

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DPTO. DE ESTRUCTURAS Y CIENCIAS DE LOS MATERIALES



TOMO I

“DISEÑO ESTRUCTURAL DE PUENTE VEHICULAR”
(RÍO PADCAYA, COMUNIDAD EL ZAIRE)

Por:

DIEGO BORIS SUBIA GALLARDO

Semestre I - 2017
TARIJA – BOLIVIA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DPTO. DE ESTRUCTURAS Y CIENCIAS DE LOS MATERIALES

“DISEÑO ESTRUCTURAL DE PUENTE VEHICULAR”
(RÍO PADCAYA, COMUNIDAD EL ZAIRE)

Por:

DIEGO BORIS SUBIA GALLARDO

Proyecto de grado presentado a consideración de la “UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO”, como requisito indispensable para optar el grado académico de Licenciatura en Ingeniería Civil.

Semestre I - 2017
TARIJA – BOLIVIA

V°B°
Ing. Javier Castellanos Vásquez
DOCENTE GUÍA

.....
M.Sc. Ing. Ernesto R. Álvarez Gozalvez
DECANO
FACULTAD DE CIENCIAS Y
TECNOLOGÍA

.....
M.Sc. Ing. Silvana S. Paz Ramírez
VICEDECANA
FACULTAD DE CIENCIAS Y
TECNOLOGÍA

TRIBUNAL:

.....
Ing. Paul Carrasco Arnold

.....
Ing. Armando Almendras S.

.....
Ing. Dimar Fernández Sulca

El docente y tribunal evaluador del Proyecto de Ingeniería Civil no se solidarizan con los términos, la forma, los modos y las expresiones empleados en la elaboración del presente trabajo, siendo los mismos únicamente responsabilidad del autor.

DEDICATORIA

A mis padres Milton Subia Martínez y Faustina Gallardo Ramos, a mis hermanos, pues este es el fruto de los años que me han apoyado, Dios los guarde y bendiga grandemente.

AGRADECIMIENTOS

A Yahvé, el Dios de la gloria a quien me rendiré cada día porque me ha salvado.

A mis padres y hermanos por la bondad y el amor que recibí y el cual debo ahora devolver a mi prójimo.

A la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, lugar donde se halla el comienzo del progreso de mi tierra.

A mis docentes, quienes se despojaron del egoísmo y transmitieron sus experiencias y conocimientos a mi vida. Es loable la labor suya.

A mis amigos y familiares, mil gracias por su amistad y consejos.

PENSAMIENTO

“Los ojos del Señor están en todo lugar,
mirando a los malos y a los buenos”. Proverbios
15:3.

ÍNDICE

	Pág.
RESUMEN	i
1. ANTECEDENTES	1
1.1 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. Académica	2
1.3.2. Técnica.....	2
1.3.3. Social	3
1.4. Alcance del proyecto.....	3
1.4.1 Resultados	3
1.5 Localización	3
1.6 Estudio demográfico	5
2. MARCO TEÓRICO	6
2.1. Levantamiento topográfico	6
2.2. Estudio de suelos.....	6
2.2.1. Ensayo S.P.T. (Standard Penetration Test).....	7
2.2.2. Distribución granulométrica	8
2.2.3. Límites de Atterberg	9
2.3. Estudio hidrológico e hidráulico	10
2.3.1. Características de la cuenca	10
2.3.2. Propiedades físicas de la cuenca.....	11
2.3.3. Propiedades Geomorfológicas de la cuenca	11
2.3.4. Precipitación máxima horaria	11
2.3.5. Lluvia neta, Método del Número de Curva NC.....	13

2.3.6. Periodo de retorno.....	14
2.3.7. Caudal máximo de diseño.....	15
2.3.8. Tirante máximo.....	17
2.3.9. Socavación.....	19
2.4. Geometría del puente	33
2.4.1. Superestructura	34
2.4.2. Infraestructura.....	35
2.4.3. Estructuras complementarias	35
2.5. Diseño Estructural.....	36
2.5.1. Filosofía de diseño	36
2.5.2. Superestructura	41
2.5.3. Infraestructura.....	75
2.6. Estrategia para la ejecución del proyecto.....	81
2.6.1. Especificaciones técnicas.....	81
2.6.2. Precios unitarios.....	81
2.6.3. Cómputos métricos	83
2.6.4. Presupuesto	84
2.6.5. Planeamiento y cronograma	85
3. INGENIERÍA DE PROYECTO.....	87
3.1. Análisis del levantamiento topográfico.....	87
3.2. Análisis del estudio de suelos	88
3.3. Análisis del estudio hidrológico e hidráulico.....	89
3.4. Geometría del puente	90
3.5. Diseño estructural.....	92
3.5.1. Filosofía de diseño	92
3.5.2. Diseño de la superestructura.....	93
3.5.3. Diseño de la infraestructura	114
3.6. Especificaciones técnicas	123
3.7. Precios unitarios	123
3.8. Cómputos métricos	123
3.7. Presupuesto	123

3.7. Planeamiento y cronograma.....	123
4. APORTE ACADÉMICO	124
4.1. Marco Conceptual	124
4.2. Alcance del aporte.....	130
4.3. Desarrollo y procedimiento de aplicación.....	130
4.4. Ejemplo de aplicación N° 1	140
4.5. Ejemplo de aplicación N° 2.....	145
4.6. Validación del Método de Bielas y Tirantes	152
4.6.1. Predicción de carga última (punto de vista experimental).....	153
4.6.2. Comparación de esfuerzos en una viga de gran altura	156
4.7. Conclusiones y recomendaciones	163
4.7.1. Conclusiones.....	163
4.7.2. Recomendaciones	163
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	165
5.1. Conclusiones	166
5.2. Recomendaciones.....	149
BIBLIOGRAFÍA	167

ANEXOS

Anexo 1. PUNTOS TOPOGRAFÍA

Anexo 2. ESTUDIO GEOTÉCNICO

Anexo 3. ESTUDIO HIDROLÓGICO HIDRÁULICO

Anexo 4. MEMORIA DE DISEÑO ESTRUCTURAL

Anexo 5. PRESUPUESTO GENERAL DE LA OBRA

Anexo 6. CÓMPUTOS MÉTRICOS

Anexo 7. ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

Anexo 8. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Anexo 9. PLANIFICACIÓN

Anexo 10. DOCUMENTACION DE RESPALDO

Anexo 11. FOTOGRAFÍAS VARIOS

Anexo 12. PLANOS TOPOGRAFÍA Y ESTRUCTURALES

Anexo 13. EJEMPLO VIGA COMPUESTA PCI JOURNAL 2003

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA N° 1	Ubicación del área de proyecto 4
FIGURA N° 2	Granulometría de un suelo 9
FIGURA N° 3	Definición de los límites de Atterberg 10
FIGURA N° 4	Parámetros del hidrograma unitario 16
FIGURA N° 5	Nomenclatura para el cálculo de la socavación 20
FIGURA N° 6	Sección transversal del cauce 22
FIGURA N° 7	Formas usuales de pilas 27
FIGURA N° 8	Coefficientes $k\phi$ 29
FIGURA N° 9	Intersección del flujo por los estribos 30
FIGURA N° 10	Formas comunes de estribos 32
FIGURA N° 11	Coefficiente $k\theta$ que depende del ángulo de ataque 32
FIGURA N° 12	Elementos principales de un puente 33
FIGURA N° 13	Sección tipo de puentes y pasos superiores 34
FIGURA N° 14	Camión de diseño 42
FIGURA N° 14	Tándem de diseño 43
FIGURA N° 15	Modelo ideal para aplicar la ley de momentos 50
FIGURA N° 16	Curva tensión-deformación para tendones de 7 hilos 52
FIGURA N° 17	Líneas de influencia viga simplemente apoyada 61
FIGURA N° 18	Zona general y zona local 70
FIGURA N° 19	Tipos de fuerzas de tracción y disposición de armadura 70
FIGURA N° 20	Variables para determinar la fuerza de desgarramiento 71
FIGURA N° 21	Determinación de las fuerzas de tracción en los bordes 72
FIGURA N° 22	Área efectiva de la placa de apoyo para dispositivos de anclaje 73
FIGURA N° 23	Confinamiento en espiral y reducción de área efectiva 74
FIGURA N° 24	Simbología para el empuje activo de Coulomb 76
FIGURA N° 25	Predimensionamiento de muros ménsula 78
FIGURA N° 26	Predimensionamiento de estribo cerrado 79
FIGURA N° 27	Aplicación del método de Huntington diseño de pantallas 80
FIGURA N° 28	Aplicación del método de Huntington diseño de contrafuertes 81

FIGURA N° 29	Puntos de referencia	87
FIGURA N° 30	Granulometría pozo 1.....	88
FIGURA N° 31	Granulometría pozo 2.....	88
FIGURA N° 32	Curva de descarga río Padcaya	89
FIGURA N° 33	Perfil de socavación río Padcaya.....	90
FIGURA N° 34	Geometría de la superestructura.....	91
FIGURA N° 35	Geometría de estribo en pantalla frontal	92
FIGURA N° 36	Geometría y cargas de diseño pasamanos	93
FIGURA N° 37	Esquema cargas de diseño poste	94
FIGURA N° 38	Geometría de vereda	94
FIGURA N° 39	Combinación Vereda caso i (izq.) y caso ii (der.).....	95
FIGURA N° 40	Combinación Bordillo caso i (izq.) y caso ii (der.).....	96
FIGURA N° 41	Plano de fisura potencial en bordillo.....	96
FIGURA N° 42	Esquema de cargado longitudinal de bordillo.....	97
FIGURA N° 43	Esquema de cargas de vereda.....	98
FIGURA N° 44	Esquema de cargas vivas barandado y peatonales	98
FIGURA N° 45	Esquema de cargado transversal con camión diseño	100
FIGURA N° 46	Esquema de cargas muertas	100
FIGURA N° 47	Esquema ley de momentos.....	100
FIGURA N° 48	Esquema carga de carril para momento y reacciones máximas	100
FIGURA N° 49	Esquema carga de carril y envolventes para cortante	101
FIGURA N° 50	Esquema carga de camión de diseño y envolventes.....	101
FIGURA N° 51	Variables Viga $T=0$	103
FIGURA N° 52	Variables Viga $T=\infty$	104
FIGURA N° 53	Conjunto solución de excentricidades.....	107
FIGURA N° 54	Variables Viga.....	108
FIGURA N° 55	Reacción R por eje de ruedas sobre el diafragma i	111
FIGURA N° 56	Linea de influencia para $M_{\text{máx}}$ por Courbon.....	112
FIGURA N° 57	Modelo de Bielas y Tirantes	112
FIGURA N° 58	Cargas Estado I sobre el Estribo	115
FIGURA N° 59	Cargas Estado II sobre el Estribo	116

FIGURA N° 60	Celosía de Ritter	124
FIGURA N° 61	Terminología y Simbología del MBT	125
FIGURA N° 62	Ejemplo de Regiones B y Regiones D en un pórtico	125
FIGURA N° 63	Ejemplos de discontinuidad geométrica.....	126
FIGURA N° 64	Ejemplos de discontinuidad estática (o mecánica).....	127
FIGURA N° 65	Ejemplos de discontinuidad generalizada	127
FIGURA N° 66	Tipos básicos de bielas	128
FIGURA N° 67	Tipos de nudos	129
FIGURA N° 68	Identificación de regiones D	131
FIGURA N° 69	Selección del modelo	132
FIGURA N° 70	Selección del modelo	132
FIGURA N° 71	Ángulos de desviación de cargas puntuales y tirantes	133
FIGURA N° 72	Dimensionamiento de bielas y zona nodal - AASHTO	134
FIGURA N° 73	Dimensionamiento de bielas y zona nodal – ACI.....	135
FIGURA N° 74	Determinación de A_2 para el caso de apoyos escalonados.....	137
FIGURA N° 75	Relación de f_{cu} vs. α_s	139
FIGURA N° 76	Geometría y cargas.....	140
FIGURA N° 77	Modelo bielas y tirantes	140
FIGURA N° 78	Dimensiones nudos	142
FIGURA N° 79	Dimensiones nuevo modelo bielas y tirantes	143
FIGURA N° 80	Detallado de armadura	145
FIGURA N° 81	Dimensiones longitudinal y transversal del puente.....	146
FIGURA N° 82	Geometría y cargas puente	146
FIGURA N° 83	Modelo bielas y tirantes propuesto	147
FIGURA N° 84	Dimensionamiento de nudos y bielas del modelo.....	149
FIGURA N° 85	Detallado de armadura	152
FIGURA N° 86	Detalle de armado	154
FIGURA N° 87	Condiciones de falla y deformaciones de tirante	154
FIGURA N° 88	Modelo de bielas y tirantes planteado.....	155
FIGURA N° 89	Capacidad resistente según M.B.T.....	155
FIGURA N° 90	Dimensiones de viga de gran altura.	156

FIGURA N° 91	Planteamiento de mecanismo resistente (reticulado) del M.B.T.....	157
FIGURA N° 92	Resumen de esfuerzos determinados por M.B.T.	158
FIGURA N° 93	Esfuerzos de compresión M.E.F.	159
FIGURA N° 94	Esfuerzos de tracción M.E.F.	159
FIGURA N° 95	Esfuerzos normales σ_x en la dirección x (\rightarrow) M.E.F.	160
FIGURA N° 96	Esfuerzos normales σ_z en la dirección z (\uparrow) M.E.F.....	160
FIGURA N° 97	Comparación de esfuerzos de compresión entre M.B.T. y M.E.F.	161
FIGURA N° 98	Comparación de esfuerzos de tracción entre M.B.T. y M.E.F.....	162

ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
CUADRO N° 1 Población área de influencia del proyecto..	5
CUADRO N° 2 Compacidad de suelos granulares y correlación aprox. N..	7
CUADRO N° 3 Propiedades comunes de los suelos no cohesivos.....	8
CUADRO N° 4 Clasificación de condiciones antecedentes de húmedas	14
CUADRO N° 5 Periodo de retorno para puentes de carreteras.....	14
CUADRO N° 6 Periodo de retorno para diseño.....	15
CUADRO N° 7 Coeficientes de escorrentía para T=10Años	17
CUADRO N° 8 Coeficientes de rugosidad “n” de Manning	18
CUADRO N° 9 Factor de corrección por contracción del cauce μ	24
CUADRO N° 10 Factor de corrección K_f por forma de la pila.....	26
CUADRO N° 11 Factor de corrección K_ϕ por ángulo de ataque del flujo.....	27
CUADRO N° 12 Valores de función de forma f_3	28
CUADRO N° 13 Coeficiente de corrección K_θ	30
CUADRO N° 14 Coeficiente de corrección K_Q	31
CUADRO N° 15 Coeficiente de corrección K_m	31
CUADRO N° 16 Coeficiente por la forma del estribo K_f	31
CUADRO N° 17 Factor de modificación para η_i	36
CUADRO N° 18 Combinaciones de Cargas y Factores de Carga	39
CUADRO N° 19 Factores de carga para cargas permanentes, γ_p	40
CUADRO N° 20 Densidades	41
CUADRO N° 21 Factor de presencia múltiple (m).....	44
CUADRO N° 22 Incremento por Carga Dinámica, IM	44
CUADRO N° 23 Presiones básicas, PB, correspondientes a VB = 160 km/h	46
CUADRO N° 24 PB para diferentes ángulos de ataque; VB = 160 km/h	46
CUADRO N° 25 Componentes del viento sobre la sobrecarga viva	47
CUADRO N° 26 Fajas equivalentes	48
CUADRO N° 27 Factores de distribución para momento en vigas interiores	49
CUADRO N° 28 Factores de distribución para momento en vigas exteriores	49
CUADRO N° 29 Factores de distribución para corte en vigas interiores	50

CUADRO N° 30 Factores de distribución para corte en vigas exteriores	50
CUADRO N° 31 Propiedades de los cables y barras de pretensado	51
CUADRO N° 32 Límites de tensión para los tendones de pretensado	53
CUADRO N° 33 Límites para la tensión de tracción en el hormigón $T=0$	53
CUADRO N° 34 Límites para la tensión de compresión en el hormigón $T=\infty$	55
CUADRO N° 35 Límites para la tensión de tracción en el hormigón $T=\infty$	55
CUADRO N° 36 Coeficientes de fricción para tendones de postesado	58
CUADRO N° 37 Recubrimiento para las armaduras principales no protegidas	63
CUADRO N° 38 Diagrama de flujo para el diseño al corte.....	67
CUADRO N° 39 Valores de θ y β	69
CUADRO N° 40 Ángulo de fricción entre diferentes materiales	76
CUADRO N° 41 Altura de suelo equivalente para carga vehicular	77
CUADRO N° 42 Coeficiente de Arrastre	78
CUADRO N° 43 Ejemplo de formato de planilla de cómputo métrico	84
CUADRO N° 44 Ejemplo de formato de planilla de presupuesto	85
CUADRO N° 45 Ejemplo de Planificación Metodología Gantt	86
CUADRO N° 46 Excentricidades permisibles.....	106
CUADRO N° 47 Resumen de eficiencia de fuerza de pretensado.....	107
CUADRO N° 48 Armadura de corte.....	109
CUADRO N° 49 Resumen de reacciones	113
CUADRO N° 50 Cargas y armadura a flexión necesaria para el alzado	118
CUADRO N° 51 Armadura a flexión necesaria contrafuerte de pantalla.....	119
CUADRO N° 52 Armadura a flexión adoptada contrafuerte de pantalla	119
CUADRO N° 53 Armadura a corte contrafuerte de pantalla central	120
CUADRO N° 54 Armadura a corte adoptada contrafuerte de pantalla central.....	120
CUADRO N° 55 Armadura a flexión necesaria contrafuerte de aleros	121
CUADRO N° 56 Armadura a flexión adoptada contrafuerte aleros	121
CUADRO N° 57 Armadura necesaria a corte contrafuerte aleros	121
CUADRO N° 58 Armadura a corte adoptada contrafuerte de aleros.....	122
CUADRO N° 59 Selección de armadura	145
CUADRO N° 60 Comprobación de Nudos.....	150

CUADRO N° 61 Comprobación de Bielas	151
CUADRO N° 62 Selección de armaduras	151
CUADRO N° 63 Resumen de esfuerzos compresión determinados por M.B.T.....	158
CUADRO N° 64 Resumen de esfuerzos de tracción determinados por M.B.T.....	158