906	

APOYOS	CONEXIÓN	TIPO	ESPESOR	DIMENSIONES	LONG. ASIENTO
			(cm)	(cm)	(cm)
1	SA	NE	2,5	25X30	20
2	SA	NE	4.1-2.5	25X30	20-20
3	SA	NE	4.1-4.1	25X30	20-20
4	SA	NE	2,5	25X30	20

SUPER	TIPO	ANCHO TOTAL	ANCHO CALZADA	ÁREA	ESVIA JE	L CLAROS	DIM TOPES	CURVATURA (Grados)		TIPO JUNTA
								LXBXh	HORZ. VERT.	
		(m)	(m)	(m2)		(m)				
1	TR-CR	10,08	8,48	330,02	0°	10,37	40X25X27	0°	0°	JCMY-55
2	TR-CR	10,08	8,48	330,02	0°	10,5	40X25X27	0°	0°	JCMY-55
3	TR-CR	10,08	8,48	330,02	0°	10,37	40X25X27	0°	0°	JCMY-55

No. PLANO	TIPO
1	Plano de levantamiento estado actual
2	Procedimiento constructivo
3	Reparación de superestructura y cambio de juntas de dilatación
4	Topes sísmicos, bancos y apoyos de neopreno
5	Presfuerzo en diafragmas
6	Presfuerzo y diafragma
7	Plano de levantamiento de daños estado actual
8	General

Figura 2.4 Formato de inspección de puentes utilizado en el análisis



TIPO DE APOYO EXTREMO		TIPO DE PILAS	
Muro	MU	Muro sólido	MU
Caballote	CA	Muro hueco	MH
Otro	OT	Una columna	CO
		Marco	MA
		Otro	OT

SECCIÓN TRANSVERSAL		MATERIAL	
Sólida	SO	Mampostería	MA
Hueca	HU	Concreto ciclópeo	CC
Circular	CI	Concreto reforzado	CR
Rectangular	RE	Acero	AC
Variable	VA		

CONEXIÓN		TIPO DE APOYO		DIMENSIONES	
Continua monolítica	CM	Neopreno	NE	Bb	Ancho en la base
Continua no monolítica	CN	Cartón asfaltado	CA	Bs	Ancho superior
Simp. apoyado	SA	Mecedoras	ME	Lb	Longitud en la base
		Placas de acero	PA	Ls	Longitud superior

TIPO DE SUPERESTRUCTURA		TIPO DE CIMENTACIÓN	
Losa maciza	LM	Superficial	SU
Losa aligerada	LA	Pilotes	PI
Losa díptera	LD	Zapata	ZA
Losa ortotrópica	LO	Pilas	PA
Tabletas de concreto	TC	Cilindros	CI
Cajón	CA		
Cajón múltiple	CM		
Trabes AASHTO	TA		
Trabes AASHTO presforzada	TA-PRE		
Trabes AASHTO postensada	TA-POS		
Trabes AASHTO reforzada	TA-RE		
Trabes concreto reforzado	TR-CR		
Trabes metálicas tipo "I"	TM		

Figura 2.4 Formato de inspección de puentes, simbología usada en el análisis de puentes



Una vez obtenidos todos los formatos de cada uno de los puentes se hizo también una tabla completa de todos los puentes, haciendo referencia a algunos datos más generales de los puentes como son: el nombre, ubicación, kilómetro, año de construcción, número de claros, longitud total del puente, longitud del claro mayor y claro menor, ángulo de esviaje (S), altura mayor y menor de las pilas o estribos (H) en un mismo claros, ancho de las pilas y/o estribos (h), longitud de asiento real (L), longitud de asiento determinada por la AASHTO ($L-A$), tipos de estribos, material de los estribos, tipo de pila, material de las pilas, tipo de placas de apoyo, tipo de superestructura y zona sísmica. En la Tabla 2.1 se muestra un registro de 156 puentes analizados, que a partir de él se realizaron una serie de graficas las cuales se elaboraron con la relación de los números de puentes y datos que se mencionan.



Tabla 2.1 Registro general

No Puentes	Nombre	Ubicación	km	Año de const.	No. Claros	Long. Total	L-Claro Mayor	L-Claro Menor	S Esv.	H- Mayor	H- Menor	h (cm)	L-Asiento (real)cm	L-A- (AASHTO) cm	Tipo- Estribo	Mat- Estribo	Tipo- Pila	Mat- Pila	Superestructura	Tipo- Apoyo	Zona Sísmica
1	Acatic	Lagos de Moreno-Guadalupe	0+900	1944	1	16	16		0.00	5	5			39.48		MA		Losaviga	JC		
2	Honero Balderras Enríques	Monterrey - Nvo. Laredo	55+100	1964	3	45.3	15.1		0.00	3	2.4			36.95		MA	MA	LM	JC	A	
3	Las Jarras	Monterrey - Nvo. Laredo	116+400	1964	3	27.2	9.9		0.00	2.7	2.2			35.40			MA	LM	JC	A	
4	Río Lerma Izq.	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-Guadalupe	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			MA	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			MA	Losaviga	MA	B	
8	Amayuca	Santa Bárbara - Izucar de Matamoros	92+800	1965	2	41.8	20.9		0.00	12	12			47.70			MA	Losaviga	Desc		
9	Conchos	Chihuahua - Parral	119+250	1982	10	292.4	28.7		0.00	8	8			45.65			CR	LM		B	
10	El Guaricho	Leon - Aguascalientes	38+000	1940	3	31	10.7		25.00	5	5			42.06			MA	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			MA	Losaviga	MA	A	
12	El Nacimiento	Cd. Valles - S. Luis Potosí	22+830	1967	3	23.6	8.9		0.00	4	4			36.70			CR	Losaviga		A	
13	El Negron	Posa Rica - Veracruz	59+400	1960	1	30.7	30.7		10.00	7.1	7.1			46.14			CR	Losaviga	MC	B	
14	El Pastos	Chihuahua - Ojinaga	108+150	1976	2	52.5	26.4		0.00	9	9			46.08			CR	Losaviga	NE		
15	El Refugio	Cadereyta - Allende	15+700	1963	3	13.6	4.7		0.00	3.1	2			34.20			MA	LM	JC		
16	Hidalgo	Monterrey - Monclova	27+300	1966	3	61.3	25.6		0.00	12	10.8			48.28			MA	Losaviga	JC	A	
17	Huizotote	Pachuca/Hid. - Tuxpan	200+160	1972	1	36	36		10.00	8	8			48.48			MA	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			MA	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 Izq.	Monterrey - Nvo. Laredo	179+700	1964	3	14.4	4.8		0.00	2.3	2.3			33.98			CR	LM	JC	A	
23	Los Molinos	Puebla - Huajuapán	209+100	1960	3	77	25.8		48.00	12.5	12.5			85.43			MA	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			CR	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	Alpuyecas - Grutas	18+900	1940	3	25.6	6.5		0.00	5.5	5.5			37.60			MA	Arco inferior			
27	Zapotitlán	Tehuaca - Huajuapán de León	30+000	1940	2	15.8	8.5		0.00	2.4	2.4			35.00			MA	LM	JC		
28	Chilchota	Morelia-Guadalupe	118+350	1940		22.2	4.4	4.4	0.00	3	3			34.58	OT	CR	MU	LM	JC	C	
29	Las Aojuntías	Morelia-Guadalupe	132+600	1940		16.3	16.3		0.00	4	4			38.55	CA	CR		Losaviga	JC	C	
30	Pejo	Morelia-Guadalupe	127+050	1940		13.4	13.4		15.00	3	3			37.67	OT	MA		Losaviga	NE	C	
31	Tangancicuaro	Morelia-Guadalupe	130+900	1940		12.2	12.2		15.00	3	2.5			37.05	OT	MA		Losaviga	JC	C	
32	Pea. Tirindaro	Morelia-Guadalupe	71+600	1988		22.4	22.4		0.00	6	6			42.08			CO	CR	CA	NE	C
33	Piv. Finn Naranja	Morelia-Guadalupe	73+800	1940		9.6	9.6		45.00	4.2	4.2			47.71	OT	MA		Losaviga	JC	C	
34	Cojumatan I	Morelia-Guadalupe	23+800	1965		14.6	7.3	7.3	0.00	3	3			35.30	OT	MA	MA	Losaviga	JC	C	
35	Cojumatan II	Morelia-Guadalupe	25+500	1965		46	15.4	15.2	0.00	3	3			37.33	OT	MA	MA	Losaviga	JC	C	
36	Cojumatan III	Morelia-Guadalupe	25+600	1965		23.8	8	7.8	0.00	4	4			36.48	OT	MA	MA	Losaviga	JC	C	
37	El Callejón	Morelia-Guadalupe	32+900	1965		8.4	8.4		15.00	1.5	1.5			34.50	OT	MA		Losaviga	JC	C	
38	La Ladillera	Morelia-Guadalupe	8+150	1965		14.8	14.8		0.00	8	8			42.18	OT	MA		Losaviga	JC	C	
39	Palo Alto I	Morelia-Guadalupe	34+500	1965		7.1	7.1		0.00	1.5	1.5			33.75	OT	MA		Losaviga	JC	C	
40	Palo Alto II	Morelia-Guadalupe	34+700	1965		6.5	6.5		45.00	1.2	1.2			36.34	OT	MA		Losaviga	JC	C	

Tabla 2.1 Continuación



CAPÍTULO II



41	Palo Alto III	Morelia-Guadalaajara	35+441	1965	8.4	4.2	4.2	0.00	1.35	1.35		32.88	OT	MA	MA	MA	LM	JC	C
42	Palo Alto IV	Morelia-Guadalaajara	35+727	1965	7.8	3.9	3.9	0.00	1.5	1.5		32.95	OT	MA	MA	MA	LM	JC	C
43	Pea Sahuayo I	Morelia-Guadalaajara	5+300	1998	32.5	18	14.5	0.00	5.8	5.8		40.78			AC	AR	AR		C
44	Pea Sahuayo II	Morelia-Guadalaajara	6+200	1975	40	25.4	14.6	0.00	5	5		41.83			AC	Losa/viga	PA		C
45	Pea Sahuayo III	Morelia-Guadalaajara	7+800	1998	31.2	18	6	0.00	5.85	5.85		40.83			AC	AR	AR		C
46	Sta. Martha	Morelia-Guadalaajara	26+600	1965	45.3	15.1	15.1	0.00	3.5	3.5		37.75	OT	MA	MA	MA	Losa/viga	JC	C
47	Libra. Jiquipian	Morelia-Guadalaajara	0+980	1970	28.5	9.5	9.5	0.00	6	6		38.85	OT	MA	MA	MA	Losa/viga	JC	C
48	Chapataco	Morelia-Guadalaajara	6+800	1990	13.4	13.4		60.00	2.5	2.5		47.58	OT	MA			LM	NE	C
49	Vallado Del Rey	Morelia-Guadalaajara	9+009	1987	17	17		88.00	2	2		48.29	OT	MA			Losa/viga	NE	C
50	Puente Madero	Morelia-Guadalaajara	1+200	1963	9.4	9.4		0.00	1.4	1.4		34.23	OT	MA			Losa/viga	JC	C
51	Chupicuaro	Morelia-Guadalaajara	46+500	1940	12	12		30.00	3.9	3.9		41.77	OT	MA			Losa/viga	JC	C
52	Santa Fé	Morelia-Guadalaajara	42+409	1940	8.7	8.7		45.00	3.5	3.5		45.01	OT	MA			Losa/viga	JC	C
53	E Duero Der.	Morelia-Guadalaajara	147+322	1993	26.4	26.4		0.00	3.5	3.5		40.58	OT	CR			Losa/viga	NE	C
54	El Duero Izq.	Morelia-Guadalaajara	147+322	1993	26.4	26.4		0.00	3.5	3.5		40.58	CA	CR			Losa/viga	NE	C
55	El Totolan	Morelia-Guadalaajara	198+880	1940	10	5	5	0.00	1.2	0.7		32.68	OT	MA	MA	MA	LM	JC	C
56	Jacona	Morelia-Guadalaajara	148+650	1945	12.7	6.4	6.3	0.00	2	2		34.08	OT	CR	CR	CR		JC	C
57	Jatipo	Morelia-Guadalaajara	191+600	1940	31.4	10.6	10.4	0.00	5.5	5.5		38.63	OT	MA	MA	MA	Losa/viga	JC	C
58	Firm Est. Moreno	Morelia-Guadalaajara	175+450	1940	10.8	10.8		0.00	6.8	6.65		39.90	OT	MA			Losa/viga	NE	C
59	Santiago Tangamandapio	Morelia-Guadalaajara	164+500	1940	16	16		15.00	5	5		40.89	OT	MA			Losa/viga	NE	C
60	El Huizache Izq.	Monterrey - Nvo. Laredo	179+000		3	14.03	4.65	0.00	4.88	4.88	44	36.52	MU	CR	MU	CR	LM	NE	A
61	El Retamal	Monterrey - Nvo. Laredo	178+900		3	14.03	4.65	0.00	4.88	4.88	190	36.52	MU	CR	MU	CR	LM	NE	A
62	Esqueda	Moctezuma-Agua Prieta	123+800		3	52.21	31.11	10.55	10.95	10.94	150	97.7	CA	CR	MA-CI	CR	TA-RE	NE	A
63	Río Lerma Izq.	México DF-Toluca	51+000		1	24.02	24.02	0.00			26	36.48	CA	CR			TA-RE	NE	B
64	Los Angeles Izq.	Monterrey - Nvo. Laredo	176+600		3	14.03	4.65	0.00	3.45	3.15	170	44	MU	CR	MU	CR	LM	NE	A
65	Los Villareal	Monterrey - Nvo. Laredo	180+000		3	9.34	4.65	0.00	2.95	2.8	206	44	MU	CR	MU	CR	LM	NE	A
66	Maruata II	Playa Azuñ-Manzanillo	150+276		4	128.48	35	24.94	0.00			39.23	MU	CR	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	Motín del oro II	Playa Azuñ-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	14.11	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			TA	NE	B
77	Caborca	Lauro del Villar-Tijuana	103+700		3	31.55	10.61	10.52	13.00	5.04	2.93	37.96	MU	MA	MU	MA	TR-CR	NE	D
78	Chalma	Puente de Ixtla, Morelos			3	37.46	16.59	10.47	0.00			34.63	MU	MA	MU	MA	TR-CR	NE	B
79	P. Cujullapan-Ciros Carrillo	La Tinaja-Sayula	103+140		4	60.18	18.72	11.37	0.00	7.01	46	38.66	CA	CR	MU	MU	TA-RE	NE	
80	Dalla	Zacatecas-Durango	5+100		4	66.32	16.58	16.58	10.00	10.92	50	46.91	MU	CR	MU	CR	TR-CR	NE	B

Tabla 2.1 Continuación



CAPÍTULO II



121	9802 40-D	Alfende-Villa Juarez	137+783	76.74	28.89	19.36	40.00	7.34	6.2	60	48	57.96	CA	CR	MA	CR	TA	NE	A
122	9803	Alfende-Villa Juarez	138+530	61.18	30.59	30.59	27.00	4.17	4.17	170	40	46.10	CA	CR	MA	CR	TA	NE	A
123	9803-2V	Alfende-Villa Juarez	138+530	61.18	30.59	30.59	27.00	4.47	4.47	120	40	46.67	CA	CR	MA	CR	TA	NE	A
124	9803-27-1	Alfende-Villa Juarez	138+530	61.18	30.59	30.59	27.00	4.17	4.17	170	40	46.10	CA	CR	MA	CR	TA	NE	A
125	9804	Alfende-Villa Juarez	140+769	77.42	30.62	16.18	31.00	8.38	7.07	80	43	55.14	CA	CR	MU-MA	CR	TA	NE	A
126	9804-2V	Alfende-Villa Juarez	140+769	77.42	30.62	16.18	31.00	7.68	7.07	120	43	54.37	CA	CR	MA	CR	TA	NE	A
127	9804-31-1	Alfende-Villa Juarez	140+769	77.42	30.62	16.18	31.00	8.38	7.07	80	43	55.14	CA	CR	MU-MA	CR	TA	NE	A
128	9805	Alfende-Villa Juarez	142+340	56.94	28.47	28.47	8.00	4.17	4.17	170	41	42.10	CA	CR	MA	CR	TA	NE	A
129	9806	Alfende-Villa Juarez	145+360	60.94	30.47	30.47	8.00	6.36	6.36	120	41	44.96	CA	CR	MA	CR	TA	NE	A
130	9806-8-1	Alfende-Villa Juarez	145+360	60.94	30.47	30.47	8.00	6.36	6.36	170	41	44.96	CA	CR	MA	CR	TA	NE	A
131	9807	Alfende-Villa Juarez	140+191	56.92	28.46	28.46	6.00	5.15	5.15	170	43	42.98	CA	CR	MA	CR	TA-POS	NE	A
132	Acuatempanti-1	Pachuca Hgo - Tuxpan	29+100	50.95	10.37	9.91	0.00	5.35	5.35	120	61	38.42	OT	MA	MU	MA	TR-CR	NE	B
133	Acuatempanti-2	Pachuca Hgo - Tuxpan	209+600	52.07	17.33	17.06	0.00	18.5	18.46	374	37	53.29	CA	CR	MU	CR	TM	NE	B
134	Aduanas	Lim.Dgo/Chi.-Hgo Del Parral	343+100	97.3	26.7	10.3	39.00					37.15	OT				LM		B
135	Las Aguias	Lim.Dgo/Chi.-Hgo Del Parral	368+600	99	16.5	16.65	0.00					34.60	OT		MU	CR	TR-CR		B
136	Amacohite	Raudales De Mal Paso-El Bollote	56+00	28.03	14.01	14.01						33.98							
137	Amambocuco	México- Toluca	47+600	38.2			0.00					30.48			OT	AC			B
138	Atongo	Cadereyta-Alfende	26+500	21.06	5.48	5	0.00	2.89	2.89	80		34.74	MU	CR	MU	CR	LM		A
139	Batan	México-Zacatepec	27+700	15	15	15	47.00				75	34.23	MU	MA			CA	NE	B
140	Caborca	Lauro Del Villar-Tijuana	103+700	31.55	10.61	10.52	13.00					33.13	OT				TR-CR	NE	B
141	Las Cañas	México-Nogales	145+013	50.86	8.52	8.45	0.00	3.15	3.15	90		35.76	MU	MA	MU	MA	TR-CR	NE	B
142	Casa Blanca	Saltillo-Monterrey	40+100	58.32	14.5	14.5						34.10	MU	MA	MU	MA			A
143	Chichimantla	Veracruz-Poza Rica	218+659	74.79	30.62	20.32	0.00	7.4	6	100	140	44.83	CA	CR	MA	CR	TA	NE	B
144	Chichimantla-2V	Veracruz-Poza Rica	218+659	74.79	30.62	20.32	0.00	7.4	6	100	140	44.83	CA	CR	MA	CR	TA	NE	B
145	Chocolate	Municipio De Linares/Nvo.Leon	676+100	36	9	9	0.00				20	32.73			MU	MA	TM	NE	A
146	Cuitaca	Agua Prieta-Imuris(Ruta)	107+100	43.88	21.92	21.92	0.00					35.96	MU	MA	MU	MA	TR-CR	NE	B
147	Dalla	Zacatecas-Durango	278+800	66.32	16.58	16.58	10.00	8.32	6.39	70		42.90	CA	CR	MU	CR	TR-CR	NE	A
148	El Viejon	Veracruz-Poza Rica	62+393	222.66	27.5	27.5	65.00	7.8	6.7	140	244	82.89	CA	CR	MU	CR	TA	NE	B
149	Ermitta	Juarez-Cordilan	32+200	33.89	11.45	11.27	0.00	2.9	2.43	102		36.01	MU	MA	MU	MA	TR-CR	NE	
150	Huizotape	Pachuca/Hgo - Tuxpan	200+160	35.08	35.08	35.08	10.20				78	39.25	CA	CR			TR-CR	NE	B
151	Necaxa	Pachuca-Tuxpan	0+600	52.35	9.15	7	0.00	7.14	6.93	180	88	39.80	MU	MA	MU	MA	TA	NE	B
152	Negron	Poza Rica-Veracruz	59+400	30.12	30.12	30.12	9.50				75	38.01	CA	CR			TA	NE	B
153	Parras de La Fuente	Zacatecas-Durango	278+740	21.6	10.8	10.8	0.00	5.4	5.4	200		38.58	MU	MA	MU	MA	TR-CR		A
154	San Martin	Cd. Victoria-Monterrey	16+500	45.02	22.5	22.5	0.00			1170		36.10	MU	MA	MU	MA	TA-PRE	NE	A
155	Hueytamalco	Tezuitlan-Nautla	4+750	33.6	33.6	33.6	0.00				87	38.88	MU	MA			TA-POS	NE	
156	Tapias	Zacatecas-Durango	39+600	32.74	10.5	10.37	0.00	3.73	3.7	122	20	36.82	MU	MA	MU	MA	TR-CR	NE	A



2.3 CLASIFICACIÓN POR AÑO DE CONSTRUCCIÓN

En la Figura 2.5 se presenta la relación del número de puentes y el año de construcción de los mismos.

Pasando los datos de los puentes que muestran el año de construcción y ordenando los valores en los intervalos que se marcan en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2 Clasificación por año de construcción

No. Puentes	Año de const.
1	1930-1940
20	1940-1960
30	1960-1980
8	1980-2000

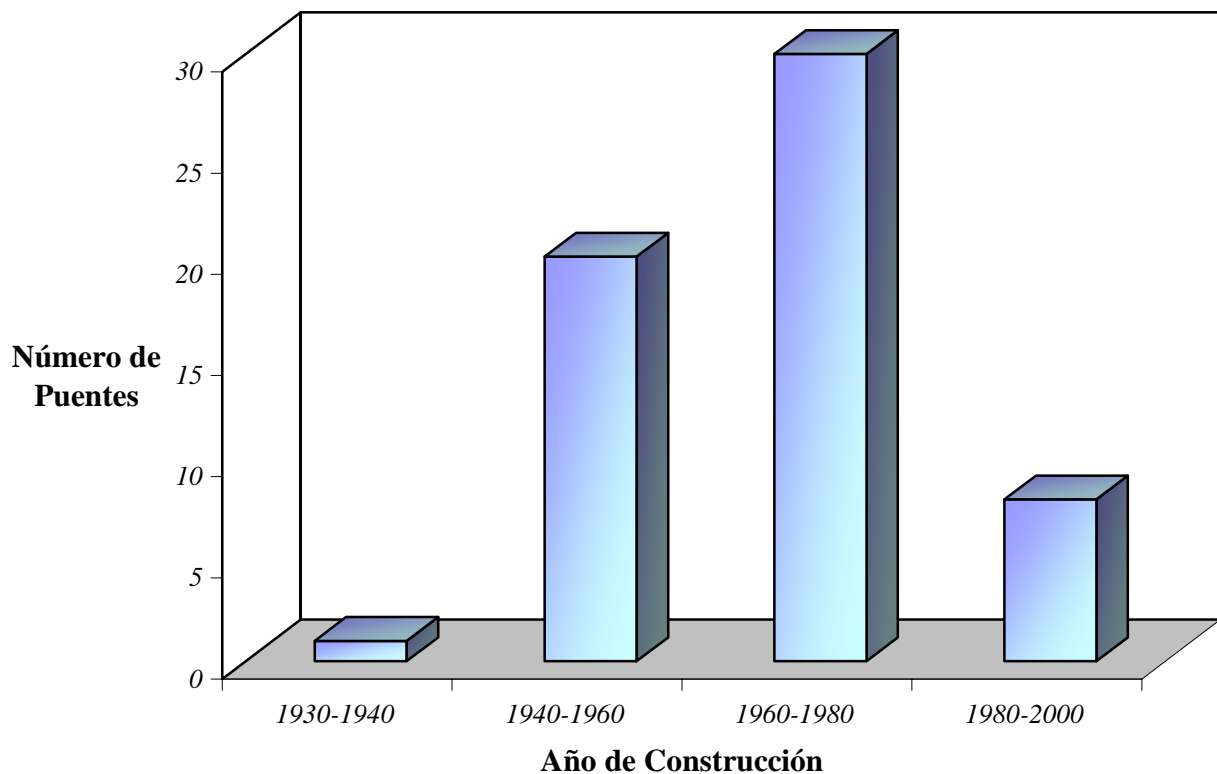


Figura 2.5 Clasificación por Año de Construcción



Como se observa en la Figura 2.5 de los puentes analizados sólo de una muestra de 59 puentes se tiene su registro de su año de construcción que para ser exactos sólo comprende a los puentes del registro SIPUMEX, y de donde se tiene una mayor construcción de puentes entre los años 1960-1980.

2.4 CLASIFICACIÓN POR SU LONGITUD

Con respecto a su longitud total de los puentes, se tiene una muestra completa de todos los puentes ya que es un dato que todos los puentes registran, dando el registro de la Tabla 2.3.

Tabla 2.3 Longitudes totales de los puentes

No. Puentes	Long. Total(m)
39	0-15
24	15-30
27	30-45
20	45-60
37	60-90
5	90-200
4	>200

Y en la Figura 2.6 se observa que de la gran mayoría de los puentes su longitud no excede de los 90m, a excepción de alguno en de la Tabla 2.1.

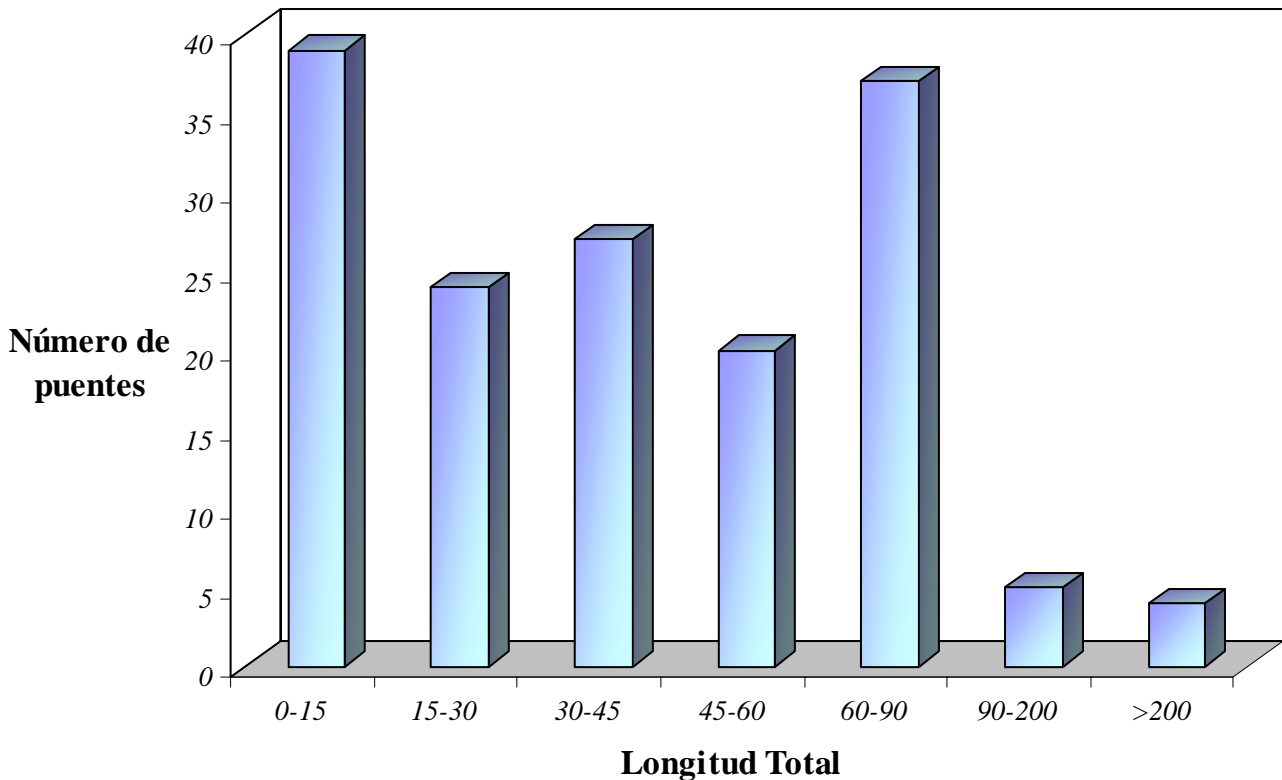


Figura 2.6 Longitud Total de los Puentes

2.5 CLASIFICACIÓN POR EL TIPO DE ESTRIBOS

Dado que la gran mayoría de los puentes cuentan con una subestructura a partir de muros y caballetes principalmente, se observa en la Figura 2.7 que hay una relación entre los números de puentes y tipos de estribos variados para los puentes en México pero que principalmente están constituidos de muros y caballetes.

En el registro de la Tabla 2.4 se observa que del total de la muestra que se obtuvo (156 puentes en total) solo una muestra de 149 puentes es la que se representa en la Figura 2.7, dando una distribución como se observa en la figura mencionada.



Tabla 2.4 Clasificación por tipo de estribo

No Puentes	Tipo-Estribo
54	Muros
63	Caballetes
32	Otros

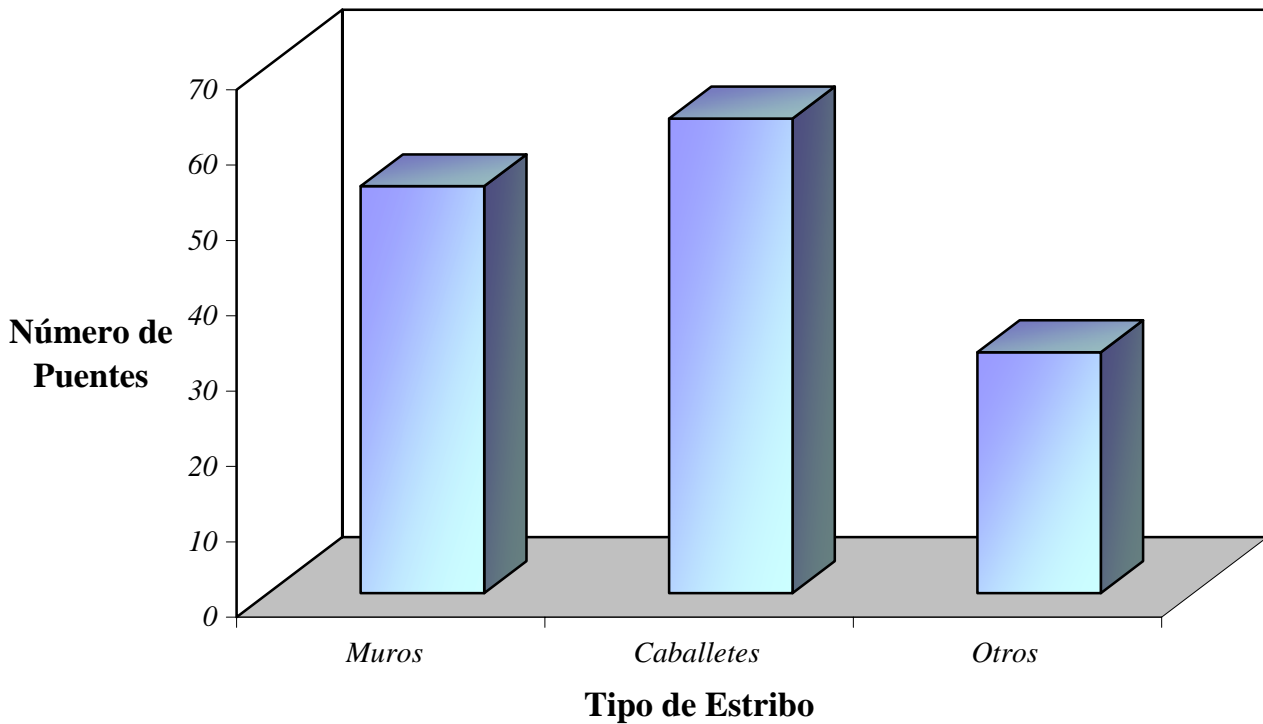


Figura 2.7 Tipo de Estribos de los Puentes

Aunado al tipo de estribos con que se construyen los puentes, también se tiene el tipo de material con el cual están contruidos los estribos, presentados en el registro de la Tabla 2.4. En la Tabla 2.5 se definen los dos principales materiales normalmente usados: la mampostería y el concreto reforzado:



Tabla 2.5 Clasificación por el tipo de material de los estribos

No. Puentes	Material de Estribo
64	Mampostería
80	Concreto Reforzado

No se tiene el mismo número de puentes registrados para la grafica que corresponde a la relación de número de puentes respecto al tipo de material de los estribos, porque desde el registro de los puente en los formatos de inspección y por lo tanto también en el registro general hay algunos puentes que no cuentan con todos los datos, por lo que en la Figura 2.8 que corresponde al tipo de material de los estribos se tiene una muestra de 144 puentes correspondiente a sólo dos tipos de materiales: la mampostería y el concreto reforzado cuyos valores quedan expresados en la Figura 2.7, notando que existe un mayor número de estribos de concreto reforzado.

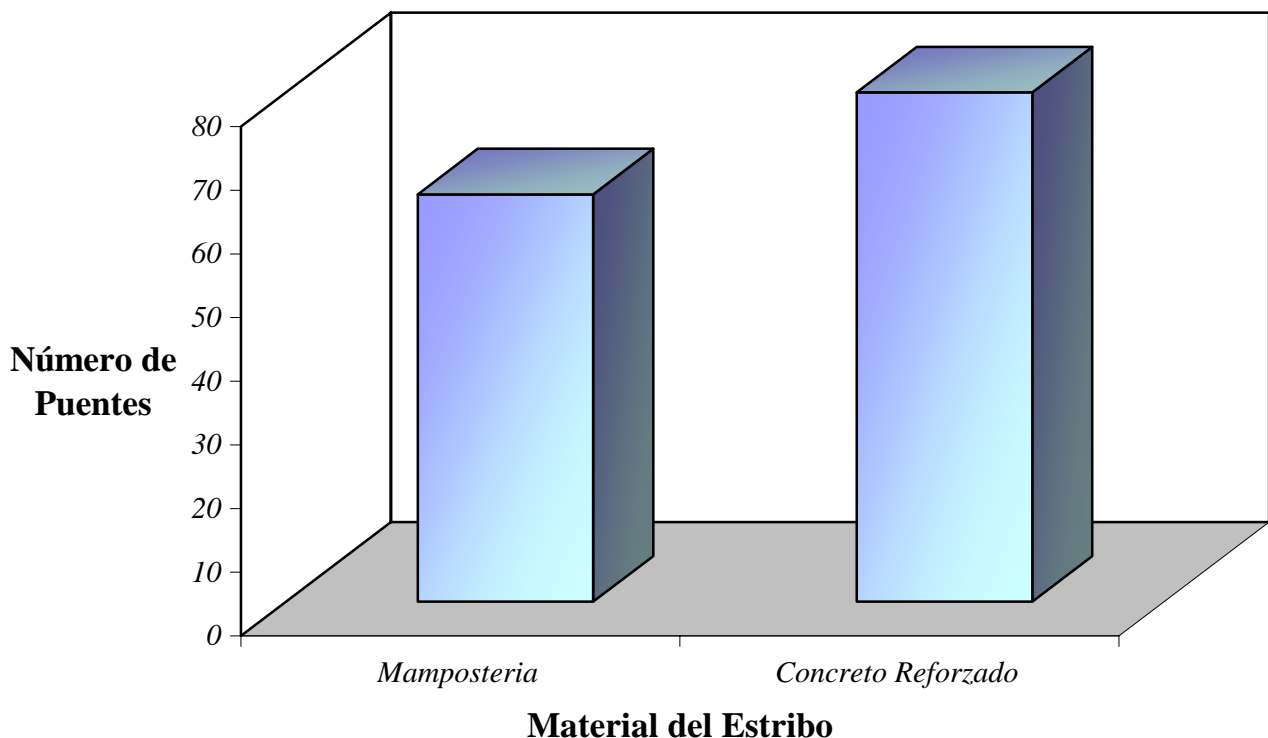


Figura 2.8 Tipo de Material para Estribos



2.6 CLASIFICACIÓN POR EL TIPO DE PILAS

En cuanto al tipo de pilas o apoyos intermedios también se realizó el registro del tipo de pila con respecto al número de puentes, teniendo un registro menor de puentes dado que al igual que las anteriores muestras este dato no todos los puentes cuentan con él y también por que hay muchos puentes que solo tiene un sólo claro y por consiguiente no cuentan con este dato, de manera que el registro resultante se muestra en la Tabla 2.6.

Tabla 2.6 Clasificación por el tipo de pila

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

Y la Figura 2.9 muestra las cantidades de puentes correspondientes a cada tipo de pila.

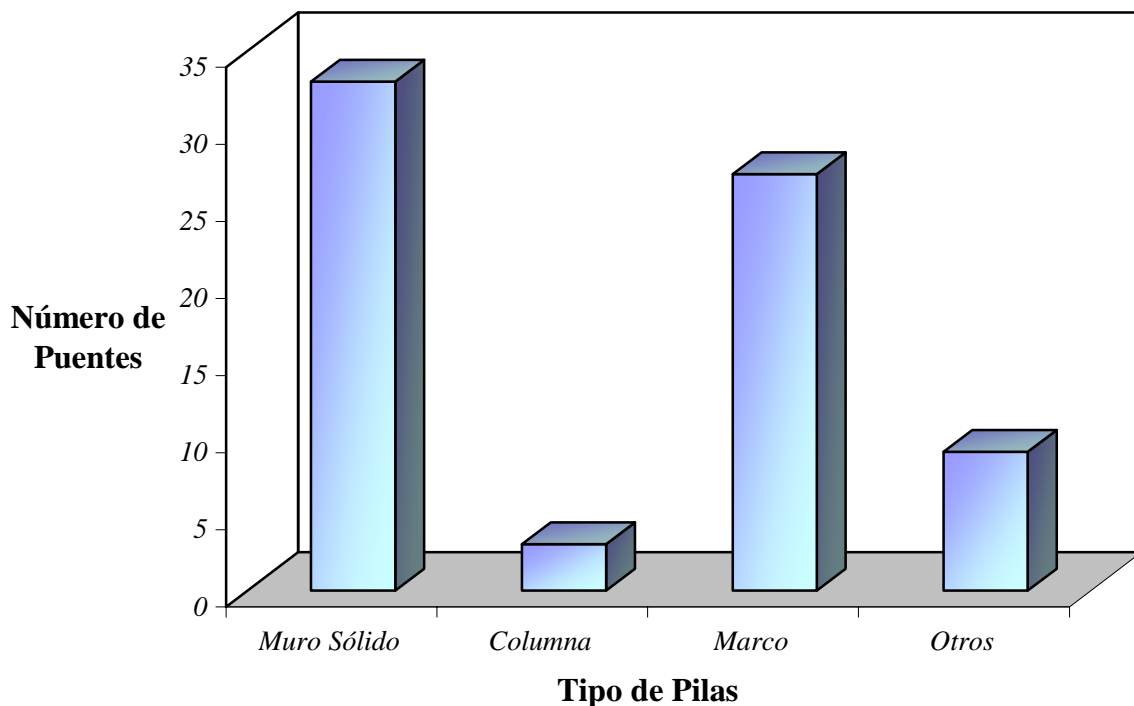


Figura 2.9 Tipo de Pilas de los Puentes



Al igual que para los estribos también se registró el tipo de material para las pilas quedando un registro que se muestra en la Tabla 2.7.

Tabla 2.7 Clasificación por el tipo de material de las pilas

No. Puentes	Símbolo	Mat-Pila
38	MA	Mampostería
62	CR	Concreto
4	AC	Acero

En la Figura 2.10 se observa la distribución de los materiales de las pilas correspondientes a una muestra total de 104 puentes, donde se observa que se tiene un mayor número de puentes apoyados en pilas de concreto y mampostería.

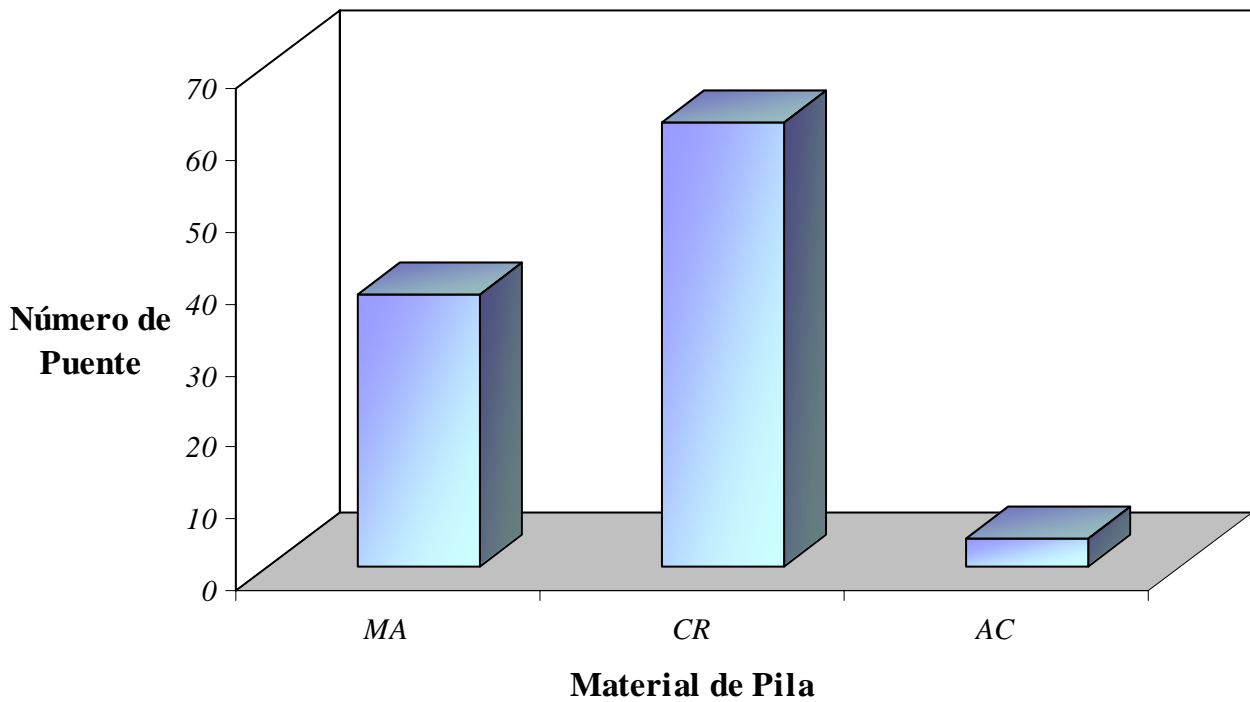


Figura 2.10 Tipo de Material para Pilas



2.7 CLASIFICACIÓN POR EL TIPO DE SUPERESTRUCTURA

En cuanto a la superestructura de los puentes se hizo una clasificación de acuerdo al registro de la Tabla 2.8 y en la Figura 2.11 se observa la distribución de los tipos de superestructura y el número de puentes correspondiente.

Tabla 2.8 Clasificación de acuerdo al tipo de superestructura

No. Puentes	Símbolo	Superestructura
20	LM	Losa maciza
7	CA	Cajón
38	TA	Trabes ashto
6	TA-PRE	Trabes ashto presforzada
2	TA-POS	Trabes ashto postensada
5	TA-RE	Trabes ashto reforzada
19	TR-CR	Trabes concreto reforzado
40	Losa/viga	Losa/viga
14	OT	Otros

En la Figura 2.11 se ve claramente que la mayoría de los puentes tienen un sistema a partir de trabes AASHTO y losa/viga, esto debido a que por ejemplo para la mayoría de los registros de puentes SIPUMEX no existe una especificación en cuanto a la superestructura de los puentes y sólo mencionan su superestructura a partir de losa/viga y por lo tanto su superestructura real puede ser diferente y algo similar presentan algunos registros de proyectos que sólo señalaban un sistema a partir de trabes AASHTO (TA), quedando la posibilidad que en realidad cuenten con un sistema en específico.

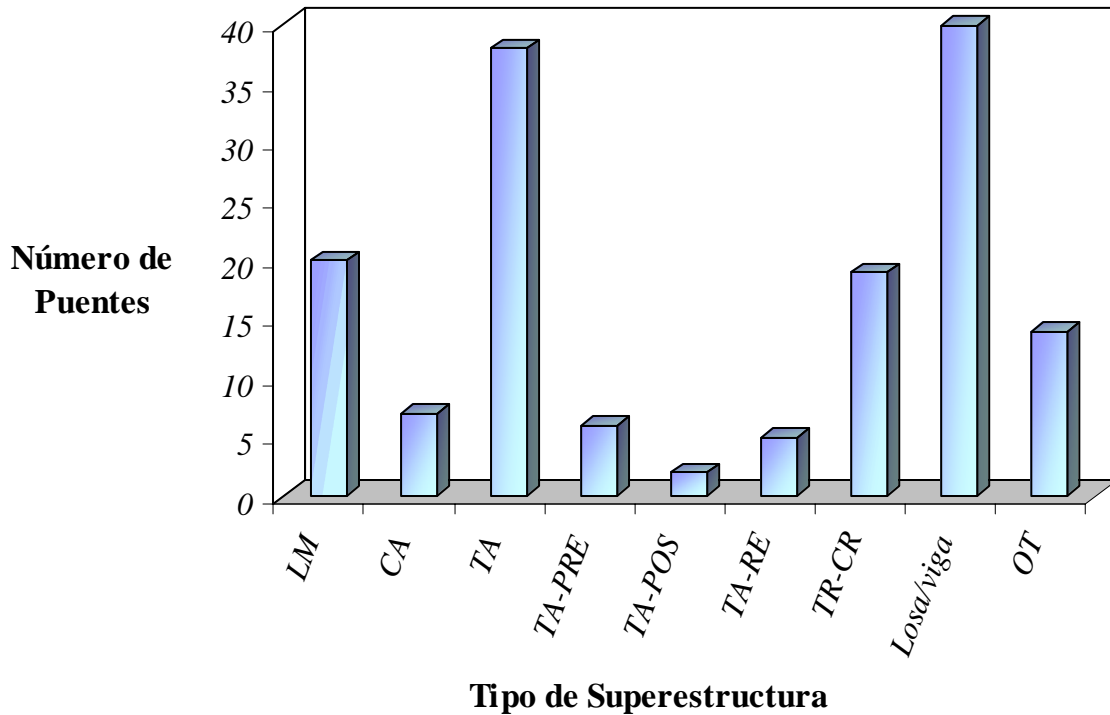


Figura 2.11 Tipo de Superestructura de los Puentes

2.8 CLASIFICACIÓN SEGÚN SU ÁNGULO DE ESVAJAMIENTO

También se obtuvo el ángulo de esviaje (S) de los puentes haciendo un registro donde se tomaron los ángulos en intervalos de 10° quedando la Figura 2.12 de acuerdo con el registro de la Tabla 2.9.

Tabla 2.9 Clasificación por ángulo de esviaje

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

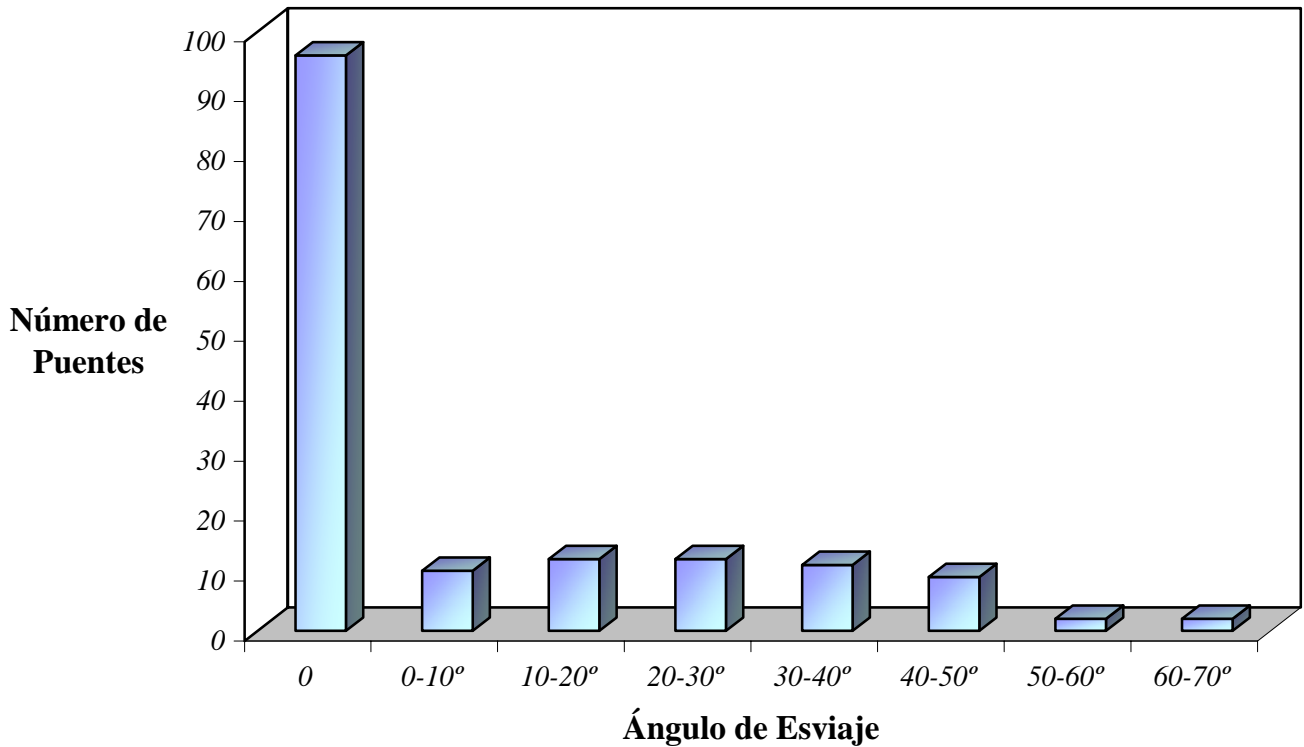


Figura 2.12 Ángulo de Esviaje (S) de los Puentes

Como se observa en la Figura 2.12 existe una gran cantidad de puentes sin esviaje y sólo 4 de la muestra tienen ángulos mayores a 50°, por lo que dado a su mayor facilidad de proyectar se recomienda evitar lo más posible el grado de esviaje en los puentes.

Recordemos que el ángulo de esviaje es el ángulo de inclinación del puente respecto a la dirección de algún cauce, barranca o vialidad como vemos en la Figura 2.13.

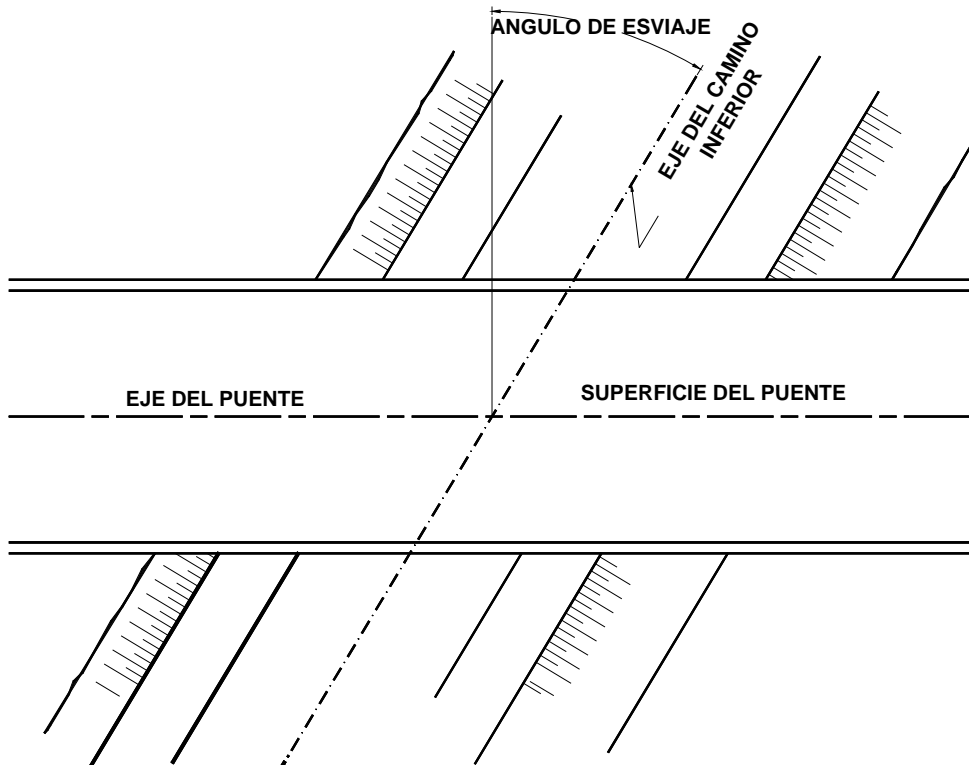


Figura 2.13 Cruce de vialidades

2.9 CLASIFICACIÓN POR LOS CLAROS QUE FORMAN LOS PUENTES

En la Figura 2.14 se presenta la relación de los números de puentes en relación a la longitud del claro mayor, tomando un intervalo de 6 metros de longitud quedando el registro de la Tabla 2.10.

Tabla 2.10 Longitud del claro mayor

No Puentes	L-Claro Mayor
12	0-6
35	6-12
34	12-18
18	18-24
22	24-30
33	30-36
1	>36



Como puede observarse las longitudes de los claros de los puentes, la gran mayoría no excede de 36 metros a excepción de un caso que cuenta con un claro de 110 metros, que es considerablemente muy grande para un tipo de superestructura a base de travesaños por lo que quizás la obtención del dato este erróneo.

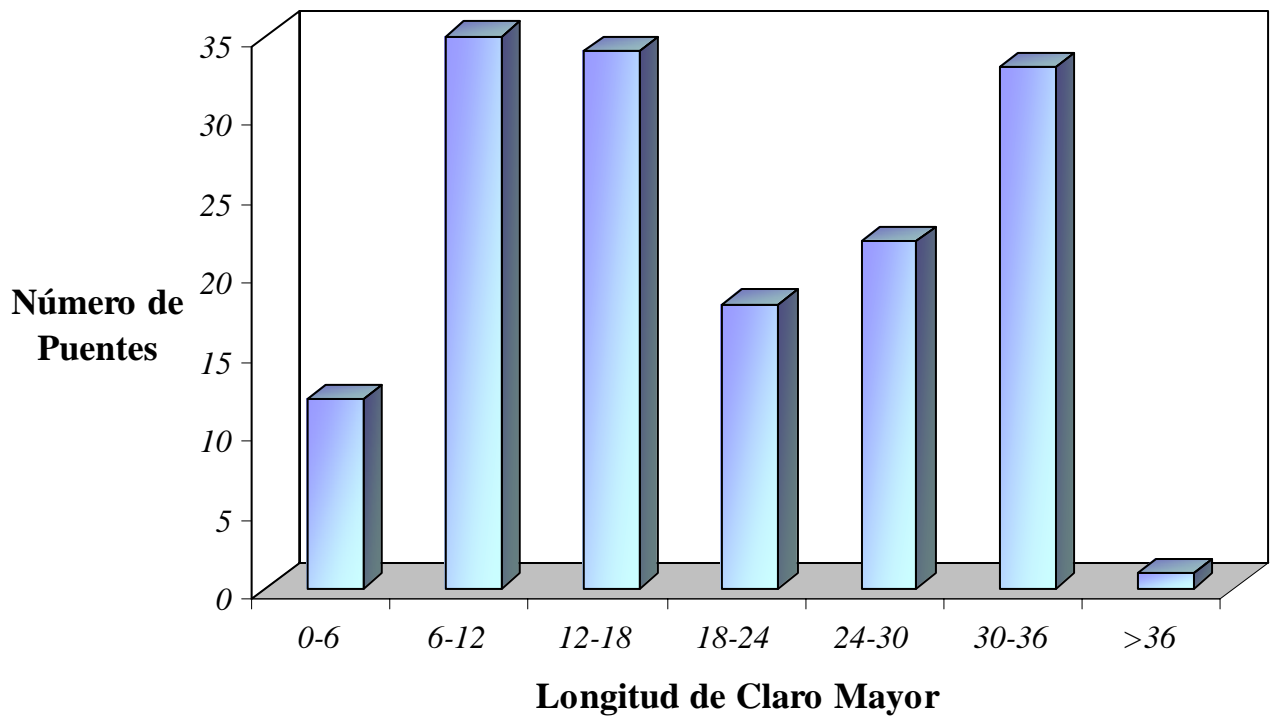


Figura 2.14 Longitud del Claro Mayor de los Puentes

También se realizó una grafica donde se representa la relación de las longitudes de los claros mayores respecto al claro menor tomando claros consecutivos. En la Tabla 2.11 se tienen algunos valores representativos de algunos puentes para el fin de identificar la relación de los claros.



Tabla 2.11 Ejemplo de algunos datos de la tabla 2.1

L-Claro Mayor	L-Claro Menor	Relación
22.41	22.41	1.00
22.36	15.2	1.47
18.72	10.62	1.76
31.11	10.55	2.95
15,4	15.2	1.01
8	7.8	1.03
8.4	-	-
16.59	10.47	1.58
18.72	11.37	1.65
16.58	16.58	1.00
30.62	16.18	1.89

La relación L-Claro Mayor / L-Claro Menor, representa la heterogeneidad de un claro a otro es decir la diferencia de las longitudes entre dos claros consecutivos. Por ejemplo cuando la relación es de uno (por ejemplo: $22.41 / 22.41 = 1.00$) significa que ambos claros tienen la misma longitud por lo que ambos claros son simétricos en longitud, esto normalmente se cumplió para la mayoría de los puentes que solo contaban con dos claros, y cuando la relación resulta fraccionaría esto indica que ambos claros tienen un cierto porcentaje de simetría entre sus longitudes de los claros (por ejemplo: $22.36 / 15.20 = 1.47$ por lo que en este caso hay una diferencia entre claros de 47%) y por último donde no existe la relación indica que los puentes solamente cuentan con un solo claro. En el registro de la Tabla 2.1 se analizan (aproximadamente 67 puentes).

En el registro que se muestra en la Tabla 2.12 se muestran los valores representativos que se indican en la Figura 2.15, donde tomando intervalos de 50%.



Tabla 2.12 Relación de claros

No Puentes	Relación (Claro Largo/Claro Corto)
47	1
26	1-1.5
14	1.5-2.0
0	2.0-2.5
2	2.5-3
0	>3.0

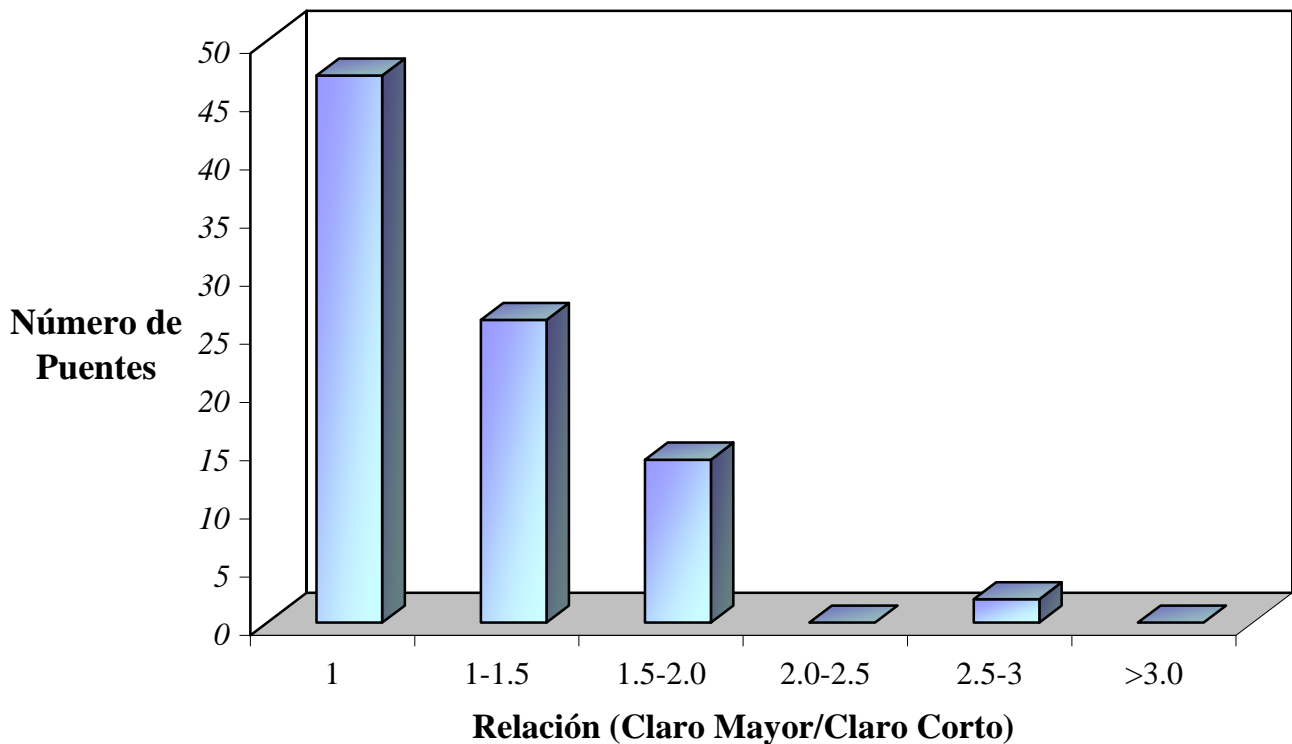


Figura 2.15 Relación de Claros de los Puentes

Algo similar se hizo con respecto a las alturas (H en metros) de los apoyos (pilas y estribos) donde se tomaron las alturas de las pilas y/o estribos, a partir de la altura mayor de cualquier apoyo y la altura menor del apoyo consecutivo a partir de ese apoyo en una u otra dirección, por ejemplo de la Figura 2.16 si la pila No. 2 fuese la de mayor altura que los demás apoyos entonces se toma la elevación menor entre el estribo No. 1 o la pila No. 3 según sus elevaciones (H en metros).

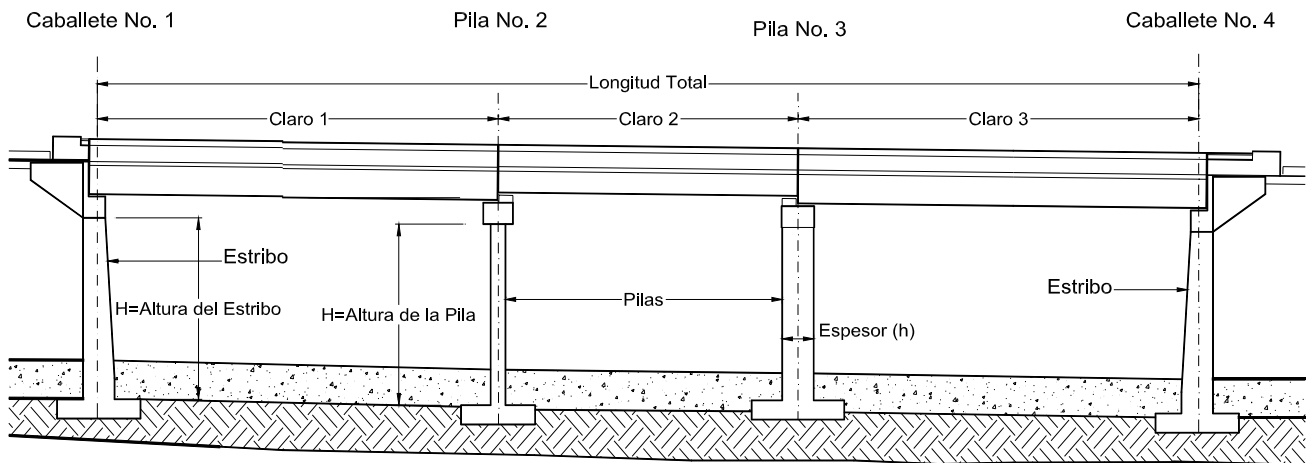


Figura 2.16 Sección transversal de un puente

En la Tabla 2.13 se muestran algunos datos de las alturas de algunos puentes y el resultado de sus relaciones (H mayor / H menor), donde dicha relación representa al igual que la Figura 2.15 (relación de las longitudes de los claros) la diferencia de alturas de un apoyo a otro en un mismo claro, indicando quizás lo accidentado de la superficie del terreno u obstáculos a salvar del puente como, puede ser una barranca muy profunda.

Tabla 2.13 Ejemplo de algunos datos de alturas de puentes con su respectiva relación

H-Mayor M	H-Menor m	Relación H+ / H-
5	5	1.00
3	2.4	1.25
2.7	2.2	1.23
2.1	2.1	1.00
3	3	1.00
12.3	6.2	1.98



Al igual que en la relación L-Claro Mayor / L-Claro Menor, si la relación es de uno (por ejemplo: $5 / 5 = 1.00$) significa que ambos apoyos tienen la misma altura por lo que quizás la superficie del terreno es muy plana y de acuerdo a la Tabla 2.14 esto normalmente se cumplió para la mayoría de los puentes, y cuando la relación resultó fraccionaria esto indica que ambos apoyos tienen un cierto porcentaje de diferencia entre sus alturas (por ejemplo: $12.30 / 6.20 = 1.98$ por lo que para este caso hay una diferencia entre alturas del 98%), y dado que no todos los puentes contaban con estos datos entonces la gráfica de la Figura 2.17 se obtiene de los datos registrados en la Tabla 2.14, tomando el total de los valores de las columnas de H-Mayor y H-Menor de la Tabla 2.1.

Tabla 2.14 Relaciones de alturas de los apoyos de los puentes

No. Puentes	Relación H+/H-
93	1
36	1-1,5
4	1,5-2

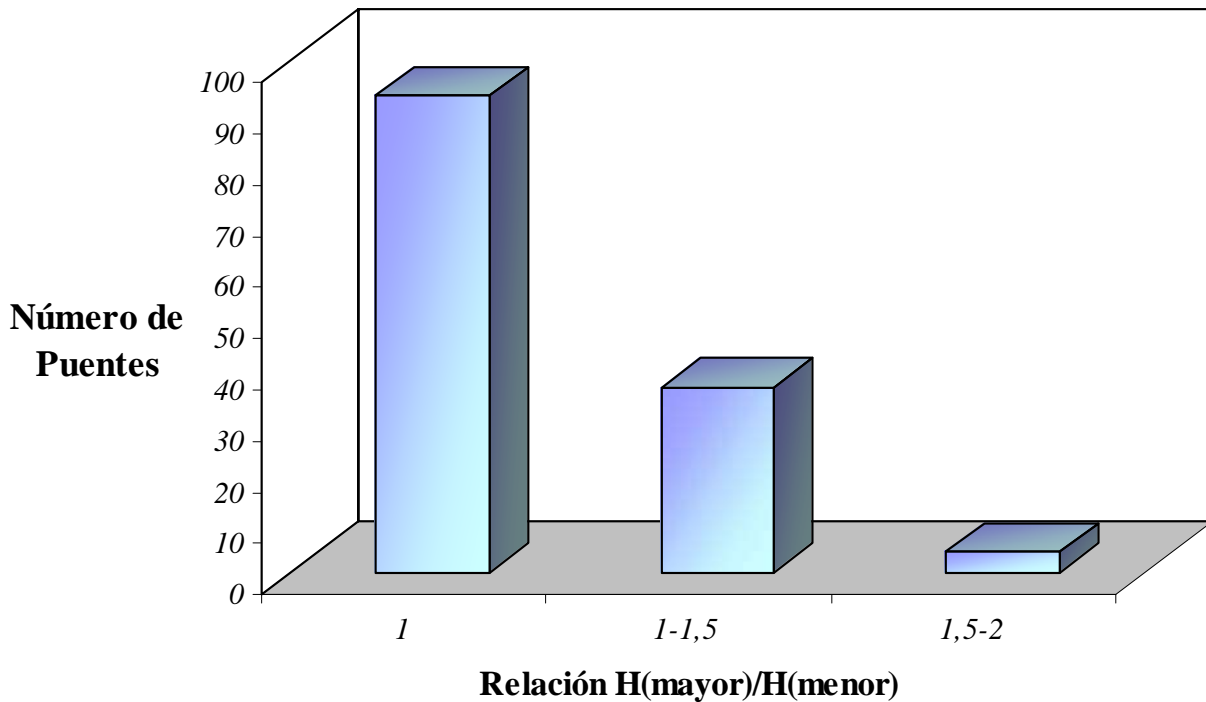


Figura 2.17 Relación de alturas de los apoyos

Como puede observarse en la Figura 2.17 la mayor cantidad de puentes (93) tienen una relación entre alturas de sus apoyos de uno, por lo que puede ser que no necesariamente se trate de salvar accidentes topográficos y que más bien puede que sean puentes PIV (Paso Inferior Vehicular), PSV (Paso Superior Vehicular), PSF (Paso Supero Ferroviario), PIF (Paso Inferior Ferroviario) o cualquier otra estructura que se quiera o necesite habilitar al tráfico vehicular, ya que normalmente cuando se requiere salvar algún accidente topográfico las depresiones tienden a ser muy irregulares.

En la Figura 2.19 se tiene también la relación de esbeltez del apoyo de mayor altura (H en metros) ya sea en estribo o pila, tomando como valores además de la altura su ancho (h en centímetros) de la pila o estribo como se observa en el esquema de la Figura 2.18.

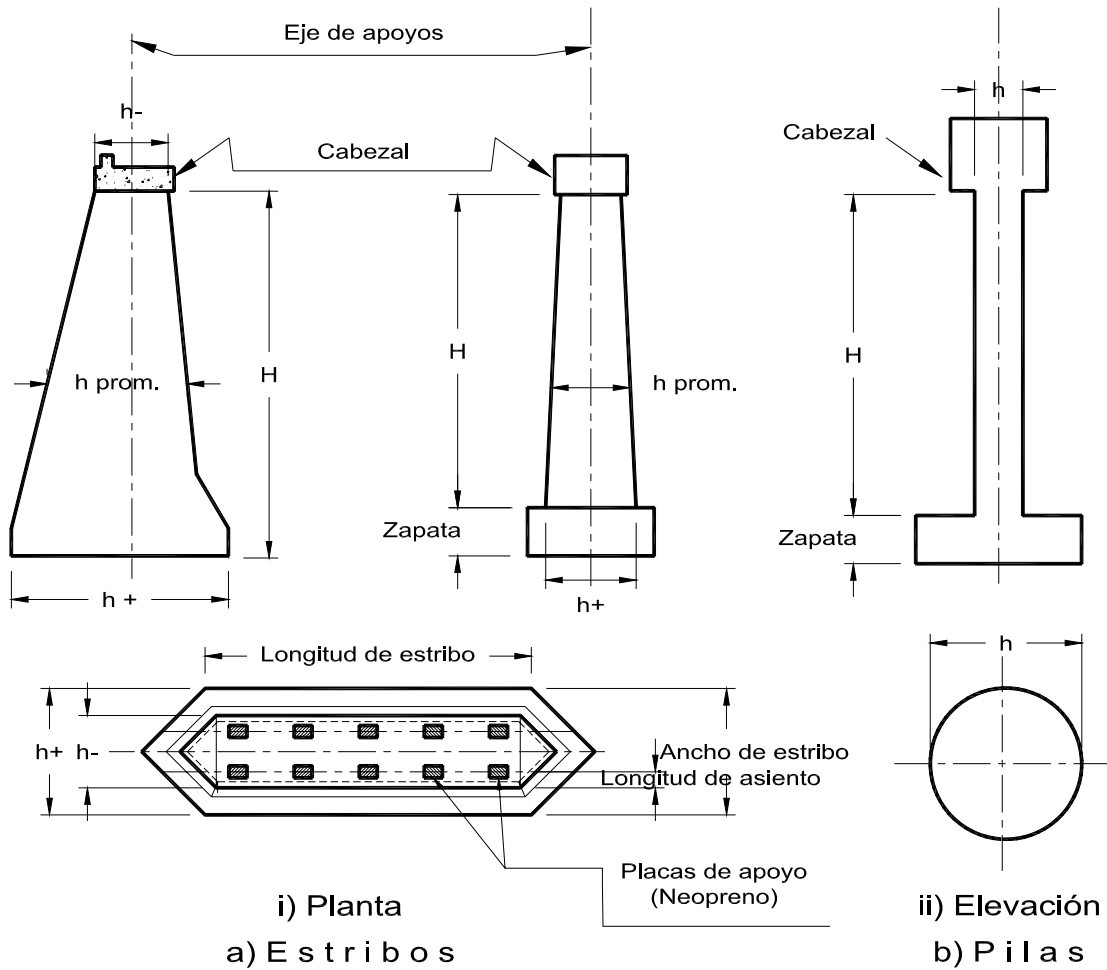


Figura 2.18 Croquis de apoyos extremos e intermedios (estribos y pilas)

En la Tabla 2.15 se muestran valores de alturas (H en metros) y anchos de apoyos (h en centímetros) de algunos puentes (en el registro de la Tabla 2.1 se tienen todos los datos de todos los puentes).

Tabla 2.15 Ejemplo de algunos datos de alturas y espesores de los apoyos de los puentes

$h = B(b-s)$ cm	H-Mayor m
120	5,45
170	5,15
60	7,34
120	6,64
60	7,34
170	4,17
120	4,47
170	4,17



Para tomar el ancho efectivo (h) en los estribos dado que fueron pocos en comparación con las pilas que eran de mayor altura (es decir porque la altura mayor fue en pilas) y también por que en la mayoría de los estribos el ancho en la base (B_b) era relativamente pequeño comparado con el ancho en la parte superior (B_s) por esta razón no se tomo el promedio de los anchos (h promedio = $B_b+B_s / 2$, $B_b=h+$ y $B_s=h-$ como se observa en la Figura 2.18) dado que la diferencia es poca y como para la Figura 2.18 esta relación de esbeltez se expresó en porcentaje y el intervalo que se tomó fue de 10% pues con mayor razón no influye mucho el haber tomado el ancho mayor del estribo.

En la Figura 2.19 podemos ver la representación de las relaciones de esbeltez con respecto al número de puentes registrados en la Tabla 2.16.

Tabla 2.16 Clasificación de los puentes por su esbeltez

No Puentes	Relación de Esbeltez ($h/H=%$)
9	<10%
19	10-20%
14	20-30%
8	30-40%
7	>40%

Para poder entender la representación de la relación de esbeltez en los apoyos ya sean extremos o centrales podemos imaginarnos que si por ejemplo tenemos como resultado un valor del 100% esto nos indicaría que la altura y el ancho del apoyo es el mismo (por ejemplo ($h/H = 1m / 1m = 1 = 100%$)) que realidad esto no es posible por que entonces simplemente no habría puente, más sin embargo si reducimos el ancho del apoyo ($B = h$) el porcentaje es menor, esto nos indica entonces que a medida que se reduce el porcentaje es más esbelto el apoyo.

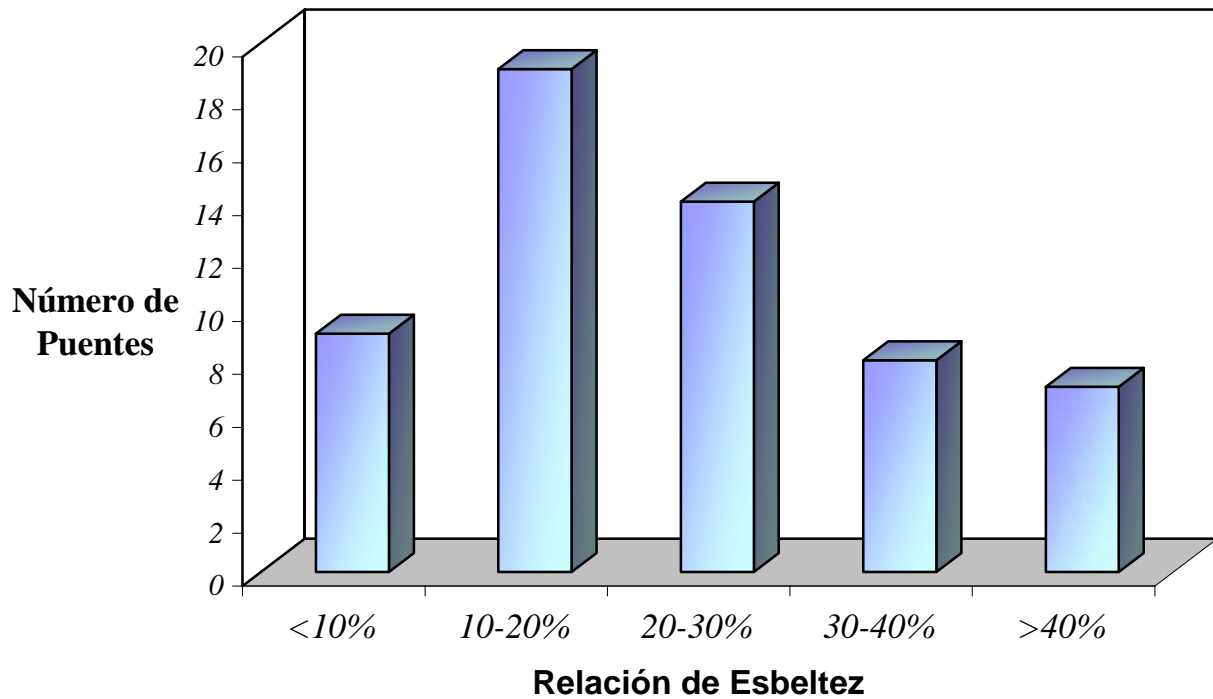


Fig. 2.19 Relación de Esbeltez

2.10 COMPARATIVA ENTRE LONGITUD DE ASIENTO REAL Y LA CALCULADA

En la Figura 2.20 se representó la longitud de asiento real de los cuales sólo 72 puentes son los que se muestra en la siguiente Tabla 2.17 del total de puentes registrados.



Tabla 2.17 Clasificación por su 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

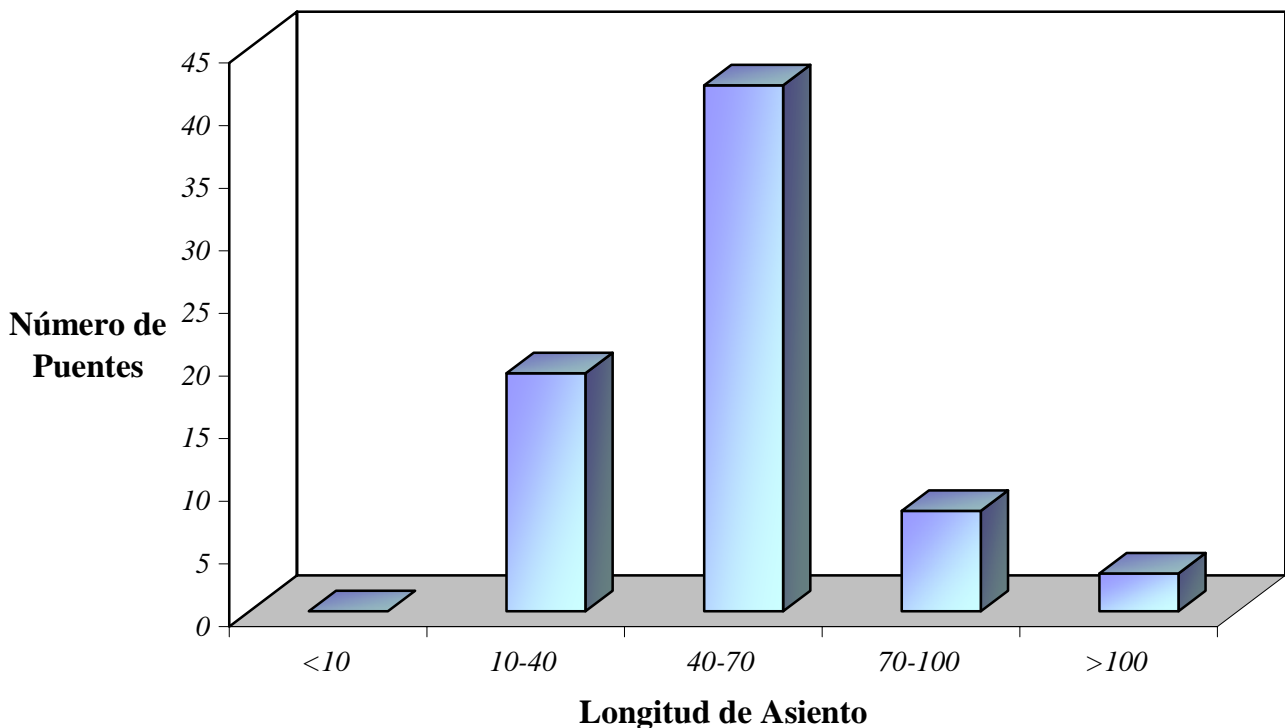


Figura 2.20 Longitud de Asiento Real de los Puentes

Una vez obtenida la grafica de las longitudes de asiento real, posteriormente se tiene la relación de las longitudes de asiento especificada por la AASHTO y la real de las vigas de los puentes, la cual se muestra en la Figura 2.21. En donde sólo los datos registrados corresponden a los planos de los proyectos analizados ya que los registros SIPUMEX no se menciona este dato.



Para la Figura 2.21 se obtuvo primero la longitud de asiento especificada por la AASHTO con las ecuaciones:

$$N = (305 + 2.5L + 10H) (1 + 0.000125S^2) \text{ (mm)} \quad (2.1)$$

$$N = (12 + 0.03L + 0.12H) (1 + 0.000125S^2) \text{ (Pulg)} \quad (2.2)$$

Donde: N es la longitud de asiento en milímetros ó pulgadas según la ecuación correspondiente, L la longitud del claro mayor en metros ó pies, H la altura de la pila o estribo (para el caso se promedia la altura mayor y la menor) en metros ó pies, S el ángulo de esviaje en radianes.

En la Tabla 2.18 se registran algunos valores de la longitud de asiento real y la longitud de asiento especificada por la AASHTO y se observan las diferencias de longitudes.

Tabla 2.18 Ejemplo de algunos datos de la longitud de asiento real y calculada tomados de la Tabla 2.1

L-Asiento (real) cm	L-Asiento-(AASHTO) cm
33	39.64
76	34.06
76	34.12
52	45.56
56	45.66
56	44.28
50	43.48
52	41.91
46	42.77
48	52.20
48	51.60
48	52.20
40	46.99
40	47.63



En la Figura 2.21 se representa la relación entre la longitud de asiento real y la especificada por la AASHTO, dicha relación indica que tan desfasada está una longitud real a la especificada, ya que los puentes registrados son puentes reales ya construidos por lo que así se puede hacer una comparativa grosso modo, si los puentes construidos cumplen esta especificación o no.

Entonces a partir de los valores obtenidos de ambas longitudes de asiento se construye la Tabla 2.19 relacionando el números de puentes con dicha relación expresada en porcentaje, teniendo en cuenta también que hay bastantes puentes en los cuales no se tienen algunos datos de la formula o la longitud de asiento real.

Tabla 2.19 Clasificación por la relación de longitudes de asiento de los puentes

No. Puentes	Lrea/Laashto
84	S/R
39	<0%
20	0-50%
5	50-100%
6	100-200%
2	>200%

Como ya se menciona la relación de las longitudes de asiento indica si la longitud real es igual, mayor o menor a la especificada por la AASHTO, por lo que para entender cual es el caso, partamos de que ambas longitudes de asiento son iguales; esto indicaría que la relación es unitaria ($52\text{cm} / 52\text{cm} = 1$) y no se tendría diferencias. Más sin embargo si la relación indicara un valor fuera de la unidad entonces tendría una diferencia, por ejemplo si tenemos una longitud real de 48cm y la formula de la AASHTO resulta de 52.20cm al hacer la relación esta quedaría: $48/52.20 = 0.92$, que como vemos en la relación el numerador indica la longitud real y el denominador el valor de la AASHTO, por lo que en este



caso el numerador es menor que el denominador por lo tanto la longitud de asiento real no cumple con lo propuesto por la AASHTO y el resultado de la relación indica que está escasa. Ahora para el ejemplo, como la relación fue 0.92 la longitud real esta escasa en un 8 %, y viceversa si en la relación el resultado fuera por ejemplo de 1.68 se tiene que en la relación el numerador tendría que haber sido mayor por lo que estaría sobrada la longitud especificada por la AASHTO 0.68 veces, es decir 68%.

En la Figura 2.21 se observa que además de que existe un gran número de puentes sin registro (S/R), la mayoría de los que si están registrados no cumplen con lo especificado por la AASHTO.

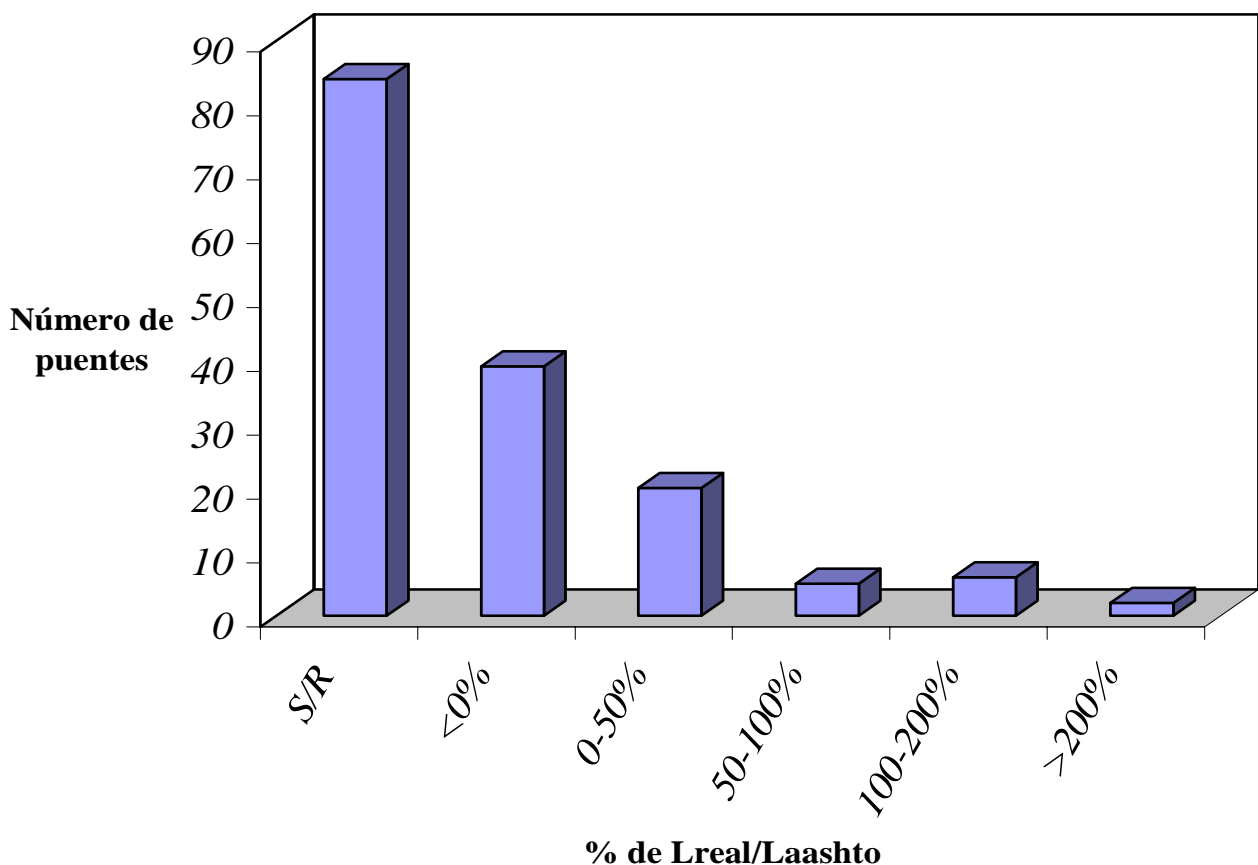


Figura 2.21 Relación entre longitud real y la longitud especificada por la AASHTO



En el croquis de la Figura 2.18 muestra como se tomo la longitud de asiento real de los elementos tanto en estribos como en pilas.

2.11 TIPOS DE APOYOS

Con respecto a las placas de apoyo o aisladores sísmicos, como son puentes hechos a partir de losas, vigas y estribos o pilas, y la mayoría están simplemente apoyados, estas placas no son muy variadas y constan principalmente de placas de neopreno, junta de construcción, mecedoras de acero y concreto. En la Tabla 2.20 sólo se muestran los dos principales tipos y en otro renglón se consideraron los restantes, los cuales son pocos con respecto a los de neopreno y la junta de construcción.

Tabla 2.20 Tipos de apoyos para puentes

No. Puentes	Tipo-Apoyo	Símbolo
93	Neopreno	NE
34	Junta de construcción	JC
12	Otro	OT

En la Figura 2.22 y la Tabla 2.20 se observa que la mayoría de los puentes tienen placas de neopreno. También se observa que la mayoría de los puentes están simplemente apoyados.

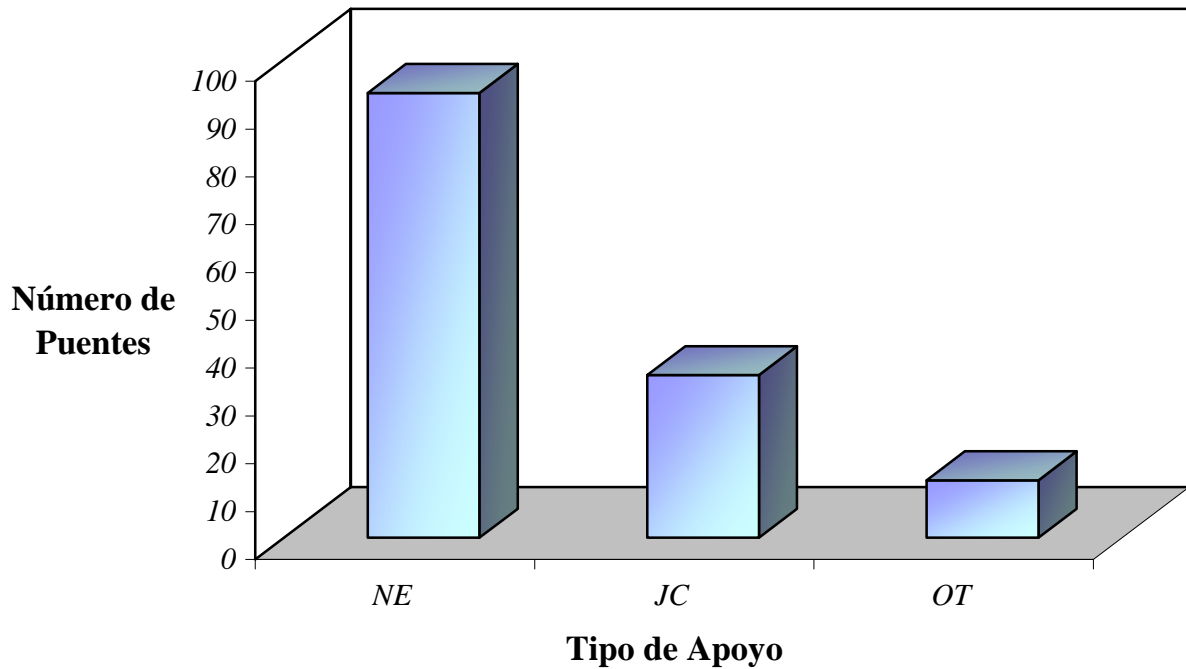


Figura 2.22 Tipo de placas de apoyos

En la Figura 2.23 se muestran algunas placas de neopreno con sus dimensiones y características de sus materiales, donde L es su longitud, M su ancho, y su espesor el cual puede ser de diferente espesor que en el caso de los puentes registrados sólo se tienen de 2.5, 4.1 y 5.7 cm de espesor. Y en Figura 2.18 se puede ver su colocación en los estribos para recibir las trabes.

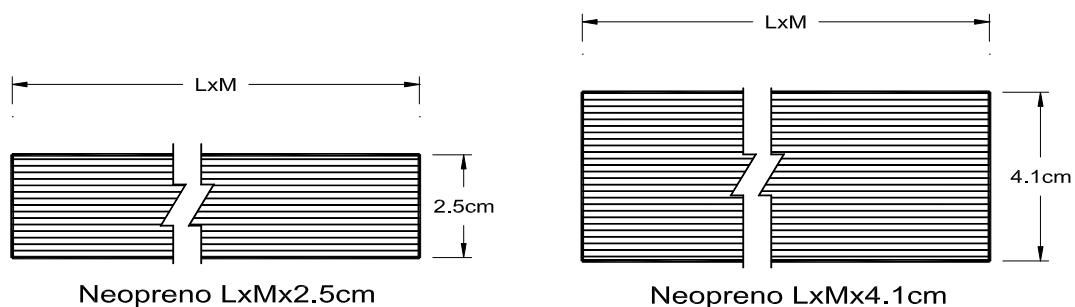


Figura 2.23 Placas de apoyo de neopreno

2.12 CLASIFICACIÓN DE ACUERDO A SU ZONA SÍSMICA

Por ultimo tenemos la grafica que representa la zona sísmica donde se encuentran ubicados los puentes en la republica mexicana, donde dicha ubicación se realizo a partir de la ubicación geográfica que se indica en los planos de los proyectos de los puentes, ubicándolos posteriormente en el mapa de las zonas sísmicas de la Republica Mexicana el cual se muestra es la Figura 2.24.

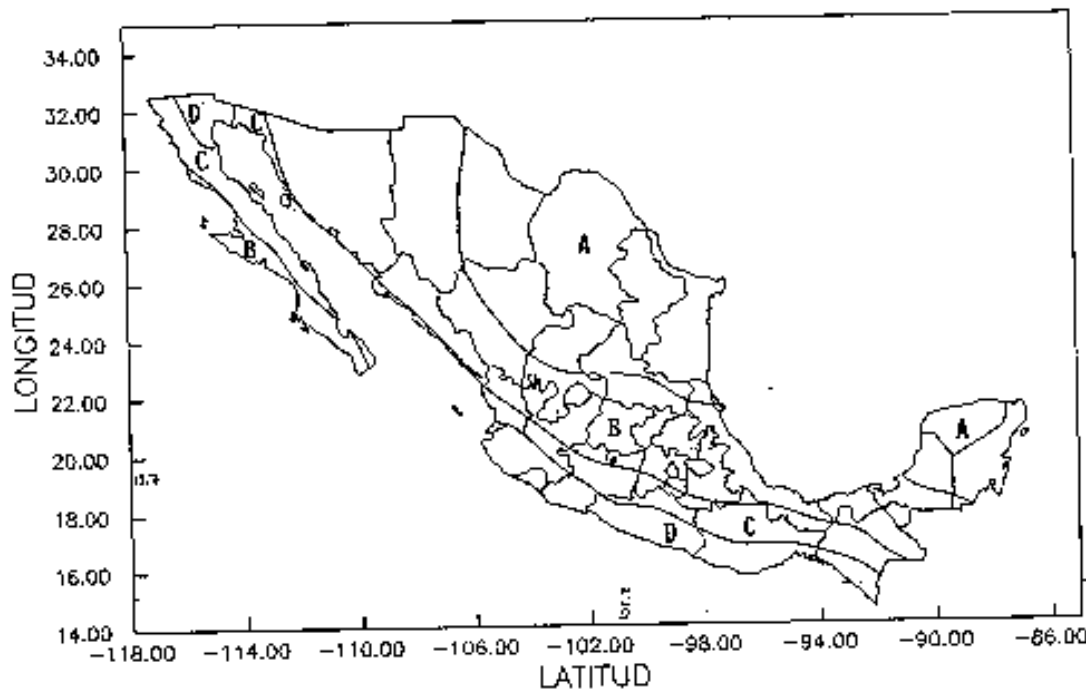


Figura 2.24 Regionalización Sísmica de la Republica Mexicana

En la Figura 2.25 se pretende examinar a que tipo de zona corresponden la mayoría de los puentes registrados que como podemos ver la mayoría quedan comprendidos en la zona A y B. En la Tabla 2.1 se indican específicamente la ubicación de cada puente analizado.

Tabla 2.21 Clasificación por la zona sísmica de los puentes

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

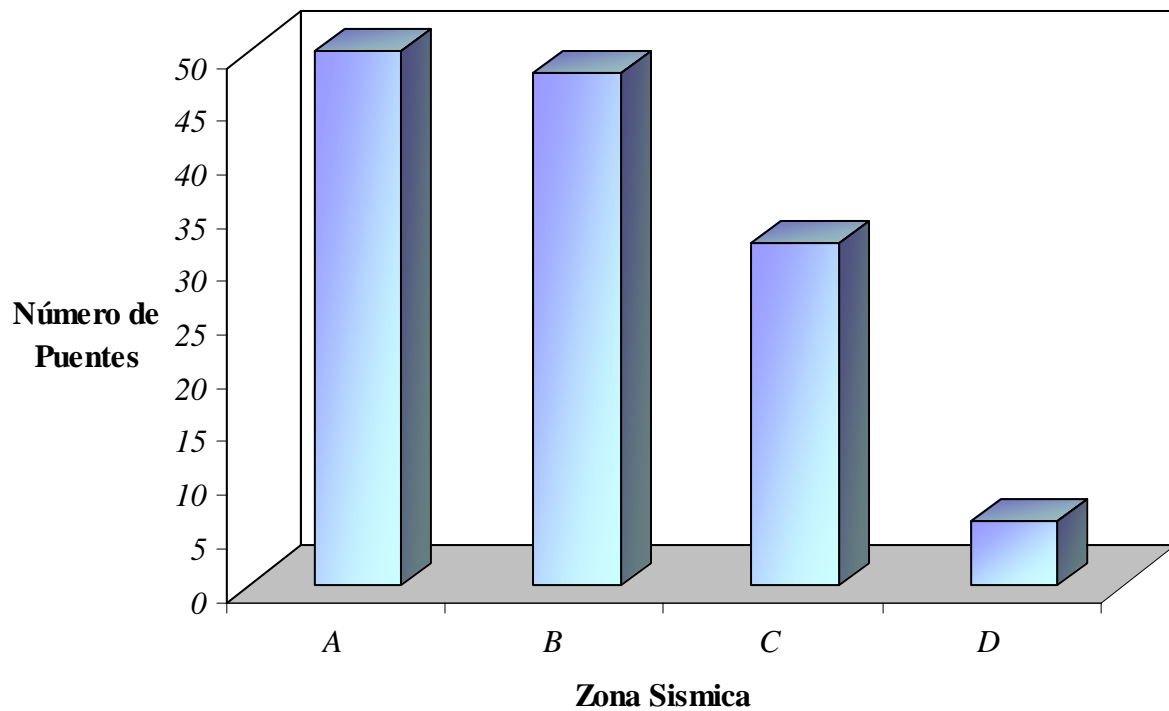


Figura 2.25 Ubicación de los puentes en las zonas sísmicas

Con las graficas de este capítulo se pretende tener una información general de los puentes en México. Teniendo por objeto hacer un esquema de las características principales de los puentes en México para los posteriores proyectos y revisiones de los mismos.



CAPÍTULO III

PRUEBAS DE VIBRACIÓN

AMBIENTAL

3.1 DESCRIPCIÓN DE LOS PUENTES PIV ESTUDIADOS

En el estudio de vibración ambiental se consideraron los puentes PIV (Paso inferior vehicular) que se encuentran ubicados en los kilómetros 206 y 239 de la autopista Morelia – México; en el tramo Morelia – Maravatío.

En el puente Maravatío ubicado en el kilómetro 206 de la autopista Morelia – México, se realizaron en campo las mediciones geométricas de todos los elementos que lo forman con el fin de realizar el modelo matemático del mismo, ya que no se disponía de los planos estructurales. La sección transversal del puente esta construida a base de una losa monolítica y 6 vigas tipo AASHTO unidas entre si por un diafragma de concreto reforzado (Figura 4.3 y 4.6) con una longitud de calzada de 41.00m y una longitud de claros de 20.50m (dos claros), un ancho total de 10.00m, el puente esta simplemente apoyado sobre placas de neopreno los cuales a su vez descansan sobre un muro de mampostería de piedra y cabezal de concreto reforzado en sus extremos (Figura 4.7) y su apoyo intermedio consta de una pila circular de concreto reforzado con cabezal de sección variable de 1.00m de ancho.



En la Figura 3.1 se muestran las dimensiones del puente Maravatío tanto en planta como en elevación.

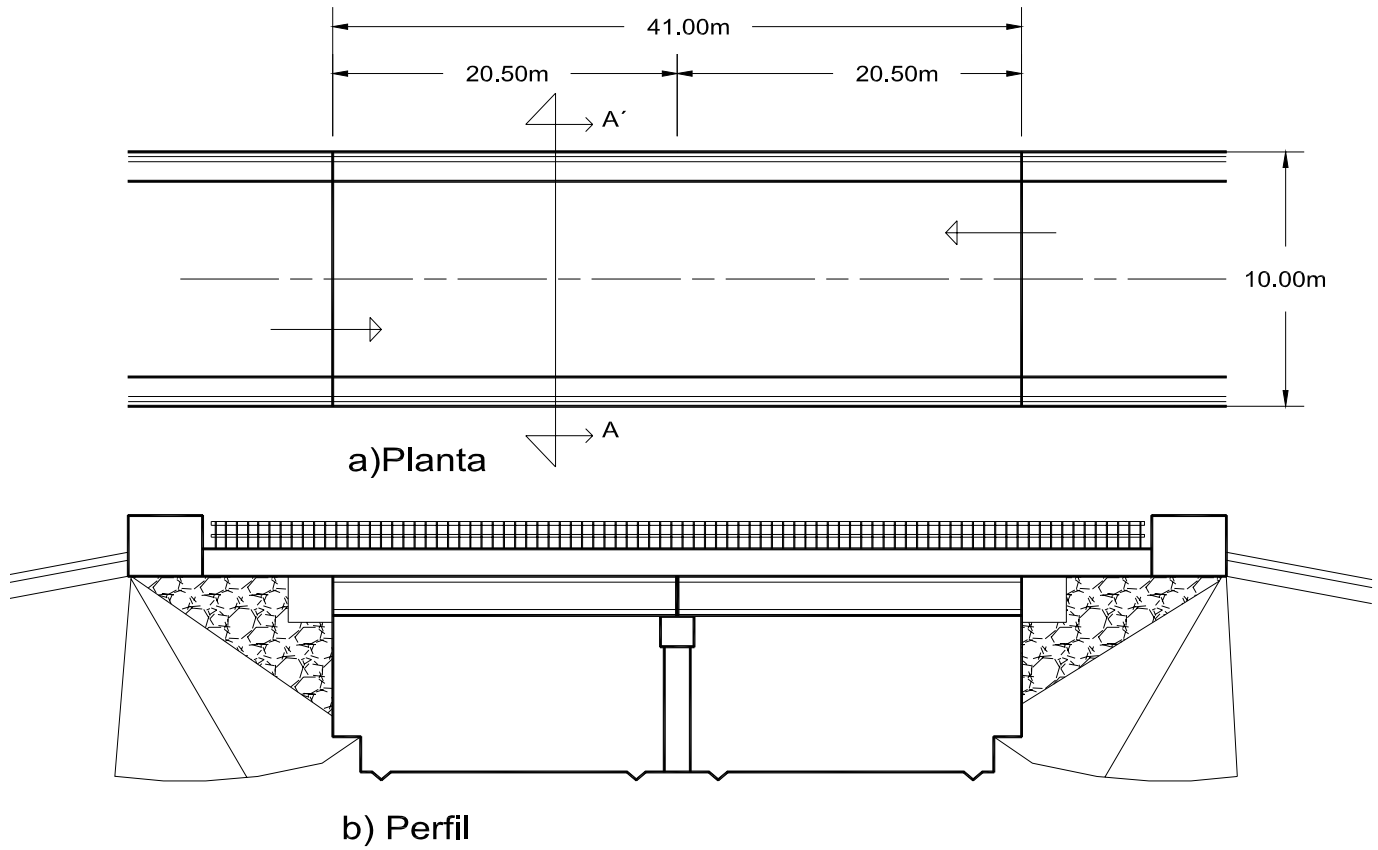


Figura 3.1 Dimensiones del puente en conjunto



En la Figura 3.2 se muestra el puente Maravatío durante el momento de realizar las mediciones de sus elementos, en ella se observa la forma y ubicación de sus elementos y su ubicación longitudinal no presenta un fuerte grado de esviaje con respecto a dirección de la cinta asfáltica. Aunque en la Figura 3.2 no se alcanza a observar que el puente presenta un cierto tráfico vehicular, es conveniente mencionar, que en el lapso de la medición se presentó poco tráfico vehicular ligero.



Figura 3.2 Sección del puente Maravatío km 206.

En la Figura 3.3 se observan las dimensiones de cada elemento de las sección transversal del puente (corte transversal A-A') en el apoyo intermedio como son parapetos, vigas, losa, diafragma, pila y cabezal.

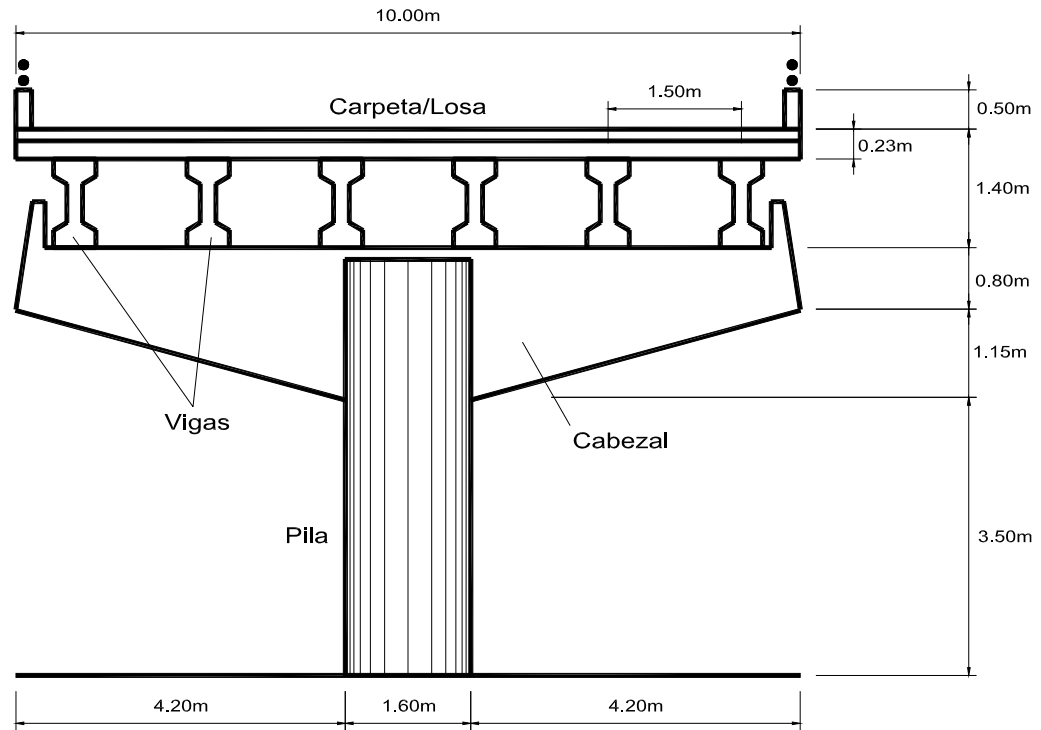


Figura 3.3 Croquis de la sección transversal en la pila intermedia.

En la Figura 3.4 se muestra la fotografía del apoyo intermedio del puente.



Figura 3.4 Sección de la pila intermedia del puente.

En sus extremos, el puente Maravatío tienen estribos de mampostería donde está apoyado el puente como se observa en la Figura 3.5 donde además de los elementos de la estructura del puente se muestran los taludes de protección de los terraplenes.

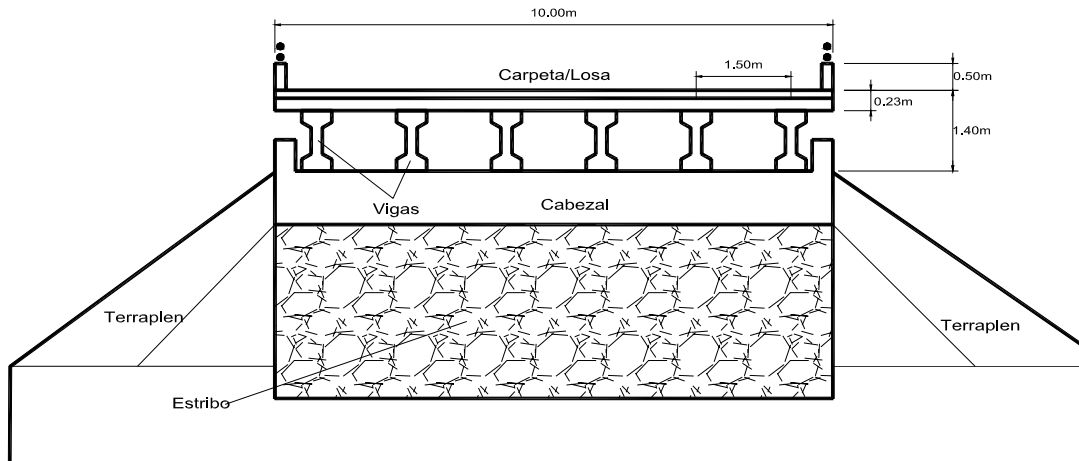


Figura 3.5 Croquis de la sección transversal en estribo.

En la Figura 3.6 se observa el tipo de apoyo extremo y la colocación de las vigas sobre él.





Dado que el tipo de estructura es a base de losa y vigas se tienen en este puente una disposición de 6 vigas de concreto reforzado, (no se tiene la información si las vigas son pretensadas o postensadas), la sección transversal real de la viga I se muestran en la Figura 3.7.

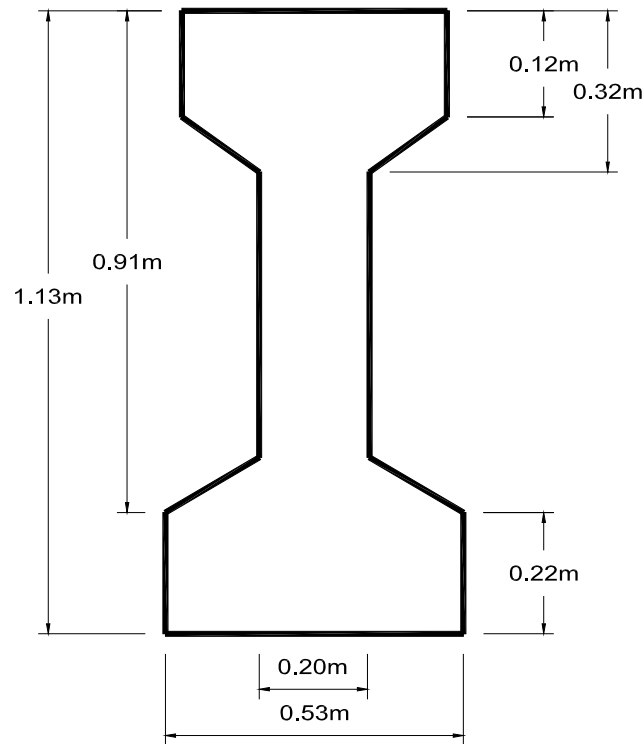


Figura 3.7 Dimensiones de las vigas I en el puente Maravatío km 206



Al igual que para el puente Maravatío se realizó el levantamiento de las dimensiones geométricas para el puente ubicado en el kilómetro 239, el cual tiene en su tablero una losa y 3 vigas tipo AASHTO prefabricadas de concreto reforzado, tiene una longitud de calzada de 53.70m y longitud de claros de 26.85m, con ancho total de 5.85m, cuenta con apoyos en los extremos a partir de estribos y cabezal de concreto reforzado, un apoyo intermedio de una pila circular de concreto reforzado con cabezal de sección variable de un ancho de 1.40m, las vigas descansan simplemente apoyas sobre placas o aisladores de neopreno.

Esta Figura 3.8 muestra un croquis tanto de la planta como de la sección en perfil del PIV así como algunas dimensiones del mismo.

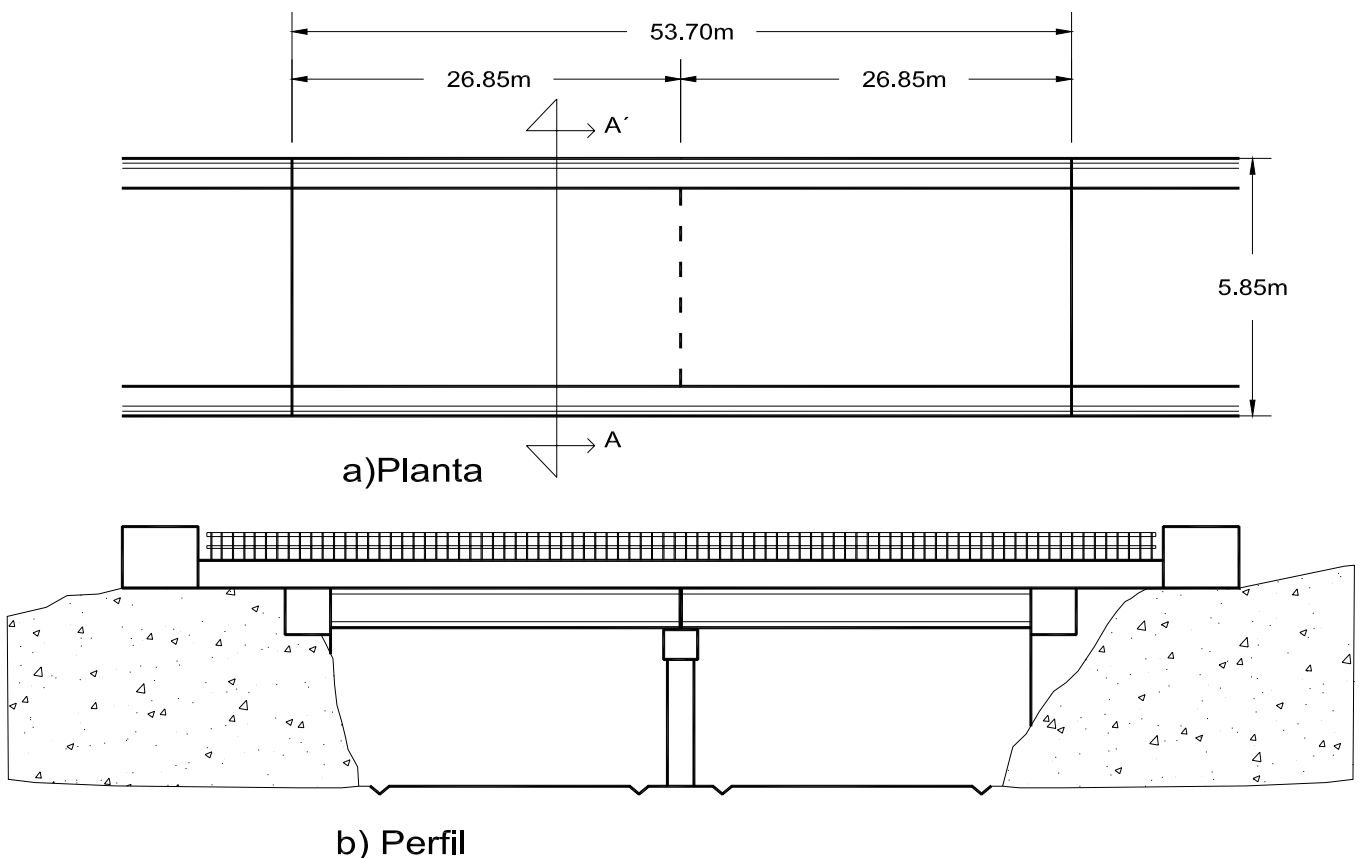


Figura 3.8 Dimensiones del puente Maravatío ubicado en el km 239



En la Figura 3.9 se presenta la sección longitudinal del puente que a diferencia del puente Maravatío km 206 al parecer no tiene tráfico vehicular dado que no muestra una continuación de camino en ambos extremos, más bien se puede considerar que es utilizado para el cruce de ganado.



Figura 3.9 Sección del puente Maravatío km 239.

En la Figura 3.10 se observan el apoyo intermedio y las dimensiones de cada elemento de las sección transversal como son parapetos, vigas, losa, diafragma, pila y cabezal además se tiene su elevación con respecto a la superficie de rodamiento (corte transversal A-A')

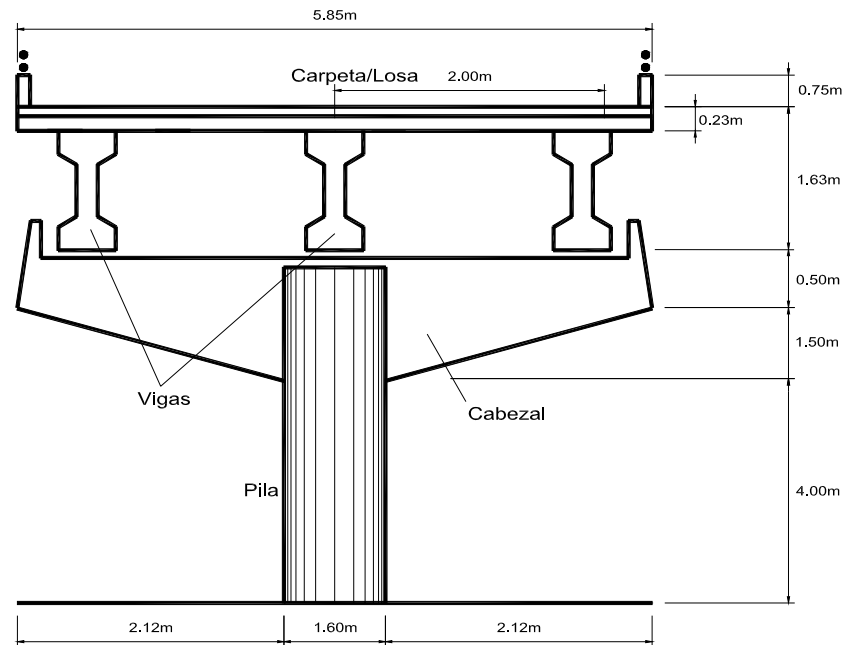


Figura 3.10 Croquis de la sección transversal en la pila central.

El apoyo intermedio consta de una pila circular de concreto reforzado y un cabezal del mismo material como se muestra en la Figura 3.11



Figura 3.11 Sección de la pila central.



En los extremos el puente Maravatío km 239 tiene estribos de concreto como se observa en la Figura 3.12

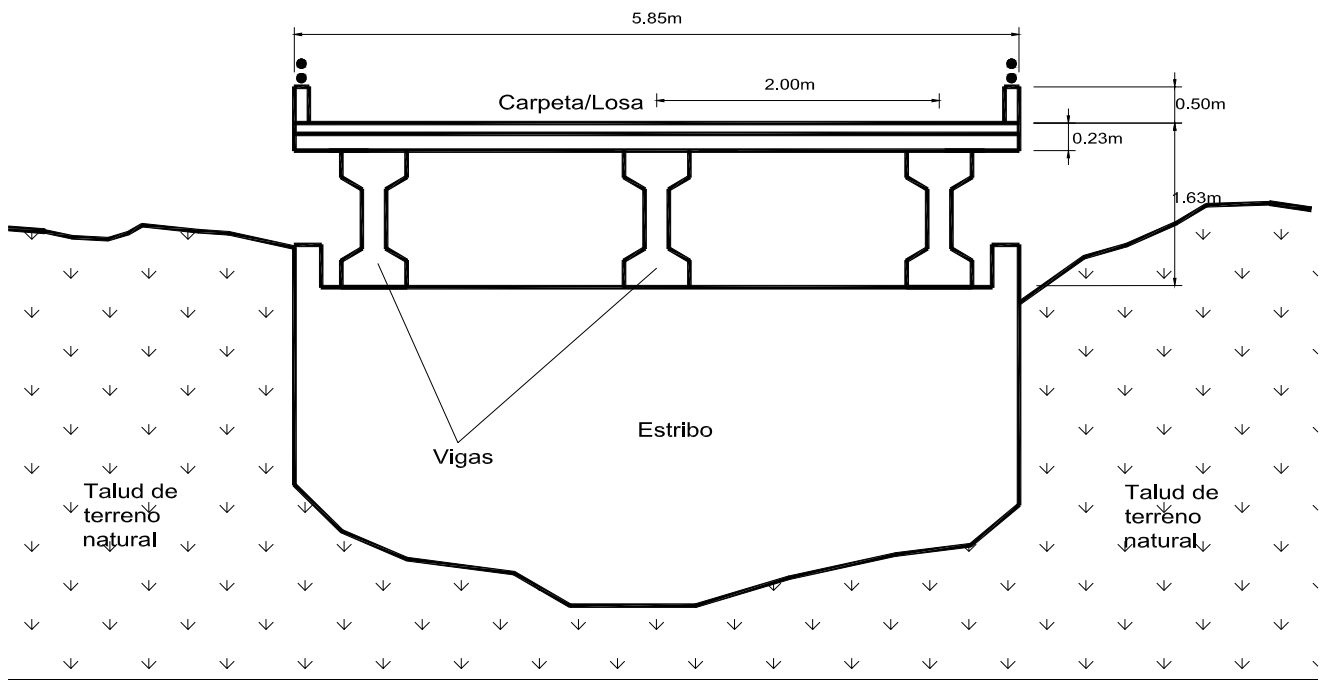


Figura 3.12 Croquis de la sección transversal en estribo.

En la Figura 3.13 se observa el estribo de concreto desplantado sobre un terreno aparentemente duro.



Figura 3.13 Estribo lateral de concreto.



Sobre el estribo se apoyan las 3 vigas I de concreto reforzado que se muestran en la Figura 3.14 mostrando las dimensiones de toda la sección transversal.

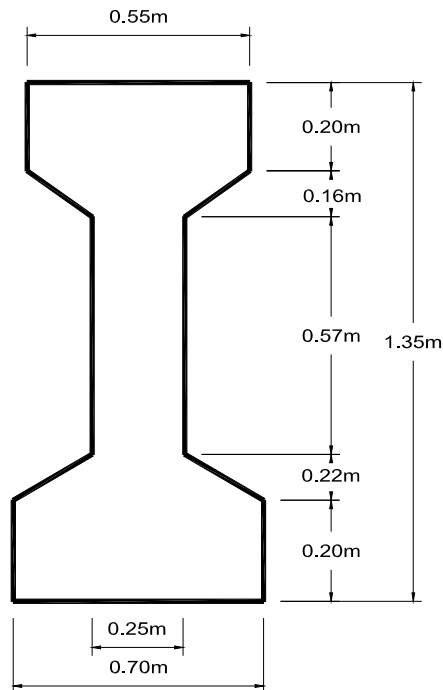


Figura 3.14 Dimensiones de las vigas I del puente Maravatío km 239.

3.2 PRUEBAS DE VIBRACIÓN AMBIENTAL EN LOS PIV

Las pruebas de vibración ambiental consisten en medir las vibraciones en las estructuras producidas por las sollicitaciones de carácter ambiental como puede ser el debido al tránsito de vehículos, viento ó sismos. En este trabajo se colaboró en las pruebas de vibración ambiental de los dos puentes PIV anteriormente descritos en los subtemas (3.1). Ambos puentes están excitados por el paso de vehículos, ya que son poco susceptibles al paso del viento.

Entonces una vez en el lugar (PIV) se realizaron los estudios de vibración libre en los puentes empleando un equipo de vibración ambiental (Figura 3.15).

3.2.1 Equipo de medición de vibración ambiental

Para hacer las mediciones en vibración ambiental de los puentes se emplearon sensores de movimiento uniaxiales y triaxiales los cuales están fijos sobre una placa de aluminio de 0.35 x 0.35 x 0.025m (Figura 3.15), cada uno de los aparatos debe estar conectado por un cable blindado (cada extensión con tres conectores para cada uno de los sensores que están unidos a la placa) y un sólo conector para el triaxial los cuales a su vez están conectados a una consola Kinematics Altus K2 y esta a su vez a una computadora que es donde se registran todas las lecturas de los aparatos a partir del programa Quick –Talk versión 2.4 (manual, Kinematics).



Placa con sensores uniaxiales



Placa con sensor triaxiales



Consola

Figura 3.15 Equipo de medición de vibración ambiental

3.2.2 Instrumentación de las pruebas

Para la colocación de los aparatos se hizo la distribución que se muestra en la Figura 3.16 y 3.17 teniendo la disposición de 3 placas con tres sensores cada una colocadas al centro y extremos del claro (sensores uniaxiales) y también una en la base del apoyo intermedio del puente (sensor triaxial), quedando estos al centro del ancho del puente.

Una vez colocadas las placas sobre la superficie de rodamiento se deben de orientar la posición de los sensores en la dirección X, Y, Z tomando como referencia la dirección longitudinal del claro como X, obsérvese en la Fig. 3.17 que cada sensor tiene una numeración la cual sirve para ubicación de las lecturas obtenidas. Esta misma colocación se hizo para los dos puentes.



Figura 3.16 Colocación de los aparatos

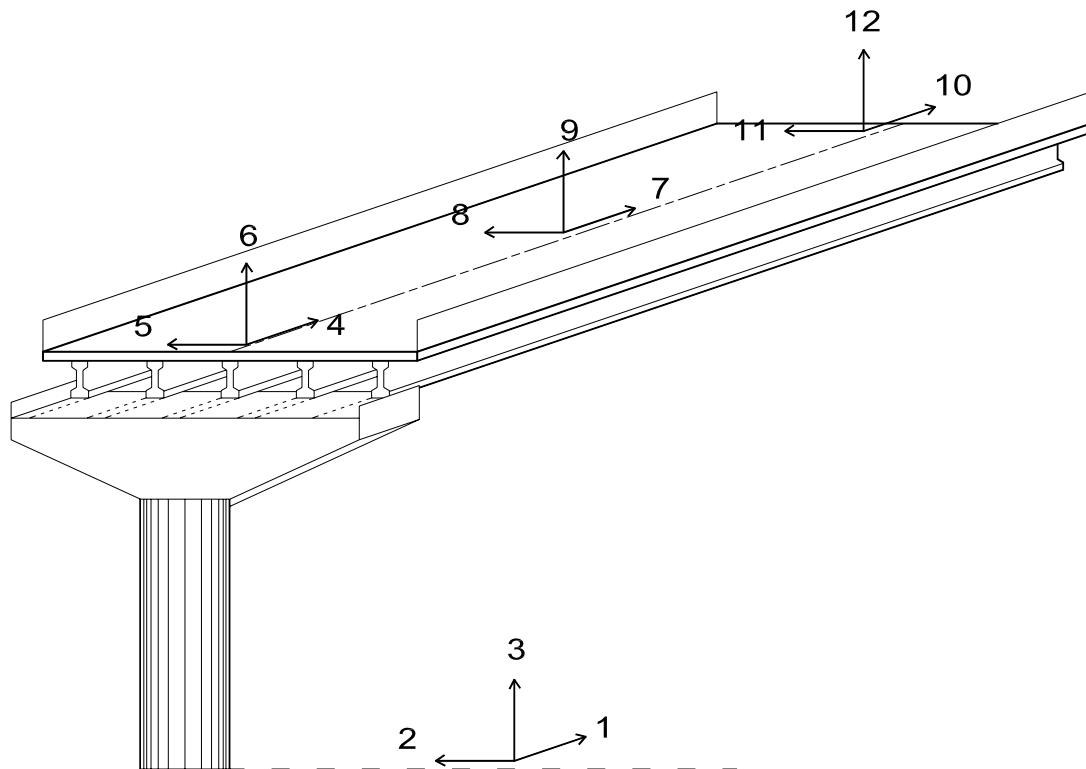


Figura 3.17 Numeración, ubicación y dirección de los sensores.

3.3 PROPIEDADES DINÁMICAS ANÁLITICAS DE CADA PIV

Con las propiedades geométricas levantadas en campo se realizaron los modelos matemáticos en SAP 2000 versión 9.3, de ellos se obtuvieron los modos de vibrar de los PIV Maravatío km 206 y km 239 los cuales se presentan en las Figuras 3.18 y 3.20, respectivamente.

El periodo natural, T , de una estructura se define como el tiempo que tarda el sistema en completar un ciclo en vibración libre, así mismo esta relacionado con la frecuencia natural, f , que se mide en ciclos por segundo (cps) por medio de:

$$T = 1/f \quad (3.1)$$

La frecuencia natural también se define como:

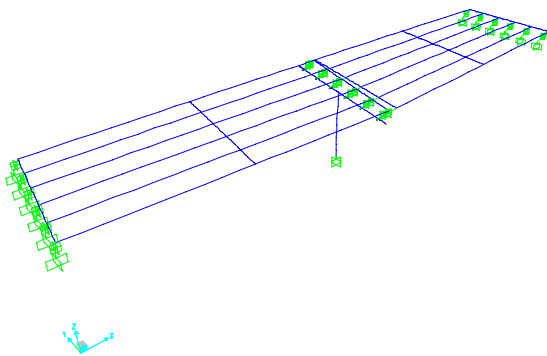
$$f = w / 2\pi \quad (3.2)$$

donde w es la frecuencia circular (rad/s).

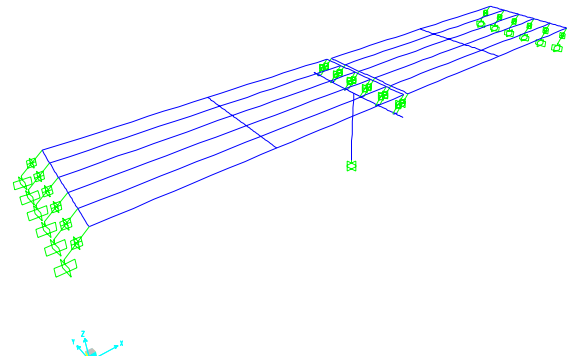
La frecuencia circular esta definida como:

$$w = (k/m)^{1/2} \quad (3.3)$$

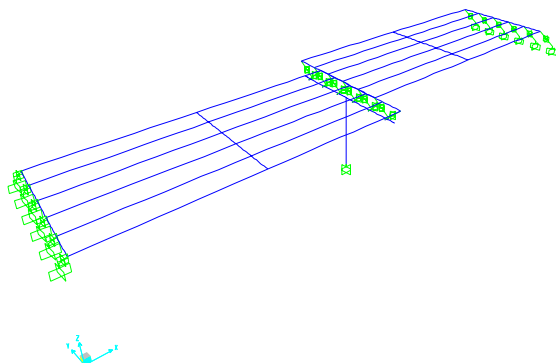
Donde k es la rigidez y m la masa de la estructura. Por lo tanto de acuerdo a la expresión se observa que el periodo de la estructura esta en función de la rigidez y la masa de la estructura y no de las fuerzas que actúan sobre ella. En la Figura 3.18 pueden observarse los desplazamientos representativos de la estructura que ya se modelaron y se presentan los primeros cuatro modos de vibrar mostrando cada modo el periodo (T en segundos) resultante para el puente Maravatío km 206.



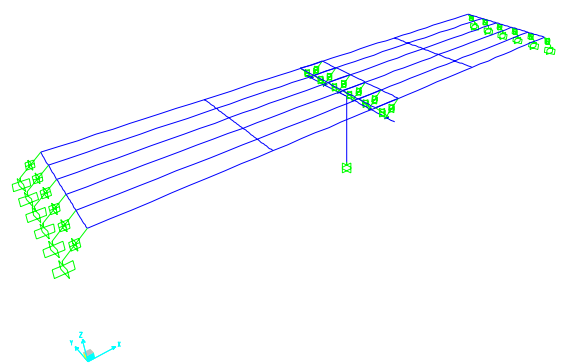
Modo 1 - Periodo 0.60 (s)



Modo 2 - Periodo 0.59 (s)



Modo 3 - Periodo 0.55 (s)



Modo 4 - Periodo 0.55 (s)

Figura 3.18 Modos de vibrar puente Maravatío km 206



En la Figura 3.19 se presenta la relación de modos y periodos para el puente Maravatío km 206, tomando los periodos de treinta modos que se obtuvieron de SAP 2000 versión 9.3, donde se observan claramente como los primeros modos presentan periodos mayores y aproximadamente a partir del sexto modo la variación de los periodos es poca y en la grafica tendería a ser una relación casi lineal.

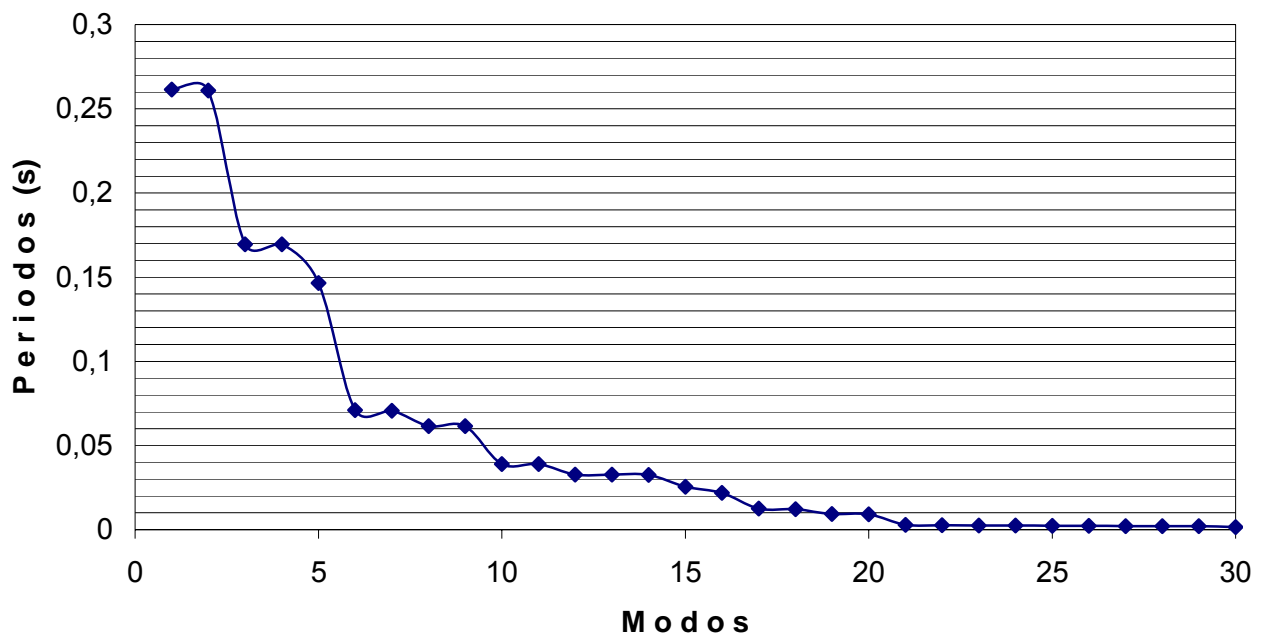
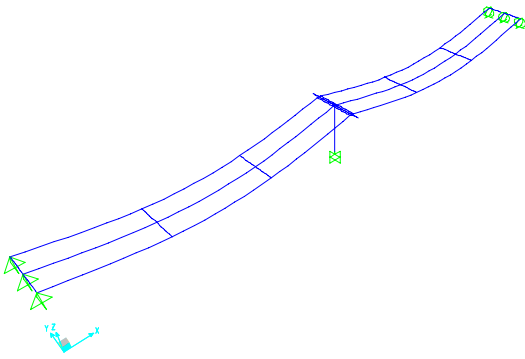
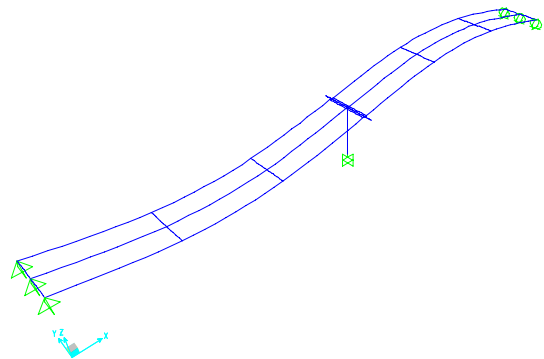


Figura 3.19 Relación Periodos – Modos del PIV Maravatío km 206

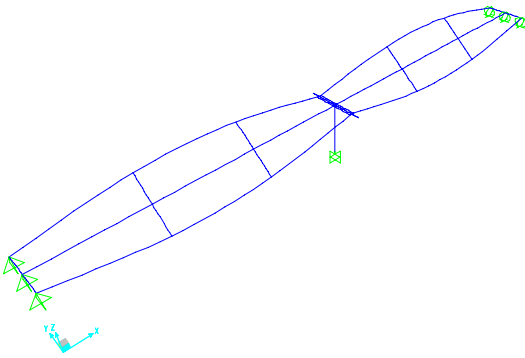
En la Figura 3.20 pueden observarse los desplazamientos representativos de la estructura que ya se modelaron y se presentan los primeros cuatro modos de vibrar mostrando cada modo el periodo (T en segundos) resultante para el puente Maravatío km 239.



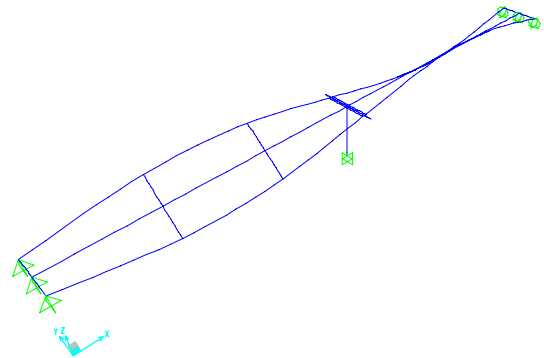
Modo 1 - Periodo 0.26



Modo 2 - Periodo 0.26



Modo 3 - Periodo 0.16



Modo 4 - Periodo 0.16

Figura 3.20 Modos de vibrar puente Maravatío km 239



En la Figura 3.21 se presenta la relación de modos y periodos para el puente Maravatío km 239, tomando los periodos de treinta modos que se obtuvieron de SAP 2000 versión 9.3, donde se observan claramente como los primeros cuatro modos presentan los periodos mayores y son muy aproximados, y a partir del octavo modo la variación de los periodos es poca y en la grafica tendería a ser una relación casi lineal.

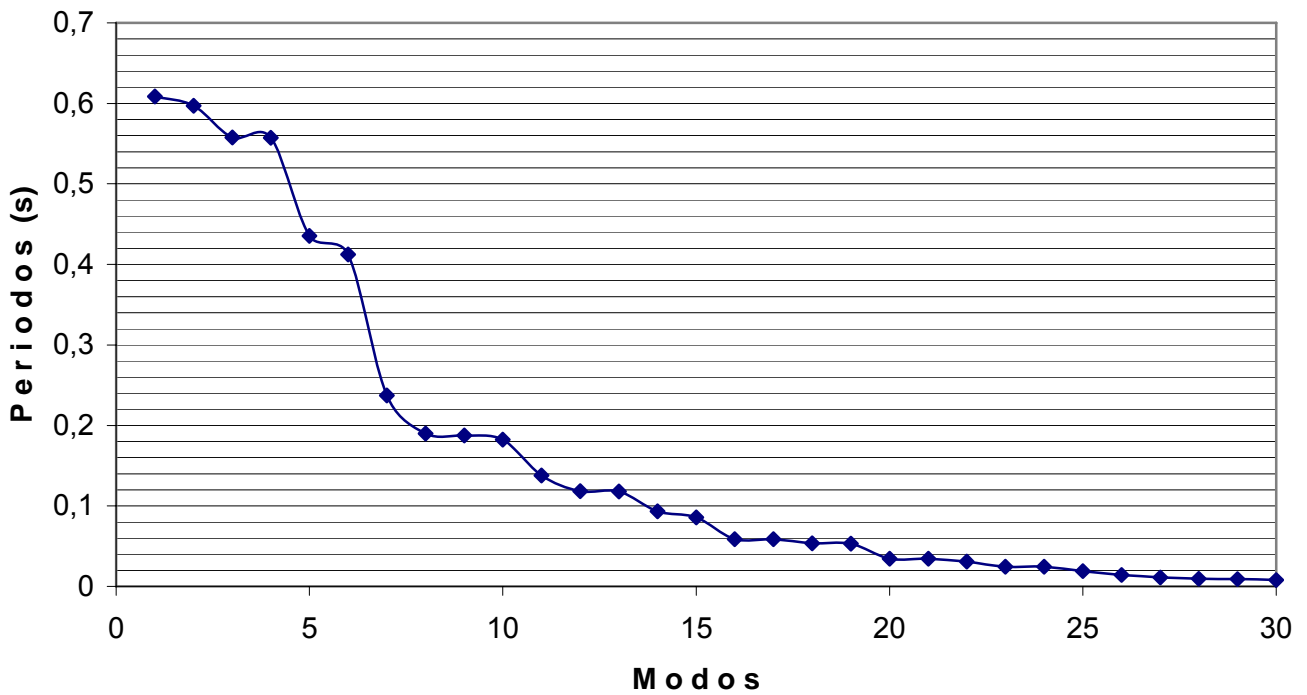


Figura 3.21 Relación Periodos – Modos del PIV Maravatío km 239



CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES

Del trabajo realizado se han mencionado algunas características de puentes en México que corresponden a proyectos realizados en empresas independientes y registros SIPUMEX, cabe señalar que de acuerdo a los registros de puentes que pueden existir actualmente en México (desconocida actualmente pero que de acuerdo a inventario SIPUMEX de 1982 que fue de 4500 puentes), consideremos que a la fecha existen una cantidad mayor debido al aumento de carreteras en el país, por lo que entonces se tomo una muestra relativamente baja de números de puentes (156 puentes) de los cuales solo los primeros 60 puentes que se muestran en la Tabla 2.1 se tomaron de los registros SIPUMEX, mientras que los restantes 96 puentes se registraron de planos de proyectos independientes a los SIPUMEX. Considerando un registro general (Tabla 2.1) se tomaron tanto para los formatos de registros SIPUMEX (Figura 2.1, 2.2, 2.3) y formatos de proyectos reales (Figura 2.4) los datos que en ellos se mencionan y que se vaciaron en la Tabla 2.1 para fin de hacer una clasificación de los puentes a partir de los datos registrados, de donde solo se clasifíco a partir de los números de puentes y los datos característicos de ellos, con el fin de tener una idea general de la situación de los puentes en México.

Para el estudio de vibración ambiental se tomaron puentes PIV los cuales son estructuras que como se menciona en el capítulo I son estructuras empleadas para darle solución al cruce de una vialidad que como su



nombre lo indica (Paso Inferior Vehicular) se construye en el cruce de una carretera de referencia por debajo de otra vialidad, y que su construcción depende de las condiciones topográficas y/o geométricas de la estructura.

Mencionemos que el fin de la tesis es tomar de puentes reales todas sus características tanto físicas como dinámicas, para esto se seleccionaron dos puentes PIV de la autopista Morelia – México ubicados en el kilómetro 206 y 239 (antes de Maravatío), los cuales de acuerdo a las sus dimensiones físicas cumplen con las características geométricas especificadas en el capítulo I y que en las Figuras 3.1, 3.2 y 3.9 pueden observarse para los dos puentes. Las mediciones de vibración libre de los puentes se tomaron con la ayuda de instrumentos de medición (sensores de movimiento uniaxiales y triaxiales conectados a extensiones que a su vez se conectan a una consola Kinematics Altus K2 de la cual se toman las señales a una computadora donde se procesa la información de los aparatos a partir del programa Quick –Talk versión 2.4), por los datos obtenidos de las propiedades dinámicas de dichos puentes (tomadas de Tesis Echeverría T. Belem, Obtención de las propiedades dinámicas de cuatro puentes PIV) se tienen los primeros cuatro modos de vibrar notándose claramente que los primeros modos presentan los periodos de vibrar mayores, que como se observo son periodos pequeños para las condiciones en las que se encuentran las estructuras, es decir sin daños en los elementos que pudieran ser causa de posteriores daños en la estructura por el uso al que esta sometido o por posibles movimientos que se pudieran presentar a lo largo de su vida útil como sería los sismos.

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.

Jara M. “Clasificación de puentes tipo PIV”

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

Paz M. “Dinámica Estructural”, 1992.

LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

TABLAS

CAPITULO II

Tabla 2.1	Registro general.....	21
Tabla 2.2	Clasificación por año de construcción.....	25
Tabla 2.3	Longitudes totales de los puentes.....	26
Tabla 2.4	Clasificación por tipo de estribo.....	28
Tabla 2.5	Clasificación por el tipo de material de los estribos.	29
Tabla 2.6	Clasificación por el tipo de pila.....	30
Tabla 2.7	Clasificación por el tipo de material de las pilas.....	31
Tabla 2.8	Clasificación de acuerdo al tipo de superestructura	32
Tabla 2.9	Clasificación por ángulo de esviaje.....	33
Tabla 2.10	Longitud del claro mayor.....	35
Tabla 2.11	Ejemplo de algunos datos de la tabla 2.1.....	37
Tabla 2.12	Relación de claros.....	38
Tabla 2.13	Ejemplo de algunos datos de alturas de puentes con su respectiva relación.....	39
Tabla 2.14	Relaciones de alturas de los apoyos de los puente	40
Tabla 2.15	Ejemplo de algunos datos de alturas y espesores de los apoyos de los puentes.....	42
Tabla 2.16	Clasificación de los puentes por su esbeltez.....	43
Tabla 2.17	Clasificación por su longitud de asiento de los puentes.....	45
Tabla 2.18	Ejemplo de algunos datos de la longitud de asiento real y calculada tomados de la Tabla 2.1.....	46
Tabla 2.19	Clasificación por la relación de longitudes de asiento de los puentes.....	47
Tabla 2.20	Tipos de apoyos para puentes.....	49
Tabla 2.21	Clasificación por la zona sísmica de los puentes....	52

FIGURAS

CAPÍTULO I

Figura 1.1	Paso Inferior Vehicular (PIV).....	3
Figura 1.2	Paso Superior Vehicular (PSV).....	4
Figura 1.3	Paso Inferior de Ferrocarril (PIF).....	5
Figura 1.4	Paso Superior de Ferrocarril (PSF).....	6
Figura 1.5	Paso Inferior Peatonal (PIP).....	7
Figura 1.6	Paso Inferior Ganadero (PIG).....	8
Figura 1.7	Gálibos o espacios libres vertical y horizontal para estructuras que crucen una carretera.....	10
Figura 1.8	Gálibos o espacios libres vertical y horizontal para estructuras que crucen una vía férrea.....	11

CAPÍTULO II

Figura 2.1	Formato SIPUMEX (Superestructura).....	14
Figura 2.2	Formato SIPUMEX (Subestructura).....	15
Figura 2.3	Formato SIPUMEX (Inspección principal).....	16
Figura 2.4	Formato de inspección de puentes utilizado en el análisis.....	18
Figura 2.5	Clasificación por Año de Construcción.....	25
Figura 2.6	Longitud Total de los Puentes.....	27
Figura 2.7	Tipo de Estribos de los Puentes.....	28
Figura 2.8	Tipo de Material para Estribos.....	29
Figura 2.9	Tipo de Pilas de los Puentes.....	30
Figura 2.10	Tipo de Material para Pilas.....	31
Figura 2.11	Tipo de Superestructura de los Puentes.....	33
Figura 2.12	Ángulo de Esviaje (S) de los Puentes.....	34
Figura 2.13	Cruce de vialidades.....	35
Figura 2.14	Longitud del Claro Mayor de los Puentes.....	36

Figura 2.15	Relación de Claros de los Puentes.....	38
Figura 2.16	Sección transversal de un puente.....	39
Figura 2.17	Relación de alturas de los apoyos.....	41
Figura 2.18	Croquis de apoyos extremos e intermedios (estribos y pilas).....	42
Figura 2.19	Relación de Esbeltez.....	44
Figura 2.20	Longitud de Asiento Real de los Puentes.....	45
Figura 2.21	Relación entre longitud real y la longitud especificada por la AASHTO.....	48
Figura 2.22	Tipo de placas de apoyos.....	50
Figura 2.23	Placas de apoyo de neopreno.....	50
Figura 2.24	Regionalización Sísmica de la Republica Mexicana	51
Figura 2.25	Ubicación de los puentes en las zonas sísmicas....	52

CAPÍTULO III

Figura 3.1	Dimensiones del puente en conjunto.....	54
Figura 3.2	Sección del puente Maravatío km 206.....	55
Figura 3.3	Croquis de la sección transversal en la pila intermedia.....	56
Figura 3.4	Sección de la pila intermedia del puente.....	56
Figura 3.5	Croquis de la sección transversal en estribo.....	57
Figura 3.6	Estribo lateral de mampostería.....	57
Figura 3.7	Dimensiones de las vigas I en el puente Maravatío km 206.....	58
Figura 3.8	Dimensiones del puente Maravatío ubicado en el km 239.....	59
Figura 3.9	Sección del puente Maravatío km 239.....	60
Figura 3.10	Croquis de la sección transversal en la pila central.	61
Figura 3.11	Sección de la pila central.....	61
Figura 3.12	Croquis de la sección transversal en estribo.....	62
Figura 3.13	Estribo lateral de concreto.....	62

Figura 3.14	Dimensiones de las vigas I del puente Maravatío km 239.....	63
Figura 3.15	Equipo de medición de vibración ambiental.....	64
Figura 3.16	Colocación de los aparatos.....	65
Figura 3.17	Numeración, ubicación y dirección de los sensores.....	66
Figura 3.18	Modos de vibrar puente Maravatío km 206.....	67
Figura 3.19	Relación Periodos – Modos del PIV Maravatío km 206.....	68
Figura 3.20	Modos de vibrar puente Maravatío km 239.....	69
Figura 3.21	Relación Periodos – Modos del PIV Maravatío km 239.....	70