

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE CONCEPCIÓN – REY BALDUINO DE BÉLGICA

**PROPUESTA DE REVESTIMIENTO PARA CANAL DE RIEGO, SUB-DERIVADO
PILÉN, EN LA PROVINCIA DE CAUQUENES.**

Trabajo de Titulación para optar al Título
de Técnico Universitario en Construcción

Alumnos:

Sara María Burdiles Herrera

Javier Andrés Cofré Arízaga

Profesor guía:

Sr. Cristopher Pérez Marín

2019

AGRADECIMIENTOS

Al profesor Christopher Pérez, por su excelente disposición y buena voluntad al aceptarnos como memoristas, asumiendo y cumpliendo la responsabilidad de guiarnos de tal manera que este proyecto sea exitoso y también un aporte para el mundo de la construcción.

A los profesores que formaron parte de la comisión evaluadora, Sergio Monroy, Angélica López y Don Hernán Paredes por darnos las críticas constructivas para mejorar nuestro trabajo.

Al Departamento de Construcción de la Universidad, por formarnos íntegramente como profesionales aptos y competentes en el mundo laboral.

A Axter y a Don Ramón Rojas, por darse el tiempo de explicarnos con detalle el funcionamiento del producto presentado en nuestro trabajo de título.

Al profesor Sergio Hernández por sus consejos respecto a este trabajo que fueron de gran ayuda para continuarlo.

A la Señorita Marcia Valenzuela y a todo el grupo responsable del funcionamiento de la biblioteca de nuestra universidad.

A Don Edmundo Aravena, el presidente de la Asociación de Canalistas del Embalse Tutuvén, quién nos apoyó y resolvió todas las dudas que fueran necesarias para continuar nuestra investigación.

A la Sra. Lucía Ojeda, por darnos el acceso a su predio para estudiar el canal propuesto en este trabajo.

A Don Jorge Quezada Valenzuela, gerente técnico de la Asociación de Canalistas DIGUA – Perquelauquén, Parral, por su buena disposición para resolver y aclarar las dudas que teníamos respecto a nuestro proyecto.

Finalmente, a todos los profesores, amigos, y profesionales que fueron parte del desarrollo de este trabajo para que sea posible.

DEDICATORIA

Sara

Me gustaría agradecer a todo aquel que estuvo conmigo en todo el proceso y años de estudio, y también en la confección de nuestro trabajo de título. Principalmente a mi familia que ha estado conmigo cada vez que necesito de ellos, en especial a mi mamá Jacqueline Herrera y a mi papá Mario Burdiles que nunca terminan con su labor de padres en enseñarme y formarme en la persona que soy hoy, y también en su labor como abuelos apoyándome con mi hijo, a mi pareja Marcos Cofré que ha sido un gran padre para nuestro hijo y un gran apoyo para mi todo este tiempo, a mi suegra Karina Aguilera que cada vez que he necesitado su ayuda con Renato me ha apoyado, y al más importante mi hijo Renato Cofré que con sus ojitos y su sonrisa me ilumina todo, y me ayuda a seguir adelante con cada meta que tengo.

También a mis amigos que cuando he necesitado un hombro o alguien con quien hablar han estado para mí aconsejándome sabiendo el proceso por el que estoy pasando.

Y finalmente le agradezco mucho a mi compañero Javier Cofré por no dejar de acompañarme no solo con el trabajo de título, sino también como un amigo que siempre tiene una palabra buena o un consejo para decir.

Javier

Dedico este proyecto y trabajo de título, en primer lugar, a mi hermana, quién me mira desde lo más alto, cuidándome y dándome fuerzas para seguir adelante.

A mis padres, mi madre por ser una mujer única, atenta, servicial y trabajadora, siempre dándome el mejor consejo para seguir adelante y ser alguien en la vida. Mi padre, por darme el mejor de los apoyos incondicionales, enseñarme con su ejemplo a ser un hombre de bien, atento y cortés con los que me rodean y ser fuerte en la vida.

A mi hermano, quién es un ejemplo para mí y me orientó a estudiar esta carrera, recordándome siempre que podemos lograr todo lo que queramos en la vida con esfuerzo y ganas, a nunca dejar a medio hacer algo por muy insignificante que sea y siempre hacerlo con la máxima dedicación posible.

A todos los que formaron parte de mi proceso formativo, profesores, compañeros y amigos, quienes me ayudaron, acompañaron y me hicieron ser quien soy hoy.

Finalmente, a mi compañera, Sara, por ser la mejor tesista y amiga con quién pude trabajar, por sus consejos, ideas, ayuda y buena disposición para hacer esto posible.

RESUMEN DEL PROYECTO

El presente análisis técnico-económico está enfocado a formular una propuesta de mejoramiento para el canal sub-derivado Pilén proveniente del embalse Tutuvén, ubicado en la provincia de Cauquenes, Región del Maule, por la carencia de sistemas de impermeabilización o revestimientos que protejan y lleven de buena manera el agua desde la toma (embalse Tutuvén) hasta el usuario final.

Considerando el hecho que Cauquenes es una zona agrícola caracterizada por la producción de uva, es esencial tener una buena captación de agua de parte de los agricultores para el riego sus plantaciones, por eso, este estudio técnico-económico identificará los problemas que poseen los canales de regadío en la zona y propondrá a un canal, en base a estudios y análisis de los tipos de revestimientos. Primero se realizará un análisis geográfico de la zona donde se ubica el canal, luego un análisis técnico preliminar y posteriormente económico de los revestimientos donde se evaluarán ventajas de estos, costos, calidad de materiales, especificaciones técnicas de los revestimientos y métodos constructivos de cada uno.

Para lograr los objetivos propuestos, se realizó una serie de procedimientos tales como; visitas a terreno, búsqueda de información en internet, recopilación de antecedentes basados en las entrevistas hechas, una investigación respecto a los tipos de revestimientos para los canales de regadío donde se consideró estudios hidráulicos, métodos constructivos, especificaciones técnicas, y un estudio económico con análisis de precios unitarios al revestimiento seleccionado previamente por un análisis técnico.

Los canales de regadío poseen gran importancia para la agricultura, permiten recorrer grandes distancias y de esto se benefician los agricultores enormemente, es por eso necesario que tengan una protección y existan líneas de fomento para el agricultor que cuiden estos medios físicos para su máximo provecho, también, el aprovechar adecuadamente el agua cuida el medio ambiente de la escasez hídrica que posee nuestro país actualmente, disminuyendo así los problemas que enfrentan los agricultores constantemente año a año.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1.	INTRODUCCIÓN	1
1.1	Introducción	1
1.2	Objetivos del proyecto.....	4
1.3	Metodología para realizar el proyecto	4
1.4	MARCO TEÓRICO.....	5
1.4.1	Definiciones respecto a canales de riego	5
1.4.2	Embalse	7
1.4.3	Tipos de distribución de aguas superficiales de lagos y embalses	8
1.4.4	Bocatoma.....	9
1.4.5	Canalización	10
1.4.6	Tipos de canales de riego.....	11
1.4.7	Estructuras que forman parte de un canal de riego.....	12
1.4.8	Tipos de revestimientos para canales de regadío	14
1.4.9	Subsidio para agricultores en Chile.....	18
1.5	MARCO NORMATIVO	19
1.5.1	CÓDIGO DE AGUAS, DECRETO LEY N° 3.549 DE 1981.	19
1.5.2	LEY 18.450 DE FOMENTO DE LA INVERSIÓN PRIVADA EN OBRAS DE RIEGO Y DRENAJE DE 1985.	19
1.5.3	CÓDIGO SANITARIO (DECRETO CON FUERZA DE LEY 725 DEL MINISTERIO DE SALUD PÚBLICA).....	19
1.5.4	DECRETO LEY 3557, DE 1980 DE REQUISITOS DE CALIDAD DE AGUA PARA DIFERENTES USOS.....	19
1.5.5	LEY 19.300 DEL MINISTERIO SECRETARÍA GENERAL DE LA PRESIDENCIA.	19
1.5.6	NORMA CHILENA NCH N°1333 DE 1978.....	19
1.5.7	DFL 1, 21 DE FEBRERO DE 1990. MINISTERIO DE SALUD.....	19
1.5.8	DECRETO 90, 30 DE MAYO DE 2000. MINISTERIO SECRETARÍA GENERAL DE LA PRESIDENCIA.....	20
2.	VENTAJAS DE REVESTIR UN CANAL	21
2.1	Ventajas	22
2.1.1	22
2.1.2	Resistencia a la rotura.....	22

2.1.3	Eliminación de la vegetación	23
2.1.4	Aumento del caudal	23
2.1.5	Disminuye costos de mantenimiento	23
2.1.6	Reduce costos de riego.....	24
2.1.7	Protección de la salud pública.....	24
2.1.8	Acortamiento del trazado.....	24
2.1.9	Eliminación del efecto de la salinización de las tierras	24
3.	ESTUDIOS GEOGRÁFICOS PRELIMINARES.....	26
3.1	Información del lugar.....	27
3.2	Ubicación de la comuna.....	28
3.3	Clima.....	29
3.4	Hidrografía	29
3.5	Suelo y su uso	29
3.6	Vegetación	30
3.7	Geomorfología	31
3.7.1	Cordillera de la Costa	31
3.7.2	Cuenca Granítica de Cauquenes.....	31
3.8	Antecedentes demográficos.....	32
4.	ESTUDIO DE CANALES DE REGADÍO DERIVADOS DEL EMBALSE TUTUVÉN.....	33
4.1	Estudio técnico del Embalse Tutuvén	34
4.1.1	Antecedentes del Embalse Tutuvén	34
4.1.2	Situación legal de la propiedad del agua	36
4.1.3	Sistema de repartición	36
4.1.4	Recursos humanos	37
4.1.5	Disponibilidad de agua para riego	37
4.1.6	Superficie de riego.....	38
4.1.7	Sistema de conducción.....	39
4.2	Canales del Embalse Tutuvén	40
4.2.1	CANAL MATRÍZ TRONCO.....	40
4.2.2	CANAL DERIVADO ROSAL MATRÍZ	40
4.2.3	CANAL SUB-DERIVADO ROSAL ALTO	41
4.2.4	CANAL SUB-DERIVADO ROSAL BAJO	41
4.2.5	CANAL DERIVADO SAN MIGUEL (RAMAS NORTE Y SUR).....	41
4.2.6	CANAL MOTEBRUNO	42

4.2.7	CANAL DERIVADO CAUQUENES	42
4.2.8	CANAL SUB-DERIVADO EL BOLDO	42
4.2.9	CANAL DERIVADO PILÉN	43
4.2.10	CANAL DERIVADO MIRAFLORES	43
4.3	VISITA A TERRENO CANALES	44
4.3.1	CANAL VISITADO: CANAL TUTUVÉN, DERIVADO MIRAFLORES	45
5.	PROPUESTA DE REVESTIMIENTO A CANAL	50
5.1	Selección de canal a revestir	51
5.2	Fotografías Predio Lucía Ojeda.....	52
5.3	Sección de canal a revestir sub-derivado Pilen, predio Lucía Ojeda	55
5.3.1	Ubicación Geográfica.....	55
5.3.2	Fotografías visita a terreno	56
5.3.3	Análisis técnico de sección de canal.....	60
5.4	Perfiles longitudinales y transversales de sección de canal.....	70
5.5	Análisis Hidráulico	76
5.5.1	Uso de HCanales	77
5.5.2	Análisis de resultados.....	79
5.6	Cálculo de movimiento de tierra y pendiente de canal	80
5.7	Análisis de precios unitarios de geomembrana bituminosa (Coletanche de Axter) 82	
6.	CONCLUSIONES	86

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Ollas de captación pluvial.	5
Ilustración 2: Captación de arroyos.	6
Ilustración 3: Captación de río con rejas autolimpiantes.	6
Ilustración 4: Captación de embalse El Atazar.	6
Ilustración 5: Captación de embalse El Atazar.	7
Ilustración 6: Embalse estacional El Planchón.	7
Ilustración 7: Embalse Multianual Puclaro.	8
Ilustración 8: Ejemplo de captación sumergida directamente en el fondo del embalse.	8
Ilustración 9: Torre de toma embalse Puentes Viejas.	9
Ilustración 10: Ejemplo de captación flotante en embalse.	9
Ilustración 11: Bocatoma Permanente.	10
Ilustración 12: Bocatoma provisoria, pata de cabra.	10
Ilustración 13: Canalización de un cauce.	10
Ilustración 14: Canal de regadío revestido de hormigón.	11
Ilustración 15: Marco partidor metálico.	12
Ilustración 16: Marco partidor metálico.	12
Ilustración 17: Canoa metálica, Canal Rabones.	13
Ilustración 18: Sifón de Tortuero.	13
Ilustración 19: Revestimiento de hormigón.	14
Ilustración 20: Revestimiento de Concreto asfáltico.	14
Ilustración 21: Revestimiento de mampostería.	15
Ilustración 22: Revestimiento de Shotcrete.	15
Ilustración 23: Revestimiento de losetas prefabricadas de Hormigón.	16
Ilustración 24: Revestimiento de Suelo-cemento plástico.	16
Ilustración 25: Revestimiento de suelo.	17
Ilustración 26: Revestimiento de Geomembrana de HDPE.	17
Ilustración 27: Plaza de Armas de Cauquenes (Camila Figueroa, Flickr, 2013)	27
Ilustración 28: Plaza de Armas de Cauquenes (Camila Figueroa, Flickr, 2013)	27
Ilustración 29: Mapa Región del Maule (Wikipedia, s.f.)	28
Ilustración 30: Imagen Aérea Cauquenes (Pablo C.M., Flickr, 2012)	28
Ilustración 31: Embalse Tutuvén (Fabrizio Fernandini, Flickr, 2011)	34
Ilustración 32: Embalse Tutuvén (Fuente Propia, 2019)	35
Ilustración 33: Embalse Tutuvén (Fuente Propia, 2019)	35
Ilustración 34: Embalse Tutuvén (Fuente Propia, 2019)	35
Ilustración 35: Canales de Riego Provincia de Cauquenes (eSIIR, s.f)	39
Ilustración 36: Canal Miraflores (Fuente Propia, 2019)	46
Ilustración 37: Canal Miraflores (Fuente Propia, 2019)	46
Ilustración 38: Canal Miraflores (Fuente Propia, 2019)	46
Ilustración 39: Canal Miraflores (Fuente Propia, 2019)	47

Ilustración 40: Canal Miraflores (Fuente Propia, 2019).....	47
Ilustración 41: Canal Tutuvén, derivación Miraflores (Elaboración propia, Google Earth)	49
Ilustración 42: Tranque Acumulador de Aguas (Fuente Propia, 2019).....	52
Ilustración 43: Tranque Acumulador de Aguas (Fuente Propia, 2019).....	52
Ilustración 44: Tranque Acumulador de Aguas (Fuente Propia, 2019).....	52
Ilustración 45: Plantas de Exportación (Fuente Propia, 2019).....	53
Ilustración 46: Plantación de Vides (Fuente Propia, 2019)	53
Ilustración 47: Plantación de Vides (Fuente Propia, 2019)	53
Ilustración 48: Canal Cubierto con Lona (Fuente Propia, 2019).....	54
Ilustración 49: Canal Cubierto con Lona (Fuente Propia, 2019).....	54
Ilustración 50: Canal Cubierto con Lona (Fuente Propia, 2019).....	54
Ilustración 51: Canal Cubierto con Lona (Fuente Propia, 2019).....	54
Ilustración 52: Ubicación Geográfica de Canal a Revestir (Fuente Propia, Google Earth, 2019)	55
Ilustración 53: Canal de Riego, Propuesta a Revestir (Fuente Propia, Google Earth, 2019)	55
Ilustración 54: Sección de Canal Derivado Pilén, Propuesta a Revestir (Fuente Propia, 2019)	56
Ilustración 55: Sección de Canal Derivado Pilén, Propuesta a Revestir (Fuente Propia, 2019)	56
Ilustración 56: Sección de Canal Derivado Pilén, Propuesta a Revestir (Fuente Propia, 2019)	57
Ilustración 57: Sección de Canal Derivado Pilén, Propuesta a Revestir (Fuente Propia, 2019)	57
Ilustración 58: Sección de Canal Derivado Pilén, Propuesta a Revestir (Fuente Propia, 2019)	58
Ilustración 59: Sección de Canal Derivado Pilén, Propuesta a Revestir (Fuente Propia, 2019)	58
Ilustración 60: Sección de Canal Derivado Pilén, Propuesta a Revestir (Fuente Propia, 2019)	59
Ilustración 61: Sección de Canal Derivado Pilén, Propuesta a Revestir (Fuente Propia, 2019)	59
Ilustración 62: Composición Geomembrana Coletanche (Axter, s.f.).....	62
Ilustración 63: Perfil Longitudinal (Fuente Propia)	71
Ilustración 64: Perfil Transversal N°1 (Fuente Propia)	72
Ilustración 65: Perfil Transversal N°2 (Fuente Propia)	72
Ilustración 66: Perfil Transversal N°3 (Fuente Propia)	72
Ilustración 67: Perfil Transversal N°4 (Fuente Propia)	73
Ilustración 68: Perfil Transversal N°5 (Fuente Propia)	73
Ilustración 69: Perfil Transversal N°6 (Fuente Propia).....	73
Ilustración 70: Perfil Transversal N°7 (Fuente Propia)	74
Ilustración 71: Perfil Transversal N°8 (Fuente Propia)	74

Ilustración 72: Perfil Transversal N°9 (Fuente Propia)	74
Ilustración 73: Perfil Transversal N°10 (Fuente Propia)	75
Ilustración 74: Perfil Transversal N°11 (Fuente Propia)	75
Ilustración 76: HCanales, Sección sin Revestir (HCanales 3.1)	77
Ilustración 77: HCanales, Sección Revestida con Coletanche ES2 (HCanales 3.1)	78
Ilustración 75: Sección Propuesta para Revestimiento de Canal (Fuente Propia)	84

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: PIB Región del Maule (Banco Central de Chile, 2016)	2
Tabla 2: Trabajadores según rubro económico, 2014 y 2016, (Estadísticas de Empresa, Servicio de Impuestos Internos)	2
Tabla 3: Censos de población 2002 y 2017, (Instituto Nacional de Estadísticas, 2017)	3
Tabla 4: Población total Comuna de Cauquenes	32
Tabla 5: Red de canales del sistema de riego Embalse Tutuvén. (Comisión Nacional de Riego, 2009).....	39
Tabla 6: Descripción de Canal Matríz Tronco (CNR, s.f)	40
Tabla 7: Descripción de Canal Derivado Rosal Matríz (CNR, s.f).....	40
Tabla 8: Descripción de Canal Sub-Derivado Rosal Alto (CNR, s.f)	41
Tabla 9: Descripción de Canal Sub-Derivado Rosal Bajo (CNR, s.f).....	41
Tabla 10: Descripción de Canal Derivado San Miguel (CNR, s.f).....	41
Tabla 11: Descripción de Canal Derivado Cauquenes (CNR, s.f).....	42
Tabla 12: Descripción de Canal Sub-Derivado El Boldo (CNR, s.f)	42
Tabla 13: Descripción de Canal Derivado Pilén (CNR, s.f)	43
Tabla 14: Descripción de Canal Derivado Miraflores (CNR, s.f)	43
Tabla 15: Obras en Sección Visitada (Fuente Propia, 2019)	48
Tabla 16: Cuadro Precio Unitario N°1 (Fuente Propia)	84
Tabla 17: Cuadro Precio Unitario N°2 (Fuente Propia)	84
Tabla 18: Cuadro Precio Unitario N°3 (Fuente Propia)	85
Tabla 19: Cuadro Precio Unitario N°4 (Fuente Propia)	85
Tabla 20: Cuadro Presupuesto Final, Metro Lineal Revestido con Coletanche ES2 (Fuente Propia).....	85
Tabla 21: Precio Final Costo de Revestir Total de Canal (Fuente Propia).....	85

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción

Desde el principio de los tiempos y a partir de la necesidad del ser humano de asentarse y organizarse en un lugar, el agua ha sido un factor de gran importancia para la toma de decisiones. Solo con observar los primeros asentamientos en Chile de hace más de 10 mil años atrás es posible apreciar la valoración de esta. Con el aumento y necesidad de la producción agrícola y el posterior asentamiento de los antiguos pueblos en localidades, el uso y manejo del agua se transformó en una condición de vital importancia para el crecimiento y conservación de los poblados agrícolas, poblados y primeras zonas urbanas.

El agua ofrece la cobertura de necesidades esenciales como son el consumo, higiene personal, riego de cultivos, ganadería, etc. es por esto que el constante uso y manipulación del recurso hizo que se transforme en una de las tecnologías iniciales aprendidas por el hombre.

Considerando que en Chile hace más de 50 años vive un importante número de gente que se relaciona indirecta o directamente a base de rubros dedicados a la agricultura, es necesario que exista la construcción de obras de riego. Por ello, La Dirección de Obras Hidráulicas del Ministerio de Obras Públicas hace un papel de sostenedor de este sector económico el cual crece cada día.

Dentro de este grupo de gente nos encontramos con variados tipos de cultivos que abastecen a consumidores nacionales como internacionales. Una gran mayoría corresponde a la producción de uva que es exportada no solo para el consumo directo, sino que también como vino. Para ser posible la producción de los variados tipos de cultivos, es necesario hacer continuos mejoramientos a los medios físicos que permiten llevar el producto a la mesa del consumidor, por tanto, es de vital importancia mantener un favorable aprovechamiento de las aguas que abastecen a las plantaciones.

Nuestro país presenta una gran demanda de agua de riego, siendo la superficie regada a nivel nacional de 1.09 millones de hectáreas y presentando la actividad agropecuaria en conjunto con la forestal un 3.7% del PIB (2009) siendo un pilar fundamental en la economía del PIB y el empleo.

En la Región de Maule la actividad agropecuaria silvícola ocupa un 622.57 de un total de 4597,91 de PIB en el año 2016. Siendo unas de las más importantes en el incremento de este. Con esto se quiere recalcar que para fortalecer esta actividad se debe tener un buen aprovechamiento de aguas, y en la provincia de Cauquenes, precisamente en los canales provenientes del embalse Tutuvén, existen varios canales de regadío sin revestimiento, lo que provoca un gran porcentaje de pérdida desde el inicio del trayecto hacia los agricultores que aprovechan las aguas. Esto es uno de los factores que producen poca competitividad de la zona en agricultura.

Producto Interno Región del Maule, por actividad económica 2016 (miles de millones de pesos encadenados)	2016
Agropecuario Silvícola	622,57
Pesca	1,19
Minería	79,52
Industria Manufacturera	568,3
Electricidad, Gas, Agua y Gestión de Desechos	283,78
Construcción	454,41
Comercio, Restaurantes y Hoteles	380,72
Transporte, Información y Comunicaciones	357,62
Servicios Financieros y Empresariales	367,33
Servicios de Vivienda e Inmobiliarios	441,37
Servicios Personales	732,08
Administración Pública	320,26
PIB	4597,91

Tabla 1: PIB Región del Maule (Banco Central de Chile, 2016)

Rubro Empresa	Cauquenes		Región del Maule		Chile	
	2014	2016	2014	2016	2014	2016
Agricultura, ganadería, caza y silvicultura	2.906	3.409	154.353	155.584	1.014.130	1.007.039
Pesca	0	0	194	39	92.997	77.761
Explotación de minas y canteras	77	86	2.209	2.618	117.476	102.305
Industrias manufactureras no metálicas	1.292	844	31.200	29.289	757.170	731.526
Industrias manufactureras metálicas	57	133	6.736	6.852	421.341	392.759
Suministro de electricidad, gas y agua	10	12	1.428	1.388	71.134	69.181
Construcción	188	126	33.583	39.358	1.450.460	1.431.107
Hoteles y restaurantes	90	83	7.439	7.964	304.915	331.878
Transporte, almacenamiento y comunicaciones	136	149	14.549	16.093	490.545	493.584
Enseñanza	233	249	13.571	15.721	451.777	484.458
Servicios sociales y de salud	33	47	9.726	11.047	235.263	257.528
Sin información	0	0	58	105	1.042	1.566

Tabla 2: Trabajadores según rubro económico, 2014 y 2016, (Estadísticas de Empresa, Servicio de Impuestos Internos)

En Cauquenes, Región del Maule, se encuentran muchos productores agricultores que hacen uso de los canales de riego provenientes del embalse Tutuvén, estos canales carecen de revestimientos que protejan de filtraciones por lo que se estima, según INIA (Instituto de Investigaciones Agropecuarias), pérdidas de un 30% a 20%.

El Embalse Tutuvén posee una capacidad de 20 Hm³, y se encuentra en la provincia de Cauquenes, VII Región del Maule y abastece una importante área de riego. Se construyó entre los años 1945 y 1950 para regular los ríos Tutuvén y el Estero Tobalguén, regadío que alcanzó a 2.161 ha nuevas y 340 ha mejoradas.

De las cuatro provincias de la VII Región del Maule, Cauquenes es la más pequeña en superficie y población, contando con 2126.3 km² y 40.441 habitantes según el Censo 2017. (Dirección de Obras Hidráulicas)

Unidad Territorial	Censo 2002	Censo 2017	Variación (%)
Comuna de Cauquenes	41.217	40.441	-1,88
Región del Maule	908.097	1.044.950	15,07
País	15.116.435	17.574.003	16,26

Tabla 3: Censos de población 2002 y 2017, (Instituto Nacional de Estadísticas, 2017)

Es importante también, considerar las primeras mediciones realizadas por el Balance Hídrico Nacional, del 2019, donde se arroja un déficit de la disponibilidad de aguas en el país de entre un 10% y un 37%, dando aún más importancia a la necesidad de poseer revestimientos en los canales y así contribuir con el cuidado del recurso agua. (Dirección General de Aguas, 2019)

Este proyecto de título englobará los problemas del poco aprovechamiento de aguas provenientes del embalse Tutuvén, el cual consta de canales de distribución hacia parcelas o fundos aledaños, la problemática está en los canales que se originan de este embalse que carecen de un revestimiento que logre mejorar el aprovechamiento de estas aguas, es decir, que disminuya las pérdidas que los canales sufren al no tener un sistema de impermeabilización que proteja o separe el terreno del agua que transita por estos canales.

Y es por eso, que consideramos necesario analizar técnica y económicamente los revestimientos de canales de riego, proponer uno en base a un canal elegido y así dar a conocer a los locatarios una solución a las filtraciones que provocan pérdidas y mal uso del recurso.

1.2 Objetivos del proyecto

- **Objetivo General**

- Análisis técnico económico de propuesta de mejoramiento para una sección del canal derivado Pilén proveniente del embalse Tutuvén de la provincia de Cauquenes.

- **Objetivos Específicos**

- Identificar tipos de canales de riego existentes derivados del embalse Tutuvén.
- Realizar un levantamiento topográfico con un análisis hidráulico a la sección del canal derivado Pilén, embalse Tutuvén de la provincia de Cauquenes.
- Proponer un revestimiento a la sección del canal derivado Pilén, embalse Tutuvén de la provincia de Cauquenes.
- Evaluar económicamente el revestimiento seleccionado mediante el desarrollo de precios unitarios, cubicaciones y presupuesto.

1.3 Metodología para realizar el proyecto

El procedimiento de trabajo que emplearemos en nuestro trabajo de título consiste en:

- Visitas a terreno, observando los distintos canales de regadío, no revestidos y revestidos, los tipos de revestimientos existentes, cómo estos han funcionado para los usuarios del sector, las principales problemáticas, etc.
- Búsqueda de información en internet, que contemplará el análisis de estudios respecto a los canales de regadío y embalses en el país
- Estudiar y analizar los distintos tipos de revestimientos para canales de riego, para así proponer uno que sea ideal para la sección propuesta

1.4 MARCO TEÓRICO

Considerando que el foco central al que apunta este trabajo de título son canales de riego con falencias de aprovechamiento, es necesario nombrar y definir algunos parámetros conceptuales que serán útiles para entender el tema en cuestión.

1.4.1 Definiciones respecto a canales de riego

1.4.1.1 Bien nacional de uso público

Se refiere al cauce de un río, estero o quebrada, de propiedad fiscal y que es administrado por las Municipalidades.

1.4.1.2 Captaciones de aguas superficiales

Se define como obras destinadas a la extracción de aguas.

Según la NCH777/1 se debe fijar de acuerdo con las características geológicas, hidrológicas y topográficas de la zona o cuenca.

Las captaciones de aguas superficiales pueden ser:

- De agua de lluvia (pluviales)



Ilustración 1: Ollas de captación pluvial.

- De arroyos y ríos



Ilustración 2: Captación de arroyos.



Ilustración 3: Captación de río con rejillas autolimpiantes.

- De lagos o embalse



Ilustración 4: Captación de embalse El Atazar.

1.4.2 Embalse

Es una estructura que permite almacenar agua de las crecidas y/o excedentes a las demandas en los ríos, que permite regular el agua que ingresa a los canales de riego de los predios. Existen distintos tipos de embalses, estos se clasifican y definen de la siguiente forma:

- **De Regulación Corta (Noche) o de Fin de Semana:** Acumulan el agua durante la noche en que generalmente no se riega, o durante el fin de semana.



Ilustración 5: Captación de embalse El Atazar.

- **Estacionales:** Acumulan el agua durante un año hidrológico (Período de un año que se inicia con un período de lluvia y termina con un período de estiaje) y se llenan generalmente todos los años de hidrología normal para utilizarla durante una temporada de riego.

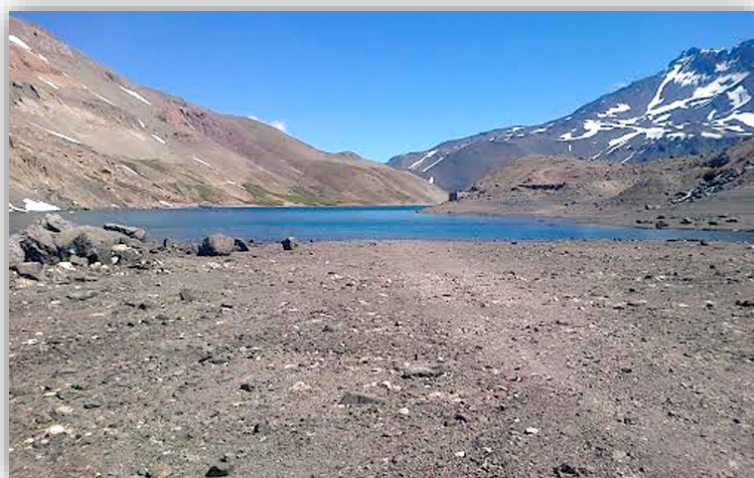


Ilustración 6: Embalse estacional El Planchón.

- **Multianuales:** Se alimentan con los aportes de las crecidas eventuales de ríos y esteros y abastecen varias temporadas de riego.



Ilustración 7: Embalse Multianual Puclaro.

Cabe mencionar que este tipo de captación se utiliza para variadas finalidades, como lo es el Riego de cultivos, la minería, la generación de electricidad, uso sanitario y turístico.

1.4.3 Tipos de distribución de aguas superficiales de lagos y embalses

La toma de aguas en lagos o embalses se realiza mediante el establecimiento de torres de toma o mediante tuberías, a más o menos profundidad, unidas directamente a la impulsión. Algunos de ellos son:

- Tomas directas sumergidas en el fondo

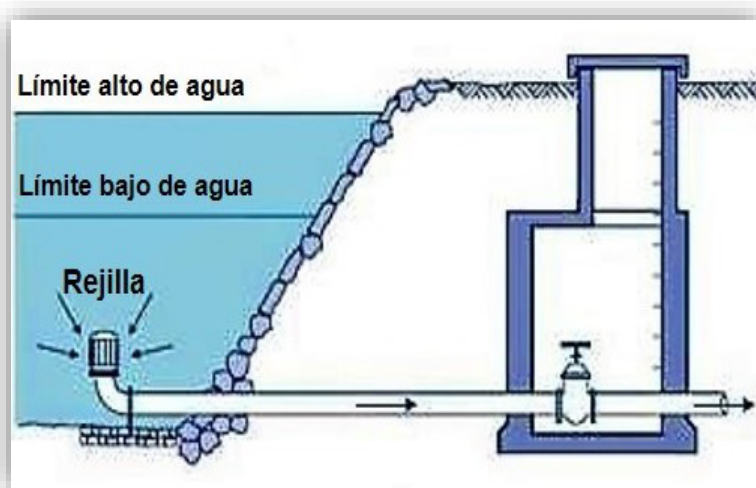


Ilustración 8: Ejemplo de captación sumergida directamente en el fondo del embalse.

- Plataformas fijas: muelle de toma, torre de toma.



Ilustración 9: Torre de toma embalse Puentes Viejas.

- Plataformas flotantes

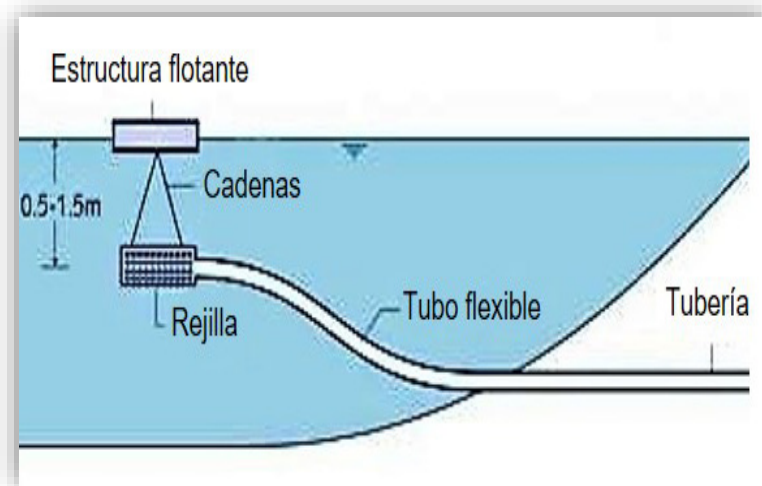


Ilustración 10: Ejemplo de captación flotante en embalse.

1.4.4 Bocatoma

Estructura premunida de compuertas y sistemas desarenadores en la ribera de un río, estero o quebrada mediante la cual se capta agua para conducirla por un canal a la zona de riego.

Hay bocatomas provisionarias o rústicas, como las denominadas “patas de cabra”, y bocatomas permanentes consistentes en estructuras hidráulicas definitivas con dispositivos de control y medición.



Ilustración 11: Bocatoma Permanente.



Ilustración 12: Bocatoma provisoria, pata de cabra.

1.4.5 Canalización

Se realiza para encauzar por medio de obras artificiales el cauce natural de un curso de agua, con la finalidad de delimitar el cauce, proteger los márgenes contra erosiones o inundaciones, recuperar terrenos.



Ilustración 13: Canalización de un cauce.

1.4.6 Tipos de canales de riego

1.4.6.1 Canal de riego

Elemento que consiste en conducir el agua desde una presa hasta el campo donde será aplicado a los cultivos. También puede utilizarse para uso doméstico y abastecer de agua a la ganadería.



Ilustración 14: Canal de regadío revestido de hormigón.

1.4.6.2 Canal Matriz

Es el canal principal que capta del río o embalse, nace de la bocatoma y conduce la totalidad del agua y va haciendo entregas a los canales derivados, secundarios o terciarios hasta llegar a los predios.

1.4.6.3 Canal Derivado

Canal que nace de un canal matriz y conduce una parte del caudal de éste.

1.4.6.4 Canal Secundario

Canal que nace de un canal matriz o de un canal derivado y que permite regar directamente y/o entregar el agua a canales terciarios.

1.4.6.5 Canal Terciario

Canal que permite regar directamente entregando el agua en cada predio

1.4.7 Estructuras que forman parte de un canal de riego

1.4.7.1 Marco partidor

Estructura hidráulica que sirve para dividir en partes proporcionales el caudal de un canal dependiendo de los derechos de aprovechamiento de aguas que posean los sub-derivados de dicho canal principal de riego.



Ilustración 16: Marco partidor metálico.



Ilustración 15: Marco partidor metálico.

1.4.7.2 Canoa

Estructura hidráulica de hormigón, metálica, madera u otro material que forma parte de un acueducto. Sirve para sortear un sector o punto bajo del terreno para permitir el atraveso de un cauce natural y posee un régimen de escurrimiento libre.



Ilustración 17: Canoa metálica, Canal Rabones.

1.4.7.3 Sifón

Es una estructura aérea o enterrada que generalmente se utiliza para que un canal pueda sortear una quebrada o un punto muy bajo del terreno en que se desarrolla. Generalmente es una tubería de acero o cemento que entra en presión a partir de la cámara de entrada del agua al canal para fluir por gravedad a un punto de salida más bajo desde donde continúa el desarrollo del canal.



Ilustración 18: Sifón de Tortuero.

1.4.8 Tipos de revestimientos para canales de regadío

El revestimiento de canales es una solución eficaz en función de sus ventajas, tales como rápida instalación y larga vida útil. Las pérdidas de agua más graves que se registran en los sistemas de riego son los que carecen de un revestimiento que lo proteja de la infiltración.

Existe una diversidad de materiales, y estos se distinguen en tres grandes grupos de revestimientos:

1.4.8.1 Duros

- **Hormigón:** Mezcla de cemento, grava, arena y agua. De fácil aplicación, impermeable y posee rigidez, para evitar agrietamiento y filtraciones se debe disponer de un sistema de juntas que absorban las deformaciones.



Ilustración 19: Revestimiento de hormigón.

- **Concreto asfáltico:** Mezcla de arena, grava, cemento y asfalto. Se caracteriza por ser flexible y resistente a la erosión.



Ilustración 20: Revestimiento de Concreto asfáltico.

- **Albañilería o mampostería:** Sistema tradicional de construcción que consiste en la colocación manual de elementos o materiales (denominados mampuestos). Estos pueden ser de piedra, ladrillo, bloques, etc. Pueden construirse juntándolos con mortero o acomodándola (zampeado).



Ilustración 21: Revestimiento de mampostería.

- **Shotcrete:** Hormigón o mortero colocado por proyección neumática de alta velocidad desde una boquilla. Sus componentes son áridos, cemento y agua, y se puede complementar con materiales finos, aditivos químicos y fibras de refuerzo.



Ilustración 22: Revestimiento de Shotcrete.

- **Losetas de hormigón:** unidades de cemento prefabricadas o losas de piedra. Esta práctica es más habitual en los canales trapezoidales, con apoyo lateral en el borde superior. Lo mismo que con los ladrillos, si los materiales de la base son de escasa calidad pueden aparecer grietas en el mortero y en las mismas losas. Normalmente en las paredes laterales se utilizan losas. Estas limitan la altura efectiva de la pared y por lo tanto la profundidad del canal. Suele utilizarse un relleno de mortero de 5 a 10 mm, y el borde inferior de las losas de la pared deberá estar bien asentado en la base, para evitar su caída. Como en las paredes de ladrillo, se puede utilizar un revestimiento plástico exterior para reducir el deterioro debido al agrietamiento.



Ilustración 23: Revestimiento de losetas prefabricadas de Hormigón.

- **Suelo-cemento plástico:** La mezcla de cemento con un suelo fino muy húmedo en estado plástico. Cuando se le coloca tiene la consistencia de un mortero plástico. Frecuentemente se usa en zonas difíciles donde no es posible compactar. Es un material durable, permite utilizar gran cantidad de tipos de suelo para su elaboración, tiene un reducido impacto ambiental.



Ilustración 24: Revestimiento de Suelo-cemento plástico.

1.4.8.2 De suelo

- Suelto o compacto
- Grueso o delgado
- Mezclas de suelo y bentonita.



Ilustración 25: Revestimiento de suelo.

1.4.8.3 De membrana enterrada

- A base de bentonita, o plástica, o bien asfalto esparcido in situ o prefabricado.

Los revestimientos más comunes en Chile corresponden a los del primer grupo, en especial el hormigón. Cauquenes no es la excepción, la mayor parte de canales de riego están revestidos con hormigón.



Ilustración 26: Revestimiento de Geomembrana de HDPE.

1.4.9 Subsidio para agricultores en Chile

A través y en cooperación, la CNR (Comisión Nacional de Riego), la DOH (Dirección de Obras Hidráulicas del Ministerio de Obras Públicas), y el SAG (Servicio Agrícola y Ganadero) aplican y fiscalizan el fomento que otorga la Ley 18.450, según la página de la CNR se encuentra un resumen de los requisitos para postular a este subsidio.

La Ley de Fomento al Riego y Drenaje N°18.450 es un instrumento de fomento que, a través de un sistema de concursos, puede bonificar hasta un 90% del costo total del proyecto para acceder a infraestructura y sistemas de riego tecnificado, realizar nuevas construcciones y mejoramiento del sistema de conducción y distribución de aguas de riego y la construcción del proyecto de una obra de riego y/o drenaje. La bonificación se otorga a los proyectos aprobados y seleccionados en concurso y se hace efectiva una vez que el proyecto es construido.

Para postular tanto las personas naturales como jurídicas deben acreditar la titularidad de la tierra, la titularidad sobre los derechos de aguas y presentar un proyecto mediante un consultor de la Ley N°18.450. (Comisión Nacional de Riego, s.f.)

1.5 MARCO NORMATIVO

En el presente capítulo se darán a conocer las principales normas legales vigentes en el país en materia de recursos hídricos vinculados a la agricultura:

1.5.1 CÓDIGO DE AGUAS, DECRETO LEY N° 3.549 DE 1981.

Es el principal cuerpo legal relacionado a la gestión de los recursos hídricos del país.

1.5.2 LEY 18.450 DE FOMENTO DE LA INVERSIÓN PRIVADA EN OBRAS DE RIEGO Y DRENAJE DE 1985.

Busca incrementar el área de riego del país, mejorar el abastecimiento, eficiencia y calidad en la aplicación de aguas de riego, impulsando y fomentando todas las obras relacionadas.

1.5.3 CÓDIGO SANITARIO (DECRETO CON FUERZA DE LEY 725 DEL MINISTERIO DE SALUD PÚBLICA).

Establece y rige puntos sobre el fomento, protección y recuperación de salud de los habitantes, estableciendo un conjunto de disposiciones sobre el agua de riego.

1.5.4 DECRETO LEY 3557, DE 1980 DE REQUISITOS DE CALIDAD DE AGUA PARA DIFERENTES USOS.

Establece disposiciones sobre protección agrícola.

1.5.5 LEY 19.300 DEL MINISTERIO SECRETARÍA GENERAL DE LA PRESIDENCIA.

Aprueba ley sobre bases generales del medio ambiente.

1.5.6 NORMA CHILENA NCH N°1333 DE 1978.

Requisitos de calidad de agua para diferentes usos.

1.5.7 DFL 1, 21 DE FEBRERO DE 1990. MINISTERIO DE SALUD.

Determina materias que requieren autorización sanitaria expresa. Entre ellas, el uso de aguas servidas en riego agrícola, de acuerdo con el grado de tratamiento de depuración o desinfección.

1.5.8 DECRETO 90, 30 DE MAYO DE 2000. MINISTERIO SECRETARÍA GENERAL DE LA PRESIDENCIA.

Establece norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales.

2. VENTAJAS DE REVESTIR UN CANAL

Los revestimientos en canales se utilizan para distintos propósitos, el más relevante es evitar la infiltración de agua en el suelo, pero además presenta variadas ventajas, para tener en cuenta cada una de ellas, serán explicadas en seguida claramente.

2.1 Ventajas

2.1.1 Prevención de la erosión

En los canales sin revestimientos la variación de velocidades causa sedimentación de la materialidad y desprendimiento de los taludes. Estos fenómenos pueden notarse más en zonas de suelos granulares donde la sección transversal y/o perfiles longitudinales resultan modificados, dado a su poca cohesión.

Al revestir un canal este adquiere velocidades de escurrimiento más elevadas y radios de curvas horizontales más bajos, esto se traduce en longitudes y secciones menores, así como taludes con menos pendiente o inclinación.

2.1.2 Resistencia a la rotura

En los canales sin revestimiento pueden producirse ccatastróficas, como consecuencia de socavaciones producidas por la erosión, embancamientos por perturbaciones debido a la vegetación o la sedimentación de la materialidad de arrastre, acción de animales cavadores u otras causas.

Esto afecta directa e indirectamente al ámbito económico, y al social dado que puede dar inseguridad a los habitantes de terrenos en niveles más bajos.

La rotura imprevista de un canal además de afectar en los ámbitos anteriormente nombrados también puede afectar en las cosechas por falta de agua en los sembradíos durante el intervalo que dure la reparación y restauración del canal. Por otra parte, al producirse una abertura en el talud la velocidad del agua provoca que esta se ensanche más, esto puede originar verdaderos aluviones que destruyen cultivos, vías de comunicación, y hasta poblaciones.

Para un canal revestido resulta casi imposible que se ocasionen roturas, y si ocurriera un agrietamiento del revestimiento, la resistencia a la erosión impide el ensanchamiento de la abertura, esto evita posibles consecuencias graves.

2.1.3 Eliminación de la vegetación

Los canales sin revestir tienden a cubrirse de vegetación en toda su sección, especialmente de pastos y hierbas, aunque también en las bermas suelen crecer arbustos e incluso árboles. Esto se traduce en problemas para el canal, lo afecta por una parte al restarle agua al caudal, disminuyéndolo, ya que las plantas la utilizan para su desarrollo. Asimismo, contribuyen en la disminución de la velocidad del agua y el depósito de sedimentos, lo que, a su vez disminuye de cierta forma la sección efectiva del canal.

Para un canal revestido el crecimiento de vegetación es casi imposible, con esto se evitan los inconvenientes mencionados.

2.1.4 Aumento del caudal

Los canales revestidos impiden la erosión, esto permite que el agua circule a mayor velocidad que en los de tierra (canal sin revestir), obteniendo un mayor caudal para igual sección.

Las velocidades admisibles para canales sin revestir se comprenden entre 0,50 y 1 m/s, dependiendo del tirante del agua y del tipo de suelo. Las velocidades admisibles para canales con revestimiento son muy superiores.

2.1.5 Disminuye costos de mantenimiento

En los canales sin revestimiento la conservación incluye actividades de extracción de vegetación, cierre de aberturas, re perfilado transversal y longitudinal, cegado de cuevas y eliminación de animales excavadores. Estas actividades son permanentes y su más mínimo abandono puede provocar inconvenientes importantes. Al revestir un canal estos ítems desaparecen casi totalmente.

Para realizar estudios comparativos de costos entre canales sin revestir y con revestimiento, se debe agregar a los costos iniciales, los costos de mantenimiento para cada uno; esta consideración es de mucha importancia si se tiene en cuenta que, en explícitas condiciones, y para algunas zonas, el costo anual de conservación se aproxima al costo inicial de revestir un canal con hormigón.

2.1.6 Reduce costos de riego

En canales sin revestimiento la mano de obra tiene mayor incidencia comparado con los canales revestidos, debido a que en los anteriormente nombrados la simplificación en las tareas de distribución del agua provenientes de la automatización reduce hasta un 70% de la mano de obra, simultáneamente esto ahorra tiempo, lo que resulta de gran importancia al momento de hacer llegar el agua a las plantaciones en tiempo oportuno.

2.1.7 Protección de la salud pública

En canales de tierra suele suceder la proliferación de insectos y mosquitos.

Las causas que aportan al desarrollo de mosquitos son variadas, entre estas se encuentran:

- Filtraciones que generan zonas pantanosas.
- Fondos no perfectamente nivelados, lo que en los periodos de desuso del canal causa la formación de charcos y crecimiento de vegetación.
- Los mosquitos depositan sus huevos en malezas que crecen en los canales sin revestir.

En cambio, en los canales revestidos se eliminan casi completamente condiciones favorables como las nombradas anteriormente.

2.1.8 Acortamiento del trazado

Debido a la alta resistencia al desgaste y/o deterioro que posee el hormigón, se pueden adoptar velocidades de circulación del agua mayores a los canales que carecen de un revestimiento. Por este motivo en zonas de topografía de gran dificultad del terreno es posible disminuir la longitud de los canales, aumentando la pendiente longitudinal del trazado y disminuyendo los radios de las curvas horizontales.

2.1.9 Eliminación del efecto de la salinización de las tierras

En casos de que un canal no revestido atravesase zonas donde el terreno presente estratos con altas concentraciones de sales, el agua que se infiltre por capilaridad va aumentando la salinidad del manto a utilizar en actividades agrícolas, lo que afectará al momento de regar los terrenos con agua salinizada.

No obstante, en canales que, si poseen revestimiento, al impedir la infiltración, a su vez también impide que se genere el fenómeno descrito, por tanto, las tierras adyacentes a los canales no disminuyen su aptitud para cultivar.

Para finalizar el capítulo, las ventajas del revestimiento de canales mencionadas se obtienen al cumplir determinadas condiciones, las más trascendentes son la impermeabilidad, resistencia estructural, resistencia a la erosión, durabilidad, máxima eficiencia hidráulica, resistencia a la acción destructiva de elementos externos al canal, económico en comparación.

El revestimiento de las canalizaciones puede ser argumentado plenamente por varias razones entre ellas la fundamental es el aumentar el área de riego, que puede llegar a duplicar el área inicialmente abastecida, en especial cuando el agua disponible en la fuente de abastecimiento es escasa.

Otro argumento sostenible es la topografía de la zona a beneficiar, como lo mencionamos anteriormente, en casos donde esta es dificultosa, el revestimiento permite utilizar altas velocidades en tramos de canales de mayor pendiente, sin correr el peligro que se generen socavaciones u erosiones en el fondo y taludes; por otro lado, en regiones excesivamente llanas, en las que la poca pendiente provee velocidades muy pequeñas, el revestimiento disminuye posibles embancamientos.

Cuando se quiere hacer un estudio de la posibilidad de revestir un canal, se debe comparar el costo inicial con la suma de gastos de mantenimiento anual del canal sin revestir, más la evaluación de costo de las pérdidas de agua en el mismo intervalo de tiempo; cuando el costo mencionado anteriormente resulte inferior al costo correspondiente del canal sin revestir, el revestimiento en estudio será justificado económicamente.

Además de la comparación económica se debe tener en cuenta que generalmente los canales de tierra requieren secciones transversales mucho más grandes comparado con los canales revestidos de equivalente capacidad. Los canales no revestidos a efecto de evitar las grandes velocidades del agua son construidos más anchos, de menos profundidad, y con taludes más tendidos que los canales revestidos.

3. ESTUDIOS GEOGRÁFICOS PRELIMINARES

3.1 Información del lugar

La ciudad de Cauquenes es una comuna y ciudad ubicada en la Región del Maule, zona centro de Chile. Posee una población de 40,441 habitantes (Instituto Nacional de Estadísticas, 2017). Es reconocida por su vino, agricultura, gastronomía y alfarería. El clima, el terreno entre otros factores favorecen a la producción agrícola, que es relativamente homogénea a lo largo de toda la comuna.

En el sector, existe un canal matriz con derivados que alimenta a toda la zona, perteneciente al embalse Tutuvén. Este embalse está ubicado sobre el río Tutuvén, con una capacidad de 13 Hm³, se construyó entre los años 1945 y 1950 para regular los ríos Tutuvén y el Estero Tobalguén. (Dirección de Obras Hidráulicas, 2003).



Ilustración 27: Plaza de Armas de Cauquenes (Camila Figueroa, Flickr, 2013)



Ilustración 28: Plaza de Armas de Cauquenes (Camila Figueroa, Flickr, 2013)

3.2 Ubicación de la comuna

La comuna de Cauquenes pertenece a la Región del Maule, Provincia de Cauquenes y se localiza entre los 35°57'00" longitud Sur y 72°19'00" longitud Oeste. Las comunas con las cuales limita son:

Norte: Empedrado y San Javier de Loncomilla

Sur: Cobquecura, Quirihue, Ninhue y San Carlos.

Oeste: Chanco y Pelluhue

Este: Parral y Retiro

La superficie comunal alcanza a 2126,3 Km², representando aproximadamente un 4,54% del territorio regional. (Wikipedia, s.f.)



Ilustración 29: Mapa Región del Maule (Wikipedia, s.f.)

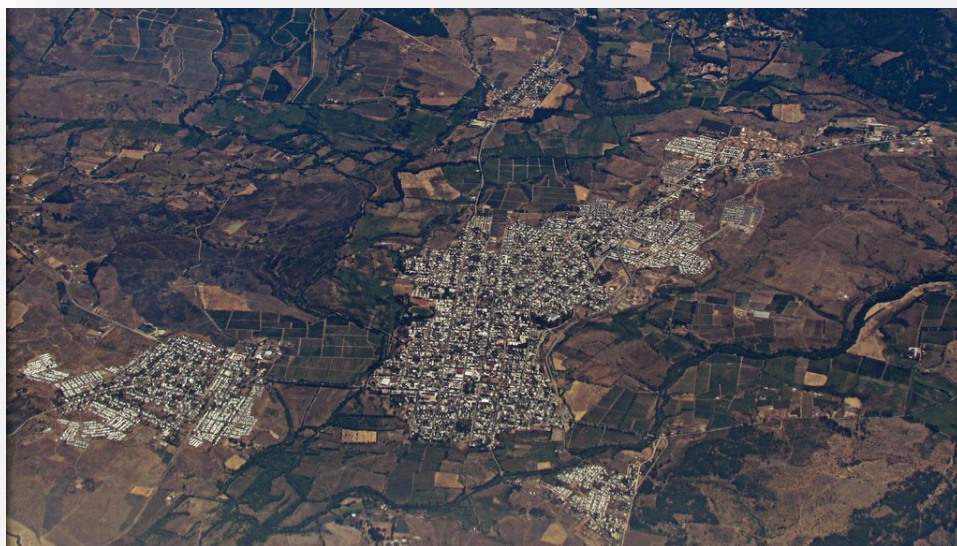


Ilustración 30: Imagen Aérea Cauquenes (Pablo C.M., Flickr, 2012)

3.3 Clima

La comuna de Cauquenes se encuentra en las condiciones de ser un clima mediterráneo, con una temperatura media de 25 °C en enero y 7 °C en julio. Sus máximas absolutas son de 38,2 °C y en invierno de -8 °C. Su media anual de precipitación es 700 mm.

3.4 Hidrografía

El río Cauquenes es un afluente del río Perquilauquén, y cruza parte de la provincia de Cauquenes, en la región del Maule, de Chile.

Nace en la Cordillera de la Costa, cerca de Cauquenes y corre hacia el oriente. Después de pasar al sur de esta ciudad, recibe las aguas del río Tutuvén. En su curso más bajo recibe solamente algunos afluentes de menor importancia antes de desembocar en el Perquilauquén, un tributario del río Maule, en un punto cercano al de la desembocadura del río Purapel.

Como dato curioso, el río Cauquenes es uno de los pocos ríos que fluyen hacia el este, en un país donde la gran mayoría de los ríos corren de este a oeste, es decir, desde la cordillera al océano Pacífico. (Wikipedia, s.f.)

3.5 Suelo y su uso

Cauquenes posee las siguientes capacidades de uso: II, III, IV, que constituyen un recurso natural favorable para el desarrollo de actividades agrícolas intensas.

Aproximadamente un 55% de los suelos de la comuna de Cauquenes, en términos edafológicos se consideran como improductivos para las actividades agrícolas. Corresponden a posiciones topográficas de "cerros" y "lomajes" generadas por la Cordillera de la Costa, en las cuales existe una creciente práctica de reemplazo de los bosques y praderas silvestres por plantaciones de pino y eucaliptus. (Universidad de Talca, 2014)

Según la federación de productores de fruta en Chile, sí de exportaciones se trata, la industria frutícola de la Región del Maule se ha destacado sostenidamente como una de las fuentes del posicionamiento de Chile entre los mayores exportadores de fruta fresca del hemisferio sur. De hecho, para la temporada 2008-2009, el 21% del total nacional fue producido en el Maule. (FedeFruta, 2010)

Los principales usos de suelo en Cauquenes están asociados a la producción de cultivos anuales, chacras, vid vinífera y ganadería; estos rubros se han realizado por muchos años y han sido desarrollados principalmente por pequeños productores. Cabe señalar que estos no son 100% competentes debido a la falta de conocimientos técnicos, recursos económicos y asesorías especializadas para los agricultores, lo cual no les permite cambiar o mejorar la producción de estos rubros.

3.6 Vegetación

Como especies endémicas se pueden encontrar los bosques Caducifolios y Esclerófilo, siendo la especie más común en el bosque Caducifolios el Roble o Roble blanco (*Nothofagus macrocarpa*).

Tanto el bosque caducifolio como el esclerófilo se distribuyen de manera discontinua y aislada, concentrándose en pequeños manchones de superficie sobre los cordones de cerros que limitan al sur y al poniente de Cauquenes, también se pueden encontrar bosques de Hualo en la Cordillera de la Costa, que ha sido fuertemente reemplazada por pino.

Los matorrales espinosos dominan y cubren toda la cuenca de Cauquenes, representando una cobertura del 49,9% del total comunal. Su distribución adopta sectores de alta insolación y ha sido fuertemente alterada esta asociación por la extracción de madera y por el reemplazo de actividades forestales y agrícolas de secano.

La actividad de plantaciones forestales ha ido desplazando sectores para proporcionar materia prima a la celulosa de Constitución (Celco). Esta ocupa una superficie plantada del 25,6% de la comuna de Cauquenes. (Universidad de Talca, 2014)

3.7 Geomorfología

La comuna de Cauquenes se inserta dentro de dos grandes estructuras de relieve denominadas: Cordillera de la Costa y Cuencas Marginales del Secano Costero.

3.7.1 Cordillera de la Costa

La Cordillera de la Costa se presenta como un cordón montañoso y accidentado, con fuertes pendientes cercanas al 55% de inclinación.

Las cumbres más destacadas (de norte a sur) son el Cerro Name (810 m.s.n.m.¹), el Cerro Divisadero Norte (583 m.s.n.m.), el Cerro Los Molinos (680 m.s.n.m.), el Cordón Tequel (407 m.s.n.m.), los Cerros de Gualve (398 m.s.n.m.) y el Cerro Quilvo (419 m.s.n.m.).

El área de la Cordillera de la Costa presenta serias dificultades y limitaciones de topografía, suelo y agua para el desarrollo agrícola. Un acelerado proceso de erosión generado por la pérdida de vegetación natural e introducción de vegetación alóctona con fines comerciales, ha agravado dichas restricciones. (Universidad de Talca, 2014)

3.7.2 Cuenca Granítica de Cauquenes

La Cuenca Granítica de Cauquenes es un relieve depresional, que se encuentra cerrada por las estribaciones meridionales de lomas desprendidas del "Cerro Name" hacia el poniente manteniendo solo una estrecha comunicación en ese sentido a través del valle del río Tutuvén.

Dentro de la cuenca, las modalidades de las acciones fluviales han labrado un sistema de tres terrazas escalonadas, sobre las cuales se levanta la ciudad de Cauquenes. (Universidad de Talca, 2014)

¹ Altitud expresada en *Metros Sobre el Nivel del Mar*.

3.8 Antecedentes demográficos

Para el análisis demográfico, consideraremos los datos obtenidos por el Instituto Nacional de Estadísticas (INE).

De acuerdo al INE, la población total de la comuna de Cauquenes es de:

CENSO INE 2017
40.441

*Tabla 4: Población total Comuna de Cauquenes
(Instituto Nacional de Estadísticas, 2017)*

De esta población total, 19.314 personas son hombres representando un 47,76% y 21.127 personas son mujeres representando un 52,24% restante, el total corresponde al 4,43% regional.

4. ESTUDIO DE CANALES DE REGADÍO **DERIVADOS DEL EMBALSE TUTUVÉN**

4.1 Estudio técnico del Embalse Tutuvén

4.1.1 Antecedentes del Embalse Tutuvén

El Embalse Tutuvén, ubicado a 10 Km. al noreste de la ciudad de Cauquenes, fue construido entre los años 1945-1950 por el Estado de Chile de acuerdo a las disposiciones de la Ley 9.662. Formado por dos muros de tierra, uno de ellos cierra el valle del río Tutuvén con una longitud de coronamiento de 183 metros y una altura máxima de 31,85 metros. El otro muro cierra un portezuelo lateral con largo de coronamiento de 628 metros y una altura máxima de 15,15 metros.

Su capacidad máxima de diseño fue de 18,8 millones de m³, sin embargo, en 1974 se produjo una rotura parcial del vertedero frontal que sólo facultó su restablecimiento en el año 1978 cuando la Dirección de Riego hace entrega de la administración y explotación del Embalse a la Asociación de Canalistas, haciendo que su capacidad disminuyera a 13 millones de m³ aproximadamente.

Actualmente el embalse posee una capacidad máxima de diseño de 20 millones de m³, este aumento fue realizado durante el 2008 por el Estado a través del Programa de Obras Medianas de Riego donde se dispusieron fondos de transferencia desde la CNR² a la DOH³, para así rehabilitar el Embalse Tutuvén consiguiendo aumentar la capacidad máxima y la superficie de riego para dar seguridad de riego para 1200 ha. (Comisión Nacional de Riego, 2009)



Ilustración 31: Embalse Tutuvén (Fabrizio Fernandini, Flickr, 2011)

² Comisión Nacional de Riego

³ Dirección de Obras Hidráulicas



Ilustración 32: Embalse Tutuvén (Fuente Propia, 2019)



Ilustración 33: Embalse Tutuvén (Fuente Propia, 2019)



Ilustración 34: Embalse Tutuvén (Fuente Propia, 2019)

4.1.2 Situación legal de la propiedad del agua

En la actualidad existe un total de **9 canales** que están bajo la **administración de la Asociación de Canalistas del Embalse Tutuvén** con una dotación total de **2278,5 acciones** a repartir en todo el sistema, en donde durante el año **2008 el Fisco se reservó 175,08 acciones** para nuevas asignaciones. Por tanto, el número de acciones correspondientes repartidas a **150 regantes** en el sistema de canales corresponde a **2103,42 acciones**. (Comisión Nacional de Riego, 2009)

4.1.3 Sistema de repartición

De acuerdo a datos obtenidos en entrevistas —realizada en el informe citado— con los productores y representantes de la organización, así como antecedentes de estudios anteriores del área del programa, se pudo obtener información acerca de la operación en un año normal en cuanto a la entrega de las aguas, esta se comienza a realizar a mediados de octubre entregando aproximadamente 1,5 m³/s de lunes a viernes por la noche, si se observa que el agua almacenada es insuficiente se baja el caudal a repartir a 1,1 m³/s.

En un año normal, el embalse se vacía en febrero, existiendo déficit en los meses de marzo y abril. Por tanto, el periodo de uso de sistema corresponde al comprendido entre los meses de octubre a febrero, para un año normal.

Por otra parte, es importante destacar que existen canales (sub-derivados menores) en que se han establecidos entregas mediante tumos realizados principalmente en sectores donde existe una alta presencia de pequeños productores con bajo número de acciones de aprovechamiento de agua, tal es el caso del sector el Rosal (Derivado Rosal Matriz, sub-derivados Rosal Alto y Rosal Bajo). (Comisión Nacional de Riego, 2009)

4.1.4 Recursos humanos

Actualmente, la Asociación de Canalistas cuenta con 4 celadores contratados para la distribución de agua en el sistema. Es importante destacar que 2 de estos celadores llevan más de 15 años trabajando en el territorio, lo que se traduce en un amplio conocimiento del sistema de conducción y distribución, que permite establecer con claridad la ubicación de las principales deficiencias de la red de canales, asimismo éstos constituyen un elemento de gran importancia para la operación del sistema en varios ámbitos ya que son reconocidos por los regantes como una vía de comunicación directa con el directorio de la organización.

Por otra parte, es importante destacar que la organización no cuenta con ningún programa de capacitación para los celadores, lo cual se traduce en una deficiencia del sistema ya que actualmente la repartición del agua se hace según los criterios de los celadores, generando en algunas oportunidades conflictos por la entrega. (Comisión Nacional de Riego, 2009)

4.1.5 Disponibilidad de agua para riego

La principal fuente de abastecimiento de agua de riego del territorio es el embalse Tutuvén, que es abastecido por el río Tutuvén perteneciente a la hoya hidrográfica del Maule. Además del estero Tabolguén que vierte todas sus aguas directamente al embalse Tutuvén. El régimen hidrológico del río Tutuvén es netamente pluvial, caracterizado por fuertes crecidas en el régimen de lluvias invernales (800 mm por año promedio). Ambos afluentes del embalse no cuentan con registros fluviométricos, por lo cual no existen antecedentes sobre las crecidas, mediante el estudio "Mejoramiento Sistema de Riego y Drenaje - Embalse Tutuvén - VII Región"⁴, estableció las disponibilidades de agua, considerando las estadísticas de caudales por 30 años de estos cauces, además del tamaño de la cuenca, la pluviometría de la zona y la correlación con estadísticas del río Cauquenes.

Actualmente la disponibilidad de agua es de 20 millones de m³, el caudal máximo de entrega del embalse de 1728 lt/s, el cual debe repartirse en 2103,42 acciones, es decir, el caudal unitario por acción es de 0,82 lt/s. Este aumento de capacidad permite guardar agua para años secos y tener una mayor seguridad de agua de riego, lo que, a su vez, permite tener distintos cultivos más rentables, como frutales. (Comisión Nacional de Riego, 2009)

⁴ Consultoría OME-42 para la Dirección de Riego. Geotécnica Consultores Ltda. 1995

4.1.6 Superficie de riego

La superficie de uso actual del territorio corresponde a 3062,4 hectáreas (bajo cota canal)⁵ donde un 67,8% corresponde a suelos arables (capacidad de uso II, III y IV) y un 32,2% a suelos no arables (V, VI, VII Y VIII de capacidad de uso). Dentro del área arable se ha calculado que existen alrededor de 1175,92 ha que actualmente se riegan, incluyendo una gran cantidad de superficie de praderas naturales de riego eventual, razón por la cual el área efectiva de riego permanente en la actualidad no superaría las 500 Ha. (Comisión Nacional de Riego, 2009)

En el sistema de riego se pueden distinguir 7 sectores de riego servidos por los respectivos canales como son:

- **Sector Tronco:** Sector abastecido por el canal matriz Tronco y corresponde a la zona norponiente del área del territorio bajo la influencia del Embalse Tutuvén.
- **Sector San Miguel:** Sector abastecido por el derivado San Miguel y sus ramas norte y sur, y corresponde a la zona norponiente del área del territorio bajo la influencia del Embalse Tutuvén.
- **Sector Pilén:** Sector abastecido por el canal derivado Pilén y corresponde a la zona sur del área del territorio bajo la influencia del Embalse Tutuvén.
- **Sector El Rosal:** Sector abastecido por el canal derivado el Rosal Matriz y los sub-derivados El Rosal Alto y El Rosal Bajo, y corresponde a la zona nororiente del área del territorio bajo la influencia del Embalse Tutuvén.
- **Sector Cauquenes:** Sector abastecido por el derivado Cauquenes y corresponde a la zona oriente del área del territorio bajo la influencia del Embalse Tutuvén.
- **Sector El Boldo:** Sector abastecido por el sub-derivado El Boldo y corresponde a la zona oriente del área del territorio bajo la influencia del Embalse Tutuvén

⁵ Actualización Estudio de Diseño de Obras de Riego Sistema Embalse Tutuvén, VII Región. DOH. 2006.

4.1.7 Sistema de conducción

El sistema de riego del Embalse Tutuvén, consta de un sistema de conducción con una longitud que bordea los 72 Km., con una capacidad nominal de entrega de 2 m³/s, está compuesta de los canales que se presentan en la Ilustración.

Canal	Longitud (Km.)
Canal Matriz Tronco	9,2
Canal Derivado Rosal Matriz	6,8
Canal Sub-derivado Rosal Alto	3,1
Canal Sub-derivado Rosal Bajo	3,2
Canal Derivado San Miguel, ramas norte y sur	4,1
Canal Sub-derivado Montebruno	1
Canal Derivado Cauquenes	10
Canal Sub-derivado El Boldo	16
Canal Derivado Pilén	11
Canal Derivado Miraflores	7,5

Tabla 5: Red de canales del sistema de riego Embalse Tutuvén. (Comisión Nacional de Riego, 2009)

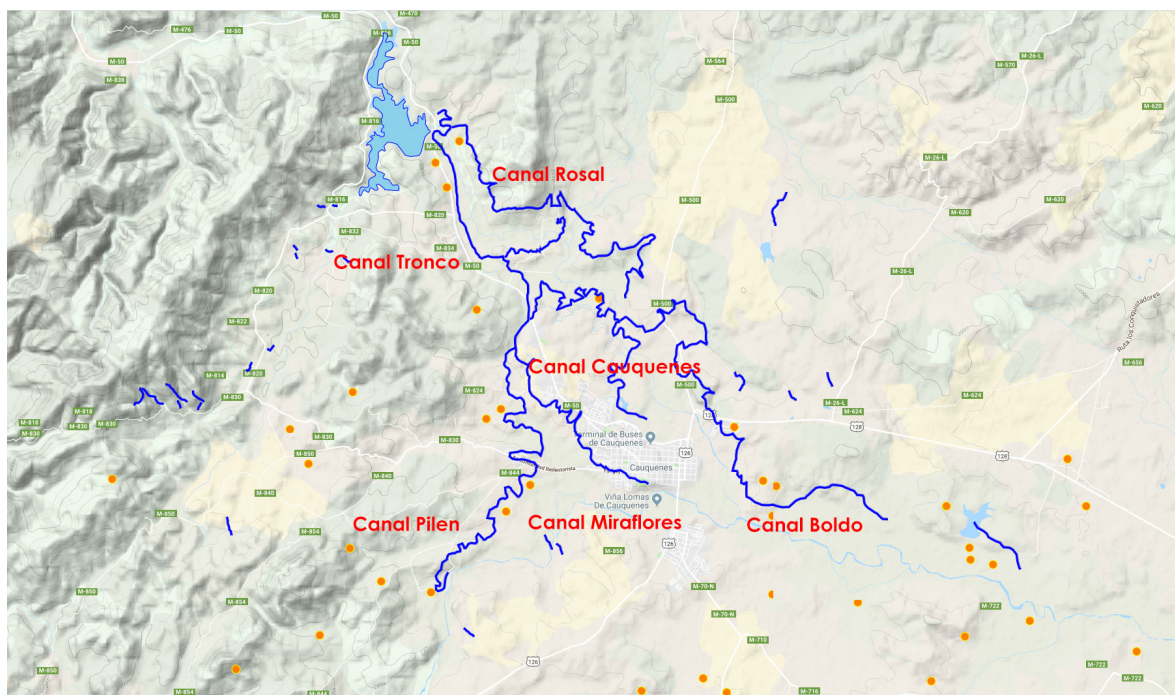


Ilustración 35: Canales de Riego Provincia de Cauquenes (eSIIR, s.f)

4.2 Canales del Embalse Tutuvén

4.2.1 CANAL MATRÍZ TRONCO

Este canal es el encargado de repartir las aguas extraídas del embalse al resto de los canales del sistema. Canal trapecial sin revestir en su mayor parte, sólo cuenta con aproximadamente 1,3 Km. con estructuras de mejoramiento (revestimiento).

El trazado del canal se encuentra principalmente en laderas de cerro con pendientes muy bajas, lo que permite que las extracciones sean en algunos puntos excesivas.

Sistema de distribución	Tipos de obras de distribución	N°
Emplazamiento de canal en terreno natural y parte con revestimiento de albañilería y mampostería, distribución de compuertas con obras de descarga.	Marco Partidor	1
	Compuerta de entrega	15
	Compuerta de descarga	11
	Caja de distribución	2

Tabla 6: Descripción de Canal Matríz Tronco (CNR, s.f)

4.2.2 CANAL DERIVADO ROSAL MATRÍZ

Este canal recibe las aguas mediante una compuerta regulada según criterios del celador, en el Km. 1,181 del canal Tronco. Posee dos sifones, el primero a 100 metros después del inicio de la entrega para cruzar el río Tutuvén, y el segundo para cruzar el río Rosales para llevar agua a los sub-derivados Rosal Alto y Rosal Bajo. Es el primer canal que sale del canal matriz Tronco, la distribución de las acciones desde el matriz se realiza mediante una caja de distribución con compuertas de izamiento mecánico.

Sistema de distribución	Tipos de obras de distribución	N°
Emplazamiento de canal en terreno natural y parte con revestimiento de albañilería y mampostería, distribución de compuertas con obras de descarga.	Compuerta de entrega	18
	Compuerta de descarga	4
	Sifón	2

Tabla 7: Descripción de Canal Derivado Rosal Matríz (CNR, s.f)

4.2.3 CANAL SUB-DERIVADO ROSAL ALTO

El inicio de este canal corresponde al final del sifón que cruza el río de los Rosales, en la bifurcación que se produce en el Km. 6,776 del canal Rosal Matriz. Para la división de las aguas no existe una obra de distribución, sólo compuertas de regulación mecánica controladas según el criterio del celador.

Sistema de distribución	Tipos de obras de distribución	N°
Emplazamiento de canal en terreno natural y parte con revestimiento de albañilería y mampostería, distribución a través de compuertas en algunos casos y sin obras de descarga.	Compuerta de entrega	3
	Sifón	2

Tabla 8: Descripción de Canal Sub-Derivado Rosal Alto (CNR, s.f)

4.2.4 CANAL SUB-DERIVADO ROSAL BAJO

Su inicio en el final del sifón que cruza el río los Rosales, en la bifurcación que se produce en el Km. 6,776 del canal Rosal Matriz, en este punto las acciones son distribuidas mediante compuertas entre los canales Rosal Alto y Bajo.

Sistema de distribución	Tipos de obras de distribución	N°
Emplazamiento de canal en terreno natural y parte con revestimiento de albañilería y mampostería, distribución a través de compuertas en algunos casos y sin obras de descarga.	Compuerta de entrega	5
	Compuerta de descarga	1
	Sifón	1
	Caja de distribución	1

Tabla 9: Descripción de Canal Sub-Derivado Rosal Bajo (CNR, s.f)

4.2.5 CANAL DERIVADO SAN MIGUEL (RAMAS NORTE Y SUR)

Su inicio es en el Km. 1,050 del Canal Matriz Tronco donde se ubica el reparto del marco partidor, al inicio tiene una longitud de 300 m hasta el inicio de los ramales Norte (1,3 Km. de longitud) y Sur (2,5 Km. de longitud).

Sistema de distribución	Tipos de obras de distribución	N°
Emplazamiento de canal en terreno natural y parte con revestimiento de albañilería y mampostería, distribución de compuertas, sin obras de descarga.	Marco Partidor	1
	Compuerta de entrega	12

Tabla 10: Descripción de Canal Derivado San Miguel (CNR, s.f)

4.2.6 CANAL MOTEBRUNO

Este canal nace en el término del Canal Rosal Matriz, donde comienza el Sifón que le entrega agua a canales Rosal Alto y Bajo. Se trata de un canal con baja longitud y de sección reducida.

4.2.7 CANAL DERIVADO CAUQUENES

Se inicia en el reparto del Canal Tronco (Aproximadamente a los 8 Km.), posee un sifón que cruza el río Tutuvén para entregar agua al Canal Sub-derivado El Boldo.

Sistema de distribución	Tipos de obras de distribución	N°
Emplazamiento de canal en terreno natural y parte con revestimiento de albañilería y mampostería, distribución de compuertas con obras de descarga.	Compuerta de entrega	9
	Compuerta de descarga	6
	Caja de distribución	2

Tabla 11: Descripción de Canal Derivado Cauquenes (CNR, s.f)

4.2.8 CANAL SUB-DERIVADO EL BOLDO

Este canal tiene su inicio en el término del sifón (que cruza el río Tutuvén) del Canal Cauquenes, que le entrega las aguas en su Km. 5,90. Es el canal de mayor longitud del sistema (16 Km.) y con el mayor número de obras de entrega y descargas, recientemente se han realizado mantenciones principalmente de las compuertas de descargas.

Sistema de distribución	Tipos de obras de distribución	N°
Emplazamiento de canal en terreno natural y parte con revestimiento de albañilería y mampostería, distribución de compuertas con obras de descarga	Compuerta de entrega	39
	Compuerta de descarga	11
	Caja de distribución	2
	Sifón	1
	Canoa	4

Tabla 12: Descripción de Canal Sub-Derivado El Boldo (CNR, s.f)

4.2.9 CANAL DERIVADO PILÉN

Su inicio es al término del canal Tronco, en el Km. 8,57, donde existe un reparto que le entrega agua al Canal Pilén y Miraflores. Este canal tiene un sifón de 130 metros de longitud que se encuentra en buen estado.

Este canal, mayormente de tierra (95%), es uno de los con mayor cantidad de problemas dentro de la red de canales del sistema, no se han realizado grandes reparaciones de su sistema de conducción.

Sistema de distribución	Tipos de obras de distribución	N°
Emplazamiento de canal en terreno natural y parte con revestimiento de albañilería y mampostería, distribución de compuertas con obras de descarga	Compuerta de entrega	22
	Compuerta de descarga	7
	Caja de distribución	3
	Sifón	2
	Canoa	2

Tabla 13: Descripción de Canal Derivado Pilén (CNR, s.f)

4.2.10 CANAL DERIVADO MIRAFLORES

Su inicio es el término del canal Tronco donde existe un reparto que le entrega agua al Canal Pilén y al Canal Miraflores, posee reparaciones menores con entubamientos de hormigón, pero solo en puntos específicos y de menor longitud.

Sistema de distribución	Tipos de obras de distribución	N°
Emplazamiento de canal en terreno natural y parte con revestimiento de albañilería y mampostería, distribución de compuertas con obras de descarga.	Compuerta de entrega	9
	Compuerta de descarga	5
	Sifón	1
	Caja de distribución	2

Tabla 14: Descripción de Canal Derivado Miraflores (CNR, s.f)

4.3 VISITA A TERRENO CANALES

La visita a terreno fue realizada el día 20 de abril del 2019 a las 14:00 h, nos dirigimos a las oficinas de la asociación de canalistas de Cauquenes que están ubicadas en Calle Victoria N° 435 Interior, frente a la Plaza de Armas de la Ciudad de Cauquenes.

Donde concertamos una cita con el presidente de la Asociación de Canalistas del Embalse Tutuvén Don Edmundo Aravena Jaque, quién nos recibió y después de comentarle nuestro motivo de visita para nuestro trabajo de título, nos manifestó que la gran problemática que tienen los canales de riego del Embalse Tutuvén, es la pérdida de agua por filtraciones que se estima es de un 25% a un 30% debido a las falencias que estos presentan.

Después nos llevó a visitar 3 canales subderivados, para ver la cantidad de filtraciones que existen en cada uno de ellos, ya que todas las mejoras de revestimiento hechas con la ayuda de fondos estatales a través de la Ley 18.450, inversión al riego y drenaje no han sido suficiente.

En la salida a terreno nos dirigimos primeramente al Embalse Tutuvén, tomando la ruta M-50 Cauquenes-Chanco, llegamos al Km. 13 donde se encuentra el Embalse Tutuvén que actualmente cuenta con una capacidad de 22 millones de m³ de volumen de agua, donde recorrimos parte de la cortina que se peraltó para aumentar su capacidad, después de esto, nos dirigimos a las compuertas de descarga y entregas de aguas al canal matriz Tronco o Tutuvén.

Después de eso, nos dirigimos al Canal el Rosal, que se ubica en el mismo camino ruta M-50 Cauquenes-Chanco, aproximadamente a 1.5 km del Embalse Tutuvén, comenzando en la propiedad de la señora Raquel Reyes y termina en el Fundo Paraíso ubicado en el Km. 1.8, de la ruta M-500, Chanco por Molco, de ahí, se subdivide en 2 ramales, uno que va hacia el Fundo Stella en el camino M-500, Km. 1.2 hacia el oriente de Cauquenes y el otro ramal se desplaza hacia el lado sur de Cauquenes, en el Fundo Monte Bruno ubicado también en el mismo camino M-500 del Km. 1.6.

Debemos mencionar que este canal con sus derivados tiene unos 1200 metros lineales revestidos sectorizados en sus lugares más críticos, faltando un 80% del canal por revestir debido a su alto porcentaje de filtraciones, provocando una gran cantidad de hectáreas, donde se han formado pantanales y son incultivables. Por esta razón se seguirá postulando a los Concursos de Riego y Drenaje de la Ley 18.450 para ir revistiendo paulatinamente lo que falta.

Luego nos dirigimos al Canal Miraflores, que está ubicado en la ruta M-50, Cauquenes-Chanco en el Km. 2.5 sector Porongo, este Canal comienza en el fundo Picca y termina en la parte posterior del Estadio Municipal de Cauquenes, en la población Altos del Río, La particularidad de este Canal, consiste en el sifón de 250 ml que cruza quebradas donde se encontraba la parte más crítica, además, cuenta con 1400 metros lineales

revestidos sectorizados donde recién se ha terminado un revestimiento en la propiedad del señor Guillermo Badilla, ubicada a la salida de Cauquenes, camino a Santa Sofía. También se presentó a concurso por la misma ley 18.450 un revestimiento de 325 ml en la propiedad de la Señora Kora Spech en el sector de Porongo, quedando por revestir un 70% más del canal, donde se presentan innumerables filtraciones.

Posterior a eso, visitamos el último canal, denominado el Boldo que comienza en el Km. 4, ruta M-50 Cauquenes-Chanco, Fundo Retulemu y termina en el fundo El Oriente ubicado al oriente de la ruta M-128 Cauquenes-Parral Km. 4, además, el canal atraviesa la población Fernandez por medio de un sifón de 240m de longitud.

Aparte, este canal cuenta con 1400 metros lineales revestidos sectorizados quedando un 60% de zonas críticas que presentan filtraciones en donde también se presentarán a concurso para bonificaciones de la Ley 18.450, inversión al riego y drenaje.

Con esto finalizamos la visita a terreno, y agradecemos la disponibilidad y buena voluntad del presidente de la Asociación de Canalistas del Embalse Tutuvén, Sr. Edmundo Aravena Jaque.

4.3.1 CANAL VISITADO: CANAL TUTUVÉN, DERIVADO MIRAFLORES

Tuvimos la oportunidad de documentar el revestimiento de la segunda sección de canal que visitamos, ubicada en el predio de la señora Kora Spech.

Este canal obtiene sus recursos hídricos a través del canal Tutuvén proveniente del embalse Tutuvén, ubicado a 11 km de Cauquenes.

Posee un revestimiento en sección rectangular de hormigón armado con un largo de 325 metros.

4.3.1.1 Fotografías visita a terreno



*Ilustración 36: Canal
Miraflores (Fuente
Propia, 2019)*



*Ilustración 37: Canal
Miraflores (Fuente
Propia, 2019)*



Ilustración 38: Canal Miraflores (Fuente Propia, 2019)



Ilustración 39: Canal Miraflores (Fuente Propia, 2019)



Ilustración 40: Canal Miraflores (Fuente Propia, 2019)

4.3.1.2 Características técnicas

El canal en cuestión se ubica en una superficie de suelos de carácter aluvial que mantiene en su extensión una baja pendiente, repercutiendo en la velocidad del cauce. Las condiciones descritas hicieron necesario revestir el canal de hormigón.

4.3.1.3 Obras de la sección visitada

La sección visitada poseía en los tramos indicados, las siguientes mejoras contemplando revestimientos, accesos y obras de arte.

OBRA	KM INICIO	KM FIN	BASE (m)	ALTURA (m)
Revestimiento hormigón tramo 1	0.000	0.325	0.60	0.50
Acceso quebrada 1	0.060	-	1.00	0.50
Compuerta de entrega derecha 1	0.150	-	0.30	0.50
Acceso quebrada 2	0.150	-	1.00	0.50
Alcantarilla Manual de Carreteras 1	0.155	0.159	1.00	0.80
Compuerta de entrega derecha 2	0.320	-	0.30	0.60
Alcantarilla Manual de Carreteras 2	0.320	0.324	1.00	0.80

Tabla 15: Obras en Sección Visitada (Fuente Propia, 2019)

4.3.1.4 Superficie regada

Los derechos de agua de los distintos regantes que se benefician por este afluente equivalen a un gasto aproximado de 235 l/s para el tramo en estudio, por lo tanto, el caudal utilizado para el diseño son los que otorga el valor de cada acción.

$$Q_{\text{canal}} = 235 \text{ l/s}$$

4.3.1.5 Ubicación geográfica

El tramo revestido se ubica en la Latitud -35.945795° y Longitud -72.359225°



Ilustración 41: Canal Tutuvén, derivación Miraflores (Elaboración propia, Google Earth)

4.3.1.6 Problemática y razón de elaboración de proyecto

El canal que permite la distribución del agua de riego que abastece el predio normalmente poseía pérdidas de agua por distintas causas, incrementándose aún más cuando el canal estaba sucio o había obstáculos que reducían la velocidad del agua.

Entre las causas de pérdidas de agua en el canal se podían mencionar:

- La presencia de malezas dentro del canal.
- Tramos de canal con secciones muy permeables (arenosos) que favorecen la filtración.
- Presencia de troncos y otros impedimentos, bordes en mal estado.
- Pérdida por desborde del agua.
- Cuevas de camarones.
- Árboles y arbustos en las orillas de las acequias, entre otros.

5. PROPUESTA DE REVESTIMIENTO A CANAL

5.1 Selección de canal a revestir

Para seleccionar el canal a revestir tuvimos que elegir uno idóneo que nos permita, con nuestros conocimientos, analizar y estudiar su sección para así proponer el revestimiento ideal que permitirá un cuidado del recurso agua y por ende aprovecharlo.

Con ayuda del señor Edmundo Aravena, presidente de la Asociación de Canalistas del Embalse Tutuvén y los celadores respectivos a cada canal sub-derivado y derivado del Embalse Tutuvén, elegimos quién nos podía proporcionar el acceso a un canal sub-derivado recto, que esté sin revestir, que presente filtraciones, y ojalá, citándonos al estudio geográfico del capítulo 6, del canal derivado Pilén, que solo cuenta con un 5% revestido.

Finalmente nos decidimos por el predio de la Señora Lucia Ojeda, ubicado en el sector de Santa Sofía de Cauquenes.

Una vez que nos contactamos con la Señora Lucía Ojeda, quién gentilmente nos ofreció a uno de sus colaboradores para mostrarnos el predio, hicimos la respectiva visita a terreno, donde nos mostraron los diferentes cultivos que poseían, en que se destacaban viñas, plantaciones de arándanos, cultivos de flores de exportación, entre otros.

Con respecto al riego tecnificado que poseen los cultivos pudimos observar que los puntos de captación están en diferentes tranques acumuladores de aguas que poseen, los cuales son abastecidos por el canal sub-derivado Pilén del Embalse Tutuvén.

Una vez que nos propusimos seleccionar el canal el cual íbamos a enfocar nuestra propuesta de revestimiento, advertimos un canal que se encontraba en línea recta el cual tenía muchas filtraciones, tanto así que próximamente se encontrará en proyecto para ser revestido según nos contaba Don Edmundo Aravena, presidente de la Asociación de Canalistas del Embalse Tutuvén, por medio de la "Ley de Riego y Drenaje 18.450" dónde se bonificará hasta un 75% del costo total de la obra aportando el resto, la Asociación de Canalistas del Embalse Tutuvén de la Provincia de Cauquenes.

Por otro lado, también nos comentaba la Señora Lucía Ojeda que tuvo que recurrir a una solución temporal por su cuenta, de proteger con un revestimiento correspondiente a unas lonas plásticas de alta densidad de aproximadamente 250 metros lineales en la zona más crítica donde se producían más filtraciones, hasta dar una solución definitiva que puede consistir en un revestimiento diseñado por un consultor inscrito en la CNR⁶.

⁶ Comisión Nacional de Riego

5.2 Fotografías Predio Lucía Ojeda



*Ilustración 42: Tranque Acumulador de Aguas
(Fuente Propia, 2019)*



*Ilustración 43: Tranque Acumulador de Aguas
(Fuente Propia, 2019)*



*Ilustración 44: Tranque Acumulador de Aguas
(Fuente Propia, 2019)*



Ilustración 45: Plantas de Exportación (Fuente Propia, 2019)



Ilustración 46: Plantación de Vides (Fuente Propia, 2019)



Ilustración 47: Plantación de Vides (Fuente Propia, 2019)



*Ilustración 48: Canal
Cubierto con Lona (Fuente
Propia, 2019)*



*Ilustración 49: Canal
Cubierto con Lona (Fuente
Propia, 2019)*



*Ilustración 50: Canal
Cubierto con Lona (Fuente
Propia, 2019)*



*Ilustración 51: Canal
Cubierto con Lona (Fuente
Propia, 2019)*

5.3 Sección de canal a revestir sub-derivado Pilen, predio Lucía Ojeda

5.3.1 Ubicación Geográfica



Ilustración 53: Canal de Riego, Propuesta a Revestir (Fuente Propia, Google Earth, 2019)

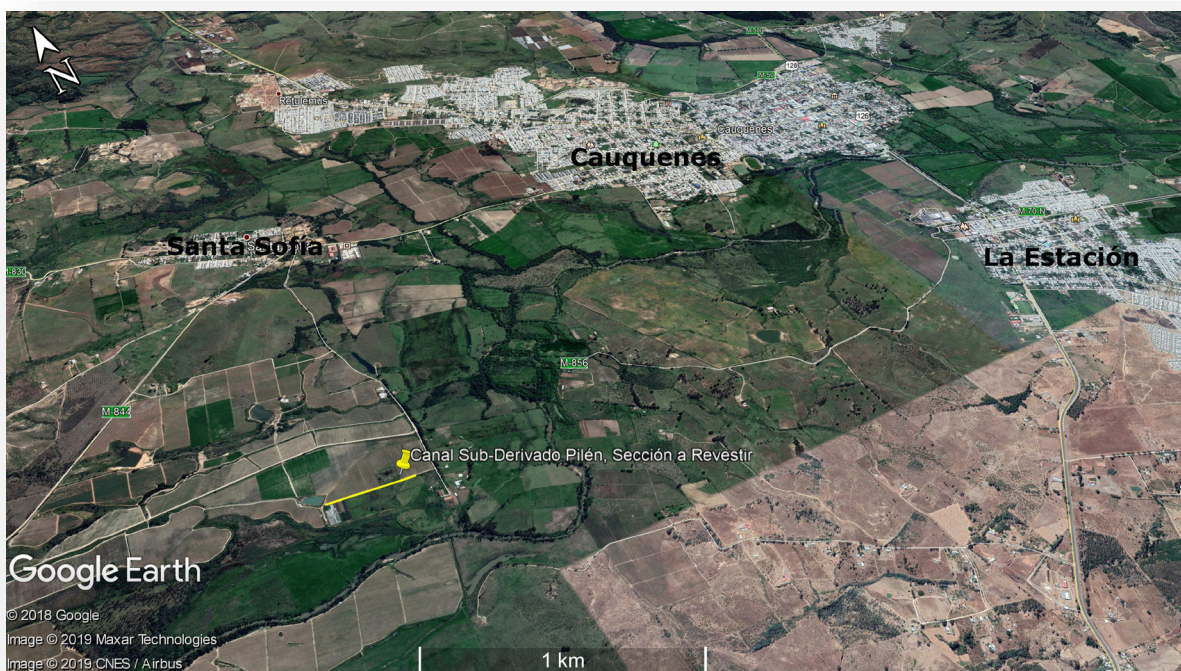


Ilustración 52: Ubicación Geográfica de Canal a Revestir (Fuente Propia, Google Earth, 2019)

5.3.2 Fotografías visita a terreno



Ilustración 55: Sección de Canal Derivado Pilén, Propuesta a Revestir (Fuente Propia, 2019)



Ilustración 54: Sección de Canal Derivado Pilén, Propuesta a Revestir (Fuente Propia, 2019)



Ilustración 56: Sección de Canal Derivado Pilén, Propuesta a Revestir (Fuente Propia, 2019)



Ilustración 57: Sección de Canal Derivado Pilén, Propuesta a Revestir (Fuente Propia, 2019)



Ilustración 58: Sección de Canal Derivado Pilén, Propuesta a Revestir (Fuente Propia, 2019)



Ilustración 59: Sección de Canal Derivado Pilén, Propuesta a Revestir (Fuente Propia, 2019)



Ilustración 60: Sección de Canal Derivado Pilén, Propuesta a Revestir (Fuente Propia, 2019)



Ilustración 61: Sección de Canal Derivado Pilén, Propuesta a Revestir (Fuente Propia, 2019)

5.3.3 Análisis técnico de sección de canal

Para comenzar el análisis técnico de la sección de canal a revestir de la cual obtendremos un revestimiento ideal que posteriormente analizaremos económicamente, es necesario conocer que revestimientos son ideales en estos casos; por lo que nos decidimos por 3, donde 2 (hormigón armado y hormigón proyectado o shotcrete), son los más utilizados en la zona según Don Edmundo Aravena, presidente de la Asociación de Canalistas de Cauquenes y un tercero que es una alternativa poco común que analizaremos a continuación.

5.3.3.1 Características técnicas de revestimientos elegidos

5.3.3.1.1 Hormigón Armado

Se trata de un material monolítico y sólido, el cual resulta de la unión de hormigón y acero, este es un elemento único de acuerdo de sus características físicas, puesto que aprovecha cualidades individuales de cada material.

El hormigón posee una gran resistencia a las compresiones solicitadas, sin embargo, a los esfuerzos de flexión y tracción es muy frágil y se expone a posibles fisuras o agrietamientos. Esto se soluciona al agregarle debidamente barras de acero de refuerzo en las zonas apropiadas, obteniendo un elemento capaz de resistir esfuerzos combinados.

En Chile y sobre todo si el proyecto va acompañado de un subsidio de la ley de riego 18.450, las comunidades o particulares, prefieren hormigón armado ya que presenta las siguientes ventajas:

- Fácil de instalar y construir en cualquier tipo de terreno, en especial en canales en que se trabaja sólo por el interior del mismo canal.
- Disminuye los costos de mantención y limpieza
- Mejora la estructura del canal al estabilizar sus taludes
- Es de gran durabilidad

5.3.3.1.2 Hormigón Proyectado o Shotcrete

Es un material que consiste en hormigón colocado por proyección neumática de alta velocidad desde una boquilla.

Sus componentes son áridos, cemento y agua, también es posible complementarlo con materiales finos, aditivos químicos y fibras de refuerzo

El shotcrete se puede realizar con equipos robotizados o manualmente, por el método de vía húmeda o vía seca. El método más adecuado depende tanto de las dimensiones de la obra y la cantidad de hormigón a proyectar, como de las circunstancias logísticas.

Las principales aplicaciones del hormigón proyectado son el soporte y el revestimiento en la construcción de túneles, el soporte de suelo y roca en minería subterránea, canales, embalses y complejos hidroeléctricos. También es ampliamente usado para la estabilización de taludes.

En algunas ocasiones los proyectos subsidiados por la “Ley de Riego 18.450”, ocupan este revestimiento —en menor cantidad que el hormigón armado— donde se destacan las siguientes ventajas:

- Posee una consistencia adecuada, aun proyectándose en estado semi líquido
- Resistencia temprana en estado fresco (idealmente para el soporte de excavaciones subterráneas)
- Alta resistencia a la compresión
- Durabilidad en su estado endurecido

5.3.3.1.3 Geomembrana bituminosa (Coletanche de Axter)

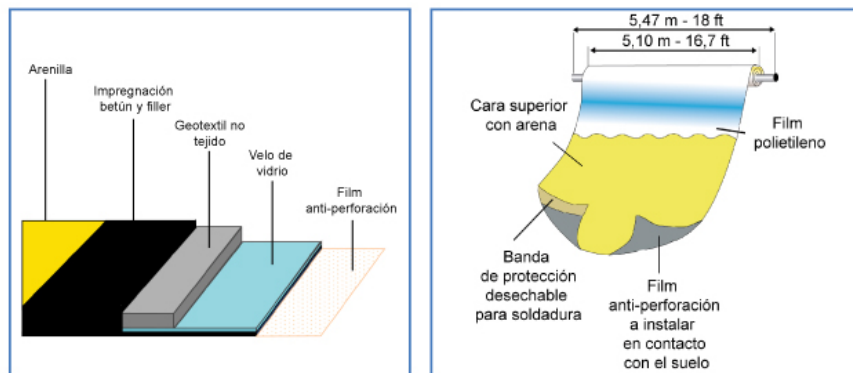
Esta es la única geomembrana bituminosa fabricada con un ancho de 5,10 ml. Esta es una combinación de un aglomerante a base de betún elastómero u oxidado con una armadura de geotextil de poliéster no tejido. Su diseño asegura y garantiza alta resistencia mecánica y química a largo plazo.

Se describe como un excelente aliado para la protección del medio ambiente y ofrece distintas aplicaciones en la industria y la minería, como depósitos de almacenamiento, sistemas de lagunaje, residuos sólidos, etc.

También se ha instalado con gran éxito en diversos sistemas de almacenamiento y de transporte de agua. Entre ellos, presas, depósitos, balsas y canales.

La empresa Axter, creadora y encargada de la venta del producto Coletanche, ofrece su compañía durante toda la obra, pone a disposición documentos como ficha de instalación, recomendaciones, y manuales de instalación. También ofrece equipos especializados para la instalación de las geomembranas, formación de equipos de soldadores (impartida por los técnicos de Coletanche).

Además, el control de la soldadura exclusivo que la calidad de esta puede someterse a un control completo de ultrasonidos, de conformidad con el procedimiento CAC2002, o bien verificarse mediante ecógrafo o campana de vacío en proyectos de mayor complejidad.



*Ilustración 62: Composición Geomembrana Coletanche
(Axter, s.f.)*

Este revestimiento, según Don Ramón Rojas, asistente de ventas de Axter en Chile y Argentina, quién nos ayudó en el proceso para proponer este revestimiento en nuestro trabajo de título, nos cuenta que se ha usado en canales de riego en Chile, pero de manera privada, es decir, no bajo la "Ley de Riego 18.450" con algún tipo de bonificación del estado.

Sus principales ventajas y propiedades son las siguientes:

- Resistencia a la oxidación y rayos UV.
- Su ángulo de fricción es considerado como uno de los más altos, siendo así más fácil y seguro instalarlo en pendientes.
- Resistencia mecánica durante la instalación, significando una resistencia al desgarro aproximadamente 5 veces mayor a la de una geomembrana de HDPE.
- Posee la propiedad de "auto-curado o auto-sellado" donde se sellan automáticamente las punciones gracias a su visco-elasticidad por la naturaleza del bitumen que forma parte de la membrana.

- Permite la instalación en cualquier condición climática, por ser más gruesa y pesada que la competencia.
- Las juntas de Coletanche usan un método común de soldado a base de una llama de propano y un rodillo, siendo posible entrenar al equipo de trabajo durante la instalación.

5.3.3.2 Procesos constructivos de los revestimientos

Para cada revestimiento se deben realizar actividades en la parte inicial de la obra, que son iguales para todos tales como:

- Instalación de faena.
- Ubicación de P.R.
- Adquisición de materiales
- Replanteo
- Trazado

Posteriormente a estas, siguen las actividades propias de cada mejoramiento, siempre acompañado de las supervisiones y recepciones parciales de la obra, realizadas por los ITO (Inspectores Técnicos de Obra).

5.3.3.2.1 Hormigón Armado

1. Perfilar el terreno.
2. Excavación para llegar a la cota deseada y de material suelto.
3. Reemplazar por material apto en las zonas que lo necesiten.
4. Compactar la superficie.
5. Colocación y compactación de la base estabilizada.
6. Cortar malla electrosoldada para el radier.
7. Preparar y colocar moldajes para radier.
8. Limpiar y humedecer zona de radier.
9. Colocar malla electrosoldada.
10. Verter hormigón.
11. Confeccionar juntas de dilatación, con madera, fibrocemento u otro material, de lo contrario no se podría hacer los cortes con sierra una vez que el hormigón fragüe.
12. Aplicar membrana de curado.
13. Realizar el tratamiento de juntas en la zona donde irán los muros.
14. Preparar y colocar moldaje exterior de muros.
15. Cortar, colocar y armar enfierradura de muros.
16. Colocar calugas para el recubrimiento.
17. Preparar y colocar moldajes interiores de los muros.
18. Verter hormigón de muros.
19. Cuando el hormigón fragüe, retirar moldajes y aplicar membrana antisol.
20. Relleno de respaldo para muros.

5.3.3.2.2 Hormigón proyectado o Shotcrete

1. Perfilar el terreno.
2. Excavación para llegar a la cota deseada y de material suelto.
3. Reemplazar por material apto en las zonas que lo necesiten, dejando un excedente de 10 cm hacia adentro del canal.
4. Taluzear ambos muros del canal hasta dejar la sección deseada.
5. Compactar la superficie.
6. Colocación y compactación de base estabilizada.
7. Cortar malla electrosoldada para el radier.
8. Preparar y colocar moldajes para radier.
9. Limpiar y humedecer zona de radier.
10. Colocar malla electrosoldada en el lugar donde irá.
11. Verter hormigón.
12. Confeccionar juntas de dilatación, con madera, fibrocemento u otro material, de lo contrario no se podría hacer los cortes con sierra una vez que el hormigón fragüe.
13. Aplicar membrana de curado.
14. Introducir los fierros de anclaje, dejándole 5 cm a la vista para luego amarrar la malla electrosoldada a estos.
15. Cortar y colocar la malla electrosoldada, amarrándola con alambre a los fierros de anclaje.
16. Proyectar el hormigón hacia los muros, con fuerza neumática, con esto obtenemos la colocación y compactación a la vez.
17. Aplicar membrana antisol en la superficie de los muros.

5.3.3.2.3 Geomembrana bituminosa (Coletanche de Axter)

1. Preparación de la superficie, nivelar y compactar el talud.
2. Cumplir con la calidad de la superficie indicada en las EE.TT.
3. Control de la vegetación, aplicar herbicidas por lo menos 48 horas antes de la iniciación de la instalación.
4. Excavar zanjas de anclaje, tener el cuidado de que la superficie no presente irregularidades o protuberancias.
5. Colocación de la geomembrana bituminosa.
6. Descargue del material, según lo indicado en las EE.TT.
7. Extensión de la Geomembrana sobre la superficie preparada.
8. Asegurar que la geomembrana no se desacomode utilizando sacos con tierra, arena o llantas.
9. Verificar que la zona cubierta no tenga daños (punzonamientos, rasgaduras), si los tiene se deben reparar.
10. Unión de las geomembranas extendidas en sentido del viento para minimizar los efectos del viento en los bordes.
11. Preparación de las uniones, verificando que no tengan ningún tipo de suciedad, polvo o grasa, que impida la correcta unión.
12. Sellados de prueba.
13. Sellado en campo, se refiere a unir dos rollos utilizando un rodillo calentado por propano en la extensión de la unión correspondiente.
14. Reparaciones de distintos tipos, parcheo, repaso y resellado, sellado de punteo, refuerzo de sellado y extrusión.
15. Relleno y compactación de la zanja de anclaje.

5.3.3.3 Conclusión de análisis técnico

Para finalizar el análisis técnico mostraremos las conclusiones que determinamos más convenientes para la propuesta de revestimiento e impermeabilización del canal sub-derivado Pilén, con el fin de aprovechar al máximo el recurso agua y evitar un sinnúmero de consecuencias que conlleva un canal sin revestir que ya hemos mencionado en este trabajo de título.

Es necesario decir que, al analizar cada ventaja y desventaja de los revestimientos investigados, podemos determinar cuál es el mejor según los requerimientos de los propietarios del canal y que también, muestre un aporte a las alternativas de revestimientos de canales que podemos encontrar y hacer uso en el mercado.

5.3.3.3.1 Hormigón Armado

Si bien es un material muy apto para la construcción ya que resiste esfuerzos combinados de tracción y compresión, este material para nuestro caso estudiado no sería una gran propuesta en comparación a otros.

Principalmente estas falencias derivan a el método de trabajo que requiere, el cuál es bastante largo y requiere de gente especializada para ello, requiere más mano de obra la cual aumenta los costos sustancialmente frente a un revestimiento como una geomembrana, en donde se destaca la preparación de la enfierradura y el vaciado del hormigón que suelen ser actividades muy demorosas y que requieren de maestros especializados.

Por otro lado, el hormigón tiene la particularidad de poder ser preparado en obra, lo cual aumenta el tiempo de mano de obra que se requerirá, o también puede ser llevado en un camión desde una planta hormigonera, donde habrá más certeza que se cumple con los estándares propuestos en las especificaciones técnicas.

Se puede decir que el hormigón armado es un material costoso, que requiere mucha mano de obra y que es el material que más apto para Chile en cuanto a resistencia frente a sismos, pero en el caso de los canales, eso es debatible, ya que de una u otra forma el hormigón es una estructura, y lo que buscamos es impermeabilizar.

En conversaciones con locatarios del sector que comprende al canal derivado Miraflores, nos dejaron saber que los revestimientos de canales de hormigón presentan fallas como agrietamientos, asentamientos y filtraciones visibles a los aproximadamente 5 años de haberse construidos.

Y esto puede deberse a las napas freáticas superficiales que pueden presentarse en las zonas que existe un canal, provocando movimientos en la tierra que no vuelven a su estado natural y, por ende, fisuras, asentamientos o levantamientos en los canales revestidos de hormigón.

5.3.3.3.2 Hormigón proyectado o Shotcrete

El hormigón proyectado, es similar al hormigón armado respecto a su densidad aparente, resistencia a la compresión y tracción y cizallamiento, pero, gracias a una característica notable que este tiene, se puede adherir a la superficie de aplicación y así obtener forma de superficie deseada.

Esto es muy útil a la hora de hablar de los canales de riego, ya que el problema que se presenta en la construcción del revestimiento de estos corresponde a la confección del talud, el que constructivamente es más complicado por dar una inclinación al muro del canal.

En conversaciones con Jorge Quezada Valenzuela, Gerente técnico de la Asociación de Canalistas DIGUA, Parral, nos comentaba que hoy en día, para hacer el trabajo más sencillo, se gasta más dinero las proyecciones de hormigón armado en forma rectangular, donde es más conveniente trabajar con moldajes que dar la proyección de un talud trapezoidal con mano de obra, pero usando mayor cantidad de hormigón y enfierradura por ser de una naturaleza rectangular y no trapezoidal el revestimiento.

Por lo mismo, el shotcrete u hormigón proyectado facilita en ese aspecto el fabricar un talud en un canal o hasta dejarlo de forma circular o triangular, donde el agua adquiere mayor velocidad y, por ende, se necesitaría una menor sección para cumplir con una sección de máxima eficiencia hidráulica.

Pero, a pesar de ser un revestimiento que, en nuestro caso, parece ser una mejor alternativa que el hormigón armado, este requiere de, si o si, la venta de este desde una planta hormigonera, su respectivo camión mezclador y un maestro shotcretero lo cual eleva los costos de manera sustancial.

Por otro lado, acarrea todos los problemas que presenta el hormigón armado que presentamos ya que posee características similares y, el coeficiente de rugosidad del shotcrete (0,016 a 0,019) es más alto que la de una geomembrana (0,010 a 0,012) y el hormigón armado (0,012 y 0,014) por lo que requiere de una sección más grande.

5.3.3.3.3 Geomembrana bituminosa (Coletanche de Axter)

Respecto a la geomembrana que nos propuso Don Ramón Rojas, gerente de ventas de Axter, creemos es la mejor opción ya que por todo ámbito parece ser ideal teóricamente y en la práctica según Don Ramón Rojas, entre estas ventajas destacamos; la resistencia al desgarró, al punzonamiento estático y dinámico, a la presión hidrostática y a la temperatura, además es antiraíces lo que previene futuras fallas en el producto.

La membrana bituminosa es comparable en viejos tiempos vs una membrana de HDPE, la cual es obsoleta hoy en día por su baja resistencia y durabilidad, por lo que podríamos decir que la membrana bituminosa de Axter es una evolución de la membrana de HDPE que ahora sí, puede enfrentarse a revestimientos como los antes mencionados.

Junto con las ventajas que posee Coletanche ES2 para su instalación, donde se destaca lo rápida, limpia, amigable con el medio ambiente, no requiere de un gran equipo de trabajo, y (en nuestro caso) la necesidad de contar con instalación de faenas por ser un trabajo que se puede completar en máximo 4 días.

Siendo así, Coletanche ES2 el revestimiento ideal para nuestro proyecto en todo ámbito, pero, no existen registros de propuestas para revestimientos de canales con bonificación en la Ley de Riego 18.450, si no, que su uso en Chile solo ha sido de manera privada, de manera que esperamos, que materiales como este, puedan entrar en las próximas bonificaciones que proponen los consultores inscritos en esta ley y, en base a nuestro estudio, proponer un revestimiento que es mejor en muchos sentidos frente a los más utilizados hoy en día.

5.4 Perfiles longitudinales y transversales de sección de canal

Una vez elegida técnicamente a la geomembrana bituminosa como revestimiento ideal frente a el hormigón armado y el shotcrete, procederemos a realizar el análisis económico respectivo con análisis de precios unitarios.

Para ello, nos contactamos con Don Ramón Rojas, asistente de ventas de Axter en Chile y Argentina, quién amablemente nos indicó el proceso de instalación y las recomendaciones necesarias de la geomembrana bituminosa Coletanche.

Antes de realizar el análisis de precios unitarios, es necesario definir un perfil al canal que revestiremos, el cual nos brindará la pendiente del canal revestido, el movimiento de tierra correspondiente y posteriormente los datos hidráulicos que obtendremos a través del programa computacional HCanales. En conversaciones con nuestro profesor guía, nos inclinamos a realizar la perfilación de este a través de un análisis a los perfiles longitudinales y transversales con ayuda de un nivel topográfico y el programa de dibujo AutoCAD.

El proceso topográfico que realizamos consistió en lo siguiente:

1. Se procedió a instalar primeramente una estaca en un PR de cota 100,000 al costado del canal de sección rectangular, luego se siguió instalando estacas dentro del eje del canal cada 40m, contabilizando un total de 12 estacas; incluyendo PR, contabilizando un total de 376 metros lineales de canal.
 2. A continuación, se instaló el nivel en una posición media del trayecto del canal a nivelar.
 3. Se caló en 0° en el PR, procediendo a tomar las medidas de Hilo Superior, Hilo Medio e Hilo Inferior del PR y de las 9 estacas instaladas, más la medida del piso de la compuerta metálica de entrada al canal. En cada medición realizada en cada estaca se tomó medida del ángulo horizontal concluyendo los datos necesarios para la obtención del perfil longitudinal del canal.
- Los datos obtenidos se procesaron para la obtención del Perfil Longitudinal del canal

4. Sin cambiar la posición del instrumento, se midió bajo el siguiente procedimiento la toma de datos para la obtención de Perfil Transversal; un punto de terreno al costado del canal a una distancia arbitraria de la estaca instalada en el eje del canal, luego un punto en el borde del canal, a continuación un punto del fondo del canal de un costado, luego otro punto del fondo del canal del otro costado, inmediatamente un punto del borde del canal del otro costado y por último un punto de terreno al costado del canal del lado opuesto, contabilizando un total de 5 puntos por estaca instalada concluyendo los datos necesarios para la obtención del perfil transversal del canal.
- Los datos obtenidos se procesaron para la obtención del Perfil Transversal del canal

Una vez procesados los datos topográficos se procedió a realizar el dibujo de estos en el programa computacional de dibujo AutoCAD.

Para la elección del perfil propuesto, nos inclinamos por la recomendación de Don Ramón Rojas, gerente de ventas de Axter que consistía en perfilar el canal de manera que se limpie toda la superficie del canal de malezas, palos, ramas, piedras, etc. para así evitar el poner un relleno que pueda dañar la geomembrana.

Por esto, decidimos bajarnos 18 cm y desde ahí lanzar la rasante hacia el último donde bajamos 18 cm igual.

El talud aplicado, correspondiente a 0.7 m el cuál es una medida ideal para trabajar Coletanche como también para el caudal del canal, que, se analizará en detalle en el análisis hidráulico que se expondrá a continuación.

5.4.1.1 Perfil Longitudinal

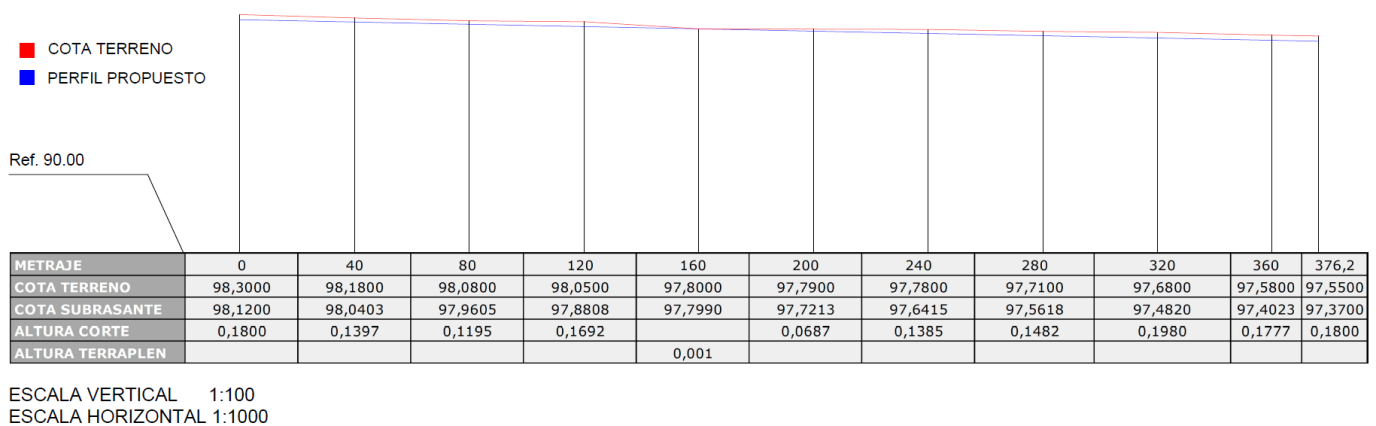


Ilustración 63: Perfil Longitudinal (Fuente Propia)

5.4.1.2 Perfiles transversales

Perfil N°1 0,0 m

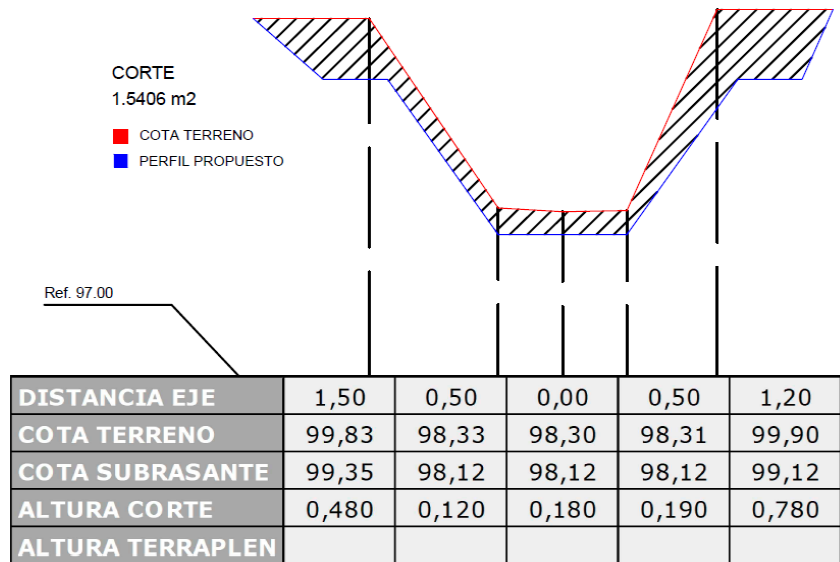


Ilustración 64: Perfil Transversal N°1 (Fuente Propia)

Perfil N°2 40,0 m

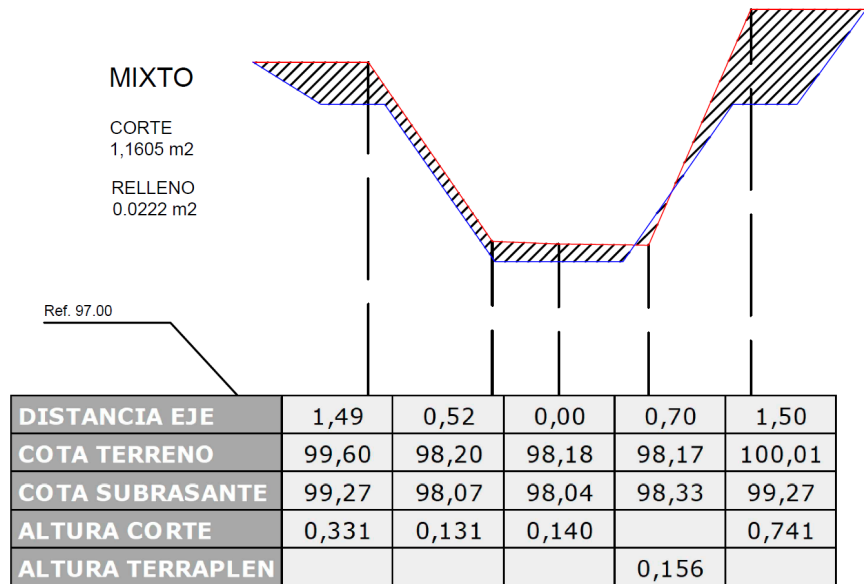


Ilustración 65: Perfil Transversal N°2 (Fuente Propia)

Perfil N°3 80,0 m

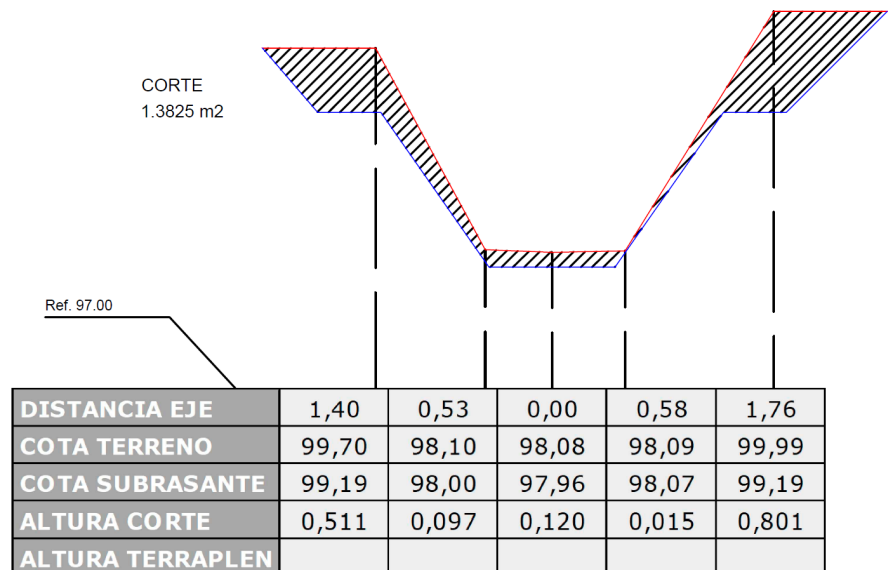


Ilustración 66: Perfil Transversal N°3 (Fuente Propia)

**Perfil N°4
120,0 m**

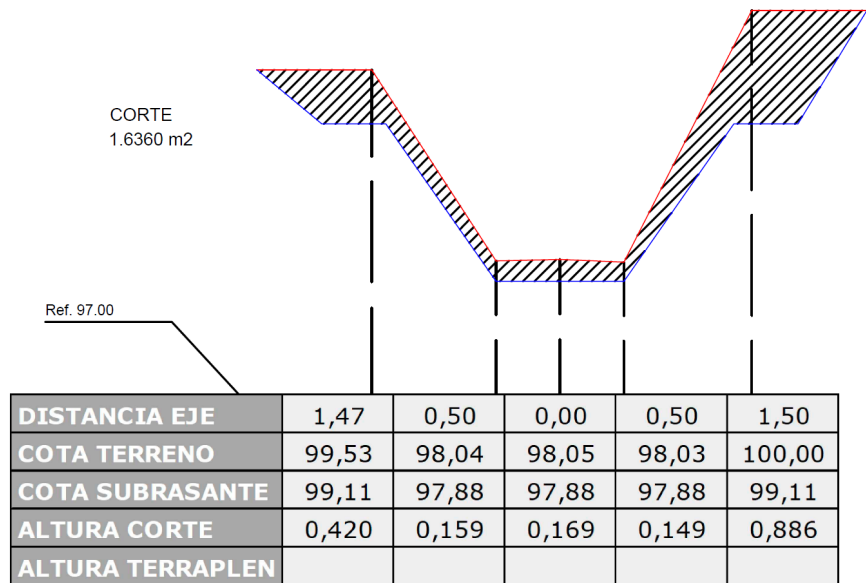


Ilustración 67: Perfil Transversal N°4 (Fuente Propia)

**Perfil N°5
160,0 m**

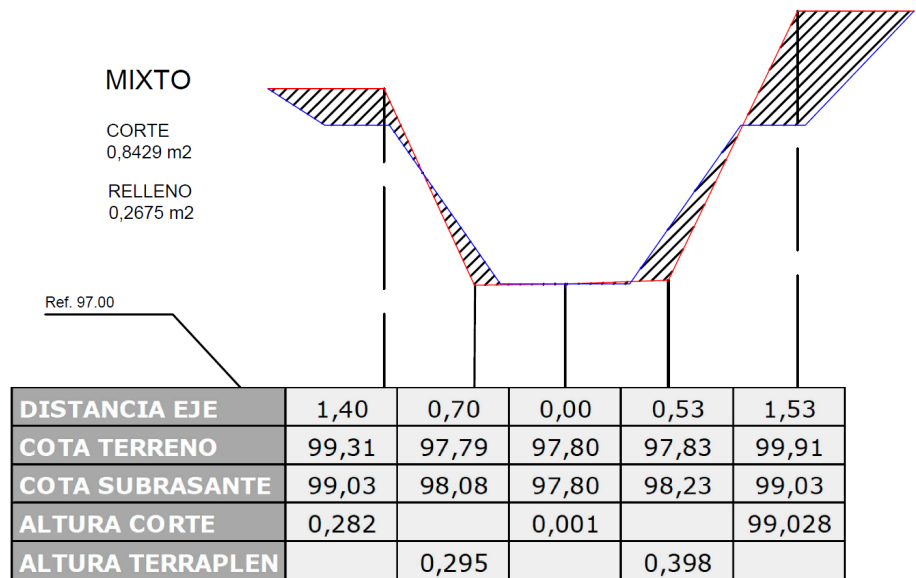


Ilustración 68: Perfil Transversal N°5 (Fuente Propia)

**Perfil N°6
200,0 m**

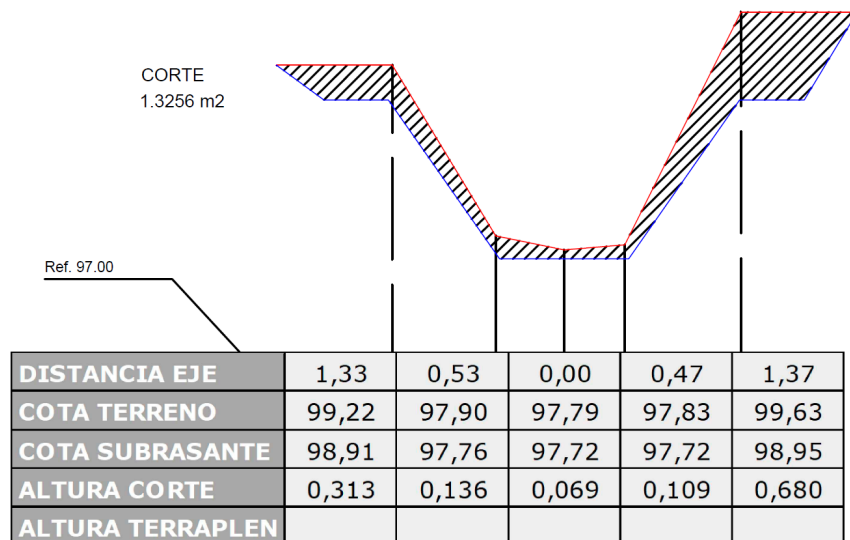


Ilustración 69: Perfil Transversal N°6 (Fuente Propia)

**Perfil N°7
240,0 m**

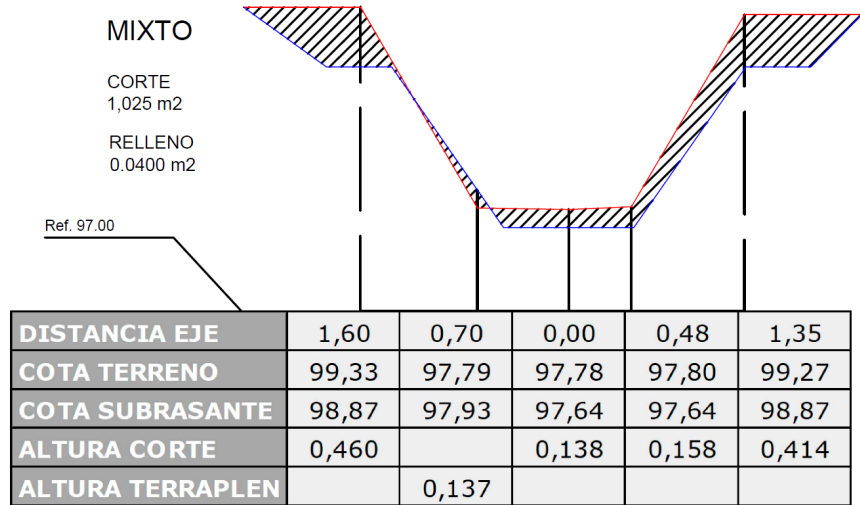


Ilustración 70: Perfil Transversal N°7 (Fuente Propia)

**Perfil N°8
280,0 m**

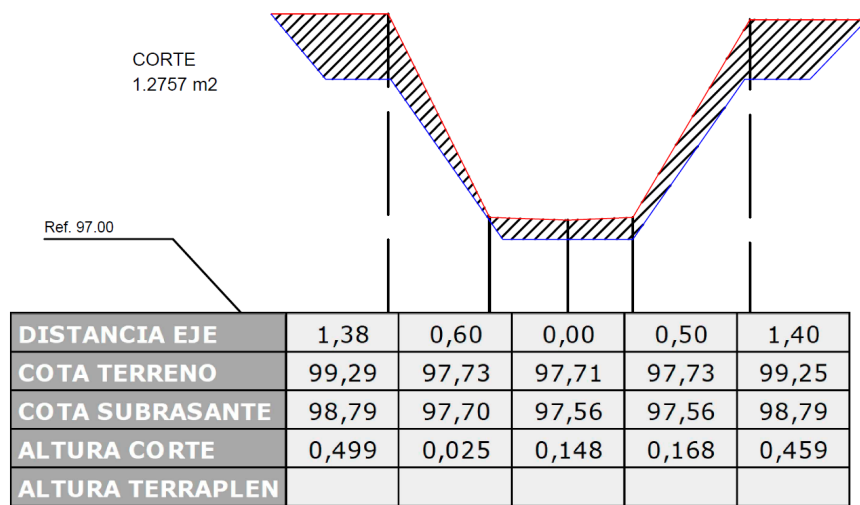


Ilustración 71: Perfil Transversal N°8 (Fuente Propia)

**Perfil N°9
320,0 m**

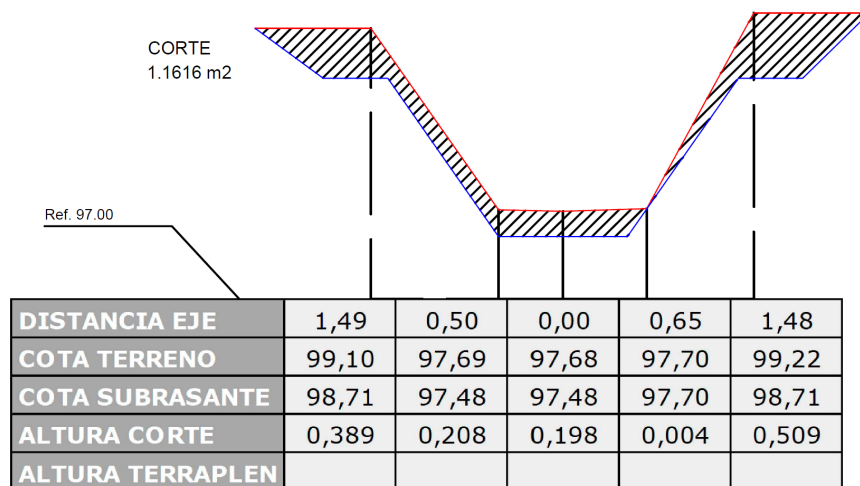


Ilustración 72: Perfil Transversal N°9 (Fuente Propia)

Perfil N°10
340,0 m

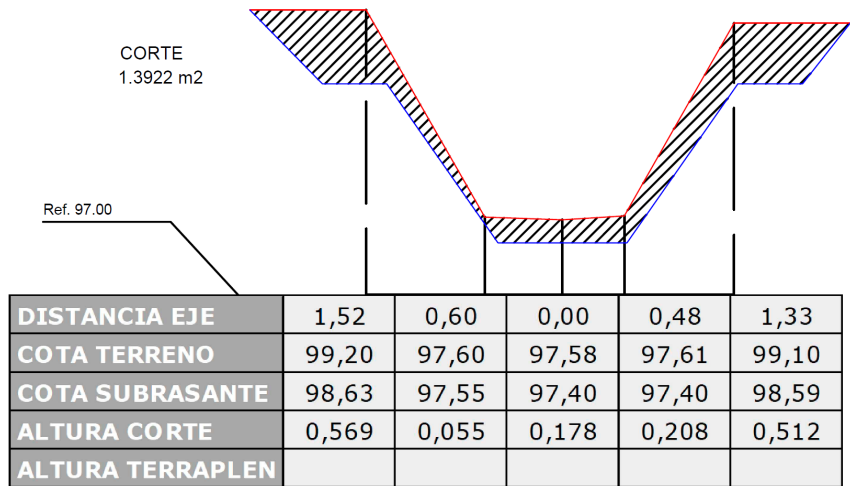


Ilustración 73: Perfil Transversal N°10 (Fuente Propia)

Perfil N°11
376,0 m

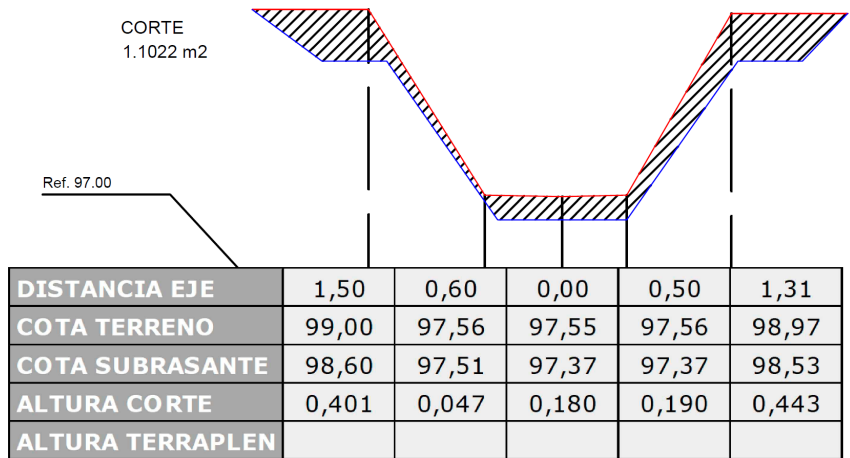


Ilustración 74: Perfil Transversal N°11 (Fuente Propia)

5.5 Análisis Hidráulico

Con ayuda del programa computacional HCanales el cual permite resolver los problemas más frecuentes que se presentan en el diseño de canales y estructuras hidráulicas, los cuales son:

- Calcular el Tirante Normal
- Calcular el Tirante Crítico
- Calcular el Resalto Hidráulico
- Calcular la Curva de Remanso
- Calcular el caudal que transporta un canal neutral tanto para rugosidad constante como para rugosidad variable
- Calcular el caudal que transportó un canal construido para las secciones transversales artificiales de uso común, como son:
 - Sección Triangular
 - Sección Rectangular
 - Sección Trapezoidal
 - Sección Parabólica
 - Sección Circular

Para el caso en estudio lo que se hará será ingresar los datos para el canal sin revestir y revestido esperando obtener la altura normal y velocidad que tendrá cada caudal variando el coeficiente de rugosidad y así comparar uno con otro.

HCanales, trabaja con la ecuación de Manning. La fórmula de Manning es una evolución de la fórmula de Chézy para el cálculo de la velocidad del agua en canales abiertos y tuberías, propuesta por el ingeniero irlandés Robert Manning, en 1889:

$$Q(h) = \frac{1}{n} * \left(\frac{A(h)}{P(h)} \right)^{\frac{2}{3}} * S^{1/2}$$

Donde:

$A(h)$ = área mojada en m², función del tirante hidráulico **h**;

$P(h)$ = perímetro mojado, en m, función del tirante hidráulico **h**;

n = coeficiente de rugosidad de pared;

$V(h)$ = velocidad media del agua en m/s;

$Q(h)$ = caudal del agua en, m³/s

S = pendiente de la línea de agua en m/m

5.5.1 Uso de HCanales

5.5.1.1 Sección natural (sin revestir)

Para calcular la sección natural, tuvimos que sacar un promedio de los perfiles tomados, ya que cada uno de estos varía en las cotas, resultándonos un perfil con estos datos que luego pusimos en el programa computacional HCanales:

Caudal (Q) = 0,60 m³/s o 600 l/s (proporcionado por Don Edmundo Aravena)

Ancho de solera (b) = 1 m

Talud (Z) = 0,6 m

Rugosidad (n) = 0.040

Pendiente (S) = 0,00199362 m/m

The screenshot shows the HCanales software interface with the following data:

Lugar:		Predio Lucía Ojeda		Proyecto:		Canal Sub-Derivado Pilén	
Tramo:		Km. 0,000- Km. 0,376		Revestimiento:		Canal Irregular, mal conserva	

Datos:	
Caudal (Q):	0.6 m ³ /s
Ancho de solera (b):	1 m
Talud (Z):	0.6
Rugosidad (n):	0.040
Pendiente (S):	0.00199362 m/m

Resultados:			
Tirante normal (y):	0.7140 m	Perímetro (p):	2.6653 m
Area hidráulica (A):	1.0198 m ²	Radio hidráulico (R):	0.3826 m
Espejo de agua (T):	1.8568 m	Velocidad (v):	0.5883 m/s
Número de Froude (F):	0.2535	Energía específica (E):	0.7316 m-Kg/Kg
Tipo de flujo:	Subcrítico		

The interface also includes a diagram of a trapezoidal channel cross-section with labels for top width (T), bottom width (b), height (y), and slope (Z). At the bottom, there are icons for 'Calcular', 'Limpiar Pantalla', 'Imprimir', 'Menú Principal', 'Calculadora', and 'Reporte'.

Ilustración 75: HCanales, Sección sin Revestir (HCanales 3.1)

5.5.1.2 Sección revestida (Coletanche ES2)

Caudal (Q) = 0,60 m³/s o 600 l/s (proporcionado por Don Edmundo Aravena)

Ancho de solera (b) = 1 m

Talud (Z) = 0,7 m

Rugosidad (n) = 0.012

Pendiente (S) = 0,00199362 m/m

The screenshot shows the 'Cálculo de tirante normal secciones: trapezoidal, rectangular, triangular' window. It contains input fields for project location and details, a data entry section, a diagram of a trapezoidal channel, and a results section. At the bottom, there are icons for 'Calcular', 'Limpiar Pantalla', 'Imprimir', 'Menú Principal', 'Calculadora', and 'Reporte'.

Lugar:		Predio Lucía Ojeda		Proyecto:		Canal Sub-Derivado Pilén	
Tramo:		Km. 0,000- Km. 0,376		Revestimiento:		Canal Irregular, mal conserva	

Datos:

Caudal (Q):	0.6	m ³ /s
Ancho de solera (b):	1	m
Talud (Z):	0.7	
Rugosidad (n):	0.012	
Pendiente (S):	0.00199362	m/m

Resultados:

Tirante normal (y):	0.3441	m	Perímetro (p):	1.8401	m
Area hidráulica (A):	0.4270	m ²	Radio hidráulico (R):	0.2321	m
Espejo de agua (T):	1.4818	m	Velocidad (v):	1.4051	m/s
Número de Froude (F):	0.8357		Energía específica (E):	0.4447	m-Kg/Kg
Tipo de flujo:	Subcrítico				

Calcular Limpiar Pantalla Imprimir Menú Principal Calculadora Reporte

Ilustración 76: HCanales, Sección Revestida con Coletanche ES2 (HCanales 3.1)

5.5.2 Análisis de resultados

El análisis concluyó entregándonos los datos antes presentados, que determinan que nuestro canal revestido no presenta problemas advertidos por el programa computacional HCanales.

Determinando así, que no se tienen problemas al poner la geomembrana Coletanche ES2 como revestimiento para una sección de canal con las dimensiones que propusimos.

Contamos con un tirante normal de 0,3441 m, que es la altura del agua desde la base del canal hasta la altura perpendicular del espejo de agua, dándonos una revancha correspondiente a 0,8847 m la cual puede proteger al canal en caso de una crecida de aguas y no provocar un rebalse de las aguas por un efecto de cuello de botella con la sección que inmediatamente continua sin un revestimiento.

La velocidad adquirida depende exclusivamente de la geometría del canal y el coeficiente de rugosidad que posee el revestimiento, como podemos ver, en el canal no revestido se presenta una baja velocidad correspondiente a 0,5883 m/s vs el canal revestido que cuenta con 1,4051 m/s la cual, no representa un problema para HCanales ya que, si no, este lo advertiría.

Vale decir, que los datos adquiridos como; **ancho de solera (b)**, **talud (Z)** y **pendiente (S)**, fueron adquiridos gracias al programa de dibujo AutoCAD.

El dato **caudal (Q)**, fue adquirido gracias a Don Edmundo Aravena, presidente de la Asociación de Canalistas de Cauquenes, quién amablemente nos indicó la cantidad de agua que posee el canal sub-derivado Pilén cuando está en su máxima capacidad en presencia de alguna crecida de agua corresponde a 0,6 m³/s.

Y la **rugosidad (n)**, fue adquirida gracias a los valores del coeficiente n para las expresiones de Kutter, Kutter – Ganguillet y Manning. en (Netto, 1976). donde se indica que un canal irregular y mal conservado, que se ajusta a la descripción del canal que estudiamos, posee un **coeficiente de rugosidad (n)** de 0,040.

Además, gracias a Don Ramón Rojas, pudimos saber el **coeficiente de rugosidad (n)** de **Coletanche ES2**, que corresponde a 0,012, la cual es 0,002 más rugosa que una Geomembrana de HDPE que se ubica en 0,010.

5.6 Cálculo de movimiento de tierra y pendiente de canal

5.6.1.1 Cálculo de movimiento de tierra

Para realizar el movimiento de tierra, nos referimos al libro de Don Pedro Martínez Zúñiga, "Topografía. Nivelación Geométrica y Taquimetría".

En él usamos las siguientes fórmulas:

1. Enfrentamiento entre secciones homogénea del mismo tipo: Corte-Corte / Terraplén-Terraplén

$$V = \frac{S_1 + S_2}{2} \times d$$

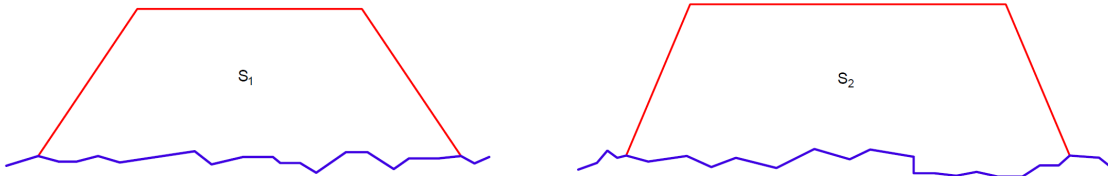
Donde:

$V = \text{Volúmen}$

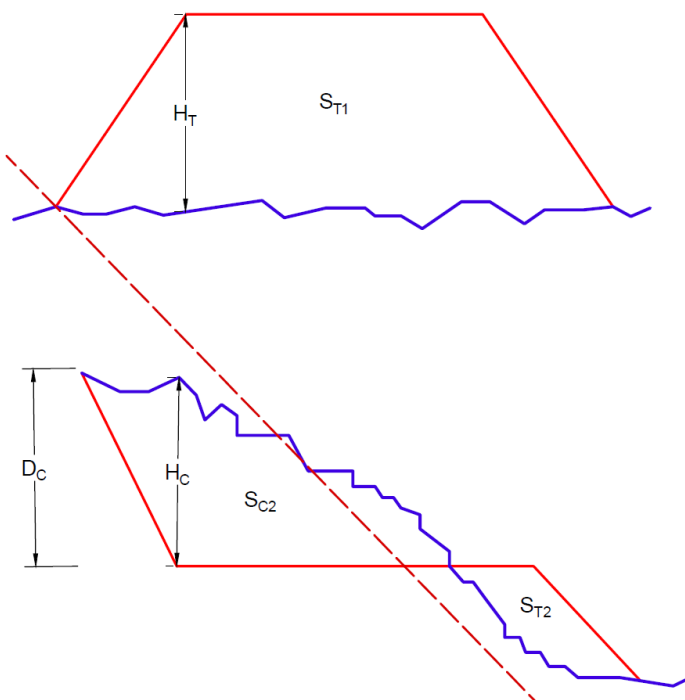
$S_1 = \text{Área Sección}$

$S_2 = \text{Área Sección}$

$d = \text{Distancia horizontal entre perfiles}$



2. Enfrentamiento entre secciones homogéneas a secciones mixtas



$$V_T = \frac{d}{3} (S_{T1} + S_{T2} + \sqrt{S_{T1}} \times S_{T2})$$

$$V_C = \frac{d_C}{3} \times S_{C2}$$

$$d_C = \frac{h_C}{h_C + h_T}$$

Al usar estas fórmulas en los perfiles transversales obtuvimos como resultado lo siguiente:

Volumen Corte/Excavación
469,557 m³

Volumen Relleno
4,14 m³

Por lo que obtenemos, por metro lineal de canal, la siguiente cantidad de volumen de corte —donde despreciamos el volumen de relleno por ser una cantidad escasa— para considerar en el análisis de precios unitarios.

Volumen Corte/Excavación
1.24 m³

5.6.1.2 Cálculo de la pendiente

Para calcular la pendiente usamos la fórmula que indica HCanales:

$$S = \frac{\text{Cota Inicial} - \text{Cota final}}{\text{Longitud total de canal}}$$

$$S = \frac{98,12 - 97,37}{376,2}$$

$$S = 0,00199362$$

5.7 Análisis de precios unitarios de geomembrana bituminosa (Coletanche de Axter)

Una vez realizada la cubicación del movimiento de tierra, es posible saber de acuerdo con la cantidad de metros cúbicos a extraer por metro lineal, la cantidad de trabajo que se requerirá, y así, obtener un valor más certero en lo que se refiere a metro lineal construido de la geomembrana bituminosa Coletanche.

Desglosaremos los ítems del análisis de precios unitarios, identificando dentro de ellos los costos de mano de obra, equipos, maquinarias y materiales.

Los rendimientos y precios se obtuvieron del manual de precios ONDAC, que se obtuvo gracias a la biblioteca de nuestra Universidad Federico Santa María.

5.7.1.1 Aclaración de porcentajes en análisis de precios unitarios

5.7.1.1.1 Pérdidas

Las pérdidas fueron aplicadas a todos los materiales ya que parte de ellos posiblemente pueden ser desperdiciadas por distintas razones constructivas, como derrames, despuntes, tareas mal realizadas, extravíos, etc.

5.7.1.1.2 Desgaste de herramientas

El desgaste de herramientas se les aplicó exclusivamente a los maestros, ya sean albañiles, carpinteros, enfierradores, etc. Esto debido a que generalmente ellos utilizan sus propias herramientas ya que son contratados para una labor específica en donde ellos son especialistas, al contrario que los jornales y ayudantes, los cuales utilizan herramientas de la empresa, dependiendo de la tarea que se le asigne cada día.

5.7.1.1.3 Leyes sociales

Por concepto de leyes sociales, se le aplicó un 55% a toda la mano de obra, este concepto encierra todos los gastos adicionales que generan los empleados para la empresa, algunos de estos gastos son los siguientes: AFP, salud (Isapre o FONASA), derecho a semana corrida, elementos de seguridad, indemnización por años de servicio, contrato colectivo, gratificación, vacaciones, movilización, alimentación, Ley 16.744 de

Accidentes en el Trabajo más tasa diferencial aplicada al rubro de la construcción y seguros.

5.7.1.2 Cubicaciones

5.7.1.2.1 Excavación

Según los perfiles longitudinales y transversales realizados en terreno, a lo largo del canal se debía excavar **469,56 m³**. Para obtener un promedio de lo que se debía excavar en un metro lineal de canal, lo dividimos en **376 metros**, arrojándonos un volumen de excavación igual a **1,24 m³**.

Volumen excavación = 1,24 m³

Esponjamiento = 30%

Volumen excavación esponjado = 1,612 m³

5.7.1.2.2 Relleno

Por ser una cantidad tan baja de relleno resultante de los cálculos a los perfiles transversales y longitudinales consideramos descartarla de las cubicaciones.

5.7.1.2.3 Coletanche ES2

Al presentarle nuestra sección de canal a Don Ramón Rojas, gerente de ventas de Axter, nos recomendó usar la versión de Coletanche ES2 de espesor 4 mm, en un formato de 5.10 metros de ancho por 80 metros de largo. Requiriéndose 5 rollos (400 metros) calculando 5,10 m² de Coletanche por metro lineal de canal.

Longitud Canal = 376,2 metros lineales

Cantidad de m² metro lineal de canal = 5,1 m²

Cantidad de m² a ocupar en total de canal = 1918,62 m²

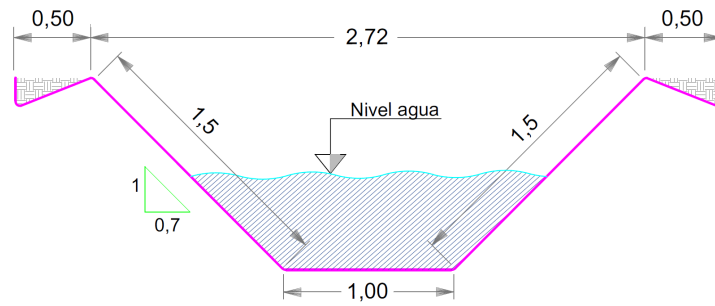


Ilustración 77: Sección Propuesta para Revestimiento de Canal (Fuente Propia)

5.7.1.2.4 Zanja de Anclaje

Calculamos una zanja de anclaje recomendada por Don Ramón Rojas, en la que se colocará relleno de tierra.

Volumen ex. y re. de zanja de anclaje por metro lineal de canal = 0,1556 m³

5.7.1.3 Precios Unitarios

TRAZADO Y REPLANTEO				1 m
ITEM	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (CLP)	PRECIO TOTAL (CLP)
1X8" X 3.2M PINO DIMENSIONADO SECO	c/u	0,320000	\$ 3.017	\$ 965
PINO CUARTON 4X4 3.2M	uni	0,140000	\$ 2.622	\$ 367
CLAVO CORRIENTE 3"	c/u	0,002000	\$ 16.395	\$ 33
ALAMBRE NEGRO #14	kg	0,001100	\$ 54.109	\$ 60
MAESTRO ESTAQUERO	día	0,060000	\$ 19.950	\$ 1.197
JORNALERO	día	0,025000	\$ 15.000	\$ 375
LEYES SOCIALES	%	55%	-	\$ 865
TOTAL				\$ 3.862

Tabla 16: Cuadro Precio Unitario N°1 (Fuente Propia)

EXCAVACIÓN DE CORTE EN TCN				1 m3
ITEM	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (CLP)	PRECIO TOTAL (CLP)
DERECHO A BOTADERO	m3	1,100000	\$ 500	\$ 550
MINIEXCAVADORA 2000 KG	hor	0,035000	\$ 15.990	\$ 560
CAMION TOLVA CAP. 15 M3	hor	0,015000	\$ 32.015	\$ 480
JORNALERO	día	0,020000	\$ 15.000	\$ 300
CAPATAZ	día	0,001000	\$ 40.375	\$ 40
LEYES SOCIALES	%	55%	-	\$ 187
TOTAL				\$ 2.117

Tabla 17: Cuadro Precio Unitario N°2 (Fuente Propia)

CONFECCIÓN ZANJA DE ANCLAJE				1 m3
ITEM	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (CLP)	PRECIO TOTAL (CLP)
JORNALERO	día	0,050000	\$ 15.000	\$ 750
LEYES SOCIALES	%	55%	-	\$ 413
TOTAL				\$ 1.163

Tabla 18: Cuadro Precio Unitario N°3 (Fuente Propia)

INSTALACIÓN COLETANCHE ES2				1 m2
ITEM	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (CLP)	PRECIO TOTAL (CLP)
ROLLO COLETANCHE ES2 5,10X80	un	0,002451	\$ 1.924.536	\$ 4.717
OPERADOR MAQUINARIA	día	0,010638	\$ 250.000	\$ 2.660
JORNALERO	día	0,042553	\$ 15.000	\$ 638
LEYES SOCIALES	%	55%	-	\$ 1.814
TOTAL				\$ 9.829

Tabla 19: Cuadro Precio Unitario N°4 (Fuente Propia)

5.7.1.4 Presupuesto

METRO LINEAL DE CANAL REVESTIDO CON COLETANCHE ES2				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P.U. (CLP)	TOTAL (CLP)
TRAZADO Y REPLANTEO	m	1	\$ 3.862	\$ 3.862
EXCAVACIÓN DE CORTE EN TCN	m3	1,612	\$ 2.117	\$ 3.413
CONFECCIÓN ZANJA DE ANCLAJE	m3	0,1556	\$ 1.663	\$ 259
INSTALACIÓN COLETANCHE ES2	m2	5,1	\$ 9.829	\$ 50.128
TOTAL				\$ 53.800

Tabla 20: Cuadro Presupuesto Final, Metro Lineal Revestido con Coletanche ES2 (Fuente Propia)

5.7.1.5 Precio total de revestimiento de canal

Después de haber realizado los análisis de precios unitarios y el presupuesto, podemos determinar el precio final del revestimiento de la sección de canal elegida.

Precio revestimiento 376,2 metros con Coletanche ES2
20.239.560 CLP

Tabla 21: Precio Final Costo de Revestir Total de Canal (Fuente Propia)

6. CONCLUSIONES

Dotar de revestimiento un canal posee diversas ventajas y evita accidentes catastróficos, para hacerlo se necesita un canal de regadío que sea natural y posea requerimientos como el aumento del área de riego, un buen aprovechamiento del manto, etc. Esto puede lograrse mediante un material que cumpla con las solicitudes de la obra y logre ser satisfactorio a lo largo del tiempo, que aumente el caudal de la sección, que no requiera de mayor mantenimiento y sea más barato.

Con la elección del material Coletanche para revestir el Canal Derivado Pilén acertamos totalmente con las solicitudes, previene la erosión, evita roturas que pueden generarse al tener el canal sin revestir, es anti raíces lo que elimina el crecimiento de vegetación que impida un buen escurrimiento del agua, aumenta la velocidad del agua que pasa por la sección revestida, es decir obtiene un mayor caudal; disminuye los costos de mantenimiento en comparación con canales sin revestir y con otros tipos de revestimientos, esto a su vez reduce los costos de riego ya que se necesitaría menos mano de obra para llevar a cabo la actividad aplicada a la agricultura. Es un material que mantiene el canal el buen estado sanitario y esto impide la proliferación de mosquitos e insectos que puedan desfavorecer la salud de las personas que tengan contacto con el canal. Impide también el contacto del manto con terrenos que posean estratos con alta concentración de sales, lo que a su vez imposibilita que el manto de riego pueda deteriorar la aptitud del terreno para cultivar. Evita una suma de problemas que pueden llegar a ser catastróficos no solo para el encauce del recurso, sino también para los cultivos y los poblados cercanos propensos a aluviones o inundaciones.

La decisión de desarrollar un estudio de propuesta de revestimiento de canales en Cauquenes fue dado a su gran problemática, el poco aprovechamiento del agua para el riego por la carencia de revestimientos en canales provenientes del Embalse Tutuvén, siendo esta zona muy reconocida por sus cultivos de vino y agricultura ya que posee un terreno, un clima y un recurso natural propiciado por el embalse, que favorecen la producción agrícola, además gran parte de la población total de la Región del Maule se dedica a rubros relacionados con la agricultura. Y para que esto siga ocurriendo se hace necesario revestir los canales de regadío. El Embalse Tutuvén posee pérdidas de agua por filtraciones de un 25 a 30%, y como solución, proponemos un revestimiento bastante bueno para un canal, el cual sin problemas podría ser empleado en los demás canales derivados que componen la zona.

Seleccionamos el Canal Derivado Pilén, ubicado al sur del Embalse Tutuvén ya que posee una longitud total de 11 km donde el 95% de este no se encuentra revestido y requiere de un sistema de mejoramiento que favorezca la producción agrícola de la zona. Posee un sifón de 130 metros de longitud que se encuentra en buen estado, lo que puede aprovecharse al dotar de revestimiento el canal, al ser un canal mayoritariamente de tierra es uno de los con mayor cantidad de problemas dentro del sistema de conducción. Lo que podría mejorarse al implementar en secciones críticas el revestimiento propuesto por nosotros, y este aseguraría su gran funcionalidad a lo largo del tiempo.

La propuesta del revestimiento comenzó por buen camino, primero el análisis técnico nos permitió reconocer las ventajas y desventajas de los revestimientos descritos dentro del proyecto que se estudia, con esto pudimos sacar como conclusión que material sería más apto para el mejoramiento de la sección del canal a revestir y nos inclinamos hacia el revestimiento del canal con la geomembrana bituminosa Coletanche ES2 por sus propiedades únicas que presenta frente a los revestimientos propuestos.

Para luego, realizar un estudio topográfico el cual nos determinó el perfil de dicho revestimiento sobre la sección a cubrir, después, mediante precios unitarios, presupuesto y costo final de la instalación del material, determinamos que resultó ser un material económico y que va de la mano con su gran eficiencia, siendo bastante apto para la solución de nuestra problemática. Además, con los cálculos hidráulicos se pudo demostrar, que sería un material que no tendría ningún problema para su utilización como revestimiento en la sección propuesta.

BIBLIOGRAFÍA

- Centro del Agua. (s.f.). *Centro del agua, Universidad de Concepción*. Obtenido de <http://www.centrodelagua.cl/?q=node/13>
- Comisión Nacional de Riego. (2009). *Programa de transferencia para el desarrollo del riego en Tutuvén*. Santiago.
- Comisión Nacional de Riego. (s.f.). *Comisión Nacional de Riego*. Obtenido de <https://www.cnr.gob.cl/agricultores/como-postular/>
- Dirección de Obras Hidráulicas. (2003). *El riego en Chile*. Santiago: MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS.
- Dirección de Obras Hidráulicas. (s.f.). *Dirección de Obras Hidráulicas del Ministerio de Obras Públicas*. Obtenido de http://www.doh.gov.cl/publicacionesyestudios/Documents/historia_del_riego_en_chile.pdf
- Dirección General de Aguas. (16 de Enero de 2019). *Dirección General de Aguas*. Obtenido de <http://ingenieria.uchile.cl/noticias/150990/balance-hidrico-nacional-constatara-importante-variacion>
- FedeFruta. (3 de Septiembre de 2010). *Federación de Productores de Frutas en Chile*. Obtenido de <http://fedefruta.cl/estudio-analisis-potencial-fruticola-de-la-region-del-maule/>
- Instituto Nacional de Estadísticas. (2017). *Censo de población*. Obtenido de <https://ine.cl/>
- Netto, A. (1976). Manual de Hidráulica. En R. d. Miguel Fernandez y Fernandez.
- Universidad de Talca. (2014). *Memoria explicativa, Plan regulador Comuna de Cauquenes, Localidades de Cauquenes, Barrio estación y Santa sofía*. Talca.
- Wikipedia. (s.f.). *Cauquenes*. Obtenido de <https://es.wikipedia.org/wiki/Cauquenes#Hidrograf%C3%ADa>