

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO.....	II
LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO.....	III
DEDICATORIA	IV
AGRADECIMIENTO	V
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	VI

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES	1
1.1 Antecedentes.	1
1.2 Definición del problema.....	2
1.3 Objetivos.	2
1.3.1 Objetivo general.....	2
1.3.2 Objetivos específicos.....	2
1.4 Alcance.....	3
1.5 Justificación e importancia.	3

CAPÍTULO 2

DESCRIPCIÓN DE PUENTES METÁLICOS MODULARES.....	4
2.1 Generalidades.....	4
2.2 Puentes metálicos modulares.	4
2.2.1 Características.....	5
2.2.2 Metodología de la fabricación.....	6
2.2.3 Aplicaciones.....	6
2.2.4 Tipos.....	7
2.2.4.1 Puentes Bailey.....	7
2.2.4.1.1 Descripción general.....	7
2.2.4.1.2 Características técnicas.....	8
2.2.4.1.3 Descripción de componentes.....	9
2.2.4.1.3.1 Panel Bailey BB.1.....	10
2.2.4.1.3.2 Bastidor de arriostamiento BB.2.....	10
2.2.4.1.3.3 Tornapuntas o puntal BB.3.....	11

2.2.4.1.3.4	Travesero BB.5.....	11
2.2.4.1.3.5	Emparrillados planos BB.7.	12
2.2.4.1.3.6	Postes finales, hembra (BB.62) y macho (BB.63)	12
2.2.4.1.3.7	Eslabón de lanzamiento Mk. II, BB.65.....	12
2.2.4.1.3.8	Cordón de refuerzo BB.150.....	13
2.2.4.2	Puente metálico de estructuras combinadas.	13
2.2.4.2.1	Descripción general.....	13
2.2.4.2.2	Características técnicas.	14
2.2.4.2.3	Descripción de componentes.	15
2.2.4.2.3.1	Vigas principales.....	15
2.2.4.2.3.2	Panel triangular.....	15
2.2.4.2.3.3	Barra de cordón superior.	15
2.2.4.2.3.4	Tablero.	16
2.2.4.2.3.5	Viguetas.....	16
2.2.4.2.3.6	Largueros.	16
2.2.4.2.3.7	Arriostramientos.....	17
2.2.4.2.3.8	Apoyos.....	17
2.2.4.2.3.9	Rampas de acceso.	17
2.2.4.2.3.10	Vereda peatonal.	17
2.2.4.3	Puente portátil de acero (PSB).	17
2.2.4.3.1	Descripción general.....	17
2.2.4.3.2	Características técnicas	18
2.2.4.3.3	Descripción de componentes.	19
2.2.4.3.3.1	Cordones.	19
2.2.4.3.3.2	Miembros del alma.	19
2.2.4.3.3.3	Tablero.	19
2.2.4.3.3.4	Vigas de piso.	19
2.3	Aceros para puentes.	20
2.3.1	Tipos.....	20
2.3.1.1	Aceros al carbono.....	21
2.3.1.1.1	ASTM A709 Grado 36. (ASTM A36)	21
2.3.1.2	Aceros de baja aleación y alta resistencia.	21
2.3.1.2.1	ASTM A709 Grado 50. (ASTM A572)	21

2.3.1.2.2	ASTM A709 Grado 50W. (ASTM A588).....	21
2.3.1.3	Aceros de baja aleación, templado y revenido	21
2.3.1.3.1	ASTM A709 Grado 70W. (ASTM A852).....	21
2.3.1.4	Aceros de aleación de alta resistencia a la cedencia, templado y revenido.....	22
2.3.1.4.1	ASTM A709 Grado 100/100W. (ASTM A514).....	22
2.3.2	Características.....	22
2.3.3	Propiedades mecánicas.....	23

CAPÍTULO 3

NORMAS PARA EL DISEÑO DE PUENTES METÁLICOS.....	24
3.1. Generalidades.....	24
3.2. Estudio y análisis de normas aplicables.....	24
3.2.1. The AASHTO Standard Specifications for Highway Bridges Design, Edition 17 ^a , 2002.....	25
3.2.2. AASHTO LRFD Bridge Design Specification, 3 ^a Edición 2004.	26
3.2.3. Código de soldadura de puentes AASHTO/AWS D1.5M/D1.5:2002 (Bridge Welding Code).....	28
3.2.4. Normas ASTM.....	29
3.2.4.1. ASTM A709.....	29
3.2.4.2. ASTM A36.....	30
3.2.4.3. ASTM A572.....	30
3.2.4.4. ASTM A588.....	30
3.2.4.5. ASTM A852.....	31
3.2.4.6. ASTM A514.....	32
3.2.5. Especificaciones para el diseño de miembros estructurales de acero conformado en frío. (AISI).....	32
3.2.6. Código de práctica normalizada para edificios y puentes de acero. (AISC)... ..	33
3.2.7. Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes. (MOP)	34

CAPÍTULO 4

DISEÑO.....	35
4.1 Introducción.....	35
4.2 Métodos de diseño.....	35
4.2.1 Diseño para cargas de servicio o esfuerzos admisibles (ASD).....	35
4.2.2 Diseño por resistencia o coeficientes de carga (LFD).	36
4.2.3 Diseño por coeficientes de carga y resistencia (LRFD).	37
4.3 Criterios de diseño.	37
4.3.1 Consideraciones iniciales.	37
4.3.2 Limitaciones de las deflexiones	39
4.3.3 Tipos de cargas	39
4.3.3.1 Cargas muertas.	39
4.3.3.2 Cargas vivas.	39
4.3.3.2.1 Camión estándar.	40
4.3.3.2.2 Carga equivalente.	41
4.3.3.2.3 Carga militar.	42
4.3.3.3 Impacto.	42
4.3.3.4 Fuerzas longitudinales.	43
4.3.3.5 Fuerza centrífuga.....	43
4.3.3.6 Carga de acera.	44
4.3.3.7 Cargas en bordillos.	44
4.3.3.8 Cargas de viento.....	45
4.3.3.9 Cargas térmicas.....	45
4.3.3.10 Cargas sísmicas.....	46
4.3.3.11 Carga de baranda.	46
4.3.3.12 Fuerza de levantamiento.....	46
4.3.3.13 Fuerza de volcamiento.	47
4.3.3.14 Presión de tierras.	47
4.3.4 Combinaciones de carga.	47
4.4 Selección del tipo de puente y módulo.....	49
4.4.1 Análisis, evaluación y selección de alternativas.	49
4.5 Desarrollo de diseño.	52
4.5.1 Tablero del puente.....	53
4.5.2 Protecciones laterales.....	53

4.5.2.1	Pasamanos.....	55
4.5.2.1.1	Verificación de esfuerzos.	55
4.5.2.2	Postes.....	55
4.5.2.2.1	Verificación de esfuerzos.	56
4.5.3	Vigas transversales.....	56
4.5.3.1	Cálculo de la carga muerta.	57
4.5.3.2	Momento máximo en el tablero debido a la carga muerta.	58
4.5.3.3	Momento máximo en el tablero debido a la carga viva.	60
4.5.3.4	Cálculo del factor de impacto.....	61
4.5.3.5	Momento máximo de diseño del tablero.	61
4.5.3.6	Módulo de sección requerido de la viga transversal.	61
4.5.4	Armadura metálica longitudinal del puente.....	62
4.5.4.1	Cálculo de las propiedades del cordón.....	64
4.5.4.2	Verificación de la relación de esbeltez del cordón.....	64
4.5.4.3	Cálculo de las propiedades de los diagonales.....	65
4.5.4.4	Verificación de la relación de esbeltez de los diagonales.....	66
4.5.4.5	Cálculo de las propiedades del módulo.	66
4.5.4.6	Determinación de cargas muertas.	67
4.5.4.6.1	Determinación de la carga posterior.....	69
4.5.4.6.2	Carga muerta total sobre una armadura.	69
4.5.4.6.3	Momento máximo debido a la carga muerta total en una armadura.	69
4.5.4.6.4	Fuerza cortante debido a la carga muerta total en una armadura.....	69
4.5.4.7	Análisis de cargas vivas.....	69
4.5.4.7.1	Cargas vivas de diseño.	69
4.5.4.7.2	Cálculo de fuerza cortante y momentos en varios puntos del puente debido a las cargas vivas en movimiento.	70
4.5.4.7.2.1	Línea de influencia de la fuerza cortante.....	70
4.5.4.7.2.2	Línea de influencia de momentos.....	72
4.5.4.7.2.2.1	Momentos del eje frontal del camión estándar.....	72
4.5.4.7.2.2.2	Momentos del eje intermedio del camión estándar.....	73
4.5.4.7.2.2.3	Momentos del eje posterior del camión estándar.....	74
4.5.4.8	Fuerzas cortantes y momentos máximos de diseño.....	77

4.5.4.8.1	Fuerza cortante producida por el camión estándar.	77
4.5.4.8.2	Fuerza cortante producida por la carga equivalente.	77
4.5.4.8.3	Fuerza cortante máxima debido a la carga viva.	77
4.5.4.8.4	Cálculo del centro de gravedad de la carga.	78
4.5.4.8.5	Momento producido por el camión estándar.	78
4.5.4.8.6	Momento producido por la carga equivalente.	79
4.5.4.8.7	Momento máximo debido a la carga viva.	79
4.5.4.9	Cálculo del factor de excentricidad.	79
4.5.4.10	Cálculo del factor de impacto.	79
4.5.4.11	Momento máximo debido a la carga viva en una armadura.	79
4.5.4.12	Cortante máximo debido a la carga viva en cada armadura.	80
4.5.4.13	Módulo de sección requerido de la armadura metálica.	80
4.5.5	Pasador de conexión de módulos.	82
4.5.5.1	Verificación del esfuerzo de aplastamiento.	83
4.5.5.2	Verificación del esfuerzo cortante en el pasador.	83
4.5.5.3	Verificación del esfuerzo de flexión en el pasador.	84
4.5.5.4	Verificación del esfuerzo de tensión en las placas.	85
4.5.5.5	Verificación del esfuerzo cortante en la placa.	86
4.5.6	Cordón de acoplamiento.	88
4.5.6.1	Verificación de la relación de esbeltez.	88
4.5.6.2	Verificación de esfuerzos.	89
4.5.6.3	Diseño por cargas de fatiga.	90
4.5.7	Soldadura.	90
4.5.7.1	Tamaño máximo de la soldadura.	91
4.5.7.2	Espesor de la garganta efectiva.	91
4.5.7.3	Resistencia de la soldadura por pulgada.	91
4.5.7.4	Resistencia permisible a tensión de la placa.	91
4.5.7.5	Longitud requerida de la soldadura.	91
4.5.7.6	Resistencia permisible a tensión de la soldadura:	92
4.5.8	Arriostramiento inferior.	92
4.5.8.1	Fuerza total del viento.	93
4.5.8.2	Reacción del viento en los apoyos.	93
4.5.8.3	Verificación de la relación de esbeltez.	93
4.5.8.4	Verificación de esfuerzos.	94

4.5.9	Deflexiones.....	94
4.5.9.1	Por carga muerta.....	94
4.5.9.2	Por carga viva.....	95
4.5.10	Determinación de los tipos de construcciones para puentes de varias luces y cargas.....	95

CAPÍTULO 5

SIMULACIÓN	97
5.1. Simulación del puente metálico modular de 36 metros de luz.....	97
5.1.1. Determinación de las cargas a ser ingresadas al programa.....	97
5.1.1.1. Carga muerta posterior.....	98
5.1.1.2. Carga viva (camión HS-20-44).....	99
5.1.2. Procedimiento de la simulación.....	102
5.1.3. Análisis de resultados.....	107
5.2. Módulo.....	110
5.2.1. Comportamiento estático en Sap 2000.....	110
5.2.2. Comportamiento estático en Cosmos Works.....	111
5.2.3. Análisis comparativo de resultados.....	112
5.3. Conexión de los módulos.....	112
5.3.1. Comportamiento estático.....	112
5.3.1.1. Resultados de esfuerzos.....	113
5.3.1.2. Resultados de las deformaciones unitarias.....	113
5.3.1.3. Resultados de los desplazamientos.....	114
5.3.1.4. Resultados de la Deformación.....	114
5.3.1.5. Resultados de la verificación de diseño.....	114
5.3.2. Análisis de resultados.....	115

CAPÍTULO 6

METODOLOGÍA PARA EL ENSAMBLE Y LANZAMIENTO.....	116
6.1. Fabricación del módulo.....	116
6.1.1. Herramientas y equipos.....	117
6.2. Montaje del puente.....	117
6.2.1. Equipo de montaje.....	118
6.2.1.1. Grúa de oruga.....	119

6.2.2.	Procedimiento de montaje del puente.	120
6.2.3.	Procedimiento de lanzamiento.....	123

CAPÍTULO 7

ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO.....	126
7.1. Costos de producción de los componentes del puente.	126
7.1.1. Depreciación de los equipos y maquinas.	126
7.1.2. Costos de producción del módulo.	127
7.1.3. Costos de producción del cordón de acoplamiento.....	130
7.1.4. Costos de producción de la viga transversal.....	132
7.1.5. Costos de producción del pasador.....	134
7.1.6. Costos de producción del arriostramiento principal.....	135
7.1.7. Costos de producción del arriostramiento auxiliar.....	136
7.1.8. Costos de producción del diafragma.	137
7.1.9. Costos de producción del estabilizador lateral.	138
7.1.10. Costos de producción del poste.	139
7.1.11. Costos de producción de la guardavía metálica.....	140
7.1.12. Costos de producción del terminal de guardavía.	141
7.2. Costos de producción para puentes de varias luces.....	142
7.3. Costos totales de puentes de varias luces.	146

CAPÍTULO 8

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	147
8.1. Conclusiones.....	147
8.2. Recomendaciones.....	149
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	149
ANEXOS.....	151
PLANOS.....	155

TABLAS

Tabla 2.0. Construcciones de puentes Bailey.....	9
Tabla 2.1. Longitudes máximas puente PSB.....	19
Tabla 2.2. Propiedades mecánicas de aceros estructurales para puentes.....	23
Tabla 4.0. Reducción en intensidad de carga viva.....	40
Tabla 4.1. Factores γ y β	48
Tabla 4.2. Matriz de valor.....	49
Tabla 4.3. Matriz de decisión.....	50
Tabla 4.4. Momentos de los ejes del camión estándar.....	75
Tabla 4.5. Configuración del puente para varias luces y cargas.....	96
Tabla 7.0. Depreciación de equipos y maquinas.....	126
Tabla 7.1. Cantidad de electrodos para la producción del módulo.....	127
Tabla 7.2. Pintura requerida para el módulo.....	127
Tabla 7.3. Tiempo de corte del módulo.....	128
Tabla 7.4. Tiempo de soldadura y armado del módulo.....	128
Tabla 7.5. Tiempo de producción de un módulo.....	129
Tabla 7.6. Costo de producción del módulo.....	129
Tabla 7.7. Cantidad de electrodos para el cordón de acoplamiento.....	130
Tabla 7.8. Pintura requerida para el cordón de acoplamiento.....	130
Tabla 7.9. Tiempo de corte del cordón de acoplamiento.....	130
Tabla 7.10. Tiempo de soldadura y armado del cordón de acoplamiento.....	130
Tabla 7.11. Tiempo de producción del cordón de acoplamiento.....	131
Tabla 7.12. Costo de producción del cordón de acoplamiento.....	131
Tabla 7.13. Cantidad de electrodos para viga transversal.....	132
Tabla 7.14. Pintura requerida para viga transversal.....	132
Tabla 7.15. Tiempo de corte para viga transversal.....	132
Tabla 7.16. Tiempo de soldadura y armado de la viga transversal.....	132
Tabla 7.17. Tiempo de producción la viga transversal.....	132
Tabla 7.18. Costo de producción la viga transversal.....	133
Tabla 7.19. Costo de producción del pasador.....	134
Tabla 7.20. Costo de producción del arriostramiento principal.....	135
Tabla 7.21. Costo de producción del arriostramiento auxiliar.....	136

Tabla 7.22. Costo de producción del diafragma.....	137
Tabla 7.23. Costo de producción del estabilizador lateral.....	138
Tabla 7.24. Costo de producción del poste.....	139
Tabla 7.25. Costo de producción de la guardavía metálica.....	140
Tabla 7.26. Costo de producción del Terminal de guardavía.....	141
Tabla 7.27. Costos de producción para puentes de varias luces.....	142
Tabla 7.28. Costos totales de puentes de varias luces.....	146

FIGURAS

Figura 2.0. Puente Bailey.....	8
Figura 2.1. Panel Bailey BB.1.....	10
Figura 2.2. Bastidor de arriostramiento BB.2.....	11
Figura 2.3. Tornapuntas o puntal BB.3.....	11
Figura 2.4. Travesero BB.5.....	11
Figura 2.5. Emparrillados planos BB.7.....	12
Figura 2.6. Postes finales hembra y macho.....	12
Figura 2.7. Eslabón de lanzamiento.....	13
Figura Cordón de refuerzo BB.150.....	13
Figura 2.9. Puente metálico de estructuras combinadas.....	14
Figura 2.10. Panel triangular	15
Figura 2.11. Barras de cordón superior.....	16
Figura 2.12. Viguetas de tablero.....	16
Figura 2.13. Puente portátil de acero.....	18
Figura 2.14. Componentes del puente portátil de acero.....	20
Figura 4.0. Camión estándar H y HS.....	40
Figura 4.1. Cargas distribuidas equivalentes.....	41
Figura 4.2. Tipos de armaduras.....	51
Figura 4.3. Geometría del módulo.....	52
Figura 4.4. Sección transversal del puente.....	53
Figura 4.5. Protecciones laterales.....	54
Figura 4.6. Guardavía metálica tipo W.....	55
Figura 4.7. Canal tipo C.....	55
Figura 4.8. Ancho cooperante de la viga transversal.....	56

Figura 4.9. Carga muerta del tablero.....	58
Figura 4.10. Fuerzas cortantes y momentos flexionantes en el voladizo.....	59
Figura 4.11. Fuerzas cortantes y momentos flexionantes en el centro del tablero.....	59
Figura 4.12. Fuerzas cortantes y momentos flexionantes en el apoyo.....	60
Figura 4.13. Posición normal de los neumáticos.....	60
Figura 4.14. Posición accidental de los neumáticos.....	61
Figura 4.15. Sección transversal del cordón.....	64
Figura 4.16. Sección transversal de los diagonales.....	65
Figura 4.17. Sección transversal del módulo.....	66
Figura 4.18. Cargas del camión estándar.....	69
Figura 4.19. Carga equivalente.....	70
Figura 4.20. Desplazamiento del camión HS20-44.....	70
Figura 4.21. Línea de influencia de las fuerzas cortantes.....	71
Figura 4.22. Desplazamiento del eje frontal del camión.....	72
Figura 4.23. Desplazamiento del eje intermedio del camión.....	73
Figura 4.24. Desplazamiento del eje posterior del camión.....	74
Figura 4.25. Curva de los momentos de los ejes.....	76
Figura 4.26. Línea de influencia de los momentos máximos.....	76
Figura 4.27. Cargas del camión sobre el puente.....	77
Figura 4.28. Carga equivalente sobre el puente.....	77
Figura 4.29. Centro de gravedad de carga.....	78
Figura 4.30. Posición crítica del camión sobre el puente.....	78
Figura 4.31. Carga equivalente sobre el puente.....	79
Figura 4.32. Caso extremo del camión.....	79
Figura 4.33. Línea de influencia de momentos máximos de diseño.....	80
Figura 4.34. Conexión de los módulos.....	82
Figura 4.35. Áreas de aplastamiento.....	83
Figura 4.36. Áreas de corte del pasador.....	83
Figura 4.37. Cargas en el pasador.....	84
Figura 4.38. Placa de refuerzo.....	85
Figura 4.39. Corte en la placa de refuerzo.....	86
Figura 4.40. Corte en la placa.....	87
Figura 4.41. Cordón de acoplamiento.....	88

Figura 4.42. Placas soldadas.....	91
Figura 4.43. Soldadura de las placas de apoyo.....	92
Figura 4.44. Detalle de arriostramiento inferior.....	93
Figura 5.0. Detalle del tablero.....	98
Figura 5.1. Carga viva sobre el puente.....	99
Figura 5.2. Eje posterior del camión estándar.....	100
Figura 5.3. Eje intermedio del camión estándar.....	100
Figura 5.4. Eje frontal del camión estándar.....	101
Figura 5.5. Asignación del material.....	102
Figura 5.6. Propiedades de los perfiles.....	103
Figura 5.7. Definición de cargas.....	103
Figura 5.8. Levantamiento del modelo.....	103
Figura 5.9. Asignación de apoyos.....	104
Figura 5.10. Vistas del puente de 36 m.....	104
Figura 5.11. Cargas muertas en las vigas transversales.....	105
Figura 5.12. Cargas vivas en las vigas transversales.....	105
Figura 5.13. Selección del código de diseño.....	106
Figura 5.14. Corrida del programa.....	106
Figura 5.15. Verificación de elementos críticos.....	107
Figura 5.16. Información de esfuerzos.....	108
Figura 5.17. Reporte de diseño.....	108
Figura 5.18. Deflexión máxima debido al peso de la estructura.....	109
Figura 5.19. Deflexión máxima debido a la carga posterior.....	109
Figura 5.20. Deflexión máxima debido a la carga posterior.....	110
Figura 5.21. Modelo del módulo en Sap 2000.....	110
Figura 5.22. Desplazamiento máximo del módulo en Sap 2000.....	111
Figura 5.23. Modelo del módulo en Cosmos Works.....	111
Figura 5.24. Desplazamiento máximo del módulo en Cosmos Works.....	112
Figura 5.25 Conexión de los módulos.....	113
Figura 5.26. Resultados de esfuerzos.....	113
Figura 5.27. Resultados de las deformaciones unitarias.....	113
Figura 5.28. Resultados de los desplazamientos.....	114
Figura 5.29. Resultados de las deformaciones unitarias.....	114

Figura 5.30. Factor de seguridad de la conexión para el esfuerzo normal máximo.....	114
Figura 5.31. Factor de seguridad de la conexión para el esfuerzo cortante máximo.....	115
Figura 5.32. Factor de seguridad del pasador.....	115
Figura 6.0. Elementos del módulo.....	116
Figura 6.1 Tipos de construcción del puente metálico modular.....	118
Figura 6.2. Grúa de oruga.....	119
Figura 6.3. Grúa de camión.....	120
Figura 6.4. Acoplamiento de los módulos.....	120
Figura 6.5. Arriostramientos y diafragmas.....	121
Figura 6.6. Ubicación de las vigas transversales de piso.....	121
Figura 6.7. Colocación del piso metálico (Kubilosa).....	122
Figura 6.8. Fundición de la losa de hormigón.....	122
Figura 6.9. Fijación de las protecciones laterales.....	123
Figura 6.10. Ensamble total del puente.....	123
Figura 6.11. Transporte de las armaduras.....	124
Figura 6.12. Colocación de las armaduras.....	124
Figura 6.13. Ensamble de las armaduras en la orilla.....	124
Figura 6.14. Lanzamiento del puente.....	125
Figura 6.15. Posición definitiva del puente.....	125