

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ESTRUCTURAS Y CIENCIAS DE LOS
MATERIALES



“DISEÑO ESTRUCTURAL DE UN PUENTE EN ARCO CON
TABLERO SUPERIOR Y PUENTES LOSA DE APROXIMACIÓN
RECTO-CURVO”

(SOBRE EL RÍO CARACHI MAYU EN LA PROGRESIVA 8+640 DE LA RUTA D602
TRAMO: CR.RT.D603 (CANASMORO) – RIO PILAYA)

Por:

JORGE IBARRA PABLO ALBERTO

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

TARIJA - BOLIVIA

DEDICATORIA

A mis padres y docentes por apoyarme siempre,
por confiar en mí e inculcarme la perseverancia
para cumplir con mis metas e ideales.

ÍNDICE

	Página
1	CAPÍTULO I. PRESENTACIÓN DEL PROYECTO
1.1	ANTECEDENTES..... 1
1.2	El problema..... 1
1.2.1	Planteamiento..... 1
1.2.2	Formulación..... 3
1.2.3	Sistematización..... 3
1.3	Objetivos..... 4
1.3.1	Objetivo General..... 4
1.3.2	Objetivos específicos..... 4
1.4	Justificación..... 5
1.4.1	Académica, técnica..... 5
1.4.2	Social..... 5
1.4.3	Ambiental..... 6
1.5	Alcance del proyecto..... 6
1.5.1	Planteamiento y análisis de alternativas estructurales..... 6
1.5.2	Aporte académico del estudiante..... 7
1.6	Localización..... 8
1.7	Información socioeconómica relativa al proyecto..... 9
1.7.1	Aspectos demográficos..... 9
<input type="checkbox"/>	Población del área de influencia..... 9
<input type="checkbox"/>	Lenguajes que hablan..... 10

1.7.2	Aspectos económicos.....	10
□	Tenencia de tierra.....	10
□	Principales actividades económicas.....	10
1.7.3	Aspectos sociales.....	11
1.8	Servicios básicos existentes.....	11
□	Agua potable.....	11
□	Alcantarillado sanitario.....	12
□	Electricidad.....	12
□	Educación.....	12
□	Salud.....	13
2	CAPÍTULO II. INGENIERÍA BÁSICA DEL PROYECTO	
2.1	Estudios topográficos.....	14
2.2	Estudios de hidrología e hidráulica.....	14
2.3	Estudios geotécnicos.....	17
2.4	Estudio de trazo y diseño vial de los accesos.....	18
2.5	Estudio de alternativas.....	20
2.5.1	Alternativa 1.- Esquema estructural de vigas pretensadas simplemente apoyadas.....	20
2.5.2	Alternativa 2.- Esquema estructural de puente arco con tablero superior con puentes de aproximación recto y curvo.....	21
2.5.3	Alternativa 3.- Esquema estructural de puente posteado de sección cajón continuo tramos rectos y curvos.....	22
2.5.4	Comparación de las alternativas.....	23
2.5.5	Elección de la alternativa a desarrollar.....	28

3	CAPÍTULO III. INGENIERÍA DEL PROYECTO.	
3.1	Elementos básicos del proyecto.	31
3.1.1	Normas generales.	31
3.1.2	Materiales.	31
3.1.3	Geometría.	32
3.1.4	Geometría del puente arco.	34
3.1.5	Análisis de cargas.	37
3.1.6	Infra estructura.	41
3.1.7	Combinaciones de carga.	43
3.2	Análisis estructural.	46
3.2.1	Verificación de resultados de software.	46
3.2.2	Calculo manual de un arco biempotrado.	47
3.2.3	Consideraciones para el análisis.	52
3.2.4	Modelación del tramo 1 Sur-Norte.	52
3.2.5	Modelación del tramo 2 Sur-Norte.	55
3.2.6	Modelación del tramo 3 Sur-Norte.	58
4	CAPÍTULO IV. DIMENSIONAMIENTO DEFINITIVO.	
4.1	Filosofía de diseño.	59
4.2	Método de diseño por resistencia.	59
4.3	Hipótesis de diseño.	61
4.3.1	Equilibrio de las fuerzas y compatibilidad de las deformaciones.	61
4.3.2	Hipótesis de diseño #1.	61
4.3.3	Hipótesis de diseño #2.	62

4.3.4	Hipótesis de diseño #3.	62
4.3.5	Hipótesis de diseño #4.	62
4.3.6	Hipótesis de diseño #5.	63
4.4	Diseño estructural de la superestructura del puente.	64
4.4.1	Diseño del pasamanos. (Común para los tres tramos).	64
4.4.2	Diseño de los postes. (Común para los tres tramos).	64
4.4.3	Diseño de la vereda. (Común para los tres tramos).	64
4.4.4	Diseño del bordillo. (Común para los tres tramos).	65
4.4.5	Diseño de la losa del tramo arco con tablero superior.	66
4.4.6	Diseño de las vigas superiores en el tramo arco.	69
4.4.7	Diseño de los montantes del tramo arco.	73
4.4.8	Diseño de secciones del arco.	76
4.4.9	Diseño de las vigas de arriostre.	78
4.4.10	Diseño de las losas alveolares recto y curvo.	79
4.4.11	Diseño de las vigas con entalladura en los extremos del arco.	79
4.4.12	Diseño de las pilas.	80
4.4.13	Diseño de las fundaciones.	81
4.4.14	Diseño de los estribos.	83
4.4.15	Diseño de los aparatos de apoyo (neopreno compuesto).	85
4.5	Especificaciones técnicas.	86
4.6	Cóputos métricos.	86
4.7	Análisis de precios unitarios.	86
4.8	Presupuesto general.	87

4.9 Comparación con el diseño realizado por el SEDECA..... 87

 4.9.1 Comparación Técnica: 87

 4.9.2 Comparación Ambiental: 88

 4.9.3 Comparación Económica: 89

5 CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

 5.1 Conclusiones. 90

 5.2 Recomendaciones. 91

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1 Estaciones Hidrológicas usadas (Fuente: SENAMHI)	15
Tabla 2 Resultados de los análisis a compresión simple de probetas prismáticas de roca extraída del sitio de emplazamiento del puente. (Fuente: Elaboración propia) ..	18
Tabla 3 Costos de puentes similares a las alternativas, fuente: (1) UBESAM, (2) SEDECA, (3) HAM URIONDO, (4) Diario el DEBER.....	26
Tabla 4 Volúmenes de movimiento de tierras en la progresiva 8+58 hasta 8+770 (Fuente: Elaboración propia).....	27
Tabla 5 Volúmenes de movimiento de tierra eliminados según la alternativa. (Fuente: Elaboración propia).....	28
Tabla 6 Comparación entre las losas maciza y alveolada. (Fuente: Elaboración propia)	30
Tabla 7 Peso propio de los materiales. (Fuente: Norma AASHTO LRFD).....	37
Tabla 8 Ángulo de fricción entre diferentes materiales. (Fuente: Norma AASHTO LRFD)	42
Tabla 9 Altura de suelo equivalente para carga vehicular sobre estribos perpendiculares al tráfico. (Fuente: Norma AASHTO LRFD).....	43
Tabla 10 Combinaciones de carga y factores de carga. (Fuente: Norma AASHTO LRFD)	44
Tabla 11 Factores de carga para cargas permanentes, γ_p . (Fuente: Norma AASHTO LRFD)	45
Tabla 12 Coeficientes fijos. (Fuente: Formulario para proyectos de puentes de arco de hormigón armado, autor: Carlos Fernández Casado).....	52
Tabla 13 Refuerzo del pasamanos. (Fuente Elaboración propia)	64

Tabla 14 Refuerzo de Poste del pasamano. (Fuente: Elaboración propia)	64
Tabla 15 Refuerzo de la vereda. (Fuente: Elaboración propia)	65
Tabla 16 Refuerzo del bordillo. (Fuente: Elaboración propia)	65
Tabla 17 Refuerzo longitudinal del bordillo. (Fuente: Elaboración propia).....	65
Tabla 18 Solicitaciones en las losas del tramo arco. (Fuente: Elaboración propia)....	68
Tabla 19 Refuerzo para momentos positivos en la losa del tramo arco. (Fuente: Elaboración propia).....	68
Tabla 20 Refuerzo para momentos negativos en la losa del tramo arco. (Fuente: Elaboración propia).....	68
Tabla 21 Solicitaciones en elementos viga tramo arco. (Fuente: Elaboración propia)	72
Tabla 22 Refuerzo en las Vigas. (Fuente : Elaboración propia)	73
Tabla 23 Solicitaciones en los montantes. (Fuente: Elaboración propia)	76
Tabla 24 Refuerzo de los montantes. (Fuente: Elaboración propia).....	76
Tabla 25 Solicitaciones en los tramos de arco. (Fuente: Elaboración propia)	77
Tabla 26 Refuerzo en los tramos del arco. (Fuente: Elaboración propia).....	78
Tabla 27 Solicitaciones a las vigas de arriostre. (Fuente: Elaboración propia)	78
Tabla 28 Refuerzo de las vigas de arriostre. (Fuente: Elaboración propia).....	79
Tabla 29 Solicitaciones en losas de Aproximación. (Fuente: Elaboración propia)	79
Tabla 30 Refuerzo en las losas de aproximación. (Fuente: Elaboración propia).....	79
Tabla 31 Solicitaciones en la viga L. (Fuente: Elaboración propia).....	80
Tabla 32 Refuerzo de la viga con entalladura. (Fuente: Elaboración propia).....	80
Tabla 33 Solicitaciones viga-pila. (Fuente: Elaboración propia).....	80
Tabla 34 Solicitaciones Columna-Pila. (Fuente: Elaboración propia).....	81

Tabla 35 Refuerzo de la viga-pila. (Fuente: Elaboración propia).....	81
Tabla 36 Refuerzo de la columna-pila. (Fuente: Elaboración propia)	81
Tabla 37 Solicitaciones en la fundación - pila más desfavorable. (Fuente: Elaboración propia).....	81
Tabla 38 Refuerzo en la fundación - pila. (Fuente: Elaboración propia).....	82
Tabla 39 Refuerzo para el arranque del arco. (Fuente: Elaboración propia)	83
Tabla 40 Refuerzo a temperatura. (Fuente: Elaboración propia).....	83
Tabla 41 Resumen de cargas verticales sobre el estribo izquierdo. (Fuente: Elaboración propia).....	83
Tabla 42 Resumen de cargas horizontales sobre el estribo izquierdo. (Fuente: Elaboración propia).....	84
Tabla 43 Resumen de cargas verticales sobre el estribo derecho. (Fuente: Elaboración propia)	84
Tabla 44 Resumen de cargas horizontales sobre el estribo derecho. (Fuente: Elaboración propia).....	84
Tabla 45 Refuerzo en el estribo izquierdo. (Fuente: Elaboración propia)	85
Tabla 46 Refuerzo en el estribo derecho. (Fuente: Elaboración propia).....	85
Tabla 47 Dimensiones del aparato de apoyo. (Fuente: Elaboración propia)	85
Tabla 48 Refuerzo del dado de apoyo por metro lineal. (Fuente: Elaboración propia)	85

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1 Ubicación geográfica del proyecto	9
Figura 2 Curva I.D.F cuenca Río Carachi Mayu (Fuente: Elaboración propia)	16
Figura 3 Curva descarga Río Carachi Mayu (Fuente; Elaboración propia).....	17
En el proyecto las características del diseño vial son las siguientes: Figura 4 Sección tipo del diseño de la carretera (Fuente: SEDECA)	19
Figura 5 Perfil longitudinal de la alternativa 1, donde se muestran alturas de terraplén y la longitud pretendida del puente. (Fuente: SEDECA).....	21
Figura 6 Perfil longitudinal de la alternativa 2, donde se muestran alturas de terraplén y la longitud pretendida del puente. (Fuente: Elaboración propia).....	22
Figura 8 Sección alveolada con las dimensiones mínimas. (Fuente: Apuntes de la materia puentes)	30
Figura 9 Secciones transversales de los tableros de los puentes losas y arco. (Fuente: Elaboración propia).....	34
Figura 10 Partes de un puente arco con tablero superior. (Fuente: Elaboracion Propia)	34
Figura 11 Camion de diseño. (Fuente: Norma AASHTO LRFD)	38
Figura 12 Simbología para el empuje activo de Coulomb. (Fuente: Norma AASHTO LRDF)	42
Figura 13 Arco biempotrado, reacciones de apoyo. (Fuente: Formulario para proyectos de puentes de arco de hormigón armado, autor: Carlos Fernández Casado)	47
Figura 14 Liberación de un apoyo del arco. (Fuente: Formulario para proyectos de puentes de arco de hormigón armado, autor: Carlos Fernández Casado).....	48

Figura 15 Centro elástico de un arco. (Fuente: Formulario para proyectos de puentes de arco de hormigón armado, autor: Carlos Fernández Casado)	49
Figura 16 Reacciones en el centro elástico. (Fuente: Formulario para proyectos de puentes de arco de hormigón armado, autor: Carlos Fernández Casado).....	50
Figura 17 Coeficientes para uso de tablas. (Fuente: Formulario para proyectos de puentes de arco de hormigón armado, autor: Carlos Fernández Casado).....	51
Figura 18 Reacciones para carga permanente. (Fuente: Formulario para proyectos de puentes de arco de hormigón armado, autor: Carlos Fernández Casado).....	51
Figura 19 Sección equivalente de losa maciza. (Fuente: Elaboración propia)	53
Figura 20 Sección de losa de 1,65m de ancho. (Fuente: Elaboración propia).....	54
Figura 21 Comparación entre las dos losas. (Fuente: Elaboración propia).....	54
Figura 22 Momento Positivos debido a la combinación Resistencia I. (Fuente: Elaboración propia).....	55
Figura 23 vista 3D del modelo del tramo 2 Sur-Norte. (Fuente: Elaboración propia)	56
Figura 24 Diagrama envolvente de momentos positivos en la losa del puente. (Fuente: Elaboración propia).....	56
Figura 25 Diagrama envolvente de fuerzas axiales. (Fuente: Elaboración propia)	57
Figura 26 Diagrama envolvente de momentos flectores (3-3). (Fuente: Elaboración propia)	57
Figura 27 Línea de influencia en 3 dimensiones del esfuerzo axial en el elemento seleccionado. (Fuente: Elaboración propia).....	58
Figura 28 Momento Positivos debido a la combinación Resistencia I. (Fuente: Elaboración propia).....	58
Figura 29 Variación supuesta de la deformación específica. (Fuente: Notas sobre ACI 318-02)	61

Figura 30 Máxima deformación específica de compresión del hormigón. (Fuente: Notas sobre ACI 318-02)	62
Figura 31 distribución rectangular equivalente de las tensiones en el hormigón. (Fuente: Notas sobre ACI318-02).....	63
Figura 32 Esquema de las losas del tramo en arco. (Fuente: Elaboración propia)	68
Figura 33 Ejemplo de diagrama de interacción de una pieza, relacionando la carga axial y el momento resultante (Fuente: Elaboración propia)	74
Figura 34 Ejemplo de diagrama de interacción de una pieza, relacionando los momentos en dos direcciones. (Fuente: Elaboración propia)	75
Figura 35 Esquema en 3 dimensiones de las reacciones del suelo sobre el arranque del arco. (Fuente: Elaboración propia).....	82

INDICE DE ANEXOS

ANEXO I.- ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO

ANEXO II.- ESTUDIO DE SUELOS

ANEXO III.-ELECCIÓN DE LA DIRECTRIZ DEL ARCO

ANEXO IV.- ANÁLISIS DE CARGAS

ANEXO V.- VERIFICACIÓN DEL USO DEL PROGRAMA CSI BRIDGE

ANEXO VI.- VERIFICACIÓN DEL USO DEL PROGRAMA PCA-COL

ANEXO VII.-MEMORIA DE CÁLCULO

ANEXO VIII.- ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

ANEXO IX.- ÍTEMS, INSUMOS, PRECIOS UNITARIOS, METRADO Y PRESUPUESTO

ANEXO X.- RESPALDO INSTITUCIONAL

ANEXO XI.- PLANOS A DETALLE

