



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FISICAS Y MATEMATICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVL

FACTIBILIDAD TECNICO-ECONÓMICA DE CONSTRUIR
EL PUENTE TENGLO

MEMORIA PARA OPTAR AL TIULO DE INGENIERO CIVIL

ALEJANDRO JAVIER AGUAYO VILLEGAS

PROFESOR GUIA:
MANUEL CARRACEDO CONTADOR

MIEMBROS DE LA COMISION:
MARIA OFELIA MORONI YADLIN
JORGE BUGUNA MOLONGO

SANTIAGO DE CHILE
ABRIL 2009

RESUMEN DE LA MEMORIA
PARA OPTAR AL TITULO DE
INGENIERO CIVIL
POR: ALEJANDRO AGUAYO VILLEGAS
FECHA: 21 /04/2009
PROF. GUIA: Sr. MANUEL CARRACEDO CONTADOR

“FACTIBILIDAD TÉCNICO-ECONOMICA DE CONSTRUIR EL PUENTE TENGLO”

Los objetivos generales del presente trabajo de título son: analizar la conveniencia o no de urbanizar la isla frente a otras alternativas de urbanización y estudiar una alternativa de unión de la isla con la ciudad, entendiéndose por unión a una conexión estructural entre la isla y la ciudad. En los últimos años Puerto Montt ha presentado un gran crecimiento demográfico y se ha enfrentado a la problemática de construir nuevas poblaciones. Isla Tenglo posee terrenos disponibles que no han sido aprovechados aún, debido a la falta de una conexión estructural que permita el tránsito de vehículos y peatones desde y hacia la ciudad.

Se seleccionó la zona de emplazamiento para el puente donde se determinó la mejor ubicación, encontrándose ésta en la continuación de la avenida Pacheco Altamirano en las cercanías de la población Villa Marina, luego se estudiaron algunos tipos de puentes y 5 diferentes alternativas de diseño escogiéndose una de ellas; finalmente, se realizó un prediseño y se elaboró un perfil longitudinal y transversal de la solución elegida.

Se determinaron las tasas de atracción y generación de viajes por zona en estudio, al igual que la población admitida por cada zona potencial de urbanizar, de manera de estimar la cantidad de viajes generados y atraídos de cada zona y de luego separar según modo de transporte. Se aplicó la evaluación social de proyectos basada en el Manual de Evaluación Social de Proyectos, MESPIVU, esto permitió cuantificar los costos de transporte asociados a trasladarse desde cada zona en estudio hasta la zona centro de la ciudad y evaluar.

El resultado final, en lo que respecta a análisis de la unión entre el continente y la isla, es un puente que combina un puente con vigas metálicas con losa colaborante y un puente en arco Network, con un total de 9 tramos simplemente apoyados, que es navegable para el tráfico de naves menores y que tiene un costo estimado es de 7.454 MM \$. En lo que se refiere a la modelación de costos, para la factibilidad económica, el resultado es que los beneficios sociales de urbanizar isla Tenglo, en comparación con urbanizar las zonas nororiente y norponiente, son mayores. Estos beneficios justifican la inversión del puente Tenglo en un periodo de 2 años y 6 meses.

Se concluye que es técnicamente factible construir el puente Tenglo y económicamente factible para tasas de atracción y generación de viajes de las zonas correspondientes a su sector o al sector más cercano. Finalmente se concluye que para lograr la factibilidad económica de construir del puente Tenglo se debe realizar junto con un proyecto, ya sea de urbanización o de otro tipo, que no genere tasas de generación y atracción de viajes muy altas en comparación con las otras 2 zonas comparadas.

AGRADECIMIENTOS

En la culminación de este trabajo quiero agradecer, en primer lugar, a mi profesor guía, don Manuel, quien en este periodo aportó con su sabiduría, experiencia, paciencia y buenos consejos en la elaboración de este informe. A la profesora María Ofelia Moroni y a don Jorge Buguña, por sus rigurosas revisiones y preciados consejos.

A todas las personas que de una u otra manera colaboraron en la elaboración de este informe, ya sea en la entrega de información como en la aclaración de conceptos.

Finalmente, a mis padres: Héctor y Amparito y a mis hermanas Aurora y Andrea por haberme acompañado y apoyado en este camino, por su constante preocupación y cariño. Este trabajo está dedicado a ustedes, junto con mi sobrina Antonia y a mi Claudia.

Alejandro Aguayo V.

INDICE

INDICE.....	4
INDICE DE ILUSTRACIONES	6
INDICE DE TABLAS	7
1 CAPITULO I. INTRODUCCIÓN: ESPACIO URBANO	10
1.1 OBJETIVOS	11
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
1.3 CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO.....	12
2 CAPITULO II. ANTECEDENTES	13
2.1 ZONA DE UBICACIÓN DEL PROYECTO.....	13
2.2 DESCRIPCIÓN DE ISLA TENGLO	13
2.3 DESCRIPCIÓN DE PUERTO MONTT	16
2.4 PLAN REGULADOR COMUNAL DE PUERTO MONTT (PRC-PM).....	18
2.5 NAVEGABILIDAD Y MAREAS	19
2.5.1 <i>Comparación con Navegabilidad de puente Cruces</i>	20
2.6 TOPOGRAFÍA	21
3 CAPITULO III. IDENTIFICACION Y SELECCIÓN DE EMPLAZAMIENTOS.....	23
4 CAPITULO IV. SELECCIÓN DE LA SOLUCION.....	32
4.1 SELECCIÓN DE LAS FORMAS Y DIMENSIONES DE LOS ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS	32
4.2 SELECCIÓN DEL TIPO DE PUENTE Y SU ESQUEMA ESTRUCTURAL.....	32
4.3 CONSIDERACIONES GENERALES EN EL CONCEPTO DEL PUENTE	33
4.4 TIPOS DE PUENTES	34
4.4.1 <i>Puente en arco</i>	34
4.4.2 <i>Puente atirantado</i>	35
4.4.3 <i>Túnel</i>	37
4.4.4 <i>Puente Muelle</i>	37
4.4.5 <i>Puente Basculante</i>	38
4.4.6 <i>Piedraplén o terraplén</i>	39
4.5 COMPARACIÓN DE PUENTES SIMPLEMENTE APOYADOS Y CONTINUOS YA SEA CON VIGAS METÁLICAS O PRETENSADAS	39
4.6 PUENTES EN CHILE	41
4.7 OPCIONES DE DISEÑO DE PUENTE TENGLO	41
4.7.1 <i>Opción n° 1.-</i>	41
4.7.2 <i>Opción n° 2.-</i>	42
4.7.3 <i>Opción n° 3.-</i>	42
4.7.4 <i>Opción n° 4.-</i>	43
4.7.5 <i>Opción n° 5.-</i>	43
4.8 DISCUSIÓN	44
5 CAPITULO V. DISEÑO DE LA SOLUCIÓN	49
5.1 ANTECEDENTES Y CONSIDERACIONES	49
5.2 CONSIDERACIONES GEOMÉTRICAS (VER ANEXOS).....	50
5.2.1 <i>Definición de espesores y Largo de Viga</i>	50
5.2.2 <i>Geometría sección Transversal</i>	50
5.3 CARGAS	51

5.3.1	Cargas de Diseño.....	51
5.3.2	Carga permanente.....	51
5.4	PESOS PROPIOS DE LA ESTRUCTURA.....	52
5.4.1	Pesos Unitarios.....	52
5.4.2	Resumen de Dimensiones.....	52
5.5	CARGAS VIVAS.....	53
5.5.1	Cargas móviles vehiculares.....	53
5.5.2	Carga móvil peatonal.....	54
5.6	COEFICIENTES DE DISEÑO.....	54
5.6.1	Coefficiente de impacto.....	54
5.6.2	Coefficiente de reducción.....	54
5.6.3	Coefficiente de distribución.....	55
5.6.4	Coefficiente del MOP.....	55
5.7	ESFUERZOS TÉRMICOS.....	55
5.8	CARGAS SÍSMICAS.....	55
5.9	CARGAS DE VIENTO.....	56
5.10	DISEÑO DE VANOS EXTREMOS: VIGA CON LOSA COLABORANTE.....	57
5.11	DISEÑO DE PILOTES.....	61
5.12	COSTOS DE INVERSIÓN.....	63
6	CAPITULO VI. IDENTIFICACIÓN DE COSTOS Y BENEFICIOS.....	66
6.1	EVALUACIÓN ECONÓMICA.....	66
6.1.1	Metodología de Evaluación Social basada en el MESPIVU.....	66
6.1.2	Estudios de modelación de Transporte.....	67
6.1.3	Metodología.....	69
6.2	PLANTEAMIENTO DE UNA NUEVA METODOLOGÍA.....	71
6.2.1	Metodología Utilizada en el presente estudio.....	72
6.2.2	Zonas Potencialmente Urbanizables según PRC-PM anterior al 2008.....	73
6.2.3	Estimación de la Población Máxima por Zona.....	78
6.2.4	Estimación de Costos para Cada Alternativa.....	79
6.2.5	COSTOS DE TIEMPO DE LOS USUARIOS.....	79
6.2.6	COSTOS DE OPERACIÓN.....	81
6.2.7	Estimación de Flujos.....	87
6.2.8	Desglose de costos de operación para Zona 1:.....	92
6.2.9	Desglose de costos de operación para Zona 2:.....	98
6.2.10	Desglose de costos de operación para Zona 3:.....	100
6.2.11	Costos de Operación Totales.....	103
6.3	COMENTARIOS.....	104
6.4	ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD 1.....	105
6.5	ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD 2.....	109
7	RESULTADOS Y CONCLUSIONES.....	110
8	ANEXO.....	113
9	BIBLIOGRAFIA.....	128

INDICE DE ILUSTRACIONES

Figura n° 1: Ubicación geográfica de la bahía de Puerto Montt	13
Figura n° 2: Localizaciones Humanas y áreas de esparcimiento de Puerto Montt.	15
Figura n° 3: Puntilla Tenglo y emplazamiento de los 6 sitios arqueológicos ²	15
Figura n° 4: Canal de Tenglo y distancia media desde la isla al continente	16
Figura n° 5: Flujo vehicular, Circunvalación principal de Puerto Montt.....	16
Figura n° 6: Proyectos en desarrollo o en vías de, que influyen en el estudio.	17
Figura n° 7: Zonificación plan regulador ciudad de Puerto Montt.	19
Figura n° 8: Variabilidad de altura de mareas en Puerto Montt	19
Figura n° 9: Topografía sector Continental	21
Figura n° 10: Topografía submarina en canal de Tenglo.....	22
Figura n° 11: Sectores analizados para emplazamiento.....	23
Figura n° 12: Zonas de Interés para la ubicación de los puentes.	25
Figura n° 13: Opciones para la ubicación Puente Tenglo.	25
Figura n° 14: Esquema General en 3D de las dos opciones de puentes.	26
Figura n° 15: Calles principales y conexión con Puerto Montt.....	27
Figura n° 16: Vista aérea alternativa puente en población Orellana.....	28
Figura n° 17: Vista aérea alternativa puente en villa Marina.....	29
Figura n° 18: Puente Network.....	35
Figura n° 19: Diferentes configuraciones para cepas y tirantes de puentes atirantados.	37
Figura n° 20: Puentes simplemente apoyados, continuos y tipo Gerber.....	40
Figura n° 21: Opción n°1: Puente viga y arco isostático. Sección Transversal.	46
Figura n° 22: Opción n°2: Puente viga continuo. Sección Transversal.	46
Figura n° 23: Opción n°3: Puente Gerber. Sección Transversal.....	47
Figura n° 24: Opción n°4: Puente viga continuo. Sección Transversal.....	47
Figura n° 25: Opción n°5: Puente colgante. Sección Transversal.	48
Figura n° 26: Estaciones de muestreo de sedimentos y tipificación según la clasificación textural the Folk <i>et al.</i> (1970).	62
Figura n° 27: Modelo secuencial de Transporte.	68
Figura n° 28: Zonas potenciales para poblar. Estudio Plan Regulador Comunal, Ilustre Municipalidad de Puerto Montt.....	73
Figura n° 29: Zonas para evaluación económica y Distancia zona 3 a zona centro de Puerto Montt.	76
Figura n° 30: Vista aérea: Dos opciones para ubicación de puentes.	114
Figura n° 31: Opciones para emplazamiento de puentes con conexión a av. Principales.....	115
Figura n° 32: Vista desde acceso sur, puente población Orellana.	116
Figura n° 33: Vista desde acceso Norte, puente población Orellana.....	117
Figura n° 34: Vista desde acceso Norte, puente población villa Marina.	118
Figura n° 35: Fotografía de caleta Angelmó con esquema de las 2 opciones de puentes.	119
Figura n° 36: Corte Longitudinal de Puente Cruces XIV Región.	120
Figura n° 37: Detalle Corte Longitudinal de Puente Cruces XIV Región.	120
Figura n° 38 y 39 : Sección Longitudinal y detalle de distancias para cruce de naves.....	121
Figura n° 40: Sección transversal	122
Figura n° 41: Diseño de viga metálica con losa colaborante. Sección viga en etapa de montaje.....	123
Figura n° 42: Diseño de viga metálica con losa colaborante. Sección viga en etapa de Terminación. Con sección transformada de H.A a acero.	124
Figura n° 43: Diseño de viga metálica con losa colaborante. Sección viga en etapa de Servicio. Con sección transformada de H.A. a acero.	125

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación de zonas de isla Tenglo según PRC – PM 2008	18
Tabla 2: Comparación Puente Tenglo y Puente Cruces	21
Tabla 3: Imágenes de los accesos norte y sur para las opciones de emplazamiento.	30
Tabla 4: Tipos de puente en arco más comunes, con ejemplos.	34
Tabla 5: Diferentes tipos y configuraciones de puentes atirantados.....	36
Tabla 6: Diferentes tipos de puentes giratorios con ejemplos de puentes construidos.....	38
Tabla 7: Materiales a utilizar	49
Tabla 8: Estados de carga para diseño de viga metálica.....	57
Tabla 9: Tensiones Finales en viga con losa colaborante. Ver figura n° 44 en Anexo	60
Tabla 10: Tensiones en el hormigón y en acero en el borde exterior del ala superior.....	61
Tabla 11: Estimación de precios utilizando puentes Rodrigo de Bastidas y Pal-Pal.....	65
Tabla 12: Ejemplo de tabla proyección de metros cuadrados construidos por zonas de servicio y equipamiento.	70
Tabla 13: Ejemplo de tabla de estimación de flujos por año.....	71
Tabla 14: Ejemplo de tabla de estimación de flujos por año.....	71
Tabla 15: Periodización de horarios.	77
Tabla 16: Porcentaje de participación modal por periodo.	78
Tabla 17: Factores de expansión.	80
Tabla 18: Tasas de ocupación medidas en calles de Puerto Montt en 1998. En pasajeros por vehículo.....	81
Tabla 19: Promedio de tasas de Ocupación.....	81
Tabla 20: Unidades de Medida de las Funciones de Consumo de Recursos.....	83
Tabla 21: Estimación de población máxima a recibir por zona.....	86
Tabla 22: Resumen de población admitida total y distancia a zona centro por zona.	86
Tabla 23: Proyecto de urbanización y porcentaje de avance en un horizonte aproximado de 8 años.	88
Tabla 24: Tasas de generación y atracción de viajes. Modos: todos, Periodo: Punta Mañana, Propósito: Todos.....	89
Tabla 25: Tasas de Generación y atracción de viajes. Modos: todos, Periodo: Fuera de Punta, Propósito: Todos.....	89
Tabla 26: Estimación de viajes para zona 1.....	90
Tabla 27: Estimación de viajes para zona 2.....	90
Tabla 28: Estimación de viajes para zona 3.....	90
Tabla 29: Viajes generados y atraídos por modo: Auto. Zona 1.	90
Tabla 30: Viajes generados y atraídos por modo: Taxi colectivo. Zona 1.	91
Tabla 31: Viajes generados y atraídos por modo: Bus. Zona 1.	91
Tabla 32: Viajes generados y atraídos por modo: Auto. Zona 2.	91
Tabla 33: Viajes generados y atraídos por modo: Taxi colectivo. Zona 2.	91
Tabla 34: Viajes generados y atraídos por modo: Bus. Zona 2.	91
Tabla 35: Viajes generados y atraídos por modo: Auto. Zona 3.	92
Tabla 36: Viajes generados y atraídos por modo: Taxi colectivo. Zona 3.	92
Tabla 37: Viajes generados y atraídos por modo: Bus. Zona 3.	92
Tabla 38: Largo del arco para zona 1 y valor del tiempo de viaje (Referencia [14]).....	92
Tabla 39: Estimación de velocidades utilizadas (Elaboración propia).....	93
Tabla 40: Duración del viaje, zona 1.....	93
Tabla 41: Costos por Tiempo de Viaje de los Usuarios por Modo y Periodo.....	93
Tabla 42: Costos Totales por consumo de Tiempo de Viaje por periodo, Modos: Todos.	94
Tabla 43: Precios sociales para el 2009 de combustibles y rendimientos (Referencia [14]).....	94
Tabla 44: Costos por Consumo de Combustible por Modo y Periodo.....	94
Tabla 45: Costos Totales por consumo de Combustible por periodo, Modos: Todos.....	94
Tabla 46: Índice de Regularidad Internacional (IRI), utilizado para los tres arcos.	94
Tabla 47: Rugosidad en función del IRI para obtener consumo por repuestos, lubricante y neumáticos. ..	95

Tabla 48: Consumo automóviles particulares.....	95
Tabla 49: Consumo taxis básicos y taxis colectivos.....	95
Tabla 50: Consumo buses urbanos.....	96
Tabla 51: Precios sociales para el año 2009 (Referencia [14]).....	96
Tabla 52: Costos por consumo de Lubricantes por Modo y Periodo.....	96
Tabla 53: Costos Totales por consumo de Lubricantes por periodo, Modos: Todos.....	96
Tabla 54: Costos por consumo de Repuestos por Modo y Periodo.....	97
Tabla 55: Costos Totales por consumo de Repuestos por periodo, Modos: Todos.....	97
Tabla 56: Costos por consumo de neumáticos por Modo y Periodo.....	97
Tabla 57: Costos Totales por consumo de Neumáticos por periodo, Modos: Todos.....	97
Tabla 58: Largo del arco para zona 2 y valor del tiempo de viaje.....	98
Tabla 59: Duración del viaje, zona 2.....	98
Tabla 60: Costos por Tiempo de Viaje de los Usuarios por Modo y Periodo.....	98
Tabla 61: Costos Totales por consumo de Tiempo de Viaje por periodo, Modos: Todos.....	98
Tabla 62: Costos por Consumo de Combustible por Modo y Periodo.....	99
Tabla 63: Costos Totales por consumo de Combustible por periodo, Modos: Todos.....	99
Tabla 64: Costos por consumo de Lubricantes por Modo y Periodo.....	99
Tabla 65: Costos Totales por consumo de Lubricantes por periodo, Modos: Todos.....	99
Tabla 66: Costos por consumo de Repuestos por Modo y Periodo.....	100
Tabla 67: Costos Totales por consumo de Repuestos por periodo, Modos: Todos.....	100
Tabla 68: Costos por consumo de neumáticos por Modo y Periodo.....	100
Tabla 69: Costos Totales por consumo de Neumáticos por periodo, Modos: Todos.....	100
Tabla 70: Duración del viaje, zona 3.....	101
Tabla 71: Largo del arco para zona 2 y valor del tiempo de viaje.....	101
Tabla 72: Costos por consumo de Tiempo de Viaje de los Usuarios por Modo y Periodo.....	101
Tabla 73: Costos Totales por consumo de Tiempo de Viaje por periodo, Modos: Todos.....	101
Tabla 74: Costos por Consumo de Combustible por Modo y Periodo.....	101
Tabla 75: Costos Totales por consumo de Combustible por periodo, Modos: Todos.....	102
Tabla 76: Costos por consumo de Lubricantes por Modo y Periodo.....	102
Tabla 77: Costos Totales por consumo de Lubricantes por periodo, Modos: Todos.....	102
Tabla 78: Costos por consumo de Repuestos por Modo y Periodo.....	102
Tabla 79: Costos Totales por consumo de Repuestos por periodo, Modos: Todos.....	102
Tabla 80: Costos por consumo de neumáticos por Modo y Periodo.....	103
Tabla 81: Costos Totales por consumo de Neumáticos por periodo, Modos: Todos.....	103
Tabla 82: Resumen costos totales de operación por zona y beneficios e inversión.....	103
Tabla 83: Viajes generados y atraídos por periodo. Zona 1.....	105
Tabla 84: Viajes generados y atraídos por modo: Auto. Zona 1.....	105
Tabla 85: Viajes generados y atraídos por modo: Taxicolectivo. Zona 1.....	105
Tabla 86: Viajes generados y atraídos por modo: Bus. Zona 1.....	106
Tabla 87: Viajes generados y atraídos por periodo. Zona 2.....	106
Tabla 88: Viajes generados y atraídos por modo: Auto. Zona 2.....	106
Tabla 89: Viajes generados y atraídos por modo: Taxicolectivo. Zona 2.....	106
Tabla 90: Viajes generados y atraídos por modo: Bus. Zona 2.....	106
Tabla 91: Viajes generados y atraídos por periodo. Zona 3.....	107
Tabla 92: Viajes generados y atraídos por modo: Auto. Zona 3.....	107
Tabla 93: Viajes generados y atraídos por modo: Taxi colectivo. Zona 3.....	107
Tabla 94: Viajes generados y atraídos por modo: Bus. Zona 3.....	107
Tabla 95: Resumen costos totales de operación por zona y beneficios para Análisis de Sensibilidad 1.....	108
Tabla 96: Tasas de generación y atracción de viajes utilizadas para isla Tenglo.....	109
Tabla 97: Resumen costos totales de operación por zona y beneficios para Análisis de Sensibilidad 2.....	109
Tabla 98: Propiedades viga en etapa n° 1 de construcción.....	123

Tabla 99: Propiedades viga con losa colaborante en etapa nº 2	124
Tabla 100: Propiedades viga con losa colaborante en etapa nº 3	125
Tabla 101: Tablas de Propiedades para las diferentes etapas de construcción y solicitaciones	127

1 CAPITULO I. INTRODUCCIÓN: ESPACIO URBANO

Los terrenos disponibles en isla Tenglo no se han podido aprovechar aún en el desarrollo de la ciudad de Puerto Montt, por la falta de una conexión estructural que una, físicamente, la isla con la ciudad. Este espacio urbano se podría presentar como solución a algunos problemas habitacionales de Puerto Montt.

Es un hecho que la población que reside en Isla Tenglo se encuentra más cercana a la zona central (geográficamente) de Puerto Montt, que las poblaciones residentes en sectores periféricos de la ciudad; en donde, en los últimos años, se han estado construyendo nuevas poblaciones para solucionar el problema habitacional acrecentado por el gran crecimiento poblacional debido al auge de las empresas salmoneras en la zona. Sin embargo, el tiempo de viaje desde la isla a la zona central de Puerto Montt, donde se encuentra la mayoría de los servicios públicos y privados, es considerable, dado que se deben transportar por medios marítimos (generalmente en bote) hacia y desde la ciudad hasta sus domicilios, sometiéndose, generalmente, a las inclemencias del clima.

Por todo lo anterior es que se necesita integrar la isla Tenglo al radio urbano de Puerto Montt, mediante una unión entre la isla y la ciudad.

Esta unión mejorará notoriamente la calidad de vida en la zona especialmente, en la isla Tenglo; además, se constituirá en un interesante polo de desarrollo urbano que contribuirá con terrenos desocupados, considerando las diferentes alternativas de uso que posee y que pueden ser perfectamente habitables.

No es posible pensar en el desarrollo de la isla si no se contempla la construcción de un puente. La puesta en servicio del puente permitiría unir de manera expedita y segura la ciudad de Puerto Montt con toda la extensa zona costera de isla Tenglo.

Esta gran obra de ingeniería significará la posibilidad de expansión urbana de la ciudad, impulsará la explotación de las riquezas que posee la isla y favorecerá la actividad turística de una zona de grandes bellezas naturales. Con casi un kilómetro de ancho por cinco de largo, la isla significa potencialmente un desarrollo económico y social que pone a la zona a las puertas de un prometedor futuro.

Al cuantificar el costo necesario para el puente se puede incorporar la inversión de privados en el proyecto de integración y a la vez en la misma isla, lo que ayudaría al desarrollo de la isla junto con la ciudad de Puerto Montt.

1.1 Objetivos

Frente a la necesidad de integrar la isla Tenglo al radio urbano de Puerto Montt, los principales objetivos de este trabajo son: analizar la conveniencia o no de urbanizar la isla frente a otras potenciales alternativas de urbanización y estudiar una alternativa de unión de la isla con la ciudad, entendiéndose por unión a una conexión estructural que permita principalmente el tránsito de vehículos y peatones desde la isla hacia la ciudad y viceversa.

Con tal objetivo habrá que realizar un estudio de factibilidad técnico-económico de ingeniería básica que analice aspectos económicos, sociales, urbanísticos, topográficos y de utilización marítima y vehicular de la unión.

1.2 Objetivos Específicos

Como objetivos específicos se incluye: selección de emplazamientos del puente, estudio de algunos tipos de puentes y diferentes alternativas de diseño, prediseño de la solución elegida y realización de un estudio de factibilidad económica en base a los antecedentes recopilados.

1.3 Características del proyecto.

Dadas las características del sector, la unión considerada debe reunir algunos requisitos. Se hace necesario diseñar un puente que tenga una luz mínima que permita conectar el continente e isla Tenglo y un gálibo que permita la navegación; si se escoge navegable para todo tipo de embarcaciones se debe permitir el paso de naves con altura total máxima de 19 m. según la experiencia de la Capitanía de Puertos de Puerto Montt.

Se deben considerar pistas y pasillos peatonales amplios que permitan un tráfico vehicular y peatonal fluido.

El periodo de proyección para la modelación de transporte sugerido es de 30 años, pero la experiencia en predicciones de tráfico vehicular recomienda que para este ítem se utilice un periodo de a lo más 15 años.

2 CAPITULO II. ANTECEDENTES

2.1 Zona de ubicación del proyecto

La zona de ubicación del proyecto es la comprendida entre la ciudad de Puerto Montt e isla Tenglo, ubicada en la comuna de Puerto Montt, provincia de Llanquihue, región de los Lagos. Isla Tenglo está ubicada sobre la costa de la bahía de Reloncaví, separada del continente por el canal de Tenglo; canal que separa la zona urbana de Puerto Montt con isla Tenglo.

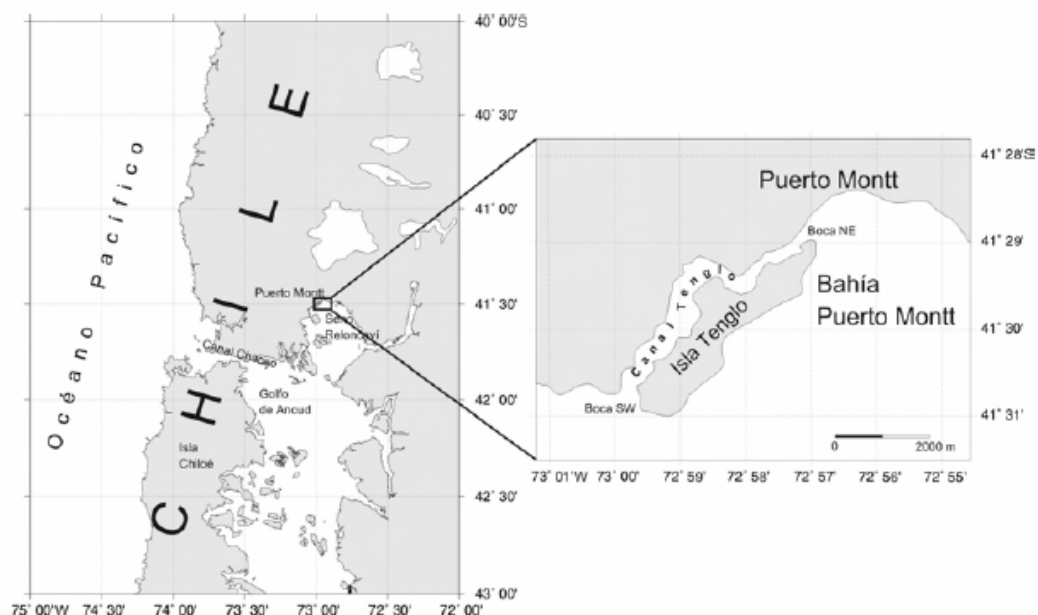


Figura n° 1: Ubicación geográfica de la bahía de Puerto Montt

2.2 Descripción de Isla Tenglo

Isla Tenglo tiene una longitud de 5 kilómetros y un ancho medio de 750 m, que fluctúa entre los 500 y 1.500 m. Cuenta con una superficie de 434 hectáreas y se extiende longitudinalmente desde el Noreste hacia el Sur Oeste. Queda separada del continente por el canal de Tenglo. En la actualidad el único acceso que existe a esta isla es a través de embarcaciones menores como botes a remo y lanchas.

El relieve no presenta grandes variaciones. Tiene una altura máxima de 80 m, con forma de barrancos escarpados hacia el continente y laderas suaves hacia la cara Sur que enfrenta el seno de Reloncaví. El suelo está formado por depósitos glaciales de materiales glaciofluviales bien estratificados de más de 30 m de espesor, formando terrazas y barrancos bien definidos.

Su clima es marítimo con un alto porcentaje de precipitaciones y humedad. La tierra está destinada al uso agrícola. La isla cuenta con una división predial agrícola con dos tipos de agrupaciones: una es la del sector poniente, que tiene grandes subdivisiones de terrenos como consecuencia, de la diversidad de propietarios y la otra es la del sector oriente, de gran extensión y de propiedad de una sucesión familiar. Entre ambas existe una fluctuación que va desde 0,25 há. hasta 77,65 há. Tiene algunos centros de carácter social como la iglesia y la escuela de educación básica, ubicadas ambas en la escotadura.

La actividad económica de la Isla se limita a la agricultura en términos menores y a la pesca pero es necesario desarrollar el turismo y establecer sus centros de abastecimiento, ya que no existe comercio establecido en ella.

Posee dos tipos de áreas ecológicas. Una que comprende todo el contorno de la Isla, en las terrazas bajas donde se han localizado los isleños con sus posesiones y la otra área que comprende la parte interior que por sus condiciones físicas aparece dividida en tres: una que es la escotadura en la terraza baja, casi al nivel del mar y las otras dos ubicadas a ambos lados en terrazas más altas, relativamente planas.

Actualmente, isla Tenglo está incorporada dentro del Plan Regulador de la ciudad. Sin embargo, no presenta un desarrollo urbano importante: no obstante, existe una población de aproximadamente 1000 habitantes. La población está principalmente ubicada en el sector de puntilla Tenglo y la distribución de terrenos no ha cambiado mucho desde antaño, ya que en el sector de puntilla Tenglo se encuentra la mayor parte de la población: alrededor de 150 familias de escasos recursos que tienen como actividad predominante la pesca artesanal y la recolección de mariscos.



Figura n° 2: Localizaciones Humanas y áreas de esparcimiento de Puerto Montt.¹

En isla Tenglo, el año 2000 se tomó conciencia de la existencia de un gran sitio arqueológico, emplazado bajo el actual asentamiento de puntilla Tenglo. A raíz de esto, se realizó un estudio de caracterización que permitió atribuirlo a una población prehistórica de canoeros cazadores-pescadores-recolectores marinos, los que ocuparon este espacio para establecer sus viviendas e inhumar a sus muertos en un rango temporal que abarca entre los años 3.320 a.C y 1.200 d.C⁽²⁾.

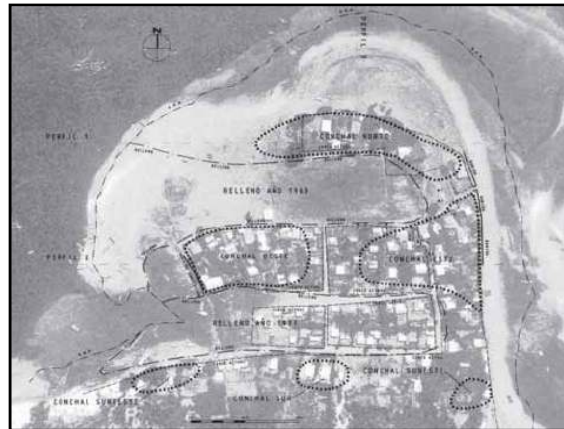


Figura n° 3: Puntilla Tenglo y emplazamiento de los 6 sitios arqueológicos²

¹ Leonhardt, Juan, Puerto Montt Año 2000, 1967.

² Guevara, Gate, Morales; Patrimonio como fundamento para el desarrollo de capital social; el caso de un sitio arqueológico y Puntilla Tenglo, 2003.

La distancia entre el continente y la isla varía desde los 150 m. en la zona más cercana (Sector del Puerto), hasta unos 400 m. tomándose como distancia media unos 300 m.

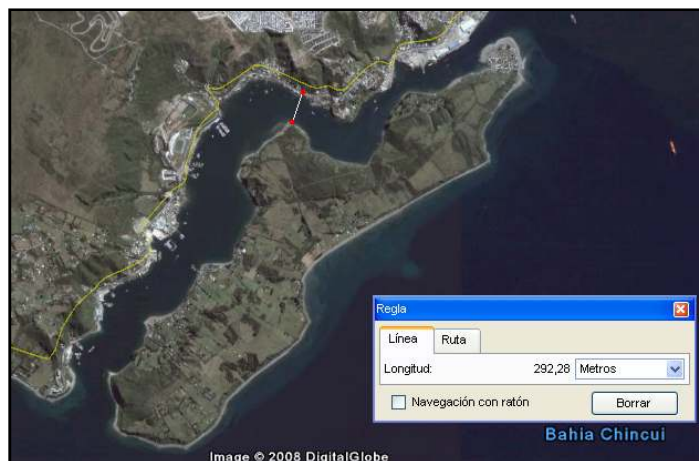


Figura nº 4: Canal de Tenglo y distancia media desde la isla al continente³

2.3 Descripción de Puerto Montt

Puerto Montt consta de 3 terrazas principales, la primera ubicada en el sector céntrico de Puerto Montt a una cota de 5 m.s.n.m., la segunda que varía entre los 60-70 m.s.n.m. que se puede encontrar en los sectores de Lintz y Seminario y la tercera terraza ubicada a unos 105 m.s.n.m. que es por donde se entra a Puerto Montt por la Ruta 5 Sur. El plan regulador comunal de Puerto Montt (PRC-PM) del año 2008 mantiene que algunos flujos importantes usen una circunvalación principal la cual está conformada por las siguientes calles: Avenida presidente Ibañez - Av. Cardonal - Av. Alessandri, Av. Diego Portales y Maratón y que se muestra a continuación:



Figura nº 5: Flujo vehicular, Circunvalación principal de Puerto Montt⁴

³ Imagen Obtenida de Software Google Earth, 2008.

⁴ www.amarillas.cl, 2008

El área de influencia del proyecto de integración de isla Tenglo al radio urbano de Puerto Montt involucra a la comuna de Puerto Montt y considera una diversidad de formas de explotación que se le pueden dar a la isla. El gran crecimiento demográfico que ha experimentado la región en los últimos años, ha significado que una innumerable cantidad de personas hayan llegado a esta ciudad atraídas por el desarrollo en diferentes ámbitos de su actividad, especialmente en el ámbito forestal, pesca (mercado del salmón), turismo, etc. saturando rápidamente las áreas céntricas y creando un grave problema de infraestructura vial y una fuerte demanda de soluciones habitacionales. Actualmente, se realizan diferentes estudios para descongestionar el sector céntrico de Puerto Montt y a la vez, permitir un acceso más expedito a las nuevas construcciones en las terrazas superiores de la ciudad, en donde hoy el crecimiento poblacional es difícil de frenar.

Puerto Montt es una ciudad que ha crecido en forma desproporcionada, en donde se aprecia una proliferación de poblaciones en torno a un núcleo central, pero no existe una política clara y pública de desarrollo urbano, ya que en los últimos años se han visto crecer y se agregan nuevas poblaciones por simple sumatoria, sin coherencia ni planificación. Algunos de los proyectos que se ejecutan o están por ejecutarse en la zona del proyecto se muestran en la siguiente figura. Los dos proyectos que pueden llegar a influir en este estudio son los siguientes: construcción caleta de pescadores Anahuac y construcción muro y explanada Angelmó, con la ubicación mostrada en la siguiente figura:



Figura n° 6: Proyectos en desarrollo o en vías de, que influyen en el estudio.

2.4 Plan Regulador Comunal de Puerto Montt (PRC-PM)

El plan regulador de Puerto Montt define tres áreas principales: el área urbana, las áreas de extensión urbana y las áreas especiales. Estas últimas son las que se utilizan para efectos de este estudio.

Las áreas especiales son las áreas planificadas ubicadas tanto dentro del área consolidada como en las áreas de extensión urbana que, en razón de su especial destino o naturaleza están sujetas a consideraciones normativas especiales de restricción o protección de diverso grado en cuanto a urbanización y edificación.

Todas las áreas de isla Tenglo (ver figura n° 7) han sido clasificadas como áreas especiales (Tabla n°1). Cada una de estas áreas posee características propias, siendo de mayor interés para el proyecto de integración de isla al radio urbano de Puerto Montt las zonas residenciales ya que se pueden obtener coeficientes de densidad máxima de habitantes por hectárea y uso de suelos de cada zona. En el capítulo VI de Costos y Beneficios se determinan en forma aproximada los metros cuadrados habitables y se obtiene una estimación del flujo vehicular en el periodo de proyección.

Tabla 1: Clasificación de zonas de isla Tenglo según PRC – PM 2008 ⁵.

Áreas Especiales		
n°	Zonas de borde costero	Clasificación
36	Balneario Puntilla Tenglo	B-4
37	Balneario Tenglo Sur	B-5
n°	Zonas de Interés turístico Nacional	Clasificación
44	Isla Tenglo Residencial	ZOIT-1
45	Isla Tenglo Equipamiento Local	ZOIT-2
46	Isla Tenglo Equipamiento Regional	ZOIT-3
n°	Zonas Residenciales Existentes	Clasificación
50	Alto Tenglo	RE-4
51	Puntilla Tenglo	RE-5

⁵ Municipalidad de Puerto Montt, Plan Regulador Comunal, 2008

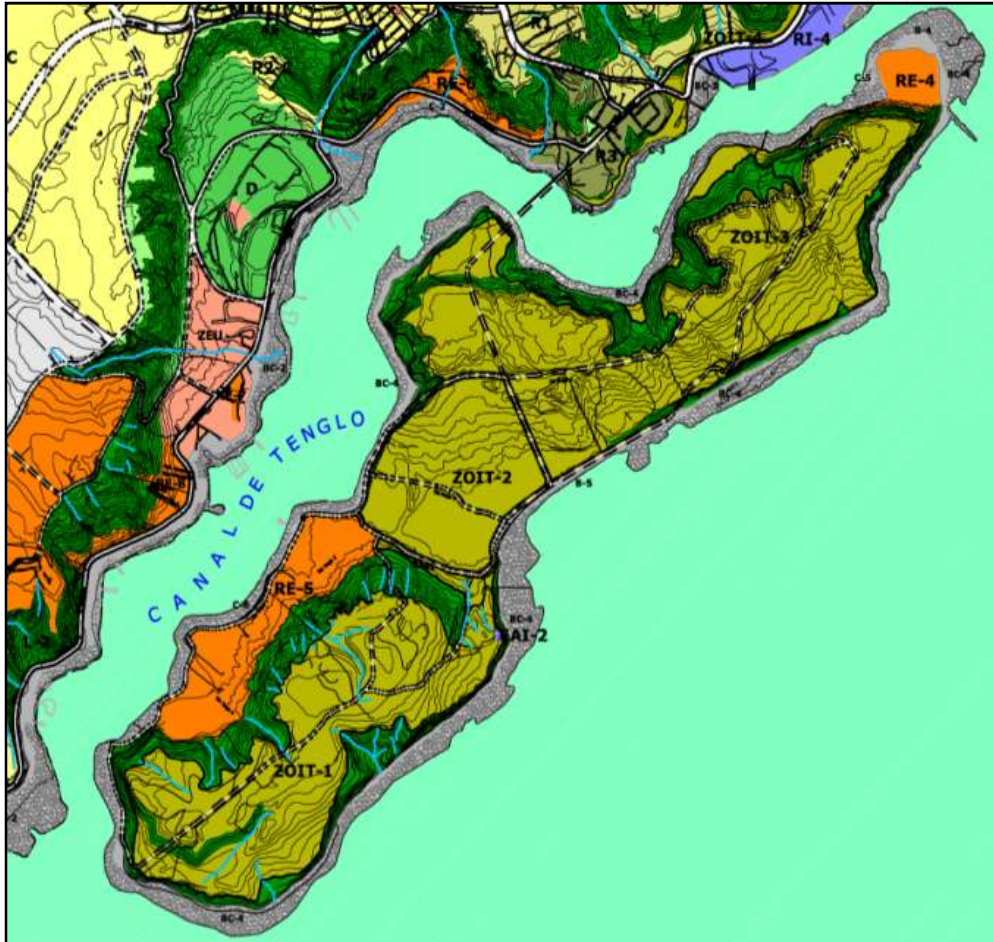


Figura n° 7: Zonificación plan regulador ciudad de Puerto Montt.

2.5 Navegabilidad y Mareas.

La altura de aguas máximas es de 7m. sobre el nivel Nivel de Reducción de Sonda (NRS), que para el puerto patrón de Puerto Montt se encuentra a menos 3 m.s.n.m. Por lo tanto la cota de aguas máximas queda a + 4 m.s.n.m.

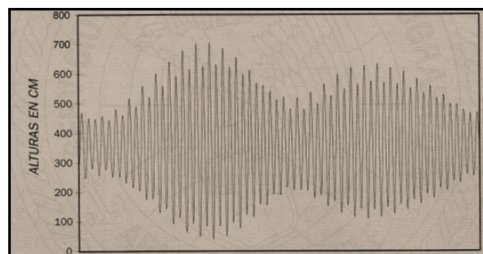


Figura n° 8: Variabilidad de altura de mareas en Puerto Montt ⁶.

⁶ SHOA: Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada.

Se introducen las siguientes definiciones para poder entender los conceptos de navegabilidad de las naves según los antecedentes recolectados en base a los conocimientos de la zona y a la experiencia del Departamento de Operaciones de la Capitanía de puertos de Puerto Montt:

- Eslora: Es la medida de una nave tomada a su largo, desde la proa hasta la popa.
- Calado: Profundidad que alcanza la quilla de una nave desde la línea de flotación. Máxima dimensión sumergida del casco. El calado máximo es el correspondiente al desplazamiento vertical máximo desde la línea de flotación.
- Quilla: Pieza que se ubica de popa a proa por la parte inferior del barco y en la que se asienta todo su armazón.

En la zona de interés n°1 (ver figura n° 12) es posible la navegación de naves menores y mayores, con una eslora máxima de 50 m., y un calado máximo de 5 m., con alta marea. En la zona de interés n° 2 sólo es posible la navegación de naves menores, con una eslora máxima de 18 m. y un calado máximo de 2 m., y restringido por la baja marea.

2.5.1 Comparación con Navegabilidad de puente Cruces

La información del puente Cruces, que conecta Niebla con Isla Teja, se obtuvo de los planos de construcción (ver figura 36 y 37), la que se compara en la siguiente tabla con una solución aceptable para un puente sobre el canal de Tenglo.

La altura de fondo es una característica geométrica dada por la diferencia entre la altura de mareas (cotas de aguas máximas ó mínimas) y la cota de fondo, por lo tanto por mayor que se haga el gálibo subiendo la superestructura del puente la navegabilidad estará supeditada al valor de esta variable, ya que define el calado máximo de las naves que pueden pasar por el lugar en estudio. De la comparación mostrada en la tabla n° 2 se desprende lo siguiente: - que los gálibos en el proyecto del puente Tenglo serán mayores que los del puente Cruces, con ambas mareas - que con alta marea se tiene una altura de fondo parecida, por lo tanto las naves que pueden pasar por el puente Cruces también pueden pasar por el puente Tenglo - con marea baja, la altura de fondo se reduce a menos de la mitad, lo que implica que por el puente Cruces pueden pasar barcos mayores que los que pasan por el puente Tenglo.

Tabla 2: Comparación Puente Tenglo y Puente Cruces

Tabla de comparación Puente Tenglo y Puente Cruces		
	P. tenglo	P. Cruces
	[m]	[m]
Distancia entre Cepas	80	35
Cota Aguas Mínimas	-3	94,5
Cota Aguas Máximas	4	96
Cota Fondo	-7	85,46
Cota Altura Máx (Pav.)	25,06	115,7
h viga + placas apoyo	2	1,95
h losa + pavimento	0,31	0,6
Galibo con A. Máx.	18,75	17,15
h fondo con A. Máx	11,00	10,54
Galibo con A. Mín.	25,75	18,65
h fondo con A. Mín.	4,00	9,04
Diferencia A. Máx - A. Mín	7	1,5

2.6 Topografía

La topografía utilizada fue facilitada por la Secretaría de Planificación de la I. Municipalidad de Puerto Montt y contempla curvas de nivel cada 5 m. en el sector continental y en el sector de isla Tenglo. La sección longitudinal de las opciones de puentes se realizó en base a estos datos y a las cotas bajo el nivel del mar que modelan la cuenca del canal de Tenglo.



Figura n° 9: Topografía sector Continental⁷

⁷ I. Municipalidad de Puerto Montt.

Se utiliza una aproximación de la cuenca del canal de Tenglo, donde se pueden visualizar las cotas bajo el nivel del mar para los sectores de interés, que varían entre 7 y 8 m. bajo el nivel medio del mar en promedio.



Figura n° 10: Topografía submarina en canal de Tenglo.⁸

⁸ SHOA: Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada.

3 CAPITULO III. IDENTIFICACION Y SELECCIÓN DE EMPLAZAMIENTOS

Dentro de las opciones existentes de emplazamiento para la unión (en particular un puente) de Puerto Montt e isla Tenglo se analizaron tres: en el extremo suroeste, al extremo noreste de Isla Tenglo y una tercera entre estos dos extremos: sector céntrico.



Figura n° 11: Sectores analizados para emplazamiento.

La opción con ubicación al suroeste de la isla presenta dos desventajas sustanciales; la primera es que no se encuentra cercana al flujo de Puerto Montt descrito anteriormente, por lo tanto no posee proyección en términos de conexión vehicular y la segunda es que la mayor parte de los residentes de isla Tenglo se encuentran en el sector de puntilla Tenglo (al otro lado de la isla) y no responde a los objetivos de inclusión de isla Tenglo y sus habitantes en el radio urbano de la ciudad de Puerto Montt. Por lo tanto esta opción queda descartada.

Tanto el sector noreste como el sector céntrico se conectan muy bien con el eje de circunvalación mencionado en el punto 2.3 (ver figura n° 5) y no quedan alejados del sector poblacional, pero el sector noreste no es factible pues es la entrada principal al puerto donde circulan naves mayores como transatlánticos y buques cargueros; por lo tanto la opción restante es buscar un lugar en el sector

céntrico de isla Tenglo y detrás del Puerto donde quede resguardado de los temporales. Dentro de este sector se han visto dos lugares, ambos en el sector posterior a Angelmó.

En el sector posterior a Angelmó, se han planteado dos zonas de interés, tal como se pueden apreciar en la figura nº 12, las cuales se analizarán en mayor profundidad para definir la zona óptima de emplazamiento del puente. Estas zonas se han escogido en base a los puntos descritos anteriormente y además porque son proyecciones de la avenida Pacheco Altamirano (zona de interés nº1) y de la calle Muñoz Gamero ubicada en población Orellana (zona de interés nº 2); ambas poseen una conexión más directa con el centro de Puerto Montt, por lo tanto es más favorable para los habitantes de Isla Tenglo un puente en el sector céntrico de la isla. Además ambas opciones presentan una mejor conexión con el flujo vehicular de la Avenida Jorge Alessandri, con la ventaja de no tener la necesidad de aproximarse al sector de Angelmó para cruzar hacia la isla, evitándose así un punto de congestión, sino que se puede optar por tomar un camino hacia el Este que se dirige hacia Angelmó y hacia el sector céntrico de Puerto Montt por avenida Angelmó o ir hacia el Oeste con dirección hacia Chiquihue siguiendo por avenida Pacheco Altamirano y optar por cruzar el puente que se conectará directamente con alguna de las dos calles mencionadas.

La zona de interés nº1 presenta la ventaja de terrazas ubicadas en isla Tenglo y en el continente con cotas similares, esto es una mejoría desde el punto de vista constructivo; no así la zona de interés nº 2, también ubicada al sureste de Angelmó, que posee una diferencia de cotas de alrededor de 15 m. entre las terrazas del continente y de la isla (aunque no es difícil de salvar este problema con una pendiente de un 2,5 % a lo largo de los 400 [m] del puente que disminuiría el problema).

La ventaja sustancial que precede la selección de una de estas dos alternativas es la conexión con Avda. Pacheco Altamirano (ver figuras nº 12 y 15) de la zona de interés nº 1, pues esta avenida presenta notorias ventajas con respecto a la calle Muñoz Gamero que es una calle corta no diseñada ni habilitada en la actualidad para un tránsito pesado como es el que se espera para un puente de esta envergadura, por lo tanto, se deberían realizar ensanchamientos y arreglos para subsanar este punto en toda la calle, no así en Avda. Pacheco Altamirano que enfrenta todo el tránsito que se dirige hacia el sector de Chiquihue recibiendo, ya hoy en día, una gran demanda de tráfico de vehículos de todo tipo, incluyendo camiones de alto pesaje.

Por último cabe señalar que la construcción de la caleta de pescadores Anahuac contribuye a la localización del puente en el sector nº 1.

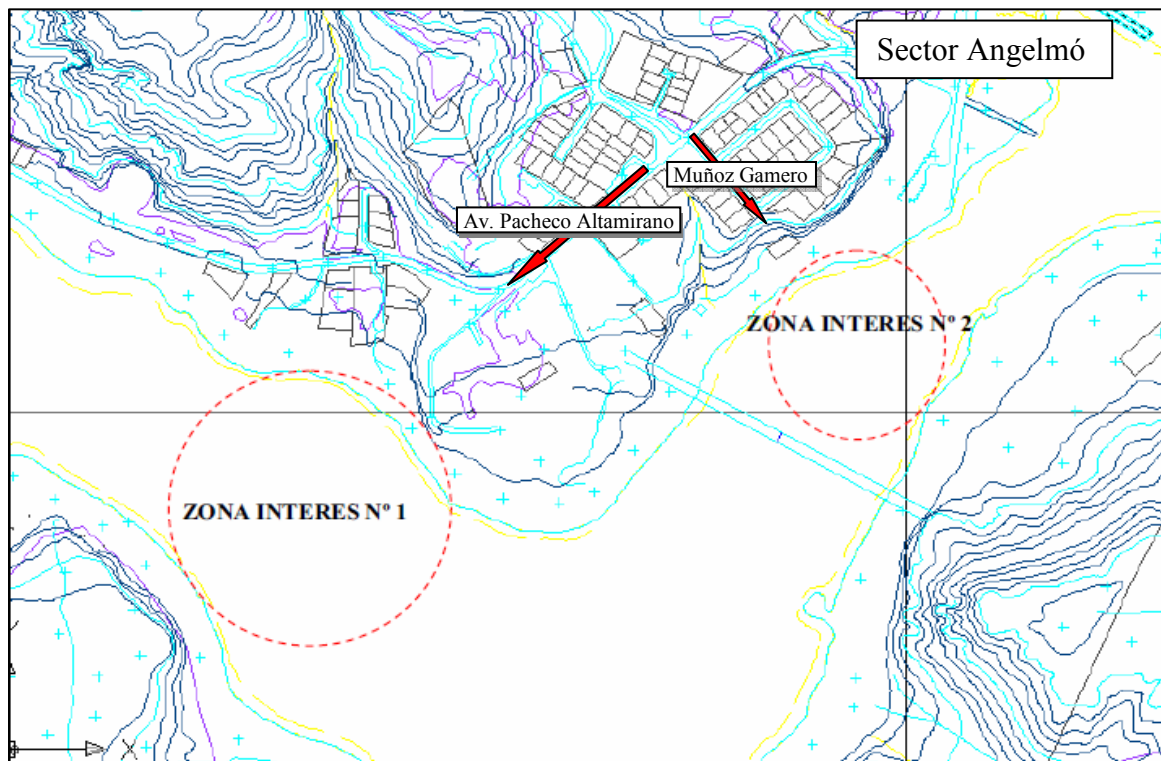


Figura n° 12: Zonas de Interés para la ubicación de los puentes.



Figura n° 13: Opciones para la ubicación Puente Tenglo.



Figura nº 14: Esquema General en 3D de las dos opciones de puentes.



Figura n° 15: Calles principales y conexión con Puerto Montt.

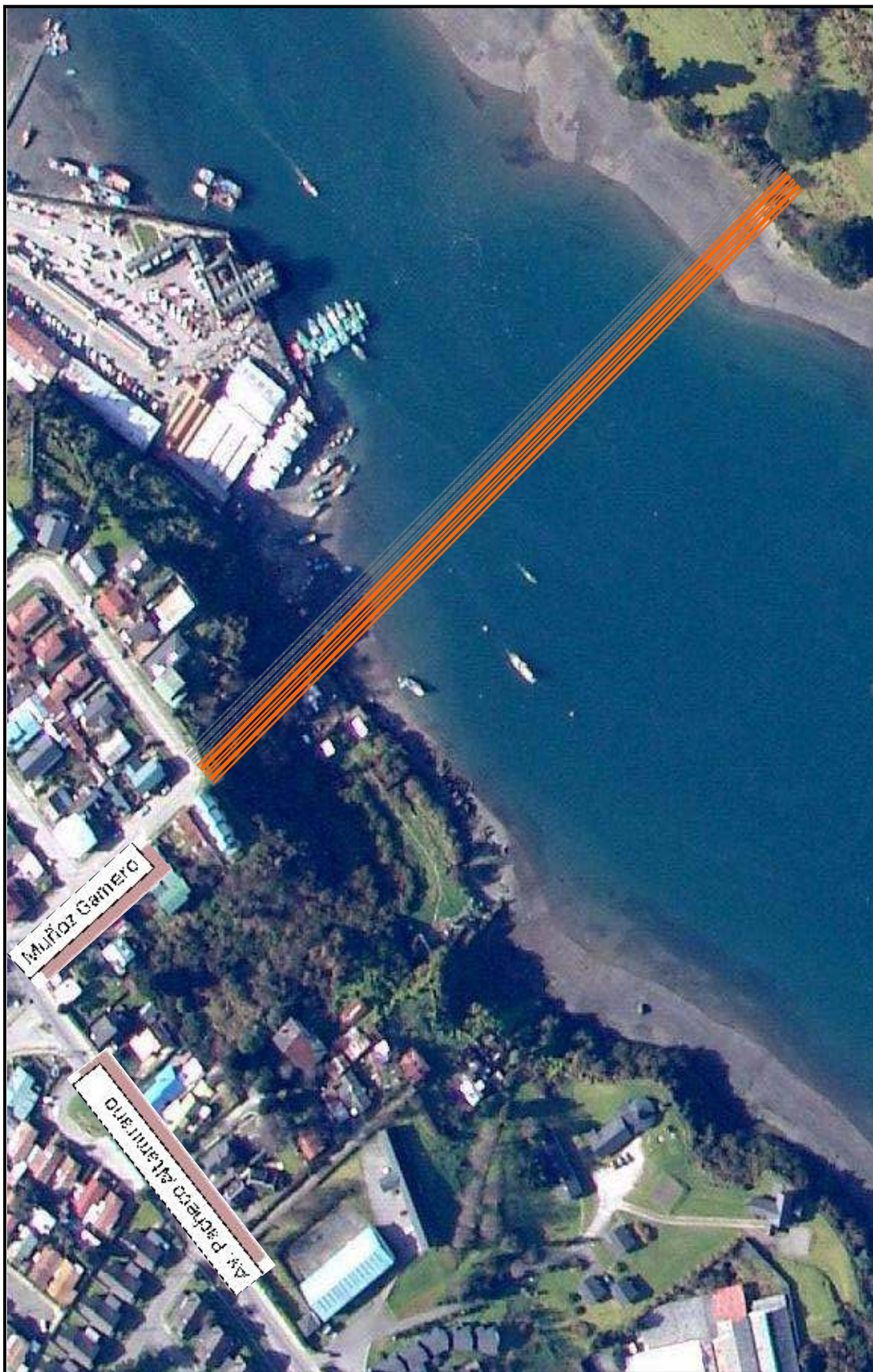


Figura n° 16: Vista aérea alternativa puente en población Orellana.

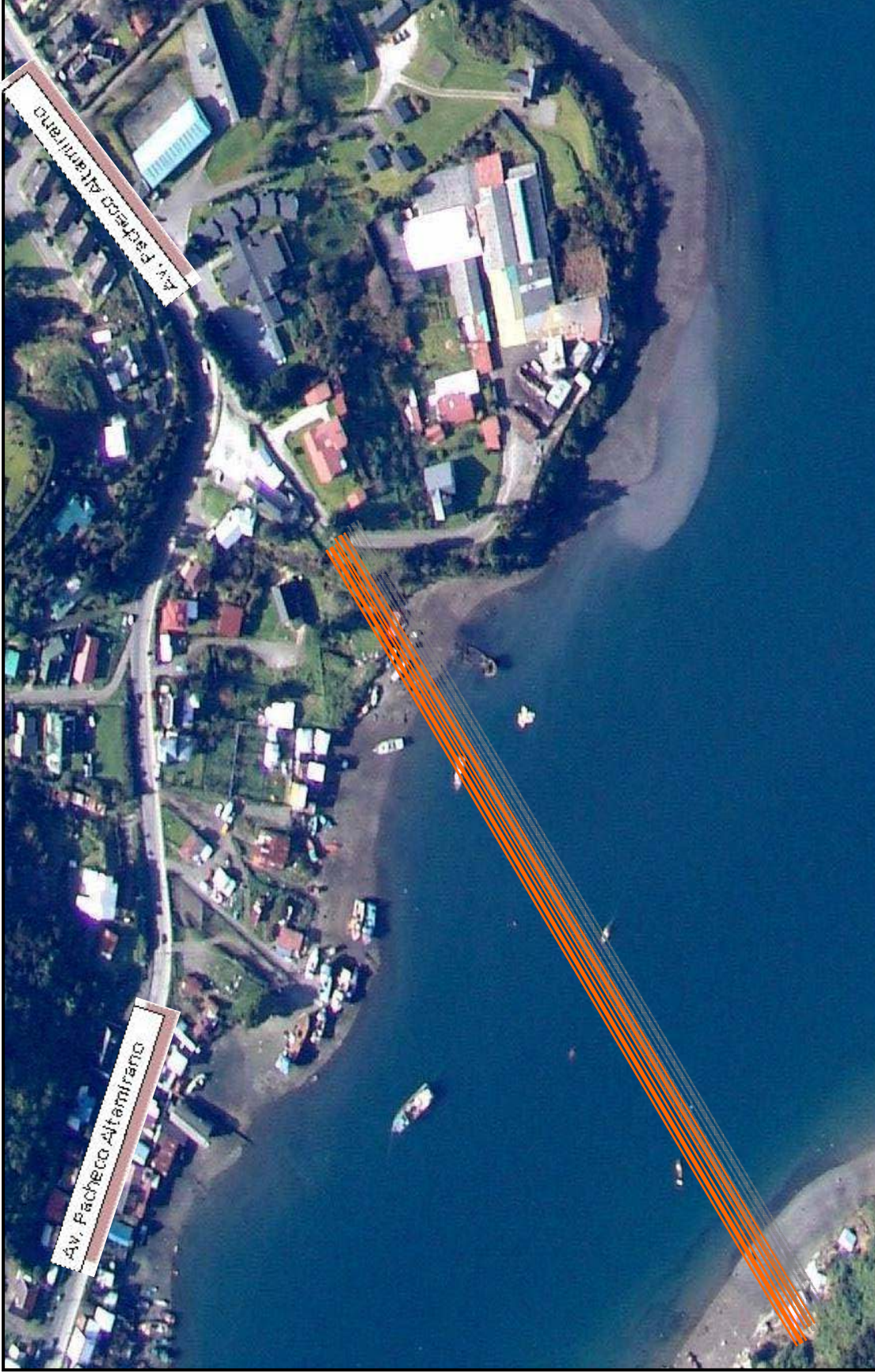


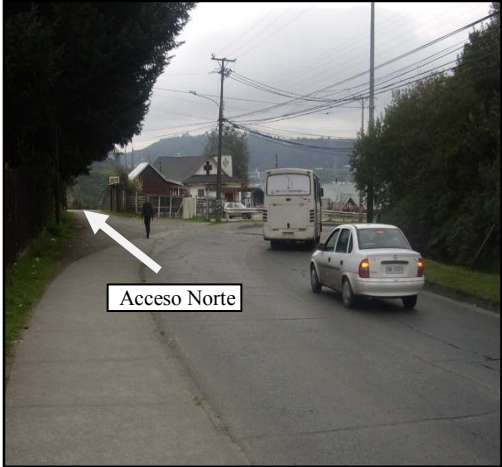



Figura nº 17: Vista aérea alternativa puente en villa Marina.

Tabla 3: Imágenes de los accesos norte y sur para las opciones de emplazamiento.

 <p>Imagen 1: Vista desde acceso norte en calle Muñoz Gamero hacia el sur. Puente P. Orellana</p>	 <p>Imagen 2: Vista desde calle M. Gamero hacia acceso sur en I. Tenglo. Puente P. Orellana</p>
 <p>Imagen 3: Av. Pacheco Altamirano y acceso norte puente población V. Marina.</p>	 <p>Imagen 4: Vista desde Av. Pacheco Altamirano hacia acceso sur en I. Tenglo para puente V. Marina.</p>

Al revisar los perfiles transversales para el puente de población Orellana y de población Villa Marina se concluye que no existen diferencias significativas en cuanto a forma y longitud total, ya que se puede ejecutar puentes con el mismo número de vanos y con longitudes del mismo orden para cada uno de estos puentes y ambos salvan las restricciones para el paso de naves.

Se concluye que el puente de población V. Marina es la ubicación más conveniente para el proyecto.

4 CAPITULO IV. SELECCIÓN DE LA SOLUCION

4.1 Selección de las Formas y Dimensiones de los Elementos Constructivos

Los antecedentes de ingeniería básica son los que determinan las formas y dimensiones de una estructura en su anteproyecto, ya que importa conocer las dimensiones aproximadas, longitudinales y transversales de la superestructura e infraestructura, para poder esbozar planos conceptuales.

Un análisis preliminar conduce a eliminar algunos tipos de puente dejando uno o dos para evaluación más detallada.

En el diseño definitivo habrá que dimensionar con la exactitud que pide la importancia del elemento en la estructura; las dimensiones definitivas surgen de cálculos y correcciones sucesivas sin perder de vista la armonía de los elementos en la estructura.

4.2 Selección del Tipo de Puente y su Esquema Estructural

En la selección primera del tipo de puente y a continuación del sistema estático habrá que acomodar primero una serie de parámetros tales como el suelo, el agua y el tránsito; segundo, los posibles esquemas de montaje y plazos de construcción y, tercero, las posibles otras demandas y exigencias.

La selección del sistema estático surge a través de croquis y esbozos preliminares; conviene trabajar con lápiz y papel, para bien evaluar cuáles de las múltiples posibilidades, que a primera vista se presentan, son efectivamente realistas. En esta fase los cálculos son aproximados para obtener estimaciones de orden de magnitud. Así se llega a un número limitado de soluciones para su posterior discusión.

Entre las demandas especiales que requieren consideración cabe mencionar la necesidad de evitar esquemas afectos al riesgo de colapso progresivo. Esto se consigue evitando estructuras cuya seguridad depende de unos pocos elementos vulnerables, poniendo énfasis en la ductilidad de las

conexiones, subdividiendo estructuras largas en partes independientes entre ellas e introduciendo una seguridad más amplia contra acciones excepcionales pero que son más comunes de lo pensado, tales como impacto de naves y similares.

4.3 Consideraciones Generales en el Concepto del Puente.

Toda obra tiene que ser:

- funcional, es decir cubrir las necesidades del usuario.
- constructiva y estructuralmente eficiente.
- económicamente rentable.
- Estéticamente armoniosa.

En la elaboración del proyecto del puente habrá que considerar la interacción entre estas exigencias, y, en particular, entre las exigencias estructurales (capacidad resistente y de servicio) y económicas.

Para conseguir los objetivos, el ingeniero tiene la posibilidad de elegir y variar una serie de parámetros tales como:

- Materiales de construcción,
- Tipo de puente y sistema estructural,
- Forma y dimensiones de los elementos constructivos,
- Método de construcción.

Otros temas importantes de interés para todos los tipos de puentes, son: los apoyos, las juntas de dilatación, las fundaciones, el pavimento, la evacuación de las aguas lluvias, El mantenimiento y la estética de la obra.

4.4 Tipos de Puentes

Subdividiendo los puentes según su sistema estático en el sentido longitudinal se llega a las siguientes categorías:

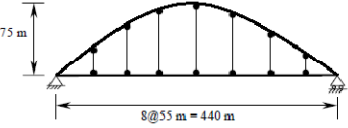
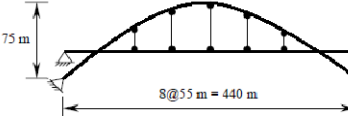
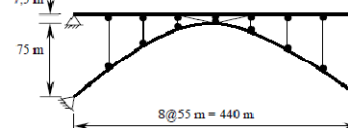



- Tramo simplemente apoyado o continuo.
- Pórticos.
- Arcos.
- Atirantados (Puentes con sistema de suspensión).
- Colgantes.

Los puentes pueden ser de un solo vano o de vanos múltiples. El mayor número de aplicaciones pertenece a los puentes viga de vanos múltiples.

4.4.1 Puente en arco

Este tipo de puente toma los esfuerzos en el arco, que se transmiten desde el tablero por medio de los tirantes. Existen variados tipos de puente en arco como son los con losa inferior, intermedia o superior:

Tabla 4: Tipos de puente en arco más comunes, con ejemplos.

 <p><i>Puente en Arco con Tablero Inferior</i></p>	 <p><i>Puente en Arco con Tablero Intermedio</i></p>	 <p><i>Puente en Arco con Tablero Superior</i></p>
		

Estos también se pueden diseñar para actuar en combinación con vigas metálicas, pero no es el caso a estudiar. Dentro de esta categoría también se puede optar por un puente tipo Network, donde los tirantes son en ángulo y no verticales como en los mostrados anteriormente.

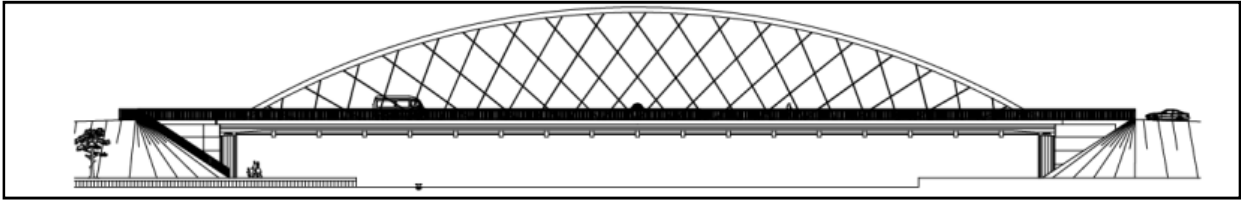


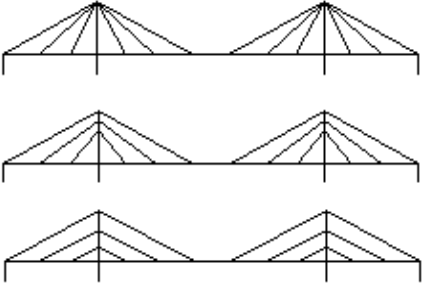
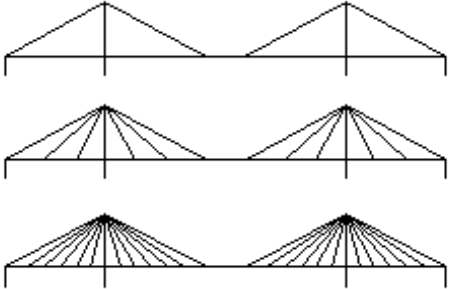
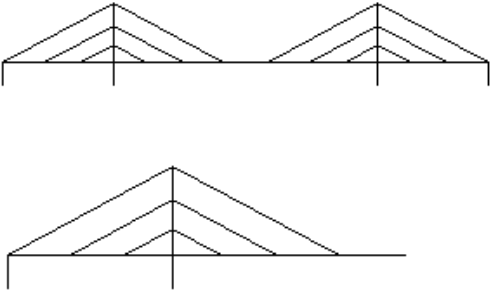
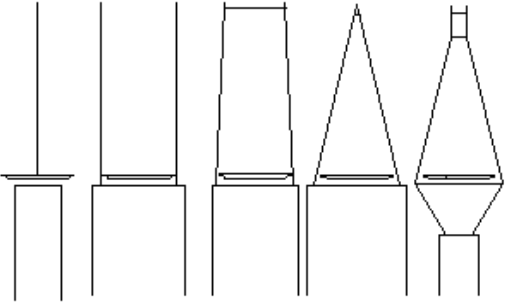
Figura n° 18: Puente Network.

Esta forma de puente representa una ventaja para salvar un vano central de no más de 80 m. Para mayor información se puede consultar Valenzuela [12].

4.4.2 Puente atirantado

Este tipo de puente se puede materializar en el emplazamiento escogido con dos tramos laterales de 100 m. y un tramo central de 200 m. Cabe destacar que en Chile ya existe experiencia en este tipo de construcciones (puente Yelcho: 150 m.). Los puentes atirantados se utilizan para salvar luces mayores que las posibles con estructuras de hormigón armado y con un canto en el tablero mucho menor.

Tabla 5: Diferentes tipos y configuraciones de puentes atirantados.

 <p><i>Puentes atirantados tipo: Abanico, intermedio y Harpa.</i></p>	 <p><i>Puentes atirantados con número variable de tirantes.</i></p>
 <p><i>Puente atirantado simétrico: con vanos extremos de anclaje y un vano central principal. Antisimétrico: con un vano de anclaje y otro principal de luz mayor.</i></p>	 <p><i>Diferentes tipos de soporte para el tablero</i></p>

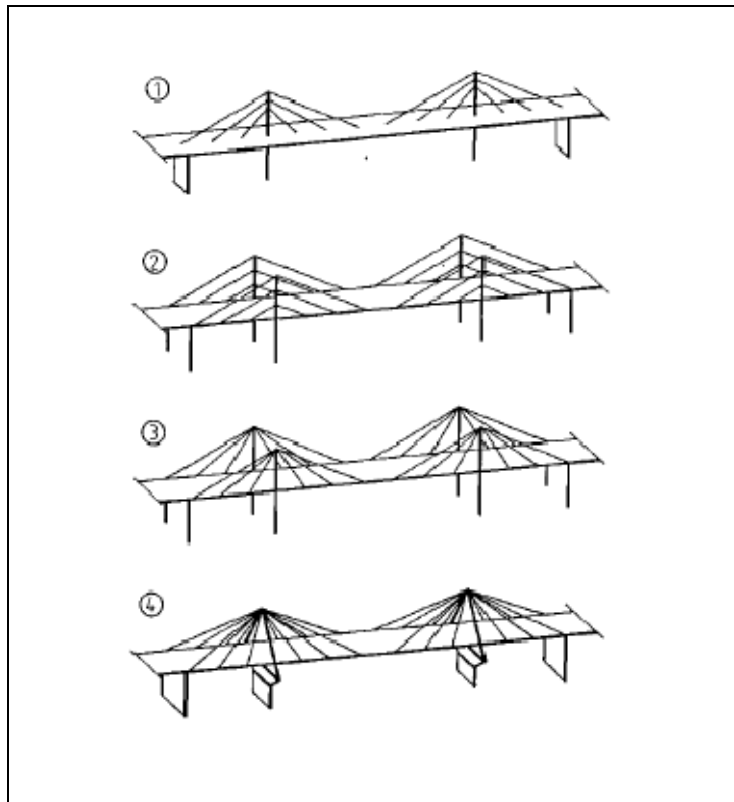


Figura n° 19: Diferentes configuraciones para cepas y tirantes de puentes atirantados.

Otras soluciones, aunque algo más audaces, pero a la vez técnicamente factibles se muestran a continuación, haciendo mención al objetivo principal de este estudio: la incorporación de isla Tenglo al radio urbano a Puerto Montt.

4.4.3 Túnel

El construir un túnel bajo el canal de Tenglo que conecte la isla, es sin duda una solución que no ha sido estudiada aún, pero este proyecto en primera instancia necesitaría infraestructura a ambos lados (isla y continente) y no se tiene experiencia al respecto en Chile.

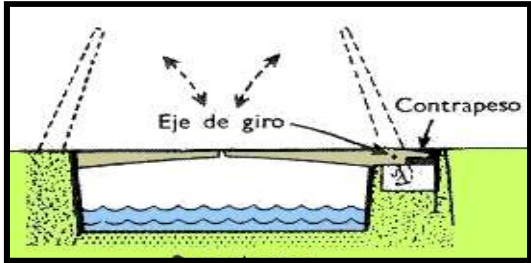

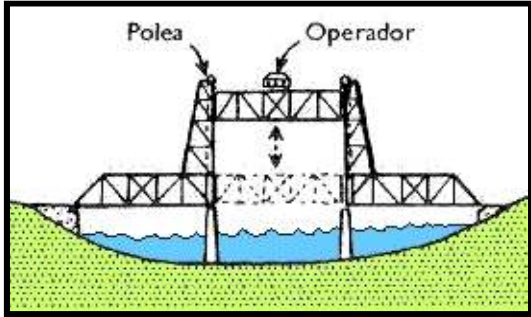

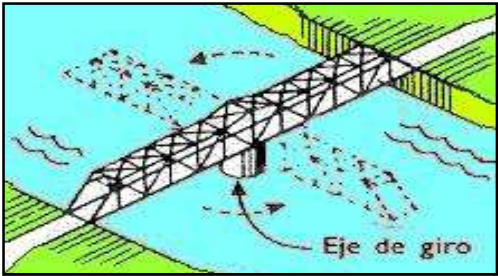

4.4.4 Puente Muelle

Esta opción se refiere a hacer un puente con doble propósito, en el nivel superior puede funcionar como un puente tradicional para uso peatonal y vehicular y en un nivel inferior como muelle para embarcaciones menores, turísticas y yates, además se le pueden dar otros usos como utilizarlo como paseo turístico peatonal donde se podrá establecer comercio de artesanías y de productos de la zona.

4.4.5 Puente Basculante

En Chile no existe este tipo de puentes, pero hay una vasta experiencia a nivel mundial con más de 100 años de trayectoria, estos puentes pueden constituirse de tres formas principales.

Tabla 6: Diferentes tipos de puentes giratorios con ejemplos de puentes construidos.

 <p><i>Puente Basculante</i></p>	 <p><i>Puente del Puerto, Barcelona, España.</i></p>
 <p><i>Puente de Elevación Vertical</i></p>	 <p><i>Puente Recouvrance, Brest, Francia</i></p>
 <p><i>Puente Giratorio</i></p>	 <p><i>Puente giratorio, Matanzas, Cuba.</i></p>

4.4.6 Piedraplén o terraplén

Este es el caso del piedraplén existente en la ciudad de Calbuco, con una topografía muy similar a la existente en isla Tenglo, conecta Calbuco con el continente por medio de una pasada cimentada sobre una base que puede estar constituida por rocas o por un relleno estructural.



Algunas de estas alternativas pueden ser planteadas sólo como paso peatonal o sólo para paso vehicular, pues presentan también una solución de integración de isla Tenglo, dependiendo el objetivo que se quiera lograr y los recursos a invertir.

4.5 Comparación de puentes simplemente apoyados y continuos ya sea con vigas metálicas o pretensadas

Una solución típica para los tramos extremos, que es muy usada en Chile, corresponde por lo general a vigas metálicas doble “T”. La cantidad de vigas a colocar depende del ancho de la calzada, el número de vías de tránsito y otras variables.

Longitudinalmente, el puente está compuesto por 4 tramos laterales a cada lado del tramo central, en total 8 tramos de unos 40 m. y el vano central que salvará una luz de aproximadamente 80 m.

Se utiliza una solución de vigas metálicas con losa colaborante, la cual presenta una solución económica y competitiva para luces entre 20 y 40 m., en comparación a soluciones de hormigón prefabricado.

Una ventaja que posee esta solución es que su ejecución es más rápida y cómoda frente a soluciones de hormigón (armado y pretensado). Posee una desventaja en cuanto a mantención la cual

deberá realizarse periódicamente por concepto de corrosión, gatillada en el acero de las vigas en constante exposición al ambiente marino.

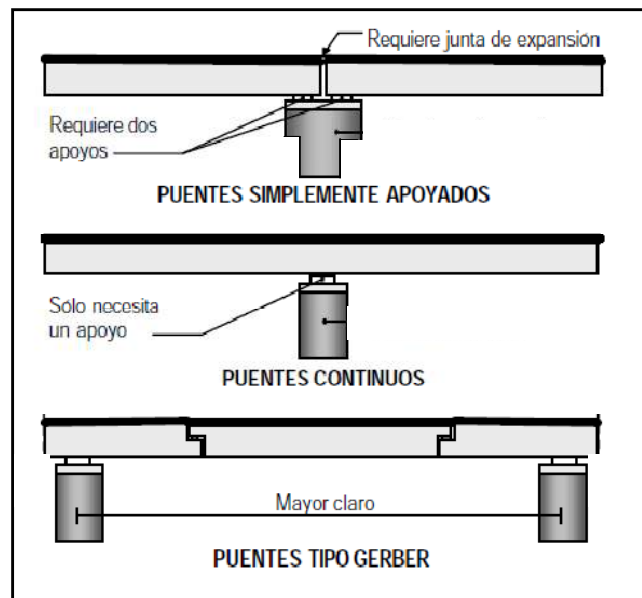


Figura n° 20: Puentes simplemente apoyados, continuos y tipo Gerber.

El posible refuerzo y mantención de estas vigas se realiza sin dificultad, agregando o cambiando planchas cuando se requiera lo cual es sumamente importante, pues este puente se presenta en primera instancia como única entrada y salida de la isla y deben existir facilidades para las reparaciones. Esta ventaja se ve acrecentada por la incorporación de un tablero con tramos isostáticos, los cuales presentan también un avance en términos de facilidad de reparación con respecto a los tramos continuos.

Una desventaja de los puentes de tramos isostáticos frente a los de tramos continuos es que las cargas de frenado longitudinal no se distribuyen en todas las cepas sino que todo el esfuerzo se transmite a la fundación vía la cepa más cercana, lo que no sucede en el caso de un puente con tramos continuos, ya que el esfuerzo se distribuye a lo largo de todas las cepas proporcionalmente a la rigidez de cada una.

Otra desventaja es que se deben colocar más juntas de calzada, lo que podría producir algún tipo de incomodidad al transitar por la calzada por los saltos que se producen (Disminución del IRI).

Una ventaja que tienen las vigas pretensadas en relación a la viga metálica en este caso en particular es el deterioro de éstas por encontrarse en un ambiente marítimo con alta salinidad así se puede salvar este obstáculo haciendo un plan de preservación detallado que obviamente encarece los costos de la solución.

4.6 Puentes en Chile

Como vimos anteriormente existen muchos tipos de puentes que pueden prestarse como solución para unir isla Tenglo a Puerto Montt; sin embargo, se seleccionó el puente tomando en cuenta las condiciones del sitio y las circunstancias en Chile. Para los vanos laterales de no más de 40 m. las soluciones más usadas en Chile son las siguientes:

- *Puente de vigas metálicas con losa colaborante con tramos simplemente apoyados.*
- *Puente con vigas pretensadas o postensadas con tramos simplemente apoyados.*

Para efectos de estimación de costos y de alcanzar una alternativa factible económicamente, se prediseñan tramos laterales con vigas metálicas con losa colaborante, tramos simplemente apoyados, y para el tramo central de mayor longitud como se verá a continuación en el capítulo 4.7.

Algunas opciones de diseño son las siguientes, pero se deben evaluar en términos de costos, tecnología disponible al momento de construir y pesar las ventajas y desventajas de cada una. Además está el factor estético, ya que la construcción de este puente se mostrará como un hito en la historia de Puerto Montt.

4.7 Opciones de diseño de Puente Tenglo

4.7.1 Opción n° 1.-

Tipo: Combinación entre puente con vigas y puente arco Network, simplemente apoyado.

Descripción: El tramo central con una solución de puente Network da la ventaja de aumentar el gálibo bajo el puente en comparación con los tramos laterales que usan vigas metálicas con losa colaborante (alrededor de 2.3 m. de canto en el tablero), esto se obtiene con un tablero que no es de gran espesor y ya sea que se utilicen vigas metálicas para uso en conjunto con el tablero, se obtiene un mayor gálibo, pese a que se está en un tramo del doble de longitud de los tramos laterales. Se elige usar vigas metálicas con losa colaborante para los vanos extremos. El hecho que exista un puente en arco con características innovativas como éste, ya que no existe ningún puente de este tipo en Chile, originaría que no sólo fuese un hito para la región, sino para el país.

Tramos laterales: 8 tramos de 40 m. cada uno con vigas pretensadas o metálicas con losa colaborante, isostáticas.

Tramo central: Puente en arco tipo Network de 80 m. de luz.

Método constructivo: Primeramente se construyen los pilotes con plataforma submarina para continuar con las columnas, luego los tramos con vigas metálicas o pretensadas se construyen por medio del método de la *viga lanzadora*, lo cual se puede realizar debido a que los tramos son isostáticos por lo tanto, en el proceso constructivo, las cepas ni las vigas sufren momentos en sus extremos, luego de eso se hormigona in situ por medio de encofrados construidos también in situ. El tramo central es construido in situ colocando vigas provisionarias. También se puede ayudar con grúas colocadas sobre plataformas marinas.

4.7.2 Opción n° 2.-

Tipo: Puente viga continuo.

Descripción: Puente con dovelas prefabricadas de sección cajón aumentando la sección hacia los extremos para soportar los momentos durante la construcción. Al variar la longitud de los vanos desde 30 a 70 m. en forma gradual, se finaliza con una solución armónica agradable a la vista.

Tramos laterales: Desde extremo a centro: 2 tramos de 30 m., 2 de 35 m., 2 de 45 m. y 2 de 55 m. uno por cada extremo del puente.

Tramo central: Este tipo de puentes permite salvar tramos grandes de más de 40 m. por lo tanto, para este tramo de 70 m. se construye con el mismo tipo de solución que los otros tramos.

Método constructivo: Mediante el método de *voladizos sucesivos*, donde las dovelas se colocan una después de otra, esto es después de construida la cepa, se van colocando las dovelas por medio de un carro de construcción (traveller), en un sentido y luego en el otro. Se debe tener especial cuidado en revisar y reforzar la pila por los esfuerzos inestables y sísmicos que se producen durante esta etapa.

4.7.3 Opción n° 3.-

Tipo: Puente Gerber.

Descripción: Puente con viga metálica y losa colaborante, se aumentan las luces de cada tramo para así disminuir la luz del tramo central, junto con dejar un tramo en voladizo de aproximadamente 6 m. a cada lado del tramo central en este caso.

Comentario: Según la experiencia del departamento de puentes, todos estos puentes tienen problemas de mantención en las rótulas de la viga Gerber, pero es también una posibilidad.

Tramos laterales: 8 tramos de 42 m. con vigas metálicas isostáticas.

Tramo central: De 66 m. con viga Gerber metálica de 54 m. más dos voladizos de 6 m.

Método constructivo: Por medio de *viga lanzadora* y soldadura in situ, colocación de viga Gerber con grúa en terreno o en plataforma marina. Luego hormigonado in situ.

4.7.4 Opción n° 4.-

Tipo: Puente viga continuo.

Descripción: Puente viga continuo con viga metálica y losa colaborante a tramos iguales.

Tramos: Todos los tramos iguales de 50 m.

Método constructivo: Avance de colocación de las vigas con viga lanzadora, luego se suelda la viga nueva a la anterior y se utiliza hormigonado in situ.

4.7.5 Opción n° 5.-

Tipo: Puente colgante.

Descripción: Un puente colgante es utilizado para conseguir menor espesor en la losa y luces más grandes. Se consigue una solución agradable a la vista. Las fundaciones de los tirantes a cada lado deben ser acorde a las dimensiones del puente, es decir, de gran envergadura. Generalmente se utilizan vigas cajón, o con cajón doble, en dovelas prefabricadas. También está la opción de hacer un solo gran tramo de 400 m. colocando una cepa a cada lado del canal de Tenglo.

Tramos extremos: Vanos extremos de 100 m.

Tramo central: Vano central de 200 m.

Método constructivo: Después de construir los dos pilotes principales, se tira un cable guía por el cual se construye una pasarela donde se van uniendo los cables y después se van anclando las dovelas con los tirantes.

4.8 Discusión

Visto los diferentes tipos de puentes y estos 5 esquemas para el puente Tenglo, se pueden descartar algunas opciones adoptando ciertos criterios, para así ir estudiando más en profundidad las opciones restantes, no se justifica el uso de dovelas para un puente de estas dimensiones.

Pese a que la opción n° 5 presenta una solución de características estéticas, a simple vista se puede ver que su construcción toma mucho más tiempo que cualquiera de las otras por la mano de obra especializada para su ensamblaje, que requiere un plan de mantenimiento y conservación mucho más acucioso que cualquiera de las otras opciones por el tema de la corrosión de los tirantes, por lo tanto demanda mucho más recursos económicos en términos de gastos fijos en mantención futura, en resumen cualquiera de las otras cuatro opciones demanda menos recursos.

La opción n° 2 tiene la dificultad que se necesita una fábrica para las dovelas prefabricadas cercana al lugar, por ejemplo en la línea 5 del metro de Santiago se utilizó esta solución, pues hubo una gran demanda de dovelas que fomentaron la implementación de fábricas especializadas para esto.

Las opciones restantes n° 1, 3 y 4 son bastante simples y si incluimos la opción del terraplén, ésta se presenta como la más simple de todas, sin mucha mantención ni dificultades constructivas considerables y a la vez cumple con los objetivos de integración de la isla, pero corta el paso a las embarcaciones, que por más que sean embarcaciones menores son el sustento del sector turístico Angelmó, por lo tanto se debería buscar otro emplazamiento para esta opción (aunque en cualquier emplazamiento, para este tipo de puente, cortaría la navegación del canal de Tenglo).

Entre las opciones restantes, la n° 4 es la que se presenta como más simple, pero con todos los vanos equidistantes no presenta ninguna ventaja estética, lo mismo sucede con la opción n° 3 donde existe un vano principal un poco mayor que el resto, pero estéticamente es igual al n° 4, en términos de sistema estático: un puente continuo tiene la desventaja que al tener algún

problema, ya sea por descenso de una cepa es muy difícil su reparación, no así el puente isostático; incluso es más fácil para un puente isostático controlar sus deformaciones.

La opción n° 1 es la que combina de mejor forma los factores de simple construcción, de vigas simplemente apoyadas para la mayor parte del puente (de 8 de los 9 vanos) y en el vano central una solución de puente en Arco, que si bien tiene su dificultad constructiva, todos los cálculos, detalles de construcción y salvedades están detallados y normadas (referencia [12]). Esta solución se puede presentar como novedosa y, como se ha dicho anteriormente, convertirse en un hito y atracción turística para la ciudad.

Figura n° 21: Opción n°1: Puente viga y arco isostático. Sección Transversal.

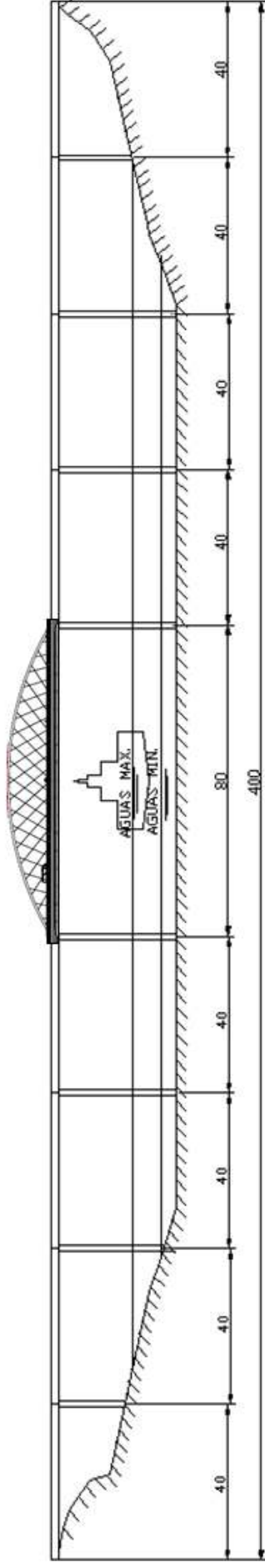


Figura n° 22: Opción n°2: Puente viga continuo. Sección Transversal.

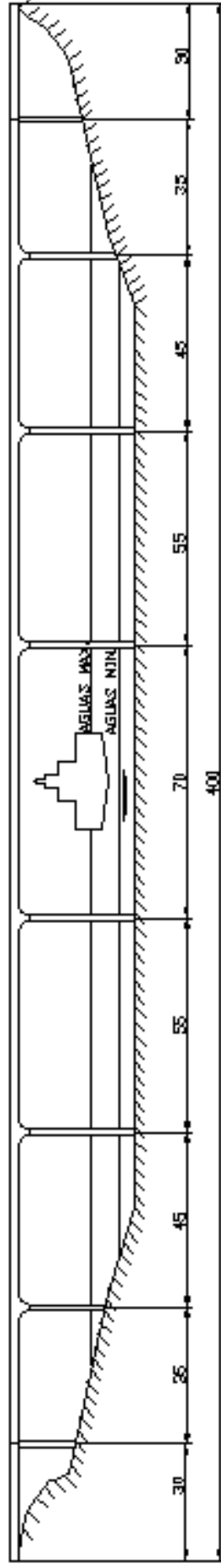


Figura n° 23: Opción n°3: Puente Gerber. Sección Transversal.

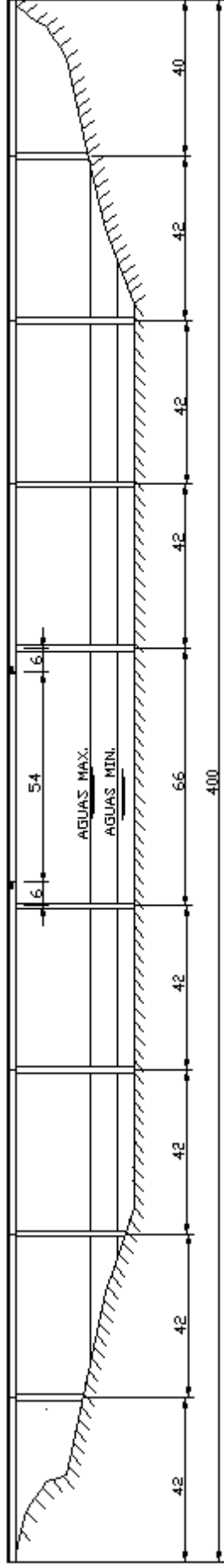


Figura n° 24: Opción n°4: Puente viga continuo. Sección Transversal.

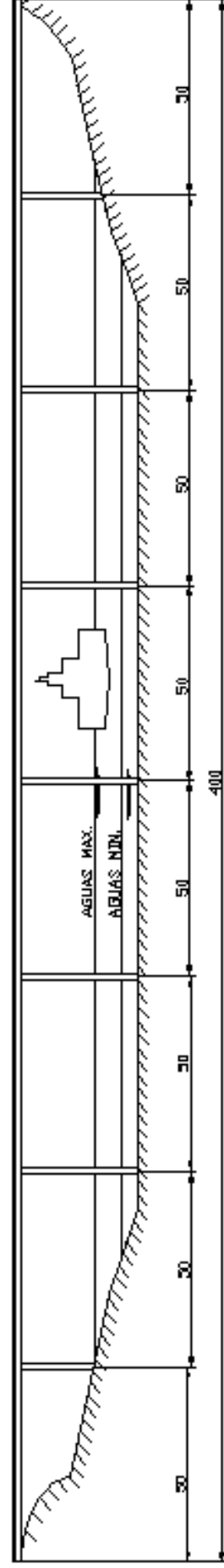
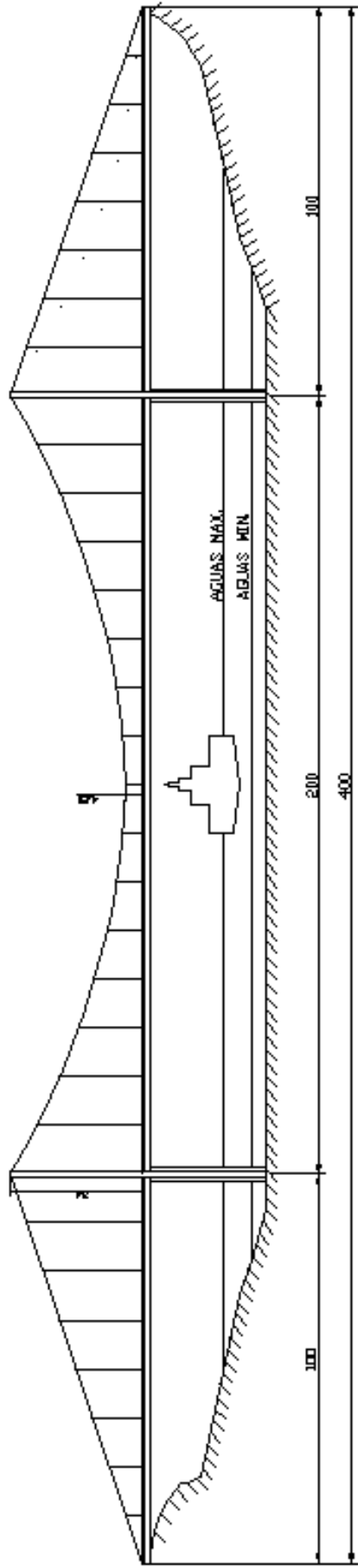


Figura n° 25: Opción n°5: Puente colgante. Sección Transversal.



5 CAPITULO V. DISEÑO DE LA SOLUCIÓN

5.1 Antecedentes y consideraciones

Las condiciones de diseño comprenden datos relacionados con las funciones de la obra deseada por el mandante y con la naturaleza del sitio de emplazamiento, tales como datos de tránsito involucrados, datos de los potenciales materiales de construcción, datos de suelo y agua, datos climáticos y sísmicos, condiciones de acceso, restricciones ambientales etc.

Las capacidades y dimensiones de diseño se rigen por el Manual de Carreteras (MC 2008) y la norma American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO 1996).

El periodo sugerido para la proyección del tráfico vehicular es de 30 años, pero la experiencia sobre el tema recomienda que se utilice un periodo de a lo más 15 años.

En este trabajo se puso énfasis en cálculos relativamente sencillos que permitan chequear ordenes de magnitud y dimensiones principales de los componentes de la construcción. El diseño de la viga metálica se realiza por medio del método de tensiones admisibles de la norma AASHTO, que pone como límite a la tensión de tracción en la fibra extrema de la viga sometido a flexión $0,55F_y$ y a la compresión en la fibra extrema de la viga, cuando el alma comprimida está rigidizada o soportada lateralmente en toda su longitud por el hormigón de la losa: $0,55F_y$.

Tabla 7: Materiales a utilizar

		Equivalente
Hormigón	H-35	
Acero de Refuerzo	A63-42H	
Acero de Vigas	A52-34ES	A572M Gr50
Acero resto elem. Metálicos	A37-24ES	A57M - A7
Recubrimientos		
Elevación y cara sup. Losa	4 cm	
Resto Tablero	2,5 cm	

5.2 Consideraciones geométricas (ver anexos)

5.2.1 Definición de espesores y Largo de Viga

Espesor Losa	$e_{\text{losa}} := 25 \cdot \text{cm}$
Espesor Pavimento (Asfalto)	$e_{\text{pav}} := 6 \cdot \text{cm}$
Largo de Viga	$L_{\text{viga}} := 4000 \cdot \text{cm}$
Largo entre ejes de Apoyo	$L_{\text{ap}} := L_{\text{viga}} - 2 \cdot 0.35\text{m} = 39.3\text{m}$
Espaciamiento entre vigas	$S := 360\text{cm}$
Ancho Ala Superior	$bs := 40 \cdot \text{cm}$
Nº de espaciamentos entre Vigas	$nS := 3$
Nº de Vigas	$n_{\text{vig}} := 4$
Largo voladizo	$L_V := \frac{[B_{\text{tab}} - (nS \cdot S + bs)]}{2} \quad L_V = 190 \cdot \text{cm}$
Ancho Colaborante	$B_{\text{col}} := \min\left(S, 12 \cdot e_{\text{losa}}, \frac{L_{\text{ap}}}{4}\right) = 3\text{m} \quad B_{\text{col}} = 3\text{m}$

5.2.2 Geometría sección Transversal

Ancho de plataforma de camino calle o avenida en los accesos del puente, incluyendo calzada, mediana y berma. $a_p := 10.5 \cdot \text{m}$

se incorporan 3 vías de tráfico de 3.5 m según el MC

Ancho barrera vehicular (Defensa tipo F) $a_{bv} := 0.35 \cdot \text{m}$

Ancho pasillo peatonal >1.0 m $b := 1.7\text{m}$

Ancho baranda peatonal. Baranda liviana $a_{bp} := 0.2\text{m}$

Ancho tablero total $B_{\text{tab}} := a_p + 2 \cdot (a_{bv} + b + a_{bp}) \quad B_{\text{tab}} = 15\text{m}$

5.3 Cargas

5.3.1 Cargas de Diseño

Generalmente, las cargas de diseño de una obra serán agrupadas en cargas verticales, tales como peso propio y carga móvil; cargas horizontales paralelos al eje de la obra y perpendiculares al eje, respectivamente, de frenado, viento y sismo, posiblemente presión de tierra o de corriente de agua etc; deformaciones impuestas, sea por temperatura, retracción o asentamiento; eventualmente algunas cargas excepcionales por impacto de vehículo o nave. Las cargas típicas están comentadas brevemente en lo siguiente.

Se detallan a continuación las cargas utilizadas para el prediseño del puente y también las que no se utilizaron pero deberían incluirse para un diseño definitivo del puente propuesto.

5.3.2 Carga permanente

Se consideran como cargas permanentes el peso propio del pavimento, pasillos, barandas y barreras. Si se considera el sector como zona urbana se deben considerar además los elementos de servicio de utilidad pública tales como los tendidos eléctricos e iluminación, aducciones de agua potables, alcantarillado, telefonía, etc.

Cuando se prevea la presencia de asentamientos diferenciales, se debe considerar como carga permanente los esfuerzos resultantes de ellos.

El peso propio incluye tablero, barreras y barandas, esto es para los tramos laterales.

5.4 Pesos Propios de la Estructura

5.4.1 Pesos Unitarios

Acero	$\gamma_{ac} := 7.85 \frac{\text{tonf}}{\text{m}^3}$
Hormigón Armado	$\gamma_{ha} := 2.5 \frac{\text{tonf}}{\text{m}^3}$
Asfalto	$\gamma_{asf} := 2.2 \frac{\text{tonf}}{\text{m}^3}$
Baranda New Jersey	$\gamma_{baa} := 620 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$
Baranda Liviana	$\gamma_{bl} := 30 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$

5.4.2 Resumen de Dimensiones

		n°	AnchoTotal
Pista	3.5 m c/u	3	10.5 m
Defensa tipo New Jersey	0.35 m c/u	2	0.7 m
Baranda Liviana	0.2 m c/u	2	0.4 m
Pasillo	1.7 m c/u	2	3.4 m

5.4.2.1 *Peso propio del tablero*

Peso Propio Sobrelosa	$PP_{SL} := \gamma_{ha} \cdot e_{losa} \cdot B_{col} = 1.875 \cdot \frac{\text{tonf}}{\text{m}}$
Area Viga	$A_{viga} := 571 \cdot \text{cm}^2$
Peso Propio Viga	$PP_{viga} := \gamma_{ac} \cdot A_{viga} = 0.448 \cdot \frac{\text{tonf}}{\text{m}}$
Peso Propio Pavimento	$PP_{pav} := e_{pav} \cdot \gamma_{asf} \cdot B_{col} = 0.432 \cdot \frac{\text{tonf}}{\text{m}}$
Area Defensa	$A_{def} := 2487 \text{cm}^2$
Peso Propio Defensa	$PP_{def} := 2A_{def} \cdot \frac{\gamma_{ha}}{n_{vig}} = 0.311 \cdot \frac{\text{tonf}}{\text{m}}$
Peso Propio Barrera	$PP_{barr} := 0.015 \cdot \frac{\text{tonf}}{\text{m}}$
Peso Propio Pasillo	$PP_{pas} := .324 \cdot \frac{\text{tonf}}{\text{m}}$

5.5 Cargas Vivas

5.5.1 Cargas móviles vehiculares

Para calcular la sollicitación mas desfavorable se debe obtener el mayor valor entre la carga de faja (Uniform Distributed Load, UDL) o el camión HS 20-44 más 20%, donde la carga de faja se refiere a una carga distribuida equivalente con eje de carga concentrada simulando un congestionamiento vehicular y el camión AASHTO HS 20-44 es un tren de carga que se ubica en la posición más desfavorable desde el punto de vista de esfuerzos: momento y corte.

Tanto el uso del camión HS 20-44, como la carga de faja, deben realizarse en una pista de tránsito de 3,05 m. (10 pies), las cuales deben ser ubicadas en vías de tránsito de 3.66 m. distribuidas en todo el ancho de la calzada de la estructura. No se consideran fracciones de vías de tránsito, sin embargo para calzadas de 6,1 a 7,3 metros se pueden considerar dos vías de diseño, cada una igual a la mitad de la calzada.

5.5.2 Carga móvil peatonal

Para el caso de pasillos se calcula con una carga viva de 415 kg/m².

5.6 Coeficientes de Diseño

5.6.1 Coeficiente de impacto

Las cargas vivas producidas por el camión HS 20-44 o por la carga de faja se deben incrementar por medio del coeficiente de impacto, el cual recoge las consideraciones de los efectos dinámicos, vibratorios y de impacto de un camión que transita por el puente. Las estructuras que deben diseñarse con impacto son la superestructura, pilares y cepas.

El incremento se denomina coeficiente de impacto y se determina por la siguiente ecuación:

$$CI = 1 + \frac{(15.24 \cdot m)}{L_a + 38 \cdot m}$$

Donde “La” es el largo entre ejes de apoyo de la viga.

5.6.2 Coeficiente de reducción

El coeficiente de reducción considera que el puente esté cargado simultáneamente en todas sus vías de circulación por el camión de la norma. Este coeficiente reduce la carga de rueda dependiendo del número de pistas o vías de tránsito a partir de la probabilidad de ocurrencia de dicha simulación.

Para el caso de 3 vías como es el estudio realizado el coeficiente de reducción es 0.9.

5.6.3 Coeficiente de distribución

La distribución de las cargas móviles se hace mediante el coeficiente de distribución, que es un factor que se obtiene de un análisis estructural complejo que trata de interpretar la distribución de la carga de rueda sobre las vigas. Indica con cierta aproximación, cuantas líneas de carga extra debería soportar una viga que tiene a plomo las cargas P, P/2 y P/4. Para obtener valores se debe referir a tablas y procedimientos para su cálculo en la norma AASHTO.

5.6.4 Coeficiente del MOP

Como una disposición interna del departamento de puentes del Ministerio de Obras Públicas de Chile, a partir de 1980 se exige un incremento de las cargas vivas de camión HS 20-44 en un 20%, con el fin de considerar un aumento de las cargas de los camiones que circulan en la actualidad.

5.7 Esfuerzos Térmicos

Se debe tener en cuenta la resistencia ante esfuerzos térmicos. Según la norma los rangos de temperaturas a considerar dependen de la zona de ubicación del puente a diseñar y presenta como referencia aceptada un rango de temperaturas que va desde -15 a 50 °C para estructuras de metal en climas moderados. Las temperaturas máximas que se consideran son de -3.9 a 38 °C.

5.8 Cargas Sísmicas

La estructura debe ser verificada bajo impacto sísmico. Algunos principios básicos son:

- Sismos moderados deben ser resistidos en el rango elástico.
- En los procedimientos de diseño se deben aplicar cargas sísmicas realistas.
- Los desplazamientos basales supuestos deben tener poca probabilidad de ser sobrepasados durante la vida útil de la obra.

- Sismos intensos pero con probabilidad de ocurrencia no deben provocar el colapso de la estructura, es decir, debe quedar utilizable para una campaña de socorro inmediato.

Según la Norma AASHTO de diseño sísmico (AASHTO Seismic Design Code) el grado de análisis y de exigencia sísmica depende de:

1. La aceleración de la base (determinado según mapa oficial de zonas sísmicas o de coeficiente específico o de espectros específicos del lugar)
2. La clasificación de importancia de la estructura.
3. Los criterios de comportamiento al sismo.
4. Efectos del lugar (Tipo de perfil de suelo; características de respuesta de la estructura)

Lo que puede conducir a uno de los tipos de análisis siguientes para determinar las fuerzas elásticas y los desplazamientos:

1. Método de carga uniforme (es decir un método estático de carga equivalente que utiliza una carga horizontal uniforme para aproximar los efectos del sismo).
2. Análisis espectral del modo fundamental.
3. Análisis modal espectral.
4. Integración paso-a-paso (Análisis de time-history).

Las fuerzas elásticas determinadas por el análisis deben ser transformadas en Fuerzas de Diseño Modificadas por aplicación de coeficientes de respuesta indicadas en la Norma. La estructura será verificada bajo las Fuerzas de Diseño Modificadas y además se verifica su cumplimiento a una serie de requerimientos específicos para el sismo.

5.9 Cargas de Viento

Como generalidad en el diseño de puentes en Chile la carga de viento no es considerada debido a que no se construyen puentes de gran altura, y porque presentan buen arriostramiento transversal. Además hay pocas tipologías construidas afectas a este tipo de sollicitación, entre las que se cuentan los puentes colgantes.

Según la AASHTO la carga de viento corresponde a una carga uniformemente distribuida que actúa sobre el área expuesta de losas, vigas, pasillo y barandas. Se aplica longitudinalmente al eje de la estructura, siendo la carga aplicada de viento dependiente de la combinación de carga en la cual esté.

5.10 Diseño de vanos extremos: Viga con losa colaborante

Para el diseño se deben tomar en consideración las siguientes etapas constructivas y de solicitaciones, para las cuales se tendrán diferentes propiedades para la viga o viga mas losa colaborante.

Tabla 8: Estados de carga para diseño de viga metálica

Etapa	Descripción	n	Estado de Carga	Cargas
MONTAJE	Viga sostiene H.A. colocado, no hay colaboración de losa	-	PP	sobrelosa
				Viga y Moldajes
TERMINACION	Viga recibe colaboración de la losa, pero en menor medida.	22,8	PP SIDL	pasillo
				barrera peatonal
				barrera vehicular
				pavimento
SERVICIO U OPERACION	Losa colabora completamente con la viga	7,6	SC	Camión HS 20-44+20%
				ó
				KE + UDL

Cálculo de tensiones superior e inferior para peso propio de viga, peso propio de sobrelosa y Momentos:

$$\sigma_{pv_i} = \frac{Mpv}{\omega_i} \qquad \sigma_{pv_s} = \frac{Mpv}{\omega_s}$$

$$\sigma_{sl_i} = \frac{Msl}{\omega_i} \qquad \sigma_{sl_s} = \frac{Msl}{\omega_s}$$

$$Mpv = \frac{PPviga \times La^2}{8} \qquad Msl = \frac{PPsl \times La^2}{8}$$

Momento debido a Sobrecarga debido a Camión HS 20 – 44 + 20 % MOP.

Se busca la posición de la carga equivalente x .

$$x = \frac{(La - 1.4252)}{2} \rightarrow Msc = \phi \times Pd$$

$$\phi = 2.25 \cdot \frac{x^2}{La} - 0.25 * 4.27$$

Se utiliza el módulo de la sección de la viga con losa colaborante incluida:

$$\sigma(BPB)_{sup} = \frac{M(B+P+B)}{\omega_{sup}(viga+losa)} \quad \sigma(BPB)_{inf} = \frac{M(B+P+B)}{\omega_{inf}(viga+losa)}$$

Para el cálculo de las tensiones en la viga ó viga más losa colaborante se debe utilizar la siguiente relación $\sigma = \frac{M}{w}$ con w el módulo de la sección (ya sea superior o inferior), además varía con cada etapa de sollicitación. Ver tablas nº 88, 89 y 90 de cálculo de viga metálica.

Momento en las tres etapas de sollicitaciones:

Largo entre apoyos

$$L_a := L_{viga} - 2 \cdot 0.35m = 39.3 \cdot m$$

$$q_{pp} := PP_{viga} + PP_{SL} = 2.323 \cdot \frac{\text{tonf}}{m}$$

Momento Peso Propio

$$M_{pp} := q_{pp} \cdot \frac{L_a^2}{8} = 448.5 \cdot \text{tonf} \cdot m$$

$$q_{sidl} := PP_{pav} + PP_{barr} + PP_{def} + PP_{pas} = 1.082 \cdot \frac{\text{tonf}}{m}$$

Momento SIDL

$$M_{SIDL} := q_{sidl} \cdot \frac{L_a^2}{8} = 208.9 \cdot \text{tonf} \cdot \text{m}$$

Momento de SobreCarga

Se debe obtener el momento debido a la carga de momento y a la carga de faja y de cuchillo

Número de vias	$nv := 3$
Coefficiente del MOP	$MOP := 1.2$
Factor de Reducción	$CR := 0.9$
Coefficiente de Impacto	$CI := 1 + \frac{(15.24 \cdot \text{m})}{L_a + 38 \cdot \text{m}} = 1.197$
Carga distribuida uniforme 1 pista	$q_{UDL} := 0.951 \cdot \frac{\text{tonf}}{\text{m}}$

$$\text{Carga de faja por viga} \quad q_{faja} := \frac{(nv \cdot q_{UDL} \cdot MOP \cdot CR \cdot CI)}{nvig} = 0.922 \cdot \frac{\text{tonf}}{\text{m}}$$

$$\text{Momento por carga de faja} \quad M_{faja} := q_{faja} \cdot \frac{L_a^2}{8} = 178 \cdot \text{tonf} \cdot \text{m}$$

$$\text{Corte por carga de faja} \quad Q_{faja} := q_{faja} \cdot \frac{L_a}{2} = 18.1 \cdot \text{tonf}$$

$$\text{Carga de cuchillo para momento} \quad P_{KEm} := 8.145 \text{tonf}$$

$$\text{Carga Puntual de Momento por viga} \quad P_m := \frac{(nv \cdot P_{KEm} \cdot CR \cdot CI)}{nvig} = 6.6 \cdot \text{tonf}$$

$$\text{Momento por carga puntual de momento} \quad M_{Pm} := P_m \cdot \frac{L_a}{4} = 64.7 \cdot \text{tonf} \cdot \text{m}$$

$$\text{Carga de cuchillo para corte} \quad P_{KEv} := 11.778 \text{tonf}$$

$$\text{Corte producido por la carga de corte:} \quad P_v := \frac{(nv \cdot P_{KEv} \cdot CR \cdot CI)}{nvig} = 9.5 \cdot \text{tonf}$$

$$\text{Carga distribuida para acera por viga} \quad q_{acera} := \frac{(b \cdot 300) \text{ kgf}}{nvig \cdot \text{m}^2}$$

$$\text{momento debido a la carga peatonal en acera.} \quad M_{acera} := q_{acera} \cdot \frac{L_a^2}{8} = 27.1 \cdot \text{tonf} \cdot \text{m}$$

$$\text{Momento Sobrecarga UDL+KE} \quad M_{udl} := M_{faja} + M_{Pm} + M_{acera} = 269.8 \cdot \text{tonf} \cdot \text{m}$$

$$\text{Corte Sobrecarga UDL + KE} \quad Q_{sc} := Q_{faja} + P_v = 27.638 \cdot \text{tonf}$$

Rueda de Diseño

$$Pr := 7.258 \text{ tonf}$$

espaciamiento entre las vigas

$$S := 3.6 \text{ m}$$

Coeficiente de distribución

$$CD := \frac{S}{1.676 \text{ m}} = 2.148$$

Rueda de diseño:

$$Prd := Pr \cdot CD \cdot CI \cdot MOP = 22.4 \cdot \text{tonf}$$

$$X := \frac{(L_a - 1.4252 \cdot \text{m})}{2} = 18.9 \text{ m}$$

$$\phi := 2.25 \cdot \frac{X^2}{L_a} - 0.25 \cdot 4.27 \cdot \text{m} = 19.5 \text{ m}$$

Momento de Sobrecarga por Camión:

$$M_{SC} := \phi \cdot Prd = 436 \cdot \text{tonf} \cdot \text{m}$$

Se obtiene que: $M_{SC} > M_{udl}$ por lo tanto esta carga se utilizará para el diseño.**Tabla 9:** Tensiones Finales en viga con losa colaborante. Ver figura n° 44 en Anexo

Tensiones Finales		
Tension sup. PPViga	313	kgf/cm ²
Tension inf. PPViga	188	kgf/cm ²
Tension sup. PPSobrelosa	1229	kgf/cm ²
Tension inf. PPSobrelosa	739	kgf/cm ²
Tension sup. PP(B+P+B)	153	kgf/cm ²
Tension inf. PP(B+P+B)	246	kgf/cm ²
Tension sup. SC	160	kgf/cm ²
Tension inf. SC	644	kgf/cm ²
<hr/>		
Tension sup. pp (viga+losa)	1542	kgf/cm ²
Tension inf. pp (viga+losa)	927	kgf/cm ²
Tensión sup. equipamento	153	kgf/cm ²
Tension inf. equipamento	246	kgf/cm ²
Tensión sup. sobrecarga	160	kgf/cm ²
Tension inf. sobrecarga	644	kgf/cm ²
<hr/>		
S total superior	1855	kgf/cm ²
S total inferior	1816	kgf/cm ²
<hr/>		
Tensiones Admisibles	1870	kgf/cm ²

Tabla 10: Tensiones en el hormigón y en acero en el borde exterior del ala superior

Tensiones en parte Superior Viga compuesta (H.A.)		
n*(S h.a.)		
S acero (n=23)	213	kgf/cm ²
S acero (n=7,6)	261	kgf/cm ²
S h.a. (n=23)	9	kgf/cm ²
S h.a. (n=7,6)	33	kgf/cm ²

5.11 Diseño de Pilotes

Se debe realizar una exploración geotécnica la cual se puede hacer por medio de una prospección o sondaje que deben llegar unos 7 u 8 metros bajo el sello de fundación previo al diseño de las cepas y pilotes (Volumen 3 Manual de Carreteras), para modelar y posteriormente calcular de buena forma la capacidad resistente del suelo y de los pilotes y no tener problemas de asentamiento, socavación ni fisuraciones en las pilas.

Pensando en la dificultad de realizar ensayos en el lecho del río, se puede realizar una exploración en primera instancia con sondajes a cada lado del río incluso dependiendo de la variación de estos perfiles se puede o no realizar un sondaje exactamente en el emplazamiento de la cepa. Esto es lo que se debería hacer y para eso es necesario montar una plataforma marítima donde se pueda colocar la maquinaria necesaria para hacer los ensayos

Los parámetros más importantes a determinar son: el ángulo de fricción del suelo, su cohesión, para así determinar la capacidad de soporte del suelo. Además por el lado estructural se deben encontrar el módulo de deformación y la constante de rigidez del suelo, para calibrar los resortes utilizados en la modelación del suelo y de los pilotes. Generalmente los ensayos utilizados son los triaxiales, pruebas de carga y de consolidación del suelo. Con esto se puede asegurar la capacidad de soporte del suelo, que no existan consolidaciones o que se tomen las medidas frente a un suelo de baja capacidad estructural o afecto a asentamientos.

También se debe tomar en cuenta las consideraciones del tipo hidráulico, que da los parámetros, primero de la socavación global de todo el lecho y luego de la socavación de los

pilotes. El ingeniero estructural debe seguir las consideraciones del Manual de Carreteras que toma en cuenta un riesgo de socavación sísmica.

Estos ensayos son sumamente importantes, ya que la calidad del suelo puede definir incluso la zona de emplazamiento si es que los otros factores no son muy diferentes.

Una información preliminar de los suelos en la zona del canal de Tenglo es la siguiente:

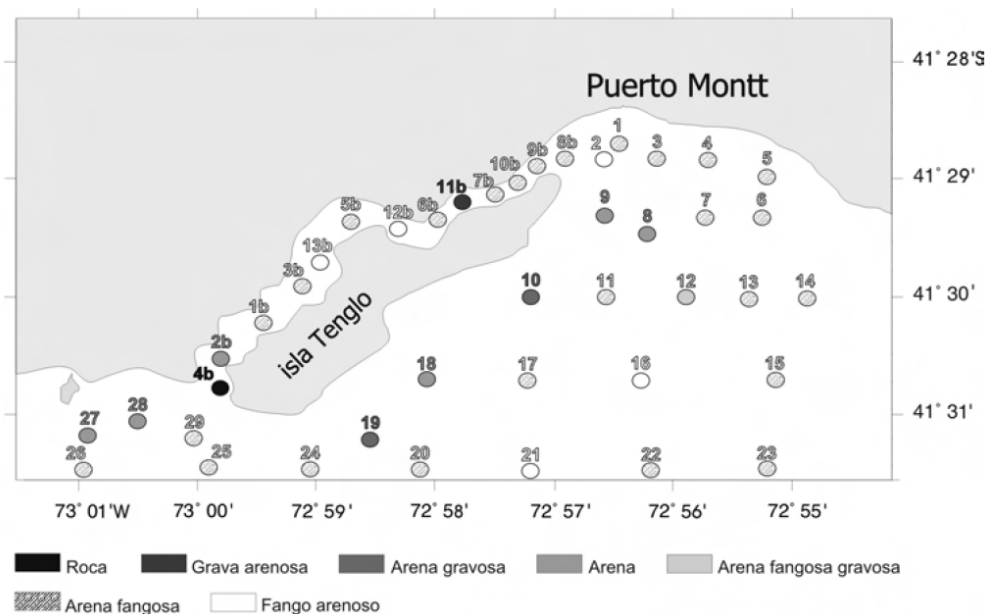


Figura n° 26: Estaciones de muestreo de sedimentos y tipificación según la clasificación textural the Folk *et al.* (1970).

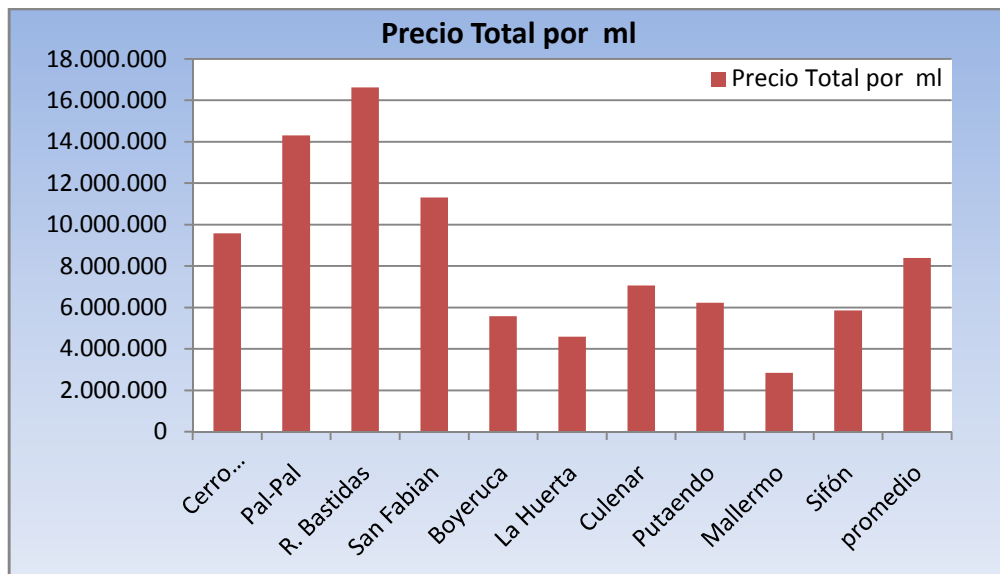
Preliminarmente se utilizan pilotes de 20 m. de largo con diámetro 1,5 [m]. En la figura n° 39 y 40 se muestra un prediseño de la sección longitudinal y transversal del puente escogido como solución.

5.12 Costos de Inversión

Para obtener un monto de inversión aproximado, se realizó una estimación con algunos de los puentes construidos entre el año 2004 y 2008 en Chile. Con esto se puede visualizar un costo promedio para puentes de diseños y luces similares. Principalmente el diseño de estos puentes es con vigas metálicas en tramos isostáticos o con vigas de hormigón armado pre o postensadas; sin embargo, el puente en su tramo central principal presenta una solución atípica.

En los siguientes gráficos se muestran dos indicadores; el primer indicador utilizado es el costo del puente por metro lineal de éste. Se consideraron los precios totales, es decir, los que incluyen además del costo de infraestructura y superestructura, el costo de los accesos y otros costos, como son los costos de mitigación, costos de estructuras conexas, drenaje y protección de plataforma, elementos de control y seguridad, etc...

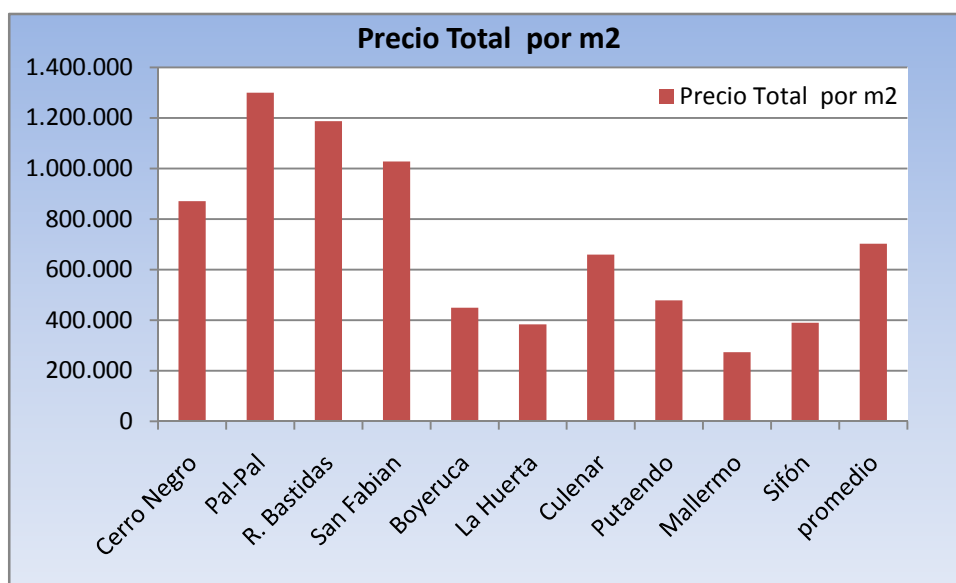
El indicador para este gráfico es el siguiente: $i1 = \frac{\text{Precio Total en pesos}}{\text{metro lineal construido}}$



Para estimar de mejor manera el costo promedio de un puente se establece el mismo indicador, pero esta vez por metro cuadrado construido, pues así se eliminan las diferencias en el número de pistas (ancho total) de los diferentes puentes, ya que por ejemplo la mayoría de estos

puentes tienen entre 10 y 12 [m] de ancho total y el puente propuesto en este informe tiene 15 [m].

El indicador usado en el siguiente gráfico fue el siguiente: $i2 = \frac{\text{Precio Total en pesos}}{\text{metro cuadrado construido}}$ para realizar una aproximación mejor se debe tener un catastro más amplio y separar los puentes por tipo o por algún otro parámetro de relevancia, como podría ser la altura del puente, que influye directamente en los costos ó el número de cepas.



NOTA: Las dimensiones de los puentes y su valor final ha sido obtenido de los presupuestos finales de cada uno de ellos y han sido reajustados de acuerdo al IPC en valores de Noviembre del 2008.

Por lo tanto para el puente Tenglo de 400 [ml] y 6000 [m²], con costo promedio de 750.000 [\$/m²] (2do gráfico) se alcanza un costo aproximado de 4.500 MM \$ y para un costo promedio de 8.200.000 [\$/ml] (1er gráfico) cuesta aproximadamente 3.280 MM \$.

Si incluimos la experiencia del Departamento de Puentes, los costos del puente Tenglo propuestos se asemejan más a los puentes Rodrigo de Bastidas y Pal-Pal, donde se pueden estimar lo siguiente:

Tabla 11: Estimación de precios utilizando puentes Rodrigo de Bastidas y Pal-Pal.

Precio	Costo
[\$/ml]	[MM \$]
15.467.794	6.187
[\$/m2]	[MM \$]
1.244.186	7.465

Estos valores son mayores que los del promedio, pero más realistas, siendo el valor más ajustado el de 7.465 [MM \$].

6 CAPITULO VI. IDENTIFICACIÓN DE COSTOS Y BENEFICIOS

6.1 Evaluación Económica

La metodología que utiliza el Ministerio de Planificación (MIDEPLAN) y la Secretaría de Transportes (SECTRA) para realizar evaluación de proyectos de vialidad urbana es el Manual de Diseño y Evaluación de proyectos de Vialidad Urbana (MESPIVU). En resumen es la siguiente:

6.1.1 Metodología de Evaluación Social basada en el MESPIVU

El método de evaluación utilizado para analizar los beneficios sociales de las inversiones consideradas en el estudio, se basa en la cuantificación de ahorros en consumos de recursos sociales. En este caso, si los recursos sociales consumidos en cada alternativa de proyecto (incluida la inversión) son menores que los recursos consumidos cuando el sistema opera bajo las condiciones de la situación base, entonces su materialización se justifica desde el punto de vista social. La cuantificación de recursos, incluye los siguientes tópicos:

- Costos de Operación de los vehículos en la situación base (CO_b).
- Costos de Operación de los vehículos en la situación con proyecto (CO_p).
- Costos de tiempo de viaje de los usuarios en la situación base (CT_b).
- Costos de tiempo de viaje de los usuarios en la situación con proyecto (CT_p).
- Costo de Mantenimiento (CM).
- Costo de Inversión del proyecto (I).

Los costos de operación y de tiempo son calculados a partir de los resultados de la *modelación de transporte*. Dichos costos se materializan en cada uno de los años de vida útil del proyecto.

6.1.2 Estudios de modelación de Transporte

La metodología a utilizar para el desarrollo del estudio de transporte está basada en la “Metodología simplificada de Análisis del Sistema de Transporte en ciudades de tamaño Medio” desarrollada por la SECTRA en el año 1997. Esta metodología se basa principalmente en la utilización del Modelo Clásico de Transporte denominado “Secuencial de Cuatro Etapas”. En la Figura n° 27 se muestra un diagrama con las componentes que conforman dicho modelo.

El modelo de Generación determina los viajes producidos y los viajes atraídos por cada una de las zonas de análisis del estudio, es decir, responde la pregunta ¿cuántos viajes se producen?. El modelo de Distribución construye una matriz con los viajes entre los pares origen-destino de zonas, es decir, responde la pregunta ¿desde y hacia donde se dirigen los viajes?. El modelo de Partición Modal separa los viajes entre los distintos modos de transporte disponible, por lo que responde qué modo de transporte utilizan. Por último, las matrices por modo son asignadas a las redes de transporte correspondiente, obteniéndose de esta manera cuáles son las rutas de los viajes y de ese modo se tiene como resultado los flujos por arcos.

La aplicación de la metodología referida lleva a la realización de diversas actividades que se pueden agrupar en tres. Estas son: recolección de información, construcción y calibración del modelo de transporte y aplicación de éste.

La primera de estas actividades es de vital importancia, ya que se debe disponer de información actualizada y confiable respecto a las características de los desplazamientos urbanos de la ciudad: características de los viajes, de las personas que los realizan y de los hogares a que pertenecen dichas personas. Esta información permite caracterizar la demanda efectiva y calibrar los distintos submodelos de demanda incluidos en el Modelo Clásico. La caracterización de los viajes se realiza para un día laboral típico, es decir, se trata de establecer tasas de generación de viajes (de acuerdo a alguna estratificación adecuada al objetivo general del estudio), y estimar matrices origen-destino por modo de transporte, propósito y período, para la situación promedio de un día laboral.

Para la segunda de ellas, se requiere tanto de un análisis de la oferta de infraestructura como la identificación y cuantificación de los niveles de servicio ofrecidos por los distintos modos de transporte disponibles para los usuarios. Luego, es necesario calibrar las redes de transporte privado (auto) y de transporte público (buses y taxis colectivos).

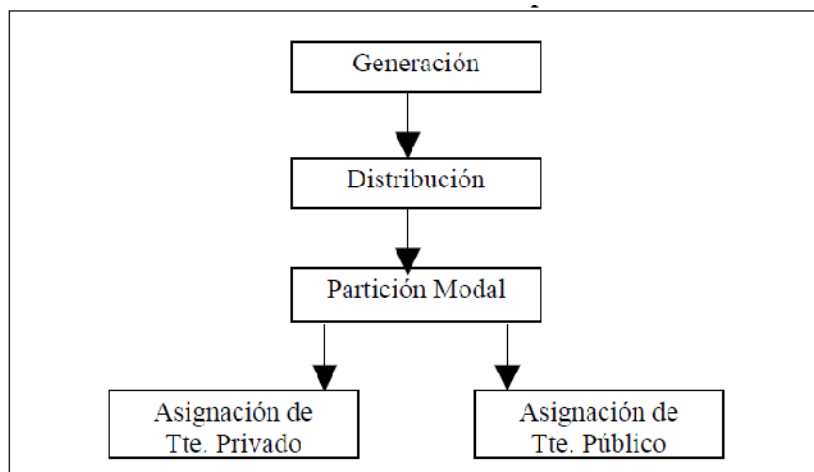


Figura n° 27: Modelo secuencial de Transporte.

Una vez construido y calibrado el modelo de transporte se aplica a un plan de inversiones y escenario urbano, obtenido fundamentalmente de estudios anteriores y correcciones a partir de antecedentes recolectados al momento de realizar el estudio.

Cabe destacar que el Escenario urbano no se realiza por un comité de uso de suelo y sólo puede ser interpretado como referencial.

Si se aplicase lo anteriormente descrito para realizar una evaluación económica sobre la construcción del Puente Tenglo, con algunas simplificaciones, se puede plantear la siguiente metodología:

6.1.3 Metodología

Se trabaja en base a un supuesto, el cual crea un escenario posible de urbanización de isla Tenglo a 20 años, este poblamiento se produce por el curso natural del tiempo donde el único medio de transporte serán las barcazas o transbordadores más la vialidad que se construya al interior de la isla.

El proyecto se define como la construcción del puente Tenglo, el cual tiene una inversión definida, y la determinación de los beneficios sólo considera ahorros en el tiempo de viaje y no ahorros de combustible o costos de operación (se puede considerar un ahorro por costos de operación de los transbordadores ya que estos dejarían de funcionar, pero para considerarlos se debe realizar una estimación del consumo y o rendimiento de estas máquinas), los cuales serían prácticamente los mismos en todo el trayecto.

6.1.3.1 Situación Base

Corresponde a la caracterización de los escenarios tendenciales (sin proyecto) tanto para el sistema de conexión de la isla con el continente, como el desarrollo urbano al interior de la isla para diferentes años futuros (2015, 2020, 2025, etc).

6.1.3.2 Situación con Proyecto

Isla Tenglo presenta el mismo desarrollo urbano que en la situación base, pero cambia la forma de traslado desde la Isla hacia Puerto Montt, pues se cambian los transbordadores por el Puente Tenglo. A ello se suma un aumento del 10% (que es un supuesto), de los flujos de tránsito que en la situación base, debido a las externalidades positivas que pudiese provocar el puente (por ejemplo aumento de viajes debido a una nueva atracción turística).

6.1.3.3 Beneficio por ahorro de tiempo de viaje

Se calcula mediante la diferencia en el tiempo de viaje que se produce al cambiar desde la situación base a la situación con proyecto.

Tiempo de viaje de los usuarios en la situación base: T_b
 Tiempo de viaje de los usuarios en la situación con proyecto: T_p
 Diferencia de tiempo de viaje entre las dos situaciones: $\Delta T = T_b - T_p$

El valor del tiempo de viaje es entregado por el documento “Precios sociales para la evaluación de proyectos de MIDEPLAN para el año 2009”:

Valor del tiempo de viaje en zonas urbanas para todo vehículo: $VT = 771 \left[\frac{\$}{\text{Hora} * \text{Pas}} \right]$

Beneficio por ahorro de tiempo de viaje: $BTv = \Delta T * VT * \text{Pasajeros}$

El número de pasajeros se calcula considerando las tasas de ocupación promedio observadas en la ruta Puerto Montt – Pargua, tanto para transporte privado, como para transporte público.

Las tasas de generación y atracción de viajes se obtienen del informe ejecutivo STU Puerto Montt para todos los modos y para todos los propósitos. Y así bajo los siguientes supuestos, donde se puede incluir un desglose por m^2 construidos de zonas de servicio y de equipamiento.

Tabla 12: Ejemplo de tabla proyección de metros cuadrados construidos por zonas de servicio y equipamiento.

Año	M2 construidos para uso residencial por estrato social			M2 construidos para uso no residencial por tipo		
	Bajo	Medio	Alto	Cultura	Educación	Comercio
2015						
2020						
2025						
2030						

Para así realizar una estimación de flujos por periodo para cada año

Tabla 13: Ejemplo de tabla de estimación de flujos por año

Estimación de flujos para año 2015		
Periodo	Flujo Ida	Flujo Regreso
	[Veh/Hr]	[Veh/Hr]
Punta Mañana		
Fuera de Punta		
Punta Mediodía		

Tabla 14: Ejemplo de tabla de estimación de flujos por año

Estimación de flujos para año 2020		
Periodo	Flujo Ida	Flujo Regreso
	[Veh/Hr]	[Veh/Hr]
Punta Mañana		
Fuera de Punta		
Punta Mediodía		

Y en base a esto obtener los flujos monetarios anuales con los beneficios de los viajes generados y atraídos estimados y dada una inversión inicial conocida, se pueden obtener indicadores de decisión como son el VAN y la TIR.

También existe otra metodología que se basa en los beneficios del productor, donde se calcula la plusvalía de los terrenos con y sin proyecto, es decir, con la construcción del nuevo puente se puede calcular cuánto suben los terrenos, lo que beneficiaría directamente al dueño de los terrenos, pero esta metodología de evaluación de proyectos no se ha incluido en este estudio.

6.2 Planteamiento de una nueva Metodología

A continuación se plantea y desarrolla una nueva forma de realizar una evaluación social de proyectos para un caso específico, el cual compara los beneficios de realizar un proyecto urbano en 3 zonas potenciales de ser urbanizadas. Esto está basado en el supuesto que los proyectos de urbanización ya están construidos y en el caso de Isla Tenglo que el puente Tenglo también lo está.

6.2.1 Metodología Utilizada en el presente estudio.

La metodología usada no considera para la evaluación una situación base y una situación con proyecto a comparar, sino que se plantean como situación a futuro tres escenarios supuestos, en donde los primeros dos escenarios suponen el desarrollo urbano de zonas regidos por el PRC-PM 2008 y el tercer escenario supone el poblamiento de isla Tenglo y el puente Tenglo ya construido.

Estas tres situaciones se compararon en términos de beneficios por de ahorro de costos de cada alternativa con respecto a otra, es decir, de realizar un proyecto de urbanización en alguna de estas tres zonas se desea responder la pregunta ¿Cuál es la mejor opción en término de ahorro de costos de transporte al centro de la ciudad?

Los beneficios se obtendrán de acuerdo a ahorros en costos de operación, tiempo de viaje y mantención, los cuales son los costos que se toman en cuenta para la *evaluación social* de estos proyectos; pero a diferencia de la metodología vista anteriormente estos costos se estimaron manualmente, es decir, sin una modelación de transporte. La modelación de costos se realizó manualmente mediante el MESPIVU.

6.2.2 Zonas Potencialmente Urbanizables según PRC-PM anterior al 2008

Se compararon tres alternativas para la urbanización de zonas actualmente deshabitadas y potencialmente urbanizables, es decir, aptas para la construcción de soluciones habitacionales como pueden ser la construcción de nuevos barrios residenciales. Este estudio se ha realizado de acuerdo al Plan Regulador Comunal de Puerto Montt (PRC-PM) del año 2008 que se compone de la Ordenanza Local y del Plano Regulador, y en base al estudio: Análisis de tendencias de Localización, Etapa 1. Caso: Sistema Urbano Puerto Montt-Ciudad Alerce-Puerto Varas (Ministerio de Vivienda y urbanismo) realizado el año 2005 en base al PRC-PM anterior al actual y por último al documento: Diagnóstico del Sistema de Transporte Urbano de la Ciudad de Puerto Montt, I Etapa que se realizó en base a las estadísticas del año 1998.

NOTA: El PRC por definición sólo norma al sector urbano, no así al sector rural, que queda fuera del PRC. De acuerdo al estudio de tendencias de crecimiento mencionado anteriormente se definen los siguientes sectores con sus respectivas superficies posibles de urbanizar dentro del límite establecido por el PRC-PM anterior al actual:

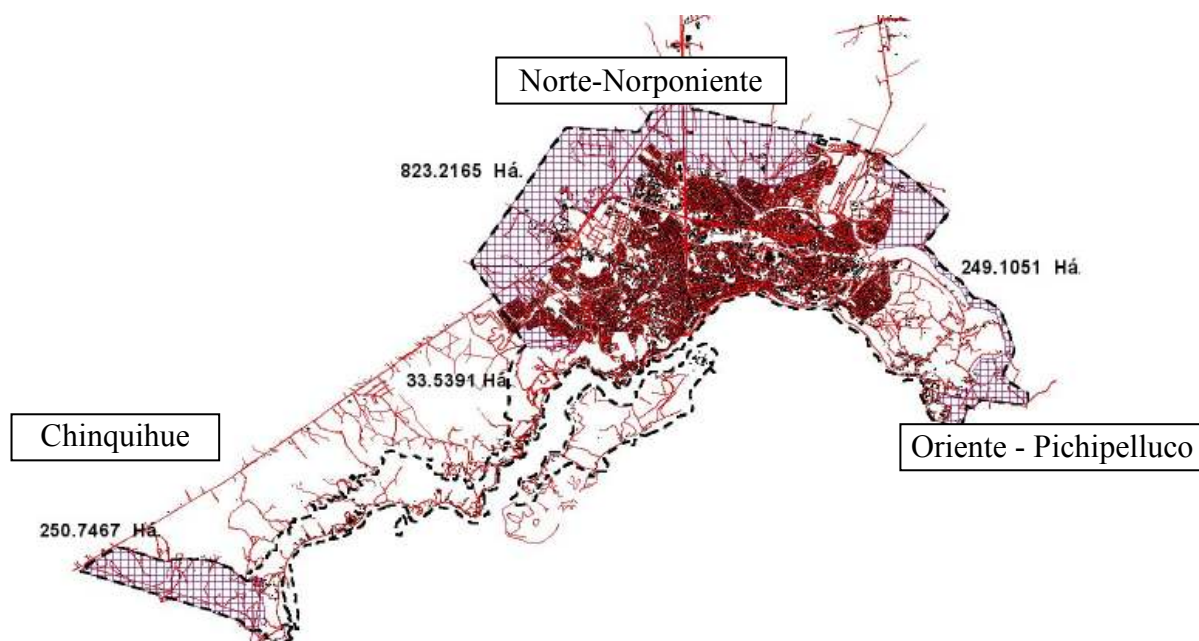


Figura n° 28: Zonas potenciales para poblar. Estudio Plan Regulador Comunal, Ilustre Municipalidad de Puerto Montt.

Esta clasificación de zonas se revisó y se volvió a clasificar de acuerdo al PRC-PM del año 2008, incluso se puede apreciar que Isla Tenglo no estaba incluida en su totalidad como zona urbana, sino que presentaba una parte como zona rural, a diferencia del PRC actual donde isla Tenglo es considerada como territorio urbano en su totalidad. A continuación se describen las 3 zonas estudiadas, cada una de ellas contiene distintos sub zonas, de acuerdo al PRC actual, y por lo tanto diferentes usos de suelos, que es la característica principal para este estudio, ya que define directamente la densidad máxima de habitantes por hectárea con la cual se realiza la aproximación del total de habitantes por zona. Esta densidad máxima estimada por el plan regulador es la máxima cantidad de habitantes que podría llegar a albergar cada zona en particular, esta situación podría producirse en unos 5 años o en 50 años, dependiendo del crecimiento de la ciudad, por lo tanto no es conveniente trabajar con las densidades máximas para ver las capacidades totales, sino hacer una estimación en un horizonte de mediano a corto plazo como pueden ser unos 15 a 20 años a partir del año 2009.

Las zonas de Chiquihue Alto y Oriente- Pichipelluco se descartan del análisis, ya que al comparar con las otras alternativas, como se verá a continuación, los costos de operación y por consumo de tiempo de viaje de los usuarios son mucho mayores debido a la distancia considerable que existe entre estas zonas y el sector céntrico de Puerto Montt en comparación con las otras zonas estudiadas.

6.2.2.1 DESCRIPCION DE ZONAS

A continuación se describen las tres zonas a estudiar en base a las sub zonas entregadas por el PRC-PM actual (2008) y la distancia promedio entre el centro de esta zona hasta la Plaza de Armas de Puerto Montt ubicada en la zona central de Puerto Montt.

6.2.2.1.1 Zona 1: sector Nor-Poniente

La mayor parte de ésta zona está compuesta por la zona residencial 2C (R2C) y la zona de equipamiento metropolitano (ZEM) las cuales tienen densidades poblacionales altas, por lo tanto presenta la mayor proyección de habitantes dentro de las tres opciones.

Uno de las rutas probables a utilizar para llegar hasta el centro de Puerto Montt está compuesto por los siguientes tramos de calles: Camino el Tepual – Avenida Cardonal – Avenida Presidente Ibañez – Calle Circunvalación – Pasaje 1- Avenida Presidente Salvador Allende (ex calle Petorca) – Urmeneta. Que tiene una longitud aproximada de 7,0 [Km]. La otra Ruta posible es la siguiente: Camino el Tepual – Avenida Cardonal – Las Quemadas – Los Sauces - Avenida Crucero –Vicente Perez Rosales – Urmeneta. Que mide aproximadamente 6,89 [Km].

6.2.2.1.2 Zona 2: sector Nor- Oriente.

Compuesto principalmente por la zona residencial 2B (R2B) y con una superficie muy parecida a la de isla Tenglo. El camino está conformado por las siguientes calles: Sargento Silva - Chin chin chico - Cuesta Santa Teresa – Padre Hurter – Guillermo Gallardo – Urmeneta – Plaza Central. Con un largo total del camino de 4,14 [KM].

6.2.2.1.3 Zona 3: Isla Tenglo:

Compuesta principalmente por las zonas residenciales existentes (RE-3 y RE-4) y por las zonas de interés turístico (ZOIT 1,2 y 3) en donde el PRC define el uso de suelos de la ZOIT 3 solamente como equipamiento, es decir, usos de suelo del tipo: científico, comercial, deporte, educación, culto y cultural, servicios y social por lo tanto en esta zona el PRC no prevee población alguna. Puente Tenglo – Avenida Pacheco Altamirano – Avenida Angelmó – Avenida Diego Portales - Avenida Libertador Bernardo O’Higgins- Urmeneta. Con un largo aproximado de 4,9 [Km].



Figura n° 29: Zonas para evaluación económica y Distancia zona 3 a zona centro de Puerto Montt.

Debido a que en el estudio: “Diagnóstico del Sistema de Transporte Urbano de la Ciudad de Puerto Montt, I Etapa” no se desglosan los porcentajes de participación modal para los tres periodos más importantes, sino que sólo para dos de ellos, se omite el flujo que se produciría en el horario: Punta Mediodía para los proyectos en las tres zonas antes mencionadas. A continuación se muestra una tabla con la periodización de horarios utilizada. En este estudio sólo se incluyen los periodos Punta Mañana y periodo Fuera de Punta.

Tabla 15: Periodización de horarios.

Periodización		
Periodo	Horas	Extensión [Hrs]
Punta Mañana	07:30 - 09:15	1.75
Fuera de Punta	09:30-12:45	5.75
	15:15 - 17:45	
Punta Mediodia	13:00 - 15:00	2
Punta Tarde	18:00 - 20:00	2
Resto	20:00 - 7:30	12.5
	09:15 - 09:30	
	12:45 - 13:00	
	15:00 - 15:15	
	17:45 - 18:00	

A raíz de no encontrarse los datos suficientes para todos los modos de transporte, se realizará una simplificación, tomando solamente los modos más importantes para este estudio: Auto (para simplificar la modelación se suman los modos: auto chofer y auto acompañante, que difieren en si el chofer realiza el viaje solo o acompañado), Bus y Taxi colectivo. Se considera adecuada esta simplificación para la modelación ya que son estos los modos más usados en general y representan, para ambos periodos, un porcentaje cercano a un 60 % con respecto al total de viajes realizados.

NOTA: Los viajes por caminata también representan un porcentaje alto de participación modal, pero para efectos de este estudio, donde se movilizan las personas desde el centro de cada sector hasta el centro de la ciudad de Puerto Montt, no se espera que este modo de transporte sea muy

activo.

La tabla siguiente muestra los datos que se utilizaron para realizar la simplificación de modos de transporte, obtenidos de una modelación actual de la ciudad de Puerto Montt:

Tabla 16: Porcentaje de participación modal por periodo.

% de Partición Modal por Periodo		
MODO	Punta Mañana	Fuera de Punta
Auto	38,5%	27,1%
Taxi Colectivo	18,1%	23,5%
Bus	9,1%	9,1%
Total	65,7%	59,7%

6.2.3 Estimación de la Población Máxima por Zona

Cada una de las tres zonas definidas anteriormente está conformada por diferentes sub zonas definidas en el PRC-PM 2008, de las cuales las más influyentes dentro de cada uno de estos sectores se nombran y se analizan según su uso de suelo permitido y según su densidad máxima de habitantes junto con la superficie estimada para obtener así la máxima cantidad de habitantes que puede recibir cada zona, ya que son zonas potenciales para su poblamiento (ver tabla n° 20).

Junto con esto, se ha trazado una ruta, para cada zona, que va desde el centro de cada zona hasta el centro de la ciudad de Puerto Montt, tomando como lugar de referencia para el centro, la Plaza de Armas de la ciudad. Con esta ruta se estima una distancia aproximada que deberá recorrer cada vehículo al dirigirse desde una zona en particular hacia la zona con mayor tasa de atracción de viajes de Puerto Montt, la zona céntrica. También así se puede decir, que cuando se genere o se atraiga un viaje desde esta zona hacia cualquier otra zona (en aproximación) se recorrerá una distancia similar en longitud a ésta, en promedio, entre las zonas más cercanas y lejanas a la zona céntrica de Puerto Montt

6.2.4 Estimación de Costos para Cada Alternativa

En todo proyecto vial, para realizar una evaluación económica, se deben tomar en consideración los costos de construcción y conservación del proyecto y los costos de operación de los vehículos. Los costos que se incluyen en este estudio son debido a los siguientes ítemes:

1. Consumo de tiempo de viaje de los usuarios
2. Consumo de combustible
3. Consumo de lubricantes
4. Consumo de neumáticos
5. Mantenimiento del vehículo

La metodología utilizada por SECTRA utiliza los beneficios económicos producto del ahorro de recursos asociados al desplazamiento de vehículos los cuales se obtienen directamente de los resultados de la modelación de tránsito comparando cada alternativa con la situación de referencia. Los recursos que se consideran son: Tiempo de usuarios (viajeros), combustibles y otros recursos de operación de vehículos como son consumo de lubricantes, neumáticos y mantención. La estimación del total de beneficios anuales depende del número de horas al año que representa cada uno de los periodos simulados, situación que se trata separadamente según el tipo de proyecto; en los párrafos siguientes aparecen expresiones para hacer la estimación. Ellas están adaptadas a los resultados que entrega el programa de modelación de transporte TRANSYT y el MESPIVU especifica que cuando se utilicen otros programas se deben utilizar métodos equivalentes.

6.2.5 COSTOS DE TIEMPO DE LOS USUARIOS

1.- Costo de Tiempo de Viaje de los Usuarios.

Los beneficios de tiempo de viaje se derivan de calcular los consumos totales de tiempo de los usuarios en cada situación. Estos se calculan sobre una base anual agregando las semanas tipo en que se divide el año:

$$CTA = \sum_{n=1}^{NS} \sum_{i=1}^{NPm} CTim$$

Donde CTim es el consumo de tiempo en el periodo i(i=1, ..., NPm) de la semana tipo m (m=1, ..., NS) y su expresión para cada tipo es:

$$CTi = FEi \sum_{j=1}^{NV} (VTj) \times \sum_{k \in NAj} q_{ijk} \cdot TVik \cdot TOijk$$

En que:

FEi = Factor de expansión anual del periodo i [hr/año];

Qijk = flujo de vehículos tipo j (j= 1 ... NV) en el arco k durante el periodo i [veh/ hr]

TOijk = idem para la tasa de ocupación [pax/veh]

TVik = tiempo medio de viaje (agregando si es preciso la demora geométrica) para los vehículos en el arco k en el periodo simulado i. Resulta de dividir, en la salida del programa, el tiempo total en el arco por su flujo [hrs]

NAj = Conjunto de arcos de la red en que hay vehículos del tipo j.

VTj = Precio social del tiempo para los usuarios de vehículos tipo j [\$/pax-hr]

Se han utilizado los siguientes factores de expansión los cuales se utilizan para obtener costos en términos anuales cambiando las unidades de los periodos desde hora a año.

Tabla 17: Factores de expansión.

Factor de Expansión (FE)		
PERIODO PUNTA MAÑANA	559	[hr/año]
PERIODO FUERA DE PUNTA	3913	[hr/año]

Para el cálculo de la tasa de ocupación, se tomaron los siguientes datos registrados y se realizó un promedio con tres mediciones realizadas, dos de ellas en la costanera y la otra en una calle céntrica de la ciudad.

Tabla 18: Tasas de ocupación medidas en calles de Puerto Montt en 1998. En pasajeros por vehículo

	Tasa de Ocupación								
	Costanera poniente a oriente			Costanera oriente a poniente			Benavente		
	Punta Mañana	Fuera de Punta	Punta medio día	Punta Mañana	Fuera de Punta	Punta mediodía	Punta Mañana	Fuera de Punta	Punta mediodía
Taxi colectivo	0,65	0,38	0,52	0,33	0,36	0,31	0,74	1,25	2,62
Bus	28,73	14,8	13,25	16,48	16,29	12,4	12,4	13,37	20,77

Tabla 19: Promedio de tasas de Ocupación.

	Promedio para los periodos			Desviación Estándar de los promedios		
	Punta Mañana	Fuera de Punta	Punta mediodía	Punta Mañana	Fuera de Punta	Punta mediodía
Taxi colectivo	0,57	0,66	1,15	0,2	0,5	1,3
Bus	19,20	14,82	15,47	8,5	1,5	4,6

6.2.6 COSTOS DE OPERACIÓN

1. Consumo de Combustible

Los consumos anuales de combustible en cada situación y corte temporal resultan también de la agregación de su valor para cada semana tipo considerada:

$$CCA = \sum_{n=1}^{NS} \sum_{i=1}^{NPm} CCim$$

Donde CC es el consumo de combustible y las demás variables han sido definidas en el párrafo anterior. Para computar CC en un periodo \$/año:

$$CCi = FEi \sum_{j=1}^{NV} (VCij \times \sum_{k \in NAj} q_{ijk} \cdot [L_k c_{mj}(v_{ik}) + h_{ik} c_{dj}(v_{ik}) + d_{ik} c_{rj}])$$

En que:

L_k = Longitud del arco k [km].

h_{ik} = número de detenciones por vehículo en el arco k y periodo i

C_{mj} = consumo unitario en movimiento de los vehículos tipo j, función de la velocidad [lt /veh-km].

cd_{ij} = Consumo en exceso por una detención de un vehículo tipo j , función de la velocidad [lt].

VC_{ij} = Precio social del combustible [\$/lt].

Para el consumo de combustible se han hecho las siguientes consideraciones:

- El factor: $h_{ik}cd_j(v_{ik})$ se ha incluido con un porcentaje de detenciones con respecto al camino total. (MESPIVU [13])
- El factor: $d_{ik}cr_j$ se ha estimado en un 20% y se refiere al consumo por ralentí, es decir el tiempo donde el motor esta prendido, pero no avanza, por ejemplo en primera antes de poner el vehículo en movimiento.

2. Consumo de lubricantes:

$$CL_i = FE_i \sum_{j=1}^{NV} (VL_{ij} * CL_j \times \sum_{k \in NA_j} q_{ijk} \cdot [L_k])$$

CL_j = Consumo de Lubricante por vehículo.

VL_{ij} = Precio social del lubricante por tipo de vehículo. [\$/Lt]

3. Mantenimiento del Vehículo ó Consumo de Repuestos:

$$CR_i = FE_i \sum_{j=1}^{NV} (VUVN_{ij} * C_{Rj} \times \sum_{k \in NA_j} q_{ij})$$

CR_j = Consumo de Repuestos por vehículo.

$VUVN_{ij}$ = Precio social por unidad de vehículo nuevo [\$/UVN / Veh]

4. Consumo de Neumáticos

$$CM_i = FE_i \sum_{j=1}^{NV} (VN_{ij} * UN_j \times \sum_{k \in NA_j} q_{ij})$$

CN_j = Consumo de Neumáticos por vehículo.

VN_{ij} = Precio social por unidad de neumático nuevo [\$/ Veh]

Donde las funciones de consumo de lubricantes, neumáticos y repuestos se encuentran en

el documento: Análisis Incorporación Estado del Pavimento en Costos de Operación de Vehículos. Trasa Ingeniería Ltda. 1996.

Estas expresiones determinan para cada arco el consumo "unitario" del recurso respectivo, expresado en las unidades de medida que se describen en la tabla que a continuación se muestra. En estas expresiones se utilizan las siguientes variables:

R_{BI} : Rugosidad del arco, expresada en BI.

R_{QI} : Rugosidad del arco, expresada en QI.

Dado un IRI representativo de la zona en estudio, en este caso $IRI = 2500$ [mm/Km] o $2,5$ [m/Km] se puede obtener la rugosidad en las unidades BI y QI respectivamente, con las siguientes relaciones:

$$R_{bi} = \left(IRI \text{ en } \left[\frac{m}{Km} \right] \right)^{1,12} \cdot 630 [BI]$$

$$R_{qi} = \left(IRI \text{ en } \left[\frac{m}{Km} \right] \right) \cdot 13 [QI]$$

Tabla 20: Unidades de Medida de las Funciones de Consumo de Recursos

Item	Unidad de medida
Lubricantes	Lts/1000Km
Repuestos	Fracción Vehículo Nuevo/1000Km
Neumáticos	Unidades Nuevas/1000Km

Fuente: Actualización de Costos de Operación de Vehículos en áreas Urbanas

Entonces, si C_L es el valor determinado por la fórmula para lubricantes de autos particulares, significa que el vehículo está consumiendo C_L litros por cada 1000 kilómetros de viaje.

Para determinar el consumo total de un recurso "x" en un arco "a" se debe utilizar la siguiente expresión.

$$\text{CONSUMO}_{x_a} = C_x * \text{FLUJO}_a * \text{LONGITUD}_a$$

6.2.6.1 Funciones de Consumo para Automóviles Particulares.

Consumo de Lubricantes

$$\text{Forma funcional } C_L = \alpha + \beta \times R_{BI}$$

$$\text{Función explícita } C_L = 0,26 + 0,000211 * R_{BI}$$

Consumo de Repuestos

$$\text{Forma funcional } C_R = \begin{cases} \alpha \times e^{\beta \times R_{qi}} & | R_{QI} < 120 \\ \delta + \gamma \times R_{qi} & | R_{QI} \geq 120 \end{cases}$$

$$\text{Función explícita } C_R = \begin{cases} 0,0010302 \times e^{0,0137 \times R_{qi}} & | R_{QI} < 120 \\ -0,0034 + 0,00007305 \times R_{qi} & | R_{QI} = 120 \end{cases}$$

Consumo de Neumáticos

$$\text{Forma funcional } C_N = \begin{cases} \alpha + \beta \times R_{BI} & | R_{QI} < 120 \\ \delta & | R_{QI} = 120 \end{cases}$$

$$\text{Función explícita } C_N = \begin{cases} 0,204 \times 0,000548 \times R_{BI} & | R_{QI} < 120 \\ -0,2698 & | R_{QI} = 120 \end{cases}$$

6.2.6.2 Funciones de Consumo para Taxis Básicos y Taxis Colectivos.

Consumo de Lubricantes

$$\text{Forma funcional } C_L = \alpha + \beta \times R_{BI}$$

$$\text{Función explícita } C_L = 0,062 + 0,000211 * R_{BI}$$

Consumo de Repuestos

$$\text{Forma funcional } C_R = \begin{cases} \alpha \times e^{\beta \times R_{qi}} & | R_{QI} < 120 \\ \delta + \gamma \times R_{qi} & | R_{QI} \geq 120 \end{cases}$$

$$\text{Función explícita } C_R = \begin{cases} 0,00346 \times e^{0,0137 \times R_{qi}} & | R_{QI} < 120 \\ -0,00116 + 0,00002454 \times R_{qi} & | R_{QI} = 120 \end{cases}$$

Consumo de Neumáticos

$$\text{Forma funcional } C_N = \begin{cases} \alpha + \beta \times R_{BI} & | R_{QI} < 120 \\ \delta & | R_{QI} = 120 \end{cases}$$

$$\text{Función explícita } C_N = \begin{cases} 0,064 \times 0,000548 \times R_{BI} & | R_{QI} < 120 \\ 0,1298 & | R_{QI} = 120 \end{cases}$$

6.2.6.3 Funciones de Consumo para Buses Urbanos.

Consumo de Lubricantes

$$\text{Forma funcional } C_L = \alpha + \beta \times R_{BI}$$

$$\text{Función explícita } C_L = 5,26 + 0,00021 \times R_{BI}$$

Consumo de Repuestos

$$\text{Forma funcional } C_L = \alpha + \beta \times R_{QI}$$

$$\text{Función explícita } C_L = 0,00003888 + 0,00000976 \times R_{QI}$$

Consumo de Neumáticos

$$\text{Forma funcional } C_L = \alpha + \beta \times R_{QI}$$

$$\text{Función explícita } C_L = 0,161 + 0,000175 \times R_{QI}$$

Donde:

C_L : Consumo unitario de lubricantes

C_R : Consumo unitario de repuestos

C_M : Consumo unitario de mano de obra

C_N : Consumo unitario de neumáticos

R_{BI} : Rugosidad del arco, expresada en BI.

R_{QI} : Rugosidad del arco, expresada en QI.

Tabla 21: Estimación de población máxima a recibir por zona.

Zona	Sub zona	Uso suelo Permitido	Área [há]	Densidad Máxima [hab/há]	Población Máxima [hab]	Población Actual Aprox. [hab]		Distancia al Centro de Puerto Montt [Km]
1	Nor-Poniente	R2C	Residencial y equipamiento	113	186	21037	Menos de 2000	6,94
		ZEM	Residencial y equipamiento	125	1160	145174		
	IE2	-	22,4	0				
	AP1	-	89,6	0				
	Total			238		166.211		
2	R2-B	Residencial y equipamiento	375,2	250	93800	Menos de 1000	4,14	
	RI-2	-	-	250				
	Total		375		93.800			
3	ZOIT 1	Residencial y equipamiento	140,62	525	73825,5	Más de 1000	4,9	
	ZOIT 2	Residencial y equipamiento	145,4	60	8724			
	ZOIT 3	Equipamiento	63,21	0	0			
	RE-3	Residencial y equipamiento	30	340	10200			
	RE-4	Residencial	3,45	186	642			
	Total		319,7		93.391			

Tabla 22: Resumen de población admitida total y distancia a zona centro por zona.

N°	Zona	Área Habitable [Há]	Población [hab]	Distancia [km]
1	Nor-Poniente	238	166211	6,94
2	Nor-Oriente	375	93800	4,14
3	Isla Tenglo	320	93391	4,90

6.2.7 Estimación de Flujos

Al realizar una modelación de transporte, la estimación de flujos es lo más complicado de hacer cuando no se tienen flujos anteriores (caso zona 3: isla Tenglo), para estimar los viajes generados y atraídos para las tres zonas se calcularon las tasas de generación y atracción de viajes por número de habitantes de las zonas existentes de Puerto Montt, según la clasificación que allí se tiene (tabla n° 23) y para cada una de las zonas en estudio se utilizaron las tasas de generación y atracción de viajes correspondiente a su sector en la tabla n° 23 o en el caso de isla Tenglo del sector más cercano: Sur-Poniente. Esto utilizando el supuesto que cada una de las tres zonas, por separado, obtendrá al menos la misma tasa de generación y atracción de viajes que tienen los sectores que más se aproximen a esta zona; Esta información fue obtenida del informe Ejecutivo STU Puerto Montt [13]. Luego se proyectaron los viajes generados y atraídos por periodo para cada zona de acuerdo a la estimación anterior del total de habitantes que puede llegar a tener cada zona (*). Se debe dejar en claro que con estas tasas de generación y atracción de viajes se realiza un supuesto discutible, que es que ninguna de estas zonas tiene algún otro “valor agregado”, es decir, que la gente prefiera ir hacia alguno de estos terrenos en específico, como lo es actualmente la zona centro con una tasa de atracción de viajes mucho mayor que las otras zonas. Esto se ha planteado de esta manera para que la comparación en términos de costos no se vea influenciada por otros factores como son la mayor atracción o generación de viajes producto de existir centros generadores o atractores dentro de cada zona como pueden ser un centro comercial, un colegio o edificios públicos como municipalidades o gobernaciones. Esos escenarios serán expuestos en el capítulo de sensibilidad del modelo propuesto, donde se verán resultados variando también el número total de habitantes.

(*) Tomando en cuenta que la población actual de Puerto Montt está estimada en 225.000 [hab] al año 2008, cada una de las 3 zonas estudiadas puede recibir a aproximadamente la mitad de la población actual y en el caso de la zona 1, más de la mitad (Ver tabla n°22). En este estudio, en primera instancia, se estimaron los costos de transporte al centro de la ciudad para un proyecto de urbanización que podría tener las siguientes características:

Tabla 23: Proyecto de urbanización y porcentaje de avance en un horizonte aproximado de 8 años.

Proyecto de Urbanización de 10.000 viviendas		Población Estimada		
Año	Porcentaje	Zona 1	Zona 2	Zona 3
1	10%	5339	3013	3000
4	50%	26696	15066	15000
8	100%	53392	30131	30000

La población estimada se estimó proporcionalmente a la población que puede recibir cada zona, basado en un proyecto de urbanización de aproximadamente 10.000 viviendas en isla Tenglo y la modelación se realizará para cuando el proyecto esté terminado, es decir, para el total de la población.

El siguiente paso, después de la estimación de la población por zona es obtener tasas de generación y atracción. La tabla siguiente muestra las tasas de atracción y generación usadas para obtener el número de viajes por hora que se esperan para cada zona. Luego, ponderando el número de habitantes estimado para cada zona con la tasa de atracción o generación de viajes se obtuvo la tabla n° 23 y 24 para luego clasificar estos viajes según la partición modal (ver tablas n° 25, 26 y 27).

Se deja en Claro que para este 1er análisis se utilizaron, para la zona 1, las tasas de atracción y generación de atracción de viajes correspondientes a la zonificación de zona Norte (en tabla 23); para la zona 2, las tasas correspondientes a zona Nor- Poniente y para la zona 3, las correspondientes a la zona Sur-Poniente.

Tabla 24: Tasas de generación y atracción de viajes. Modos: todos, Periodo: Punta Mañana, Propósito: Todos

Zonificación	Viajes Generados [viajes]	Viajes Atraídos [viajes]	Hab. Por Hogar [Hab/hogar]	Habitantes [Hab]	Hogares [Hogares]	Tasa Motorización [Veh/Hogares]	Tasa Generación [viajes/hr-hab]	Tasa Atracción [viajes/hab-hr]
Centro	2267	13826	3,64	2868	789	1,02	0,45	2,75
Centro-Norte	3821	6461	3,71	7575	2042	0,57	0,29	0,49
Centro-Oriente	3888	4094	3,86	8315	2154	0,45	0,27	0,28
Centro-Poniente	1801	3949	3,79	4053	1069	0,37	0,25	0,56
Nor-Oriente	3748	1414	3,9	8828	2264	0,22	0,24	0,09
Nor-Poniente	5659	5767	4,00	15497	3878	0,35	0,21	0,21
Norte	12460	5408	3,87	32331	8345	0,42	0,22	0,10
Sur-Oriente	3431	1139	3,94	9377	2378	0,36	0,21	0,07
Sur-Poniente	13354	5150	3,94	36675	9311	0,3	0,21	0,08
Promedio	5603	5245	3,85	13947	3581	0,45	0,26	0,51

Tabla 25: Tasas de Generación y atracción de viajes. Modos: todos, Periodo: Fuera de Punta, Propósito: Todos

Zonificación	Viajes Generados [viajes]	Viajes Atraídos [viajes]	Hab. Por Hogar [Hab/hogar]	Habitantes [Hab]	Hogares [Hogares]	Tasa Motorización [Veh/Hogares]	Tasa Generación [viajes/hr-hab]	Tasa Atracción [viajes/hr-hab]
Centro	11873	14080	3,64	2868	789	1,02	0,72	0,85
Centro-Norte	4206	2386	3,71	7575	2042	0,57	0,10	0,05
Centro-Oriente	4154	3804	3,86	8315	2154	0,45	0,09	0,08
Centro-Poniente	3800	3631	3,79	4053	1069	0,37	0,16	0,16
Nor-Oriente	2397	2700	3,9	8828	2264	0,22	0,05	0,05
Nor-Poniente	5536	5159	4,00	15497	3878	0,35	0,06	0,06
Norte	9620	9326	3,87	32331	8345	0,42	0,05	0,05
Sur-Oriente	2272	2313	3,94	9377	2378	0,36	0,04	0,04
Sur-Poniente	9976	10324	3,94	36675	9311	0,3	0,05	0,05
Promedio	5982	5969	3,85	13947	3581	0,45	0,15	0,16

De acuerdo a esto se entregan los siguientes resultados:

Tabla 26: Estimación de viajes para zona 1.

Estimación de viajes para zona 1: Nor Oriente		
Periodo	Viajes generados	Viajes Atraídos
	[Viajes/Hr]	[Viajes/Hr]
Punta Mañana	11758	5103
Fuera de Punta	2763	2678

Tabla 27: Estimación de viajes para zona 2.

Estimación de viajes para zona 2: Nor Poniente		
Periodo	Viajes generados	Viajes Atraídos
	[Viajes/Hr]	[Viajes/Hr]
Punta Mañana	6287	6407
Fuera de Punta	1872	1744

Tabla 28: Estimación de viajes para zona 3.

Estimación de viajes para zona 3: Isla Tenglo		
Periodo	Viajes generados	Viajes Atraídos
	[Viajes/Hr]	[Viajes/Hr]
Punta Mañana	6242	2407
Fuera de Punta	1419	1469

Se generan diferente cantidad de viajes para las tres zonas, ya que el parámetro de entrada, la población, es distinta para cada una de las zonas y debido a la utilización de una tasa de atracción y generación diferente para cada zona en los diferentes periodos. Luego, estos viajes se dividieron según la partición modal simplificada mostrada en la tabla n° 16, entonces para cada zona se obtuvieron los siguientes resultados:

Zona 1

Tabla 29: Viajes generados y atraídos por modo: Auto. Zona 1.

MODO: AUTO		
Periodo	Viajes generados	Viajes atraídos
	[Veh/Hr]	[Veh/Hr]
Punta Mañana	4527	1965
Fuera de Punta	749	726

Tabla 30: Viajes generados y atraídos por modo: Taxi colectivo. Zona 1.

MODO: Taxi Colectivo		
Periodo	Viajes generados	Viajes Atraídos
	[Veh/Hr]	[Veh/Hr]
Punta Mañana	2128	924
Fuera de Punta	650	630

Tabla 31: Viajes generados y atraídos por modo: Bus. Zona 1.

MODO: BUS		
Periodo	Viajes generados	Viajes Atraídos
	[Veh/Hr]	[Veh/Hr]
Punta Mañana	1070	464
Fuera de Punta	251	244

Zona 2

Tabla 32: Viajes generados y atraídos por modo: Auto. Zona 2.

MODO: AUTO		
Periodo	Viajes generados	Viajes Atraídos
	[Veh/Hr]	[Veh/Hr]
Punta Mañana	2421	2467
Fuera de Punta	507	473

Tabla 33: Viajes generados y atraídos por modo: Taxi colectivo. Zona 2.

MODO: Taxi Colectivo		
Periodo	Viajes generados	Viajes Atraídos
	[Veh/Hr]	[Veh/Hr]
Punta Mañana	1138	1160
Fuera de Punta	440	410

Tabla 34: Viajes generados y atraídos por modo: Bus. Zona 2.

MODO: BUS		
Periodo	Viajes generados	Viajes Atraídos
	[Veh/Hr]	[Veh/Hr]
Punta Mañana	572	583
Fuera de Punta	170	159

Zona 3

Tabla 35: Viajes generados y atraídos por modo: Auto. Zona 3.

MODO: AUTO		
Periodo	Viajes generados	Viajes Atraídos
	[Veh/Hr]	[Veh/Hr]
Punta Mañana	2403	927
Fuera de Punta	384	398

Tabla 36: Viajes generados y atraídos por modo: Taxi colectivo. Zona 3.

MODO: Taxi Colectivo		
Periodo	Viajes generados	Viajes Atraídos
	[Veh/Hr]	[Veh/Hr]
Punta Mañana	1130	436
Fuera de Punta	334	346

Tabla 37: Viajes generados y atraídos por modo: Bus. Zona 3.

MODO: BUS		
Periodo	Viajes generados	Viajes Atraídos
	[Veh/Hr]	[Veh/Hr]
Punta Mañana	568	219
Fuera de Punta	129	134

6.2.8 Desglose de costos de operación para Zona 1:

1.- Costos de Operación debido a consumo de tiempo de los Usuarios

A continuación se muestran los valores usados para la estimación de Costos. Ver Referencia n° 14.

Tabla 38: Largo del arco para zona 1 y valor del tiempo de viaje (Referencia [14])

Distancia del recorrido	6,94	[km]
Valor del Tiempo	771	[\$/hr*pasajero]

Tabla 39: Estimación de velocidades utilizadas (Elaboración propia)

Velocidades Promedio			
	Auto	Taxi	Bus
	[km/hr]	[km/hr]	[km/hr]
Más Lento	15,68	10,88	9,49
Más Rápido	40,51	33,36	28,51
Promedio	28,10	22,12	19,00
20 % más lento que promedio	22,48	17,70	15,20
20% más rápido que promedio	33,71	26,54	22,80

Tabla 40: Duración del viaje, zona 1.

Modo	Velocidad	Duración del viaje	Duración del viaje
	[km/hr]	[min]	[hr]
Auto	22,48	22	0,37
TaxiColectivo	17,70	28	0,47
Bus	15,20	33	0,55

En la duración del viaje se ha agregado un 20 % del valor por otras causas como son la demora geométrica y el flujo de viajes generados y atraídos que es muy alto, por lo que pueden causar demoras adicionales por congestión, además se tomó en cuenta si el terreno es plano o con pendiente, pues en la Zona 1 y 2 existe mucho mayor pendiente pues el camino considera un cerro, no así en la zona 3. Esta consideración se usó también para los análisis de sensibilidad posteriores.

Tabla 41: Costos por Tiempo de Viaje de los Usuarios por Modo y Periodo			
Modo	Periodo	Costo por V. Generados	Costo por V. Atraídos
Auto	Punta Mañana	\$ 722.911.915	\$ 313.764.658
	Fuera de Punta	\$ 836.759.195	\$ 811.186.721
Taxicolectivo	Punta Mañana	\$ 247.488.107	\$ 107.416.989
	Fuera de Punta	\$ 612.276.498	\$ 593.564.514
Bus	Punta Mañana	\$ 4.851.969.941	\$ 2.105.895.140
	Fuera de Punta	\$ 6.159.067.426	\$ 5.970.838.130

	Punta Mañana	Fuera de Punta	Total
Generados	\$ 5.822.369.963,18	\$ 7.608.103.119	\$ 13.430.473.082
Atraídos	\$ 2.527.076.786,59	\$ 7.375.589.365	\$ 9.902.666.151
Total	\$ 5.822.369.963,18	\$ 13.430.473.082	\$ 21.038.576.201

2.- Costos de Operación debido a consumo de combustibles.

Tabla 43: Precios sociales para el 2009 de combustibles y rendimientos (Referencia [14]).

Precio Combustible Auto	294,1	[\$/lt]
Precio Combustible Bus	291,7	[\$/lt]
Rendimiento Auto y Taxicolectivo	0,08	[lt/veh*Km]
Rendimiento Buses	0,33	[lt/veh*Km]

Modo	Periodo	Costo por V. Generados	Costo por V. Atraídos
Auto	Punta Mañana	\$ 430.410.206	\$ 186.810.465
	Fuera de Punta	\$ 498.193.057	\$ 482.967.615
Taxicolectivo	Punta Mañana	\$ 202.348.694	\$ 87.825.180
	Fuera de Punta	\$ 432.682.203	\$ 419.458.859
Bus	Punta Mañana	\$ 403.612.511	\$ 175.179.491
	Fuera de Punta	\$ 663.880.471	\$ 643.591.400

	Punta Mañana	Fuera de Punta	Total
Generados	\$ 1.036.371.410,46	\$ 1.594.755.731	\$ 2.631.127.141
Atraídos	\$ 449.815.135,46	\$ 1.546.017.874	\$ 1.995.833.009
Total	\$ 1.036.371.410,46	\$ 2.631.127.141	\$ 4.225.882.872

3.- Consumo de Lubricantes, Repuestos y Neumáticos

Tabla 46: Índice de Regularidad Internacional (IRI), utilizado para los tres arcos.

IRI	2500	mm/Km
IRI	2,5	m/Km

Tabla 47: Rugosidad en función del IRI para obtener consumo por repuestos, lubricante y neumáticos.

Rugosidad	
R [bi]	R [qi]
1758	33

Estos valores no cambian para ninguna de las 3 zonas, pues sólo dependen del IRI, por lo tanto basta mostrar los valores una sola vez en las siguientes tablas:

Tabla 48: Consumo automóviles particulares.

Consumo Automóviles Particulares		
Consumo Lubricantes		Unidad
0,63		[Lts/1000Km]
Consumo Repuestos	R [qi]	Unidad
0,0016	<120	[Fraccion Veh. Nuevo /1000Km]
-0,0010	120	[Fraccion Veh. Nuevo /1000Km]
Consumo Neumáticos	R [qi]	Unidad
0,22181	<120	[Unidades Nuevas /1000Km]
-0,2698	120	[Unidades Nuevas /1000Km]

Tabla 49: Consumo taxis básicos y taxis colectivos.

Consumo Taxis Básicos y Taxis Colectivos		
Consumo Lubricantes		Unidad
0,432950375		[Lts/1000Km]
Consumo Repuestos	R [qi]	Unidad
0,00054	<120	[Fraccion Veh. Nuevo /1000Km]
-0,00036	120	[Fraccion Veh. Nuevo /1000Km]
Consumo Neumáticos	R [qi]	Unidad
0,08181	<120	[Unidades Nuevas /1000Km]
0,1298	120	[Unidades Nuevas /1000Km]

Tabla 50: Consumo buses urbanos

Consumo Buses Urbanos	
Consumo Lubricantes	Unidad
5,63	[Lts/1000Km]
Consumo Repuestos	Unidad
0,00036	[Fraccion Veh. Nuevo /1000Km]
Consumo Neumáticos	Unidad
0,16669	[Unidades Nuevas /1000Km]

Tabla 51: Precios sociales para el año 2009 (Referencia [14]).

Precios Sociales 2009			
Tipo de Vehículo	Lubricante	Neumáticos	Vehículo nuevo
	(\$/litro)	(\$/unidad)	(miles\$/unidad)
Automóvil	3.209	25.460	8.258
Taxicolectivo	3.209	25.460	8.258
Buses	1.514	154.343	65.071

4.- Costos de Operación debido a Consumo de Lubricantes

Tabla 52: Costos por consumo de Lubricantes por Modo y Periodo			
Modo	Periodo	Costo por V. Generados	Costo por V. Atraídos
Auto	Punta Mañana	\$ 35.557.703	\$ 15.433.071
	Fuera de Punta	\$ 41.157.483	\$ 39.899.656
Taxicolectivo	Punta Mañana	\$ 11.470.820	\$ 4.978.667
	Fuera de Punta	\$ 24.528.054	\$ 23.778.444
Bus	Punta Mañana	\$ 35.388.082	\$ 15.359.450
	Fuera de Punta	\$ 58.207.949	\$ 56.429.036

Tabla 53: Costos Totales por consumo de Lubricantes por periodo, Modos: Todos.			
	Punta Mañana	Fuera de Punta	Total
Generados	\$ 82.416.604,93	\$ 123.893.486	\$ 206.310.091
Atraídos	\$ 35.771.187,76	\$ 120.107.136	\$ 155.878.324
Total	\$ 118.187.792,69	\$ 244.000.622	\$ 362.188.415

5.- Costos de Operación debido a Consumo de Repuestos

Tabla 54: Costos por consumo de Repuestos por Modo y Periodo			
Modo	Periodo	Costo por V. Generados	Costo por V. Atraídos
Auto	Punta Mañana	\$ 33.602.791	\$ 14.584.582
	Fuera de Punta	\$ 38.894.703	\$ 37.706.030
Taxicolectivo	Punta Mañana	\$ 36.821.987	\$ 15.981.806
	Fuera de Punta	\$ 78.736.453	\$ 76.330.163
Bus	Punta Mañana	\$ 96.179.941	\$ 41.744.873
	Fuera de Punta	\$ 158.201.203	\$ 153.366.363

Tabla 55: Costos Totales por consumo de Repuestos por periodo, Modos: Todos.			
	Punta Mañana	Fuera de Punta	Total
Generados	\$ 166.604.719,66	\$ 275.832.360	\$ 442.437.079
Atraídos	\$ 72.311.261,95	\$ 267.402.556	\$ 339.713.818
Total	\$ 238.915.981,61	\$ 543.234.915	\$ 782.150.897

6.- Costos de Operación debido a Consumo de Neumáticos

Tabla 56: Costos por consumo de neumáticos por Modo y Periodo			
Modo	Periodo	Costo por V. Generados	Costo por V. Atraídos
Auto	Punta Mañana	\$ 14.290.546	\$ 6.202.510
	Fuera de Punta	\$ 16.541.083	\$ 16.035.566
Taxicolectivo	Punta Mañana	\$ 2.477.947	\$ 1.075.500
	Fuera de Punta	\$ 5.298.593	\$ 5.136.661
Bus	Punta Mañana	\$ 6.487.547	\$ 2.815.783
	Fuera de Punta	\$ 10.671.016	\$ 10.344.895

Tabla 57: Costos Totales por consumo de Neumáticos por periodo, Modos: Todos.			
	Punta Mañana	Fuera de Punta	Total
Generados	\$ 23.256.039,56	\$ 32.510.692	\$ 55.766.732
Atraídos	\$ 10.093.793,09	\$ 31.517.122	\$ 41.610.915
Total	\$ 33.349.832,65	\$ 64.027.814	\$ 97.377.647

6.2.9 Desglose de costos de operación para Zona 2:

1.- Costos de Operación debido a Consumo de tiempo de los Usuarios

Tabla 58: Largo del arco para zona 2 y valor del tiempo de viaje.

Distancia del recorrido	4,14	[km]
Valor del Tiempo	771	[\$/hr*pasajero]

Tabla 59: Duración del viaje, zona 2.

Modo	Velocidad	Duración del viaje	Duración del viaje
	[km/hr]	[min]	[hr]
Auto	22,48	13	0,22
TaxiColectivo	17,70	17	0,28
Bus	15,20	20	0,33

Modo	Periodo	V. Generados	V. Atraídos
Auto	Punta Mañana	\$ 230.601.729	\$ 235.002.681
	Fuera de Punta	\$ 338.202.666	\$ 315.171.162
Taxi colectivo	Punta Mañana	\$ 78.946.251	\$ 93.664.127
	Fuera de Punta	\$ 247.470.892	\$ 230.618.196
Bus	Punta Mañana	\$ 1.547.730.274	\$ 1.577.268.155
	Fuera de Punta	\$ 2.489.381.697,83	\$ 2.319.855.523,68

	Punta Mañana	Fuera de Punta	Total
Generados	\$ 1.857.278.254	\$ 3.075.055.256	\$ 4.932.333.510
Atraídos	\$ 1.905.934.963	\$ 2.865.644.882	\$ 4.771.579.845
Total	\$ 1.857.278.254	\$ 4.932.333.510	\$ 8.007.388.766

2.- Costos de Operación debido a Consumo de combustibles.

Tabla 62: Costos por Consumo de Combustible por Modo y Periodo			
Modo	Periodo	Costo por V. Generados	Costo por V. Atraídos
Auto	Punta Mañana	\$ 137.296.585	\$ 139.916.842
	Fuera de Punta	\$ 201.360.465	\$ 187.647.875
Taxicolectivo	Punta Mañana	\$ 64.547.226	\$ 65.779.087
	Fuera de Punta	\$ 174.882.183	\$ 162.972.757
Bus	Punta Mañana	\$ 128.748.387	\$ 131.205.504
	Fuera de Punta	\$ 268.328.268	\$ 250.055.190

Tabla 63: Costos Totales por consumo de Combustible por periodo, Modos: Todos.			
	Punta Mañana	Fuera de Punta	Total
Generados	\$ 330.592.198	\$ 644.570.915	\$ 975.163.113
Atraídos	\$ 336.901.432	\$ 600.675.822	\$ 937.577.255
Total	\$ 330.592.198	\$ 975.163.113	\$ 1.619.734.029

4.- Costos de Operación debido a Consumo de Lubricantes

Tabla 64: Costos por consumo de Lubricantes por Modo y Periodo			
Modo	Periodo	Costo por V. Generados	Costo por V. Atraídos
Auto	Punta Mañana	\$ 11.342.555	\$ 11.559.023
	Fuera de Punta	\$ 16.635.097	\$ 15.502.252
Taxicolectivo	Punta Mañana	\$ 3.659.078	\$ 3.728.910
	Fuera de Punta	\$ 9.913.788	\$ 9.238.662
Bus	Punta Mañana	\$ 11.288.447	\$ 11.503.883
	Fuera de Punta	\$ 23.526.582	\$ 21.924.428

Tabla 65: Costos Totales por consumo de Lubricantes por periodo, Modos: Todos.			
	Punta Mañana	Fuera de Punta	Total
Generados	\$ 26.290.079	\$ 50.075.467	\$ 76.365.546
Atraídos	\$ 26.791.816	\$ 46.665.342	\$ 73.457.158
Total	\$ 53.081.895	\$ 96.740.809	\$ 149.822.704

5.- Costos de Operación debido a Consumo de Repuestos

Tabla 66: Costos por consumo de Repuestos por Modo y Periodo			
Modo	Periodo	Costo por V. Generados	Costo por V. Atraídos
Auto	Punta Mañana	\$ 11.511.768	\$ 11.731.466
	Fuera de Punta	\$ 16.883.268	\$ 15.733.522
Taxicolectivo	Punta Mañana	\$ 7.525.143	\$ 7.668.758
	Fuera de Punta	\$ 20.388.382	\$ 18.999.939
Bus	Punta Mañana	\$ 3.349.966	\$ 3.413.899
	Fuera de Punta	\$ 6.981.761	\$ 6.506.305

Tabla 67: Costos Totales por consumo de Repuestos por periodo, Modos: Todos.			
	Punta Mañana	Fuera de Punta	Total
Generados	\$ 22.386.877	\$ 44.253.411	\$ 66.640.289
Atraídos	\$ 22.814.123	\$ 41.239.767	\$ 64.053.890
Total	\$ 45.201.000	\$ 85.493.178	\$ 130.694.178

6.- Costos de Operación debido a Consumo de Neumáticos

Tabla 68: Costos por consumo de neumáticos por Modo y Periodo			
Modo	Periodo	Costo por V. Generados	Costo por V. Atraídos
Auto	Punta Mañana	\$ 7.028.039	\$ 7.162.167
	Fuera de Punta	\$ 10.307.389	\$ 9.605.458
Taxicolectivo	Punta Mañana	\$ 1.036.578	\$ 1.056.360
	Fuera de Punta	\$ 2.808.470	\$ 2.617.214
Bus	Punta Mañana	\$ 3.350.732	\$ 3.414.679
	Fuera de Punta	\$ 6.983.357	\$ 6.507.793

Tabla 69: Costos Totales por consumo de Neumáticos por periodo, Modos: Todos.			
	Punta Mañana	Fuera de Punta	Total
Generados	\$ 11.415.349	\$ 20.099.216	\$ 31.514.565
Atraídos	\$ 11.633.206	\$ 18.730.465	\$ 30.363.672
Total	\$ 23.048.555	\$ 38.829.682	\$ 61.878.237

6.2.10 Desglose de costos de operación para Zona 3:

1.- Costos de Operación debido a Consumo de tiempo de los Usuarios

Tabla 70: Duración del viaje, zona 3.

Modo	Velocidad	Duración del viaje	Duración del viaje
	[km/hr]	[min]	[hr]
Auto	33,71	10	0,17
TaxiColectivo	26,54	13	0,22
Bus	22,80	15	0,26

Tabla 71: Largo del arco para zona 2 y valor del tiempo de viaje.

Distancia del recorrido	4,90	[km]
Valor del Tiempo	771	[\$/hr*pasajero]

Tabla 72: Costos por consumo de Tiempo de Viaje de los Usuarios por Modo y Periodo			
Modo	Periodo	V. Generados	V. Atraídos
Auto	Punta Mañana	\$ 180.641.868	\$ 69.664.941
	Fuera de Punta	\$ 202.311.963	\$ 209.369.357
Taxicolectivo	Punta Mañana	\$ 61.842.547	\$ 23.849.717
	Fuera de Punta	\$ 148.036.449	\$ 153.200.512
Bus	Punta Mañana	\$ 1.212.414.532	\$ 467.570.379
	Fuera de Punta	\$ 1.489.141.713	\$ 1.541.088.517

Tabla 73: Costos Totales por consumo de Tiempo de Viaje por periodo, Modos: Todos.			
	Punta Mañana	Fuera de Punta	Total
Generados	\$ 1.454.898.946	\$ 1.839.490.125	\$ 3.294.389.072
Atraídos	\$ 561.085.036	\$ 1.903.658.385	\$ 2.464.743.422
Total	\$ 1.454.898.946	\$ 3.294.389.072	\$ 5.133.879.197

2.- Costos de Operación debido a Consumo de combustibles.

Tabla 74: Costos por Consumo de Combustible por Modo y Periodo			
Modo	Periodo	Costo por V. Generados	Costo por V. Atraídos
Auto	Punta Mañana	\$ 161.326.923	\$ 62.216.089
	Fuera de Punta	\$ 180.679.966	\$ 186.982.756
Taxicolectivo	Punta Mañana	\$ 75.844.605	\$ 29.249.642
	Fuera de Punta	\$ 156.921.106	\$ 162.395.098
Bus	Punta Mañana	\$ 151.282.576	\$ 58.342.464
	Fuera de Punta	\$ 240.769.917	\$ 249.168.867

Tabla 75: Costos Totales por consumo de Combustible por periodo, Modos: Todos.			
	Punta Mañana	Fuera de Punta	Total
Generados	\$ 388.454.104	\$ 578.370.989	\$ 966.825.094
Atraídos	\$ 149.808.195	\$ 598.546.722	\$ 748.354.917
Total	\$ 388.454.104	\$ 966.825.094	\$ 1.545.196.083

4.- Costos de Operación debido a Consumo de Lubricantes

Tabla 76: Costos por consumo de Lubricantes por Modo y Periodo			
Modo	Periodo	Costo por V. Generados	Costo por V. Atraídos
Auto	Punta Mañana	\$ 13.327.785	\$ 5.139.890
	Fuera de Punta	\$ 14.926.608	\$ 15.447.304
Taxicolectivo	Punta Mañana	\$ 4.299.508	\$ 1.658.115
	Fuera de Punta	\$ 8.895.604	\$ 9.205.915
Bus	Punta Mañana	\$ 13.264.208	\$ 5.115.371
	Fuera de Punta	\$ 21.110.311	\$ 21.846.717

Tabla 77: Costos Totales por consumo de Lubricantes por periodo, Modos: Todos.			
	Punta Mañana	Fuera de Punta	Total
Generados	\$ 30.891.501	\$ 44.932.523	\$ 75.824.024
Atraídos	\$ 11.913.377	\$ 46.499.936	\$ 58.413.313
Total	\$ 42.804.878	\$ 91.432.459	\$ 134.237.336

5.- Costos de Operación debido a Consumo de Repuestos

Tabla 78: Costos por consumo de Repuestos por Modo y Periodo			
Modo	Periodo	Costo por V. Generados	Costo por V. Atraídos
Auto	Punta Mañana	\$ 17.838.693	\$ 6.879.532
	Fuera de Punta	\$ 19.978.652	\$ 20.675.582
Taxicolectivo	Punta Mañana	\$ 13.801.666	\$ 5.322.643
	Fuera de Punta	\$ 28.555.395	\$ 29.551.514
Bus	Punta Mañana	\$ 36.050.293	\$ 13.902.876
	Fuera de Punta	\$ 57.374.922	\$ 59.376.373

Tabla 79: Costos Totales por consumo de Repuestos por periodo, Modos: Todos.			
	Punta Mañana	Fuera de Punta	Total
Generados	\$ 67.690.652	\$ 105.908.970	\$ 173.599.622
Atraídos	\$ 26.105.052	\$ 109.603.469	\$ 135.708.520
Total	\$ 93.795.704	\$ 215.512.439	\$ 309.308.142

6.- Costos de Operación debido a Consumo de Neumáticos

Tabla 80: Costos por consumo de neumáticos por Modo y Periodo			
Modo	Periodo	Costo por V. Generados	Costo por V. Atraídos
Auto	Punta Mañana	\$ 7.586.414	\$ 2.925.717
	Fuera de Punta	\$ 8.496.492	\$ 8.792.881
Taxicolectivo	Punta Mañana	\$ 1.315.466	\$ 507.312
	Fuera de Punta	\$ 2.721.675	\$ 2.816.617
Bus	Punta Mañana	\$ 3.444.040	\$ 1.328.202
	Fuera de Punta	\$ 5.481.274	\$ 5.672.481

Tabla 81: Costos Totales por consumo de Neumáticos por periodo, Modos: Todos.			
	Punta Mañana	Fuera de Punta	Total
Generados	\$ 12.345.919	\$ 16.699.441	\$ 29.045.360
Atraídos	\$ 4.761.231	\$ 17.281.980	\$ 22.043.211
Total	\$ 17.107.151	\$ 33.981.421	\$ 51.088.572

6.2.11 Costos de Operación Totales

Tabla 82: Resumen costos totales de operación por zona y beneficios e inversión.

Costos Totales de Operación, 100 % población.			
Por Consumo de:	Zona 1	Zona 2	Zona 3
	[\$/año]	[\$/año]	[\$/año]
Tiempo de Viaje de los Usuarios	21.038.576.201	8.007.388.766	5.133.879.197
Combustible	4.225.882.872	1.619.734.029	1.545.196.083
Lubricante	362.188.415	149.822.704	134.237.336
Mantenición	782.150.897	357.863.151	309.308.142
Neumáticos	97.377.647	67.663.444	51.088.572
TOTAL COSTOS	26.506.176.031	10.202.472.094	7.173.709.330
BENEFICIO Zona i c/r a Zona 3	19.332.466.701	3.028.762.763	0
COSTO PUENTE	7.465.116.000		

6.3 Comentarios

La diferencia de costos es producida principalmente por 3 factores: las tasas de generación y atracción de viajes usadas para cada zona, la estimación de población para cada zona y la variación en los tiempos de viaje de los usuarios que depende del largo del arco o camino a recorrer y de las velocidades promedio de desplazamiento de los modos de transporte. El largo del Arco influye en todos los costos, menos en el de mantención.

Pese a que la zona n° 3 posee una mayor longitud de arco que la zona n° 2 existe una diferencia en los costos que beneficia a la primera, que las velocidades promedio utilizadas en el cálculo de los costos de tiempo de desplazamientos de los usuarios son menores debido a que la ruta de traslado desde isla Tenglo a la zona centro, es mucho más expedita que las otras dos rutas, pues al llegar el vehículo al acceso norte, se encuentra con la avenida Pacheco Altamirano y por ahí sigue su camino hacia la zona centro (Plaza de Armas).

Para considerar esta información en el modelo se utilizaron velocidades diferentes para los modos de transporte de la zona 3, incrementándolas en un 20 % sobre el promedio de velocidades calculado, y para las zonas 1 y 2 se utilizaron velocidades 20% más lentas que el promedio (ver tabla n° 29)

Se observa que los beneficios obtenidos no cubren la inversión inicial del puente en el primer año, si no en aproximadamente 2 años y 6 meses, esto se logra realizando el proyecto en la zona 3 de isla Tenglo frente realizar la urbanización en la zona 2. La zona 1 queda muy por encima en costos en comparación con la zona 3.

6.4 Análisis de Sensibilidad 1

Se realizó una comparación de costos para el caso en que isla Tenglo se poblara con la misma cantidad de habitantes sugerida en el análisis anterior y las otras dos zonas con una población proporcional a su capacidad máxima como lo muestra la siguiente tabla 22.1, las distancias desde el centro de cada zona hasta el centro de Puerto Montt, las velocidades de los modos de transporte y la población han quedado iguales, sólo ha variado la tasa de generación usada en la zona n° 3, pues se han usado tasas de generación y atracción de viajes promedio (tabla 23 y 24). Las cuales son mucho mayores que las usadas en la modelación anterior y se acercan a las tasas que tienen la zona centro y zona centro poniente, por lo tanto equivalen a tener en Isla Tenglo centros atractores de viajes importantes como son colegios, centro comerciales, edificios gubernamentales, ya sea municipalidad o gobernación, etc., además del proyecto de urbanización.

Zona 1:

Tabla 83: Viajes generados y atraídos por periodo. Zona 1.

Estimación de viajes para zona 1: Nor Oriente		
Periodo	Viajes generados	Viajes Atraídos
	[Viajes/Hr]	[Viajes/Hr]
Punta Mañana	11758	5103
Fuera de Punta	2763	2678

Tabla 84: Viajes generados y atraídos por modo: Auto. Zona 1.

MODO: AUTO		
Periodo	Viajes generados	Viajes Atraídos
	[Veh/Hr]	[Veh/Hr]
Punta Mañana	4527	1965
Fuera de Punta	749	726

Tabla 85: Viajes generados y atraídos por modo: Taxicolectivo. Zona 1.

MODO: Taxi Colectivo		
Periodo	Viajes generados	Viajes Atraídos
	[Veh/Hr]	[Veh/Hr]
Punta Mañana	1418	2793
Fuera de Punta	1033	1096

Tabla 86: Viajes generados y atraídos por modo: Bus. Zona 1.

MODO: BUS		
Periodo	Viajes generados	Viajes Atraídos
	[Veh/Hr]	[Veh/Hr]
Punta Mañana	713	1404
Fuera de Punta	399	424

Zona 2:

Tabla 87: Viajes generados y atraídos por periodo. Zona 2.

Estimación de viajes para zona 2: Nor Poniente		
Periodo	Viajes generados	Viajes Atraídos
	[Viajes/Hr]	[Viajes/Hr]
Punta Mañana	6287	6407
Fuera de Punta	1872	1744

Tabla 88: Viajes generados y atraídos por modo: Auto. Zona 2.

MODO: AUTO		
Periodo	Viajes generados	Viajes Atraídos
	[Veh/Hr]	[Veh/Hr]
Punta Mañana	2421	2467
Fuera de Punta	507	473

Tabla 89: Viajes generados y atraídos por modo: Taxicolectivo. Zona 2.

MODO: Taxi Colectivo		
Periodo	Viajes generados	Viajes Atraídos
	[Veh/Hr]	[Veh/Hr]
Punta Mañana	1138	1160
Fuera de Punta	440	410

Tabla 90: Viajes generados y atraídos por modo: Bus. Zona 2

MODO: BUS		
Periodo	Viajes generados	Viajes Atraídos
	[Veh/Hr]	[Veh/Hr]
Punta Mañana	572	583
Fuera de Punta	170	159

Zona 3:

Tabla 91: Viajes generados y atraídos por periodo. Zona 3.

Estimación de viajes para zona 3: Isla Tenglo		
Periodo	Viajes generados	Viajes Atraídos
	[Viajes/Hr]	[Viajes/Hr]
Punta Mañana	7832	15432
Fuera de Punta	4390	4657

Tabla 92: Viajes generados y atraídos por modo: Auto. Zona 3.

MODO: AUTO		
Periodo	Viajes generados	Viajes Atraídos
	[Veh/Hr]	[Veh/Hr]
Punta Mañana	3015	5941
Fuera de Punta	1189	1262

Tabla 93: Viajes generados y atraídos por modo: Taxi colectivo. Zona 3.

MODO: Taxi Colectivo		
Periodo	Viajes generados	Viajes Atraídos
	[Veh/Hr]	[Veh/Hr]
Punta Mañana	1418	2793
Fuera de Punta	1033	1096

Tabla 94: Viajes generados y atraídos por modo: Bus. Zona 3.

MODO: BUS		
Periodo	Viajes generados	Viajes Atraídos
	[Veh/Hr]	[Veh/Hr]
Punta Mañana	713	1404
Fuera de Punta	399	424

Tabla 95: Resumen costos totales de operación por zona y beneficios para Análisis de Sensibilidad 1.

Costos Totales de Operación, 100 % población.			
Por Consumo de:	Zona 1	Zona 2	Zona 3
	[\$/año]	[\$/año]	[\$/año]
Tiempo de Viaje de los Usuarios	21.038.576.201	8.007.388.766	13.205.941.210
Combustible	4.225.882.872	1.619.734.029	4.065.629.732
Lubricante	362.188.415	149.822.704	401.566.352
Mantención	782.150.897	357.863.151	927.426.176
Neumáticos	97.377.647	67.663.444	152.468.118
TOTAL COSTOS	26.506.176.031	10.202.472.094	18.753.031.589
BENEFICIO Zona i c/r a Zona 3	7.753.144.443	-8.550.559.495	0
COSTO PUENTE	7.465.116.000		

Para este análisis se encuentra que los resultados son sensibles a las tasas de atracción y generación de viajes usada y que la opción más conveniente para realizar una urbanización es la zona 2. La construcción del puente no se justifica. La zona 1 sigue siendo la de mayores costos, y los beneficios mostrados en la tabla anterior son con respecto a la zona 3, por lo tanto los beneficios zona 1 con respecto a zona 2 son mayores en esta opción: 16.303.703.938 [\$/año].

6.5 Análisis de Sensibilidad 2

Al igual que en el análisis anterior, todos los parámetros han quedado iguales, a diferencia de las tasas de atracción y generación de viajes de isla Tenglo, pues se utilizó la siguiente combinación:

Tabla 96: Tasas de generación y atracción de viajes utilizadas para isla Tenglo

	Tasa Generación	Tasa Atracción
	[viajes/hab]	[viajes/hab]
Periodo: Punta Mañana	0,4	0,51
Periodo: Fuera de Punta	0,057	0,05

Tabla 97: Resumen costos totales de operación por zona y beneficios para Análisis de Sensibilidad 2.

Costos Totales de Operación, 100 % población.			
Por Consumo de:	Zona 1	Zona 2	Zona 3
	[\$]	[\$]	[\$]
Tiempo de Viaje de los Usuarios	21.038.576.201	8.007.388.766	7.190.955.145
Combustible	4.225.882.872	1.619.734.029	2.128.336.148
Lubricante	362.188.415	149.822.704	236.262.866
Mantención	782.150.897	357.863.151	534.482.879
Neumáticos	97.377.647	67.663.444	91.591.263
TOTAL COSTOS	26.506.176.031	10.202.472.094	10.181.628.300
BENEFICIO Zona i c/r a Zona 3	16.324.547.731	20.843.793	0
COSTO PUENTE	7.465.116.000		

La tabla de resultados anterior muestra que se puede encontrar una combinación de las tasas de generación y atracción de viajes tal que los costos de realizar la urbanización en la zona 2 y en la zona 3 sean muy similares, por lo tanto para esta combinación no existe mayor diferencia en los costos de operación entre estas dos zonas.

7 RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Se ha realizado un estudio de factibilidad técnico-económica de construir el puente que une isla Tenglo con el continente.

En la selección de emplazamientos se determinó la mejor ubicación de acuerdo a los criterios descritos, encontrándose ésta en la continuación de la avenida Pacheco Altamirano en las cercanías de la población Villa Marina.

Se mostraron diferentes tipos de puentes que pueden construirse en este sector y se analizaron 5 opciones para el diseño del puente Tenglo escogiéndose una de ellas para su pre diseño.

Se elaboró un perfil longitudinal y transversal de la opción escogida privilegiando la simplicidad de las vigas metálicas con losa colaborante, simplemente apoyadas (solución muy utilizada en Chile) y las ventajas estéticas de un puente en arco tipo Network y se realizó un pre diseño. Es bueno dejar en claro, que en base a los requerimientos y objetivos del proyecto, la elección del tipo de puente puede cambiar, es por eso que dados los objetivos de este estudio: “Integrar la isla de Tenglo al radio urbano de Puerto Montt analizando una alternativa de unión de la isla con la ciudad” y pese a que se analizó en profundidad una alternativa, las otras pueden ser factibles en años posteriores, ya sea técnica o económicamente.

De acuerdo a los datos recopilados y a una comparación con el puente Cruces (actualmente navegable), se logró verificar que el puente Tenglo, en cualquiera de los dos emplazamientos analizados, admite la navegación de naves menores, que son las que actualmente circulan por las zonas de interés mostradas.

En base a información recopilada y a la experiencia del Departamento de Puentes del Ministerio de Obras Públicas en este tema se estimó un costo para la opción escogida, el cual es de 7.454 MM \$.

Al realizar la modelación de tránsito para elegir el mejor lugar para urbanizar, se encontró que urbanizar en isla Tenglo posee menores costos en comparación con las otras dos zonas estudiadas. Estos beneficios justifican la inversión del puente Tenglo en un periodo de 2 años y 6 meses.

Los análisis de sensibilidad mostraron que la modelación es sensible a las tasas de atracción y generación de viajes, pues utilizando tasas promedio para la zona de isla Tenglo, el resultado se vuelca hacia la factibilidad económica de la zona 2, no justificándose la urbanización de la isla ni la construcción del puente. Se encontró una combinación de tasas de generación y atracción de viajes que no muestra distinción de urbanizar en la zona 2 ó en la zona de isla Tenglo. Pese a esto se toma como resultado más seguro el de la primera modelación realizada, es decir, aquel que utiliza las tasas de generación y atracción de viajes de las zonas correspondientes a su sector o al sector más cercano. De esta modelación se obtuvo la factibilidad económica de realizar un proyecto de urbanización de isla Tenglo con respecto a las otras dos zonas estudiadas.

La modelación de tránsito supone que el puente está construido, por lo que fue realizada desde otro punto de vista, pues si sólo se realiza una evaluación social utilizando el escenario tendencial actual, en términos de población actual y tasas de crecimiento estimadas en la isla, y un escenario de contraste, donde el proyecto sea sólo la construcción de un puente, habría que dejar pasar alrededor de 5 décadas para que aumenten los flujos de viaje y así sea rentable el proyecto del puente que conecte Isla Tenglo, lo que a su vez posterga la urbanización de la Isla y junto con eso su integración al radio urbano de Puerto Montt. Es por eso que los beneficios del proyecto se deben obtener no sólo por medio de los ahorros en los costos de operación de los viajes actuales y su proyección a futuro, si no que utilizando los costos de operación generados de construir un proyecto, ya sea turístico, de traslado de edificios municipales o gubernamentales hacia la isla o, como se ha supuesto en este trabajo, de urbanización, cualquiera de estos proyectos genera mayores tasas de generación y atracción de viajes en la zona, lo que está asociado a mayores costos, pero al comparar esa opción frente a realizarla en otro lugar puede generar mayores beneficios por concepto de ahorro de costos, como es el caso estudiado, ayuda a conseguir los objetivos planteados de integración de isla Tenglo de una manera económicamente factible.

Este estudio entrega un nuevo enfoque, pensado para ayudar en el proceso de toma de decisiones frente a la disyuntiva de si se debe plantear un proyecto de urbanización en una u otra zona, ya que siempre existirá la necesidad de realizar este tipo de proyectos. Pese a que este estudio comparativo no es usado actualmente por el MIDEPLAN, utiliza la actual metodología de evaluación social de proyectos de vialidad urbana.

8 ANEXO



Figura n° 30: Vista aérea: Dos opciones para ubicación de puentes.

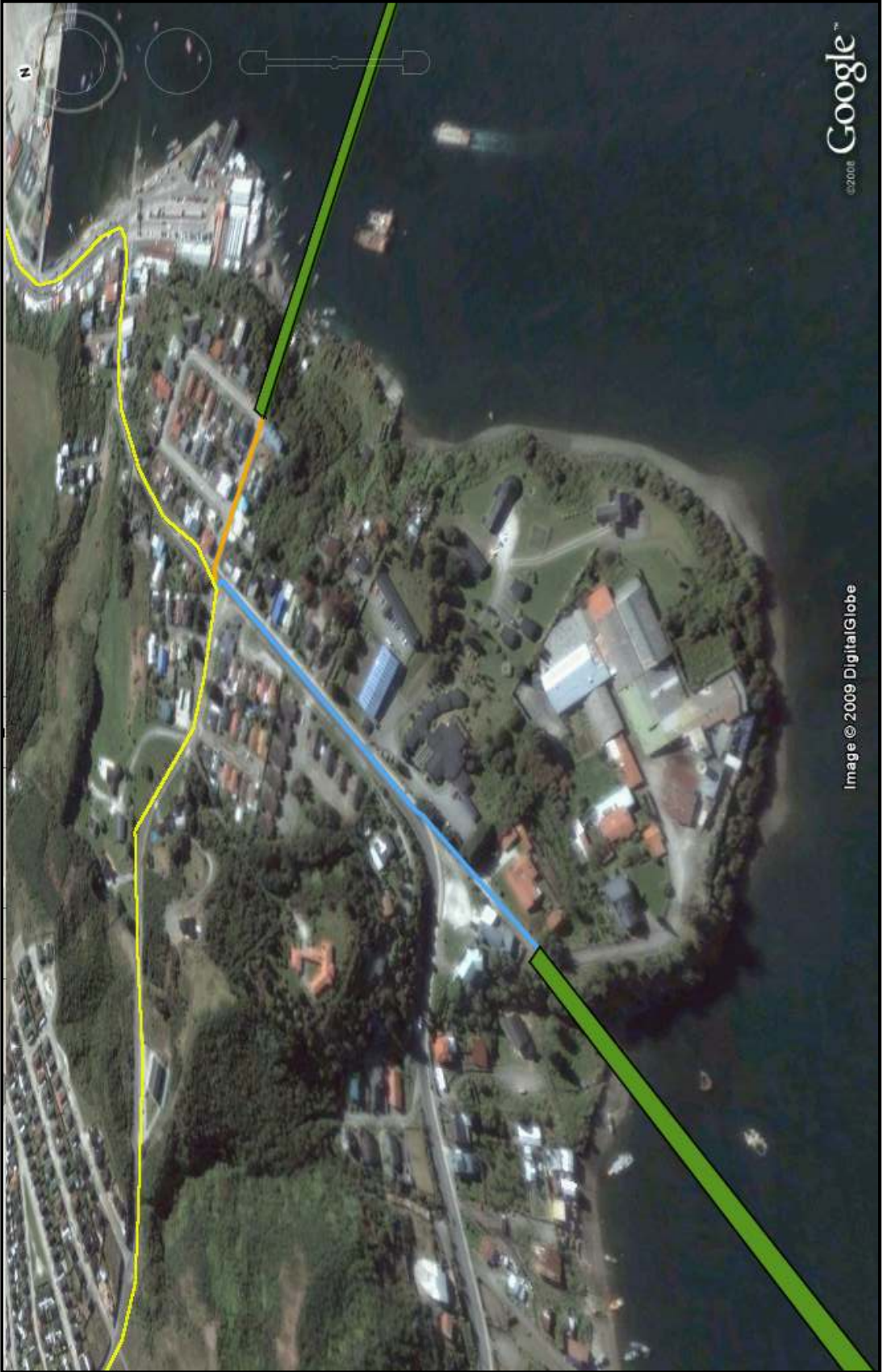


Figura n° 31: Opciones para emplazamiento de puentes con conexión a av. Principales.



Figura n° 32: Vista desde acceso sur, puente población Orellana.



Figura n° 33: Vista desde acceso Norte, puente población Orellana.



Figura n° 34: Vista desde acceso Norte, puente población villa Marina.



Figura n° 35: Fotografía de caleta Angelmo con esquema de las 2 opciones de puentes.

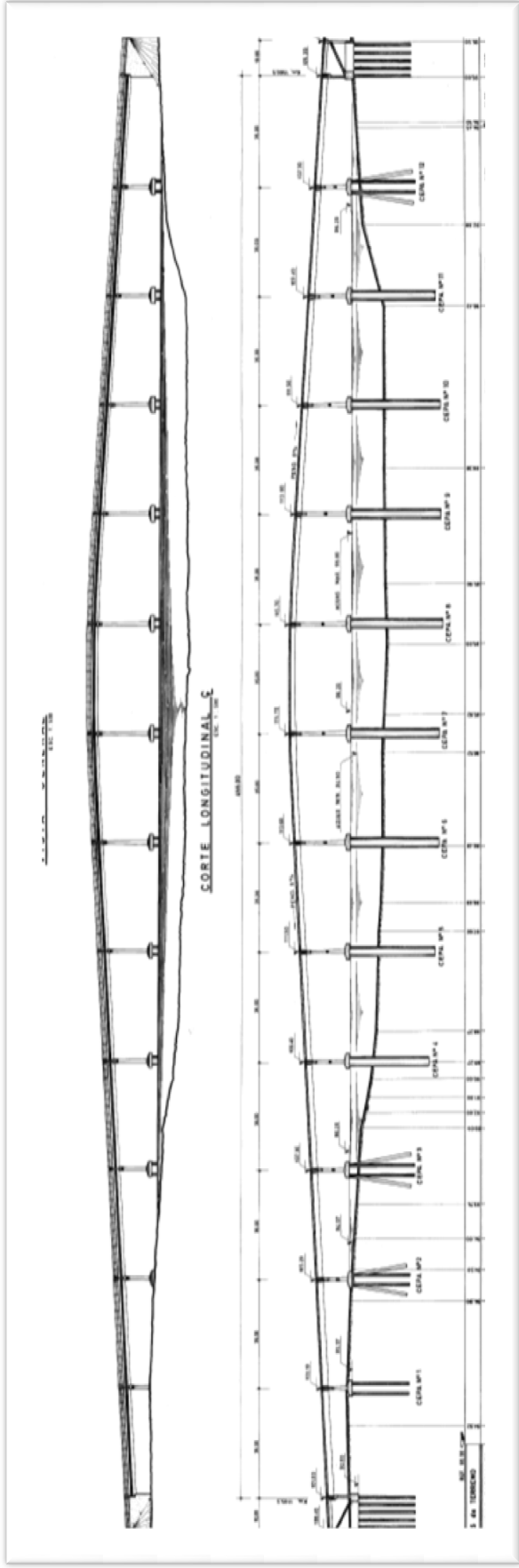


Figura n° 36: Corte Longitudinal de Puente Cruces XIV Región.

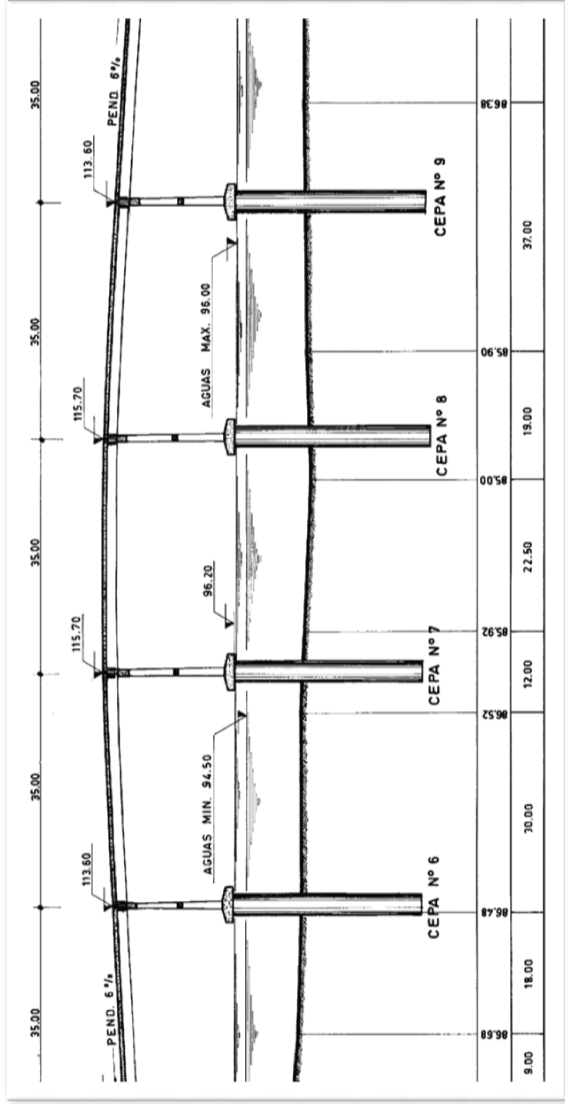


Figura n° 37: Detalle Corte Longitudinal de Puente Cruces XIV Región.

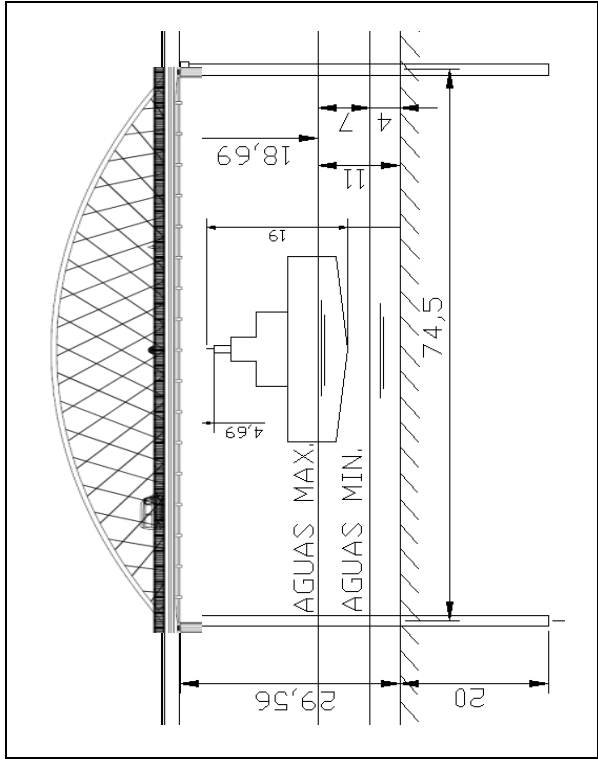
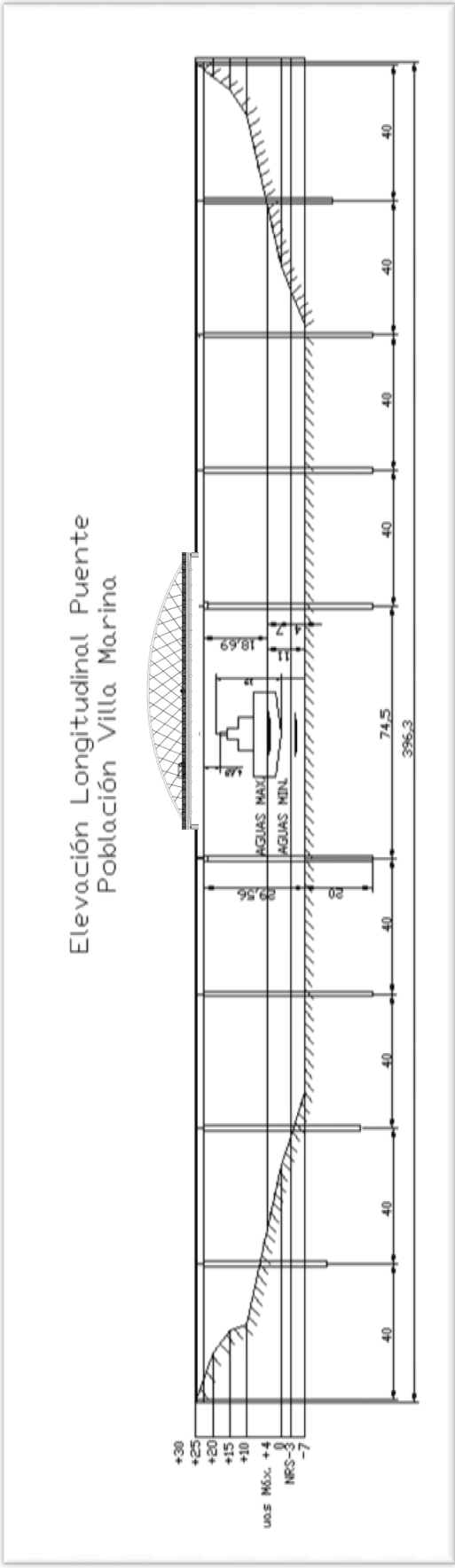


Figura nº 38 y 39 : Sección Longitudinal y detalle de distancias para cruce de naves.

Corte Transversal Puente
Población Villa Marina

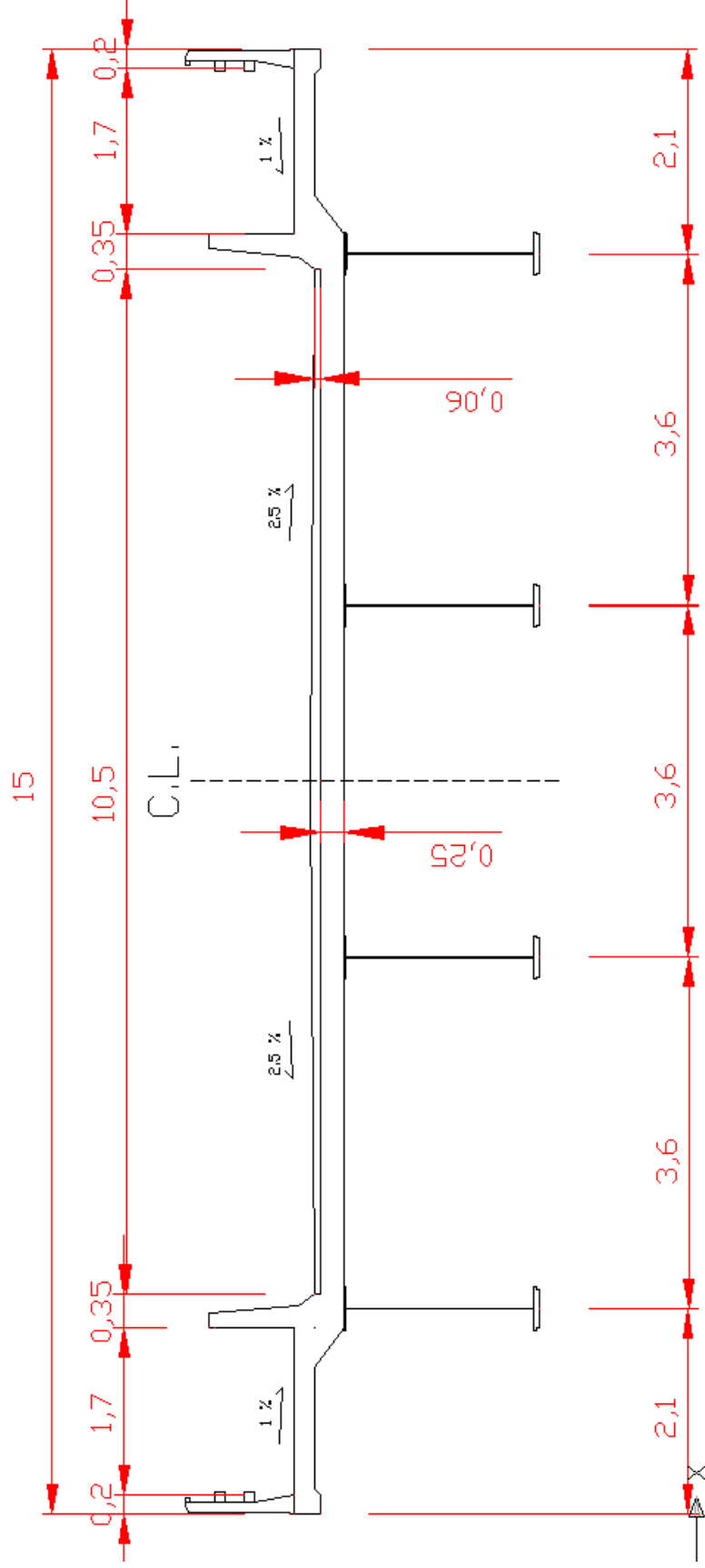


Figura n° 40: Sección transversal

Tabla 98: Propiedades viga en etapa n° 1 de construcción.

Suma Ay'	76056	cm3	0,08	m3
A total	609	cm2	0,06	m2
H	200	Cm	2,00	m
c1	124,93	Cm	1,25	m
c2	75,07	cm	0,75	m
Inercia	3679355	cm^4	0,04	m^4
A	609	cm^2	0,06	m^2
r^2	6044	cm^2	0,60	m^2
R	78	Cm	0,78	m
r^2/C1	48	Cm	0,48	m
r^2/C2	81	Cm	0,81	m
S2: I/C2	49011	cm3	0,05	m3
S1: I/C1	29452	cm3	0,03	m3

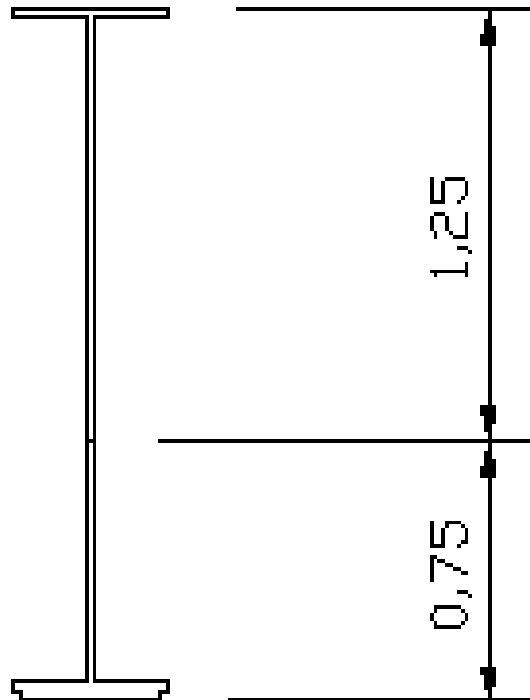


Figura n° 41: Diseño de viga metálica con losa colaborante. Sección viga en etapa de montaje.

Tabla 99: Propiedades viga con losa colaborante en etapa n° 2

Suma Ay'	95397	cm3	0,10	m3
A total	938	cm2	0,09	m2
H	225	cm	2,25	m
c1	101,65	cm	1,02	m
c2	123,35	cm	1,23	m
Inercia	7735566	cm ⁴	0,08	m ⁴
A	938	cm ²	0,09	m ²
r²	8243	cm ²	0,82	m ²
r	91	cm	0,91	m
r²/C1	81	cm	0,81	m
r²/C2	67	cm	0,67	m
S2: I/C2	62714	cm3	0,06	m3
S1: I/(C1-e)	100917	cm3	0,10	m3
S3: I/C1	76098	cm3	0,08	m3

$$n = 22,8$$

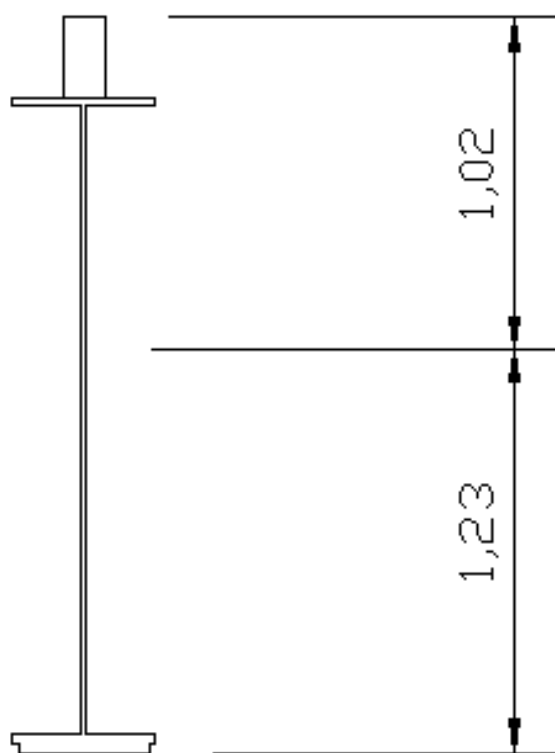


Figura n° 42: Diseño de viga metálica con losa colaborante. Sección viga en etapa de Terminación. Con sección transformada de H.A a acero.

Tabla 100: Propiedades viga con losa colaborante en etapa n° 3

Suma Ay'	103639	cm3	0,10	m3
A total	1598	cm2	0,16	m2
H	225	cm	2,25	m
c1	64,86	cm	0,65	m
c2	160,14	cm	1,60	m
Inercia	10847885	cm^4	0,11	m^4
A	1598	cm^2	0,16	m^2
r^2	6789	cm^2	0,68	m^2
R	82	cm	0,82	m
r^2/C1	105	cm	1,05	m
r^2/C2	42	cm	0,42	m
S2: I/C2	67742	cm3	0,07	m3
S1: I/(C1-e)	272121	cm3	0,27	m3
S3: I/C1	167240	cm3	0,17	m3

$$n = 7,6$$

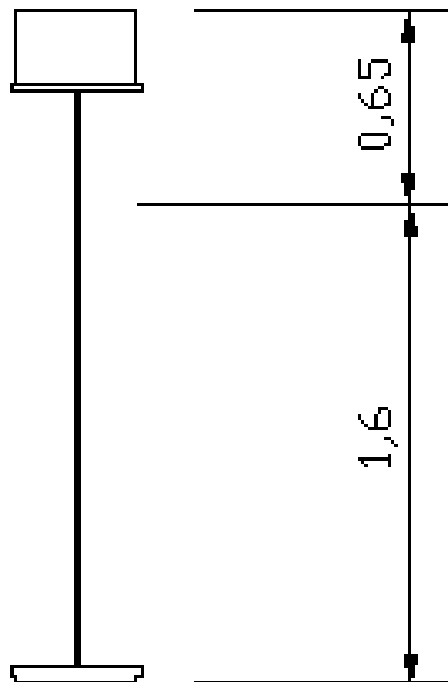


Figura n° 43: Diseño de viga metálica con losa colaborante. Sección viga en etapa de Servicio. Con sección transformada de H.A. a acero.

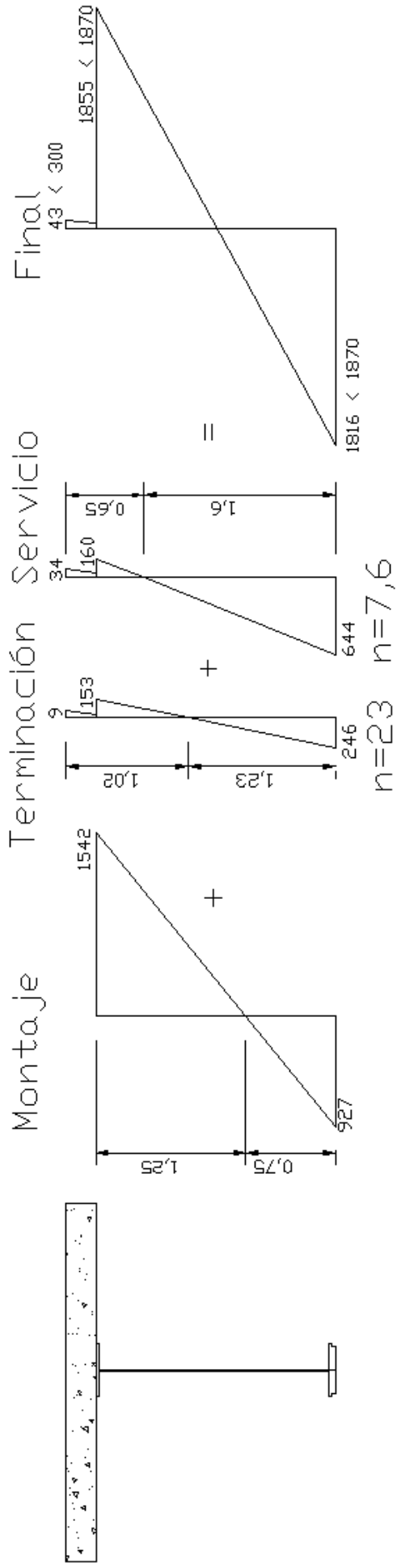


Figura nº 44: Diseño de viga metálica con losa colaborante. Verificación de tensiones en las etapas de Montaje, Terminación, Servicio y Final. Cotas en [m] y tensiones en [Kg/cm²].

Tabla 101: Tablas de Propiedades para las diferentes etapas de construcción y solicitaciones

Etapas n°1: Viga resiste su peso propio y el peso propio de la losa con sus moldajes.

Elemento n°	figura	H	B	Ai	At i	Y'	AxY'	Y	Y^2	PHI	Y^2+PHI	Ax(Y^2+PHI)
1	rectángulo	2	44	88	88	1,00	88	123,9	15358,2	0,3	15358,6	1351554,831
2	rectángulo	192	1,4	269	269	98,00	26342	26,9	725,1	3072,0	3797,1	1020670,654
3	rectángulo	3	44	132	132	195,50	25806	-70,6	4980,4	0,8	4981,1	657505,5995
4	rectángulo	3	40	120	120	198,50	23820	-73,6	5412,8	0,8	5413,5	649623,9269
n	-			609	609		76056					3,679355011E+06

Etapas n°2: Viga recibe colaboración de la losa, pero en menor medida debido a que el hormigón no ha alcanzado su resistencia completa. Cargas SIDL o de Terminación..

Elemento n°	figura	H	B	Ai	At i	Y'	AxY'	Y	Y^2	PHI	Y^2+PHI	Ax(Y^2+PHI)
0	rectángulo	25	40	989	989	13	12362	52,4	2742,0	52,1	2794,1	2763297
1	rectángulo	2	44	88	88	26,00	2288	38,9	1510,4	0,3	1510,8	132946
2	rectángulo	192	1,4	269	269	123,00	33062	-58,1	3379,8	3072,0	6451,8	1734238
3	rectángulo	3	44	132	132	220,50	29106	-155,6	24222,5	0,8	24223,3	3197472
4	rectángulo	3	40	120	120	223,50	26820	-158,6	25165,3	0,8	25166,1	3019931
n	7,58			1598	1598		103639					1,084788473E+07

Etapas n°3: Viga recibe colaboración completa de la losa y se aplican las cargas móviles.

Elemento n°	figura	H	B	Ai	At i	Y'	AxY'	Y	Y^2	PHI	Y^2+PHI	Ax(Y^2+PHI)
0	rectángulo	25	13	330	330	12,5	4121	89,2	7948,2	52,1	8000,3	2637385
1	rectángulo	2	44	88	88	26,00	2288	75,7	5723,4	0,3	5723,7	503684
2	rectángulo	192	1,4	269	269	123,00	33062	-21,3	455,7	3072,0	3527,7	948246
3	rectángulo	3	44	132	132	220,50	29106	-118,8	14124,6	0,8	14125,4	1864553
4	rectángulo	3	40	120	120	223,50	26820	-121,8	14846,7	0,8	14847,5	1781698
n	22,75			938	938		95397					7,735565915E+06

9 BIBLIOGRAFIA

1. MONDORF, P. *Concrete Bridges. 1ra Edición*. U.S.A. and Canadá: Taylor & Francis, 2006. 961 p. [ISBN 0-415-39362-0](#)
2. VALERIAN LEONTOVICH, M.S. *Pórticos y Arcos: Soluciones condensadas para el análisis estructural*. 3ra edición. Barcelona 6, España: Continental, 1967. 522 p.
3. MONDORF, P., 2007, *Diseño y construcción de puentes*, Apuntes Curso. Universidad de Chile, Santiago, Chile.
4. NAVIA, M. 2005, *Diseño de puente en arco de hormigón armado de 100 Metros de Luz*. Memoria para optar al título de ingeniero civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile. Santiago, Chile.
5. Manual de Carreteras, Volumen nº 3, Capítulo 3.1000: *Puentes y estructuras afines*, Santiago, Chile.
6. LEONHARDT, M. 1967, *Puerto Montt Año 2000*. Memoria para optar al título de Arquitecto , Facultad de Arquitectura, Universidad de Chile. Santiago, Chile.
7. Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada. 2007. *Tabla de Mareas de la Costa de Chile*, Errázuriz 254, Playa Ancha, Valparaíso, Chile.
8. República de Chile, 1994. *Estudio de Factibilidad del Nuevo Puente Biobío en Concepción*, Santiago, Chile.
9. CRISTIAN RODRIGO, 2006. *Caracterización y Clasificación de la Bahía de Puerto Montt mediante batimetría de multihaz y datos de Backscatter*, Investigaciones Marinas, Vol. 34 (1). Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Chile.
10. GUEVARA, GAETE, MORALES, 2003. *Patrimonio como fundamento para el desarrollo de capital social; el caso de un sitio arqueológico y Puntilla Tenglo*, Santiago, Chile.
11. CORPORACIÓN INSTITUTO CHILENO DEL ACERO (ICHA), 2008, *Manual de Superestructuras de acero para Puentes*, Salesianos.

12. VALENZUELA, M. 2007. *Evaluación de Factibilidad Estructural de Puentes Atirantados Tipo Network como alternativa de puentes en Chile*. Memoria para optar al título de ingeniero civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile. Santiago, Chile.
13. MANUAL DE DISEÑO Y EVALUACIÓN SOCIAL DE PROYECTOS DE VIALIDAD URBANA, MESPIVU, 1988, Santiago, CHILE. República de Chile comisión de Transporte Urbano. Secretaría Ejecutiva.
14. MINISTERIO DE PLANIFICACION Y COOPERACION (MIDEPLAN), 2008, *Precios Sociales Para la Evaluación Social de Proyectos*, Santiago, CHILE.