

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**  
**DEPARTAMENTO DE ESTRUCTURAS Y CS. MS.**



**“DISEÑO ESTRUCTURAL**  
**PUENTE VEHICULAR 6 DE AGOSTO II”**

**(Sobre la Quebrada El Monte entre los Distritos 8 y 9 de la Ciudad de Tarija)**

Realizado por:

**HANS FRANZ CHÁVEZ KOHLENBERGER**

**Septiembre de 2013.**

**TARIJA – BOLIVIA**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**DEPARTAMENTO DE ESTRUCTURAS Y**  
**CIENCIAS DE LOS MATERIALES.**

**“DISEÑO ESTRUCTURAL**  
**PUENTE VEHICULAR 6 DE AGOSTO II”**  
**(Sobre la Quebrada El Monte entre los Distritos 8 y 9 de la Ciudad de Tarija)**

Realizado por:

**HANS FRANZ CHÁVEZ KOHLENBERGER**

**PROYECTO ELABORADO EN LA ASIGNATURA CIV 502**

Presentado a consideración de la **UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”**, como requisito para optar por el Grado Académico de Licenciatura en Ingeniería Civil.

**Septiembre de 2013**  
**TARIJA - BOLIVIA**

**V° B°**

.....  
Ing. Fernando Mur Lagrava  
**DOCENTE GUÍA**

.....  
M Sc. Ing. Ernesto Álvarez Gosálvez  
**DIRECTOR DEL DEPARTAMENTO DE ESTRUCTURAS Y CS. MS.**

.....

M Sc. Ing. Luis Alberto Yurquina Flores  
**DECANO DE LA FACULTAD  
DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

.....

Lic. Gustavo Succi Aguirre  
**VICEDECANO DE LA FACULTAD  
DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

**APROBADO POR:**

**TRIBUNAL:**

.....  
M Sc. Ing. Gonzalo Gandarillas Martínez

.....  
M Sc. Ing. Oscar Chávez Vargas

.....  
M Sc. Ing. Ricardo Cox Hoyos



## CERTIFICADO

Ante quien corresponda:

Certifico que el INFORME DE "DISEÑO ESTRUCTURAL PUENTE VEHICULAR 6 DE AGOSTO II (CIUDAD DE TARIJA)" elaborado por el postulante HANS FRANZ CHÁVEZ KOHLENBERGER ha sido revisado y corregido, por lo que no presenta errores de forma, sintaxis, estilo ortografía ni de puntuación.

Es todo cuanto CERTIFICO, a fines del interesado.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'M. Acosta', is positioned above the printed name of the certifier.

Lic. MSc. María Julia Acosta de Peñarrieta

Tarija, agosto de 2013

**ADVERTENCIA:**

*El docente y tribunal calificador del proyecto de ingeniería civil, no se solidarizan con la forma, términos, modos y expresiones vertidas en la elaboración del presente trabajo, siendo las mismas únicamente responsabilidad del autor.*

**DEDICATORIA:**

*Este trabajo lo dedico a Dios y a mis padres, que estuvieron presentes apoyándome en todo momento a lo largo de mi formación profesional.*

### **AGRADECIMIENTO:**

*Reconozco con mucha gratitud el conocimiento que he recibido, durante los años de estudiante en esta universidad. Hoy, al presentar éste proyecto de grado doy mi más sentido agradecimiento a mis docentes quienes de alguna u otra forma supieron guiarme para hacer realidad este proyecto.*



**PENSAMIENTO:**

*El Éxito se debe a cuánta gente te sonríe, a cuantas personas amas y cuántos admiran tu sinceridad y la sencillez de tu espíritu.*

*Carlos Slim Helú*

# ÍNDICE GENERAL

|                                      | <b>Página</b> |
|--------------------------------------|---------------|
| HOJA ÉTICA DE AUDITORIA.....         | i             |
| DEDICATORIA.....                     | ii            |
| AGRADECIMIENTO.....                  | iii           |
| PENSAMIENTO.....                     | iv            |
| RESUMEN EJECUTIVO.....               | v             |
| ÍNDICE GENERAL.....                  | vii           |
| ÍNDICE DE CUADROS.....               | xix           |
| ÍNDICE DE TABLAS.....                | xx            |
| ÍNDICE DE FIGURAS.....               | xxi           |
| ÍNDICE DE GRÁFICOS.....              | xxiii         |
| <b>CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES.....</b> | <b>1</b>      |
| 1.1 EL PROBLEMA.....                 | 1             |
| 1.1.1 Planteamiento.....             | 2             |
| 1.1.2 Formulación.....               | 3             |
| 1.1.3 Sistematización.....           | 4             |
| 1.2 OBJETIVOS.....                   | 4             |

|           |   |    |
|-----------|---|----|
| 1.2.1     | Objetivo General.....                           | 4  |
| 1.2.2     | Objetivos Específicos.....                      | 4  |
| 1.3       | ALCANCE DEL PROYECTO.....                       | 4  |
| 1.4       | JUSTIFICACIÓN.....                              | 5  |
| 1.4.1     | Académica.....                                  | 5  |
| 1.4.2     | Técnica.....                                    | 5  |
| 1.4.3     | Social - Institucional.....                     | 5  |
| 1.5       | APORTE ACADÉMICO.....                           | 5  |
| 1.6       | ASPECTOS GENERALES.....                         | 6  |
| 1.6.1     | Ubicación.....                                  | 6  |
| 1.6.1.1   | Macro Ubicación.....                            | 6  |
| 1.6.1.2   | Micro Ubicación.....                            | 7  |
| 1.6.2     | Aspectos Demográficos.....                      | 7  |
| 1.6.2.1   | Indicadores Poblacionales.....                  | 7  |
| 1.6.2.2   | Población Beneficiada.....                      | 8  |
| 1.6.2.3   | Crecimiento de la Mancha Urbana.....            | 8  |
| 1.6.2.3.1 | Uso Actual del Suelo y Equipamiento Urbano..... | 9  |
| 1.6.2.4   | Estudio Socio - Económico.....                  | 9  |
| 1.6.2.4.1 | Actividades Económicas.....                     | 9  |
| 1.6.2.4.2 | Nivel de Ingreso Familiar.....                  | 10 |
| 1.6.2.4.3 | Rol de las Mujeres y los Hombres.....           | 10 |
| 1.6.2.4.4 | Horarios y Actividades.....                     | 11 |
| 1.6.2.4.4 | Costumbres.....                                 | 11 |
| 1.6.2.5   | Información Básica.....                         | 11 |
| 1.6.2.5.1 | Estudio Legal.....                              | 11 |
| 1.6.2.5.2 | Energía Eléctrica.....                          | 12 |
| 1.6.2.5.3 | Agua Potable y Alcantarillado Sanitario.....    | 13 |
| 1.6.2.5.4 | Gas Domiciliario.....                           | 13 |
| 1.6.2.5.5 | Servicio de Salud.....                          | 14 |
| 1.6.2.5.6 | Telecomunicaciones.....                         | 15 |
| 1.6.2.5.7 | Estructura Vial.....                            | 15 |

|   |           |
|---|-----------|
| 1.6.2.5.7.1 Vías de Acceso .....  | 15        |
| 1.6.2.5.7.2 Infraestructura Vial.....                                     | 16        |
| 1.6.2.6 Transporte.....   | 16        |
| 1.6.2.6.1 Transporte Público.....   | 16        |
| 1.6.2.6.1.1 Congestionamiento de Tráfico.....                             | 17        |
| 1.6.2.6.2 Transporte Aéreo .....  | 17        |
| <b>CAPÍTULO 2. INGENIERÍA BÁSICA Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS.</b>          | <b>18</b> |
| 2.1 ESTUDIOS.....   | 18        |
| 2.1.1 Estudio Topográfico .....   | 18        |
| 2.1.2 Estudio de Suelos .....   | 20        |
| 2.1.3 Estudio Hidrológico e Hidráulico.....                               | 22        |
| 2.1.4 Estudio de Tráfico .....  | 25        |
| 2.1.5 Diseño Geométrico .....   | 26        |
| 2.1.6 Estudio de Impacto Ambiental .....                                  | 27        |
| 2.2 TIPOLOGÍA Y CARACTERÍSTICAS DE LOS PUENTES .....                      | 28        |
| 2.2.1 Clasificación de los puentes .....                                  | 28        |
| 2.2.1.1 Según su Longitud.....  | 28        |
| 2.2.1.2 Según su Uso .....  | 28        |
| 2.2.1.3 Según el Ángulo que Forma con el Eje del Obstáculo .....          | 29        |
| 2.2.1.4 Según el Material del que está Construido .....                   | 29        |
| 2.2.1.5 Según la Función Estructural.....                                 | 29        |
| 2.2.1.6 Según la Transferencia de Carga .....                             | 29        |
| 2.2.1.7 Según la Posición del Tablero Respecto a la Vía Considerada ..... | 30        |
| 2.2.1.8 Según la Movilidad del Tablero .....                              | 30        |
| 2.2.1.9 Según el Tiempo de Vida Previsto .....                            | 30        |
| 2.2.2 Componentes Básicos de los Puentes Vigas .....                      | 30        |
| 2.2.2.1 Superestructura .....   | 31        |
| 2.2.2.2 Infraestructura.....  | 31        |
| 2.2.2.3 Aparatos de Apoyo .....   | 31        |
| 2.2.2.4 Obras Adicionales.....  | 31        |
| 2.2.3 Características de los Puentes Esviajados .....                     | 32        |

|  |           |
|--|-----------|
| 2.3 ESTUDIO DE ALTERNATIVAS .....                              | 34        |
| 2.3.1 Evaluación de Alternativas de la Superestructura .....   | 34        |
| 2.3.1.1 Estética del Puente.....                               | 34        |
| 2.3.1.2 Disponibilidad de Materiales de Construcción.....      | 34        |
| 2.3.1.3 Funcionalidad .....                                    | 35        |
| 2.3.1.4 Métodos y Sistemas Constructivos.....                  | 35        |
| 2.3.1.4.1 Volados Sucesivos.....                               | 36        |
| 2.3.1.4.2 Elementos Prefabricados .....                        | 36        |
| 2.3.1.5 Eficiencia Estructural .....                           | 37        |
| 2.3.1.6 Mantenimiento.....                                     | 39        |
| 2.3.1.7 Economía.....  | 39        |
| 2.3.2 Evaluación de Alternativas Infraestructura .....         | 41        |
| 2.3.2.1 Análisis Funcional y Evaluación Técnica .....          | 41        |
| 2.3.2.2 Análisis Económico.....                                | 42        |
| 2.4 SELECCIÓN DE ALTERNATIVA.....                              | 42        |
| <b>CAPÍTULO 3. ANÁLISIS Y DISEÑO DE LA ESTRUCTURA .....</b>    | <b>45</b> |
| 3.1 ELEMENTOS DEL PROYECTO .....                               | 45        |
| 3.1.1 Normas .....   | 45        |
| 3.1.1.1 Norma para Puentes.....                                | 45        |
| 3.1.1.2 Norma para Diseño de Elementos de Hormigón Armado..... | 45        |
| 3.1.2 Materiales .....   | 45        |
| 3.1.2.1 Hormigón con $f'c = 21$ Mpa.....                       | 45        |
| 3.1.2.2 Hormigón con $f'c = 35$ Mpa.....                       | 46        |
| 3.1.2.3 Acero de Refuerzo .....                                | 46        |
| 3.1.2.4 Acero de Pretensado .....                              | 46        |
| 3.1.2.4.1 Restricciones de Tesado en los Cables .....          | 46        |
| 3.1.2.4.2 Sistemas de Pretensado.....                          | 47        |
| 3.2. FILOSOFÍA DE DISEÑO.....                                  | 48        |
| 3.2.1 Factores de Carga y Combinaciones de Cargas.....         | 48        |
| 3.2.2 Estados Límites .....                                    | 50        |
| 3.2.2.1 Estado Límite de Servicio .....                        | 50        |

|   |    |
|---|----|
| 3.2.2.2 Estado Límite de Resistencia.....                           | 50 |
| 3.2.2.3 Estado Límite Correspondiente a Eventos Extremos .....      | 50 |
| 3.3 DENOMINACIÓN DE LAS CARGAS .....                                | 51 |
| 3.3.1 Cargas Permanentes.....                                       | 51 |
| 3.3.2 Cargas Transitorias .....                                     | 51 |
| 3.3.3 Carga Viva Vehicular: <i>LL</i> .....                         | 52 |
| 3.3.3.1 Camión de Diseño .....                                      | 52 |
| 3.3.3.2 Tándem de Diseño .....                                      | 53 |
| 3.3.3.3 Carga de Carril de Diseño .....                             | 53 |
| 3.3.3.4 Aplicaciones de Sobrecarga Vehicular de Diseño.....         | 53 |
| 3.3.4 Cargas Peatonales: <i>PL</i> .....                            | 54 |
| 3.3.4.1 Cargas Sobre las Aceras .....                               | 54 |
| 3.3.4.2 Cargas Sobre las Barandas .....                             | 54 |
| 3.3.5 Presencia Múltiple: ( <i>m</i> ) .....                        | 55 |
| 3.3.6 Efectos Dinámicos (Impacto): <i>IM</i> .....                  | 55 |
| 3.3.7 Fuerza de Frenado: <i>BR</i> .....                            | 56 |
| 3.3.8 Fuerza de Colisión de un Vehículo: <i>CT</i> .....            | 56 |
| 3.3.9 Carga Hidráulica y Presión del Flujo de Agua: <i>WA</i> ..... | 57 |
| 3.3.9.1 Presión Hidrostática.....                                   | 57 |
| 3.3.9.2 Flotabilidad.....   | 57 |
| 3.3.9.3 Presión de Flujo .....                                      | 57 |
| 3.3.10 Empuje del Suelo.....  | 57 |
| 3.3.10.1 Empuje Horizontal del Suelo: <i>EH</i> .....               | 58 |
| 3.3.10.2 Sobrecargas: <i>ES</i> y <i>LS</i> .....                   | 59 |
| 3.3.10.2.1 Sobrecarga Uniforme: <i>ES</i> .....                     | 59 |
| 3.3.10.2.2 Sobrecarga Viva: <i>LS</i> .....                         | 59 |
| 3.3.11 Fuerzas Centrífugas: <i>CE</i> .....                         | 60 |
| 3.3.12 Gradiente de Temperatura: <i>TG</i> .....                    | 60 |
| 3.3.13 Cargas de Viento: <i>WL</i> y <i>WS</i> .....                | 61 |
| 3.3.14 Efectos Sísmicos: <i>EQ</i> .....                            | 62 |
| 3.4 COMPONENTES DEL PUENTE Y GEOMETRÍA .....                        | 63 |

|  |    |
|--|----|
| 3.4.1 Luz de Cálculo.....  | 63 |
| 3.4.2 Ancho de Calzada.....  | 63 |
| 3.4.3 Número de Carriles.....  | 63 |
| 3.4.4 Número de Vigas .....  | 63 |
| 3.4.5 Espesor de la Capa de Rodadura .....   | 63 |
| 3.4.6 Sección Transversal del Puente.....  | 64 |
| 3.4.6.1 Predimensionamiento de la Viga.....  | 64 |
| 3.4.6.1.1 Sección Transversal de la Viga .....   | 64 |
| 3.4.6.1.2 Espesores Mínimos de la Viga .....   | 64 |
| 3.4.6.1.3 Peralte de la Viga.....  | 65 |
| 3.4.6.1.4 Ancho Efectivo .....   | 65 |
| 3.4.6.2 Propiedades Geométricas de la Sección Inicial.....   | 66 |
| 3.4.6.3 Homogenización de la Sección Compuesta.....  | 67 |
| 3.4.6.4 Propiedades Geométricas de la Sección Compuesta .....  | 68 |
| 3.4.6.5 Geometría de la Sección Transversal del Puente.....  | 69 |
| 3.4.6.6 Factores de Distribución de Sobrecargas.....   | 69 |
| 3.4.6.6.1 Parámetro de Rigidez Longitudinal.....   | 69 |
| 3.4.6.6.2 Distribución de Sobrecargas por Carril para Momentos en Vigas Interiores   | 70 |
| 3.4.6.6.3 Distribución de Sobrecargas por Carril para Momentos en Vigas Exteriores   | 70 |
| 3.4.6.6.4 Distribución de Sobrecargas por Carril para Cortantes en Vigas Interiores  | 71 |
| 3.4.6.6.5 Distribución de Sobrecargas por Carril para Cortantes en vigas Exteriores  | 72 |
| 3.4.6.6.6 Reducción de los Factores de Distribución de Carga para Momento en vigas<br>Longitudinales sobre Apoyos Oblicuos ..... | 72 |
| 3.4.6.6.7 Factores de Corrección para los Factores de Distribución de Carga para el Corte<br>el Apoyo de la Esquina Obtusa.....  | 73 |
| 3.4.6.6.8 Factor de Distribución de la Flexión .....   | 73 |
| 3.5 DISEÑO ESTRUCTURAL.....  | 74 |
| 3.5.1 Superestructura .....  | 74 |
| 3.5.1.1 Barandado.....   | 74 |
| 3.5.1.1.1 Datos Iniciales para el Cálculo del Barandado.....   | 74 |
| 3.5.1.1.2 Predimensionamiento del Barandado .....  | 74 |

|                |   |    |
|----------------|---|----|
| 3.5.1.1.3      | Propiedades Geométricas del Barandado .....                             | 74 |
| 3.5.1.1.4      | Pasamanos .....   | 75 |
| 3.5.1.1.4.1    | Pasamanos superior de Hormigón Armado .....                             | 75 |
| 3.5.1.1.4.1.1  | Análisis de Carga del Pasamanos Superior .....                          | 75 |
| 3.5.1.1.4.1.2  | Momentos Flectores y Fuerzas Cortantes del Pasamanos Superior ...       | 75 |
| 3.5.1.1.4.1.3  | Armadura por Flexión del Pasamanos Superior .....                       | 76 |
| 3.5.1.1.4.1.4  | Verificación por Corte en el Pasamanos Superior .....                   | 77 |
| 3.5.1.1.4.2.   | Pasamanos Inferior de Fierro Galvanizado .....                          | 77 |
| 3.5.1.1.4.2.1. | Especificaciones Generales del Tubo .....                               | 77 |
| 3.5.1.1.4.2.2. | Análisis de Cargas del Pasamano Inferior .....                          | 78 |
| 3.5.1.1.4.2.3  | Momentos Flectores y Fuerzas Cortantes en el Pasamano Inferior....      | 78 |
| 3.5.1.1.4.2.4  | Verificación de la Resistencia a Flexión del Pasamanos Inferior .....   | 79 |
| 3.5.1.1.5      | Poste de Hormigón Armado .....  | 79 |
| 3.5.1.1.5.1    | Análisis de Carga del Poste .....                                       | 79 |
| 3.5.1.1.5.2    | Hipótesis de Carga del Poste .....                                      | 80 |
| 3.5.1.1.5.3    | Cálculo de Momentos Flectores y Fuerzas Cortantes en el Poste .....     | 80 |
| 3.5.1.1.5.4    | Momentos Flectores y Fuerzas Cortantes Últimos en el Poste .....        | 81 |
| 3.5.1.1.5.5    | Armadura por Flexión del Poste .....                                    | 81 |
| 3.5.1.1.5.6    | Verificación por Corte del Poste .....                                  | 82 |
| 3.5.1.1.5.7    | Verificación de la Unión Baranda - Acera .....                          | 82 |
| 3.5.1.2        | Acera.....  | 83 |
| 3.5.1.2.1      | Datos Iniciales para el Cálculo de la Acera.....                        | 83 |
| 3.5.1.2.2      | Predimensionamiento de la Acera .....                                   | 83 |
| 3.5.1.2.3      | Dimensiones de la Acera .....   | 84 |
| 3.5.1.2.4      | Análisis de Carga en el Punto B de la Acera.....                        | 84 |
| 3.5.1.2.4.1    | Cargas Muertas para el Diseño de la Acera.....                          | 84 |
| 3.5.1.2.4.2    | Cargas Vivas para el Diseño de la Acera .....                           | 84 |
| 3.5.1.2.5      | Hipótesis de Carga de la Acera.....                                     | 85 |
| 3.5.1.2.6      | Cálculo de Momentos Flectores y Fuerzas Cortantes Actuantes en la Acera | 86 |
| 3.5.1.2.7      | Momentos Flectores y Fuerzas Cortantes Últimos en la Acera.....         | 86 |
| 3.5.1.2.8      | Armadura por flexión en la Acera.....                                   | 87 |



|   |    |
|---|----|
| 3.5.1.2.9 Armadura por Cortante en la Acera.....  | 87 |
| 3.5.1.2.10 Armadura por Retracción y Temperatura de la Acera.....   | 88 |
| 3.5.1.2.11 Diseño y Análisis Transversal del Bordillo.....  | 88 |
| 3.5.1.2.11.1 Cargas Muertas Actuantes en el Bordillo.....   | 88 |
| 3.5.1.2.11.2 Cargas Vivas Actuantes en el Bordillo.....   | 88 |
| 3.5.1.2.11.3 Cálculo de Momentos Flectores del Bordillo.....  | 89 |
| 3.5.1.2.11.4 Momentos Flectores Últimos del Bordillo.....   | 89 |
| 3.5.1.2.11.5 Armadura por Flexión del Bordillo.....   | 89 |
| 3.5.1.2.11.6 Fuerzas de corte actuantes en el bordillo.....   | 90 |
| 3.5.1.2.11.6.1 Verificación por Corte en el Bordillo - Choque en el Bordillo.....   | 90 |
| 3.5.1.2.11.6.2 Verificación por Corte - Choque en la Baranda.....   | 90 |
| 3.5.1.2.12 Diseño y Análisis Longitudinal del Bordillo.....   | 90 |
| 3.5.1.2.12.1 Cargas en el Bordillo Actuando Longitudinalmente.....  | 90 |
| 3.5.1.2.12.2 Armadura por Flexión en Dirección Longitudinal del Bordillo.....   | 91 |
| 3.5.1.2.13 Armadura por Retracción y Temperatura del Bordillo.....  | 91 |
| 3.5.1.3 Diseño de la Losa del Tablero de Hormigón Armado.....   | 92 |
| 3.5.1.3.1 Predimensionamiento de la Losa del Tablero de Hormigón Armado.....  | 92 |
| 3.5.1.3.1.1 Análisis de la Separación entre Vigas.....  | 92 |
| 3.5.1.3.1.1.1 Separación de Vigas Utilizando la Fracción de Carga.....  | 92 |
| 3.5.1.3.1.1.2 Separación de Vigas Utilizando el Rango de Aplicabilidad de los Factores de<br>Distribución de Momento para la Viga Exterior..... | 93 |
| 3.5.1.3.1.2 Altura del Tablero.....   | 94 |
| 3.5.1.3.1.3 Sección de Diseño de la Losa.....   | 94 |
| 3.5.1.3.2 Losa Exterior.....  | 95 |
| 3.5.1.3.2.1 Datos Iniciales para el Diseño de la Losa Exterior.....   | 95 |
| 3.5.1.3.2.2 Dimensiones de la Sección de la Losa Exterior.....  | 95 |
| 3.5.1.3.2.3 Análisis de Carga en el Punto D de la Losa Exterior.....  | 96 |
| 3.5.1.3.2.3.1 Cargas Muertas para el Diseño de la Losa Exterior.....  | 96 |
| 3.5.1.3.2.3.2 Cargas Vivas para el Diseño de la Losa Exterior.....  | 96 |
| 3.5.1.3.2.4 Hipótesis de Carga de la Losa Exterior.....   | 97 |
| 3.5.1.3.2.5 Momentos y Fuerzas Cortantes en la Losa Exterior.....   | 99 |

|               |  |     |
|---------------|--|-----|
| 3.5.1.3.2.6   | Momentos Flectores y Fuerzas Cortantes Últimos en la Losa Exterior | 99  |
| 3.5.1.3.2.7   | Armadura Negativa por Flexión en la Losa Exterior .....            | 100 |
| 3.5.1.3.2.8   | Verificación al Corte en la Losa Exterior .....                    | 100 |
| 3.5.1.3.2.9   | Armadura por Retracción y Temperatura en la Losa .....             | 100 |
| 3.5.1.3.3     | Losa Interior .....  | 101 |
| 3.5.1.3.3.1   | Datos Iniciales para el Diseño de la Losa Interior .....           | 101 |
| 3.5.1.3.3.2   | Losa Idealizada .....  | 101 |
| 3.5.1.3.3.3   | Análisis de Carga de la Losa Interior .....                        | 101 |
| 3.5.1.3.3.3.1 | Cargas Muertas para el Diseño de la Losa Interior .....            | 101 |
| 3.5.1.3.3.3.2 | Cargas Vivas para el Diseño de la Losa Interior .....              | 101 |
| 3.5.1.3.3.4   | Momentos Flectores de la Losa Interior .....                       | 102 |
| 3.5.1.3.3.4.1 | Momentos y Cortantes por Cargas Vivas en la Losa Interior.....     | 102 |
| 3.5.1.3.3.4.2 | Momentos y Cortantes por Cargas de Peso Propio .....               | 104 |
| 3.5.1.3.3.4.3 | Resumen de Solicitaciones .....                                    | 105 |
| 3.5.1.3.3.4.4 | Solicitaciones de Diseño de la Losa Interior .....                 | 105 |
| 3.5.1.3.3.5   | Armadura Positiva por Flexión de la Losa Interior .....            | 106 |
| 3.5.1.3.3.6   | Armadura de Distribución de la Losa.....                           | 106 |
| 3.5.1.3.4     | Resumen del Armado de la Losa.....                                 | 106 |
| 3.5.1.4       | Vigas de Hormigón Pretensado .....                                 | 107 |
| 3.5.1.4.1     | Datos Iniciales para el Cálculo de las Vigas.....                  | 107 |
| 3.5.1.4.2     | Análisis de Cargas para las Vigas.....                             | 107 |
| 3.5.1.4.2.1   | Cargas Muertas para el Diseño de las Vigas .....                   | 107 |
| 3.5.1.4.2.2   | Cargas Vivas para el Diseño de las Vigas .....                     | 109 |
| 3.5.1.4.3     | Requerimiento de Servicio .....                                    | 113 |
| 3.5.1.4.3.1   | Verificación del Módulo de Sección .....                           | 113 |
| 3.5.1.4.3.2   | Cálculo de la Fuerza de Pretensado.....                            | 114 |
| 3.5.1.4.3.3   | Cálculo de Excentricidades .....                                   | 117 |
| 3.5.1.4.3.3.1 | Trayectoria de las Excentricidades .....                           | 119 |
| 3.5.1.4.3.4   | Definición de la Trayectoria de los Cables.....                    | 119 |
| 3.5.1.4.3.5   | Estimación de las Pérdidas de Pretensado.....                      | 122 |
| 3.5.1.4.3.5.1 | Pérdidas Instantáneas.....   | 122 |

|                 |  |     |
|-----------------|--|-----|
| 3.5.1.4.3.5.1.1 | Fricción entre Vainas y Torones.....                                 | 122 |
| 3.5.1.4.3.5.1.2 | Acortamiento Elástico .....  | 123 |
| 3.5.1.4.3.5.1.3 | Deslizamiento del Anclaje.....                                       | 123 |
| 3.5.1.4.3.5.2   | Pérdidas Diferidas.....  | 123 |
| 3.5.1.4.3.5.2.1 | Contracción del Hormigón .....                                       | 123 |
| 3.5.1.4.3.5.2.2 | Fluencia del Hormigón .....  | 124 |
| 3.5.1.4.3.5.2.3 | Relajación de los Cables.....  | 124 |
| 3.5.1.4.3.6     | Fuerza de Pretensado Efectiva.....                                   | 125 |
| 3.5.1.4.4       | Requerimiento de Resistencia .....                                   | 126 |
| 3.5.1.4.4.1     | Cálculo de Solicitaciones Mayoradas.....                             | 126 |
| 3.5.1.4.4.2     | Diseño por Cortante.....   | 127 |
| 3.5.1.4.4.2.1   | Fuerza Cortante que Resiste el Concreto.....                         | 128 |
| 3.5.1.4.4.2.1.1 | Agrietamiento por Cortante por Flexión .....                         | 128 |
| 3.5.1.4.4.2.1.2 | Cortante de Agrietamiento por Cortante en el Alma.....               | 129 |
| 3.5.1.4.4.2.2   | Resistencia al Cortante Proporcionada por el Acero de Refuerzo.....  | 130 |
| 3.5.1.4.4.2.3   | Diseño del Refuerzo para Corte en la Viga .....                      | 130 |
| 3.5.1.4.4.2.4   | Cálculo de la Armadura por Corte en la Viga .....                    | 131 |
| 3.5.1.4.4.3     | Armadura de Refuerzo en las Caras de la Viga (Armadura de piel)..... | 131 |
| 3.5.1.4.4.4     | Verificación por Momento Último .....                                | 132 |
| 3.5.1.4.4.5     | Zona de Anclaje.....   | 135 |
| 3.5.1.4.4.5.1   | Armadura en la Sección del Bloque Z1 .....                           | 135 |
| 3.5.1.4.4.5.2   | Armadura en la Sección del Bloque Z2.....                            | 136 |
| 3.5.1.4.4.6     | Armaduras Constructivas .....  | 137 |
| 3.5.1.4.4.6.1   | Contribución del Refuerzo Constructivo.....                          | 137 |
| 3.5.1.4.4.6.2   | Especificaciones del Colocado de la Armadura Activa y Pasiva.....    | 138 |
| 3.5.1.4.4.6.2.1 | Mínima Separación de los Tendones de Pretensado .....                | 138 |
| 3.5.1.4.4.6.3   | Anclajes para los Dispositivos de Izaje .....                        | 138 |
| 3.5.1.4.5       | Resumen de las Armaduras de la Viga.....                             | 139 |
| 3.5.1.5         | Diafragma .....  | 140 |
| 3.5.1.5.1       | Datos Iniciales para el Diseño del Diafragma .....                   | 140 |
| 3.5.1.5.2       | Predimensionamiento del Diafragma .....                              | 140 |

|             |   |     |
|-------------|---|-----|
| 3.5.1.5.3   | Cálculo de Momentos Flectores en el Diafragma Central.....  | 142 |
| 3.5.1.5.3.1 | Momento por Carga Viva en el Diafragma Central .....  | 142 |
| 3.5.1.5.3.2 | Momento por Peso Propio en el Diafragma Central .....   | 146 |
| 3.5.1.5.4   | Armadura para Resistir Tracciones en el Diafragma Central.....                                      | 148 |
| 3.5.1.5.5   | Armadura de Distribución en el Diafragma .....  | 148 |
| 3.5.1.5.6   | Resumen de la Armadura del Diafragma .....  | 139 |
| 3.5.1.6     | Deflexiones en el Centro – Rotación en los Extremos .....   | 150 |
| 3.5.1.6.1   | Criterio para la Deflexión.....   | 150 |
| 3.5.1.6.2   | Deflexiones de Corta Duración .....   | 150 |
| 3.5.1.6.2.1 | Deflexión Inmediatamente Después de la Transferencia Debido a la Fuerza de Pretensado Inicial ..... | 150 |
| 3.5.1.6.2.2 | Deflexión Debido a las Cargas Muertas .....   | 150 |
| 3.5.1.6.2.3 | Deflexión Debido a la Carga de Carril de Diseño .....   | 150 |
| 3.5.1.6.2.4 | Deflexión Debido al Camión de Diseño.....   | 151 |
| 3.5.1.6.2.5 | Deflexión Máxima Debido a la Carga Viva .....   | 151 |
| 3.5.1.6.2.6 | Deflexión Final en el Centro .....  | 151 |
| 3.5.1.6.2.7 | Rotación Final en los Extremos.....   | 151 |
| 3.5.1.6.3   | Deflexiones de Larga Duración.....  | 151 |
| 3.5.1.6.3.1 | Deflexiones Debido a la Fuerza de Pretensado Después de las Pérdidas .....                          | 151 |
| 3.5.2       | Diseño de la Infraestructura.....   | 152 |
| 3.5.2.1     | Diseño del Estribo .....  | 152 |
| 3.5.2.1.1   | Dimensionamiento del Estribo “Corte A – A” .....  | 152 |
| 3.5.2.1.2   | Definición de Cargas del Estribo “Corte A – A”.....   | 154 |
| 3.5.2.1.3   | Verificación de Estabilidad del Estribo “Corte A – A”.....  | 157 |
| 3.5.2.1.4   | Análisis Estructural del Estribo “Corte A – A” .....  | 159 |
| 3.5.2.1.5   | Diseño Estructural del Estribo “Corte A – A”.....   | 162 |
| 3.5.2.2     | Diseño de la Sección Inicial del Alero .....  | 166 |
| 3.5.2.2.1   | Dimensionamiento del Alero “Corte B – B” .....  | 166 |
| 3.5.2.2.2   | Definición de Cargas del Alero “Corte B – B” .....  | 167 |
| 3.5.2.2.3   | Verificación de Estabilidad del Alero “Corte B –B”.....   | 169 |
| 3.5.2.2.4   | Análisis Estructural del Alero “Corte B – B” .....  | 171 |

|                    |   |            |
|--------------------|---|------------|
| 3.5.2.2.5          | Diseño Estructural del Alero “Corte B – B” .....            | 174        |
| 3.5.2.3            | Diseño de la Sección al Final del Alero “Corte C – C” ..... | 177        |
| 3.5.2.3.1          | Dimensionamiento del Alero “Corte C – C” .....              | 177        |
| 3.5.2.3.2          | Definición de Cargas del Alero “Corte C – C” .....          | 178        |
| 3.5.2.3.3          | Verificación de Estabilidad del Alero “Corte C – C” .....   | 180        |
| 3.5.2.3.4          | Análisis Estructural del Alero “Corte C – C” .....          | 182        |
| 3.5.2.3.5          | Diseño Estructural del Alero “Corte C – C” .....            | 185        |
| 3.5.3              | Aparatos de Apoyo .....                                     | 188        |
| 3.5.3.1            | Apoyo de Neopreno .....                                     | 188        |
| 3.5.3.2            | Dado de Apoyo .....   | 192        |
| <b>Capítulo 4.</b> | <b>PLAN DE EJECUCIÓN Y PRESUPUESTO DE LA OBRA.....</b>      | <b>195</b> |
| 4.1                | MÉTODO CONSTRUCTIVO .....                                   | 195        |
| 4.1.1              | Generalidades .....   | 195        |
| 4.1.2              | Planeación Integral .....                                   | 195        |
| 4.1.3              | Hormigonado In Situ .....                                   | 196        |
| 4.1.4              | Tesado de Cables .....                                      | 198        |
| 4.1.5              | Montaje de las Vigas .....                                  | 199        |
| 4.1.6              | Diafragmas y Tableros Emparrillados .....                   | 200        |
| 4.2                | ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.....                              | 202        |
| 4.3                | PRESUPUESTO DEL PROYECTO.....                               | 202        |
| 4.3.1              | Cómputos Métricos .....                                     | 202        |
| 4.3.2              | Precios Unitarios .....                                     | 204        |
| 4.3.3              | Presupuesto por Módulos .....                               | 205        |
| 4.3.4              | Presupuesto General .....                                   | 206        |
| 4.5                | CRONOGRAMA Y ESTRATÉGIA DE EJECUCIÓN.....                   | 206        |
|                    | <b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>                 | <b>208</b> |
|                    | CONCLUSIONES.....   | 208        |
|                    | RECOMENDACIONES .....                                       | 212        |
|                    | <b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>                                   | <b>214</b> |

## ÍNDICE DE CUADROS

| <b>Cuadro</b>  | <b>Página</b> |
|--|---------------|
| 1.1 Población y Densidad por Municipios, Año 2012.....               | 8             |
| 1.2 Usos del Suelo y Equipamiento Urbano.....                        | 9             |
| 1.3 Población Económicamente Activa.....                             | 9             |
| 1.4 Actividades Económicas en la Ciudad de Tarija.....               | 10            |
| 1.5 Rol de las Mujeres y los Hombres Según Actividad por Sector..... | 10            |
| 1.6 Horarios Según Sector de Actividades.....                        | 11            |
| 1.7 Cobertura de Luz Eléctrica.....                                  | 12            |
| 1.8 Pozos Perforados.....  | 13            |
| 1.9 Descripción General de la Red de Salud de Cercado.....           | 15            |
| 2.1 Altura de los Puentes Cercanos al Proyecto.....                  | 23            |
| 2.2 Características Hidrológicas e Hidráulicas del Cauce.....        | 25            |
| 2.3 Parámetros del Diseño Geométrico.....                            | 27            |
| 2.4 Alternativas de Puente Vigas.....                                | 34            |
| 2.5 Banco de Áridos de la Ciudad de Tarija.....                      | 35            |
| 2.6 Características de la Alternativa 1.....                         | 40            |
| 2.7 Características de la Alternativa 2.....                         | 40            |
| 2.8 Características de la Alternativa 3.....                         | 40            |
| 2.9 Precio Referencial de la Alternativa 1.....                      | 40            |
| 2.10 Precio Referencial de la Alternativa 2.....                     | 41            |
| 2.11 Precio Referencial de la Alternativa 3.....                     | 41            |
| 2.12 Evaluación de Alternativas de Superestructura.....              | 43            |
| 2.13 Evaluación de Alternativas de Subestructura.....                | 43            |
| 4.1 Cronograma de Actividades General del Proyecto.....              | 207           |

**ÍNDICE DE TABLAS**

| <b>Tabla</b>  | <b>Página</b> |
|---|---------------|
| 3.1 Restricciones de los Esfuerzos del Cable .....  | 46            |
| 3.2 Dimensiones de los Anclajes del Tipo MTC.....   | 47            |
| 3.3 Propiedades Físicas y Geométricas de los Torones.....                                       | 47            |
| 3.4 Combinaciones de Carga y Factores de Carga .....  | 49            |
| 3.5 Factores de Carga por Cargas Permanente $\gamma_p$ .....                                    | 49            |
| 3.6 Factor de Presencia Múltiple .....  | 55            |
| 3.7 Incremento por Carga Dinámica, $IM$ .....   | 56            |
| 3.8 Propiedades Geométricas de la Sección Inicial.....  | 66            |
| 3.9 Propiedades Geométricas de la sección Compuesta.....  | 68            |
| 3.10 Factores de Distribución de Sobrecarga para Momento.....                                   | 71            |
| 3.11 Factores de Distribución de Sobrecarga para Cortante .....                                 | 72            |
| 3.12 Factores de Distribución de Sobrecarga Corregidos para Cortante.....                       | 73            |
| 3.13 Propiedades Geométricas del Barandado .....  | 74            |
| 3.14 Tubos para Usos Estructurales Norma ASTM – A500 .....                                      | 77            |
| 3.15 Momentos Flectores en la Viga.....   | 118           |
| 3.16 Fuerzas Cortantes en la Viga.....  | 118           |
| 3.17 Fuerzas Cortantes en el Apoyo.....   | 118           |
| 3.18 Excentricidades a Diferentes Longitudes de la Viga.....                                    | 125           |
| 3.19 Coeficientes de Fricción para Tendones Postesados .....                                    | 122           |
| 3.20 Deformación por Contracción .....  | 123           |
| 3.21 Pérdidas de Fuerza de Pretensado Inicial .....   | 125           |
| 3.22 Relación Entre la Fuerza de Tracción del Bloque de Anclaje y la Fuerza de Pretensado ..... | 137           |

**ÍNDICE DE FIGURAS**

| <b>Figura</b>  | <b>Página</b> |
|--|---------------|
| 1.1 Intersección de la Calle Santa Cruz y Av. Circunvalación.....        | 1             |
| 1.2 Intersección de la Calle 14 de Junio y la calle Santa Cruz .....     | 1             |
| 1.3 Calle Santa Cruz – Puente Vehicular 6 de Agosto .....                | 2             |
| 1.4 Macro Ubicación .....  | 6             |
| 1.5 Micro Ubicación .....  | 7             |
| 2.1 Lugar de Emplazamiento del Puente (Vista calle Junín) .....          | 18            |
| 2.2 Perfil Longitudinal de la Quebrada .....                             | 18            |
| 2.3 Perfil Transversal de la Ubicación del Puente.....                   | 19            |
| 2.4 Perfiles Litológicos de la Quebrada El Monte.....                    | 21            |
| 2.5 Pila Central del Puente Peatonal Dr. Oscar Zamora.....               | 24            |
| 2.6 Clasificación de los Puentes .....                                   | 28            |
| 2.7 Corte Longitudinal de un Puente Viga .....                           | 30            |
| 2.8 Corte Transversal de un Puente Viga .....                            | 31            |
| 2.9 Variación de Esfuerzos para las Losas Esviajadas .....               | 32            |
| 2.10 Losa Esviajada Entre 20° y 50° y la Disposición de la Armadura..... | 33            |
| 3.1 Anclaje Tipo MTC .....   | 47            |
| 3.2 Geometría del Anclaje .....  | 47            |
| 3.3 Camión de Diseño .....   | 52            |
| 3.4 Tándem de Diseño .....   | 53            |
| 3.5 Carga de Carril de Diseño .....                                      | 53            |
| 3.6 Camión de Diseño Combinado con la Carga de Carril de Diseño .....    | 53            |
| 3.7 Tándem de Diseño Combinado con la Carga de Carril de Diseño.....     | 54            |
| 3.8 Efecto del Nivel Freático .....                                      | 57            |
| 3.9 Gradiente de Temperatura Vertical de Hormigón y Acero .....          | 61            |
| 3.10 Sección Tipo V Recomendada por la AASHTO .....                      | 64            |
| 3.11 Ancho Mínimo del Alma.....  | 64            |
| 3.12 Geometría de la Sección Transversal del Puente.....                 | 69            |
| 3.13 Ley de Momentos .....   | 71            |
| 3.14 Geometría del Barandado .....                                       | 74            |



|      |  |     |
|------|--|-----|
| 3.15 | Típica Acera Sobreelevada.....   | 83  |
| 3.16 | Dimensiones y Espacio Necesario.....   | 83  |
| 3.17 | Fracción de Carga Externa e Interna .....  | 92  |
| 3.18 | Sección de Diseño para Momentos Negativos y Esfuerzos de Corte.....                    | 95  |
| 3.19 | Losa Idealizada .....  | 101 |
| 3.20 | Relación entre la armadura y diferentes valores de ( <i>de</i> ) .....                 | 131 |
| 3.21 | Deformación Horizontal del Conjunto y Rotación en una Placa de Neopreno                | 188 |
| 3.22 | Geometría del Dado de Apoyo .....  | 192 |
| 3.23 | Tracciones Bajo una Carga Concentrada y Disposición de la Armadura en el Dado<br>..... | 194 |
| 4.1  | Disposición de las Armaduras de Diseño.....  | 196 |
| 4.2  | Encofrado de Vigas .....   | 197 |
| 4.3  | Playa de Vigas .....   | 197 |
| 4.4  | Construcción de Estribo .....  | 198 |
| 4.5  | Gato en el Tesado General.....   | 198 |
| 4.6  | Inyección de Lechada de Cemento.....   | 199 |
| 4.7  | Apoyos de Neopreno Compuesto.....  | 199 |
| 4.8  | Lanzamiento de Vigas .....   | 200 |
| 4.9  | Sistema de Emparrillados .....   | 200 |
| 4.10 | Tablero Hormigonado In Situ.....   | 201 |
| 4.11 | Armaduras de Espera para las Vigas Transversales .....                                 | 201 |

**ÍNDICE DE GRÁFICOS**

| <b>Gráfico</b> |  | <b>Página</b> |
|----------------|--|---------------|
| 2.1            | Parque Automotor del Departamento de Tarija Periodo 1998 - 2012..... | 26            |
| 3.1            | Zona y Trayectoria de Tendones .....                                 | 121           |