

UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA

CARRERA INGENIERIA CIVIL

DEPARTAMENTO DE ESTRUCTURAS Y CIENCIAS DE LOS MATERIALES



**“EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE LAS PATOLOGÍAS DEL PUENTE
TOMATITAS DE LA CIUDAD DE TARIJA PARA SU REHABILITACIÓN Y
CONSERVACIÓN”**

POR:

RICHARD DANIEL ROMERO PEREZ

SEMESTRE I – 2024

TARIJA - BOLIVIA

UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA

CARRERA INGENIERIA CIVIL

DEPARTAMENTO DE ESTRUCTURAS Y CIENCIAS DE LOS MATERIALES

**“EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE LAS PATOLOGÍAS DEL PUENTE
TOMATITAS DE LA CIUDAD DE TARIJA PARA SU REHABILITACIÓN Y
CONSERVACIÓN”**

POR:

RICHARD DANIEL ROMERO PEREZ

SEMESTRE I – 2024

TARIJA – BOLIVIA

DEDICATORIA

A Dios por darme la vida y la salud para cumplir con mis objetivos

A los seres que más amo:

***Mi madre** Margarita Perez por seguir a mi lado en los momentos difíciles dándome todo ese apoyo y ánimo para seguir adelante.*

***Mi padre** Richard Romero por su apoyo, consejos y enseñanzas de vida.*

***Mi hermana** Gabriela Romero por estar siempre presente dándome ánimos y deseando lo mejor para mí.*

***Mi enamorada** Roxana Vilte gracias por tu ayuda por estar ahí cuando lo necesite, por tus palabras de aliento para cumplir este objetivo*

INDICE

CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES	1
1.1 El Problema	1
1.1.1 Planteamiento	1
1.1.2 Formulación	1
1.1.3 Sistematización	1
1.2 Objetivos	2
1.2.1. General	2
1.2.2. Específicos	2
1.3 Justificación	2
1.3.1 Técnica	2
1.3.2 Académica	3
1.3.3 Social	3
1.4 Alcance del Estudio	3
1.4.1 Tipo de Estudio	3
1.4.2 Hipótesis General	3
1.4.3 Delimitación Espacial	3
1.4.4 Delimitación Temporal	4
1.4.5 Limitaciones de la Investigación	4
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	5
2.1 Antecedentes Sobre Conservación de Puentes Históricos Tipo bóveda	5
2.2 Puentes	5
2.2.1 Definición	5
2.2.2 Partes o Componentes de un Puente	5
2.2.2.1 Superestructuras	6
2.2.2.2 Dispositivo de apoyo	6
2.2.2.3 Subestructura	6
2.2.2.4 Fundaciones.	6
2.2.2.5 Accesorios.	6
2.3 Clasificación de Puentes	6
2.4 Puentes Arco y Bóveda	7
2.5 Tipos de puentes en arco	8
2.5.1 Según la Colocación del Tablero	8

2.5.1.1	Arco de Tablero Superior.....	8
2.5.1.2	Arcos de Tablero Inferior.....	9
2.5.1.3	Arcos de Tablero Intermedio.	10
2.5.2	Según Su Forma	11
2.6	Puentes Bóveda de Mampostería de Piedra	11
2.6.1	Componentes de los Puentes Bóveda de Mampostería.....	11
2.6.1.1	Bóveda	11
2.6.1.2	El Relleno.....	13
2.6.1.3	Los Tímpanos.....	14
2.6.1.4	Los Estribos.....	14
2.6.2	Materiales Constituyentes en los Puentes Bóveda de Mampostería.....	14
2.6.2.1	La Piedra.	15
2.6.2.2	El Mortero.	15
2.6.3	Análisis de los Esfuerzos de Compresión del Puente de Arco.....	15
2.7	Patología estructural.....	17
2.7.1	Acciones físicas.....	18
2.7.2	Acciones mecánicas	18
2.7.3	Acciones químicas.....	18
2.8	Patologías en puentes.....	18
2.8.1	Daños por diseño.....	19
2.8.1.1	Fisuras.	19
2.8.1.2	Aplastamiento local.....	22
2.8.1.3	Asentamientos.....	23
2.8.1.4	Volcamiento.	23
2.8.1.5	Vibración Excesiva.	23
2.8.2	Daños Por Construcción.....	23
2.8.2.1	Oquedades.....	24
2.8.2.2	Segregación.....	25
2.8.2.3	Fisuración por Retracción.	25
2.8.2.4	Construcción de las Juntas Frías.	26
2.8.2.5	Recubrimiento Inadecuado y Exposición del Acero de Refuerzo.	27
2.8.2.6	Infiltración y Eflorescencia.....	28
2.8.2.7	Carbonatación.	28

2.8.2.8	Corrosión del acero de refuerzo.....	29
2.8.2.9	Contaminación del Concreto.....	30
2.8.2.10	Fallas Por Impacto.	31
2.8.2.11	Socavación.	32
2.9	Patologías en los puentes bóveda.....	32
2.9.1	Grietas de separación entre bóveda-boquilla y bóveda-tímpano.....	33
2.9.2	Posible esquema de colapso por formación de una cuarta rotula	34
2.9.3	Desprendimiento del tímpano por empuje excesivo del relleno de tierras	34
2.9.4	Deslizamiento de dovelas en bóveda.....	35
2.9.5	Grieta en bóveda debido a asentamientos diferenciales	36
2.9.6	Humedades y eflorescencias en bóvedas de ladrillo.....	36
2.9.7	Fisuras inclinadas en bóvedas de hormigón por asiento de la cimentación.....	37
2.9.8	La socavación	38
2.9.9	Degradación de Los Materiales.....	38
2.10.	Tránsito de vehículos sobre el puente	39
2.11	Conservación	42
2.11.1	Inspección Visual de las Patologías.....	43
2.11.2	Evaluación.....	43
2.11.3	Mantenimiento	44
2.12	Necesidad de conservar los puentes	45
2.13	Intervención en los puentes históricos	46
CAPÍTULO III	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	48
3.1	Desarrollo de la investigación	48
3.1.1	Tipo de investigación.....	48
3.1.2	Diseño de investigación	48
3.1.3	Procedimiento de la investigación.....	48
3.2	Equipos y/o herramientas para la inspección.....	49
3.3	Método de la investigación.....	49
CAPÍTULO IV	CARACTERIZACIÓN DEL PUENTE	50
4.1	Análisis de Planos del Puente.....	50
4.2	Descripción del Puente Tomatitas.....	50
4.3	Descripción de los Elementos del Puente de Tomatitas.....	53
4.3.1	Accesorios.....	53

4.3.1.1 Entradas de Aproximación al puente.....	53
4.3.1.2 Superficie de Rodamiento.....	54
4.3.1.3 Aceras	54
4.3.1.4 Barandas y Postes	55
4.3.1.5 Drenaje.....	56
4.3.1.6 Señalización y Seguridad del Trafico	57
4.3.1.7 Iluminación.....	58
4.3.2 Super Estructura (puente bóveda).....	59
4.3.2.1 losa.....	59
4.3.2.2 Servicios Públicos Instalados	60
4.3.3 Super estructura (puente viga-losa con vigas metálicas).....	61
4.3.3.1 Losa.....	61
4.3.3.2 Vigas de Acero	61
4.3.3.3 Vigas de hormigón.....	62
4.3.3.4 Aparatos de Apoyo	62
4.3.4 Sub estructura	63
4.3.4.1 Relleno.....	63
4.3.4.2 Tímpanos	63
4.3.4.3 bóveda.....	64
4.3.4.4 Estribos	65
4.4 Descripción estructural puente en arco	66
4.5 Bases de calculo	67
4.6 Metodología de la evaluación estructural.....	68
4.6.1 Cargas	68
4.6.1.1 Cargas permanentes	68
4.6.1.2 Cargas transitorias	68
4.6.2 Combinaciones y Factores de cargas.....	69
CAPÍTULO V EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL PUENTE BOVEDA	71
5.1 Modelo y Idealización de la Estructura	71
5.2 Condiciones de Borde	72
5.3 Relación Flecha y Luz [f/L].....	72
5.4 Forma del Arco	72
5.5 Análisis de carga	73

5.5.1	Peso propio	73
5.5.2	Peso Carpeta de Hormigón y Carpeta Asfáltica	75
5.5.3	Peso del Relleno.....	76
5.5.4	Carga camión HL-93	78
5.5.5	Carga de carril.....	79
5.6	Solicitaciones de la estructura.....	79
5.6.1	Análisis Carga Distribuida Uniformemente (una parte del peso propio +una parte del relleno).....	79
5.6.2	Análisis Carga Distribuida Uniformemente (Peso Carpeta de Hormigón y Asfáltica).....	82
5.6.3	Análisis Carga Parabólica.....	84
5.6.4	Análisis Carga De Camión	86
5.6.5	Análisis Carga De Carril.....	87
5.6.6	Fuerzas internas Finales.....	89
5.7	Análisis de Resistencia de la bóveda.....	89
5.7.1	Demostración de las fórmulas:	90
5.7.2	Resistencia del arco o bóveda en la sección más crítica.....	94
CAPÍTULO VI EVALUACION DE PATOLOGÍAS		98
6.1	Evaluación de la condición global del puente.....	98
6.2	Definición de la Condición Global del Puente.....	98
6.3	Condición Estadística	99
6.3.1	Concepto de condición estadística.....	99
6.3.2	Condición en Campo	99
6.4	Calculo de la Condición Estadística de los Elementos del Puente Tomatitas	99
6.5	Condición estadística del puente.....	107
CAPÍTULO VII PROPUESTA DE REHABILITACIÓN		124
7.1	Propuesta para grieta entre arco-tímpano y grietas en tímpano derecho.....	124
7.2	Propuesta para la evacuación de aguas en el puente	125
7.3	Propuesta para desprendimiento y descascaramientos en postes de barandas	126
7.4	Propuesta para degradación en aparatos de apoyo	127
CAPÍTULO VIII PRESUPUESTO PROPUESTA DE REHABILITACIÓN.....		128
CAPÍTULO IX CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		129
9.1	Conclusiones	129

9.2 Recomendaciones	130
BIBLIOGRAFÍA	131
ANEXOS.....	134
ANEXO 1 PLANOS.....	134
Plano 1 Ubicación - Localización.....	134
Plano 2 Vistas Renderizadas en 3D.....	134
Plano 3 Vistas Renderizadas en Solido.....	134
Plano 4 Vistas en Corte e Isométrico.....	134
Plano 5 Perfil Longitudinal.....	134
Plano 6 Definición Geométrica.....	134
ANEXO 2 CROQUIS Y METRADO DE PATOLOGÍAS	134

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Provincias del Departamento de Tarija.....	3
Figura 2 Puente Tomatitas Vista Lateral.....	4
Figura 3 Puente Tomatitas Vista en Planta.....	4
Figura 4 Puente Bóveda de Tomatitas 1928.....	8
Figura 5 Puente Bóveda Tablero Superior	8
Figura 6 Puente en Arco de Tablero Superior.....	9
Figura 7 Puente en Arco de Tablero Inferior.....	9
Figura 8 Puente en Arco de Tablero Inferior.....	10
Figura 9 Puente en Arco de Tablero Intermedio	10
Figura 10 Partes de un Puente en Arco de Mampostería vista Isométrica	12
Figura 11 Partes de un Puente en Arco de Mampostería vista de Perfil	12
Figura 12 Tipos de Bóvedas más Comunes	13
Figura 13 Composición de los Rellenos en un Puente Bóveda de Mampostería.....	14
Figura 14 Transmisión de los esfuerzos de compresión a los apoyos.....	15
Figura 15 Transmisión de los esfuerzos de compresión a los apoyos sin estribos.....	16
Figura 16 Transmisión de los esfuerzos de compresión a los apoyos con estribos.....	16
Figura 17 Relación entre polígono funicular y arco funicular	17
Figura 18 Fisurómetro	20
Figura 19 Puente Totorilla – Perú Fisuración por Flexión.....	20
Figura 20 Fractura por Cortante en la Pila	21
Figura 21 Fractura por Aplastamiento en el Pedestal.....	22
Figura 22 Fractura por Aplastamiento en la Viga de Cimentación.....	22
Figura 23 Presencia de Oquedades en la Viga Cabezal	24
Figura 24 Segregación en el Concreto.....	25
Figura 25 Fisuras de Retracción Plástica.....	25
Figura 26 Fisuras de Retracción Plástica.....	26
Figura 27 Juntas Entre Concreto en Diferentes Etapas	27
Figura 28 Recubrimiento Inadecuado en la Losa	27
Figura 29 Eflorescencia en el Estribo del puente	28
Figura 30 Carbonatación en el Concreto.....	29

Figura 31	Corrosión del Acero en el Concreto.....	30
Figura 32	Contaminación del Concreto de las Aletas de un Puente.....	31
Figura 33	Fallas por Impacto.....	31
Figura 34	Socavación en Cimentación de las Pilas.....	32
Figura 35	Grieta de separación entre bóveda y boquilla	33
Figura 36	Grietas por diferente rigidez entre bóveda-boquilla y bóveda-tímpano	33
Figura 37	Posible esquema de colapso por formación de una cuarta rotula	34
Figura 38	Desprendimiento del tímpano por empuje excesivo del relleno de tierras	35
Figura 39	Deslizamiento de dovelas en bóvedas.....	35
Figura 40	Grieta en bóveda debido a asientos diferenciales de la cimentación	36
Figura 41	Humedades y eflorescencia en bóvedas de ladrillo	37
Figura 42	Fisuras inclinadas en bóvedas de hormigón por asiento	37
Figura 43	Socavación en un Pilar del Puente de Alcántara.....	38
Figura 44	Degradación en los Puentes de Mampostería	39
Figura 45	Aforo vehicular puente Tomatitas.....	40
Figura 46	Fotografía del Puente de Tomatitas 1940	47
Figura 47	Estudio de las etapas de la investigación	48
Figura 48	Ensanchamiento del puente Tomatitas.....	50
Figura 49	Vista General del Puente.....	51
Figura 50	vista del ensanchamiento del tramo puente de vigas	51
Figura 51	vista lateral general del puente Tomatitas modelado.....	52
Figura 52	Vista lateral general del puente de Tomatitas modelado y renderizado	52
Figura 53	Vista lateral general del puente de Tomatitas foto real.....	52
Figura 54	Entrada al Puente Viniendo de la Ciudad	53
Figura 55	Entrada al Puente Desde la Provincia de Méndez.....	53
Figura 56	Calzada del puente de Tomatitas	54
Figura 57	Acera lado izquierdo y acera lado derecho	55
Figura 58	Barandas y Postes del puente vista lateral	56
Figura 59	Crecida del rio Guadalquivir.....	56
Figura 60	Señalización del Puente de Tomatitas.....	58
Figura 61	Iluminación puentes de Tomatitas	59

Figura 62 Losa del Puente en Arco	59
Figura 63 Servicios Públicos Instalados.....	60
Figura 64 Losa del Puente de Vigas.....	61
Figura 65 Vigas de Acero puente de Tomatitas	61
Figura 66 Vigas de Hormigón Armado Puente de Tomatitas	62
Figura 67 Aparatos de Apoyo Puente de Tomatitas.....	62
Figura 68 Relleno de un Puente en Arco.....	63
Figura 69 Mampostería del puente de Tomatitas	63
Figura 70 Vista del Puente bóveda de Tomatitas	64
Figura 71 Estribo situado en la parte de la Provincia de Cercado.....	65
Figura 72 Estribo situado en la parte de la Provincia de Méndez	65
Figura 73 Geométrica del Puente en Arco	66
Figura 74 Camión HL-93, Tándem de diseño y Carga de carril	68
Figura 75 Modelo real del puente bóveda a analizar.....	71
Figura 76 Forma del Puente Bóveda	72
Figura 77 Carga por peso propio	75
Figura 78 Cargas por Peso carpeta de hormigón y Asfáltica uniformemente distribuida... 76	
Figura 79 Cargas por peso del relleno.....	77
Figura 80 Punto más crítico y Ubicación del Camión para Momento Máximo Positivo.... 78	
Figura 81 Diagrama de momentos con la Ubicación del Camión que genera Momento Máximo (+).....	78
Figura 82 Cargas Camión HL-93	79
Figura 83 Carga de Carril.....	79
Figura 84 Solución condensada para una carga uniformemente distribuida.....	80
Figura 85 Ángulos de Inclinación para Cualquier Sección del Arco	81
Figura 86 Solución condensada para una carga uniformemente distribuida.....	82
Figura 87 Solución Condensada para una Carga Parabólica.....	84
Figura 88 Solución Condensada Para tres Cargas Puntuales	86
Figura 89 Solución Condensada Carga Distribuida Repartida Sobre La Mitad del Arco... 87	
Figura 90 Sección de una Columna de Hormigón Armado	90
Figura 91 Equilibrio de Fuerzas de una Columna Sometida a Flexocompresión	90

Figura 92 Diagrama de Compatibilidad de Deformaciones.....	92
Figura 93 Diagrama de Interacción - elemento flexocompresión	93
Figura 94 Diagrama de interacción con su Factor de seguridad	94
Figura 95 Modo de fallo o colapso más identificado de los puentes bóveda.....	94
Figura 96 Sección transversal de columna	95
Figura 97 Diagrama de Interacción en Sección Crítica.....	96
Figura 98 Diagrama de Interacción en Sección Arranque.....	97
Figura 99 Grado de daño y Condición del Puente (Según norma).....	98
Figura 100 Grado de daño y Condición del Puente (Según norma).....	109

INDICE DE TABLAS

Tabla 1	Datos de vehículos de ingreso al puente en dos días hábiles y uno no hábil.....	41
Tabla 2	Datos de vehículos de salida del puente en dos días hábiles y uno no hábil.....	41
Tabla 3	Promedio de los datos de dos días hábiles y un día no hábil.....	41
Tabla 4	Proyección del tráfico vehicular en diferentes años "ingreso"	42
Tabla 5	Proyección del tráfico vehicular en diferentes años "salida"	42
Tabla 6	Cuadro General de Lesiones Patológicas a Evaluar	43
Tabla 7	Factores de Carga y Combinaciones	69
Tabla 8	Factores de Carga para Cargas Permanentes.....	70
Tabla 9	Fuerzas Internas que se Genera una Carga uniformemente distribuida	81
Tabla 10	Fuerzas Internas que se Genera una Carga uniformemente distribuida mayoradas	82
Tabla 11	Fuerzas Internas que se Genera una Carga uniformemente distribuida	83
Tabla 12	Fuerzas Internas que se Genera una Carga uniformemente distribuida mayoradas	83
Tabla 13	Fuerzas Internas que se Generan de una Carga Parabólica	85
Tabla 14	Fuerzas Internas que se Generan de una Carga Parabólica mayoradas.....	85
Tabla 15	Fuerzas Internas por carga de camión	86
Tabla 16	Fuerzas Internas por carga de camión mayoradas.....	87
Tabla 17	Fuerzas Internas que se Generan uniformemente sobre la mitad del claro	88
Tabla 18	Fuerzas Internas que se Generan uniformemente sobre la mitad del claro mayoradas.....	89
Tabla 19	Resultados de todas las Fuerzas Internas Actuantes que se Generan en la bóveda	89
Tabla 20	Grado de Severidad de daños en Mampostería de piedra.....	99
Tabla 21	Valoración del grado de daño en campo (Tímpano Derecho).....	100
Tabla 22	Valoración del grado de daño en campo (Tímpano Izquierdo).....	100
Tabla 23	Valoración del grado de daño en campo (Tímpano Derecho).....	100
Tabla 24	Grado de Severidad de daños en Concreto Armado.....	101
Tabla 25	Valoración del grado de daño en campo (Postes de la Baranda).....	102
Tabla 26	Valoración del grado de daño en campo (Losa).....	102

Tabla 27	Grado de Severidad de daños en Barandas de Acero	102
Tabla 28	Valoración del grado de daño en campo (Barandas).....	103
Tabla 29	Grado de Severidad de daños en Apoyos de Neopreno.....	103
Tabla 30	Grado de Severidad de daños en Apoyos de Acero.....	104
Tabla 31	Valoración del grado de daño en campo (Aparatos de Apoyo).....	104
Tabla 32	Porcentaje de Evaluación de Campo de cada Elemento del Puente	105
Tabla 33	Ajuste según Porcentaje Umbral ($\% \text{Campo} * 100 / \% \text{Umbral}$).....	105
Tabla 34	Umbrales Adoptados para cada Condición	106
Tabla 35	Porcentajes Ajustados Acumulados de la Condición	106
Tabla 36	Reajuste de Valores hasta Sumar 100%	106
Tabla 37	Condición Estadística de cada Elemento, Utilizando el Quinto Momento	107
Tabla 38	Condición Estadística del Puente	108
Tabla 39	Datos para Calculo de Condición Estadística del Puente.....	108
Tabla 40	Rango de Condición Estadística	108

INDICE DE FICHAS DE INSPECCIÓN

Ficha de Inspección 1	110
Ficha de Inspección 2	112
Ficha de Inspección 3	114
Ficha de Inspección 4	116
Ficha de Inspección 5	118
Ficha de Inspección 6	120
Ficha de Inspección 7	122