

**UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO**

**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA**

**CARRERA DE INGENIERIA CIVIL**



**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN:**

**"ESTUDIO Y ANÁLISIS DE VIGUETAS  
PREFABRICADAS ARMADAS TIPO CELOSÍA"**

**(CIUDAD DE TARIJA)**

**REALIZADO POR:**

**Alvaro Diego Urzagaste Audiverth**

**EN LA ASIGNATURA DE:**

**CIV 502 Proyecto De Ingeniería Civil II - 2do Semestre 2013**

Tarija - Bolivia

### **DEDICATORIAS:**

El presente trabajo va dedicado en primer lugar a mi madre Detty que además de darme la vida ha estado siempre pendiente de mis luchas diarias, a mi padre Walter que aunque no esté ya entre nosotros sigue vivo en mi pensamiento y a mis hermanos Marianela y René mis mejores guías.

### **AGRADECIMIENTOS:**

A Dios, por estar conmigo en todo momento.

A mi Familia, por hacer de mí la persona que soy ahora.

A todas las demás personas que me colaboraron desinteresadamente en la elaboración del trabajo, con ideas, pensamientos, información, etc.

**PENSAMIENTO:**

En todos los asuntos humanos hay esfuerzos,  
y hay resultados, y la fortaleza del esfuerzo  
es la medida del resultado.

## INDICE

|  | Pág. |
|--|------|
| 1. ANTECEDENTES.....                                 | 1    |
| 1.1. EL PROBLEMA.....                                | 2    |
| 1.2. OBJETIVOS.....                                  | 2    |
| 1.2.1 Objetivo General.....                          | 2    |
| 1.2.2 Objetivos Específicos.....                     | 2    |
| 1.3 JUSTIFICACIÓN.....                               | 3    |
| 1.3.1 Teórica.....                                   | 3    |
| 1.3.2 Metodológica.....                              | 3    |
| 1.3.3 Práctica.....                                  | 3    |
| 1.4 LOCALIZACIÓN.....                                | 4    |
| 1.4.1 Espacial.....                                  | 4    |
| 1.4.2 Temporal.....                                  | 4    |
| 2. MARCO TEÓRICO.....                                | 5    |
| 2.1 VIGUETAS EN CELOSIA O DE ALMA ABIERTA.....       | 5    |
| 2.2 ARMADURAS RETICULADAS.....                       | 5    |
| 2.3 ORIGENES DE LAS ARMADURAS RETICULADAS.....       | 6    |
| 2.4 COMPONENTES DE LAS ARMADURAS.....                | 7    |
| 2.4.1 Nudo:.....                                     | 7    |
| 2.4.2 Cordones:.....                                 | 7    |
| 2.4.3 Riostras, diagonales o miembros del alma:..... | 7    |
| 2.5 ESPECIFICACIONES GENERALES.....                  | 8    |
| 2.5.1 Campo de Validez.....                          | 9    |

|  | Pág |
|--|-----|
| 2.5.2 Materiales.....  | 9   |
| 2.5.3 Tensión de Fluencia Especificada Máxima en el Acero.....   | 9   |
| 2.5.4 Características Geométricas.....   | 10  |
| 2.6 ANÁLISIS ESTRUCTURAL.....  | 11  |
| 2.6.1 Métodos de Análisis.....   | 11  |
| 2.6.2 Estabilidad global de la vigueta en celosía.....   | 12  |
| 2.6.3 Tipos de Estructuras.....  | 12  |
| 2.6.4 Articulaciones.....  | 13  |
| 2.6.5 Esfuerzos Secundarios.....   | 13  |
| 2.6.6 Estabilidad local de las barras comprimidas de la vigueta armada.....                                  | 16  |
| 2.7 DIMENSIONAMIENTO DE LA VIGUETA EN CELOSÍA.....   | 17  |
| 2.7.1 Estados Límites.....   | 17  |
| 2.7.2 Dimensionamiento para Estados Límites Últimos.....   | 18  |
| 2.7.3 Diseño de Miembros a Tensión.....  | 21  |
| 2.7.4 Diseño de Elementos a Compresión Axial.....  | 22  |
| 2.7.5 Vigueta Armada en Flexión Simple.....  | 27  |
| 2.7.6 Barras de Sección Circular Maciza Sometidas a Fuerza Axil de Compresión<br>Combinada con Flexión:..... | 29  |
| 2.8 ESTADOS LÍMITES DE SERVICIO.....   | 30  |
| 2.8.1 Estado Límite de las Deformaciones de las Barras Armadas Flexadas.....                                 | 31  |
| 2.9 CONTRAFLECHAS.....   | 33  |
| 2.10 UNIONES SOLDADAS.....   | 33  |
| 2.10.1 Generalidades.....  | 33  |

|  | Pág |
|--|-----|
| 2.10.2 Materiales.....   | 33  |
| 2.10.3 Soldabilidad .....  | 34  |
| 2.10.4 Uniones Soldadas entre Cordones y Barras de la Celosía .....  | 41  |
| 2.10.5 Tipo de Soldadura .....                                       | 44  |
| 2.11 SECCIÓN COMPUESTA.....  | 55  |
| 2.11.1 Generalidades.....  | 55  |
| 2.11.2 Normativa .....   | 57  |
| 2.11.3 Especificaciones de Durabilidad y Resistencia.....            | 57  |
| 2.11.4 Materiales.....   | 60  |
| 2.11.5 Doblado de la armadura .....                                  | 61  |
| 2.11.6 Límites para la Separación de la Armadura .....               | 62  |
| 2.11.7 Recubrimiento de Hormigón.....                                | 62  |
| 2.11.8 Módulo de Elasticidad .....                                   | 64  |
| 2.11.9 Determinación del ancho efectivo .....                        | 64  |
| 2.11.10 Requisitos de Resistencia y Comportamiento en Servicio ..... | 65  |
| 2.11.11 Resistencia de Diseño .....                                  | 67  |
| 2.11.12 Control de las Flechas .....                                 | 67  |
| 2.11.13 Flecha Instantánea.....                                      | 68  |
| 2.11.14 Flecha Diferida.....   | 69  |
| 2.11.15 Flexión en la Sección Compuesta .....                        | 77  |
| 2.11.16 Hipótesis de Diseño .....                                    | 77  |
| 2.11.17 Armadura Mínima.....   | 79  |
| 2.11.18 Relación Modular.....  | 79  |

|   | Pág |
|---|-----|
| 2.11.19 Esfuerzo de Corte.....  | 80  |
| 2.11.20 Corte por Fricción.....   | 83  |
| 2.11.21 Tracción Transversal en la Vigüeta en Celosía.....  | 87  |
| 2.11.22 Apuntalamiento.....   | 88  |
| 2.11.23 Refuerzo adicional en secciones compuestas .....  | 89  |
| 3. METODOLOGÍA .....  | 90  |
| 3.1 DEFINICIÓN GEOMÉTRICA .....   | 90  |
| 3.1.1 Sección Transversal de Vigüeta en Celosía .....   | 91  |
| 3.2 IDEALIZACIÓN DE LA ESTRUCTURA.....  | 93  |
| 3.2.1 Condición de apoyos.....  | 93  |
| 3.3 ANÁLISIS DE CARGAS .....  | 94  |
| 3.3.1 Hipótesis de Cargas.....  | 94  |
| 3.3.2 Manipuleo de la Vigüeta.....  | 94  |
| 3.3.3 Puesta en Obra (Esfuerzos de montaje y Construcción).....                                   | 95  |
| 3.3.4 Colocado de Hormigón Fresco .....   | 96  |
| 3.3.5 Cargas de Servicio (Sección Compuesta).....   | 96  |
| 4. MEMORIA DE CÁLCULO .....   | 98  |
| 4.1 VIGÜETA EN CELOSÍA .....  | 98  |
| 4.1.1 Características Geométricas.....  | 98  |
| 4.1.3 Estados Límites para Solicitaciones de Flexión y de Corte y Estado Límite de Servicio ..... | 104 |
| 4.1.4 Hipótesis de carga 1: (Manipuleo).....  | 104 |
| 4.1.5 Hipótesis de Carga 1: (Manipuleo Sección Invertida).....                                    | 110 |



|  | Pág |
|--|-----|
| 4.1.6 Hipótesis de Carga 2: (Puesta en Obra) .....                                   | 116 |
| 4.1.7 Hipótesis de Carga 3 (Hormigón Fresco) .....                                   | 129 |
| 4.1.8 Cálculo de Uniones .....   | 142 |
| 4.2 SECCIÓN COMPUESTA.....   | 154 |
| 4.2.1 Cálculo de Cargas .....  | 154 |
| 4.2.2 Parámetros Geométricos .....   | 155 |
| 4.2.3 Ancho Efectivo .....   | 157 |
| 4.2.4 Cuantía Mínima y Máxima. ....  | 158 |
| 4.2.5 Momento Último resistente: .....   | 158 |
| 4.2.6 Cálculo de Deflexiones .....   | 159 |
| 4.2.7 Verificación al Esfuerzo Cortante.....   | 165 |
| 4.2.8 Corte por Fricción .....   | 166 |
| 4.2.9 Verificación de la vigueta al darle la contra flecha: (Sección Invertida)..... | 167 |
| 4.3 CÁLCULO DE CÓMPUTOS MÉTRICOS .....   | 174 |
| 4.4 CÁLCULO DE PRECIOS UNITARIOS .....   | 176 |
| 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS .....  | 178 |
| 6. CONCLUSIONES .....  | 180 |
| 6.1 VENTAJAS.....  | 180 |
| 6.1.1 Ventajas Constructivas.....  | 180 |
| 6.2 DESVENTAJAS .....  | 181 |
| 6.3 RECOMENDACIONES .....  | 182 |

ANEXOS

BIBLIOGRAFÍA

## INDICE DE TABLAS

|   | Pág |
|---|-----|
| Tabla 1: Factores de Resistencia Característicos .....  | 20  |
| Tabla 2. Valores del coeficiente de pandeo.....   | 26  |
| Tabla 3. Temperatura mínima de precalentamiento y entre pasadas para procesos SMAW ( con electrodos de bajo hidrógeno) GMAW y FCAW), b) ..... | 39  |
| Tabla 4. Resistencia de diseño de cordones de soldadura según tipo de soldadura .....   | 42  |
| Tabla 5. Combinaciones de Materiales de Aporte .....  | 54  |
| Tabla 6. Clases de exposición generales que producen corrosión de armaduras .....   | 58  |
| Tabla 7. Requisitos de durabilidad a cumplir por los hormigones, en función del tipo de exposición de la estructura. ....                     | 58  |
| Tabla 8. Resistencias de los hormigones.....  | 59  |
| Tabla 9. Tipos de Cemento .....   | 60  |
| Tabla 10. Barras de acero para armaduras en estructuras de hormigón. ....   | 61  |
| Tabla 11. Recubrimientos mínimos para hormigón elaborado bajo control en planta, (clase A1 y A2).....   | 63  |
| Tabla 12. Flechas Admisibles .....  | 67  |
| Tabla 13. Factor corrector $k_h$ del coeficiente en función de la humedad ambiente .....  | 71  |
| Tabla 14. Factor corrector, $k_t$ , del coeficiente en función del espesor medio de la pieza.....   | 72  |
| Tabla 15. Acciones y Edades de Aplicación .....   | 72  |
| Tabla 16. Resistencia a compresión sobre probetas del mismo tipo. ....  | 72  |
| Tabla 17. Momento de inercia de la sección bruta y de la sección fisurada para secciones rectangulares y con alas.....                        | 76  |
| Tabla 18. Coeficiente de Fricción $\mu$ .....   | 86  |
| Tabla 19. Verificación de Soldaduras: Hipótesis de Carga 1 .....  | 146 |
| Tabla 20. Verificación de Soldaduras: Hipótesis de Carga 2.....   | 146 |
| Tabla 21. Verificación de Soldaduras: Hipótesis de Carga 2 (Apuntalada a L/2) .....   | 146 |
| Tabla 22. Verificación de Soldaduras: Hipótesis de Carga 3.....   | 146 |
| Tabla 23. Verificación de Soldaduras: Hipótesis de Carga 3 (Apuntalada a L/2) .....   | 147 |

|   |     |
|---|-----|
| Tabla 24. Planilla de verificación de la vigueta para diferentes luces. (Hipótesis de Carga 1) ..                       | 148 |
| Tabla 25. Planilla de verificación de la vigueta para diferentes luces. (Hipótesis de Carga 1. Sección Invertida) ..... | 149 |
| Tabla 26. Planilla de verificación de la vigueta para diferentes luces. (Hipótesis de Carga 2) ..                       | 150 |
| Tabla 27. Planilla de verificación de la vigueta para diferentes luces. (Hipótesis de Carga 3) ..                       | 151 |
| Tabla 28. Planilla de verificación de la vigueta para diferentes luces. (Hipótesis de Carga 2. Apuntalada en L/2).....  | 152 |
| Tabla 29. Planilla de verificación de la vigueta para diferentes luces. (Hipótesis de Carga 3. Apuntalada en L/2).....  | 153 |
| Tabla 30. Planilla para la verificación, a diferentes luces, de la sección compuesta .....                              | 172 |
| Tabla 31. Verificación de la vigueta al darle la contraflecha. (Sección Invertida) .....                                | 173 |
| Tabla 32. Planilla de diseños finales. ....   | 178 |
| Tabla 33. Planilla de Costos.....   | 179 |
| Tabla 34. Precios de venta de viguetas pretensadas (CONCRETEC) .....  | 179 |

## INDICE DE GRÁFICOS

|   | Pág |
|---|-----|
| Figura 1:Tipos de armaduras reticuladas .....   | 6   |
| Figura 2. Sección transversal .....   | 10  |
| Figura 3. Excentricidad en la unión de la vigueta en celosía .....                            | 15  |
| Figura 4: Columna de Euler .....  | 22  |
| Figura 5: Valores de K para columnas aisladas .....   | 23  |
| Figura 6. Parámetros geométricos .....  | 32  |
| Figura 7. Zonas de la unión soldada.....  | 34  |
| Figura 8. Diagrama de Graville.....   | 36  |
| Figura 9. contenido de hidrógeno en el metal depositado para distintos procesos de soldaduras | 41  |
| Figura 10. Unión soldada diagonal y cordón circular macizo.....                               | 44  |
| Figura 11. Funciones Fundamentales de la Fuente de Energía .....                              | 45  |
| Figura 12. Transformadores de soldeo .....  | 45  |
| Figura 14. Rectificadores de Soldeo .....   | 46  |
| Figura 13. Constitución y principio del transformador .....                                   | 46  |
| Figura 15. Generador de SoldeoAccesorios.....   | 47  |
| Figura 16. Porta electrodo. ....  | 47  |
| Figura 17. Grapas para tierra. ....   | 47  |
| Figura 18. Conectores. ....   | 48  |
| Figura 19. Acoplamiento.....  | 48  |
| Figura 20. Arco eléctrico.....  | 48  |
| Figura 21. Clases de corriente eléctrica. ....  | 49  |
| Figura 22. Corriente continua, electrodo negativo ( soldeo con electrodos revestidos) .....   | 50  |
| Figura 23. Corriente continua, electrodo positivo ( soldeo con electrodos revestidos) .....   | 50  |
| Figura 24. Nomenclatura del electrodo. ....   | 52  |
| Figura 25. Separación de los cordones inferiores .....  | 62  |
| Figura 26. Recubrimiento de los cordones inferiores. ....                                     | 63  |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 27. Limitaciones dimensionales para la losa. ....  | 65  |
| Figura 28. Variación del factor $\alpha$ en función del tiempo para el cálculo de las flechas diferidas.70      |     |
| Figura 29. Sección fisurada transformada de una viga con armadura de tracción. ....                             | 74  |
| Figura 30. Distribución rectangular equivalente de tensiones en el hormigón. ....                               | 78  |
| Figura 31. Diagrama de cuerpo libre en el extremo de una viga .....   | 81  |
| Figura 32. Armadura de corte. ....  | 82  |
| Figura 33. Idealización del concepto de corte por fricción .....  | 84  |
| Figura 34. Armadura de corte por fricción $A_{vf}$ ubicada con respecto a la fisura supuesta en un ángulo ..... | 85  |
| Figura 35. Idealización de la armadura de corte por fricción inclinada un ángulo $\alpha$ .....                 | 85  |
| Figura 37. Esfuerzo de tracción transversal .....   | 87  |
| Figura 36. Desplazamiento transversal. ....   | 87  |
| Figura 38. Sección desfavorable para el esfuerzo de tracción transversal. ....                                  | 88  |
| Figura 39: detalle de losa aligerada con viguetas en celosía.....   | 90  |
| Figura 40: Sección transversal de la vigueta.....   | 91  |
| Figura 41: Detalle en perspectiva de la vigueta .....   | 92  |
| Figura 42: Recubrimientos y separación de barras .....  | 92  |
| Figura 43: Posición del tacón de hormigón en el diagrama de esfuerzos de la sección.....                        | 93  |
| Figura 44: Instalaciones .....  | 180 |
| Figura 45: Alzado de viguetas en obra.....  | 181 |
| Figura 46: Manejo de viguetas, manual .....   | 182 |
| Figura 47: Recomendaciones para caminar sobre las viguetas .....  | 183 |
| Figura 48: Recuperación de viguetas .....   | 183 |
| Figura 49: Hormigonado In Situ .....  | 184 |
| Figura 50: Colocación de viguetas .....   | 184 |
| Figura 51: Distribución de viguetas .....   | 185 |
| Figura 52: Recomendación para apoyar eficientemente las bovedillas a la vigueta.....                            | 185 |