

## **PREFACIO**

Al iniciar con las primeras ideas del tema que sería tratado en mi tesis, siempre tuve claro que sería un tema relacionado con los puentes. Son estas estructuras las que marcan claramente que una carretera sea construida por el ser humano. Los puentes salvan obstáculos, cauces de río, hondonadas, pantanos, etc, de forma segura y durable. Es por ello que los puentes son estructuras sumamente importantes, conllevan el desarrollo de un país.

La primera idea que tuve era la de realizar un manual para su mantenimiento, con el fin de apoyar su conservación. Pero me di cuenta que el tema era bastante amplio, lo cual me llevo a decidir un tema específico. Es allí donde con la asesoría del Ing. Milton Matus, se estableció un tema. El tema que se escogió giró alrededor de la idea de la globalización, producto de los tratados de libre comercio, que diferentes países han ratificado entre sí, como el tratado firmado recientemente entre Guatemala y los Estados Unidos. Estos acuerdos comerciales conllevarían a que nuestros puentes fueran sometidos al tránsito de diferentes vehículos, los cuales no transitaban en ellos cuando fueron diseñados. Es aquí donde surge el tema de tesis: establecer la capacidad de carga viva en los puentes existentes de concreto y acero.

El tema tratado en esta tesis, es uno de los ítems a tomar en cuenta para evaluar un puente. Existen tres tipos de evaluación: la rápida, la detallada y la

ingenieril, siendo la evaluación de carga viva una parte de la evaluación ingenieril. Para efectuar una evaluación ingenieril establecí que es necesario contar con información de los otros tipos de evaluación, es por ello que decidí tratar en forma general en uno de los capítulos de mi tesis.

Al tener definido el tema inicié con la investigación bibliográfica y muy importante con la obtención de planos de puentes existentes, con el fin de ilustrar la evaluación de carga viva, con ejemplos que existen en la realidad. Y con el fin que la tesis sirva de una guía, mi asesor y yo establecimos incluir puentes de concreto y de acero para realizar los ejemplos.

Quisiera por último, agradecer a todas las personas que ayudaron en la finalización de este trabajo de graduación, especialmente al Ing. Milton Matus, mi asesor, por su tiempo y entusiasmo mostrado, al Ing. Ernesto Guzmán, por las palabras de aliento para terminar esta tesis y por el material bibliográfico que me proporciono, a mi esposa, Katerin Alejandra Alonzo, a mi hija Jimena Fernanda, por su apoyo incondicional y tiempo familiar que me cedieron para concluir esta tesis, al Ing. Luis Felipe Escobar e Ing. Eric Escobar, que me permitieron en su oportunidad, tiempo y facilidades para estudiar la maestría, al Arq. Dick Valdez, al Ing. Luís Leiva, del departamento Técnico, de la Dirección General de Caminos, por su colaboración para la obtención de los planos de los puentes que sirvieron de ejemplos para esta tesis, a mi amigo Ramiro Nuñez por su colaboración en la elaboración de los gráficos de este trabajo, a mis padres Félix Domingo y Miriam Consuelo por su gran apoyo y por supuesto las gracias al ser supremo por haberme permitido culminar este trabajo.

# CONTENIDO

	<b>Página</b>
PREFACIO .....	i
LISTA DE TABLAS .....	x
LISTA DE FIGURAS .....	xi
RESUMEN .....	xiii
<b>Capítulos</b>	
I. INTRODUCCIÓN .....	1
A. <i>Generalidades</i> .....	1
B. <i>Propósito</i> .....	2
C. <i>Objetivos</i> .....	2
D. <i>Aplicabilidad</i> .....	3
E. <i>Definiciones</i> .....	3
II. ARCHIVOS O REGISTROS DE PUENTES EXISTENTES .....	5
A. <i>Generalidades</i> .....	5
B. <i>Componentes</i> .....	6
1. Planos .....	6

2.	Especificaciones .....	6
3.	Correspondencia .....	7
4.	Fotografías .....	7
5.	Materiales y pruebas .....	7
6.	Historia del mantenimiento y reparaciones .....	7
7.	Historia de recubrimientos .....	8
8.	Registro de accidentes .....	8
9.	Anotaciones .....	8
10.	Cargas permitidas .....	8
11.	Datos de crecidas .....	8
12.	Datos de tránsito .....	8
13.	Historia de inspecciones .....	9
14.	Requerimientos para inspecciones .....	9
15.	Inventario de estructuras y hojas codificadas .....	9
16.	Inventarios e inspecciones .....	9
17.	Registros de clasificación .....	9
C.	<i>Datos de inventarios</i> .....	10
1.	Generalidades .....	10

2.	Datos revisados del inventario .....	14
<i>D.</i>	<i>Datos de inspecciones</i> .....	14
1.	Generalidades .....	14
2.	Datos revisados de la inspección .....	17
<i>E.</i>	<i>Datos de rango de carga y condición</i> .....	17
1.	Generalidades .....	17
2.	Revisión de los datos sobre valuación de la condición y capacidad de carga .....	18
<i>F.</i>	<i>Requerimientos locales</i> .....	18
III.	CAPACIDAD DE CARGA .....	19
<i>A.</i>	<i>Generalidades</i> .....	19
1.	Asunciones .....	19
2.	Consideraciones de la subestructura .....	20
3.	Criterios de seguridad .....	20
4.	Aplicación de las especificaciones de diseño estándar ...	21
5.	Estructuras no redundantes .....	21
6.	Capacidad de carga para estructuras complejas .....	22
<i>B.</i>	<i>Calificaciones y responsabilidades</i> .....	22

<i>C. Niveles de capacidad.....</i>	23
1. Nivel de capacidad de inventario .....	23
2. Nivel de capacidad de operación .....	23
<i>D. Métodos de capacidad .....</i>	24
1. Esfuerzo permitido (AS) .....	24
2. Factor de carga (LF) .....	24
3. Factor de resistencia y carga (LRFR) .....	24
<i>E. Ecuaciones de capacidad .....</i>	25
1. Generalidades .....	25
2. Esfuerzo Permitido .....	27
3. Factor de carga .....	27
4. Factor de resistencia y carga .....	27
5. Condición de los miembros del puente .....	37
6. Puentes con componentes estructurales desconocidos ...	38
<i>F. Capacidad nominal .....</i>	39
1. Generalidades .....	39
2. Método del esfuerzo permitido .....	39
a. Acero estructural .....	40

b.	Hierro forjado .....	56
c.	Acero de refuerzo .....	56
d.	Concreto .....	56
e.	Concreto preesforzado .....	59
f.	Mampostería .....	59
g.	Madera .....	60
3.	Método de factor de carga .....	63
a.	Acero estructural .....	63
b.	Concreto reforzado .....	64
c.	Concreto preesforzado .....	64
4.	Método de factor de resistencia y carga .....	67
a.	Concreto .....	68
b.	Acero de refuerzo .....	68
c.	Acero estructural .....	69
G.	<i>Cargas</i> .....	69
1.	Carga muerta .....	69
2.	Carga viva .....	70
a.	Cargas de rueda .....	74

b.	Cargas de camión .....	74
c.	Líneas de carga .....	74
d.	Cargas de aceras .....	74
e.	Efectos de la carga viva .....	75
3.	Distribución de cargas .....	75
4.	Impacto .....	76
5.	Deflexión .....	77
6.	Cargas longitudinales .....	78
7.	Cargas ambientales .....	78
H.	<i>Documentación</i> .....	79
IV.	EJEMPLOS ILUSTRATIVOS .....	80
A.	<i>Superestructura: losa, subestructura: ciclópeo o concreto reforzado.</i>	80
B.	<i>Superestructura: losa y vigas de concreto reforzado</i> .....	88
C.	<i>Superestructura: vigas preesforzadas</i> .....	97
D.	<i>Superestructura: vigas WF</i> .....	106
E.	<i>Superestructura: vigas plate girder</i> .....	117
F.	<i>Superestructura: vigas secundarias WF y armadura</i> .....	136

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	146
VI. BIBLIOGRAFÍA .....	148
VII. APÉNDICE .....	149

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Factores de carga .....	33
Tabla 2(a): Factores de resistencia .....	34
Tabla 2(b): Factores de resistencia .....	35
Tabla 3(a): Rango de inventario esfuerzos permitidos (psi) .....	41
Tabla 3(b): Rango de operación esfuerzos permitidos (psi) .....	47
Tabla 3(c): Esfuerzos permitidos de inventario y operación para acero de bajo contenido de carbono para tornillos y remaches de alto desempeño .....	53
Tabla 3(d): Esfuerzos permitidos de inventario y operación para tornillos de alta resistencia en ksi .....	54
Tabla 4: Factor de reducción de la resistencia de miembros de refuerzo de lámina en compresión .....	55
Tabla 5: Esfuerzos unitarios permitidos en tensión para acero de refuerzo .....	56
Tabla 6: Esfuerzos últimos del concreto de acuerdo al año de construcción .....	57
Tabla 7: Esfuerzos máximos de flexión para concreto .....	57
Tabla 8: Esfuerzos permitidos de inventario para esfuerzos de compresión para evaluación de mampostería .....	61
Tabla 9: Esfuerzos de fluencia para acero, método de factor de carga ...	64
Tabla 10: Esfuerzos de fluencia para acero, método factor de carga y resistencia .....	68
Tabla 11: Reducción de factores para carga viva .....	71
Tabla 12: Factor de corrección por análisis .....	76
Tabla 13: Factor de impacto con relación a la condición de la condición de la superficie de rodadura .....	77

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Partes de un puente .....	4
Figura 2: Diagrama de flujo para el proceso de evaluación del factor de rango .....	30
Figura 3: Diagrama de flujo para seleccionar los factores de resistencia ....	36
Figura 4: Camión estándar HS .....	72
Figura 5: Carril de carga estándar HS .....	72
Figura 6: Rango de vehículos AASHTO .....	73
Figura 7: Carril de carga .....	73
Figura 8: Elevación puente río El León .....	80
Figura 9: Sección transversal puente río El León .....	80
Figura 10: Planta puente río El León .....	81
Figura 11: Ubicación del acero en losa puente río El León.....	81
Figura 12: Diagrama de fuerzas y esfuerzos puente río El León .....	82
Figura 13: Viga interior puente El Obispo .....	88
Figura 14: Elevación puente El Obispo .....	88
Figura 15: Ubicación del acero en viga interior puente El Obispo .....	89
Figura 16: Diagrama de fuerzas y esfuerzos puente El Obispo .....	91
Figura 17: Diagrama de fuerzas y esfuerzos puente El Obispo .....	92
Figura 18: Centro de gravedad del concreto puente El Obispo .....	92
Figura 19: Sección típica viga interior puente Mixco II.....	97
Figura 20: Elevación puente Mixco II .....	98
Figura 21: Sección diafragma interior Puente Mixco II .....	98
Figura 22: Sección diafragma exterior puente Mixco II .....	99
Figura 23: Ubicación del acero en viga interior puente Mixco II .....	99
Figura 24: Sección típica viga interior puente El Zarco .....	106
Figura 25: Sección compuesta viga interior puente El Zarco .....	107

Figura 26: Sección compuesta viga interior puente El Zarco .....	108
Figura 27: Sección transversal puente El Zarco .....	109
Figura 28: Longitudes de diafragmas de acero puente El Zarco .....	109
Figura 29: Cargas distribuidas sobre viga puente El Zarco .....	110
Figura 30: Sección compuesta viga interior puente El Zarco .....	113
Figura 31: Sección típica viga interior puente Villalobos .....	117
Figura 32: Sección compuesta viga interior puente Villalobos .....	118
Figura 33: Sección compuesta viga interior puente Villalobos .....	119
Figura 34: Secciones de diafragmas puente Villalobos .....	120
Figura 35: Planta y elevación de viga puente Villalobos .....	121
Figura 36: Cargas Distribuidas sobre viga puente Villalobos .....	122
Figura 37: Vehículo virtual T3-S2-R4 .....	122
Figura 38: Modelo viga puente Villalobos .....	123
Figura 39: Secciones vigas puente Villalobos .....	124
Figura 40: Sección compuesta viga interior puente Villalobos .....	130
Figura 41: Elevación armadura y sección transversal de puente Chiquimulilla .....	136
Figura 42: Planta estructural puente Chiquimulilla .....	137
Figura 43: Cargas distribuidas sobre viga puente Chiquimulilla .....	137
Figura 44: Elevación armadura puente Chiquimulilla .....	138
Figura 45: Fuerzas en nodos en armadura puente Chiquimulilla .....	139
Figura 46: Fuerzas en nodos en armadura puente Chiquimulilla .....	139
Figura 47: Planta estructural con ubicación de vehículo virtual en puente Chiquimulilla .....	139
Figura 48: Modelos de vigas con cargas de vehículo virtual aplicadas .....	140
Figura 49: Elevación armadura puente Chiquimulilla .....	140
Figura 50: Fuerzas en nodos en armadura puente Chiquimulilla .....	140
Figura 51: Fuerzas en nodos en armadura puente Chiquimulilla .....	141

## RESUMEN

Guatemala es un país principalmente montañoso, con dos estaciones climáticas bien definidas: seca y lluviosa. La estación lluviosa dura aproximadamente seis meses, con niveles de precipitación de 4,000 mm./año. Guatemala se localiza además en un área con alta amenaza sísmica y de huracanes.

Guatemala tiene una red vial de aproximadamente 5,000 kilómetros de caminos pavimentados y 20,000 kilómetros de caminos no pavimentados. Debido a su geografía principalmente montañosa, la colocación de puentes a lo largo de la red es densa. La red de puentes fue construida en su mayoría en el período de los años treinta a sesenta, diseñados para tráfico liviano comparándolo con el que se maneja actualmente en el país.

Este trabajo de graduación consiste en la propuesta de una guía para la evaluación de la capacidad de carga viva en puentes existentes, basada en los requerimientos actuales y futuros de tráfico (vigencia del Tratado de Libre Comercio con Estados Unidos). Esta evaluación de carga permitirá determinar si la resistencia del puente a la carga viva es deficiente y determinar los límites de carga viva permitidos sobre el puente evaluado. Para alcanzar este propósito se estudiarán los archivos o registros de puentes existentes, detallando lo que deben contener estos registros. Con la información proveniente de un registro de este tipo se debe contar con la suficiente información para permitir el análisis confiable de la capacidad de carga viva del puente existente. La capacidad de carga viva del puente existente se evaluará a través de tres métodos, siendo

ellos: esfuerzo permitido, factor de carga y factor de resistencia y carga. Finalmente se aplicarán los conceptos y criterios en diversos ejemplos.