



FACULTAD DE INGENIERÍA

Memoria de titulación para optar al
Título de Ingeniero Civil Oceánico

**POTENCIAL DE ENERGÍA POR CORRIENTES DE
MAREA EN SITIOS CON MAGNITUDES INFERIORES A
1,5 [m/s].**

Paulette Nicole Massart Peralta

Marzo 2015

APROBACIÓN

POTENCIAL DE ENERGÍA POR CORRIENTES DE MAREA EN SITIOS CON MAGNITUDES INFERIORES A 1,5 [m/s]

Paulette Nicole Massart Peralta

COMISIÓN REVISORA

NOTA

FIRMA

Dr. Mario Cáceres.
Profesor Guía.

Dra. Catalina Aguirre.

Dr. Jaime Letelier.

DECLARACIÓN

Este trabajo, o alguna de sus partes, no han sido presentados anteriormente en la Universidad de Valparaíso, institución universitaria chilena o extranjera u organismo de carácter estatal, para evaluación, comercialización u otros propósitos. Salvo las referencias citadas en el texto, confirmo que el contenido intelectual de este Proyecto de Título es resultado exclusivamente de mis esfuerzos personales.

La Universidad de Valparaíso reconoce expresamente la propiedad intelectual del autor sobre esta Memoria de Titulación. Sin embargo, en caso de ser sometida a evaluación para los propósitos de obtención del Título Profesional de Ingeniero Civil Oceánico, el autor renuncia a los derechos legales sobre la misma y los cede a la Universidad de Valparaíso, la que estará facultada para utilizarla con fines exclusivamente académicos.

Paulette Massart P.
Alumno

Mario Cáceres
Profesor Guía.

AGRADECIMIENTOS

Los datos de ADCP remolcado de los canales Leucayec y Apiao, obtenidos en una campaña de corrientes institucional del año 2001 para satisfacer demanda de la carta náutica, fueron proporcionados por el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada (SHOA) a través del Centro Nacional de Datos Oceanográficos (CENDHOC). Los datos de ADCP fijo en de Canal Gabriel y Paso del Indio fueron gentilmente proporcionados por el (SHOA) en el marco de un acuerdo de cooperación.

Los datos del Estero Pitipalena fueron proporcionados por el proyecto FNDR de la Decimoprimer región de Aysén, código BIP 30010880-0 "Análisis del Comportamiento de la Marea Roja en dos localidades de la provincia de Aysén, Puerto Melinka y Puerto Raúl Marín Balmaceda", proyecto en el cual el profesor Mario Cáceres se desempeñaba como coinvestigador.

Los datos de ADCP fijo en el Canal Laitec, fueron proporcionados por el proyecto Fondecyt 1100931 "Coupling of physical and biological processes that sustain deep populations of Loxechinus Albus over bathymetric features in northwest Patagonian Inland Sea", proyecto en el cual el profesor Mario Cáceres se desempeñaba como coinvestigador.

En el marco del programa Cimar-Fiordo del Comité Oceanográfico Nacional, se contó con los datos de ADCP remolcado del Canal Kirke, como parte del proyecto CONA-C15F 09-04. "Estudio de mecanismos de intercambio y circulación en canales de acceso a seno Ultima Esperanza"; y también del Canal Desertores en el proyecto CONA C-17F 1101 "Mecanismos de circulación y transporte en la zona de umbral Apiao-Desertores". En ambos proyecto el profesor Mario Cáceres era el investigador principal. También se contó con los datos de ADCP fijo del Paso Meninea, disponibles desde el CENDHOC en el marco de un proyecto Cimar-Fiordo 4.

Se agradecen los comentarios de los profesores revisores de este trabajo Catalina Aguirre, Jaime Letelier.

Agradezco a mi Estimadísimo Profesor Mario Cáceres, quien asumió la gran misión de guiarme en este recorrido, transmitiéndome pacientemente sus diversos conocimientos y contando siempre con disposición para resolver todas y cada una de mis consultas. Profesor estaré eternamente agradecida por su labor.

A Felipe Caselli por su excelente labor como guía y apoyo incondicional a lo largo de toda mi etapa universitaria.

A la Facultad de Ciencias del Mar por facilitarme una sala de postgrado para el desarrollo de esta Memoria de Título. También quiero agradecer a Jeannette Santana y Jenniffer Amaya, de Biblioteca de Ciencias del Mar, por proporcionarme toda la información requerida para este trabajo.

En el culmine de esta etapa debo agradecer a todos quienes me acompañaron en este arduo pero satisfactorio proceso. En especial a mis papás, ¡¡¡mis revisores favoritos!!!, por haberme formado, apoyado y motivado en todos y cada uno de mis sueños, apuntalándome cada vez que lo he necesitado. Mamá tu amor, dedicación y ayuda inquebrantable fueron fundamentales para ser quien soy y para subir este gran escalón. Eres la mejor mamá del mundo.

A mis hermanos; Cecilia, Dominique, Astrid y Rodolfo, por soportar mi mal genio y nerviosismo en el último periodo de trabajo de Memoria, y siempre... Además por entregarme felicidad constante, siendo arte y parte de todo mí camino de vida. Los amo infinito.

A mis cuñados Mauricio y Kiron, quienes se han convertido en mis hermanos, agradezco sus palabras de aliento, tardes de puchelis y constante ayuda en la elaboración de este documento.

A mi Mami Dalila y Papá Enrique, por enseñarme el valor del estudio y el resultado que conlleva el esfuerzo.

A mi Tía Trini, por ser mi fiel chaperona en el inicio de cada uno de mis retos y aventuras por la Capital.

A toda la Familia Bustamante López los que me han acompañado y apoyado en este camino. En especial a mis Tíos Fernando y Pilar por su permanente cariño, consejos y acogida.

A mis amigas del alma Catalina Andariza y Carolina Barrientos, por estar conmigo en cada momento, por infinitas conversaciones, ánimo y felicidad entregada.

A mis amigas y compañeras de U, Gina y Javiera, les agradezco por hacer de mi recorrido por la universidad tan emocionante y divertido, lleno de risotadas y anécdotas que estarán archivadas para siempre en mi corazón.

Y por último pero a la vez uno de los más importantes, quiero agradecer a mi gran amor y amigo, José Pablo Bustamante. Has estado conmigo en todo momento, incluso en los más difíciles. Tu compañerismo y amor incondicional fueron esenciales para recorrer este camino ayudándome hasta donde tus alcances lo permitían y haciéndome dejar a un lado todo sentimiento de flaqueza. Infinitas gracias mi amor.

*“Saldré a combatir y mi lema será
Defender la virtud aunque deba
El infierno pisar
Porque sé que si logro ser fiel
A tal noble ideal
Dormirá, mi alma en paz al llegar
El instante final...”*

*...Luchar por un mundo mejor
Perseguir lo mejor que hay en ti
Llegar donde nadie ha llegado
Y soñar... Lo imposible soñar”
Joe Darion & Mitch Leigh.*

CONTENIDO

Resumen.....	XX
Abstract.....	XX
1. Introducción	1
2. Marco Teórico	3
2.1 Características de generales de los canales y fiordos australes de Chile	3
2.2 Mareas.....	3
2.3 Corrientes	3
2.3.1 Corrientes de Marea	4
2.3.2 Constituyentes armónicos de la marea:	4
2.4 ADCP.....	5
2.5 Energía por corrientes de Marea.....	5
2.5.1 Problemática energética del país	5
2.5.2 Energía Mareomotriz en Chile.....	6
2.5.3 Estado del arte de tecnologías de obtención de energía Marítima	6
2.6 VIVACE.....	10
2.7 Potencial de energía	12
2.8 Sistemas Eléctricos en Chile	13
2.8.1 Sistema Interconectado Central	14
2.8.2 Sistema de Aysén	14
2.8.3 Sistema de Magallanes	14
2.9 RÉgimEn Tarifario.....	15
2.10 Descripción del Área de estudio.....	15
2.10.1 Canal Gabriel.....	16

2.10.2	Paso del Indio	16
2.10.3	Paso Meninea	17
2.10.4	Canal Pitipalena.....	18
2.10.5	Canal Laitec.....	18
2.10.6	Canal Leucayec	19
2.10.7	Canal Kirke	19
2.10.8	Canal Apiao	20
2.10.9	Canal Desertores	21
3.	Objetivos.....	22
3.1	General.....	22
3.2	Específicos.....	22
4.	Metodología	23
4.1	Adquisición de Datos	23
4.2	Análisis y procesamiento de datos	26
4.2.1	Definición de sistema de referencia	26
4.2.2	Magnitud a lo largo: Promedio, Máxima y Mínima	26
4.2.3	Distribución porcentual de Velocidad a lo largo del canal.....	26
4.2.4	Cizalles Verticales.....	27
4.2.5	Frecuencia Direccional.....	27
4.2.6	Corriente Residual	27
4.2.7	Elipses de Marea	28
4.2.8	Direccionalidad	28
4.3	Potencial Energético	29
4.4	Distribución Física de los dispositivos	29

4.4.1	Trafico de buques	29
4.4.2	Distancia a centros poblados	30
4.5	Caracterización de la demanda.....	30
5.	Resultados	32
5.1	Análisis de corriente.....	32
5.1.1	Distribución porcentual de Velocidad a lo largo del canal.....	32
5.1.2	Magnitud	40
5.1.3	Cizalles Verticales.....	45
5.1.4	Frecuencia Direccional de la corriente	46
5.1.5	Corriente Residual	51
5.1.6	Elipses de Marea	58
5.1.7	Direccionalidad	64
5.2	Potencial Energético	72
5.2.1	Potencia energética de los Sitios	72
5.2.2	Potencia Generada y Actual disponible.....	73
5.3	Distribución Física de los dispositivos	73
5.4	Caracterización de la demanda.....	74
6.	Discusión y Conslusiones	76
6.1	Discusión	76
6.1.1	Caracterización de los Sitios	76
6.1.2	Evaluación del Potencial	79
6.1.3	Distribución Física de los dispositivos	81
6.1.4	Caracterización de la Demanda	82
6.2	Conclusiones	86

6.3	Recomendaciones	87
7.	Referencias bibliográficas	88
7.1	Referencias a páginas Web	90
8.	Anexos.....	92
8.1	Ubicación de experimento de ADCP remolcado.....	92
8.2	Cizalles Verticales.....	99
8.2.1	Canal Gabriel.....	99
8.2.2	Paso del Indio	100
8.2.3	Paso Meninea	101
8.2.4	Canal Pitipalena.....	102
8.2.5	Canal Laitec.....	105
8.2.6	Canal Leucayec	107
8.2.7	Canal Kirke	108
8.2.8	Canal Apiao	109
8.2.9	Canal Desertores	110
8.3	Frecuencia Direccional.....	111
8.4	Tablas resumen, constituyentes de marea.....	113
8.5	Elipses de marea	121
8.6	Vivace.....	125
8.7	Potencial Energético	126
8.7.1	Potencia energética de los sitios.....	126
8.7.2	Potencia energética Generada y Actual disponible	127
8.8	Tarifas del Suministro Eléctrico	129
8.9	Caracterización de la Demanda	135

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Comparación de costos entre fuentes energéticas convencionales, alternativas y VIVACE. (Raghavan, 2007).....	2
Figura 2: Ilustración conceptual del Dispositivo Lánstrom.	8
Figura 3: Ilustración conceptual del Dispositivo Seagen.	9
Figura 4: Ilustración conceptual del Dispositivo Thawt.	10
Figura 5: Ilustración conceptual del Dispositivo VIVACE.	11
Figura 6: Área de estudio en el sur de Chile, Canal Gabriel XII región de Magallanes y Antártica Chilena.....	16
Figura 7: Área de estudio en el sur de Chile, Paso del Indio XII Región de Magallanes y Antártica Chilena.....	17
Figura 8: Área de estudio en el sur de Chile, Paso Meninea XI Región Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo.	17
Figura 9: Área de estudio en el sur de Chile, Canal Pitipalena XI Región Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo.	18
Figura 10: Área de estudio en el sur de Chile, Canal Laitec X Región de los Lagos....	19
Figura 11: Área de estudio en el sur de Chile, Canal Leucayec XI Región Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo.	19
Figura 12: Área de estudio en el sur de Chile, Canal Kirke XII Región de Magallanes y Antártica Chilena.....	20
Figura 13: Área de estudio en el sur de Chile, Canal Apiao X Región de los Lagos.	21
Figura 14: Área de estudio en el sur de Chile, Canal Desertores X Región de los Lagos.	21
Figura 15: Elipse de Marea con eje mayor (R), eje menor (r) y orientación del eje mayor (θ).	28
Figura 16: Distribución porcentual de velocidad, Canal Gabriel (u').....	32
Figura 17: Distribución porcentual de velocidad, Canal Gabriel (v').....	32
Figura 18: Distribución porcentual de velocidad, Paso del Indio (u').....	33
Figura 19: Distribución porcentual de velocidad, Paso del Indio (v').....	33

Figura 20: Distribución porcentual de velocidad, Paso Meninea (u').....	33
Figura 21: Distribución porcentual de velocidad, Paso Meninea (v').....	33
Figura 22: Distribución porcentual de velocidad, Canal Pitipalena - Norte (u').....	34
Figura 23: Distribución porcentual de velocidad, Canal Pitipalena - Norte (v').....	34
Figura 24: Distribución porcentual de velocidad, Canal Pitipalena - Centro (u').....	35
Figura 25: Distribución porcentual de velocidad, Canal Pitipalena – Centro (v').	35
Figura 26: Distribución porcentual de velocidad, Canal Pitipalena - Sur (u').....	35
Figura 27: Distribución porcentual de velocidad, Canal Pitipalena - Sur (v').	35
Figura 28: Distribución porcentual de velocidad, Canal Laitec - 2009 (u').....	36
Figura 29: Distribución porcentual de velocidad, Canal Laitec - 2009 (v').....	36
Figura 30: Distribución porcentual de velocidad, Canal Laitec - 2010 (u').....	37
Figura 31: Distribución porcentual de velocidad, Canal Laitec - 2010 (v').....	37
Figura 32: Distribución porcentual de velocidad, Canal Leucayec (u').....	37
Figura 33: Distribución porcentual de velocidad, Canal Leucayec (v').	37
Figura 34: Distribución porcentual de velocidad, Angostura Kirke (u').	38
Figura 35: Distribución porcentual de velocidad, Angostura Kirke (v').	38
Figura 36: Distribución porcentual de velocidad, Canal Apiao (u').....	39
Figura 37: Distribución porcentual de velocidad, Canal Apiao (v').	39
Figura 38: Distribución porcentual de velocidad, Canal Desertores (u').....	39
Figura 39: Distribución porcentual de velocidad, Canal Desertores (v').	39
Figura 40: Magnitud Canal Gabriel, 2009.	40
Figura 41: Magnitud Paso del Indio, 2005.	40
Figura 42: Magnitud Paso Meninea, 1998.	41
Figura 43: Magnitud Canal Pitipalena – Zona Norte, 2005.	41

Figura 44: Magnitud Canal Pitipalena – Zona Centro, 2005.	41
Figura 45: Magnitud Canal Pitipalena – Zona Sur, 2005.	42
Figura 46: Magnitud Canal Laitec – Abril, 2009.	42
Figura 47: Magnitud Canal Laitec – Julio, 2010.	42
Figura 48: Magnitud Canal Leucayec, 2004.	43
Figura 49: Magnitud Angostura Kirke, 2009.	43
Figura 50: Magnitud Canal Apiao, 2004.	44
Figura 51: Magnitud Canal Desertores, 2004.	44
Figura 52: Barras de Frecuencia, Canal Gabriel.	46
Figura 53: Barras de Frecuencia, Paso del Indio.	46
Figura 54: Barras de Frecuencia, Paso Meninea.	47
Figura 55: Barras de Frecuencia, Canal Pitipalena – Norte.	47
Figura 56: Barras de Frecuencia, Canal Pitipalena – Centro.	48
Figura 57: Barras de Frecuencia, Canal Pitipalena – Sur.	48
Figura 58: Barras de Frecuencia, Canal Laitec – Abril, 2009.	48
Figura 59: Barras de Frecuencia, Canal Laitec – Julio, 2010.	49
Figura 60: Barras de Frecuencia, Canal Leucayec.	49
Figura 61: Barras de Frecuencia, Angostura Kirke.	50
Figura 62: Barras de Frecuencia, Canal Apiao.	50
Figura 63: Barras de Frecuencia, Canal Desertores.	51
Figura 64: Dirección del Flujo Residual para Canal Gabriel a 8, 15, 20 y 22 metros de profundidad.	51
Figura 65: Dirección del Flujo Residual en Paso del Indio a 10, 15, 23 y 31 metros de profundidad.	52
Figura 66: Dirección del Flujo Residual en Paso Meninea a 13, 27, 41 y 53 metros de profundidad.	52

Figura 67: Dirección del Flujo Residual para Canal Pitipalena – Norte. Valores en extremos de vectores son profundidad (m).	53
Figura 68: Dirección del Flujo Residual para Canal Pitipalena – Centro. Valores en extremos de vectores son profundidad (m).	54
Figura 69: Dirección del Flujo Residual para Canal Pitipalena – Sur. Valores en extremos de vectores son profundidad (m).	54
Figura 70: Dirección del Flujo Residual para Canal Laitec, Abril 2009. Valores en extremos de vectores son profundidad (m).	55
Figura 71: Dirección del Flujo Residual para Canal Laitec, Julio 2010. Valores en extremos de vectores son profundidad (m).	55
Figura 72: Dirección del Flujo Residual para Canal Leucayec, Abril 2009. Valores en extremos de vectores son profundidad (m).	55
Figura 73: Dirección del Flujo Residual para Angostura Kirke. Valores en extremos de vectores son profundidad (m).	56
Figura 74: Dirección del Flujo Residual para Canal Apiao. Valores en extremos de vectores son profundidad (m).	57
Figura 75: Dirección del Flujo Residual para Canal Desertores. Valores en extremos de vectores son profundidad (m).	57
Figura 76: Elipses de Marea Constituyente M_2 y K_1 Canal Gabriel.....	58
Figura 77: Elipse de Marea Constituyente M_2 y K_1 Paso del Indio.....	58
Figura 78: Elipse de Marea Constituyente M_2 y K_1 Paso Meninea.....	59
Figura 79: Elipse de Marea Constituyente M_2 y K_1 Canal Pitipalena – Norte.....	59
Figura 80: Elipse de Marea Constituyente M_2 y K_1 Canal Pitipalena – Centro.....	60
Figura 81: Elipse de Marea Constituyente M_2 y K_1 Canal Pitipalena – Sur.....	60
Figura 82: Elipse de Marea Constituyente M_2 y K_1 Canal Laitec – Abril, 2009.....	61
Figura 83: Elipse de Marea Constituyente M_2 y K_1 Canal Laitec – Julio, 2010.	61
Figura 84: Elipse de Marea Constituyente M_2 y K_1 Canal Leucayec.....	62
Figura 85: Elipse de Marea Constituyente M_2 y K_1 Angostura Kirke.....	62
Figura 86: Elipse de Marea Constituyente M_2 y K_1 Canal Apiao.....	63

Figura 87: Elipse de Marea Constituyente M_2 y K_1 Canal Desertores.....	63
Figura 88: Direccionalidad del flujo en Canal Gabriel.	64
Figura 89: Direccionalidad del flujo en Paso del Indio.	64
Figura 90: Direccionalidad del flujo en Paso Meninea.	65
Figura 91: Direccionalidad del flujo en Canal Pitipalena – Norte.....	65
Figura 92: Direccionalidad del flujo en Canal Pitipalena – Centro.....	66
Figura 93: Direccionalidad del flujo en Canal Pitipalena – Sur.....	66
Figura 94: Direccionalidad del flujo en Canal Laitec, Abril 2009.	67
Figura 95: Direccionalidad del flujo en Canal Laitec, Julio 2010.	67
Figura 96: Direccionalidad del Flujo en Canal Leucayec, 2004.	67
Figura 97: Direccionalidad del Flujo en Angostura Kirke, 2009.....	68
Figura 98: Direccionalidad del Flujo en Canal Apiao, 2004.....	68
Figura 99: Direccionalidad del Flujo en Canal Desertores, 2004.	69
Figura 100: Medición de corriente – Canal Pitipalena.....	92
Figura 101: Medición de corriente – Canal Laitec.....	93
Figura 102: Medición de corriente – Laitec 2010.	94
Figura 103: Medición de corriente – Canal Leucayec.	95
Figura 104: Medición de corriente – Angostura Kirke.	96
Figura 105: Medición de corrientes – Canal Apiao.	97
Figura 106: Medición de corriente – Canal Desertores.....	98
Figura 107: Canal Gabriel, Cizalles (du/dz), 2009.	99
Figura 108: Canal Gabriel, Cizalles (dv/dz), 2009.	99
Figura 109: Paso del Indio, Cizalles (du/dz), 2005.....	100
Figura 110: Paso del Indio, Cizalles (dv/dz), 2005.....	100

Figura 111: Canal Meninea, Cizalles (du/dz), 1998.	101
Figura 112: Canal Meninea, Cizalles (dv/dz), 1998.	101
Figura 113: Canal Pitipalena – Zona Norte, Cizalles (du/dz), 2005.....	102
Figura 114: Canal Pitipalena – Zona Norte, Cizalles (dv/dz), 2005.....	102
Figura 115: Canal Pitipalena – Zona Centro, Cizalles (du/dz), 2005.....	103
Figura 116: Canal Pitipalena – Zona Centro, Cizalles (dv/dz), 2005.....	103
Figura 117: Canal Pitipalena – Zona Sur, Cizalles (du/dz), 2005.....	104
Figura 118: Canal Pitipalena – Zona Sur, Cizalles (dv/dz), 2005.....	104
Figura 119: Canal Laitec 1, Cizalles (du/dz), 2009.	105
Figura 120: Canal Laitec 1, Cizalles (dv/dz), 2009.....	105
Figura 121: Canal Laitec 2, Cizalles (du/dz), 2010.	106
Figura 122: Canal Laitec 2, Cizalles (dv/dz), 2010.....	106
Figura 123: Canal Leucayec, Cizalles (du/dz), 2004.....	107
Figura 124: Canal Leucayec, Cizalles (dv/dz), 2004.....	107
Figura 125: Canal Kirke, Cizalles (du/dz), 2009.....	108
Figura 126: Canal Kirke, Cizalles (dv/dz), 2009.....	108
Figura 127: Canal Apiao, Cizalles (du/dz), 2004.....	109
Figura 128: Canal Apiao, Cizalles (dv/dz), 2004.....	109
Figura 129: Canal Desertores, Cizalles (du/dz), 2004.	110
Figura 130: Canal Desertores, Cizalles (dv/dz), 2004.....	110
Figura 131: Barras de Frecuencia, Canal Gabriel.....	111
Figura 132: Barras de Frecuencia, Paso del Indio.....	111
Figura 133: Barras de Frecuencia, Paso Meninea.....	111
Figura 134: Barras de Frecuencia, Canal Pitipalena – Norte.....	111

Figura 135: Barras de Frecuencia, Canal Pitipalena – Centro.	111
Figura 136: Barras de Frecuencia, Canal Pitipalena – Sur.	111
Figura 137: Barras de Frecuencia, Canal Laitec – Abril 2009.....	112
Figura 138: Barras de Frecuencia, Canal Laitec – Julio 2010.....	112
Figura 139: Barras de Frecuencia, Canal Leucayec.	112
Figura 140: Barras de Frecuencia, Angostura Kirke.	112
Figura 141: Barras de Frecuencia, Canal Apiao.	112
Figura 142: Barras de Frecuencia, Canal Desertores.	112

LISTA DE TABLAS

Tabla 4-1: Resumen de los sitios y características de la adquisición de datos.	25
Tabla 4-2: Costo de Energía Base y Precio Nudo, Energía y Potencia, de los Sistemas Interconectados de las zonas Centro-Sur de Chile.....	31
Tabla 4-3: Comparación económica entre tecnologías de generación alternativa.	31
Tabla 5-1: Tabla Resumen de Análisis de Corrientes.	70
Tabla 5-2: Distancia a Centros Poblados.	74
Tabla 6-1: Magnitud Promedio de la velocidad en los sitios.	80
Tabla 6-2: Definición de la columna de agua intermedia entre el resguardo de eficiencia y de navegación.	82
Tabla 6-3: Diferencia porcentual entre Costos Nudo y VIVACE para las 9 localidades de estudio.	84
Tabla 6-4: Análisis de resultados Finales.	85
Tabla 8-1: Tabla resumen constituyentes de marea Canal Gabriel.	113
Tabla 8-2: Tabla resumen constituyentes de marea Paso del Indio, para las profundidades 10, 23 y 31 metros, con A [cm/s] y σ [rad], Amplitud y Fase respectivamente.....	114

Tabla 8-3: Tabla resumen constituyentes de marea Paso Meninea, para las profundidades 13, 41 y 53 metros, con A [cm/s] y σ [rad], Amplitud y Fase respectivamente.....	115
Tabla 8-4: Tabla resumen constituyentes de marea Canal Pitipalena – Norte, para las profundidades 2, 19 y 24 metros, con A [cm/s] y σ [rad], Amplitud y Fase respectivamente.....	116
Tabla 8-5: Tabla resumen constituyentes de marea Canal Pitipalena – Centro, para las profundidades 2, 18 y 23 metros, con A [cm/s] y σ [rad], Amplitud y Fase respectivamente.....	116
Tabla 8-6: Tabla resumen constituyentes de marea Canal Pitipalena – Sur, para las profundidades 2, 18 y 23 metros, con A [cm/s] y σ [rad], Amplitud y Fase respectivamente.....	117
Tabla 8-7: Tabla resumen constituyentes de marea Canal Laitec, Abril 2009, para las profundidades 2, 37 y 48 metros, con A [cm/s] y σ [rad], Amplitud y Fase respectivamente.....	117
Tabla 8-8: Tabla resumen constituyentes de marea Canal Laitec, Julio 2010, para las profundidades 2, 28 y 36 metros, con A [cm/s] y σ [rad], Amplitud y Fase respectivamente.....	118
Tabla 8-9: Tabla resumen constituyentes de marea Canal Leucayec, para las profundidades 4, 35 y 45 metros, con A [cm/s] y σ [rad], Amplitud y Fase respectivamente.....	118
Tabla 8-10: Tabla resumen constituyentes de marea Angostura Kirke, para las profundidades 3, 59 y 89 metros, con A [cm/s] y σ [rad], Amplitud y Fase respectivamente.....	119
Tabla 8-11: Tabla resumen constituyentes de marea Canal Apiao, para las profundidades 7, 57 y 86 metros, con A [cm/s] y σ [rad], Amplitud y Fase respectivamente.....	119
Tabla 8-12: Tabla resumen constituyentes de marea Canal Desertores, para las profundidades 6, 88 y 106 metros, con A [cm/s] y σ [rad], Amplitud y Fase respectivamente.....	120
Tabla 8-13: Tabla Resumen, Elipses de Marea. (Elaboración Propia).....	121
Tabla 8-14: Características de los prototipos VIVACE por escala.	125
Tabla 8-15: Máxima Potencia [kW] generada en los sitios de estudio.	126
Tabla 8-16: Potencial energético máximo generado y actual disponible en cada sitio para un dispositivo VIVACE de escala Media, considerando una eficiencia del 22%.127	

Tabla 8-17: Potencial energético medio generado y actual disponible en cada sitio para un dispositivo VIVACE de escala Media, considerando una eficiencia del 22%.	128
Tabla 8-20: Análisis de Demanda Total Mensual de las poblaciones aledañas a los puntos de extracción por ADCP.	135

RESUMEN

En el presente trabajo se estimó el potencial energético por corrientes de marea en sitios con magnitudes menores a 1.5 [m/s] y se efectuó un análisis de prefactibilidad técnica y económica para nueve sectores cercanos a centros poblados. Se realizó la caracterización de las corrientes de marea, considerando la distribución porcentual de la corriente, cizalles verticales, elipses de marea, frecuencia direccional, corriente residual y direccionalidad, además de la evaluación de la potencia energética de los sitios y el potencial de generación actual (90% de disponibilidad) por el dispositivo VIVACE, permitiendo así determinar los sitios de extracción de energía, considerando la distancia a centros poblados y los resguardos requeridos para la eficiencia y navegación. Todos los sitios analizados, con la excepción de Canal Laitec, cumplen con magnitudes promedio de velocidad de corrientes superiores a 0.25 [m/s], requerimiento base del dispositivo VIVACE para la generación energética. Los registros de corrientes de marea determinados por ADCP en los sitios de extracción definieron la cantidad de unidades VIVACE para satisfacer la demanda energética en las localidades aledañas.

ABSTRACT

The estimation of potential energy by tidal currents in sites with magnitudes below 1.5 [m/s], and a technical and economic analysis of installation were done for nine sites located nearby inhabited areas. Tidal currents were characterized by percentile distribution of the current, vertical shear stresses, tidal ellipses, directional frequency, residual current and directionality. The extraction of potential energy by tidal currents of the sites and the potential of generation (90% availability) was assessed for a VIVACE device, which, also considered inhabited regions and the requirements for efficiency and navigation. All the analysed sites, with the exception *Laitec* Channel, have average magnitudes tidal currents higher than 0.25 [m/s], which is a requirement of VIVACE device to generate energy. ADCP currents measurements at the sites of extraction defined the number of VIVACE units needed to satisfy the energy demand for nearby inhabited places.

1. INTRODUCCIÓN

El aumento de la demanda energética en las últimas décadas, ha generado la disminución de las fuentes no renovables de energía y el aumento de las concentraciones de gases contaminantes en la atmósfera por mayor consumo de combustibles fósiles. Actualmente, nuestro país se encuentra evaluando alternativas que permitan la generación de energía de origen renovable, entre las que se encuentran las energías marinas. Sin embargo, los estudios de sitios de extracción de energía de corrientes de marea en canales del sur de Chile, son escasos como para realizar estimaciones del potencial nacional total extraíble o de su factibilidad de aprovechamiento. Exploraciones y evaluaciones en el Canal Chacao y Primera Angostura en el Estrecho de Magallanes (Garrad-Hasan **et al.**, 2009), han demostrado que las velocidades de corrientes de marea sobrepasan los 3 [m/s], generando interés debido a que superan el umbral de 2,5 [m/s], generalmente asumido como valor base para la extracción de energía por las actuales tecnologías de sistemas de hélices o paletas. Asimismo, la instalación de estas estructuras de tipo convencional, generalmente de gran envergadura, pueden acarrear impactos sobre el medio ambiente que deben ser exhaustivamente evaluados. Sin embargo, existen sitios con velocidades de alrededor de 1 [m/s], que pueden llegar a más de dos decenas en el sur de Chile. Las tecnologías capaces de aprovechar la energía en dicha magnitud de velocidad han comenzado a surgir. Michael Bernitsas, ingeniero de la Universidad de Michigan en EE.UU, diseñó un mecanismo llamado VIVACE (Vortex Induced Vibrations for Aquatic Clean Energy). Este sistema hidrocínético proporciona energía fiable y asequible a partir de los vórtices que causan los fluidos en torno a un cuerpo, es decir, hace posible convertir las vibraciones potencialmente destructivas que se generan en un fluido, en una fuente de energía renovable, siendo capaz de aprovechar la mayor parte de la energía que se produce en las corrientes. La reciente aparición de VIVACE permite la extracción de energía por corrientes de marea en sitios donde la corriente no excede 2 [m/s], abriendo un campo de interés para el aprovechamiento de dicho potencial (Bernitsas, Simon, Raghavan, & Garcia, **et al.**, 2008).

Según evaluaciones comparativas realizadas por Raghavan (2007), entre VIVACE y recursos energéticos tradicionales y alternativos, se determinó que VIVACE cuenta con una inversión inicial de 3000 [\$/kW], siendo ésta superior a todas las inversiones iniciales representadas por las tecnologías tradicionales y alternativas exceptuando a la energía solar. Además cuenta con el menor costo de mantención entre las energías alternativas. Por otro lado VIVACE tiene un porcentaje de disponibilidad del 90%, siendo el 10% un remanente atribuido a los periodos de mantención y no ocupación del dispositivo debido a la escasez del recurso. Esto se traduce en un costo aproximado de 0.055 [\$/kWh], proporcionando uno de los menores costos de generación de energías alternativas y convencionales (Figura 1).

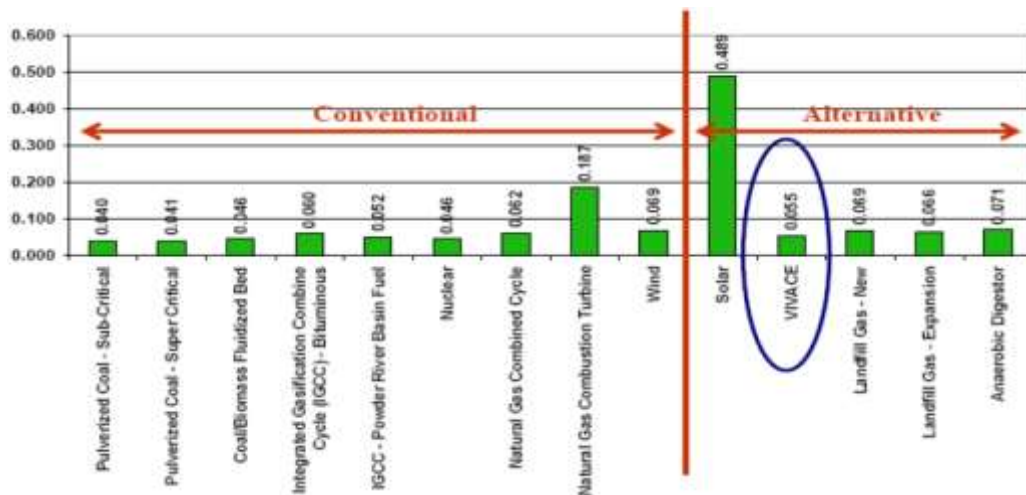


Figura 1: Comparación de costos entre fuentes energéticas convencionales, alternativas y VIVACE. (Raghavan, 2007)

Debido que VIVACE cuenta con la capacidad de aprovechamiento de corrientes de mareas de bajas magnitudes, fluctuantes entre 0,25 y 2,57 [m/s] o más (Bernitsas *et al.*, 2008). Se seleccionaron 9 canales ubicados en el sur de Chile; Canal Gabriel, Paso del Indio, Paso Meninea, Canal Pitipalena, Canal Laitec, Canal Leucayec, Angostura Kirke, Canal Apiao y Canal Desertores. Estos fueron caracterizados analizando datos de velocidad de la corriente obtenidos con Perfilador Acústico de Corrientes Doppler (ADCP) fijo y remolcado a lo largo o a lo ancho, dependiendo del área de estudio. En la evaluación del emplazamiento del dispositivo en los sitios de estudio, el conocimiento de las velocidades promedio, máximas y mínimas, entre otras, es fundamental para la determinación del potencial energético. También son importantes de conocer las series temporales que permitan estimar la distribución temporal de la velocidad y las elipses de marea entre otras, permitiendo la comprensión de la dinámica del flujo en el sitio, así como la determinación de las fuerzas máximas a las que estará expuesto el dispositivo.

Los criterios de selección para la prefactibilidad técnica y económica de la instalación piloto del dispositivo VIVACE se basan en la caracterización del recurso, considerando las corrientes máximas, medias, reversibilidad, cizalles, elipses mareales, direccionalidad y asimetría. Además de la distribución de los dispositivos, distancia a centros poblados y el tráfico de buques en los canales seleccionados, en conjunto con la caracterización de la demanda y la evaluación del potencial energético con velocidades de corrientes de marea menores a 1,5 [m/s].

2. MARCO TEÓRICO

2.1 CARACTERÍSTICAS DE GENERALES DE LOS CANALES Y FIORDOS AUSTRALES DE CHILE

La zona de canales y fiordos australes chilenos corresponde a una de las más vastas extensiones estuarinas de nuestro planeta, con una extensión latitudinal de aproximadamente 1000 kilómetros en línea recta (Silva & Palma, 2006).

Este sistema posee una circulación tipo estuarina, debido a los aportes de agua dulce derivados de la alta pluviosidad, ríos y deshielos de glaciares (Silva & Guzmán, 2006).

Los estuarios que conectan los ríos con el mar tienen distintas formas, longitud y topografía. Esto determina la respuesta de cada estuario a las forzantes como descarga de agua dulce, marea, viento y olas. Las corrientes que se originan y los procesos de mezcla determinan la intensidad del transporte, dispersión y depósito de sedimentos (Salinas & Hormazábal, 2004).

2.2 MAREAS

El ascenso y descenso rítmico del nivel del mar, que se verifica con un período próximo a las 12 ó las 24 horas, junto con una corriente de análoga alternancia, constituye el fenómeno de las mareas.

La marea se clasifica en: diurna, semidiurna y mixta. Llamándose diurna cuando predomina la onda diurna y se produce una sola pleamar y una sola bajamar en cada día durante la mayor parte del mes. Semidiurna, si la onda predominante es semidiurna y se producen dos pleamares y dos bajamares cada día con una desigualdad diurna relativamente pequeña entre sus alturas. En cambio en la marea mixta resultan importantes, tanto la señal diurna como la semidiurna, caracterizándose por una desigualdad considerable de las alturas de las pleamares y bajamares. En la mayor parte de la costa chilena se observan mareas del tipo semidiurna mixta, con dos pleamares y dos bajamares cada día, observándose algunos sitios en altas donde ocasionalmente se presentan rasgos de marea diurna (SHOA, 1992).

2.3 CORRIENTES

Las corrientes corresponden a movimientos del agua causados por agentes externos tales como la atracción gravitacional de la luna y el sol, gradiente de densidad del agua y el esfuerzo producido por el viento, entre otros agentes. El movimiento generado puede ser modificado por la rotación terrestre que lo desvía (Fuerza de Coriolis), la fricción interna del líquido que lo amortigua, y los accidentes geográficos que restringen el desarrollo y desvían su dirección. Asimismo las corrientes que se observan en el mar pueden ser permanentes o circunstanciales, persistentes o alternadas, veloces o lentas y superficiales o profundas (Panzarini, 1970).

2.3.1 CORRIENTES DE MAREA

Las corrientes de marea son un tipo particular de corrientes originadas por la atracción gravitacional principalmente de la luna y el sol. Según Castillo y Valenzuela (2006), se definen como movimientos horizontales del agua asociados a la elevación y depresión del nivel del mar, las cuales muestran reversibilidad en zonas donde el flujo se canaliza por la línea de costa. En esta zona se observan velocidades en una dirección del canal durante la fase llenante de la marea (flujo); magnitud de la corriente cercana a cero durante el cambio de fase (estoa); y velocidad en la dirección opuesta durante la fase vaciante de la marea (reflujo). El tiempo que dura la estoa está en razón inversa con la amplitud de marea. A mayor amplitud este período de tiempo es más pequeño y viceversa (SHOA, 1992).

Las corrientes de marea en los canales, estrechos y a lo largo de la costa revierten su dirección aproximadamente cada 6 ó 12 horas, según sean mareas semidiurnas o diurnas respectivamente. En el océano abierto, en cambio, éstas tienen un carácter rotatorio en virtud de la influencia de la rotación terrestre, rotando hacia la izquierda en el hemisferio Sur con un período de marea de 12 ó 24 horas, según sean semidiurnas o diurnas las mareas presentes respectivamente.

El desplazamiento de agua asociado a la onda de marea, tendrá intensidad y dirección variable desde la superficie al fondo, ya que experimentará la influencia de la fricción del fondo (Panzarini, 1970).

2.3.2 CONSTITUYENTES ARMÓNICOS DE LA MAREA

La altura de la marea h para un momento cualquiera t puede expresarse matemáticamente como la suma de varias señales sinusoidales, llamadas constituyentes armónicos. Cada constituyente armónico representa la marea que producirá el efecto de un fenómeno astronómico específico que ocurre en el sistema Tierra-Luna-Sol, existiendo también ciertos constituyentes armónicos que representan los efectos friccionales y advectivos que sobre el desarrollo de la marea tiene el agua poco profunda y que, en general en los estuarios son de gran significación (Panzarini, 1970).

Según la publicación N° 3013 del SHOA (1992), los constituyentes armónicos principales de la marea son:

M_2	Componente lunar principal semidiurna.
S_2	Componente solar principal semidiurna.
K_2	Componente lunisolar principal semidiurna.
N_2	Componente lunar elíptica mayor semidiurna.
K_1	Componente lunisolar declinación diurna.
O_1	Componente lunar declinación diurna.
P_1	Componente solar principal diurna.
Q_1	Componente lunar elíptica mayor diurna.
S_a	Componente solar anual.
S_{sa}	Componente solar semianual.

El subíndice 2 indica la componente semidiurna y el subíndice 1 la componente diurna. Conociendo los constituyentes anteriores se puede determinar la amplitud media de la marea, amplitud de sicigias, de cuadratura, de perigeo, de apogeo, además de la desigualdad diurna.

2.4 ADCP

En la última década, el desarrollo de Perfiladores Acústicos de Corrientes Doppler (ADCP) para la medición de las corrientes en el océano ha probado ser un poderoso método para la obtención de magnitudes y direcciones de corrientes en perfiles verticales.

Hay varias combinaciones y estrategia de muestreo para el empleo de ADCP, éstos pueden ser fácilmente divididos en tres grandes grupos: 1) Montado en buque, donde el transductor es permanente o temporalmente instalado en la quilla de un buque, 2) Auto-contenido o fijo, el cual puede ser instalado en anclajes en la columna de agua o cercano al fondo, y 3) Remolcado, el cual es instalado en un catamarán u otro aparato de flotación y es remolcado desde una embarcación (Cáceres, 2004).

En el caso del ADCP fijo, el instrumento se instala en una estructura en el fondo (mirando hacia arriba) o en una boya superficial (mirando hacia abajo), y se efectúa un registro de la velocidad y dirección en toda la columna de agua en la modalidad de auto-contenido. El tiempo de instalación dependerá del intervalo de tiempo entre mediciones y de la capacidad de carga de la batería (Bentos, 2002).

El ADCP remolcado, en cambio, cuenta con la capacidad de medir corrientes durante el desplazamiento de la embarcación, con el ADCP montado mirando hacia abajo. Se ajustan los tamaños de celda verticales de muestreo de acuerdo a las profundidades que se recorrerán. Estas mediciones permiten mejorar la resolución espacial de los datos al cubrir secciones transversales de canales y bahías (Cáceres, 2004).

2.5 ENERGÍA POR CORRIENTES DE MAREA

En los últimos 20 años se ha producido un importante desarrollo en cuanto a las tecnologías destinadas a convertir en electricidad la energía contenida en los océanos, ya sea esta proveniente de las olas, mareas, corrientes oceánicas o gradientes térmicas y salinas. Tal desarrollo se encuentra en etapa de diseño y prueba de prototipos, existiendo en la actualidad una amplia gama de tecnologías que aprovechan diferentes formas de energía marina mediante diversos principios físicos (Versalovic, 2011).

2.5.1 PROBLEMÁTICA ENERGÉTICA DEL PAÍS

La crisis del gas natural argentino en la década anterior, atenuada por la introducción de centrales diesel y carbón, además de la sequía que ha afectado al país, han ocasionado que la matriz eléctrica cuente con altos impactos económicos, negativos impactos ambientales y un creciente rechazo social, generando un fuerte cuestionamiento en materia de política energética desde los distintos sectores de la sociedad (Fundación Chile, 2013).

El año 2012, el Presidente de la República dio a conocer la “Estrategia Nacional de Energía 2012-2030”, siendo uno de los pilares fundamentales el desarrollo de fuentes de Energías Renovables No Convencionales (ERNC) y el impulso de la Eficiencia Energética.

Chile cuenta con una extensa franja costera, condición ideal para el desarrollo de diversos tipos de energías marinas, siendo considerados los sistemas de energía mareomotriz, undimotriz, proyectos eólicos costa afuera, gradientes térmicos y salinos para la obtención de energía (Fundación Chile, 2014).

2.5.2 ENERGÍA MAREOMOTRIZ EN CHILE

Según el estudio realizado por la consultora Garrad Hassan el año 2009, se pueden identificar zonas específicas del sur de Chile para el desarrollo efectivo de la energía mareomotriz. Históricamente la mayoría de las áreas con buen recurso de corrientes de marea, han sido inicialmente identificadas por los navegantes y registradas en las cartas hidrográficas nacionales con fines de seguridad en la navegación. Por otro lado la compleja naturaleza de las corrientes de marea, hace necesaria la realización de mediciones in situ para cualquier análisis de rendimiento de energía.

Chile es uno de los países con mejor potencial marítimo para el desarrollo de energía del mundo. Mientras la costa de Chile al norte de Puerto Montt es útil para el aprovechamiento de la energía undimotriz. El mejor potencial energético para el aprovechamiento de la energía mareomotriz se encuentra en la zona sur y austral del país (Fundación Chile, 2014).

2.5.3 ESTADO DEL ARTE DE TECNOLOGÍAS DE OBTENCIÓN DE ENERGÍA MARÍTIMA

I. TECNOLOGÍA MAREOMOTRIZ

Francia fue pionera en el estudio y explotación del recurso mareomotriz, cuando en el verano de 1967 puso en marcha una planta de 240 MW, generados por una serie de 24 turbinas en el río Rance, región de la Bretaña. Al tener un régimen de mareas, esta no genera de manera permanente todo el día, por lo que su potencia media es de 68 MW (Versalovic, 2011).

En la actualidad, existe a nivel mundial una potencia total instalada de 520 MW, cuyas centrales más importantes son Sihwa, de 254 MW (Corea); Annapolis Royal, con 20 MW (Canadá); Jiangxia, de 3,9 MW (China), Kislaya Guba, de 1,7 MW (Rusia), y Uldolmok, de 1 MW (Corea del Sur) (Fundación Chile, 2014).

La tecnología de embalses no se ha hecho masiva por los diversos problemas surgidos en este tipo de centrales, como el embancamientos de los ríos, cambios en la salinidad de los estuarios y cambios en los ecosistemas acuáticos y marinos. Este tipo de centrales requieren de grandes diferencias de altura entre mareas, y una planicie costera de muy baja pendiente.

II. TECNOLOGÍA MAREOMOTRIZ POR CORRIENTES MARINAS

Este tipo de tecnologías buscan aprovechar la energía cinética de las corrientes de aguas someras producidas por la desembocadura de los ríos en el mar, las corrientes de flujo y reflujos de marea, o la combinación de estas.

La convergencia tecnológica ha permitido el rápido desarrollo de dispositivos, los que representan en la actualidad cerca del 90% de la capacidad instalada de generación eléctrica a partir de recursos energéticos del mar a nivel mundial. Sin embargo representan menos del 1% del potencial técnicamente factible de energías marinas en el mundo. Generalmente tales dispositivos se emplazan cerca de grandes centros de consumo energético, siendo los principales ejemplos Rotterdam en Holanda y San Francisco en California (Versalovic, 2011).

Por otro lado, Reino Unido es el país que actualmente lidera en el desarrollo de las tecnologías energéticas basadas en las corrientes de marea y el desarrollo de proyectos. En 2004 se llevó a cabo una revisión del recurso, permitiendo determinar los indicadores de relevancia para la caracterización y viabilidad comercial de los sitios (Garrad Hassan **et al.**, 2009).

A continuación se describirán las últimas innovaciones para la generación de energías renovables limpias aprovechando las corrientes de mareas.

A. SISTEMA LÁNSTROM

Es una turbina de 30 metros de alto que cuenta con una hélice de 3 palas, con un diámetro de 20 metros. Se pueden emplazar en profundidades de hasta 100 metros.

En cuanto al funcionamiento, la hélice, que no gira en el plano horizontal, debe apuntar en sentido contrario al de la corriente. De esta forma, la corriente facilitará el giro de la misma, permitiendo el movimiento de un generador que produce electricidad, la que finalmente es enviada al continente a través de un cable subterráneo (EROSKI, 2010).

La Figura 2 siguiente se puede visualizar el sistema descrito:



Figura 2: Ilustración conceptual del Dispositivo Lánstrom.
(Adaptado de EROSKI 2010).

Dichas turbinas fueron probadas en Noruega generando un impacto ambiental prácticamente nulo. Actualmente se estudia instalar estos generadores en varios puntos de la costa del Reino Unido, como en Río de Pentland, South of Islay y Norte de Antrim (EROSKI, 2010).

B. SISTEMA SEAGEN

Consiste en una torre de 40 metros de altura, instalada en el fondo marino. Esta cuenta con dos turbinas, cada una con una hélice de 2 palas y 16 metros de diámetro. La torre sobresale del mar aproximadamente 10 metros, alojándose en su extremo una cabina de mando. Por otro lado las hélices pueden izarse fuera del agua con el fin de detenerlas o para efectuar su mantenimiento.

Respecto del funcionamiento, las hélices deben apuntar en sentido contrario a la corriente, lo que permite el máximo aprovechamiento del caudal. Mientras que cada turbina mueve un generador que produce electricidad, la que se transmite al continente por medio de un cable submarino (EROSKI, 2010).

En la Figura 3 se puede observar el sistema Seagen:

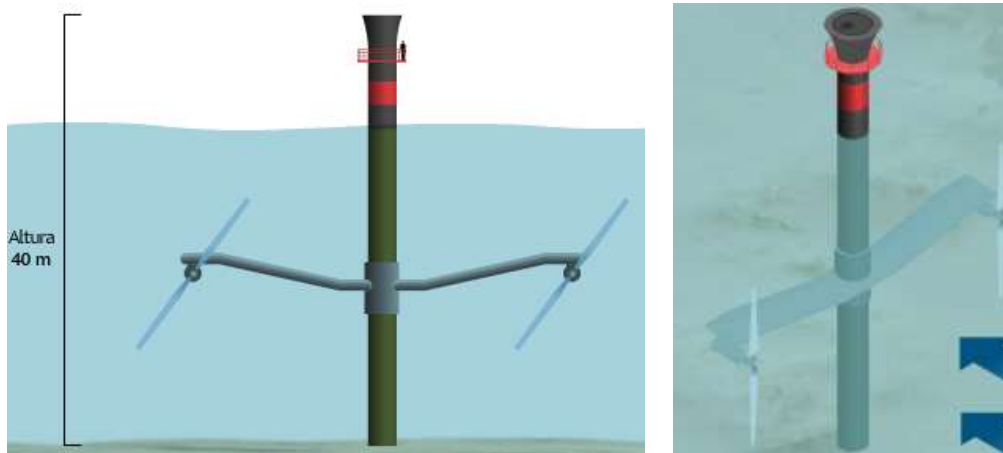


Figura 3: Ilustración conceptual del Dispositivo Seagen.
(Adaptado de EROSKI 2010).

Se encuentra en fase de prueba desde 1994 y es el proyecto más avanzado para instalar granjas marinas en Reino Unido y EE.UU. Actualmente se encuentran en funcionamiento dos prototipos, uno en Río de Strangford y en el otro en Isla de Anglesey, ambos en Reino Unido (EROSKI, 2010).

C. SISTEMA THAWT

Este sistema está formado por módulos de 60 metros de longitud, cada módulo cuenta con dos paneles unidos por turbinas, capaces de aprovechar las corrientes en diferentes ángulos, con hélices que gira sobre su propio eje, compuestas por paletas horizontales cilíndricas de 10 metros de diámetro.

Su diseño alargado, permite la instalación de una menor cantidad de generadores en el sistema, pero a su vez abarca una mayor área de captación de energía, la cual es enviada al continente mediante un cable subterráneo (EROSKI, 2010).

Lo anterior se representa en la Figura 4:

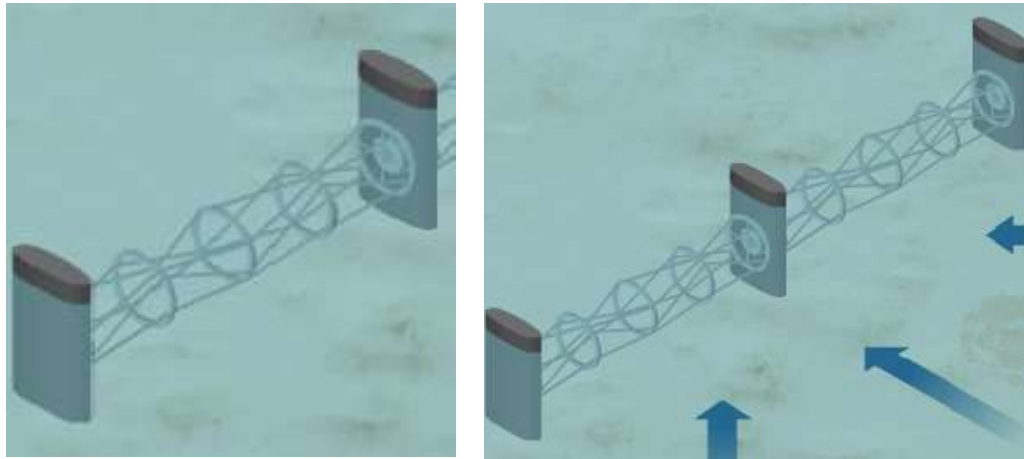


Figura 4: Ilustración conceptual del Dispositivo Thawt.
(Adaptado de EROSKI 2010).

Corresponde a un dispositivo creado por la universidad de Oxford (EE.UU.), capaz de rebajar los costos de producción y mantención en un 60% y 40% respectivamente, en relación con otros sistemas de obtención de energía de corrientes marinas (EROSKI, 2010).

2.6 VIVACE

VIVACE es un instrumento diseñado para generar energía renovable y amigable con el medio ambiente con corrientes de baja magnitud (0.25 m/s), otorgando resultados positivos en cuanto a la producción y aprovechamiento de los flujos de corrientes para la generación de energía. La eficiencia que presenta en cuanto a la conversión de energía, ha permitido demostrar que económicamente es una muy buena alternativa debido a que sus costos son menores a los beneficios que éste entrega.

En Estados Unidos cualquier dispositivo que apunte a aprovechar la energía renovable que se genera en los océanos y ríos, debe ser capaz de captar una alta densidad de energía, ser amigable con su entorno, tener bajos costos de mantención y tener una vida útil entre 10 a 20 años. VIVACE satisface estos criterios, convirtiendo la energía cinética de las corrientes oceánicas o de los ríos en electricidad, aprovechando las vibraciones que producen los vórtices de las corrientes de manera eficiente y eficaz (Bernitsas **et al.**, 2008).

VIVACE (Energía limpia producida por las vibraciones de los vórtices de agua), es un nuevo concepto de generación de energía renovable limpia para fluidos en movimiento. Este dispositivo es capaz de maximizar los vórtices verticales, explotándolos de modo que extrae la energía de las corrientes desde los 0,25 [m/s], con producción energética constante. El factor de conversión que posee el dispositivo es muy alto, haciendo de esta energía un producto asequible y económicamente viable (Bernitsas **et al.** 2008).

Considerando que la mayor parte de las corrientes submarinas de agua no superan los 3 nudos (aprox. 1.5 m/s), mientras que las turbinas y los molinos de agua necesitan un mínimo de 5 nudos (aprox. 2.5 m/s) para su correcto funcionamiento. Es importante considerar que VIVACE puede funcionar con corrientes inferiores a dos nudos, sin necesitar olas, turbinas ni diques (VIVACE, 2009).

El dispositivo VIVACE consiste en una armadura rígida y cilindros montados en soportes flexibles, que permite el paso del fluido en movimiento por el espacio entre los cilindros horizontales. La turbulencia generada por el movimiento de los anteriores, produce un vórtice que le induce un movimiento mecánico vertical a lo largo de las guías ubicadas en los soportes verticales (EROSKI, 2010).

Considerando lo anterior, el dispositivo se orienta en sentido perpendicular a la dirección del flujo, permitiendo la creación de los vórtices, transfiriendo mediante el sistema de transmisión, la energía mecánica a un generador que la convierte en electricidad, energía hidráulica o mecánica (Bernitsas *et al.*, 2008).

Lo anterior se visualiza en la Figura 5:

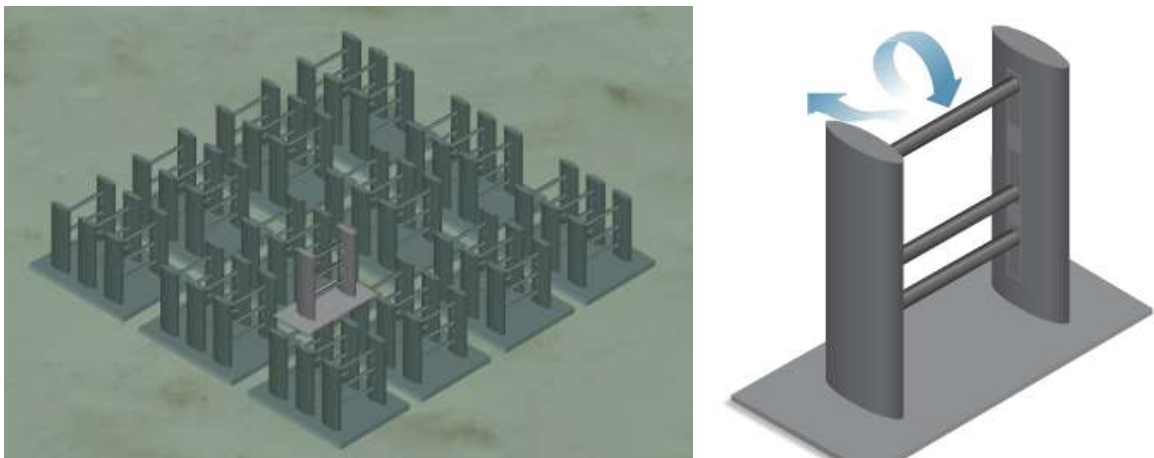


Figura 5: Ilustración conceptual del Dispositivo VIVACE.
(Adaptado de EROSKI 2010).

Según Raghavan, 2007, las condiciones técnicas de instalación y del correcto funcionamiento del dispositivo se detallan a continuación:

- Velocidad mínima de funcionamiento 0,5 nudos (25,72 cm/s).
- Corrientes producidas principalmente por mareas, es decir, recurso renovable y predecible.
- Zonas abrigadas del clima marítimo extremo, tales como ríos, lagos, canales y fiordos.

El vórtice permite que la estructura cilíndrica montada en la armadura genere vibraciones. Estos cilindros en la VIV (Vibración inducida por Vórtices) oscilan perpendicularmente en

su eje y transversalmente con la velocidad del flujo, absorbiendo la energía de la corriente.

Este fenómeno está inherentemente relacionado con las VIV. Si la frecuencia de disipación del vórtice fuese calculada con el cilindro estacionario al igual que el fluido, la frecuencia dejaría de existir. La formación de la frecuencia del vórtice depende del patrón de inicio.

La correlación del largo del flujo que pasa por el cilindro es definida como la longitud del cilindro además de la disipación del vórtice en fase con cierta tolerancia. A mayor correlación de longitud, mayor fuerza inducirá el vórtice. Para un cilindro circular en VIV, la correlación de longitud es teóricamente infinita.

La energía mecánica producida por los cilindros puede ser convertida en cualquier tipo de energía funcional. Siendo la conversión de energía mecánica posible mediante el uso de bombas hidráulicas, para el bombeo del agua o para aumentar la presión del agua y así desalinizarla. Independiente de la forma final de la energía, el convertidor de energía induce que la amortiguación mecánica vuelva al sistema de la VIV. Sin embargo mucha amortiguación suprime la VIV, es decir, no se genera energía. Mientras que poca amortiguación resulta ser poca energía generada.

Todos los conceptos anteriores están debidamente interrelacionados (Bernitsas **et al.**, 2008).

2.7 POTENCIAL DE ENERGÍA

Las energías marinas son una fuente energética libre de CO_2 que pueden contribuir a globalizar el acceso a la electricidad. Frente a un consumo mundial anual de 16.000 TWh se estima que, anualmente en el mundo, la energía de las corrientes mareales alcanza 800 TWh (González, Liria, Amate, & Uyarra, 2012).

Una medida útil para evaluar el potencial de energía de un sitio es la densidad de energía cinética (P) que depende del cubo de la velocidad:

$$P = \frac{1}{2} \rho_w A U^3 [W] \quad (1)$$

Siendo el flujo másico (M):

$$M = \rho_w A U$$

Donde ρ_w es la densidad del agua de mar, nominalmente $1.025 [kg/m^3]$ y U es la velocidad de la corriente $[m/s]$ y A es el área de la sección de estudio (Epler, 2010).

La energía de la corriente proyectada sobre el área del cilindro de manera perpendicular, puede ser calculada mediante la ecuación de Bernoulli por el área del cilindro (DL).

$$P_f = \frac{1}{2} \rho_w U^3 DL [W] \quad (2)$$

Siendo:

P_f : Potencial del flujo [W]
 ρ_w : Densidad del fluido [kg/m^3]
 U : Velocidad del flujo [m/s]
 DL : Sección de VIVACE [m^2]

La potencia aprovechada por el dispositivo generador VIVACE está condicionada por una aproximación teórica conocida como Rango de conversión energética VIVACE.

$$P_{VIVACE-harm} = \eta_{VIVACE} \frac{1}{2} \rho_w U^3 DL [W] \quad (3)$$

Siendo:

$P_{VIVACE-harm}$: Potencia aprovechada del dispositivo generador [W]
 η_{VIVACE} : Rango de conversión de energía del dispositivo VIVACE
 ρ_w : Densidad del fluido [kg/m^3]
 U : Velocidad del flujo [m/s]
 DL : Sección de VIVACE [m^2]

Donde η_{VIVACE} , rango de conversión de energía del dispositivo VIVACE, hace referencia a la eficiencia del dispositivo la que fluctúa entre 0,22 y 0,37 (Bernitsas **et al.**, 2008).

La potencia disponible corresponde al 90% de la potencia aprovechada, ya que el 10% restante hace alusión al tiempo de mantención y al tiempo en que las magnitudes de las corrientes de marea bajan siendo imperceptibles para el dispositivo (Raghavan, 2007).

2.8 SISTEMAS ELÉCTRICOS EN CHILE

El Sistema Eléctrico de Chile se divide en cuatro áreas eléctricas no interconectadas eléctricamente entre sí: SING, SIC, Sistema de Aysén y Sistema de Magallanes. De estas áreas, solamente el SING y SIC agrupan coordinadamente a las empresas generadoras en los CDEC respectivos (INE, 2007).

1. El SING, abastece a la I y II regiones administrativas del país, con un 27% de la capacidad instalada de generación.
2. El SIC abastece desde Taltal por el norte hasta la Isla Grande de Chiloé por el sur, con un 72.1% de la capacidad instalada en el país.
3. El Sistema de Aysén atiende el consumo de la XI Región con un 0,4% de la capacidad instalada de generación.

4. El Sistema de Magallanes abastece la XII Región con un 0,7% de la capacidad instalada en el país.

Adicionalmente existen varios centros aislados de generación (autoprodutores), que en conjunto reúnen una potencia instalada de alrededor del 10% del total nacional. Se trata fundamentalmente de empresas industriales y mineras que abastecen total o parcialmente sus necesidades de electricidad (CNE, 2008).

2.8.1 SISTEMA INTERCONECTADO CENTRAL

El SIC es el principal sistema eléctrico del país y abastece a más del 90% de la población del país. Se extiende desde la ciudad de Taltal (Región de Antofagasta) hasta la Isla Grande de Chiloé. Su capacidad instalada es de 11.147,2 Mega Watts (MW), de los cuales un 47,41% corresponde a centrales hidroeléctricas, un 51,86% a centrales termoeléctricas y un 0,73% por centrales eólicas. A diciembre de 2009, este sistema representa un 70,9% de la potencia instalada del país.

El sistema de transmisión está constituido, principalmente, por las líneas eléctricas de propiedad de las empresas de generación, más las líneas de las empresas cuyo giro es la transmisión de energía eléctrica.

El SIC pertenece a veinte empresas de generación las que junto a algunas empresas de transmisión conforman el Centro de Despacho Económico de Carga del SIC (CDEC-SIC) (INE, 2010).

2.8.2 SISTEMA DE AYSÉN

El Sistema de Aysén atiende el consumo eléctrico de la XI Región y es un sistema 76% térmico. Su capacidad instalada alcanza los 51.5 [MW] a diciembre del 2009. El 56.5% de dicha capacidad corresponde a energía termoeléctrica, el 39.7% a hidroeléctrica y un 3.8% a energía de central renovable (INE, 2010). En este sistema opera sólo una empresa, EDELAYSEN S.A., quien desarrolla las actividades de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica, atendiendo a un total de 18.703 clientes. La demanda máxima alcanzada el año 2000 fue de 13.75 [MW] y el consumo de energía en ese mismo año alcanzó los 74.7 [GWh] (INE, 2008).

2.8.3 SISTEMA DE MAGALLANES

El Sistema de Magallanes, que abastece la Región XII está constituido por tres subsistemas eléctricos: Los sistemas de Punta Arenas, Puerto Natales y Puerto Porvenir. Tiene una capacidad instalada de 99.2 [MW] en el año 2009, con el 100% de la energía generada de tipo térmicos.

La suma de las capacidades instaladas de estos cuatro sistemas, que asciende en el año 2009 a 14.871 [MW], constituye la potencia total instalada en el país (INE, 2010).

Para los sistemas de Magallanes, la demanda máxima alcanzó en el año 2000 29.8, 2.8 y 1.1 [MW], respectivamente, mientras que el consumo de energía, en el mismo año, fue de

145.5, 13.4 y 4.1 [GWh] respectivamente. Opera en los sistemas previamente mencionados una sola empresa, EDELMAG S.A., quien desarrolla las actividades de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica, atendiendo a un total de 43.886 clientes (INE, 2008).

2.9 RÉGIMEN TARIFARIO

Se conoce como Precio de Nudo al precio que las empresas distribuidores pagan por la electricidad necesaria para abastecer a sus clientes y se calcula con criterios marginalistas, es decir, costo asociado a un incremento de la potencia inyectada en el sistema, necesaria para responder a un incremento de carga experimentado en dicho periodo.

Los precios de nudo se fijan semestralmente, en los meses de abril y octubre de cada año. Su determinación es efectuada a través de un informe técnico que elabora la Comisión Nacional de Energía (CNE), su fijación se realiza mediante decreto del Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción, el cual procede a su fijación, mediante un Decreto publicado en el diario Oficial.

El precio de nudo tiene dos componentes: el precio de la energía y el precio de la potencia. Estos precios se determinan y fijan para todas las subestaciones que conforman el sistema de generación-transporte y para cada nivel de tensión, en cada uno de los cuatro sistemas eléctricos del país (INE, 2008).

El valor que las empresas distribuidores cobran por efectuar el servicio de distribución de electricidad, se conoce como Valor Agregado de Distribución (VAD), y se calcula considerando el costo medio que incorpora todos los costos de inversión y funcionamiento de una empresa modelo o teórica eficiente para proveer el servicio.

El Valor Agregado de Distribución es fijado cada cuatro años por el Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción, previo informe técnico de la Comisión Nacional de Energía (INE, 2008).

2.10 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El Mar Interior de Chile, corresponde a una vasta zona archipelágica costera compuesta por numerosas islas, canales y fiordos, cuya distribución origina zonas de estrechamientos, regiones someras y morfología costera que induce modificaciones a las corrientes de marea. Entre estas modificaciones se encuentran las aceleraciones de la velocidad, amplificaciones de los rangos mareales y otros efectos.

Se han observado amplificaciones considerables de los rangos de marea en el mar interior de Chiloé (Garrad-Hassan **et al.**, 2009).

Para la generación del estudio de prefactibilidad técnica y económica, se seleccionaron 9 sitios cercanos a pequeños poblados costeros en el sur de Chile, con velocidades de corrientes inferiores a 1,5 [m/s]. Los que se presentan a continuación:

2.10.1 CANAL GABRIEL

Canal Gabriel se ubica en la provincia de Tierra del Fuego en la XII región de Magallanes y Antártica Chilena. El sitio de instalación de un ADCP fijo cuyos datos son utilizados para este estudio, se encuentra en las coordenadas 54° 07' 18" Latitud S; 70° 50' 29" Longitud W.

Este canal separa Tierra del Fuego de la isla Dawson en la costa sur y se abre entre las puntas Cono y Anxious, con una dirección general de NW a SE, siendo los bordes casi paralelos en todo su largo de 27 millas (aprox. 43.5 Km) y su ancho de 0.57 a 1.5 millas (aprox. 0.91 a 2.4 km), mientras que en la angostura situada en el primer tercio de su curso a partir de la entrada por el seno Magdalena, es de aproximadamente 0.16 kilómetros (SHOA, 1991), como se visualiza en la Figura 6.



Figura 6: Área de estudio en el sur de Chile, Canal Gabriel XII región de Magallanes y Antártica Chilena.
(Adaptado de Google Earth)

Las corrientes existentes en el canal fluctúan entre 2 y 2.5 m/s, durante los períodos de mayor amplitud de la marea, siendo la corriente desde el oeste coincidente con la marea llenante. La sonda mínima registrada en el canal es de 12.5 m, ubicada al centro de la angostura Gabriel (SHOA, 1991). El instrumento fue instalado en este sitio en una profundidad de 24 m.

2.10.2 PASO DEL INDIO

La recolección de datos de corrientes en el Paso del Indio, perteneciente a la provincia de Última Esperanza en la XII Región de Magallanes y la Antártica Chilena, se realizó en una instalación de ADCP fijo en las coordenadas 49° 06' 00" Latitud S; 74° 22' 54" Longitud W, a una profundidad de 32 m.

Paso del Indio se encuentra al sur de la Angostura Inglesa y tiene una orientación norte-sur entre la costa oeste del promontorio Exmouth y la costa este de la isla Wellington, en una extensión de 17 millas, aprox. 27.3 km, (SHOA, 2000), como se representa en la Figura 7.



Figura 7: Área de estudio en el sur de Chile, Paso del Indio XII Región de Magallanes y Antártica Chilena.
(Adaptado de Google Earth)

Las particularidades acerca de la dirección e intensidad de estas corrientes, observadas en la parte sur de la Angostura Inglesa son también aplicables a las que se experimentan en el Paso del indio. La corriente de refluo se dirige hacia el norte y comienza al término de la estoa de pleamar, en tanto que la corriente de flujo corre hacia el sur y comienza al término de la estoa de bajamar (SHOA, 2000).

2.10.3 PASO MENINEA

La recolección de datos de corrientes en el Paso o Constricción Meninea, perteneciente a la provincia de Aysén en la IX Región Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo, se realizó con un instrumento ADCP anclado en las coordenadas 45° 15' 43.92" Latitud S; 73° 40' 32.16" Longitud W (Figura 8).

El Paso Meninea se encuentra en el Canal Moraleda, el cual se prolonga de norte a sur en una extensión aproximada de 90 millas (144.8 km), separando el grupo Guaitecas y el archipiélago de los Chonos de la costa continental (SHOA, 1990), como se visualiza en la Figura 8.



Figura 8: Área de estudio en el sur de Chile, Paso Meninea XI Región Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo.
(Adaptado de Google Earth)

El Canal de Moraleda cuenta con dos cuencas con profundidades superiores a 200 [m], las cuales están separadas por la constricción de Meninea, donde la profundidad fluctúa entre 40 y 50 [m], el ancho del paso en cambio es de aproximadamente 2,5 [km] en los 10-15 [km] de longitud (Valle-Levinson & Blanco, 2004). El instrumento ADCP fue instalado en una profundidad de 53 metros.

2.10.4 CANAL PITIPALENA

Canal Pitipalena se sitúa en la provincia de Aysén, XI Región Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo. En este sitio se obtuvieron datos de corrientes con ADCP remolcado a lo largo del canal en las coordenadas 43° 46' 07" Latitud S; 72° 56' 51" Longitud W (Figura 9).

Este canal se encuentra entre la costa sur de la península Cocá y la isla Los Leones, abriéndose en el fondo de la rada Palena el estero Piti-Palena (SHOA, 1990), como muestra la Figura 9. El estero se orienta en dirección al sur-sureste con un largo de 4 km aproximadamente, observándose profundidades entre 20 y 30 m en toda su extensión (SHOA, 1990).



Figura 9: Área de estudio en el sur de Chile, Canal Pitipalena XI Región Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo.
(Adaptado de Google Earth)

2.10.5 CANAL LAITEC

Los datos de corrientes en Canal Laitec, perteneciente a la provincia de Chiloé en la X Región de los Lagos, se realizó en las coordenadas 43° 11' 00" Latitud S; 73° 39' 41" Longitud W, mediante un experimento de ADCP remolcado (Figura 10).

Entre la costa occidental de la isla Laitec y el lado oriental de las islas Coldita y Mauchil, se forma el canal Laitec (SHOA, 1990), como se puede apreciar en la Figura 10. El canal mide en su parte norte 1 milla de ancho y su profundidad varía entre 11 y 68 m (SHOA, 1990).



Figura 10: Área de estudio en el sur de Chile, Canal Laitec X Región de los Lagos.
(Adaptado de Google Earth)

2.10.6 CANAL LEUCAYEC

La adquisición de datos de corrientes en Canal Leucayec, perteneciente a la provincia de Aysén en la IX Región Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo, se realizó en las coordenadas 43° 55' 36" Latitud S; 73° 43' 22" Longitud W en un experimento de ADCP remolcado a lo largo del canal (Figura 11).

El canal Leucayec corre el lado Noroeste de la isla de su mismo nombre y es el indicado para el tráfico de buques que deban salir al océano por el canal Tuamapu (SHOA, 1990).



Figura 11: Área de estudio en el sur de Chile, Canal Leucayec XI Región Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo.
(Adaptado de Google Earth)

2.10.7 CANAL KIRKE

Los datos de corrientes en Canal Kirke, perteneciente a la provincia de Última Esperanza en la XII Región de Magallanes y Antártica Chilena en las coordenadas 52° 03' 31" Latitud S; 73° 00' 46" Longitud W, fueron adquiridos en un experimento de ADCP remolcado en la Angostura Kirke (Figura 12).

En este punto el canal tiene 134 metros de ancho, pero su ancho navegable se reduce a 40 m por los bajos fondos laterales, siendo las profundidades en este sitio de alrededor de 20-30 m.

La estoa y las corrientes de marea se producen a menudo en forma irregular y hay fuertes asimetrías en el ciclo mareal a lo largo y ancho del canal. Las corrientes de marea pueden alcanzar 3 m/s en este sitio. El sitio es reconocido por presentar remolinos de considerable diámetro en los alrededores de la isla Medio Canal, en el sector de la angostura (SHOA, 2000).



Figura 12: Área de estudio en el sur de Chile, Canal Kirke XII Región de Magallanes y Antártica Chilena.
(Adaptado de Google Earth)

2.10.8 CANAL APIAO

Los datos de corrientes en Canal Apiao, perteneciente a la provincia de Palena en la X Región de los Lagos, se obtuvieron en un experimento de ADCP remolcado en las coordenadas 42° 37' 51" Latitud S; 73° 07' 12" Longitud W (Figura 13).

Entre la costa oriental de las islas Apiao y Chaulinec se forma el canal Apiao. El canal tiene 5 millas de ancho y profundidades máximas de 100 y 120 m. Las corrientes en el canal Apiao pueden llegar a 1 m/s (SHOA, 1990).



Figura 13: Área de estudio en el sur de Chile, Canal Apiao X Región de los Lagos.
(Adaptado de Google Earth)

2.10.9 CANAL DESERTORES

Los datos de corrientes en Canal Desertores, perteneciente a la provincia de Palena en la X Región de los Lagos, se obtuvieron en un experimento de ADCP remolcado en sentido transversal al eje del canal en las coordenadas 42° 45' 09" Latitud S; 73° 53' 34" Longitud W (Figura 14).

El canal corre en dirección general norte-sur, tiene 2.5 millas de ancho (aprox. 4 km) y sus profundidades máximas son de alrededor de 100 m (SHOA, 1990).



Figura 14: Área de estudio en el sur de Chile, Canal Desertores X Región de los Lagos.
(Adaptado de Google Earth)

3. OBJETIVOS

3.1 GENERAL

Estimar el potencial de energía por corrientes de marea en sitios con magnitudes menores a 1,5 [m/s] y efectuar análisis de prefactibilidad técnica y económica en sitios cercanos a centros poblados.

3.2 ESPECÍFICOS

- Determinar el potencial de energía en sitios con mediciones de ADCP fijo y móvil con magnitudes de corriente inferiores a 1,5 [m/s]
- Establecer criterios de selección de los sitios de estudio, considerando al menos los siguientes rasgos: corrientes máximas y medias, reversibilidad, cizalles verticales, asimetría llenante-vaciante, profundidad y distancia a centros poblados.
- Efectuar análisis de prefactibilidad técnica y económica de instalación de un equipo disponible como prototipo en el mercado.

4. METODOLOGÍA

4.1 ADQUISICIÓN DE DATOS

Se efectuaron mediciones de corrientes en los nueve sitios de estudio con Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP). Los datos fueron adquiridos en diversas campañas asociadas a proyectos y estudios desarrollados en el sur de Chile, generándose las mediciones de ADCP por instrumentos de carácter fijo y remolcado a lo ancho y a lo largo del canal.

Las campañas o proyectos realizados para la adquisición de datos de corrientes de los nueve sitios de estudio, se indican a continuación.

- I. Campañas realizadas en canales del sur de Chile en el marco de los proyectos Cimar-Fiordo del Comité Oceanográfico Nacional.
- II. Cinco campañas hidrográficas y oceanográficas para la cartografía náutica desarrolladas por el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada (SHOA) entre los años 2001 y 2010.
- III. Proyecto Fondecyt 1100931 “Coupling of Physical and Biological Processes that sustain deep populations of *Loxechinus Albus* over bathymetric features in Northwest Patagonian Inland Sea”.
- IV. Proyecto FNDR de la región de Aysén BIP 30010880-0.

La Tabla 4-1 especifica la campaña o proyecto en que fueron registrados los datos de corrientes para cada sitio, así como la ubicación geográfica de las muestras de datos, las fechas de inicio y término, el modo de medición, el rango en minutos entre la captación de datos y el tamaño de las celdas verticales o capas de medición.

Los experimentos de ADCP remolcado fueron realizados utilizando un ADCP de 300 kHz marca RD-Instruments y un sistema de posicionamiento satelital GPS, ambos en interface con un computador de escritorio. El ADCP fue montado mirando hacia abajo en un catamarán de 1,5 m de largo, el cual era remolcado a 2,5 m/s desde el costado de una embarcación menor. Se promediaron ensambles de datos cada 30 s para el posterior análisis. El diseño de los transectos que fueron recorridos durante estos experimentos pueden ser observados en figuras que se indican en los párrafos siguientes.

Las mediciones realizadas con ADCP Fijo tuvieron una duración de 40, 130 y 96 días para Canal Gabriel, Paso del Indio y Paso Meninea respectivamente, mientras que las mediciones con ADCP Remolcado a lo largo fueron de aproximadamente 1 día en Canal Pitipalena, donde se seleccionaron tres puntos (Norte, Centro y Sur), entre los extremos A y B del transecto 1 (Figura 100), permitiendo una mejor representación del sitio. En cuanto a Canal Laitec, se realizaron mediciones en Abril y Julio, los años 2009 y 2010 respectivamente, la primera data con una duración de 0.52 días y en Julio, 2010 la duración fue de 0,72 días, cabe destacar que ambas datas se extrajeron de un solo punto ubicado entre los puntos B y C del transecto 1 realizado en el sitio (Figura 101 y Figura 102). Para Canal Leucayec se utilizó un registro de datos proveniente del sector norte, cercano al punto B, del transecto 1 realizado el 5 de Diciembre de 2005, con una duración

de 0.55 días, lo anterior debido a la representatividad de los datos (Figura 103). El registro se realizó entre el 29 y 30 de Octubre del año 2009 en Angostura Kirke entre los puntos A y B del transecto 1 (Figura 104).

Los registros de ADCP remolcado a lo ancho tuvieron una duración de 0.55 y 1.01 días para Canal Apiao y Desertores respectivamente. El punto de extracción de los datos de Canal Apiao se ubica cerca del punto B, en la trayectoria formada por los puntos A y B del transecto 1 (Figura 105). Por otro lado en Canal Desertores se utilizó un registro de datos de corrientes proveniente de un punto cercano a A, en el recorrido formado por los puntos A y D del transecto 1 (Figura 106).

Antes de proceder con el análisis de los datos de ADCP fijo, los datos crudos de las series de tiempo fueron exploradas en representaciones gráficas y filtrados los datos escapados y fuera de rango natural de observación. En el caso de los datos de ADCP remolcado, estos fueron explorados para remover perfiles o datos escapados y fuera de rango. Además, los datos fueron calibrados por corrección de rumbo siguiendo el procedimiento de Trump y Marmorino (1997). Los datos cercanos a superficie y fondo fueron removidos siguiendo las recomendaciones del fabricante (RD-Instruments, 1996).

Tabla 4-1: Resumen de los sitios y características de la adquisición de datos. (Elaboración Propia)

Sitio	Campaña Asociada	Latitud [S]	Longitud [W]	Adquisición de datos		Tiempo [días]	Profundidad Máxima [m]	Modo de Medición	Intervalo de tiempo [min]	Tamaño de celda vertical [m]	Sitios procesados
				inicio	fin						
Canal Gabriel	Campaña corrientes SHOA años 2001 y 2010	54° 07' 18"	70° 50' 29"	17-03-2009	26-04-2009	40	24	Fijo	10	1	1
Paso del Indio	Campaña corrientes SHOA años 2001 y 2010	49° 06' 00"	74° 22' 54"	10-04-2005	28-08-2005	130	32	Fijo	10	1	1
Paso Meninea	Proyecto Cimar Fiordo 4 del Comité Oceanográfico Nacional.	45° 15' 43"	73° 40' 32"	25-09-1998	30-12-1998	96	53	Fijo	10	2	1
Canal Pitipalena	Proyecto FNDR de la región de Aysén BIP 30010880-0	43° 46' 07"	72° 56' 51"	04-12-2005	05-12-2005	1,04	25	Remolcado a lo largo	0,5	1	3
Canal Laitec	Proyecto Fondecyt 1100931 "Coupling of Physical and Biological Processes".	43° 11' 00"	73° 39' 41"	26-04-2009	26-04-2009	0,52	51	Remolcado a lo largo	0,5	1	2
Canal Leucayec	Campaña corrientes SHOA años 2001 y 2010	43° 55' 36"	73° 43' 22"	05-04-2004	06-04-2004	0,55	46	Remolcado a lo largo	0,5	2	1
Canal Kirke	Proyecto Cimar Fiordo 15 del Comité Oceanográfico Nacional.	52° 03' 31"	73° 00' 46"	29-10-2009	30-10-2009	1,02	60	Remolcado a lo largo	0,5	1	1
Canal Apiao	Campaña corrientes SHOA años 2001 y 2010	42° 37' 51"	73° 07' 12"	02-04-2004	03-04-2004	0,55	86	Remolcado a lo ancho	0,5	2	1
Canal Desertores	Proyecto Cimar Fiordo 17 del Comité Oceanográfico Nacional.	42° 45' 09"	72° 53' 34"	03-04-2004	04-04-2004	1,01	120	Remolcado a lo ancho	0,5	2	1

4.2 ANÁLISIS Y PROCESAMIENTO DE DATOS

4.2.1 DEFINICIÓN DE SISTEMA DE REFERENCIA

Para la determinación del régimen de flujo y reflujos se realizó la rotación de los ejes principales (u , v) generando un nuevo sistema de referencia (u' , v'), donde u' es la componente longitudinal del canal, mientras que v' es la componente transversal. Los datos fueron rotados en un ángulo que reflejó la mayor variabilidad de las corrientes a lo largo del canal (u'). Los ángulos de rotación están indicados en la (Tabla 5-1).

4.2.2 MAGNITUD A LO LARGO: PROMEDIO, MÁXIMA Y MÍNIMA

La magnitud promedio otorga información comparativa entre la llenante y vaciante, además de la predominancia entre el flujo y reflujos para cada área de estudio. Para su cálculo se consideraron los valores de la componente longitudinal (u') de la velocidad.

Los valores máximos de flujo y reflujos fueron calculados para cada capa o celda vertical, constituyendo los valores máximos y mínimos de las series.

Las velocidades máximas y mínimas de los nueve sitios, se establecieron después de verificar que se sostenían por un tiempo superior o igual a 10 minutos, aportando así con un requerimiento relevante para la evaluación preliminar de sitio exigido para un dispositivo VIVACE. Este requerimiento se asimila a la métrica propuesta por EMEC, la que determina que las velocidades máximas deben ser sostenidas durante 10 minutos para satisfacer sus criterios (EMEC, 2009).

Se representaron estas magnitudes extremas en función del tiempo para cada profundidad, lo que permitió describir si los sitios de estudio son de interés preliminar.

4.2.3 DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE VELOCIDAD A LO LARGO DEL CANAL

La distribución porcentual de velocidad proporciona una simple visualización del recurso disponible en un sitio, indicando el porcentaje de ocurrencia de llenantes y vaciantes respecto de la velocidad. Este análisis es útil para comparar distribuciones de velocidad en diferentes sitios, además de verificar la predominancia de flujo o reflujos de las componentes u y v de la corriente, en relación a las componentes u' longitudinal y v' transversal.

La determinación de las direcciones de flujo y reflujos fueron estimadas siguiendo la información de llenante y vaciante del sitio contenida en Los Derroteros y en las Tablas de Marea, seleccionando el flujo y reflujos de las zonas de estudio. Por otro lado se crearon rangos de velocidad para la clasificación de los datos, permitiendo agrupar y visualizar el porcentaje de ocurrencia de las clases de velocidad de la llenante y vaciante.

4.2.4 CIZALLES VERTICALES

Las fuerzas de cizallamiento ejercidas por la corriente en un fluido denso como el agua marina, son significativas desde el punto de vista del diseño mecánico del dispositivo, ya que éste debe ser capaz de soportar la fuerza axial ejercida por la componente media de la velocidad, además de las fuerza de corte generadas por las variaciones de velocidad. Estas variaciones se deben a la interacción con las capas límites, superficie y fondo (LU & Lueck, 1999).

Los cizalles verticales fueron calculados considerando las componentes longitudinal y transversal del canal. El cálculo se realizó por medio de la razón entre, la diferencia de velocidades de la celda superior e inferior en cm/s y el tamaño de la celda vertical en [cm].

$$\frac{\partial u}{\partial z} = \frac{u_{hh-1} - u_{hh+1}}{\Delta z} [s^{-1}]$$

Donde el subíndice “hh” hace referencia a la magnitud de la corriente de marea más próxima a la superficie cm/s y Δz es el tamaño de celda vertical en centímetros.

4.2.5 FRECUENCIA DIRECCIONAL

El porcentaje de frecuencia direccional permitió observar la predominancia de las direcciones de la corriente en cada sitio, además de la dirección dominante para cuatro capas verticales de la columna de agua, previamente seleccionadas.

Para cada sitio se seleccionaron dos capas límites (superficial y fondo) y dos capas intermedias. Posteriormente las direcciones de la corriente se descompusieron en 8 clases (N, NE, E, SE, S, SW, W, NW) determinándose el porcentaje de frecuencia de ocurrencia en las direcciones mencionadas.

4.2.6 CORRIENTE RESIDUAL

Se determinó la corriente residual en las direcciones a lo largo (u') a lo ancho (v') mediante la extracción de las principales componentes armónicas de la marea en cada sitio de estudio. Se utilizó análisis de regresión sinusoidal por mínimos cuadrados siguiendo el ejemplo de (Lwiza **et al.**, 1991)

En el caso de los instrumentos fijos, se extrajeron las componentes M_2 , K_1 , S_2 , N_2 , O_1 , M_4 y M_6 ya que el registro de datos era superior a 30 días, mientras que en los sitios de 24 horas. Se extrajeron sólo las componentes M_2 y K_1 .

También se obtuvieron las amplitudes y fases de los armónicos resueltos.

4.2.7 ELIPSES DE MAREA

El trazado de la elipse de marea permitió determinar la orientación del dispositivo para la extracción de la energía. Tales elipses se determinaron considerando las fases y amplitudes determinadas para cada armónico del análisis por mínimos cuadrados y de las dos componentes cartesianas de la velocidad (u , v), definiendo así los 4 parámetros característicos de las elipses; longitud del eje mayor, del eje menor, orientación del semieje mayor y fase.

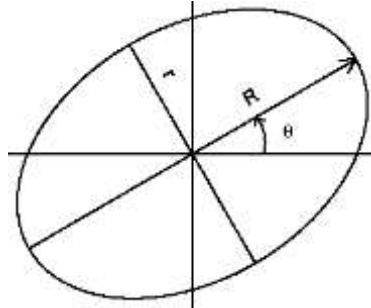


Figura 15: Elipse de Marea con eje mayor (R), eje menor (r) y orientación del eje mayor (θ).

(Adaptado de Pugh, 1996).

4.2.8 DIRECCIONALIDAD

Para la estimación de la direccionalidad de la corriente, en cada sitio se graficaron en un gráfico x-y los puntos de los datos crudos de velocidad en sus componentes U y V. La nube de puntos obtenida permitió observar las principales direcciones de desplazamiento de las corrientes en sus fases llenante y vaciante. Las velocidades con magnitudes inferiores al 20% de la velocidad máxima de la serie no fueron consideradas en el análisis.

Considerando la naturaleza bidireccional de las corrientes de marea, se consideró relevante determinar la reversibilidad de las corrientes, su asimetría y su desviación estándar. La reversibilidad es una medida de la bidireccionalidad de la llenante y vaciante, que puede ser observada verificando las diferencias en los ángulos de flujo y reflujos. La asimetría se refiere a la dominancia del flujo en una de las dos direcciones, mientras que la desviación es una medida capaz de reflejar la fluctuación de velocidad dentro de los regímenes de flujo y reflujos.

Una vez separados los datos de velocidad de flujo y reflujos de cada sitio, se aplicó una regresión lineal a cada grupo de datos determinándose los ángulos de llenante y vaciante respecto del eje u' , estableciéndose la diferencia entre ellos como la reversibilidad del sitio. Se estimó también, para cada grupo de datos, su desviación estándar, como medida de su variabilidad.

La asimetría se determinó considerando los máximos valores de las componentes U y V de los flujos y reflujos.

Todos los datos de velocidad, magnitud y dirección de la corriente fueron analizados en el programa IDL versión 6.3.

4.3 POTENCIAL ENERGÉTICO

El dispositivo VIVACE es capaz de aprovechar el poder natural del VIV, lo que resulta en la generación de energía eléctrica limpia y renovable, siendo compatible además con el medio ambiente. VIVACE a diferencia de cualquier tecnología existente no utiliza turbinas, hélices o presas. Este dispositivo convierte la energía hidrocínética horizontal de las corrientes de marea en energía mecánica en el cilindro, la que posteriormente se convierte en energía eléctrica.

Previo a la obtención del potencial energético de cada sitio, se definió el diseño y las dimensiones de la granja de dispositivos VIVACE utilizado. Dicha granja se encuentra clasificada en la categoría de mediana escala, siendo capaz de generar 1 MW de potencia y ocupando una superficie de $2.428 m^2$, cuenta con 20 metros de longitud y requiere de una profundidad mínima de 15 metros. Además se conforma por 526 cilindros, los que tienen un diámetro de 0.5 metros (Tabla 8-14).

Para el cálculo de la potencia energética generada en los 9 sitios de estudio (Ecuación 1), fue necesario determinar el área de generación del potencial. Para esto se consideró una sección triangular conformada por el ancho y la profundidad de los canales previamente analizados, obteniendo finalmente el área triangular del sector. Por otro lado la potencia que se generó en los sitios depende, en parte, de la magnitud de las velocidades al cubo, la cual se definió como la magnitud máxima registrada para cada zona de estudio. Finalmente se desarrolló la fórmula de potencial en los 9 sitios, considerando que la densidad del agua de mar es $1.025 kg m^{-3}$.

La determinación del potencial generado por el dispositivo generador VIVACE (Ecuación 3), hace referencia a la energía de la corriente proyectada sobre el área del cilindro de manera perpendicular. Dicha potencia se determinó considerando la densidad del agua de mar, así como el cubo de la magnitud máxima registrada para cada sitio, el área del cilindro (DL) del dispositivo VIVACE y la eficiencia energética ($\eta_{VIVACE} = 0,22$), la que se define como el cociente entre la potencia aprovechada del dispositivo y la potencia del flujo.

Por otro lado se calculó la potencia actual disponible, es decir, aquella que cuenta con una disponibilidad del 90%.

4.4 DISTRIBUCIÓN FÍSICA DE LOS DISPOSITIVOS

4.4.1 TRAFICO DE BUQUES

Siendo la navegación la causas de mayor relevancia en la inferencia de la superficie y por ende de la baja en el funcionamiento del dispositivo (Raghavan, 2007), se estudiaron las rutas de navegación establecidas en las cartas náuticas correspondientes a cada canal de estudio. Se analizaron las características de los buques diseño que frecuentan los nueve

sitios de estudio, permitiendo contar con las bases de comprobación de la viabilidad de instalación del dispositivo.

4.4.2 DISTANCIA A CENTROS POBLADOS

La distancia entre los nueve puntos de extracción de registros de corrientes y los poblados aledaños, se determinó utilizando recorridos constituidos por líneas rectas, siendo estos los recorridos más breves entre las opciones existentes. Lo que contribuye como antecedente final del análisis.

4.5 CARACTERIZACIÓN DE LA DEMANDA

La caracterización de la demanda tiene por objeto estimar la potencia requerida para las localidades aledañas a los sitios de estudio.

Por otro lado la demanda de potencia energética en las localidades se ve afectada por diversos factores, por lo que se reunieron antecedentes y datos para la caracterización del consumo actual de las localidades mencionadas, permitiendo definir la condición base para la estimación de la demanda en cada sitio.

La estimación de la demanda energética de las nueve localidades se efectuó por medio de los datos de población y de consumo:

Las estadísticas de población y vivienda fueron obtenidas a partir de los resultados de los censos de poblaciones, efectuados por el Instituto Nacional de Estadísticas (INE, 2005).

La importancia de los datos de consumo se debe a la necesidad de caracterización del consumo promedio actual de las 9 localidades. Algunos antecedentes utilizados para dicha caracterización se mencionan a continuación:

- Consumo Total Mensual.
- Consumo estándar de las viviendas del país.
- Consumo industrial e institucional (sector institucional, comercial, público y pequeñas empresas) "S.ICCP.E".

Según estudios del consumo eléctrico en el país se determinó que el consumo promedio mensual de un hogar chileno es de 150.5 kWh (Ministerio de Energía, 2014), el que constituye el 70% del consumo total mensual, mientras que el 30% restante contempla el consumo del sector institucional, comercial, público y pequeñas empresas (García, 2009).

Con la información de consumo (consumo doméstico y S.ICPP.E mensual) se determinó la Demanda total mensual de los 9 sitios de análisis, la que en conjunto con la información de Cargo de energía base, extraídos de los informes de Tarifas de suministro Eléctrico correspondientes al año 2014, ubicado más adelante, permitió la obtención del Costo de Energía Base mensual para las nueve localidades de estudio.

Por otro lado el Costo Nudo de Energía corresponde al producto entre la demanda total mensual y el Precio Nudo de la energía, siendo este el precio al que se comercializa la energía destinada a clientes de precio regulado, es decir, clientes a los que se le aplica el cargo de energía base, dichos precios nudos de energía fueron extraídos de la data histórica de precios de los sistemas eléctricos interconectados chilenos publicada en el sitio web de la Comisión Nacional de Electricidad (CNE, 2008), cabe destacar que tales precios son referidos a la actualización realizada en Abril del años 2014 .

En cuanto al Costo VIVACE, corresponde al producto entre la demanda total mensual de cada localidad del estudio y el costo de generación de energía del dispositivo VIVACE [\$/kWh], siendo la información de costo de generación del dispositivo extraída de la comparación económica entre tecnologías de generación alternativa realizada por Raghavan el año 2007 (Tabla 4-3).

Tabla 4-2: Costo de Energía Base y Precio Nudo, Energía y Potencia, de los Sistemas Interconectados de las zonas Centro-Sur de Chile.
(Adaptado de CNE, 2008 y Tarifas del Suministro eléctrico 2014)

Sistemas Eléctricos	Comuna	Empresa Operadora	Cargo Energía Base [\$/kWk] (*)	Precio Nudo	
				Energía [\$/kWh]	Potencia [\$/KW/mes]
SIC	Chiloé	SAESA	106	48	5173
Aysén	Aisén	EDELAYSEN S.A.	174	66	7610
	Palena		174	66	7610
Magallanes	Punta Arenas	EDELMAG S.A.	120	37	7443
	Puerto Natales		120	57	6569

(*) Estos precios incluyen el Impuesto al Valor Agregado (IVA) del 19 %.

Tabla 4-3: Comparación económica entre tecnologías de generación alternativa.
(Adaptado de Raghavan, 2007)

Tecnología	Costo Capital [\$/kW]	Mantenimiento O&M (*) [\$/kW]	Costo de Combustible [\$/kWh]	Variable O&M (**) [\$/MWh]	Disponibilidad	Costo por kWh [\$/kWh]
Alternativas de generación						
Viento	1200	156,43	0	-18	25%	0,069
Solar	6000	125,14	0	0	20%	0,489
VIVACE	3000	70,72	0	0	90%	0,055
Landfill gas - New	1200	100	0,018	28,22	90%	0,069
Landfill gas - Expansion	1000	100	0,018	28,22	90%	0,066
Anaerobic digester	2500	100	0	24,82	90%	0,071

(*) Mantenimiento O&M; corresponden a los costos de mantenimiento adicional al costo capital.

(**) Variable O&M; corresponde al incentivo o pago del crédito fiscal de producción (\$18 MWh).

Para los efectos de este estudio no se consideró el costo de instalación de cables submarinos para el transporte de la energía eléctrica a centros de consumo.

5. RESULTADOS

5.1 ANÁLISIS DE CORRIENTE

5.1.1 DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE VELOCIDAD A LO LARGO DEL CANAL

Las Figuras de Distribución porcentual de velocidad a lo largo del canal, permiten visualizar el porcentaje de ocurrencia de llenantes y vaciantes, representadas como barras de color rojo y azul respectivamente, para las componentes de velocidad u' longitudinal y v' transversal en cm/s en cada sitio del análisis.

En Canal Gabriel, la vaciante predomina sobre la llenante para velocidades de corrientes inferiores a 75 cm/s, en cambio para velocidades superiores o iguales a los 75 cm/s la llenante es mayor (Figura 16).

El mayor porcentaje de ocurrencia se encuentra en el rango de 0 a 25 cm/s, donde el 66% de los datos corresponden a la vaciante, mientras que en el rango siguiente, 25-50 cm/s, el porcentaje de ocurrencia es inferior al 5% (Figura 17).

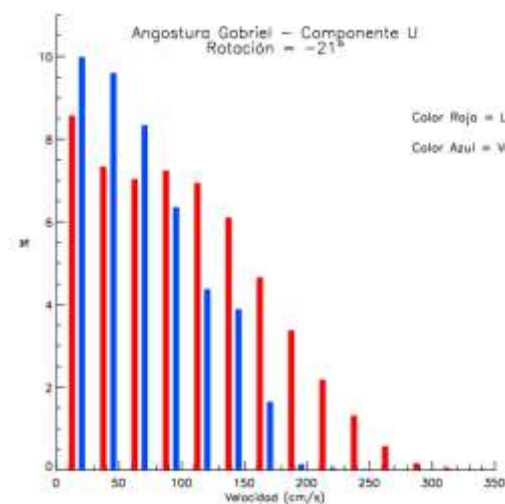


Figura 16: Distribución porcentual de velocidad, Canal Gabriel (u').
(Elaboración Propia)

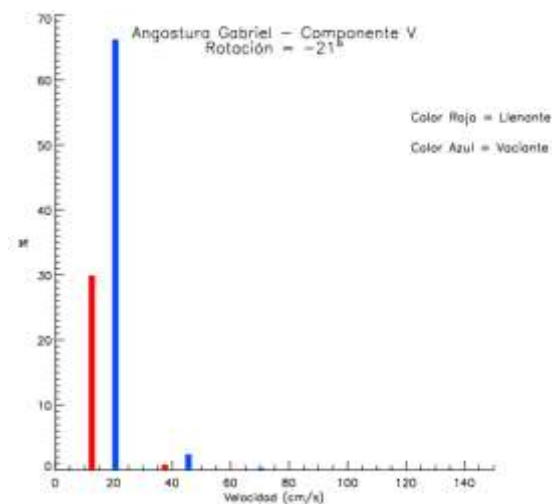


Figura 17: Distribución porcentual de velocidad, Canal Gabriel (v').
(Elaboración Propia)

Las velocidades de vaciante en Paso del Indio alcanzan un porcentaje de ocurrencia del 37% en el rango 0 - 25 cm/s, un 10% más que en llenante (Figura 18).

Al igual que en la Figura 13, la vaciante prevalece sobre la llenante, siendo 50,2% el mayor valor fluctuante entre 0 y 25 cm/s (Figura 19).

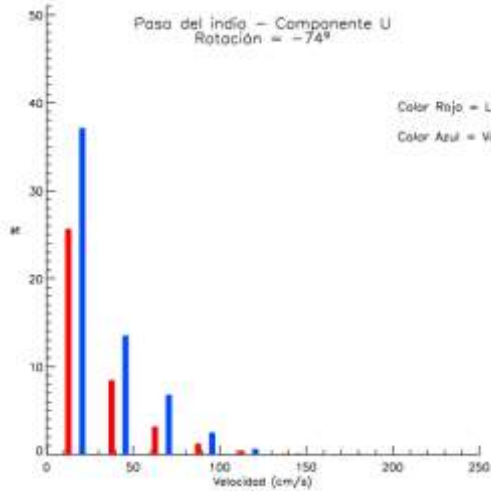


Figura 18: Distribución porcentual de velocidad, Paso del Indio (u').
(Elaboración Propia)

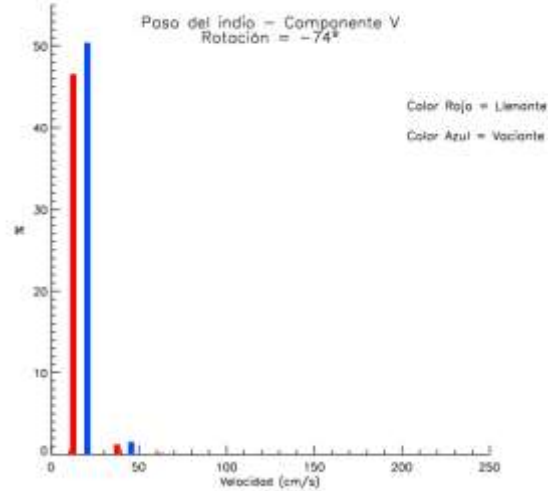


Figura 19: Distribución porcentual de velocidad, Paso del Indio (v').
(Elaboración Propia)

En Paso Meninea la llenante es mayor que la vaciante en el rango de 0 a 50 cm/s, alcanzando un porcentaje de ocurrencia superior al 20%, mientras que para velocidades superiores e iguales a 50 cm/s predomina la vaciante (Figura 20). La Figura 21 muestra que el 66% de los datos de llenante fluctúan entre 0 y 25 cm/s, mientras que en vaciante el 29% lo hace en el mismo rango.

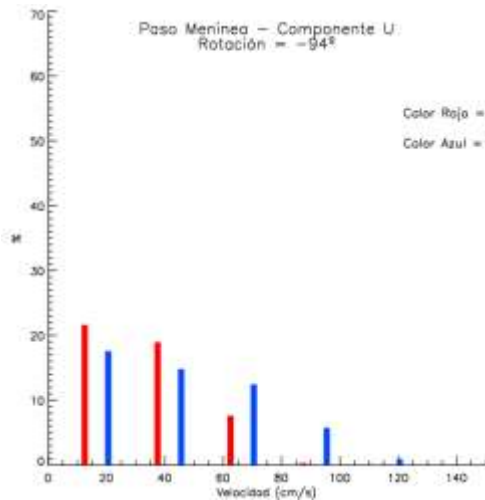


Figura 20: Distribución porcentual de velocidad, Paso Meninea (u').
(Elaboración Propia)

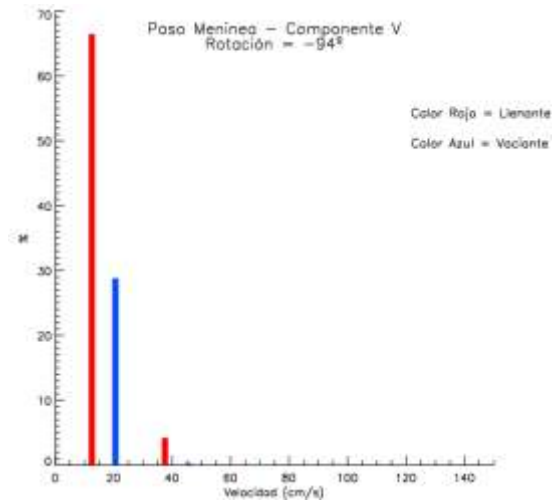


Figura 21: Distribución porcentual de velocidad, Paso Meninea (v').
(Elaboración Propia)

En canal Pitipalena – Norte predomina la llenante en el rango de 50 a 75 cm/s, en los otros rangos en cambio el mayor porcentaje de ocurrencia tiene cabida en vaciantes (Figura 22). En la Figura 23 el mayor porcentaje de ocurrencia se encuentra en el rango de 0 a 25 cm/s, donde el 63% de los datos corresponden a llenante, mientras que la vaciante cuenta con un porcentaje de ocurrencia es inferior al 45%.

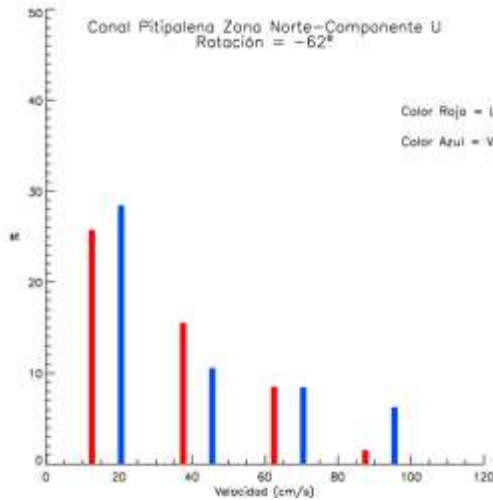


Figura 22: Distribución porcentual de velocidad, Canal Pitipalena - Norte (u'). (Elaboración Propia)

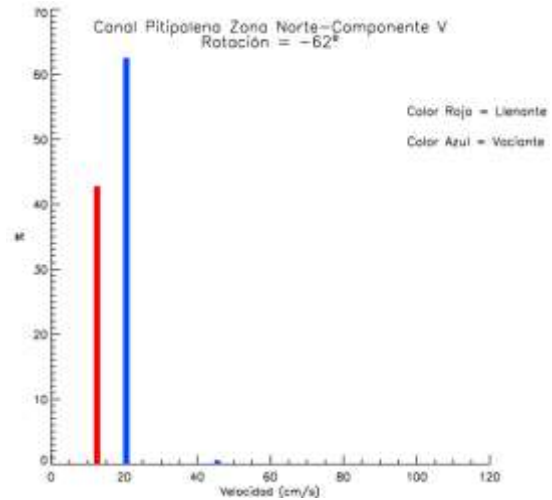


Figura 23: Distribución porcentual de velocidad, Canal Pitipalena - Norte (v'). (Elaboración Propia)

El porcentaje de ocurrencia en Canal Pitipalena – Centro es mayor en el rango de 0 – 25 cm/s, donde la vaciante alcanza el 26%, mientras que en el rango fluctuante entre 50 y 75 cm/s el 13% de los datos pertenecen a llenante (Figura 24). En la Figura 25 en cambio la llenante prevalece sobre la vaciante con un porcentaje de ocurrencia del 67% en el primer rango de selección de la velocidad.

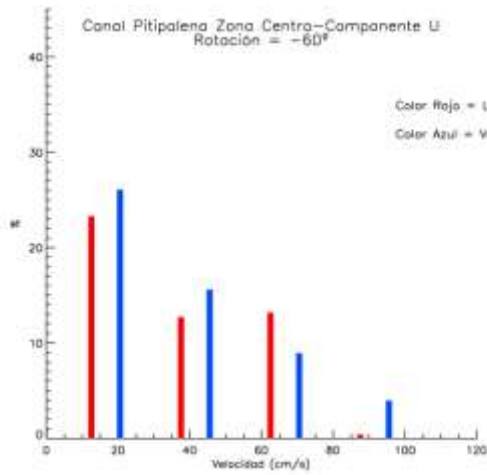


Figura 24: Distribución porcentual de velocidad, Canal Pitipalena - Centro (u'). (Elaboración Propia)

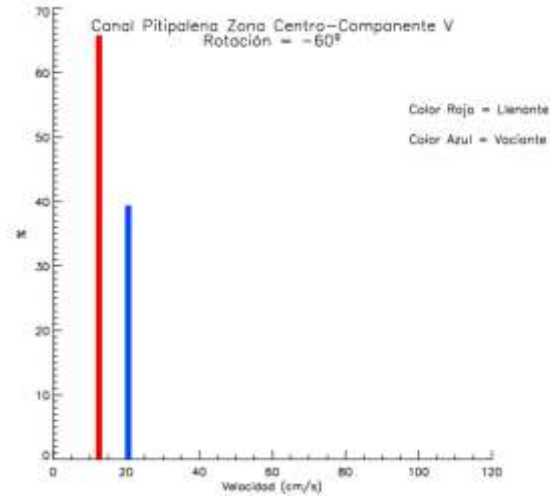


Figura 25: Distribución porcentual de velocidad, Canal Pitipalena – Centro (v'). (Elaboración Propia)

En Canal Pitipalena – Sur la vaciante es mayor que la llenante en todos los rangos de selección de la velocidad, alcanzando un porcentaje de ocurrencia del 26% (Figura 26). En la Figura 27 el porcentaje de ocurrencia de la llenante en el rango de 0 – 25 cm/s es de 69%, superior al de la vaciante en el mismo rango.

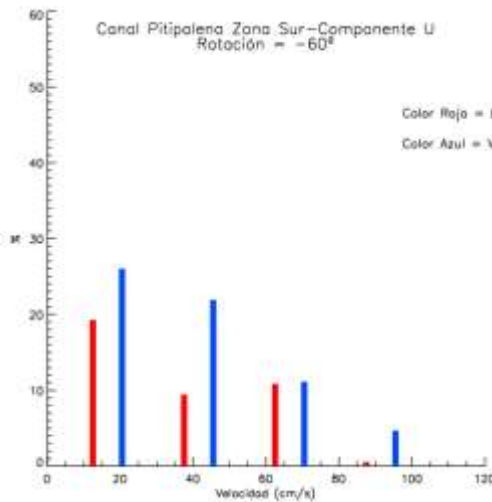


Figura 26: Distribución porcentual de velocidad, Canal Pitipalena - Sur (u'). (Elaboración Propia)

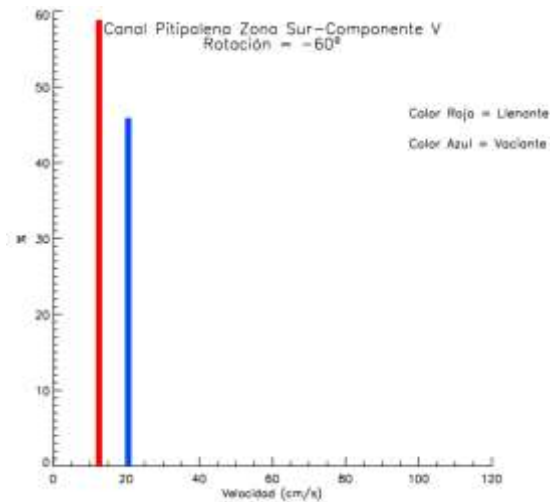


Figura 27: Distribución porcentual de velocidad, Canal Pitipalena - Sur (v'). (Elaboración Propia)

Las velocidades de vaciante en Canal Laitec - 2009 alcanzan un porcentaje de ocurrencia del 32% en el rango 0 - 25 cm/s, 2% menor al alcanzado en llenante (Figura 28). La Figura 29 muestra que la vaciante prevalece sobre la llenante con un 48% sobre el valor de llenante en el mismo rango.

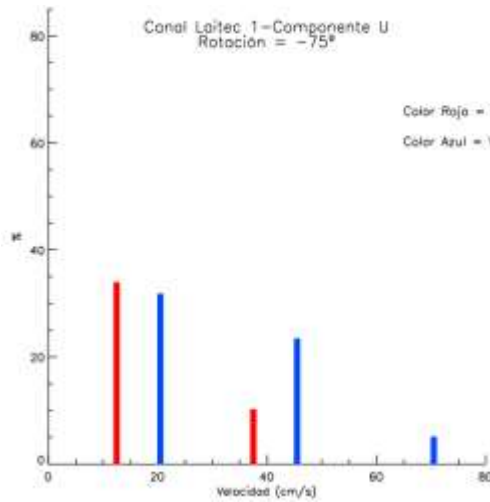


Figura 28: Distribución porcentual de velocidad, Canal Laitec - 2009 (u'). (Elaboración Propia)

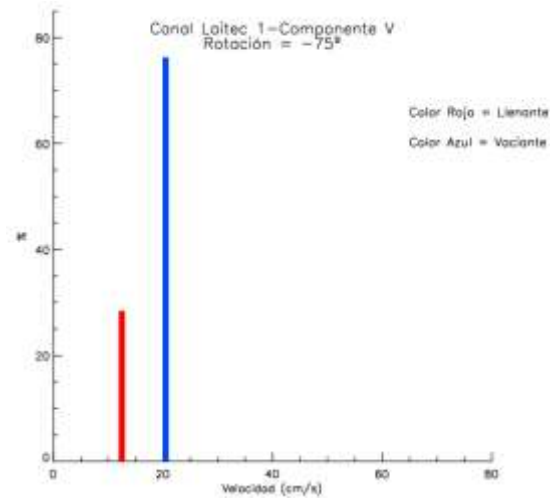


Figura 29: Distribución porcentual de velocidad, Canal Laitec - 2009 (v'). (Elaboración Propia)

En Canal Laitec – 2010 la llenante es mayor en todos los rangos de selección de la velocidad, alcanzando un porcentaje de ocurrencia del 44% (Figura 30). En la Figura 31 en cambio, es mayor la vaciante con un 67% aproximadamente.

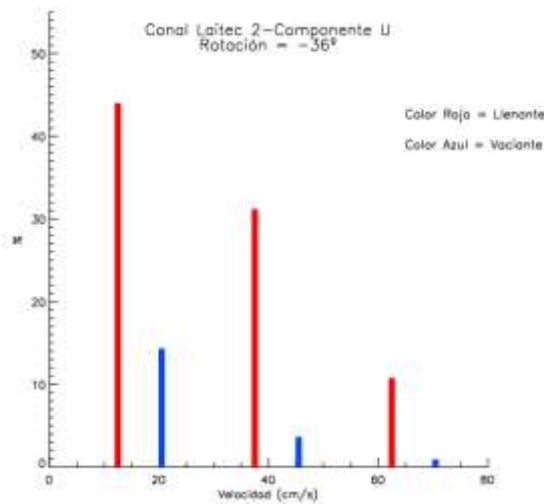


Figura 30: Distribución porcentual de velocidad, Canal Laitec - 2010 (u').
(Elaboración Propia)

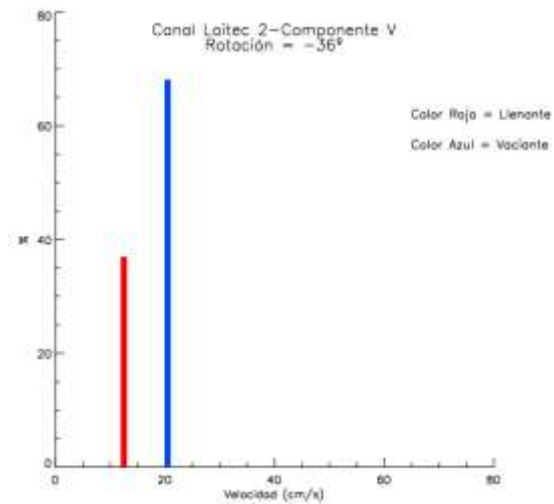


Figura 31: Distribución porcentual de velocidad, Canal Laitec - 2010 (v').
(Elaboración Propia)

En la Figura 32 la vaciante es mayor que la llenante, alcanzando un porcentaje de ocurrencia de 16% en el rango de 0 – 25 cm/s.

El porcentaje de ocurrencia de la llenante es mayor que el de vaciante en un 55%, en el rango de velocidad fluctuante entre 0 y 25 cm/s (Figura 33).

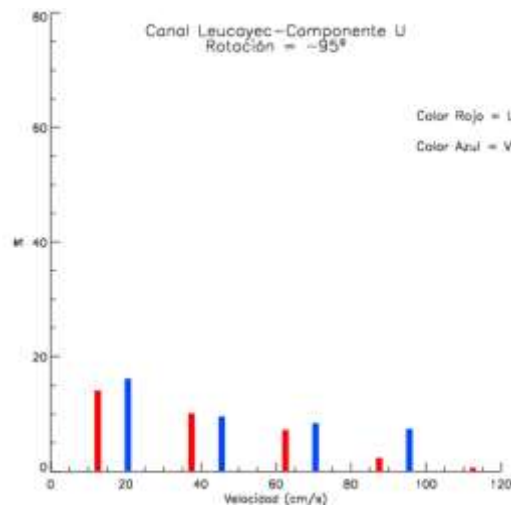


Figura 32: Distribución porcentual de velocidad, Canal Leucayec (u').
(Elaboración Propia)

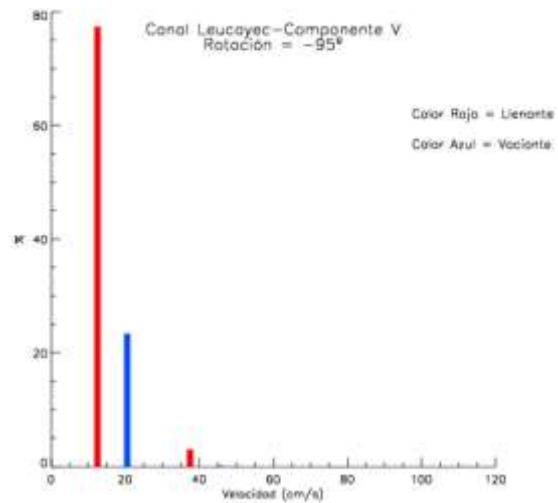


Figura 33: Distribución porcentual de velocidad, Canal Leucayec (v').
(Elaboración Propia)

La Angostura Kirke, presenta una predominancia de la vaciante con un porcentaje de ocurrencia de 51% en el rango de 0 a 25 cm/s (Figura 34), en cambio en la Figura 35 el 55% de los datos en el rango previamente mencionado corresponden a llenante.

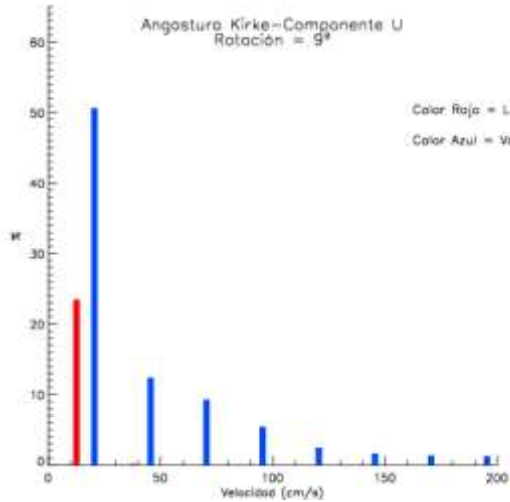


Figura 34: Distribución porcentual de velocidad, Angostura Kirke (u').
(Elaboración Propia)

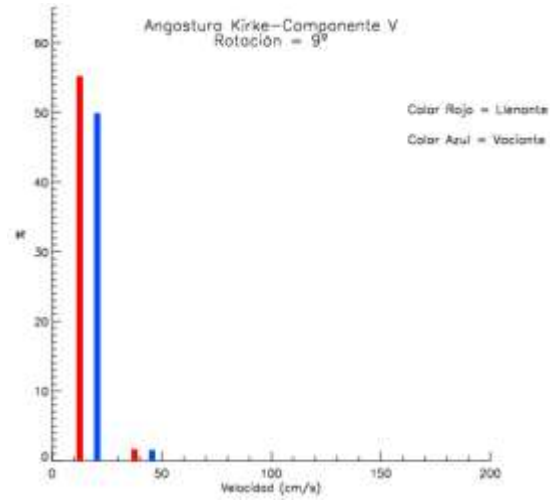


Figura 35: Distribución porcentual de velocidad, Angostura Kirke (v').
(Elaboración Propia)

En Canal Apiao, la llenante predomina sobre la vaciante alcanzando un porcentaje de ocurrencia de 23% entre 0 y 25 cm/s (Figura 36).

El mayor porcentaje de ocurrencia se encuentra en el rango de 0 a 25 cm/s, donde el 60.5% de los datos corresponden a la llenante, mientras que la vaciante en el mismo rango tiene una ocurrencia de 25% (Figura 37).

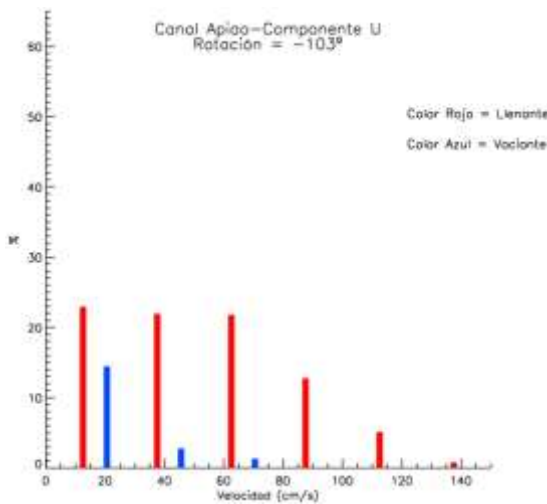


Figura 36: Distribución porcentual de velocidad, Canal Apiao (u').
(Elaboración Propia)

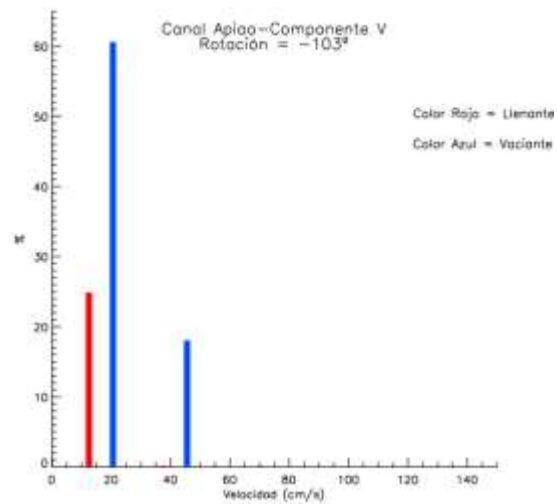


Figura 37: Distribución porcentual de velocidad, Canal Apiao (v').
(Elaboración Propia)

En Canal Desiertos, la vaciante predomina sobre la llenante para velocidades de corrientes inferiores a 75 cm/s, en cambio para velocidades superiores o iguales a los 75 cm/s la llenante es mayor (Figura 38). En la Figura 39, el mayor porcentaje de ocurrencia se encuentra en el rango de 0 a 25 cm/s, donde el 65% de los datos corresponden a la vaciante.

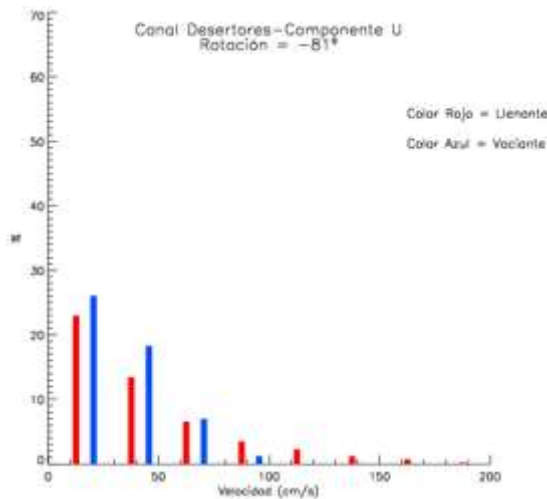


Figura 38: Distribución porcentual de velocidad, Canal Desiertos (u').
(Elaboración Propia)

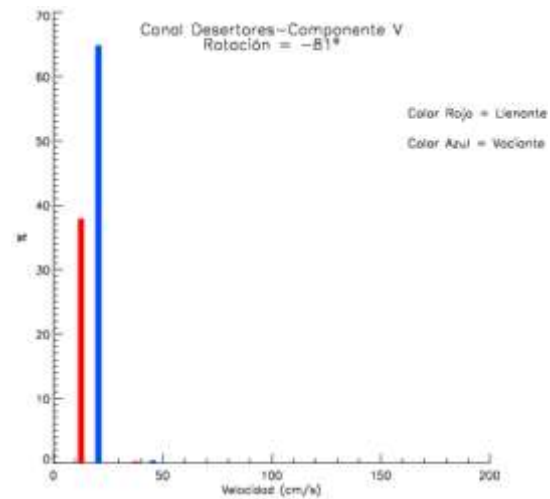


Figura 39: Distribución porcentual de velocidad, Canal Desiertos (v').
(Elaboración Propia)

5.1.2 MAGNITUD

Considerando las componentes de la velocidad de cada sitio de estudio, se determinó la magnitud en cm/s, la que se presenta en función del tiempo y la profundidad proporcional a cada área de estudio.

En Canal Gabriel la magnitud de la corriente entre el 17 de Marzo y el 26 de Abril del 2009 va disminuyendo a medida que aumenta la profundidad, alcanzando en algunos casos los 300 cm/s en sicigia y 130 cm/s en cuadratura (Figura 40).

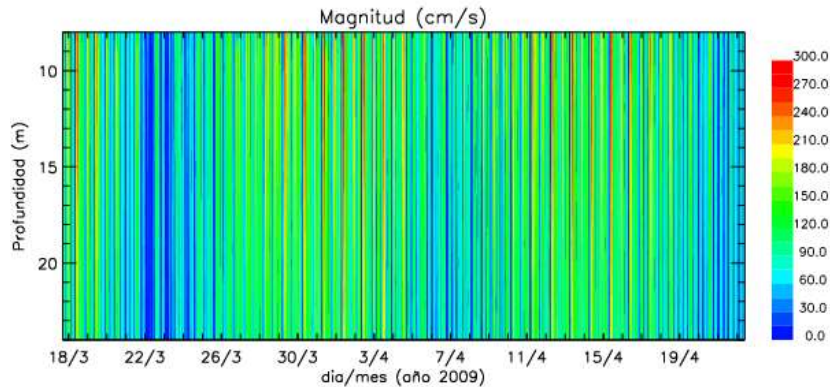


Figura 40: Magnitud Canal Gabriel, 2009.
(Elaboración Propia)

La magnitud de la corriente para los 130 días de medición en Paso del Indio muestra valores de hasta 140 y 60 cm/s en sicigia y cuadratura respectivamente (Figura 41).

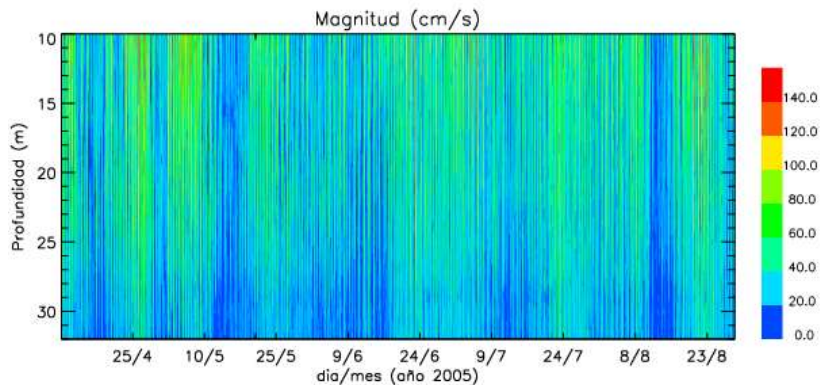


Figura 41: Magnitud Paso del Indio, 2005.
(Elaboración Propia)

Paso Meninea registró en sus 96 días de medición magnitudes de hasta 140 cm/s en sicigia, mientras que en cuadratura las magnitudes máximas alcanzan los 60 cm/s (Figura 42).

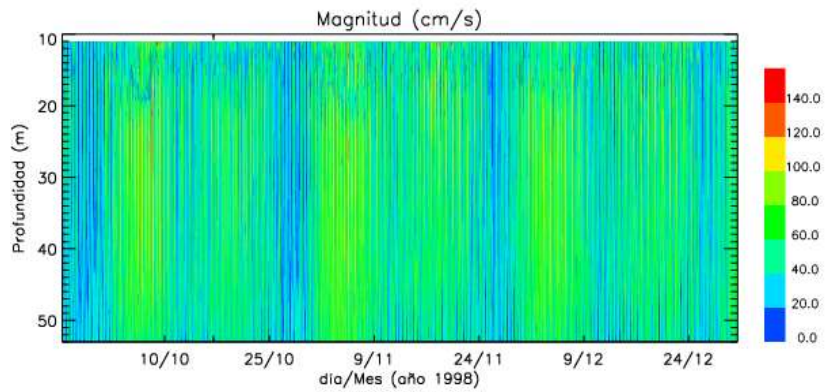


Figura 42: Magnitud Paso Meninea, 1998.
(Elaboración Propia)

La magnitud de la corriente registrada desde el 4 al 5 de Diciembre del 2005, con una duración de 1.02 días, para Canal Pitipalena Norte, Centro y Sur alcanzó valores de 135 cm/s para profundidades sobre los 20 metros (Figura 43, Figura 44 y Figura 45).

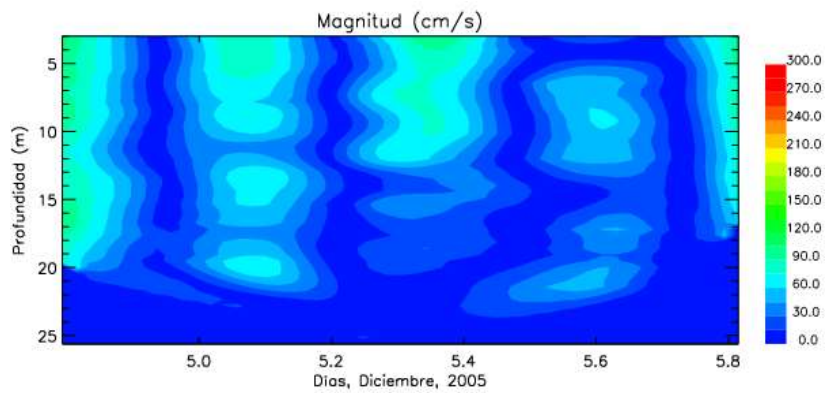


Figura 43: Magnitud Canal Pitipalena – Zona Norte, 2005.

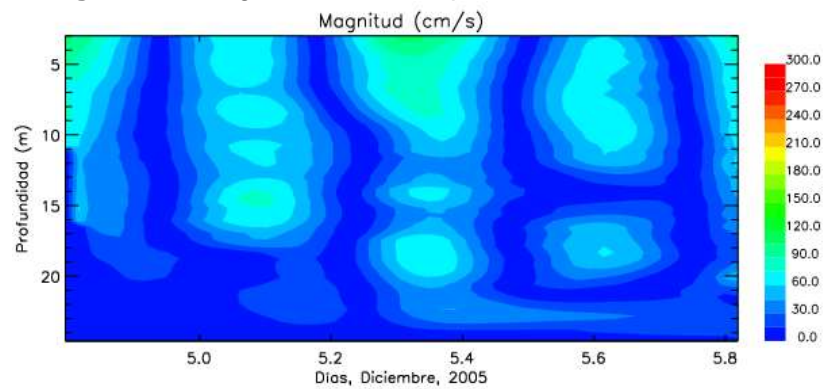


Figura 44: Magnitud Canal Pitipalena – Zona Centro, 2005.

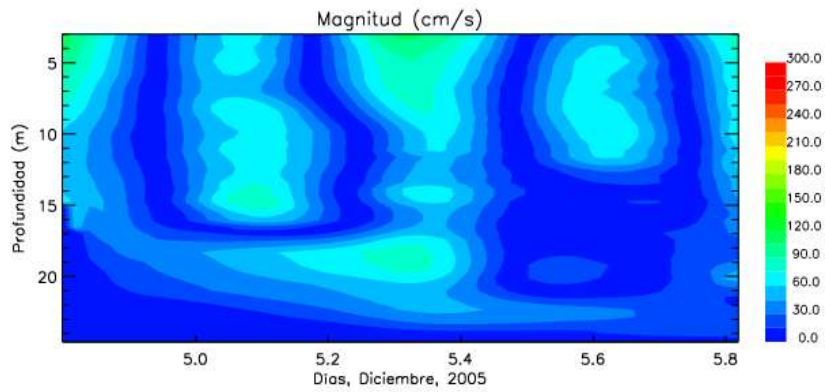


Figura 45: Magnitud Canal Pitipalena – Zona Sur, 2005.
(Elaboración Propia)

En Canal Laitec Abril 2009 y Julio 2010, con una duración de 0,52 y 0,72 días respectivamente, la magnitud de la corriente máxima registrada es de 70 y 77 cm/s aproximadamente para los años 2009 y 2010 (Figura 46 y Figura 47).

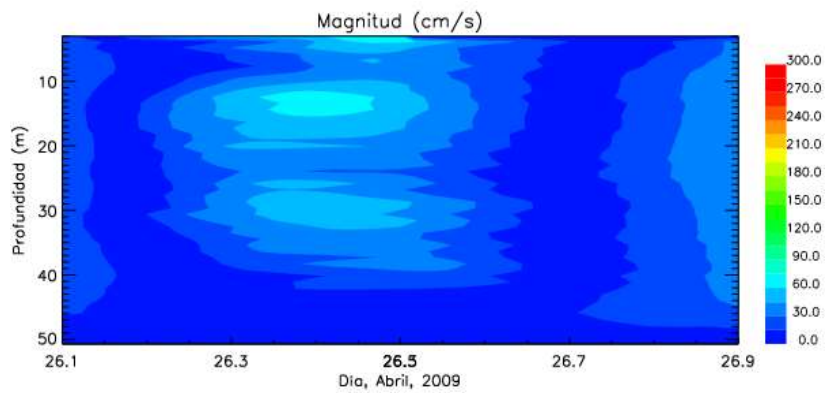


Figura 46: Magnitud Canal Laitec – Abril, 2009.

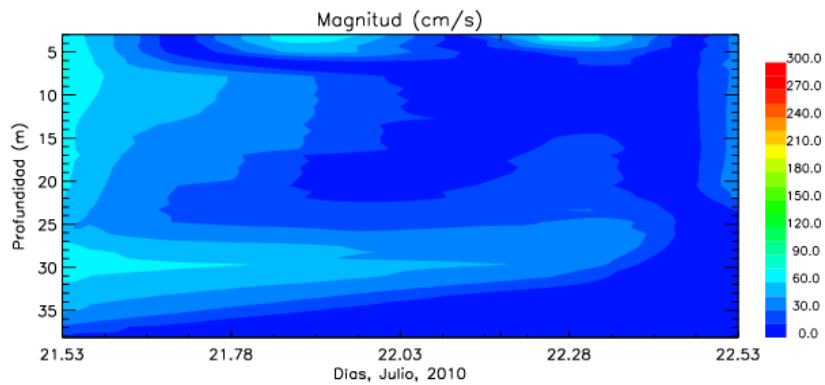


Figura 47: Magnitud Canal Laitec – Julio, 2010.
(Elaboración Propia)

Canal Leucayec registró en sus 0,55 días de medición magnitudes de hasta 216 cm/s en sicia cm/s (Figura 48).

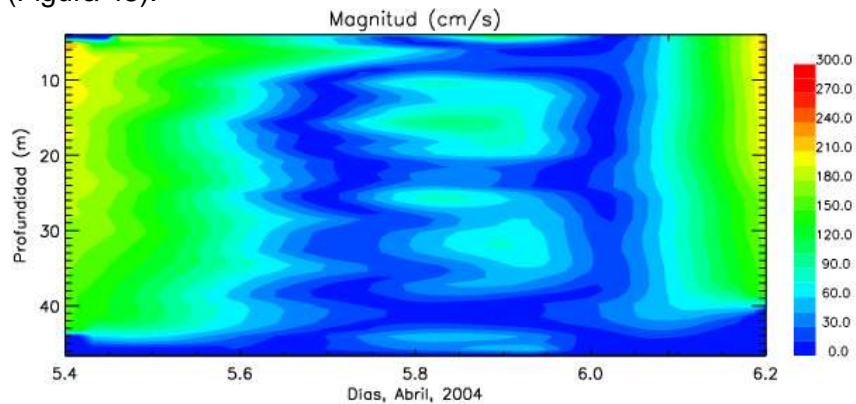


Figura 48: Magnitud Canal Leucayec, 2004.
(Elaboración Propia)

En el 1.01 días de registros en Canal Kirke la mayor magnitudes medida fue 205.7 cm/s (Figura 49).

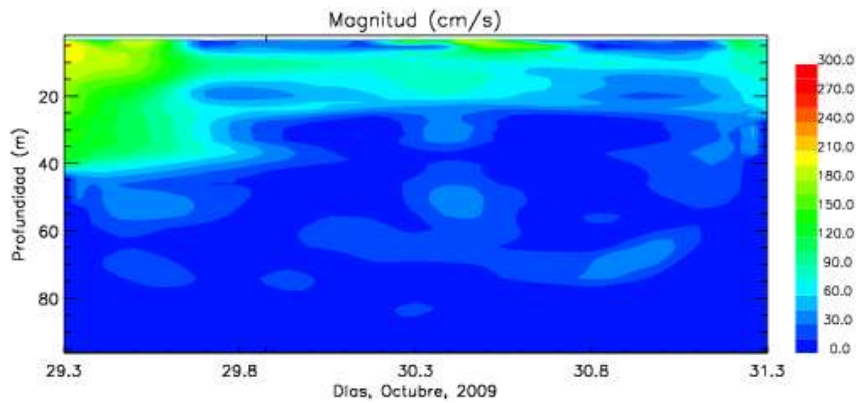


Figura 49: Magnitud Angostura Kirke, 2009.
(Elaboración Propia)

En los 0,55 días de medición en Canal Apiao, se registraron magnitudes que alcanzaron los 138 cm/s aproximadamente (Figura 50).

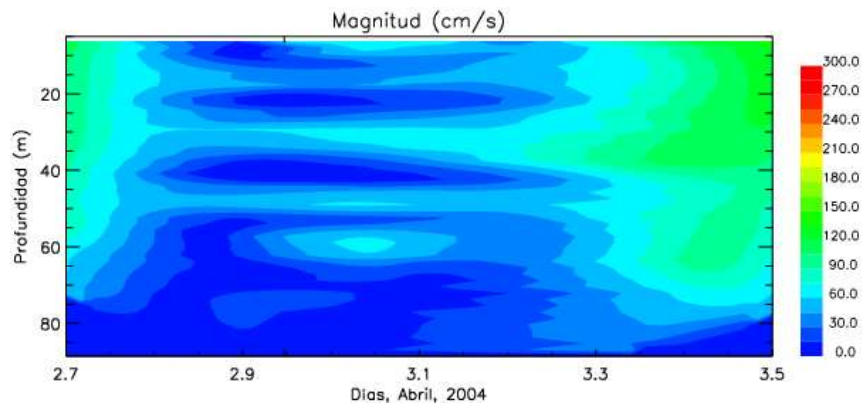


Figura 50: Magnitud Canal Apiao, 2004.
(Elaboración Propia)

En el día de medición en Canal Desertores, se registraron magnitudes que alcanzaron los 185.6 cm/s aproximadamente (Figura 51).

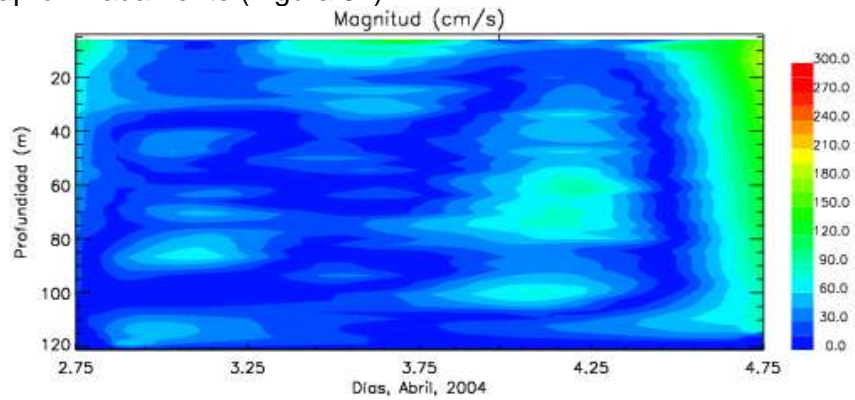


Figura 51: Magnitud Canal Desertores, 2004.
(Elaboración Propia)

5.1.3 CIZALLES VERTICALES

Los máximos cizallamientos verticales ($\partial u/\partial z$) y ($\partial v/\partial z$) en Canal Gabriel corresponden a 2.2 y 2.1 (s^{-1}) respectivamente, ocurriendo las mayores variaciones en las capas a 8 y 22 metros de la superficie (Figura 107, Figura 108 y Tabla 5-1).

En Paso del Indio las mayores variaciones se presentan en las profundidades de 10 y 15 metros de la componente v en relación de u, mientras que los cizalles máximos son 2.6 y 2.5 (s^{-1}) para la componente transversal y longitudinal respectivamente (Figura 109, Figura 110 y Tabla 5-1).

El máximo valor de cizalles para la componente u es 1.6 (s^{-1}), mientras que para v es 2.5 (s^{-1}) en Paso Meninea, siendo las variaciones de la componente transversal mayores a las de la longitudinal en las 4 capas de selección (Figura 111, Figura 112 y Tabla 5-1).

En Canal Pitipalena zona Norte, las mayores variaciones de cizalladuras se presentan en la componente u, principalmente a los 3 y 25 metros de profundidad. Los valores máximos para las componentes u y v respectivamente son 0.8 y 0.4 (s^{-1}) (Figura 113 y Figura 114). En Canal Pitipalena zona Centro los máximos cizalles corresponden a 0.7 (s^{-1}) para u y 0.3 (s^{-1}) para v, predominando las diferencias de los mismos a 25 metros de profundidad (Figura 115 y Figura 116). En cuanto a Canal Pitipalena zona Sur, los máximos ($\partial u/\partial z$) y ($\partial v/\partial z$) son 0,7 y 0,4 (s^{-1}) (Figura 117, Figura 118 y Tabla 5-1).

En Canal Laitec tanto para los registros de Abril del año 2009 y Julio del año 2010, las mayores variaciones de cizallamientos se presentan en la capa de fondo, es decir, a 51 y 38 metros para los registros 2009 y 2010 respectivamente. Mientras que los máximos cizalles para las mediciones del año 2009 son 0.5 (s^{-1}) para u 0.1 (s^{-1}) para v, en cambio para el año 2010 el mayor valor de cizalles u es de 0.3 (s^{-1}) y en v es de 0.2 (s^{-1}) (Figura 119, Figura 120, Figura 121, Figura 122 y Tabla 5-1).

Los máximos cizallamientos verticales para las componentes u y v de Canal Leucayec corresponden de 1.5 y 0.6 (s^{-1}) respectivamente, ocurriendo las mayores variaciones en las capas a 4 y 32 metros de la superficie (Figura 123, Figura 124 y Tabla 5-1).

El máximo valor de cizalles para la componente u es 1.6 (s^{-1}), mientras que para v es 0.4 (s^{-1}) en Angostura Kirke, ocurriendo las mayores variaciones en la capa superficial 7 y en la capa de fondo a 95 metros (Figura 125, Figura 126 y Tabla 5-1).

En Canal Apiao las mayores variaciones se presentan a 7 y 29 metros en la componente u, mientras que en v ocurre a 86 metros respecto de las otras profundidades. Los cizalles máximos son 0.48 y 0.52 (s^{-1}) para u y v respectivamente (Figura 127, Figura 128 y Tabla 5-1).

Canal Desertores los máximos cizallamientos verticales en u y v son 0.99 y 0.26 (s^{-1}) respectivamente, existiendo variaciones en la componente u para las 4 profundidades presentadas (Figura 129, Figura 130 y Tabla 5-1).

5.1.4 FRECUENCIA DIRECCIONAL DE LA CORRIENTE

En Canal Gabriel las mayores frecuencias porcentuales de las direcciones W, SE y E (Figura 131). A 8 metros de profundidad la frecuencia más alta se encuentra entre 112.5° y 157.5°, mientras que a 20 metros de profundidad el 35% de las direcciones se encuentran entre 247.5° y 292.5°. Por otro lado a 22 metros de profundidad la dirección de corriente predominante W, para las componente U y V (Figura 52).

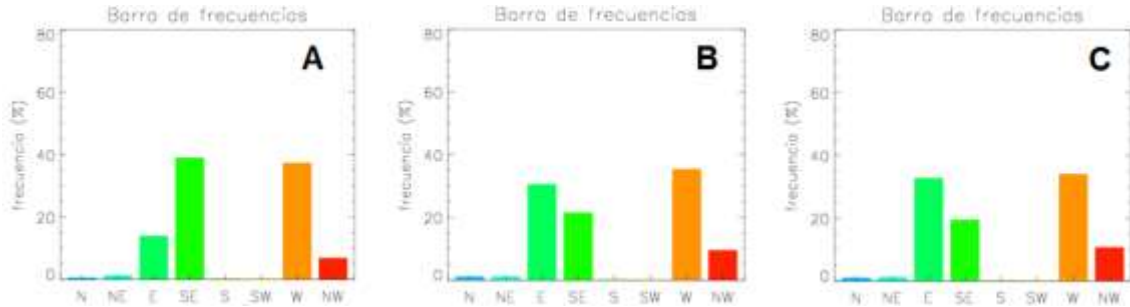


Figura 52: Barras de Frecuencia, Canal Gabriel.
A: Capa 8 m “Superficie”, B: Capa 20 m y C: Capa 22 m “Fondo”.
(Elaboración Propia)

La Frecuencia Direccional para las componentes U y V de la corriente en Paso del Indio son mayores para las direcciones N, NW y S (Figura 132).

El 28% de los datos de dirección a 10 metros de la superficie provienen del NW en el rango (292.5° - 337.5°). A 23 y 31 metros de profundidad las direcciones predominantes resultaron del N (337.5° - 22.5°) registrando un 49% y 55% de los datos respectivamente (Figura 53).

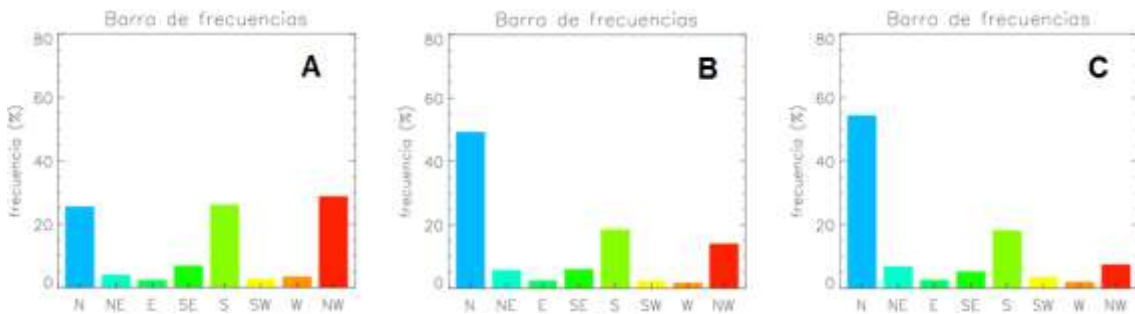


Figura 53: Barras de Frecuencia, Paso del Indio.
A: Capa 10 m “Superficie”, B: Capa 23 m y C: Capa 31 m “Fondo”.
(Elaboración Propia)

En Paso Meninea los mayores porcentajes de frecuencias se encuentran distribuidos en la dirección Norte y Sur (Figura 133). En la capa superficie ubicada a 13 metros de profundidad predominan las frecuencia provienen de la dirección N. En cambio a 41 y 53

metros de profundidad la frecuencia direccional cuenta con valores de 40% y 50% respectivamente, procedentes de la dirección Sur (Figura 54).

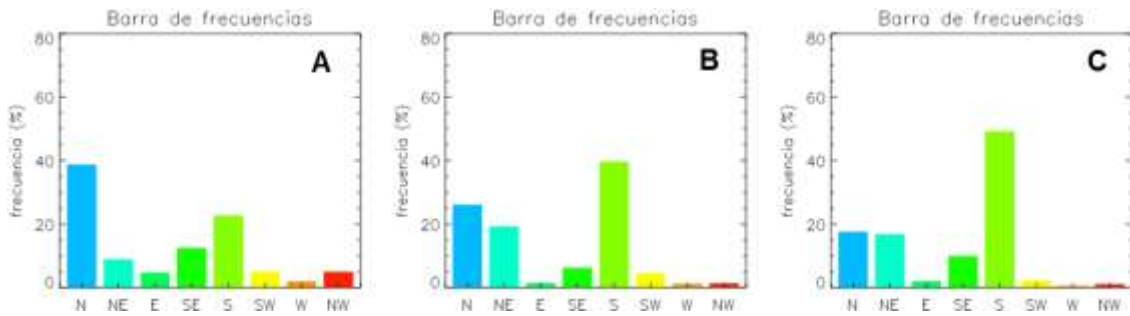


Figura 54: Barras de Frecuencia, Paso Meninea.
 A: Capa 13 m “Superficie”, B: Capa 41 m y C: Capa 53 m “Fondo”.
 (Elaboración Propia)

El porcentaje de frecuencia direccional predominante en Canal Pitipalena Norte, Centro y Sur corresponde a las direcciones N, NW y SE (Figura 134, Figura 135 y Figura 136).

En Canal Pitipalena Norte el 31% de los datos de dirección a la profundidad de 3 metros provienen del N, mientras que en Pitipalena Centro y Sur aproximadamente el 50% de las captaciones resultan del NW. A 18 metros de profundidad en Pitipalena Norte y Sur el porcentaje de frecuencia es mayor en las direcciones NW y S, en cambio en Pitipalena Centro la dirección de corriente predominante fluctúa entre 157.5° y 202.5°. En la capa de fondo, es decir, a 23 metros de profundidad, las mayores frecuencias porcentuales provienen del rango (337.5° – 22.5°), alcanzando valores cercanos al 60% en las mediciones realizadas en el sector centro y sur del canal. Por otro lado en el sector norte predomina la dirección NW (Figura 55, Figura 56 y Figura 57).

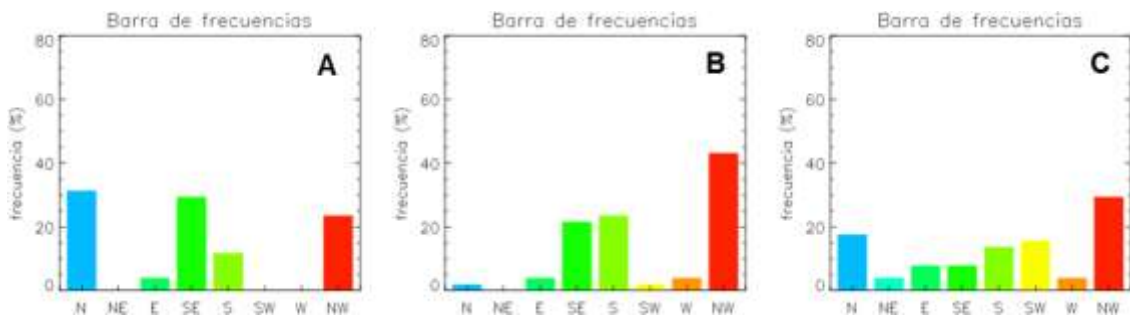


Figura 55: Barras de Frecuencia, Canal Pitipalena – Norte.
 A: Capa 3 m “Superficie”, B: Capa 18 m y C: Capa 25 m “Fondo”.

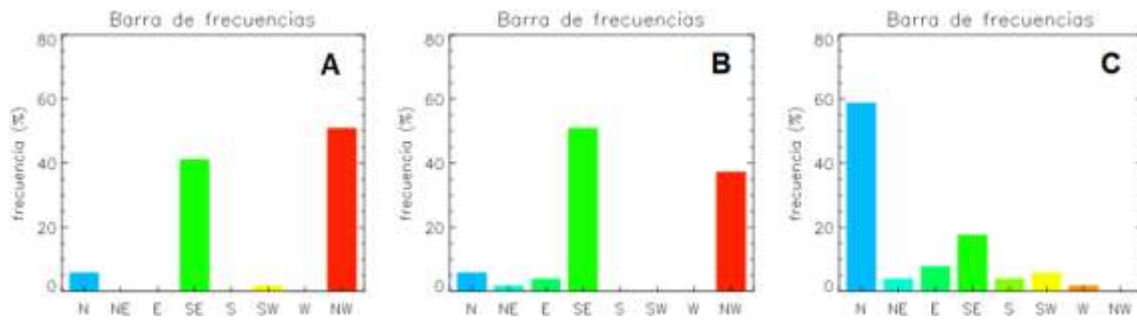


Figura 56: Barras de Frecuencia, Canal Pitipalena – Centro.
A: Capa 3 m “Superficie”, B: Capa 18 m y C: Capa 25 m “Fondo”.

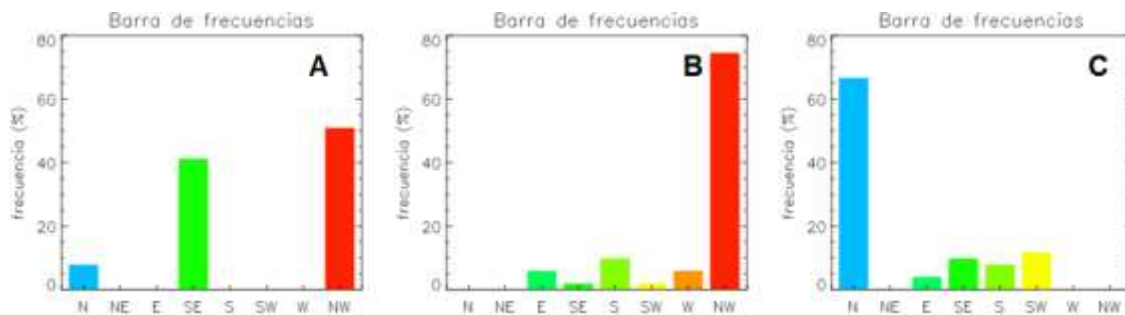


Figura 57: Barras de Frecuencia, Canal Pitipalena – Sur.
A: Capa 3 m “Superficie”, B: Capa 18 m y C: Capa 25 m “Fondo”.
(Elaboración Propia)

Las mediciones realizadas en Canal Laitec - Abril del año 2009, cuentan con una preponderancia de las direcciones Norte y Sur (Figura 137). A 3 y 35 metros de profundidad, las mayores frecuencias provienen de la dirección N y a 51 metros de profundidad el 55% de las direcciones se encuentran entre 157.5° y 202.5° (Figura 58).

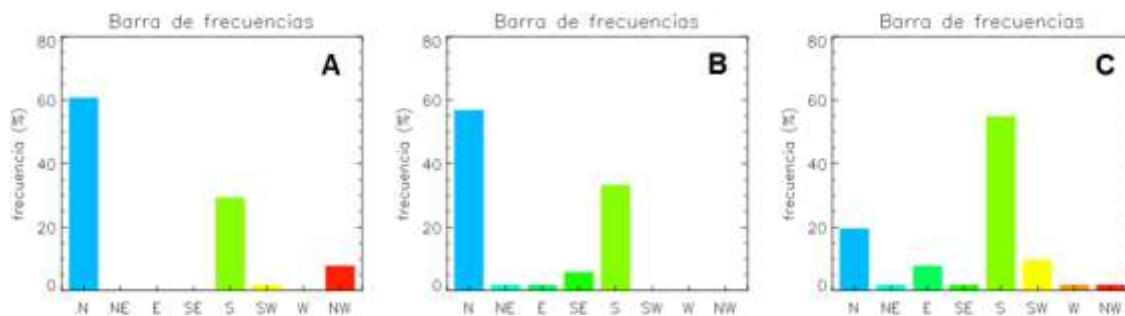


Figura 58: Barras de Frecuencia, Canal Laitec – Abril, 2009.
A: Capa 3 m, B: Capa 35 m y C: Capa 51 m “Fondo”.
(Elaboración Propia)

En Julio del año 2010 en Canal Laitec, las mayores frecuencias porcentuales provienen de la dirección S (Figura 138). A 3 metros de profundidad la dirección predominante de la corriente es NW, sin embargo a los 26 y 38 metros de profundidad predomina la dirección SE alcanzando valores cercanos al 95% en la capa intermedia (Figura 59).

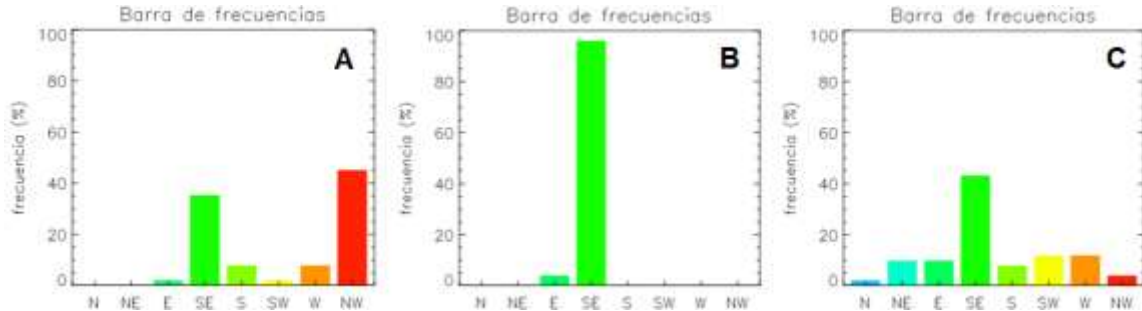


Figura 59: Barras de Frecuencia, Canal Laitec – Julio, 2010.
A: Capa 3 m “Superficie”, B: Capa 26 m y C: Capa 38 m “Fondo”.
(Elaboración Propia)

En Canal Leucayec los mayores porcentajes de frecuencias se encuentran distribuidos en la dirección Norte y Sur (Figura 139). En las tres capas de selección, predomina la dirección N sobre la dirección S y SE, alcanzando la frecuencia en la capa superficie ubicada a 4 metros de profundidad aproximadamente un 85% (Figura 60).

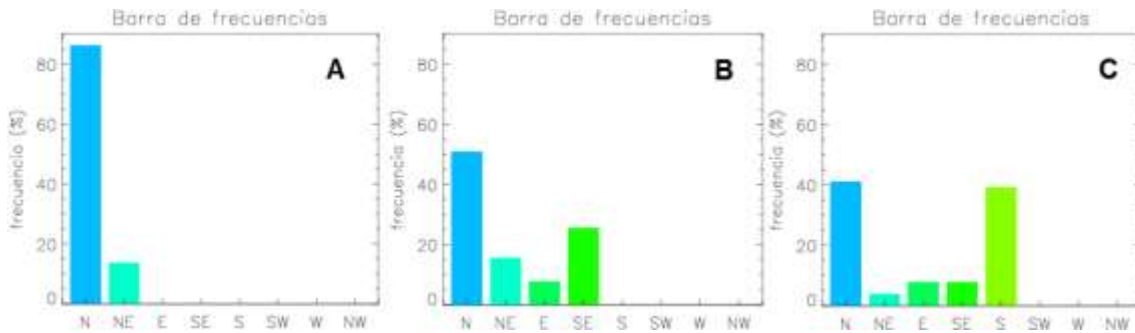


Figura 60: Barras de Frecuencia, Canal Leucayec.
A: Capa 4 m “Superficie”, B: Capa 32 m y C: Capa 46 m “Fondo”.
(Elaboración Propia)

La Frecuencia Direccional para las componentes U y V de la corriente en Angostura Kirke son mayores para las direcciones W y SW (Figura 140).

El 97% de los datos de dirección a 0 metros de la superficie provienen de la dirección W en el rango (247.5° - 292.5°), mientras que a 40 metros de profundidad el 41% de los datos proviene de esa dirección. A 60 metros en cambio las direcciones predominantes resultaron ser S, W y NW registrando un 44%, 17% y 17% de los datos respectivamente (Figura 61).

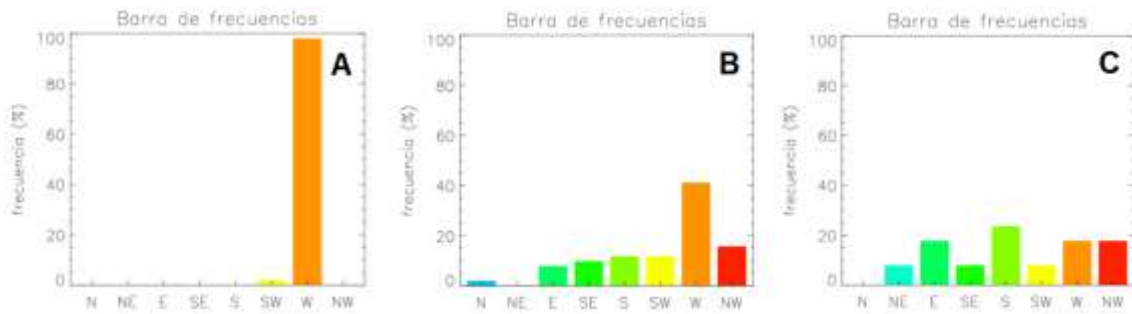


Figura 61: Barras de Frecuencia, Angostura Kirke.
 A: Capa 0 m “Superficie”, B: Capa 40 m y C: Capa 60 m “Fondo”.
 (Elaboración Propia)

En Canal Apiao las mayores frecuencias porcentuales provienen de las direcciones S y SW (Figura 141). A 7 metros de profundidad la frecuencia más alta se encuentra entre 202.5° y 247.5°, mientras que a 57 metros de profundidad el 29% de las direcciones provienen de la dirección SW. Por otro lado a 86 metros de profundidad la dirección S predomina con el 55% de las ocurrencias, para las componente U y V (Figura 62).

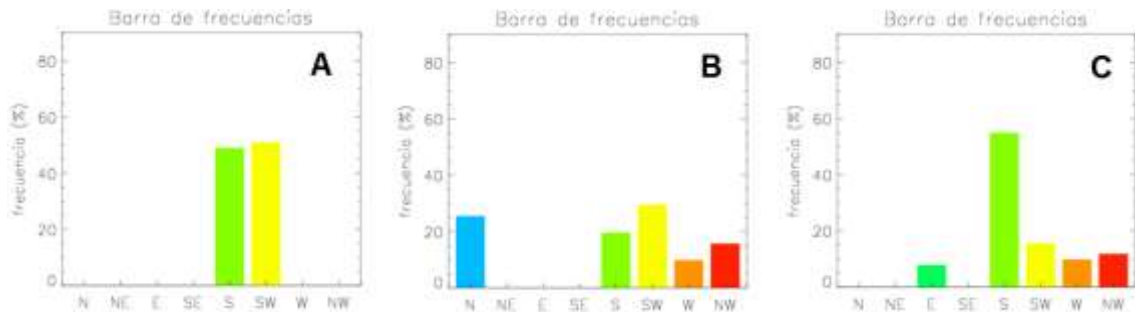


Figura 62: Barras de Frecuencia, Canal Apiao.
 A: Capa 7 m “Superficie”, B: Capa 57 m y C: Capa 86 m “Fondo”.
 (Elaboración Propia)

En Canal Desertores los mayores porcentajes de frecuencias se encuentran distribuidos en la dirección Norte y Sur (Figura 142). En la capa superficie ubicada a 7 metros de profundidad, la frecuencia predominante provienen de la dirección S. A 84 metros 55% de los datos provienen de la dirección N, mientras que a 120 metros de profundidad la frecuencia direccional cuenta con valores de 25% y 32% para las direcciones N y S respectivamente (Figura 63).



Figura 63: Barras de Frecuencia, Canal Desertores.
 A: Capa 7 m “Superficie”, B: Capa 84 m y C: Capa 120 m “Fondo”.
 (Elaboración Propia)

5.1.5 CORRIENTE RESIDUAL

La dirección de la corriente residual entre el 17 de marzo y el 26 de abril del 2009 en Canal Gabriel es principalmente SE, siendo mayor la intensidad en las capas cercanas a la superficie (Figura 64).

Las componentes U y V de la corriente residual a 8 metros de profundidad tienen un valor igual a 24.5 y 15.4 cm/s. A 20 metros el flujo residual es igual a 15.1 y 7.44 cm/s para las componentes U y V respectivamente, en cambio a 22 metros de profundidad los valores de U y V son iguales a 13.8 y 6.1 cm/s respectivamente (Figura 64 y Tabla 8-1).

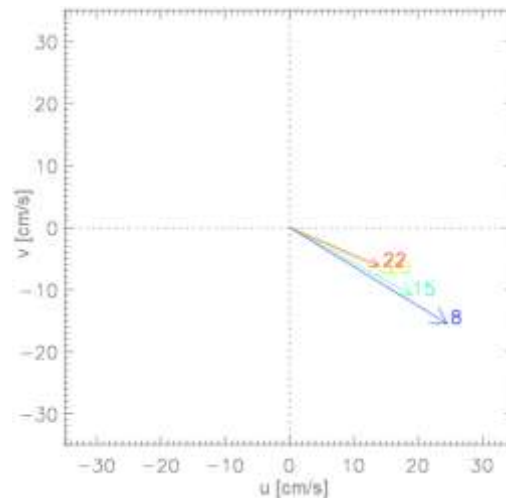


Figura 64: Dirección del Flujo Residual para Canal Gabriel a 8, 15, 20 y 22 metros de profundidad.
 (Elaboración Propia)

En los 130 días de medición registrados en Paso del Indio, la corriente residual alcanza una mayor intensidad en la capa a 23 metros de profundidad. Por otro la dirección fluctúa entre 292.5° y 360° (Figura 65).

Las componentes U y V de la corriente residual a 10 metros de profundidad tienen un valor de 5.9 y 8.2 cm/s. A 23 metros de la superficie, U y V son representados por 3.3 y 15.2 cm/s y a 31 metros de profundidad los valores de U y V son 0.08 y 9.8 cm/s respectivamente, con dirección Norte (Figura 65 y Tabla 8-2).

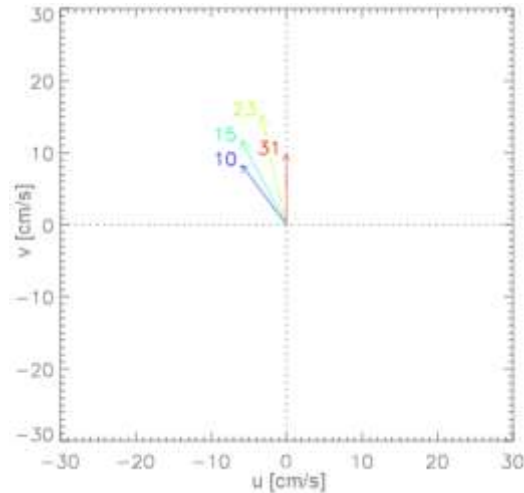


Figura 65: Dirección del Flujo Residual en Paso del Indio a 10, 15, 23 y 31 metros de profundidad.
(Elaboración Propia)

Las componentes U y V del flujo residual a 13 metros de profundidad en Paso Meninea tienen un valor igual a 3.8 y 10.1 cm/s con dirección N, mientras que a 41 metros con dirección E, la corriente residual resultó tener 8.8 y 0.8 cm/s para las componentes U y V respectivamente. A 53 metros de profundidad los valores de U y V corresponden a 8.8 y 14.1 cm/s respectivamente con dirección SE (Figura 66 y Tabla 8-3).

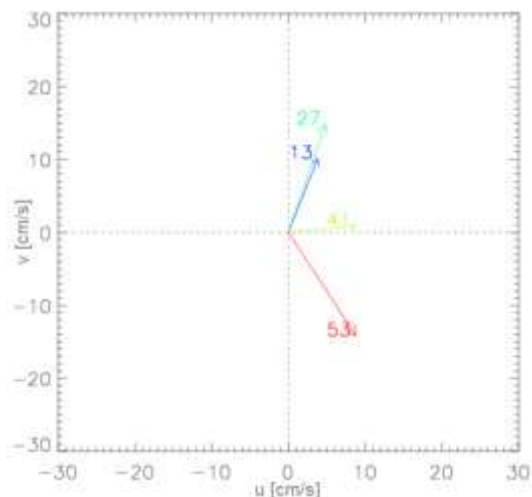


Figura 66: Dirección del Flujo Residual en Paso Meninea a 13, 27, 41 y 53 metros de profundidad.
(Elaboración Propia)

En las mediciones realizadas en Canal Pitipalena desde el 4 al 5 de diciembre del año 2005, la dirección de la corriente residual en la zona Norte proviene principalmente del segundo y tercer cuadrante, en la zona Centro en cambio la corriente es N y en la zona Sur del canal predomina la dirección NW (Figura 67, Figura 68 y Figura 69).

En la zona Norte del canal las componentes U y V de la corriente residual a 2 metros de profundidad tienen un valor igual a 5.1 y 12.8 cm/s respectivamente. A 19 metros la componente U del flujo residual es igual a 0.7 cm/s siendo V igual a 2.1 cm/s, en cambio a 22 metros de profundidad U y V corresponden a 13.8 y 6.1 cm/s respectivamente (Figura 67 y Tabla 8-4).

La corriente residual a 2 metros de profundidad en la zona Centro del canal contó con valores de 12.5 y 22.3 cm/s para las componentes U y V. A la profundidad de 18 metros las anteriores son iguales a 1.4 y 3.6 cm/s respectivamente. Por otro lado a 23 metros de profundidad la componente U es igual a 0.7 cm/s y V corresponde a 9.6 cm/s (Figura 68 y Tabla 8-5).

A 2 metros de profundidad en la zona Sur del canal, la componente U corresponde a 12.5 cm/s y V es igual a 14.1 cm/s. A 18 metros las componentes U y V corresponden a 1.2 y 19.0 cm/s respectivamente, mientras que a una profundidad de 23 metros las componentes (U y V) son 0.7 cm/s y 2.6 cm/s. (Figura 69 y Tabla 8-6).

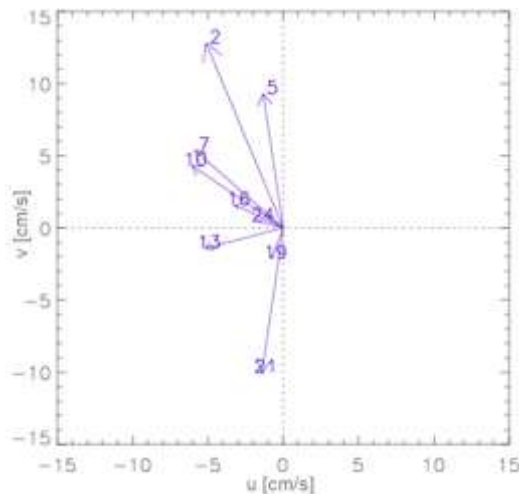


Figura 67: Dirección del Flujo Residual para Canal Pitipalena – Norte. Valores en extremos de vectores son profundidad (m).
(Elaboración Propia)

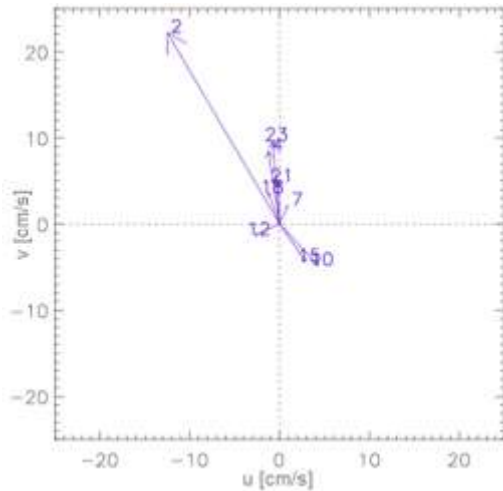


Figura 68: Dirección del Flujo Residual para Canal Pitipalena – Centro. Valores en extremos de vectores son profundidad (m).
(Elaboración Propia)

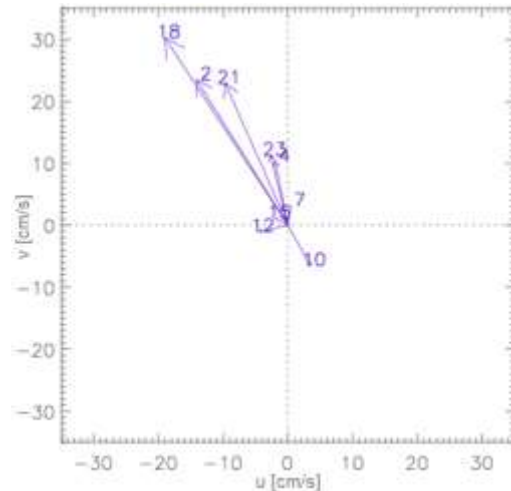


Figura 69: Dirección del Flujo Residual para Canal Pitipalena – Sur. Valores en extremos de vectores son profundidad (m).
(Elaboración Propia)

En las mediciones realizadas en Canal Laitec el 26 de abril del año 2009 y entre el 21 y 22 de Julio del 2010 la dirección predominante de la corriente residual es del cuarto cuadrante (Figura 70 y Figura 71).

Las mediciones de abril del año 2009 demuestran que la corriente residual a 2 metros de profundidad es de 14.6 y 46.1 cm/s para las componentes U y V. A la profundidad de 37 metros las anteriores son iguales a 18.7 y 23.5 cm/s respectivamente. Por otro lado a 48 metros de profundidad la componente U es igual a 0.2 cm/s y V corresponde a 16.7 cm/s (Figura 70 y Tabla 8-7).

En las 17.2 horas de medición en julio, 2010 en Canal Laitec las componentes U y V de la corriente residual a 2 metros de profundidad tienen un valor igual a 8.1 y 12.8 cm/s respectivamente. A 28 metros la componente U del flujo residual es igual a 29.8 cm/s siendo V igual a 18.2 cm/s, en cambio a 36 metros de profundidad U y V corresponden a 9.9 y 5.6 cm/s respectivamente (Figura 71 y Tabla 8-8).

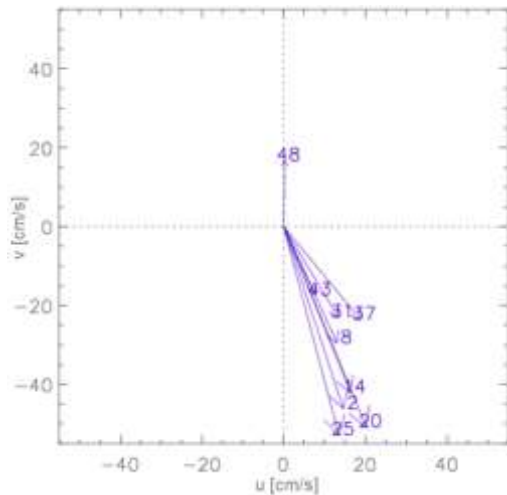


Figura 70: Dirección del Flujo Residual para Canal Laitec, Abril 2009. Valores en extremos de vectores son profundidad (m).
(Elaboración Propia)

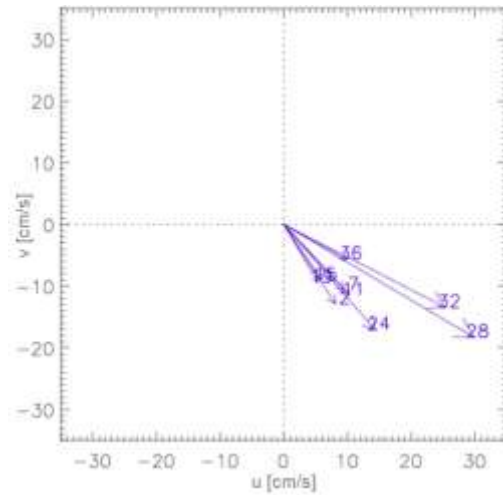


Figura 71: Dirección del Flujo Residual para Canal Laitec, Julio 2010. Valores en extremos de vectores son profundidad (m).
(Elaboración Propia)

En Canal Leucayec las componentes U y V del flujo residual a 4 metros de profundidad tienen un valor igual a 25.5 y 23.7 cm/s, mientras que a 35 metros la corriente residual resultó tener 20.9 y 134.4 cm/s para las componentes U y V respectivamente. A 45 metros de profundidad los valores de U y V corresponden a 15.9 y 51.2 cm/s respectivamente (Figura 72 y Tabla 8-9).

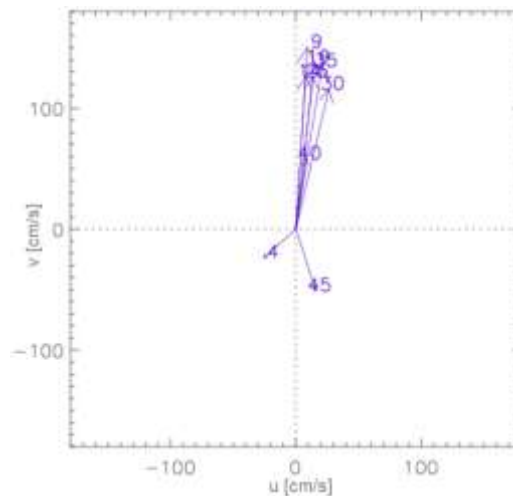


Figura 72: Dirección del Flujo Residual para Canal Leucayec, Abril 2009. Valores en extremos de vectores son profundidad (m).
(Elaboración Propia)

La dirección de la corriente residual entre el 29 y 30 de Octubre de 2009 en Angostura Kirke es principalmente W, encontrándose la mayor la intensidad en las capas cercanas a

la superficie (Figura 73). En cuanto a las componentes U y V de la corriente residual a 0 metros de profundidad tienen un valor igual a 62 y 2.7 cm/s. A 40 metros el flujo residual es igual a 7.4 y 0.6 cm/s para las componentes U y V respectivamente, en cambio a 60 metros de profundidad los valores de U y V son iguales a 0.07 y 0.7 cm/s respectivamente (Figura 73 y Tabla 8-10).

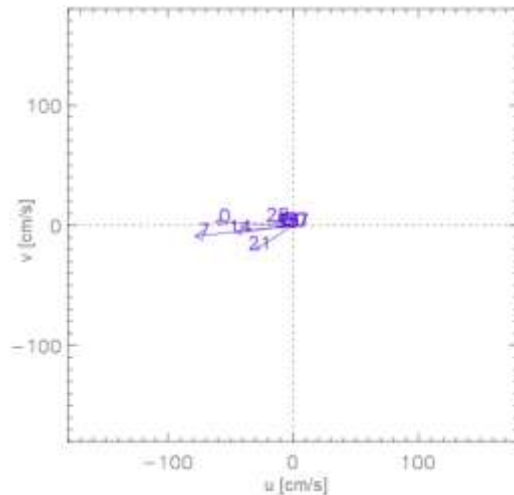


Figura 73: Dirección del Flujo Residual para Angostura Kirke. Valores en extremos de vectores son profundidad (m).
(Elaboración Propia)

Las componentes U y V del flujo residual a 7 metros de profundidad en Canal Apiao tienen valores de 61.08 y 94.68 cm/s con dirección SW, mientras que a 57 metros con dirección S, la corriente residual resultó tener 17.16 y 60.27 cm/s para las componentes U y V respectivamente. A 86 metros de profundidad los valores de U y V corresponden a 6.09 y 4.52 cm/s respectivamente con dirección W (Figura 74 y Tabla 8-11).

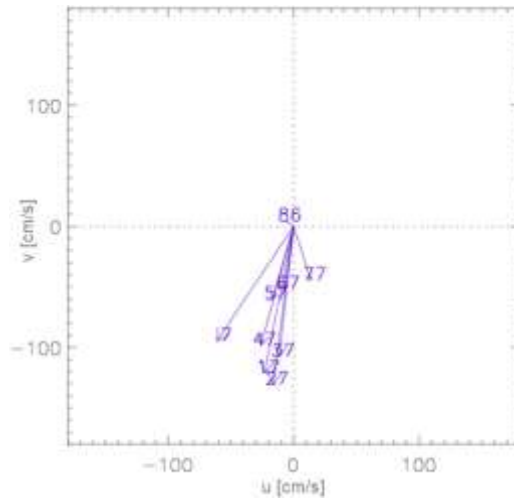


Figura 74: Dirección del Flujo Residual para Canal Apiao. Valores en extremos de vectores son profundidad (m).
(Elaboración Propia)

En Canal Desertores las componentes U y V del flujo residual a 6 metros de profundidad tienen un valor igual a 12.96 y 60.19 cm/s con dirección Sur. A 88 y 106 metros con dirección Norte la corriente residual para las componentes U y V resulta igual a 1.19 y 4.48 cm/s para la primera profundidad y tiene valores de 6.76 y 4.73 cm/s a 106 metros de profundidad (Figura 75 y Tabla 8-12).

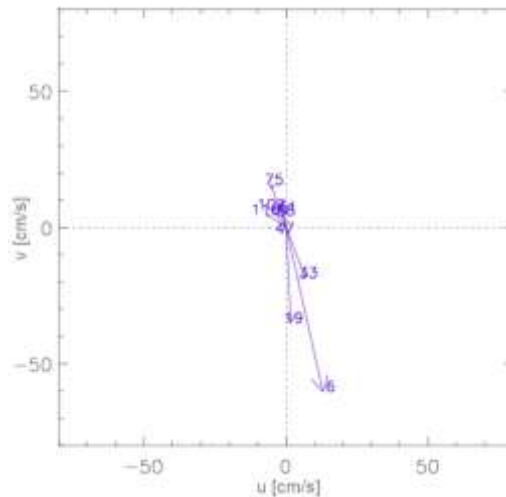


Figura 75: Dirección del Flujo Residual para Canal Desertores. Valores en extremos de vectores son profundidad (m).
(Elaboración Propia)

5.1.6 ELIPSES DE MAREA

El eje mayor de la constituyente M_2 (de color negro) en canal Gabriel a 8 y 20 metros de profundidad tienen una longitud de 114.8 y 100.3 cm/s respectivamente. A 23 metros de la superficie, el eje mayor tiene un valor de 97.4 cm/s. Por otro lado el eje menor para 8, 20 y 22 metros de profundidad tiene una longitud de 0.41, 0.46 y 0.7 cm/s respectivamente. En cuanto a la constituyente K_1 (de color rojo) para las profundidades de 8, 20 y 22 metros, la longitud del eje mayor es 24.4, 20.2 y 19.6 cm/s respectivamente. Mientras que para el eje menor son 0.7, 0.3 y 0.4 cm/s respectivamente (Figura 76 y Tabla 8-13).

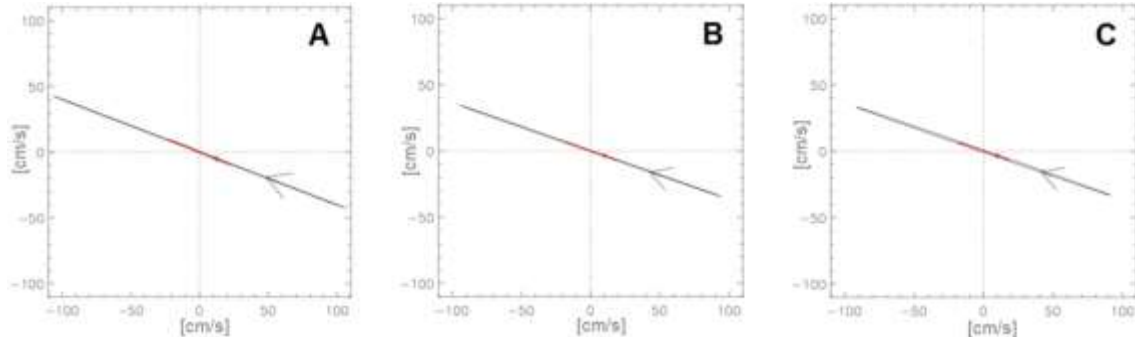


Figura 76: Elipses de Marea Constituyente M_2 y K_1 Canal Gabriel.
A: Capa 8 m “Superficie”, B: Capa 20 m y C: Capa 22 m “Fondo”.
(Elaboración Propia)

En Paso del Indio a profundidades de 10, 23 y 31 metros, el eje mayor de las constituyentes M_2 (color negro) supera al de K_1 (de color rojo). Ocurrendo la mayor longitud del eje mayor a 10 metros de profundidad con 31.8 y 10.6 cm/s para M_2 y K_1 respectivamente, en cambio el eje menor a esa profundidad es de 1.99 cm/s para la constituyente M_2 y 0.07 cm/s para K_1 (Figura 77 y Tabla 8-13).

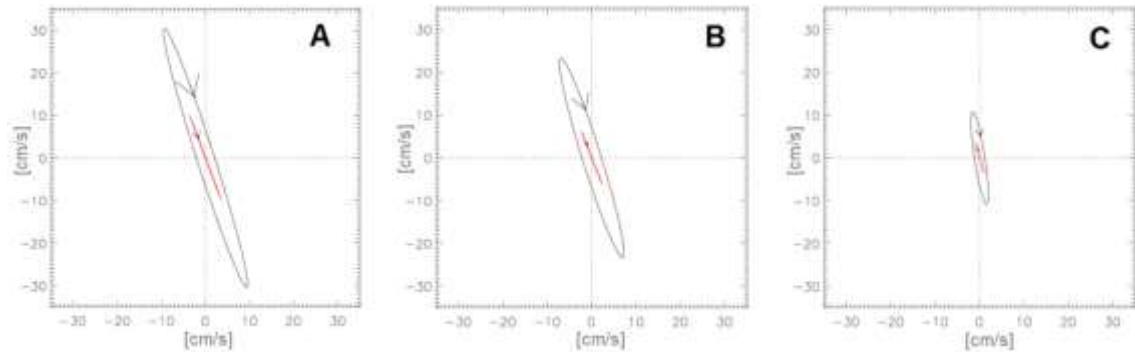


Figura 77: Elipse de Marea Constituyente M_2 y K_1 Paso del Indio.
A: Capa 10 m “Superficie”, B: Capa 23 m y C: Capa 31 m “Fondo”.
(Elaboración Propia)

En Paso Meninea el eje mayor de la constituyente M_2 (color negro) a 13, 41 y 53 metros de profundidad tienen una longitud de 34.3, 53.9 y 43.0 cm/s respectivamente. El eje menor a las mismas profundidades cuenta con una longitud de 2.1, 1.3 y 0.9 cm/s

respectivamente. En cuanto a la constituyente K_1 (color rojo) la longitud del eje mayor es 1.95, 8.16 y 8.11 cm/s para las profundidades de 13, 41 y 53 metros respectivamente. Mientras que para eje menor son 0.78, 0.64 y 0.02 cm/s para las profundidades mencionadas (Figura 78 y Tabla 8-13).

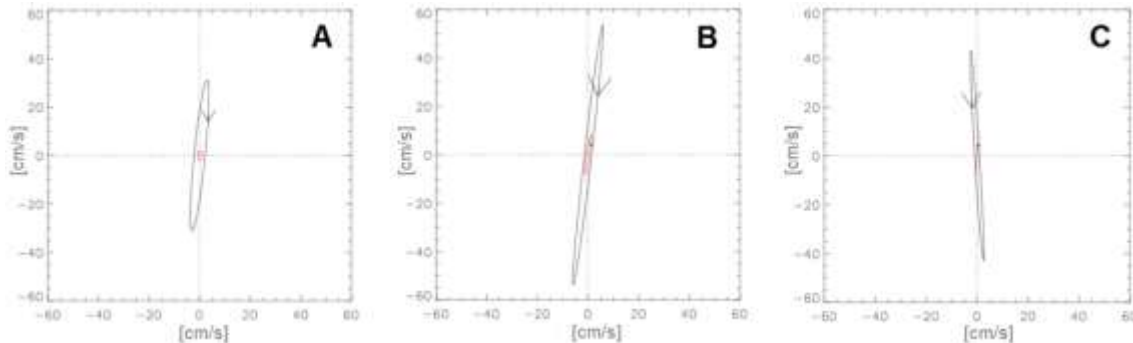


Figura 78: Elipse de Marea Constituyente M_2 y K_1 Paso Meninea.
A: Capa 13 m “Superficie”, B: Capa 41 m y C: Capa 53 m “Fondo”.
(Elaboración Propia)

En Canal Pitipalena Norte a profundidades de 2 y 19 metros, el eje mayor y menor de M_2 (color negro) son superiores a los de la constituyente K_1 (color rojo), siendo las longitudes del eje mayor iguales a 99.6 y 38.5 cm/s y las del eje menor son 3.0 y 4.6 cm/s para 2 y 19 metros respectivamente, en cambio a 24 metros de profundidad las longitudes del eje superior e inferior de la constituyente K_1 , 2.9 y 1.2 cm/s respectivamente, son mayores que los de la constituyente M_2 (Figura 79 y Tabla 8-13).

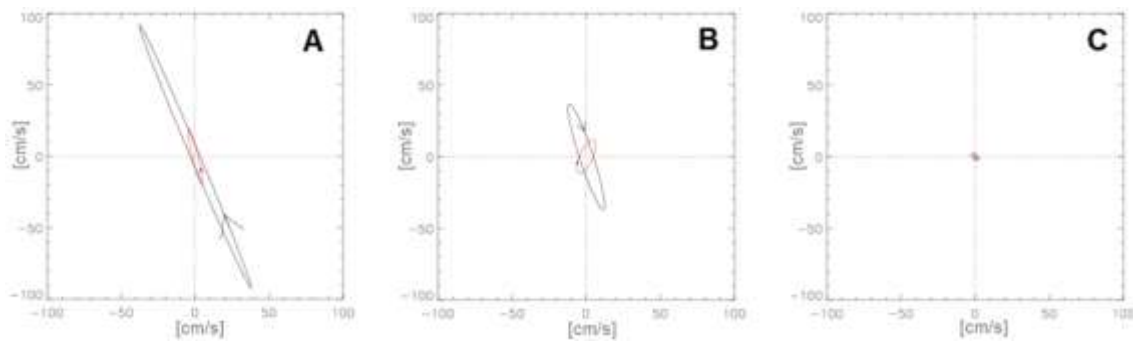


Figura 79: Elipse de Marea Constituyente M_2 y K_1 Canal Pitipalena – Norte.
A: Capa 2 m “Superficie”, B: Capa 19 m y C: Capa 24 m “Fondo”.
(Elaboración Propia)

A 2 y 18 metros de profundidad en Canal Pitipalena Centro el eje mayor y menor de la constituyente M_2 (color negro) es superior a los de K_1 (color rojo), siendo las longitudes del eje mayor iguales a 91.6 y 40.9 cm/s y las del eje menor son 1.7 y 1.1 cm/s a 2 y 18 metros respectivamente. A 23 metros de profundidad en cambio, la longitud del eje superior de la constituyente K_1 , 14.6 es mayor que el de la constituyente M_2 (Figura 80 y Tabla 8-13).

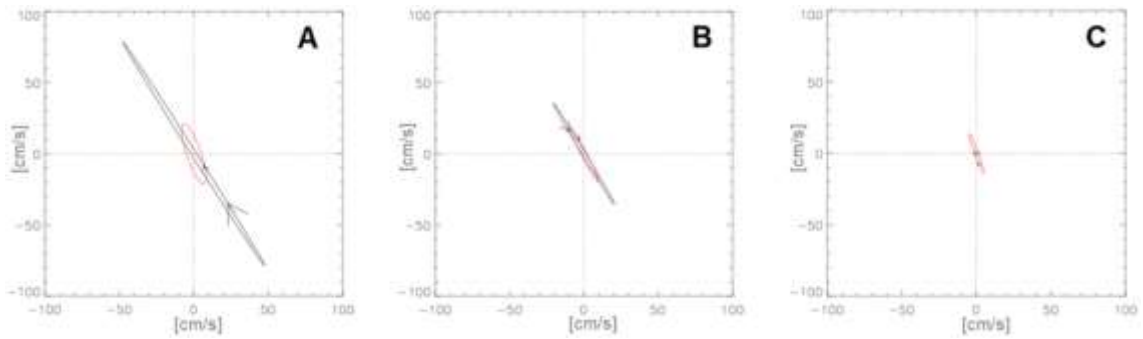


Figura 80: Elipse de Marea Constituyente M_2 y K_1 Canal Pitipalena – Centro.
 A: Capa 2 m “Superficie”, B: Capa 18 m y C: Capa 23 m “Fondo”.
 (Elaboración Propia)

El eje mayor en Canal Pitipalena Sur a 2, 18 y 23 metros de profundidad para la constituyente M_2 (color negro) es de 85.6, 13.2 y 2.98 cm/s respectivamente, mientras que el eje menor es de 1.6, 2.8 y 0.1 cm/s para las mismas profundidades. En cuanto a la constituyente K_1 (color rojo) a 18 y 23 metros de profundidad, las longitudes del eje mayor, 36.9 y 12.3 cm/s, son mayores respecto de M_2 . A 2 y 23 metros las longitudes del eje menor, 3.7 y 0.6 también son mayores en relación de M_2 (Figura 81 y Tabla 8-13).

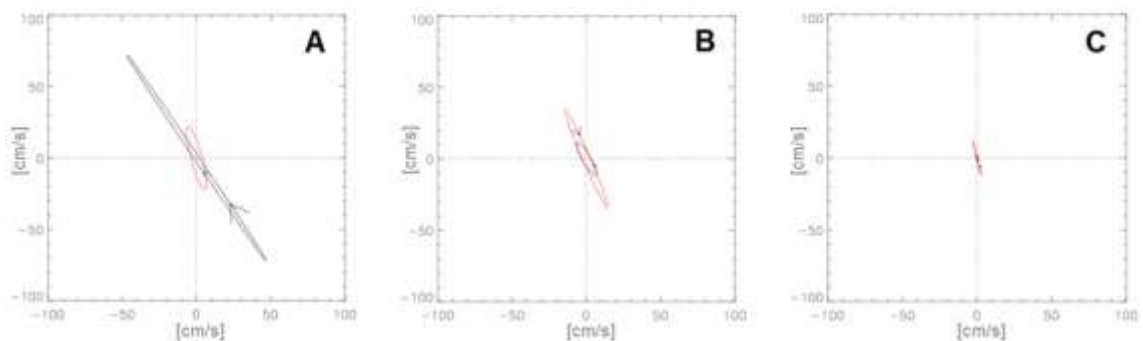


Figura 81: Elipse de Marea Constituyente M_2 y K_1 Canal Pitipalena – Sur.
 A: Capa 2 m “Superficie”, B: Capa 18 m y C: Capa 23 m “Fondo”.
 (Elaboración Propia)

En las mediciones realizadas en Canal Laitec, Abril 2009 a profundidades de 2 y 37 metros, los ejes mayores y menores de las constituyentes K_1 (color rojo) supera a los de M_2 (color negro). Ocurriendo la mayor longitud del eje mayor a 2 metros de profundidad con 66.9 y 116.1 cm/s para M_2 y K_1 respectivamente, mientras que el eje menor a esa profundidad es de 0.9 cm/s para la constituyente M_2 y 2.26 cm/s para K_1 (Figura 82 y Tabla 8-13).

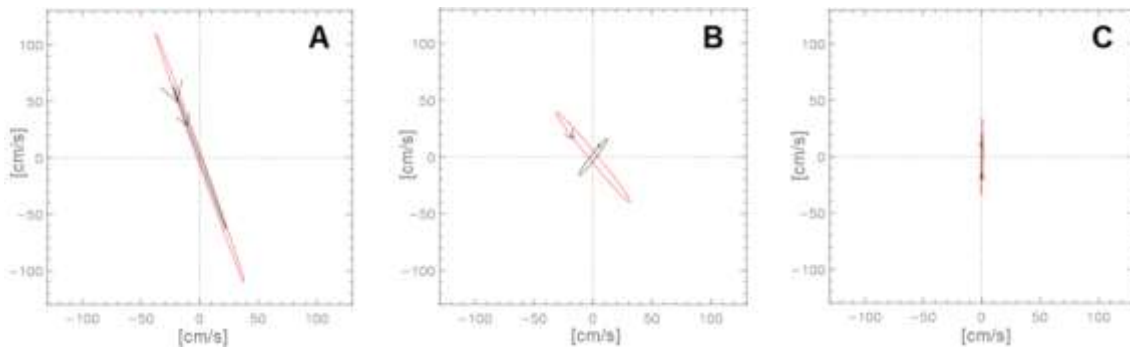


Figura 82: Elipse de Marea Constituyente M_2 y K_1 Canal Laitec – Abril, 2009.
 A: Capa 2 m “Superficie”, B: Capa 37 m y C: Capa 48 m “Fondo”.
 (Elaboración Propia)

Las mediciones realizadas en Canal Laitec, Julio 2010 a profundidades de 28 y 36 metros, los ejes mayores de la constituyente K_1 (color rojo) supera a los de M_2 (color negro). Siendo la mayor longitud del eje mayor a 2 metros de profundidad con 68.4 y 18.6 cm/s para M_2 y K_1 respectivamente, mientras que el eje menor a esa profundidad es de 1.3 cm/s para la constituyente M_2 y 3.6 cm/s para K_1 (Figura 83 y Tabla 8-13).

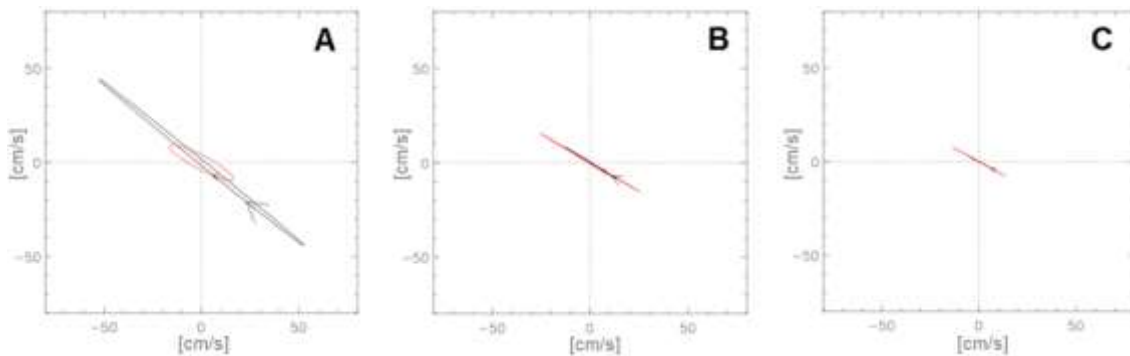


Figura 83: Elipse de Marea Constituyente M_2 y K_1 Canal Laitec – Julio, 2010.
 A: Capa 2 m “Superficie”, B: Capa 28 m y C: Capa 36 m “Fondo”.
 (Elaboración Propia)

En Canal Leucayec el eje mayor de la constituyente representada por el color negro M_2 a 4, 32 y 46 metros de profundidad tienen una longitud de 181.6, 52.6 y 53.8 cm/s respectivamente. El eje menor a las mismas profundidades cuenta con una longitud de 16.3, 1.7 y 3.55 cm/s respectivamente. En cuanto a la constituyente K_1 (color rojo) la longitud del eje mayor es 130.1, 148.8 y 69.4 cm/s para las profundidades de 4, 32 y 46 metros respectivamente. Mientras que para eje menor son 34.0, 2.0 y 1.8 cm/s para las profundidades mencionadas (Figura 84 y Tabla 8-13).

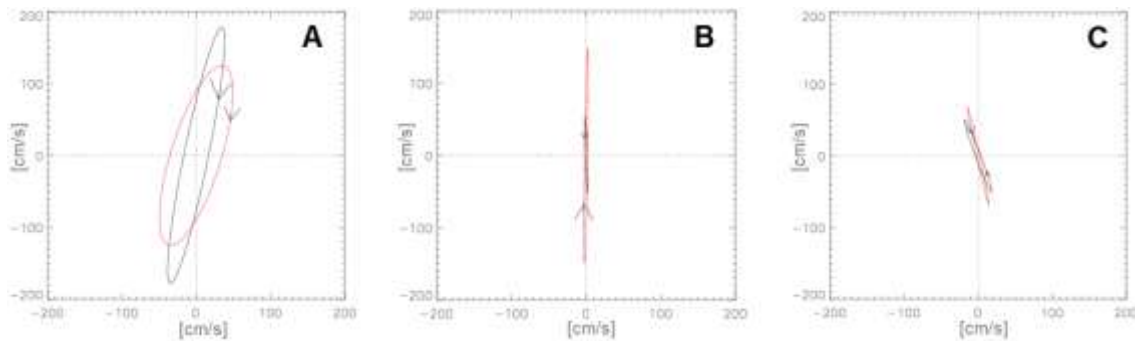


Figura 84: Elipse de Marea Constituyente M_2 y K_1 Canal Leucayec.
 A: Capa 4 m “Superficie”, B: Capa 32 m y C: Capa 46 m “Fondo”.
 (Elaboración Propia)

En la Angostura Kirke a profundidades de 0, 40 y 60 metros, el eje mayor de las constituyentes M_2 (color negro) son, 110.8, 6.5 y 1 cm/s respectivamente. En cambio en K_1 (color rojo) el eje mayor tiene valores de 11.2, 17.8 y 1.2 cm/s para las profundidades anteriormente mencionadas. Por otro lado la mayor longitud del eje menor se presenta a los 40 metros de profundidad con 3.86 y 7.06 cm/s para M_2 y K_1 respectivamente y a 60 metros de profundidad se encuentra la menor longitud del eje menor, 0.06 cm/s para la constituyente M_2 y 0.04 cm/s para K_1 (Figura 85 y Tabla 8-13).

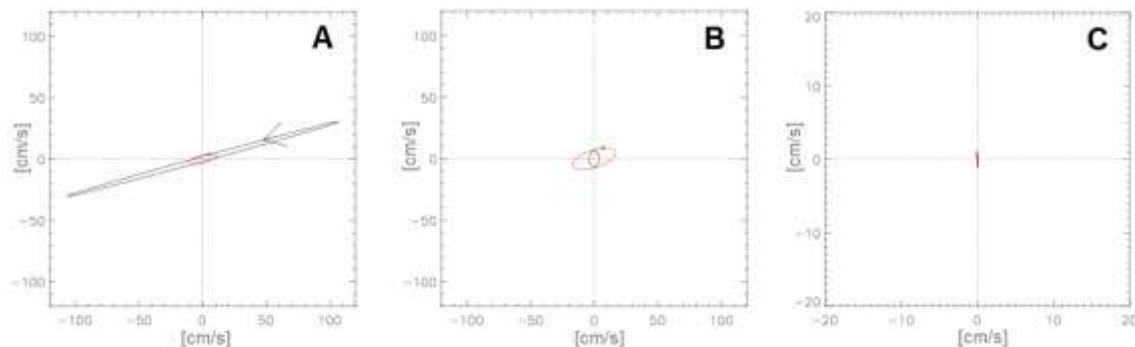


Figura 85: Elipse de Marea Constituyente M_2 y K_1 Angostura Kirke.
 A: Capa 3 m “Superficie”, B: Capa 59 m y C: Capa 60 m “Fondo”.
 (Elaboración Propia)

En Canal Apiao a profundidades de 7, 57 y 86 metros, el eje mayor de las constituyentes K_1 (color rojo) supera al de M_2 (color negro). Ocurriendo la mayor longitud del eje mayor a 7 metros de profundidad con 43.7 y 116.2 cm/s para M_2 y K_1 respectivamente, en cambio el eje menor a esa profundidad es de 27.4 cm/s para la constituyente M_2 y 8.4 cm/s para K_1 (Figura 86 y Tabla 8-13)

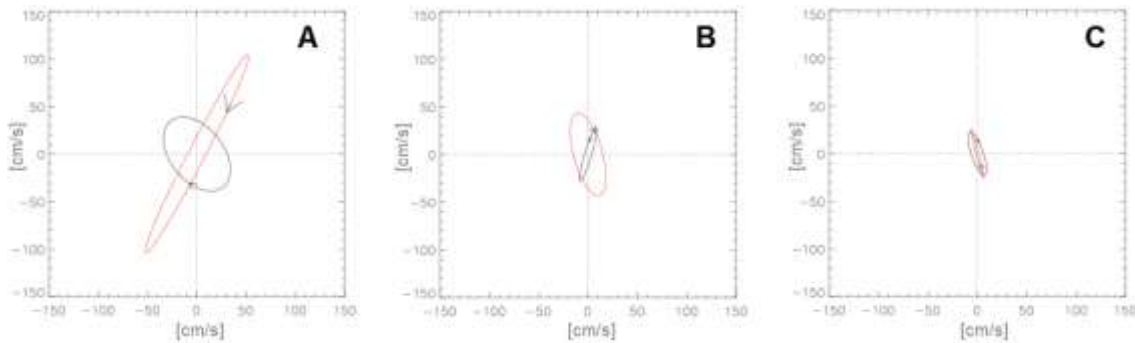


Figura 86: Elipse de Marea Constituyente M_2 y K_1 Canal Apiao.
 A: Capa 6 m “Superficie”, B: Capa 88 m y C: Capa 106 m “Fondo”.
 (Elaboración Propia)

En Canal Desertores el eje mayor de la constituyente M_2 (color negro) a 6, 88 y 106 metros de profundidad tienen una longitud de 89.4, 43.6 y 9.8 cm/s respectivamente. El eje menor a las mismas profundidades cuenta con una longitud de 1.3, 2.3 y 2.5 cm/s respectivamente. En cuanto a la constituyente K_1 (color rojo) la longitud del eje mayor es 25.6, 21.7 y 31.7 cm/s para las profundidades de 4, 32 y 46 metros respectivamente. Mientras que para eje menor son 3.9, 1.2 y 2.9 cm/s para las profundidades mencionadas (Figura 87 y Tabla 8-13).

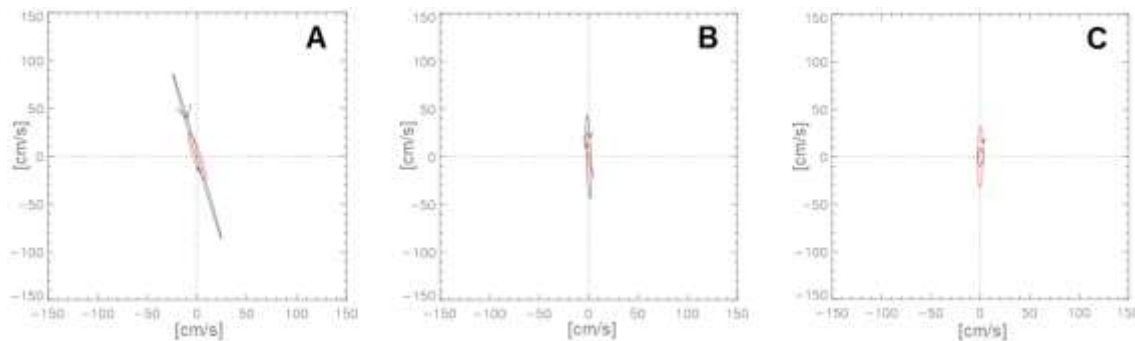


Figura 87: Elipse de Marea Constituyente M_2 y K_1 Canal Desertores.
 A: Capa 7 m “Superficie”, B: Capa 84 m y C: Capa 120 m “Fondo”.
 (Elaboración Propia)

5.1.7 DIRECCIONALIDAD

Los 40 días de medición en Canal Gabriel permiten la determinación de la fluctuación de velocidad dentro de los regímenes de flujo y reflujos, 4.2 y 0.7 cm/s respectivamente. Además de la asimetría, siendo las velocidades de llenante mayores que las de vaciante. Con una reversibilidad en el sitio de 10.3° (Figura 88 y Tabla 5-1).

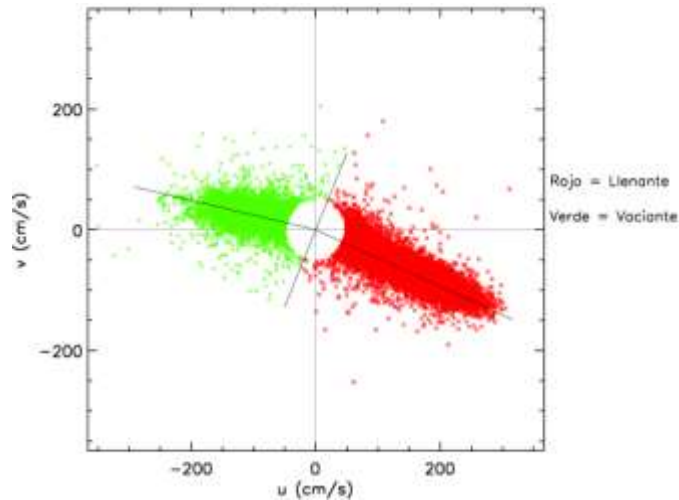


Figura 88: Direccionalidad del flujo en Canal Gabriel.
(Elaboración Propia)

En Paso del Indio las desviaciones estándar del flujo y reflujos son respectivamente 47.5 y 44.7 cm/s, existiendo una asimetría entre flujos con mayores velocidades en llenante. Siendo la reversibilidad entre flujo y reflujos de 1.7° (Figura 89 y Tabla 5-1).

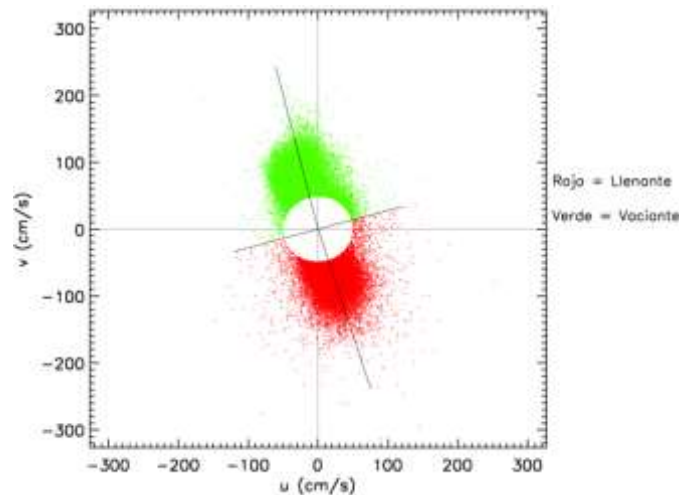


Figura 89: Direccionalidad del flujo en Paso del Indio.
(Elaboración Propia)

El registro realizado entre el 25 de septiembre y el 30 de diciembre del año 1998 en Paso Meninea, permite establecer entre la distribución del flujo y reflujos una diferencia de 5.1° . También una asimetría de flujos, siendo mayores las velocidades de U y V, del reflujos, con una desviación estándar de llenante y vaciante iguales a 29.8 y 36.1 cm/s respectivamente (Figura 90 y Tabla 5-1).

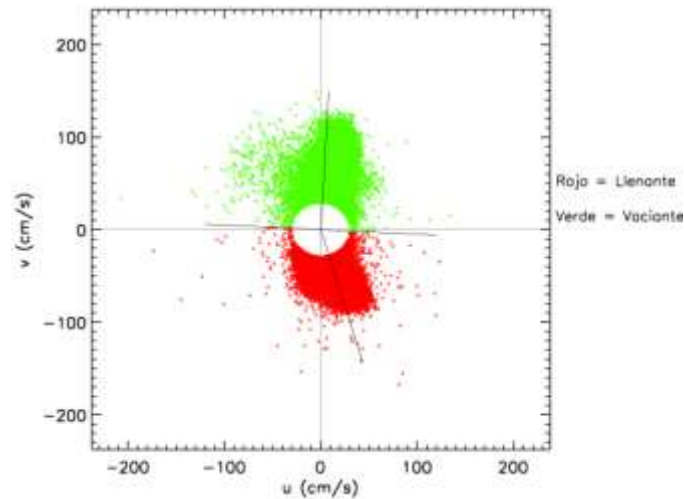


Figura 90: Direccionalidad del flujo en Paso Meninea.
(Elaboración Propia)

En Canal Pitipalena Norte las velocidades U y V del reflujos, 77.8 y 126.4 cm/s, son mayores a las del flujo. La fluctuación de la velocidad dentro del régimen de flujo es de 12.2 cm/s mientras que para el de reflujos es de 7.1 cm/s. Por otro lado la reversibilidad entre flujos es de 5.1° (Figura 91 y Tabla 5-1).

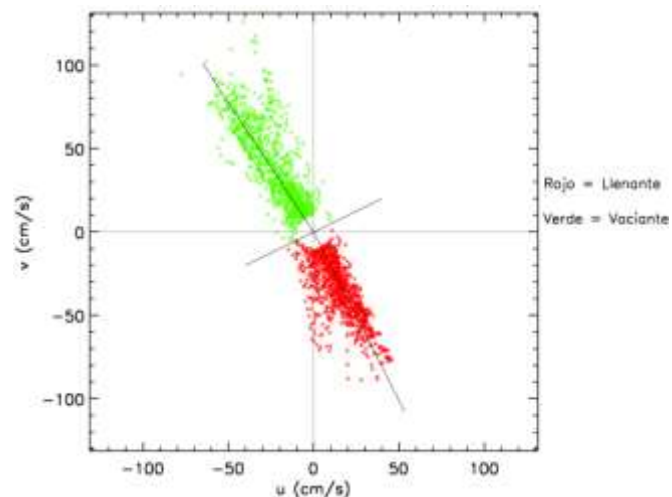


Figura 91: Direccionalidad del flujo en Canal Pitipalena – Norte.
(Elaboración Propia)

La reversibilidad en Canal Pitipalena Centro es de 1.7° , mientras que la desviación estándar para el flujo y reflujo es de 47.5 y 44.7 cm/s respectivamente, siendo mayores las velocidades del reflujo, 74.9 y 112.1 cm/s, para las componentes U y V respectivamente (Figura 92 y Tabla 5-1).

En Canal Pitipalena Sur las mayores velocidades U y V se encuentran en vaciante con valores de 74.9 y 107.3 cm/s, siendo la desviación estándar para el flujo y reflujo igual a 6.7 y 6.4 cm/s respectivamente. La reversibilidad entre flujos en cambio es de 4.7° (Figura 93 y Tabla 5-1).

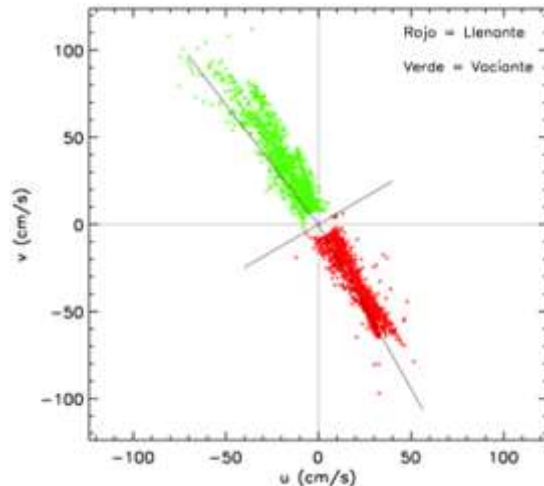


Figura 92: Direccionalidad del flujo en Canal Pitipalena – Centro. (Elaboración Propia)

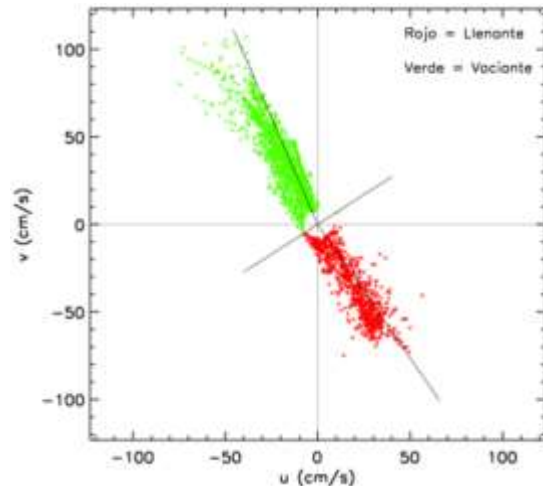


Figura 93: Direccionalidad del flujo en Canal Pitipalena – Sur. (Elaboración Propia)

Los registros obtenidos el 26 de abril del año 2009 en Canal Laitec, revelan que la fluctuación de velocidad dentro de los regímenes de flujo y reflujo son 12.4 y 9.1 cm/s respectivamente, mientras que las velocidades de vaciante son mayores que las de llenante y la reversibilidad del sitio es de 13.2° (Figura 94 y Tabla 5-1).

Las mediciones realizadas en julio del año 2010 en Canal Laitec, permite establecer entre las distribuciones de flujo y reflujo una diferencia de 6.7° . Además de una asimetría, siendo las velocidades en las componentes U y V del flujo mayores, con una desviación estándar de 3.2 y 0.6 cm/s para flujo y reflujo respectivamente (Figura 95 y Tabla 5-1).

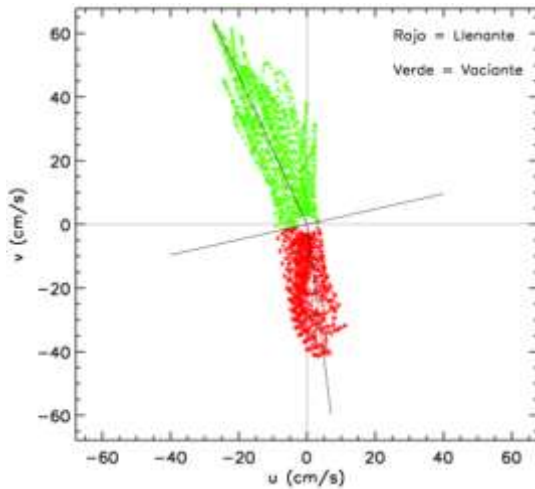


Figura 94: Direccionalidad del flujo en Canal Laitec, Abril 2009.
(Elaboración Propia)

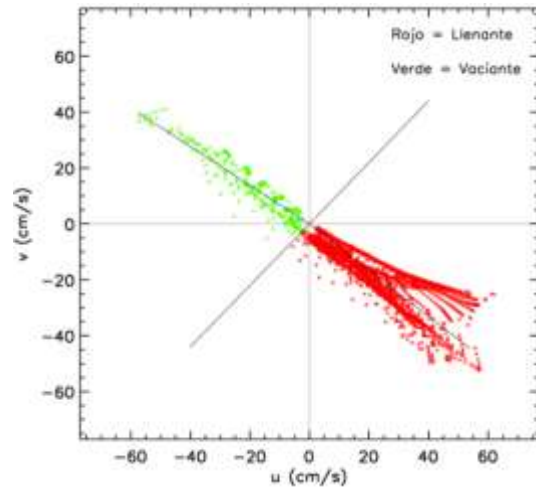


Figura 95: Direccionalidad del flujo en Canal Laitec, Julio 2010.
(Elaboración Propia)

En Canal Leucayec las velocidades U y V del flujo, 48.2 y 215.9 cm/s respectivamente, son mayores a las del refluo. La fluctuación de la velocidad dentro del régimen de flujo es de 12.3 cm/s mientras que para el de refluo es de 34.4 cm/s. Por otro lado la reversibilidad entre flujos es de 35.6° (Figura 96 y Tabla 5-1).

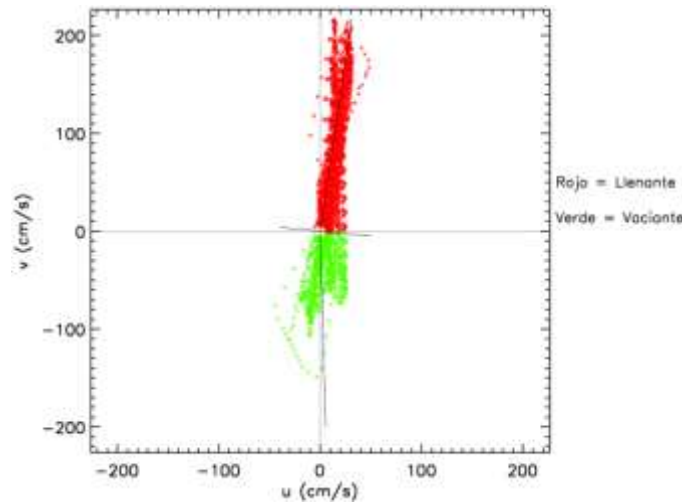


Figura 96: Direccionalidad del Flujo en Canal Leucayec, 2004.
(Elaboración Propia)

El registro realizado entre el 29 y el 30 de octubre del año 2009 en Angostura Kirke, permite establecer entre la distribución del flujo y refluo una diferencia de 3°. Además una asimetría de flujos, siendo las velocidades de las componente U y V del flujo mayores, con una desviación estándar de 0.8 y 3.4 cm/s para llenante y vaciante respectivamente (Figura 97 y Tabla 5-1).

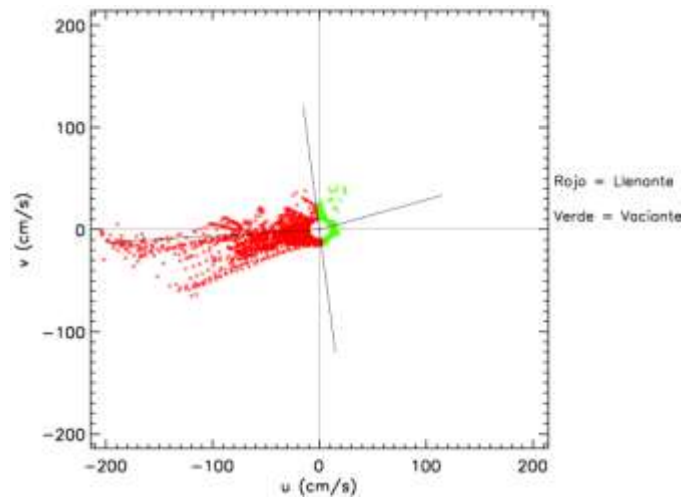


Figura 97: Direccionalidad del Flujo en Angostura Kirke, 2009.
(Elaboración Propia)

El registro realizado de Canal Apiao establece que la diferencia entre la distribución del flujo y refluo es de 12.9° . Además de una asimetría de flujos, siendo las velocidades, componente U y V, del refluo mayores, con una desviación estándar de 11.6 y 21.3 cm/s para llenante y vaciante respectivamente (Figura 98 y Tabla 5-1).

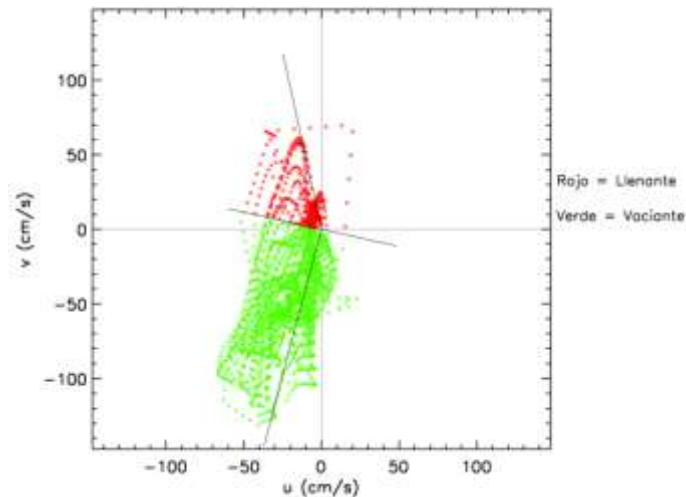


Figura 98: Direccionalidad del Flujo en Canal Apiao, 2004.
(Elaboración Propia)

En Canal Desertores las desviaciones estándar del flujo y refluo son respectivamente 26.6 y 25.9 cm/s, con asimetría entre flujos, siendo mayores las velocidades de refluo en las componente U y V de la corriente. Por lo que la reversibilidad entre flujo y refluo es de 29.1° (Figura 99 y Tabla 5-1).

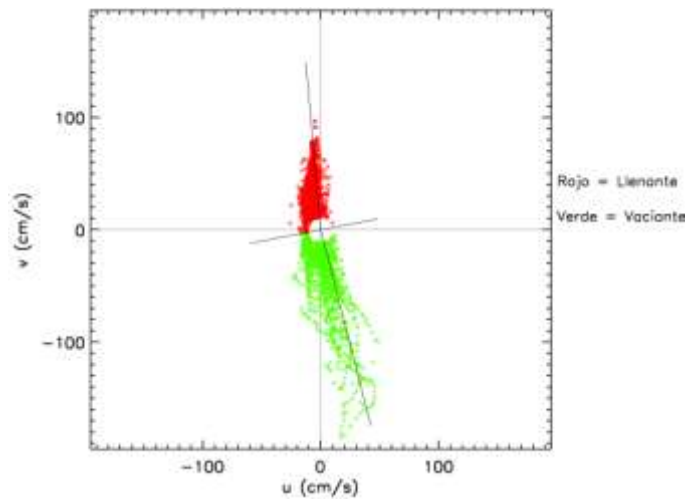


Figura 99: Direccionalidad del Flujo en Canal Desertoires, 2004.
(Elaboración Propia)

Tabla 5-1: Tabla Resumen de Análisis de Corrientes.
(Elaboración Propia)

Sitios	Angostura Gabriel	Paso del Indio	Paso Meninea	Canal Pitipalena			Canal Laitec	
				N	C	S	Abril-2009	Julio-2010
MAGNITUD (*)								
Promedio [cm/s]	65,9	46,2	43,7	19,0	21,8	24,7	8,8	30,1
Máxima [cm/s]	79,2	87,0	36,3	45,7	51,5	56,4	11,3	62,0
Mínima [cm/s]	-147,4	-94,6	-92,8	-77,8	-74,9	-74,5	-27,3	-57,1
Ángulo de Rotación [°] (**)	21,5	74,5	94,4	62,7	60,6	60,6	75,4	36,4
Profundidad [m]	24	32	53	26	25	25	51	38
CIZALLES VERTICALES								
$\partial u/\partial z$ [s^{-1}] Máximo	2,2	2,6	1,6	0,8	0,7	0,7	0,5	0,3
Máxima Variación (***)	8	10	13	25	25	25	51	3
$\partial v/\partial z$ [s^{-1}] Máximo	2,1	2,5	2,5	0,4	0,3	0,4	0,1	0,2
Máxima Variación (***)	8	10	53	25	25	3	51	38
DESVIACIÓN ESTANDAR								
Flujo [cm/s]	4,2	47,5	29,8	12,2	47,5	6,7	12,4	3,2
Reflujo [cm/s]	0,7	44,7	36,1	7,1	44,7	6,4	9,1	0,6
REVERSIBILIDAD								
Flujo [°]	13,4	8,7	27,1	48,0	8,7	52,1	44,2	31,2
Reflujo [°]	23,7	7,0	22,0	53,1	7,0	56,9	57,5	37,8
Diferencia [°]	10,3	1,7	5,1	5,1	1,7	4,7	13,2	6,7
ASIMETRÍA								
Flujo Máximo [cm/s]								
Componente u	311,1	253,4	173,6	45,7	51,5	56,4	11,3	62,0
Componente v	252,4	313,9	167,4	88,6	96,9	74,5	41,5	52,3
Reflujo Máximo [cm/s]								
Componente u	351,6	216,6	232,7	77,8	74,9	74,9	27,3	57,1
Componente v	205,5	226,9	148,5	126,4	112,1	107,3	62,9	41,1

Sitios	Canal Leucayec	Angostura Kirke	Canal Apiao	Canal Desertores
MAGNITUD (*)				
Promedio [cm/s]	18,6	65,6	23,3	17,5
Máxima [cm/s]	48,2	24,6	22,6	48,3
Mínima [cm/s]	-44,5	-204,8	-66,4	-25,8
Ángulo de Rotación [°] (**)	95,3	9,0	-103,0	-81,0
Profundidad [m]	46	60	86	120
CIZALLES VERTICALES				
$\partial u/\partial z$ [s^{-1}] Máximo	1,5	1,6	0,5	1,0
Máxima Variación (***)	46	0	7	7
$\partial v/\partial z$ [s^{-1}] Máximo	0,6	0,4	0,5	0,3
Máxima Variación (***)	46	60	86	120
DESVIACIÓN ESTANDAR				
Flujo [cm/s]	12,3	0,8	11,6	26,6
Reflujo [cm/s]	32,4	3,4	21,3	25,9
REVERSIBILIDAD				
Flujo [°]	77,5	7,8	28,2	34,6
Reflujo [°]	41,9	4,8	41,1	63,8
Diferencia [°]	35,6	3,0	12,9	29,1
ASIMETRÍA				
Flujo Máximo [cm/s]				
Componente u	48,2	204,8	47,5	25,8
Componente v	215,9	65,1	69,5	96,8
Reflujo Máximo [cm/s]				
Componente u	44,5	24,6	66,4	48,3
Componente v	148,8	41,8	131,5	184,8

(*) MAGNITUD DE LA COMPONENTE A LO LARGO DEL CANAL.

(**) Ángulo de Rotación contra reloj [°].

(***) Máxima Variación existente en las 4 capas de profundidades seleccionadas.

5.2 POTENCIAL ENERGÉTICO

5.2.1 POTENCIA MÁXIMA DE LOS SITIOS

Angostura Gabriel, tiene un área triangular de 22.742 [m^2], siendo el ancho del sector en que se efectuó la muestra de datos de 1.895 [m] y la profundidad de 24 [m], considerando una magnitud máxima de corriente igual a 368 cm/s, se determinó un potencial en la sección de 578.480 [kW] (Tabla 8-15).

El potencial energético en la sección triangular en Paso del Indio, conformada por 1.668 metros de ancho y una profundidad de 32 [m] es de 489.398 [kW], considerando una magnitud máxima de 330 cm/s (Tabla 8-15).

El punto de medición de los datos de corrientes en Paso Meninea cuenta con un ancho y una profundidad de 3.453 y 53 [m] respectivamente, constituyendo una sección triangular de 91.495 [m^2]. Para la magnitud máxima de corriente de 244 cm/s, el potencial de la sección resulto de 678.672 [kW] (Tabla 8-15).

Canal Pitipalena cuenta con un potencial promedio para sus tres sitios de registros de 8.098 [kW], siendo el ancho del canal igual a 604 metros, con profundidades de 26 [m] en la zona norte de estudio y 25 [m] en las zonas centro y sur. Las magnitudes de velocidades máximas son 133, 125 y 124 cm/s correspondientes a los registros del norte, centro y sur respectivamente (Tabla 8-15).

El área triangular de Canal Laitec es de 48.675 [m^2], la cual considera una profundidad y un ancho de canal igual a 51 y 1.909 metros respectivamente. La magnitud de velocidad máxima de corriente es de 69 y 77 cm/s para las mediciones realizadas en abril del año 2009 y julio del año 2010 respectivamente, determinando un potencial energético de 8.040 [kW] para el año 2009 y 11.600 [kW] en el año 2010 (Tabla 8-15).

El potencial energético obtenido en la sección triangular de Canal Leucayec, determinada por un ancho de 2.412 metros y profundidad de 46 metros, es de 288.050 [kW], para una magnitud de velocidad máxima de 216 cm/s (Tabla 8-15).

El punto de medición de los datos de corrientes de Angostura Kirke tiene una profundidad de 60 metros y un ancho de 684 [m], con un área de generación de potencial de 20.509 [m^2]. Para la magnitud de máxima de 186 cm/s, el potencial de la sección es de 67.178 [kW] (Tabla 8-15).

Canal Apiao cuenta con una magnitud de velocidad máxima de 205 cm/s, además tiene un ancho y una profundidad de 13.514 y 86 metros respectivamente, con lo cual se obtuvo un potencial de 2.556.725 [kW] (Tabla 8-15).

Con 120 metros de profundidad y 6.935 metros de ancho, Canal Desertores tiene una sección triangular de 416.104 [m^2]. Además su magnitud máxima promedio es de 138 cm/s determinando una potencia de 557.077 [kW] (Tabla 8-15).

5.2.2 POTENCIA GENERADA Y ACTUAL DISPONIBLE

Considerando una eficiencia del 22% y una magnitud máxima de corriente de 367.5 cm/s, la potencia generada en Angostura Gabriel es de 27.98 [kW]. Por otro lado la potencia actual (disponibilidad del 90%) es 25.18 [kW] (Tabla 8-16).

Paso del Indio cuenta una magnitud de velocidad máxima de 329.5 cm/s con lo que se obtiene una potencia generada de 20,17 [kW] y una potencia actual de 18.15 [kW] para una eficiencia del 22% (Tabla 8-16).

La potencia generada en Paso Meninea es de 8.16 [kW] con velocidad de corriente máxima de 243.7 cm/s, mientras que la potencia actual es de 7.34 [kW] (Tabla 8-16).

Las mediciones de corrientes en los tres sectores analizados de Canal Pitipalena cuentan con magnitudes de corrientes máximas de 132 y 124 cm/s para las zonas Norte y Centro-Sur, obteniendo valores de potencia generada de 1.33, 1.09 y 1.08 [kW] para las mediciones en el Norte, Centro y Sur del canal respectivamente (Tabla 8-16).

La potencia generada para las mediciones de Canal Laitec en abril del año 2009 y julio del año 2010 resultaron de 0.18 y 0.26 [kW] respectivamente, siendo la potencia con disponibilidad del 90% igual a 0.16 y 0.24 [kW] para velocidades de 68.56 y 77.47 cm/s en los años 2009 y 2010 correspondientemente (Tabla 8-16).

Canal Leucayec tiene una magnitud máxima de corriente de 216.39 cm/s y una potencia generada y una potencia actual disponible, proporcionalmente de 5,71 y 5.14 [kW] (Tabla 8-16).

Angostura Kirke cuenta con una potencia generada de 3.6 [kW] considerando una magnitud máxima de velocidad igual a 185.58 cm/s. Por otro lado la potencia actual es de 3.24 [kW] (Tabla 8-16).

Con una magnitud máxima de velocidad de 204.76 cm/s, Canal Apiao tiene una potencia generada de 4.84 [kW], mientras que la potencia actual es de 4.36 [kW] (Tabla 8-16)

La potencia generada en Canal Desertores es de 1.47 [kW] con una magnitud máxima de corriente de 137.72 cm/s. Por otro lado la potencia actual (disponibilidad del 90%) es 1.33 [kW] (Tabla 8-16).

5.3 DISTRIBUCIÓN FÍSICA DE LOS DISPOSITIVOS

Se estudiaron las rutas de navegación establecidas en las cartas náuticas correspondientes a cada canal de estudio, encontrando patrones característicos de tráfico principalmente por el centro de los canales. Por otro lado se determinó que las mayores embarcaciones transitan por Paso del Indio y Canal Kirke, por lo que dichos canales cuentan con restricciones para la navegación de buques mayores, siendo las dimensiones de calado máximo 10.7 y 6.5 [m] para Paso del Indio y Canal Kirke respectivamente (DIRECTEMAR, 2013).

La distancia entre los 9 puntos de extracción de registros de corrientes y los poblados aledaños, se muestra en la Tabla 5-2, siendo estos los recorridos más breves entre las opciones existentes.

Tabla 5-2: Distancia a Centros Poblados.
(Elaboración Propia)

Sitio	Población aledaña	Distancia [km]
Angostura Gabriel	Puerto Harris	97
Paso del Indio	Villa Puerto Edén	9,2
Paso Meninea	Puerto Aguirre	17,8
Canal Pitipalena	Raúl Marín Balmaceda	0,9
Canal Laitec	Quellón Viejo	6,3
Canal Leucayec	Melinka	3,5
Angostura Kirke	Puerto Natales	55,8
Canal Apiao	Quinchao	39
Canal Desertores	Chana	4,9

5.4 CARACTERIZACIÓN DE LA DEMANDA

Puerto Harris es la localidad más cercana a la Angostura Gabriel, con un total de 296 habitantes y 78 viviendas, su consumo doméstico mensual es de 11.739 kWh, mientras que el consumo referido al sector institucional, comercial, público y de pequeñas empresas es de 5.031 kWh. El costo de energía base es de \$2.014.412. Los costos nudo de energía y VIVACE asociados a la demanda total mensual corresponden a \$622.196 y \$571.857 respectivamente (Tabla 8-18).

Villa Puerto Edén, localidad cercana a Paso del Indio cuenta con una demanda total mensual de 17.630 kWh para un total de 82 viviendas y 176 habitantes. Dicha demanda contempla un consumo doméstico, industrial e institucional, de 12.341 y 5.289 kWh respectivamente, presentando un costo de energía base de \$2.177.716, mientras que el costo nudo de energía es \$996.620 y el costo asociado a la generación de energía del dispositivo VIVACE igual a \$601.183 (Tabla 8-18).

El poblado más próximo a Paso Meninea es Puerto Aguirre, con una población de 766 habitantes y 278 viviendas, cuenta con una demanda total mensual de 59.770 kWh, siendo el costo energético base de \$10.420.302. En cambio el costo nudo de energía es de \$3.922.433 y el costo VIVACE corresponde a \$2.038.157 (Tabla 8-18).

Raúl Marín Balmaceda, poblado cercano al Canal Pitipalena, tiene 284 habitantes y 148 viviendas con un consumo doméstico, industrial e institucional de 22.274 y 9.546 kWh respectivamente, mientras que la demanda total mensual es de 31.820 kWh, siendo el costo de energía base de \$5.547.499 y costo nudo de energía es de \$2.088.202. Por otro lado el costo de VIVACE es de \$1.085.062 (Tabla 8-18).

Cercano a la ubicación ADCP de Canal Laitec, se encuentra la localidad de Quellón Viejo, esta tiene 131 viviendas y 329 habitantes, generando una demanda total mensual de 28.165 kWh, siendo 19.716 kWh el consumo doméstico y 8.450 en consumo referente al sector institucional, comercial, público y pequeñas empresas. El costo energético base es de \$2.985.659, el costo nudo es \$1.339.471 y el costo VIVACE es igual a \$960.427 (Tabla 8-18).

El poblado aledaño más próximo a Canal Leucayec es Melinka, este cuenta con una población de 1.411 habitantes, constituyendo un total de 408 viviendas. La demanda Total Mensual es de 87.720 kWh, con un costo de energía base de \$15.293.105, costo nudo de energía igual a \$5.756.664 y costo VIVACE de \$2.991.252 (Tabla 8-18).

Puerto Natales, zona aledaña a la Angostura Kirke tiene 16.978 habitantes y 5.763 viviendas, considerando el 20% del consumo doméstico y S.ICPP.E., la demanda total mensual es de 123.905 kWh equivalente a un costo de energía base igual a \$14.883.409, costo nudo de energía \$7.004.293 y costo VIVACE de \$4.225.143 (Tabla 8-18).

La localidad de Quinchao cercana a la ubicación de obtención del registro de datos de ADCP, cuenta con una población de 117 habitantes y 46 viviendas, constituyendo una demanda total mensual de 9.890 kWh, siendo el costo de Energía base igual a \$1.724.223, el costo nudo energético es de \$649.036 y el costo VIVACE \$ 337.249 (Tabla 8-18).

Cercano a Canal Desertores se encuentra Chana, esta localidad de 79 habitantes y 23 viviendas, tiene un consumo doméstico y S.ICCP.E mensual de 3.462 y 1.484 kWh respectivamente, constituyendo una demanda total mensual de 4.945 kWh asociado a un costo de energía base de \$862.111, el costo nudo de energía es de \$324.518 y el costo VIVACE es \$168.635 (Tabla 8-18).

6. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

6.1 DISCUSIÓN

6.1.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS SITIOS

La caracterización de las corrientes de marea en los 9 sitios de análisis, se realizó conforme a distintos parámetros entre los que se encuentra la distribución porcentual de la velocidad, los cizalles verticales, las elipses de marea, la frecuencia direccional, la corriente residual y la direccionalidad. Tales parámetros determinan la viabilidad de las condiciones de los sitios para el aprovechamiento de las corrientes de marea en los 9 sectores.

I. DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE VELOCIDAD

Este criterio de caracterización permitió una visualización preliminar del recurso disponible en los sitios, en la que se compararon las distribuciones de velocidad, además de las predominancias de flujo o reflujos de las componentes de la corriente de marea.

En todos los sitios analizados se mostró una tendencia inversamente proporcional entre la velocidad de las corrientes de marea y el porcentaje de ocurrencia, siendo estos elevados en los rangos de velocidades menores.

En cuanto a la predominancia del flujo, sitios como Canal Gabriel, Paso del Indio, Canal Pitipalena Norte y Canal Desertores presentaron supremacía de vaciante en ambas componentes de la corriente. En cambio en Paso Meninea, Canal Pitipalena Centro y Canal Leucayec cuentan con la preponderancia del flujo llenante en sus componentes. Por otro lado en Canal Pitipalena Sur y Angostura Kirke en las componentes U y V predomina el flujo vaciante y llenante respectivamente. En Canal Apiao y en las mediciones realizadas en Canal Laitec los años 2009 y 2010 los porcentajes de ocurrencia de llenante fueron mayores en la componente U, mientras que en la componente V predomina el flujo vaciante.

II. CIZALLES VERTICALES

Las fuerzas de cizallamiento ejercidas por las corrientes en los 9 sitios de estudio, son significativas desde el punto de vista mecánico del dispositivo VIVACE, debido a que éste debe soportar la fuerza de la componente media axial de la velocidad y también las fuerzas de corte generadas por la variación de la velocidad sobre el mecanismo de generación. Estas variaciones en el fondo son acentuadas debido a las batimetrías de los sitios, mientras que en la capa de la superficie tales variaciones se pueden deber a la remoción de la superficie por los vientos reinantes de las zonas de estudio.

Las mayores fuerzas de cizallamiento ejercidas por la corriente de marea en U y V ocurren en Paso del Indio, Angostura Gabriel y Paso Meninea, (2.6, 2.5), (2.2, 2.1) y (1.6, 2.5) [s^{-1}] respectivamente.

Las mayores variaciones ($\partial u/\partial z$) y ($\partial v/\partial z$), se originan en las capas límites superficie y fondo debido a la interacción del fluido con los distintos medios. En las mediciones realizadas en Canal Gabriel y Paso del Indio, las mayores variaciones ($\partial u/\partial z$) y ($\partial v/\partial z$) ocurren en las capas de contacto con la superficie. Mientras que en Canal Pitipalena (Norte y Centro), Canal Laitec (Abril 2009) y Canal Leucayec, tales variaciones se suscitan en la capa de Fondo. Por otro lado en Paso Meninea, Canal Laitec (Julio, 2010), Canal Apiao, Desertores y Angostura Kirke, las mayores variaciones ($\partial u/\partial z$) se generaron en la superficie y las variaciones ($\partial v/\partial z$) en el fondo. En Canal Pitipalena Sur en cambio, las mayores variaciones ($\partial u/\partial z$) se originan en la capa de fondo y ($\partial v/\partial z$) en la capa superficie.

III. ELIPSES DE MAREA

Las elipses de mareas corresponden a la ruta trazada por las corrientes durante el periodo de una determinada componente de marea.

La bidireccionalidad de los flujos se determina respecto de las dimensiones de las elipses, considerándose un flujo bidireccional aquel que cuenta con un gran eje mayor y menor pequeño. Este parámetro es ideal como criterio para la selección de sitios considerando la utilización de dispositivos como VIVACE, ya que estos no son capaces de extraer energía a partir de todas las direcciones.

Debido a que el dispositivo cuenta con una altura de 10 metros, son relevantes en el análisis las capas de fondo y las capas intermedias de cada sitio. Además de la relación ejes, considerándose como criterio de selección que el eje menor debe ser inferior o igual al 30% del eje mayor, permitiendo así asegurar un flujo bidireccional.

Tomando en cuenta lo anterior, se determinó que Canal Gabriel, Paso del Indio, Meninea, Canal Pitipalena – Zona Sur, Canal Laitec, Leucayec y Apiao, cuentan con flujo bidireccional. Destacando la bidireccionalidad en Canal Gabriel, Paso Meninea y Canal Laitec, lo que admite un mayor aprovechamiento en la extracción energética. Cabe destacar que en Canal Gabriel las elipses de marea a distintas profundidades son muy similares entre sí, teniendo una orientación promedio aproximada de -21.2° . En Paso Meninea la orientación promedio de las elipses de marea en la columna de agua es de 86.5° aproximadamente, siendo las componentes de la elipse de fondo menores a las de la capa intermedia, por otro lado las direcciones de circulación de las elipses de la capa intermedia y fondo, son contrarias lo que pierde relevancia debido a que VIVACE es capaz de generar energía aprovechando el flujo incidente de frente y en la retaguardia del dispositivo. Las mediciones realizadas en julio del año 2010 en Canal Laitec, presentan una bidireccionalidad muy marcada, disminuyendo el tamaño de las elipses de marea a medida que se acercan al fondo, con una orientación promedio aproximada de -25.8° .

Según Gooch, 2009. Los dispositivos diseñados para mareas bidireccionales, pueden ser incapaces en la captación de energía suficiente para flujo y reflujo asimétrico, disminuyendo su eficiencia en la generación energética fuera del eje de las corrientes. Por otro lado gran asimetría y desviación en el régimen podría dar lugar a una gran potencia de generación en una mitad del ciclo de las mareas, y muy poca en la otra.

Por su parte la frecuencia direccional de la corriente en los 9 sitios refleja tanto la dirección de las elipses de marea como la dirección de la corriente residual, obteniendo las herramientas para la definición de la orientación a la que se deben disponer los dispositivos en cada sitio con el fin de extracción de la máxima energía posible. Para ellos se definió que las direcciones de corriente predominante en Canal Gabriel provienen del Este y Oeste. En Paso del Indio dominan las corrientes Norte y Sur, al igual que en Paso Meninea, Canal Laitec – Abril 2009, Canal Leucayec y Desertores.

En la entrada del Estero Pitipalena, analizado para los efectos de este estudio como Canal Pitipalena – Zona Norte, predominan las corrientes provenientes del Noroeste y Sureste, mientras que en las zonas centro y sur del canal tales direcciones prevalecen en las capas superficie e intermedia, mientras que en las capas de fondo los mayores porcentajes de frecuencia son contenidos en las direcciones Norte y Sur.

Las mediciones realizadas en julio del año 2010 en Canal Laitec, cuenta con predominancia de corrientes provenientes del Sureste, mientras que en Canal Apiao dominan las corrientes procedentes del Sur y Sureste. En Angostura Kirke en cambio predominan las corrientes con dirección Oeste en las capas superficie e intermedia, mientras que en la capa de fondo predomina la dirección Sur.

Cabe destacar que altos valores de velocidades residuales sugiere que el flujo estaría fuertemente influenciado por efectos no lineales derivados de la batimetría y de la línea de costa (Cáceres M. , Valle-Levinson, Fierro, Bello, & Castillo, 2005)

IV. DIRECCIONALIDAD

Todos los sitios estudiados se pueden caracterizar como asimétricos. Siendo mayor la llenante en Canal Gabriel, Paso del Indio, Canal Leucayec, Apiao y en las mediciones realizadas en julio del año 2010 en Canal Laitec. En cuanto a Paso Meninea, Canal Pitipalena zona norte, centro y sur, Desertores, Kirke y en las mediciones de abril del año 2009 en Canal Laitec, los registros de vaciante son mayores, lo que se debe al aporte de agua dulce debido al derretimientos de glaciares y aporte de ríos de la zona.

Las corrientes asimétricas o desviadas pueden indicar geometría compleja en la región, lo que podría aumentar la variabilidad de las mareas y crear una necesidad de más medidas de reguardo para el dispositivo, lo que se reflejaría en un aumento de los costos de ensamblaje. Esto también podría potencialmente crear complicaciones futuras para la colocación de varios dispositivos en un sitio (Gooch, 2009).

Las corrientes reversibles se caracterizan por el cambio en su dirección respecto al eje del canal en las fases de marea de llenante y vaciante. Siendo este el comportamiento típico esperado por las corrientes en zonas de canales y pasos interiores.

La reversibilidad de los sitios fluctúa entre 1.7° y 35.6°, en Paso del Indio y Canal Leucayec respectivamente Tabla 6-4. En cuanto a la dispersión del flujo, este resultó ser mayor en Paso del Indio y Paso Meninea, pudiéndose explicar la alta dispersión direccional al considerar factores como aportes de agua de canales adyacentes incidiendo

sobre la circulación principal de los pasos mencionados, además del ancho del canal en los lugares de monitoreo. Estos efectos han sido observados en estudios efectuados en el canal Moraleda (Fierro, Bravo, & Castillo, 2000).

6.1.2 EVALUACIÓN DEL POTENCIAL

La evaluación del potencial energético, consta de la estimación de la potencia en los sitios de estudio, referido a las zonas de extracción de registros de corrientes con ADCP, además de la potencia de generación y actual disponible, correspondientes a la potencia que puede generar el dispositivo VIVACE considerando las condiciones de cada sitio y la potencia real de utilización en los anteriores.

I. POTENCIA MÁXIMA DE LOS SITIOS

La determinación del potencial energético en los 9 sitios de análisis, permite contar con la disponibilidad energética existente en la sección triangular conformada por la profundidad y el ancho de los canales o pasos de estudio.

El potencial energético de los sitios, considerando la sección triangular de generación y la magnitud máxima de corriente para cada sitio de estudio, determina que Canal Apiao es la zona que cuenta con el mayor potencial energético, siendo este de 2.556.725 [kW], mientras que Canal Pitipalena tiene un potencial de 8.098 [kW] promedio para los tres sitios de registros, Canal Laitec por su parte alcanzó un potencial promedio de 9.820 [kW] en sus dos periodos de extracción analizados.

Altos valores de potencia en los sitios se deben a grandes profundidades y ancho de los canales, constituyendo el área triangular la variable de mayor peso en la formulación.

II. POTENCIA GENERADA Y ACTUAL DISPONIBLE

Para la determinación de la potencia generada en los sitios de estudio, se utilizó la ecuación 3 (Sección 2.7), la que incluye el factor de eficiencia del dispositivo VIVACE, fluctuante entre 22% y 37%, referidos a magnitudes de velocidades de 0.84 m/s y superiores a las anteriores respectivamente.

La Tabla 6-1 muestra que canal Gabriel cuenta con velocidades promedio de 0.84 m/s y Leucayec con 0.72 m/s, siendo estas las más elevadas entre los sitios de estudio.

Tabla 6-1: Magnitud Promedio de la velocidad en los sitios.
(Elaboración Propia)

Sitios	Magnitud Promedio [cm/s]
Angostura Gabriel	84,36
Paso del Indio	27,57
Paso Meninea	37,85
Canal Pitipalena N	32,68
C	34,00
S	35,37
Canal Laitec Abril-2009	22,03
Julio-2010	25,61
Canal Leucayec	72,45
Canal Apiao	31,36
Canal Desertores	48,20
Angostura Kirke	35,94

Por su parte VIVACE cuenta con la capacidad de extracción de energía por corrientes de marea superiores a 0.25 m/s (Raghavan, 2007). Debido a las bajas magnitudes promedio en los sitios inclusive sin alcanzar el límite mínimo de velocidad de corriente requerido para la generación de energía en canal Laitec, se utilizó para el cálculo del potencial las máximas magnitudes de velocidad en los sitios, para una eficiencia del 22% en vez del 37%, ya que los valores máximos de velocidad cuentan con pequeños porcentajes de ocurrencias como se explicó previamente. Permitiendo así la obtención de un potencial energético cercano a la realidad en cada zona de estudio.

Como se definió anteriormente, la potencia generada para cada sitio se obtuvo considerando la magnitud de la velocidad máxima de los sitios, además del 22% de la eficiencia del dispositivo. La potencia actual por su parte corresponde al 90% de la potencia generada, considerando que el 10% restante corresponde al tiempo de no ocupación del dispositivo, referido a mantenencias y tiempo en que las velocidades de la corriente de marea son menores al límite inferior de aprovechamiento.

Angostura Gabriel y Paso del Indio cuentan con los mayor potenciales energéticos, alcanzando potencias generadas de 27.9 [kW] y 20.1 [kW] respectivamente. Siendo la potencia actual disponible, de 25.1 [kW] para velocidades de 367.5 cm/s en Canal Gabriel y de 18.1 [kW] para velocidades de corrientes 329.5 cm/s en Paso del Indio.

El menor potencial energético se encuentra en Canal Laitec, siendo mayor el potencial referido a las mediciones realizadas en julio del 2010 alcanzando un valor de 0.26 [kW], respecto de las de abril del año anterior 0.18 [kW].

Cabe destacar que los mayores potenciales se deben al alto valor de la magnitud de las corrientes de marea en Angostura Gabriel y Paso del Indio.

6.1.3 DISTRIBUCIÓN FÍSICA DE LOS DISPOSITIVOS

La navegación es una de las actividades con mayor posibilidad de interferencia en el desarrollo de la generación eléctrica en los 9 sitios de estudio. Es por ello que se revisaron las rutas de navegación establecidas en las cartas náuticas correspondientes, visualizando también si los puntos de extracción de los registros de corrientes de los 9 sitios se ubicaban en tales rutas a modo de no interferir con la navegación de las naves que utilizan estos trayectos.

Cabe señalar que no todos los canales, angosturas o pasos de análisis son parte de los trayectos precisos para la navegación contenidas en las cartas náuticas, sin embargo existen otras actividades, como la pesca artesanal, que si transitan por las zonas de estudio, por lo que es necesario considerar un factor de resguardo para el tránsito libre de las embarcaciones en todos los sitios.

Considerando las restricciones para la navegación informadas por la DIRECTEMAR en su sitio web, se definió que los canales por los que transitan las mayores embarcaciones corresponden a Paso del indio y angostura Kirke, siendo la restricción de calado máximo para tales regiones de 10.7 y 6.5 metros respectivamente.

Determinando tal antecedente como criterio de navegación, se requiere definir la viabilidad de inserción del dispositivo en las zonas de estudio sin interferir con la navegación de los sitios de análisis, considerando un calado máximo de 10.7 metros para paso del indio y de 6.5 metros para el resto de las zonas de estudio. Por su parte el dispositivo VIVACE cuenta con una altura de 10 metros. Según las recomendación definidas por los fabricantes estos requieren de una cabeza o columna de agua sobre el dispositivo de al menos 5 metros para cumplir con la eficiencia del 22% establecida (Raghavan, 2007).

La Tabla 6-2, muestras que Paso del Indio cuenta con una profundidad de 32 metros en la zona de medición de ADCP, mientras que el dispositivo tiene una altura y un resguardo de eficiencia de 10 y 5 metros respectivamente. El resguardo de navegación por su parte es de 10.7 metros, lo que define una columna de agua entre el resguardo del dispositivo y el de la navegación de 6.3 metros, permitiendo contar con un resguardo extra para consideraciones de las bajas máximas de marea en la zona.

Tabla 6-2: Definición de la columna de agua intermedia entre el resguardo de eficiencia y de navegación.
(Elaboración Propia).

Sitios	Profundidad	Altura VIVACE	Resguardo Eficiencia	Resguardo Navegación	Columna intermedia
Angostura Gabriel	24	10	5	6,5	2,5
Paso del Indio	32	10	5	10,7	6,3
Paso Meninea	53	10	5	6,5	31,5
Canal Pitipalena	N	26	10	5	4,3
	C	25	10	5	3,5
	S	25	10	5	3,5
Canal Laitec	Abril-2009	51	10	5	6,5
	Julio-2010				
Canal Leucayec	46	10	5	6,5	24,5
Angostura Kirke	60	10	5	6,5	38,5
Canal Apiao	86	10	5	6,5	64,5
Canal Desertores	120	10	5	6,5	98,5

Otro factor relevante en la distribución física de las zonas, se refiere a las distancia entre el punto de extracción de los registros de corrientes y los poblados aledaños a estos, siendo la menor distancia la existente entre Raúl Marín Balmaceda y Canal Pitipalena, 0.9 [km], mientras que la mayor distancia, 55.8 [km] se encuentra entre el Angostura Kirke y Puerto Natales.

6.1.4 CARACTERIZACIÓN DE LA DEMANDA

Para la determinación de la demanda energética en las localidades aledañas a los sitios de estudio, se definió la cantidad de habitantes de la zona, viviendas y datos de consumo de tales localidades.

Los antecedentes de habitantes y viviendas fueron extraídos de los resultados del CENSO de población realizados el año 2002 por el Instituto Nacional de Estadísticas, lo anterior debido a la poca confiabilidad de los datos obtenidos del CENSO del año 2012.

Las localidades de análisis cuentan con un promedio de 150 viviendas sin considerar la localidad de Puerto Natales, la que tiene 5.763 viviendas para un total de 16.978 habitantes, considerando de esta forma sólo un 20% de las viviendas existentes en la zona para efectos comparativos con las demás localidades.

Según estudios del consumo eléctrico en Chile, el Ministerio de Energía determinó que el consumo promedio mensual de un hogar Chileno es de 150.5 kWh, lo que asociado a la cantidad de viviendas en las localidades aledañas a los canales, pasos o angosturas de estudio, permitió definir el consumo doméstico mensual de dichas localidades. Según las consideraciones de García, 2009. Se determinó que el 70% del consumo de las localidades corresponde al consumo doméstico, mientras que el 30% restante está referido al consumo del sector institucional, comercial, público y de pequeñas empresas.

Considerando los consumos domésticos y S.ICPP.E (sector institucional, comercial, público y de pequeñas empresas) se determinó la demanda total mensual de las localidades, siendo esta mayor en Puerto Natales con 123.905 kWh y en Melinka con 87.720 kWh, mientras que las menores demandas se asocian a las localidades de Chana y Quinchao con 4.945 kWh y 9890 kWh respectivamente.

El mercado eléctrico en Chile comprende las actividades de generación, transmisión y distribución de electricidad. Estas actividades son desarrolladas por empresas privadas, mientras el Estado ejerce funciones de regulación, fiscalización y orientación de inversiones en generación y transmisión, esencialmente a través de la Comisión Nacional de Energía (CNE) y la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC) (CNE, 2008).

Las localidades de Puerto Harris, Villa Puerto Edén y Puerto Natales pertenecen al Sistema de Magallanes, Puerto Aguirre, Raúl Marín Balmaceda, Melinka y Quinchao son parte del Sistema de Aysén, siendo Quellón Viejo parte del Sistema Interconectado Central.

En los sistemas de Aysén y Magallanes operan únicamente las empresas EDELAYSEN S.A. y EDELMAG S.A., respectivamente, participando ambas simultáneamente en los segmentos de generación, transmisión y distribución. Mientras que en Quellón Viejo, perteneciente al SIC, la empresa SAESA se encarga de la generación, transmisión y distribución de electricidad.

Cabe destacar que cada sistema eléctrico cuenta con sus precios nudos de energía y potencia, siendo el precio nudo el valor de comercialización de la energía destinada a clientes de precio regulado, es decir, clientes a los que se le aplica el cargo de energía base. Los precios nudos son regulados por medio de un mecanismo denominado Fijación de Precio de Nudo, realizado semestralmente en Abril y Octubre en cada sistema eléctrico (CNE, 2008). Para efectos de estudio, se utilizaron los precios referidos a la actualización realizada en Abril de año 2014 para cada sistema.

La obtención del costo de comercialización de la energía requerida para suplir la demanda total mensual de los 9 sitios de análisis, es decir, el costo nudo, se determinó como el producto entre el precio nudo energético y la demanda total mensual.

El costo de la generación energética del dispositivo VIVACE es de 0.055 [\$/kWh], considerando costos de inversión y mantención del dispositivo (Raghavan, 2007). El costo VIVACE, es decir el costo de generación de energía producida por el dispositivo para la satisfacción de la demanda total mensual en los 9 sitios de estudio, es menor al costo de comercialización, es decir, costo nudo para cada sitio. Tales diferencias fluctúan entre 8% en Puerto Harris y 48% en Puerto Aguirre, Raúl Marín Balmaceda, Melinka, Quinchao y Chana Tabla 6-3.

Tabla 6-3: Diferencia porcentual entre Costos Nudo y VIVACE para las 9 localidades de estudio.
(Elaboración Propia).

Población aledaña	Costo Nudo Energía[\$]	Costo VIVACE [\$]	Diferencia
Puerto Harris	622.196	571.857	8%
Villa Puerto Edén	996.620	601.183	40%
Puerto Aguirre	3.922.433	2.038.157	48%
Raúl Marín Balmaceda	2.088.202	1.085.062	48%
Quellón Viejo	1.339.471	960.427	28%
Melinka	5.756.664	2.991.252	48%
Puerto Natales	7.004.293	4.225.143	40%
Quinchao - La Villa	649.036	337.249	48%
Chana	324.518	168.625	48%

Finalmente se determinó la generación energética mensual de una unidad de VIVACE considerando la potencia energética actual disponible en cada zona de estudio. Lo que definió la cantidad de dispositivos necesarios para suplir la demanda energética de cada localidad, además de la energía total mensual y adicional generada por los dispositivos en tales localidades.

Una unidad de VIVACE en canal Gabriel es capaz de generar 18.131 kWh en el mes, la mayor potencia actual disponible determinada en el análisis, siendo la demanda energética mensual de Puerto Harris 16.770 kWh. Por lo que la demanda total mensual de la localidad se supliría sólo con la utilización de un dispositivo VIVACE, permitiendo contar además con 1.361 kWh adicionales cada mes. Paso del Indio y Canal Desertores requieren de la utilización de 2 y 3 unidades VIVACE, respectivamente, para suplir la demanda total mensual de las localidades de Villa Puerto Edén y Chana, generando 3.677 kWh adicionales en la primera y 2.059 kWh adicionales en la segunda.

Por otra parte debido a los bajos resultados de potencia actual disponible en Canal Laitec, Pitipalena, Angostura Kirke, Canal Leucayec, Paso Meninea y Canal Apiao, correspondientemente se estimó un requerimiento de 196, 43, 40, 24, 12 y 11 unidades de VIVACE Tabla 6-4.

Tabla 6-4: Análisis de resultados Finales.
(Elaboración Propia)

Parámetros característicos y Sitios	Angostura Gabriel	Paso del Indio	Paso Meninea	Canal Pitipalena			Canal Laitec		Canal Leucayec	Angostura Kirke	Canal Apiao	Canal Desertores	
				Norte	Centro	Sur	Abril-2009	Julio-2010					
Profundidad	24	32	53	26	25	25	51	38	46	60	86	120	
$\partial u/\partial z$ [s^{-1}] Máximo	2,2	2,6	1,6	0,8	0,7	0,7	0,5	0,3	1,5	1,6	0,5	1,0	
Máxima Variación	8	10	13	25	25	25	51	3	46	0	7	7	
$\partial v/\partial z$ [s^{-1}] Máximo	2,1	2,5	2,5	0,4	0,3	0,4	0,1	0,2	0,6	0,4	0,5	0,3	
Máxima Variación	8	10	53	25	25	3	51	38	46	60	86	120	
Constituyente M2	Eje Mayor [cm/s]	97,47	10,91	43,06	2,76	2,08	2,98	20,42	5,98	53,87	1,06	23,24	9,81
	Eje Menor [cm/s]	-0,70	-1,17	0,92	-1,25	-1,36	-0,16	0,92	0,06	3,55	-0,06	-6,02	-2,56
Reversibilidad	10,3	1,7	5,1	5,1	1,7	4,7	13,2	6,7	35,6	3,0	12,9	29,1	
Asimetría Flujo	Componente u	311,1	253,4	173,6	45,7	51,5	56,4	11,3	62,0	48,2	204,8	47,5	25,8
	Componente v	252,4	313,9	167,4	88,6	96,9	74,5	41,5	52,3	215,9	65,1	69,5	96,8
Asimetría Reflujo	Componente u	351,6	216,6	232,7	77,8	74,9	74,9	27,3	57,1	44,5	24,6	66,4	48,3
	Componente v	205,5	226,9	148,5	126,4	112,1	107,3	62,9	41,1	148,8	41,8	131,5	184,8
Magnitud Máxima [cm/s]	367,50	329,50	243,70	132,96	124,57	124,25	68,56	77,47	216,39	204,76	137,72	185,58	
Potencia actual (disponibilidad 90%) [kW]	25,18	18,15	7,34	1,19	0,98	0,97	0,16	0,24	5,14	4,36	1,33	3,24	
Distancia a centros poblados [km]	97	9,2	17,8		0,9			6,3	3,5	55,8	39	4,9	
Demanda Total Mensual [kWh] (***)	16.770	17.630	59.770		31.820			28.165	87.720	123.905	9.890	4.945	
Energía mensual VIVACE [kWh] (*)	18.131	13.069	5.287		755			144	3.701	3.136	954	2.335	
VIVACE requeridos (**)	1	2	12		43			196	24	40	11	3	
Energía total mensual [kWh] (***)	18.131	26.137	63.447		32.473			28.185	88.830	125.442	10.497	7.004	
Energía Adicional [kWh] (****)	1.361	8.507	3.677		653			20	1.110	1.538	607	2.059	

(*) Energía Mensual Generada por un dispositivo VIVACE.

(**) Números de VIVACE requeridos para suplir la demanda.

(***) Energía total mensual generada por los dispositivos VIVACE.

(****) Energía generada adicionalmente por el dispositivo VIVACE.

6.2 CONCLUSIONES

- 1) El dispositivo de generación de energía por corrientes de marea marca VIVACE, utilizado en este trabajo como prototipo teórico para corrientes de baja intensidad, tiene la capacidad de obtención de energía de velocidades de flujo mayores a 0.25 [m/s], diferenciándolo de la mayoría de las tecnologías actualmente utilizadas en el mundo.
- 2) La operación de este dispositivo requiere que se encuentre al menos a 15 m de profundidad para dejar una holgura para el tránsito de buques. En relación a su mantención, esta se realiza en superficie cada 1 año.
- 3) Las mayores velocidades de corrientes cuentan con pequeñas frecuencias de ocurrencias en los nueve sitios.
- 4) Las fuerzas de cizallamiento en los sitios de estudio fluctúan entre 0.3 [s^{-1}] y 2.6 [s^{-1}] en la componente u, y en el rango de 0.1 [s^{-1}] y 2.5 [s^{-1}] para la componente v. Observándose los máximos cizalles en la superficie o fondo (Tabla 6-4).
- 5) Destaca el flujo bidireccional de canal Gabriel y Paso Meninea, admitiendo un mayor aprovechamiento de extracción energética. Siendo las elipses de marea a distintas profundidades muy similares entre sí, con una orientación promedio aproximada de -21.2° en Canal Gabriel y de 86.5° en Paso Meninea (Tabla 6-4).
- 6) Todos los sitios estudiados presentaron asimetría y reversibilidad en sus flujos.
- 7) La demanda energética de cada poblado aledaño, demanda total mensual, se constituye por el consumo doméstico mensual y el consumo (S.ICPP.E).
- 8) La energía generada por un dispositivo VIVACE, determina la cantidad de dispositivos necesarios para suplir la demanda de cada localidad, además de la energía adicional remanente generada.
- 9) La demanda total mensual en Puerto Harris es inferior a la energía total mensual generada por un dispositivo VIVACE en Canal Gabriel. Siendo la distancia entre el punto de instalación en canal Gabriel y Puerto Harris de 97 km aproximadamente (mayor distancia entre punto de generación y sector de consumo).
- 10) En Paso del Indio son necesarios dos dispositivos VIVACE para cumplir con la demanda de Villa Puerto Edén, generando un adicional remanente de 8.507 [kWh]. La distancia entre el punto de extracción por ADCP y la localidad de Villa Puerto Edén de 9.2 kilómetros aproximadamente.
- 11) En Canal Desertores se requieren 3 dispositivos VIVACE para cumplir con la demanda de la localidad de Chana, generando un adicional remanente de 2.059 [kWh], con una distancia entre el punto de generación y Chana de 4.9 kilómetros.
- 12) En Canal Apiao, Paso Meninea, Canal Leucayec, Kirke, Pitipalena y Laitec, se requieren de 11, 12, 24, 40, 43 y 196 dispositivos, respectivamente, para suplir con la demanda de las localidades aledañas.
- 13) El alto número de dispositivos requeridos en canal Laitec, se debe a que la magnitud de velocidad promedio no alcanza a cumplir con el criterio de velocidad mínima de extracción. Siendo la variable velocidad la predominante en el cálculo del potencial generado en cada canal, paso o angostura del estudio.
- 14) Grandes profundidades permiten la apilación vertical de dos dispositivos o más, siendo esto posible en Paso Meninea, Canal Leucayec, Angostura Kirke, Canal Apiao y Desertores.

6.3 RECOMENDACIONES

Si la proyección es efectuada a partir de valores de consumo anual, entonces se deberán considerar las estadísticas de consumo, para estimar la variabilidad horaria, diaria y estacional.

En cuanto a la variación estacional, por lo general la demanda de energía eléctrica será mayor en los meses de invierno, sobre todo en aquellas zonas en que predomina un consumo doméstico.

La variación horaria es aún mayor que las variaciones estacionales, ya que la distribución del consumo a nivel horario dependerá en gran medida de los tipos de usuario que se encuentren conectados a la red y los porcentajes que abarca cada uno respecto del consumo total.

Pueden existir también otras variaciones, aunque menos significativas y más difíciles de cuantificar, ya que no siempre presentan una causa definida. Éstas se traducirán en variaciones diarias de consumo.

Otra variable importante a considerar en estudios posteriores es el aumento de la población contando así con la viabilidad y aprovechamiento futuro del dispositivo.

Se recomienda un estudio exhaustivo del sitio de instalación de un dispositivo de generación de energía en el mar, ya que requiere de un análisis acabado de los posibles usos actuales del sitio, evitando en lo posible aquellas zonas que previamente hayan sido destinadas al desarrollo de otras actividades incompatibles pudiendo obstaculizar en gran medida la aprobación de un proyecto de esta índole.

En cuanto al remante de energía generado, este permitiría proyectar herramientas de crecimiento y desarrollo de las localidades en cuestión. Pudiendo despertar el interés del empresariado para el crecimiento de las zonas.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bentos. (2002). Perfilador de corrientes acústico doppler (ADCP). Una efectiva herramienta de decisión estratégica para la Industria Salmonera Nacional., 1-7. Santiago, Chile: Bentos.
- Bernitsas, M., Simon, B., Raghavan, K., & Garcia, E. M. (2008). VIVACE (Vortex Induced Vibration for Aquatic Clean Energy): A new concept in generation of clean and renewable energy from fluid flow. *Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, 1-18.
- Cáceres, M. (2004). ADCP Remolcado: Una herramienta para el mapeo de corrientes en canales y fiordos. Anuario Hidrográfico Y Oceanográfico De La Armada de Chile, parte 2, 56, 103-108.
- Cáceres, M. A., & Valle-Levinson, A. (2010). Mecanismos de intercambio y circulación en canales de acceso a Seno Ultima Esperanza. Informe de resultados preliminares Crucero cimar 15 – fiordos, 54.
- Cáceres, M., Valle-Levinson, A., Fierro, J., Bello, M., & Castillo, M. (2005). Variabilidad longitudinal del flujo en canales con influencia batimétrica y topográfica. Taller de Resultados Preliminares Crucero CIMAR 8 Fiordos, 1-8. SHOA.
- Castillo, M., & Valenzuela, C. (2006). Régimen de circulación en canales y fiordos australes. En N. S. Palma, Avances en el conocimiento oceanográfico de las aguas interiores chilenas, Puerto Montt a cabo de Hornos (págs. 59-62). Valparaíso: Comité Oceanográfico Nacional - Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.
- CNE, C. N. (2008). Políticas Energéticas, Nuevos Lineamientos. Transformando la crisis energética en una oportunidad, 30: 26-55. Santiago, Chile: Comisión Nacional de Energía.
- Díaz P, C. M.-L. (2011). Seasonal and intratidal distribution of *Dinophysis* spp. in a Chilean fjord. 10:155-164. *Harmful Algae*.
- EMEC, T. E. (2009). Assessment of Tidal Energy Resource. Marine Renewable Energy Guides, 60. Londres: BSI.
- Epler, J. (2010). Tidal Resource Characterization from Acoustic Doppler Current Profilers. Master of Sciences Thesis, University of Washington, Department of Mechanical Engineering, Washington, 76: 11.
- Fierro, J., Bravo, M., & Castillo, M. (2000). Caracterización del régimen de mareas y corrientes a lo largo del Canal Moraleda (43° 54' S - 45° 17' S). *Ciencia y Tecnologías del Mar*, 23, 3-14.

- Fundación Chile. (2013). Escenarios Energéticos 2030. Visiones y temas clave para la matriz eléctrica, 34: 11-45. Santiago, Chile.
- Fundación Chile. (2014). Energías marinas. Potencial en Chile, 50. Santiago, Chile: FCH.
- García, R. (2009). Evaluación del potencial de la energía originada por corrientes de marea para generación en sistemas aislados. Memoria de título, Universidad Técnica Federico Santa María, Departamento de Obras Civiles, Valparaíso, 198: 101.
- Garrad Hassan. (2009). Preliminary site selection - Chilean marine energy resources. 69. Garrad Hassan and Partners Limited.
- González, M., Liria, P., Amate, J., & Uyarra, J. D. (2012). Propuesta de clasificación del potencial de las corrientes, mareas y oleaje para su posible aprovechamiento energético. *Revista de investigación marina*, 19(4), 83, 91.
- Gooch, S. (2009). Siting methodologies for Tidal in-stream energy conversion (TISEC) systems. Master of Science in Mechanical Engineering, University of Washington, Department of Mechanical Engineering, 79: 63.
- INE, Instituto Nacional de Energía. (2008). Enfoque estadístico: Distribución y consumo energético en Chile. Distribución y consumo energético en Chile, 8. Santiago, Chile: Oficina de Comunicaciones.
- INE, Instituto Nacional de Estadísticas. (2005). Chile: Ciudades, pueblos, aldeas y caseríos. 299. Santiago, Chile: INE.
- INE, Instituto Nacional de Estadísticas. (2007). Metodología Energía Eléctrica. 23. Santiago, Chile: GGM/CAS/GMA.
- INE, Instituto Nacional de Estadísticas. (2010). Energía Eléctrica: Informe anual 2009. 66. Santiago, Chile: INE.
- LU, Y., & Lueck, R. G. (1999). Using a Broadband ADCP in a Tidal Channel. Part I: Mean Flow and Shear. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 16, 1556-1567.
- Lwiza, K. M., Bowers, D. G., & Simpson, a. J. (1991). Residual and tidal flow at a tidal mixing front in the North Sea. *Cont. Shelf Res.*, 11(11), 1379– 1395.
- Ministerío de Energía. (2014). Estándar mínimo de eficiencia energética Refrigeradores de uso doméstico. Informe técnico preliminar, 39: 7-10. Santiago, Chile.
- Panzarini, R. N. (1970). Introducción a la oceanografía general. 297. Buenos Aires, Argentina: Editorial Universitaria de Buenos Aires.
- Pugh, D. T. (1996). Tides, surges and Mean Sea-Level. 486: 425-429. Swindon, UK: John Wiley & Sons Ltd.

- Raghavan, K. (2007). Energy extraction from a steady flow using Vortex Induced Vibration. Doctoral dissertation, University of Michigan, Department of Naval and Marine Engineering, Michigan, 310.
- RD-Instruments. (1996). Acoustic Doppler Current Profiler. Principles of operation a practical primer, 1-57. San Diego, California , USA: Broadband ADCPs.
- Salinas, S., & Hormazábal, S. (2004). Capacidad de transporte de la constricción de meninea para un flujo de dos capas y el efecto de la corriente de marea. *Ciencia y Tecnología del Mar*, 27, 5-15.
- SHOA. (1990). Derrotero de las costas de Chile desde Canal Chacao hasta Golfo de Penas. II, 6, 99-100. Valparaíso, Chile: SHOA.
- SHOA. (1991). Derrotero de las costas de Chile Estrecho de Magallanes y aguas adyacentes. Derroteros de las costas de Chile Volumen IV. Estrecho de Magallanes y Aguas Adyacentes., IV, 8, 109-182. Valparaíso, Chile: SHOA.
- SHOA. (1992). Publicación N° 3013. Glosario de Mareas y Corrientes, 2, 10-15. Valparaíso, Valparaíso, Chile: SHOA.
- SHOA. (2000). Derrotero de las costas de Chile Golfo de Penas hasta la boca occidental del estrecho de Magallanes. III, 6, 40a, 51. Valparaíso, Chile: SHOA.
- Silva, N., & Guzmán, D. (2006). Condiciones Oceanográficas Físicas y Químicas, entre Boca del Guafo y Fiordo Aysen (Crucero CIMAR 7 fiordos). *Revista Ciencia y Tecnología del Mar*, 29, 25-44.
- Silva, N., & Palma, S. (2006). El Programa CIMAR en los canales y fiordos australes. En N. S. (eds.), *Avances en el conocimiento oceanográfico de las aguas interiores chilenas, Puerto Montt a cabo de Hornos.* (págs. 11-15). Valparaíso, Chile: Comité Oceanográfico Nacional - Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.
- Trump, C. L., & Marmorino, G. (1997). Calibrating a gyrocompass using ADCP and DGPS data. *J. Atmos. Ocean. Technol.*, 14, 211–214.
- Valle-Levinson, A., & Blanco, J. L. (2004). Observations of wind influence on exchange flows in a strait. *Journal of Marine Research*, 62, 721–741.
- Versalovic, S. (2011). Identificación de barreras para el desarrollo de la energía marinas en Chile. Memoria de Título, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas., Santiago, 34.

7.1 REFERENCIAS DE PÁGINAS WEB

- CNE, C. N. (Octubre de 2008). Comisión Nacional de Energía. Recuperado el 17 de Octubre de 2014, de <http://www.cne.cl/estadisticas/energia/electricidad>

DIRECTEMAR. (2013). Estrecho de Magallanes, canales y fiordos Chilenos. Regulaciones y direcciones de pilotaje, rutas. Recuperado el 4 de Julio de 2014, de <http://web.directemar.cl/pilotaje/PaginaC.html>

EROSKI. (7 de Febrero de 2010). Eroski Consumer. Recuperado el 13 de Noviembre de 2013, de http://www.consumer.es/web/es/medio_ambiente/energia_y_ciencia/2008/12/22/182276.php

Sol y clima. (14 de Enero de 2009). Recuperado el 26 de Noviembre de 2013, de Sol y Clima: <http://news.soliclina.com/noticias/otras-renovables/mas-energia-gracias-al-mar-el-vivace>

8. ANEXOS

8.1 UBICACIÓN DE EXPERIMENTO DE ADCP REMOLCADO

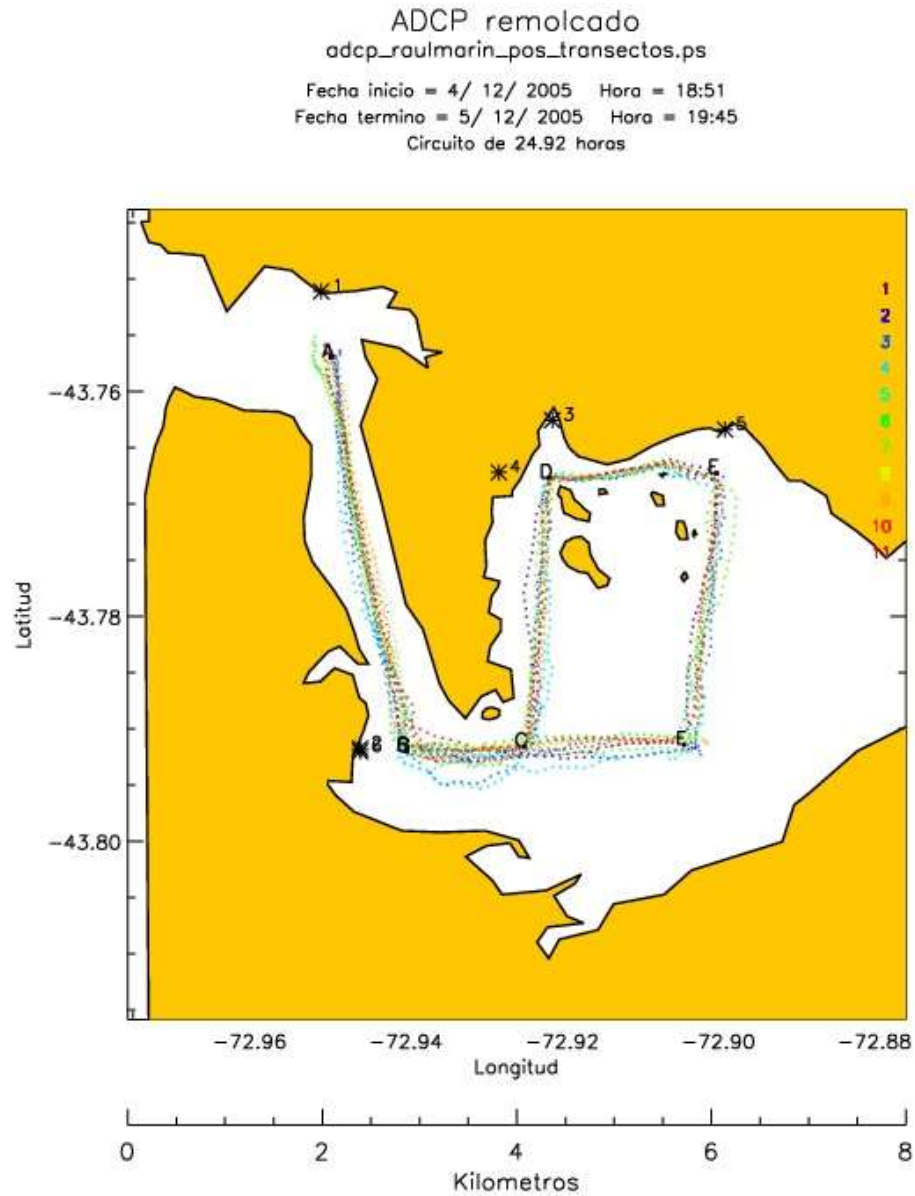


Figura 100: Medición de corriente – Canal Pitipalena.
(Díaz et al., 2011)

ADCP remolcado
adcp_quellon_pos_transectos.ps
Fecha inicio = 26/ 4/ 2009 Hora = 6:46
Fecha termina = 26/ 4/ 2009 Hora = 19:40
Circuito de 12.90 horas

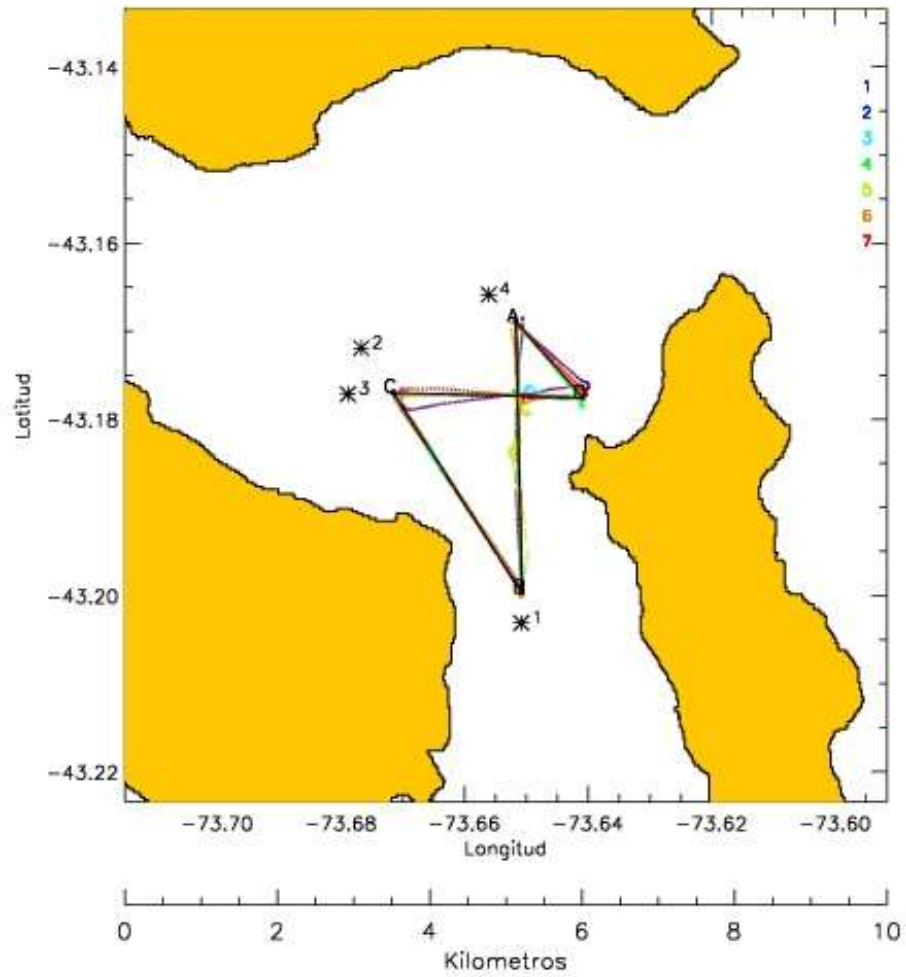


Figura 101: Medición de corriente – Canal Laitec.
(Proyecto Fondecyt 110931)

ADCP remolcado
adcp_quellon_jul2010_pos_transectos.ps
Fecha inicio = 21/ 7/ 2010 Hora = 13:51
Fecha termino = 22/ 7/ 2010 Hora = 7: 6
Circuito de 17.23 horas

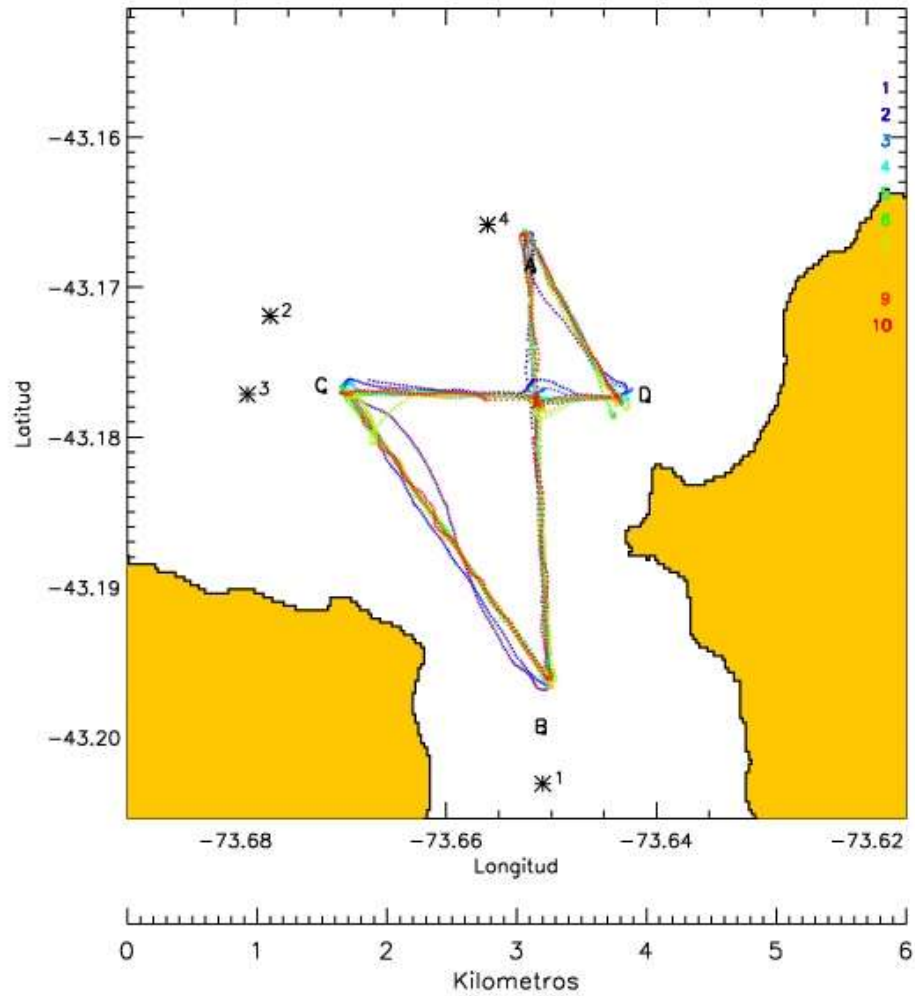


Figura 102: Medición de corriente – Laitec 2010.
(Proyecto Fondecyt 110931)

ADCP remolcado
melinka_pos_transectos.ps

Fecha inicio = 5/ 4/ 2004 Hora = 12:34
Fecha término = 6/ 4/ 2004 Hora = 1:48
Circuito de 13.25 horas

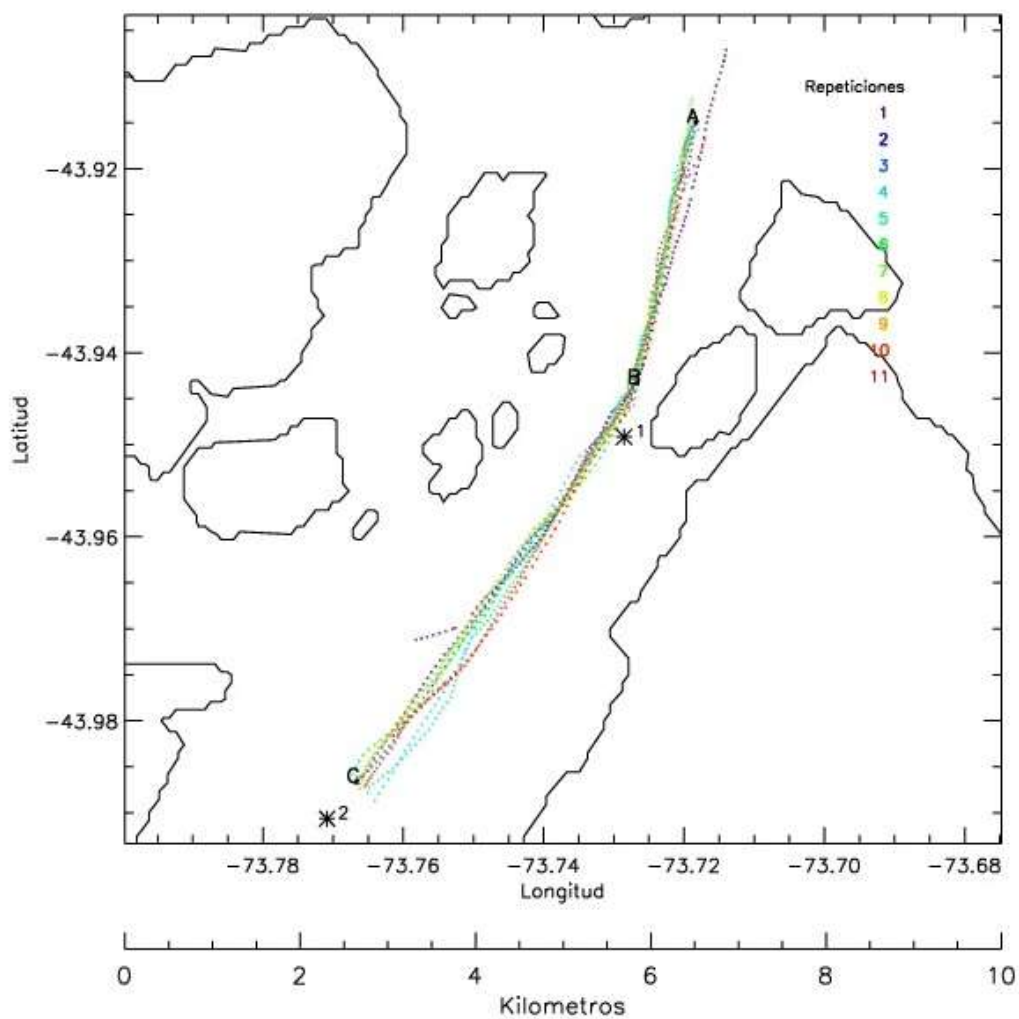


Figura 103: Medición de corriente – Canal Leucayec.
(SHOA, Campaña mediciones de corrientes 2004)

ADCP remolcado
adcp_kirke_pos_transectos.ps

Fecha inicio = 29/ 10/ 2009 Hora = 16:57
Fecha termino = 30/ 10/ 2009 Hora = 17:26
Circuito de 24.48 horas

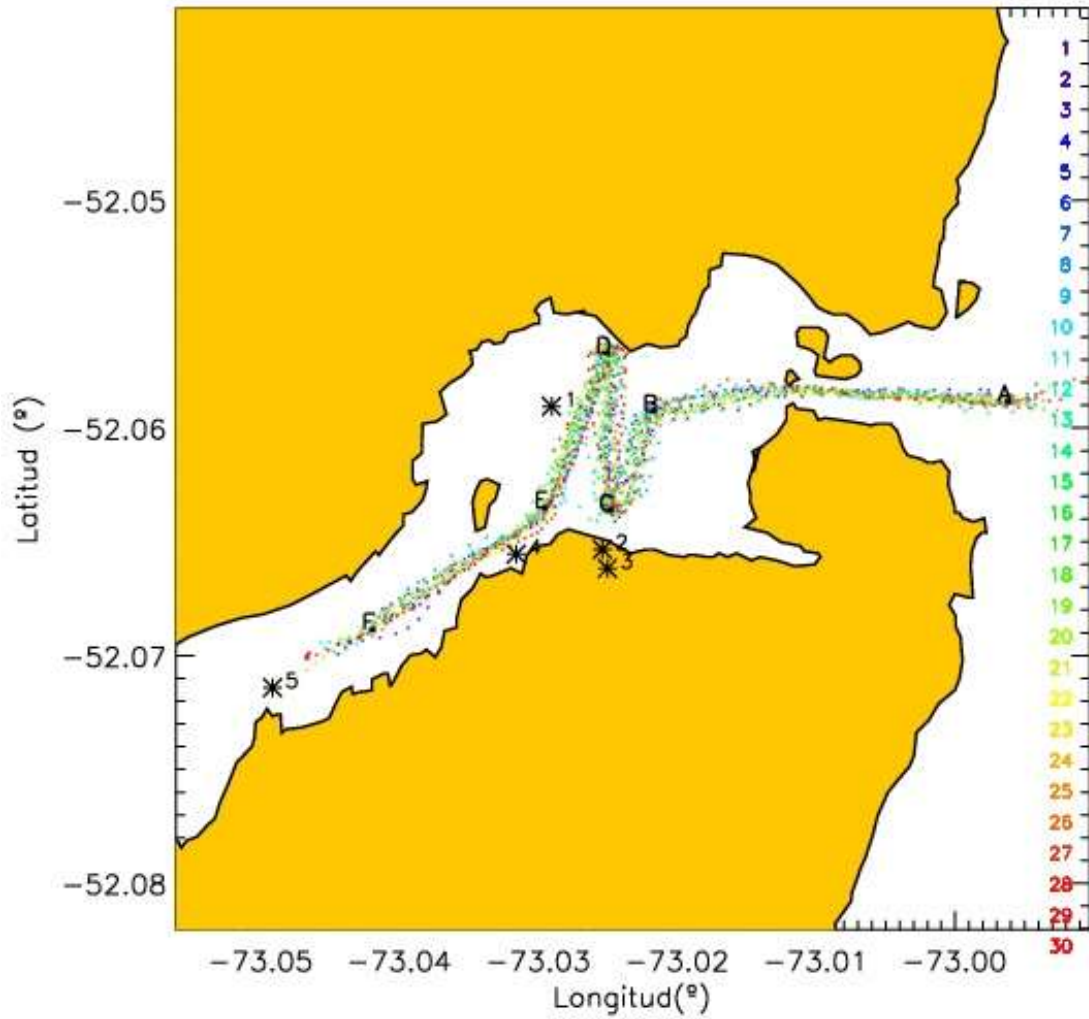


Figura 104: Medición de corriente – Angostura Kirke.
(Cáceres & Valle-Levinson, 2010)

ADCP remolcado
adcp_apiao_pos_transectos.ps

Fecha inicio = 2/ 4/ 2004 Hora = 19:37
Fecha termino = 3/ 4/ 2004 Hora = 8:43
Círculo de 13.08 horas

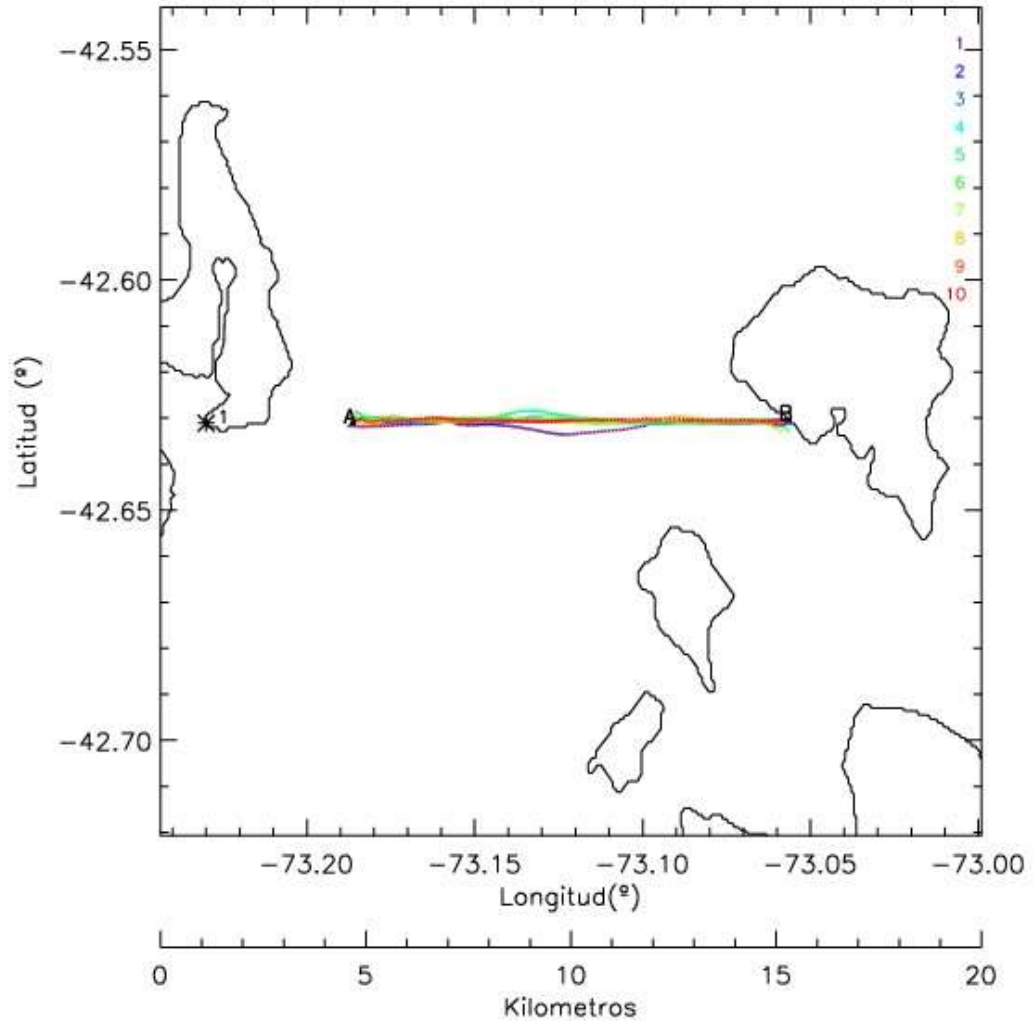


Figura 105: Medición de corrientes – Canal Apiao.
(SHOA, Campaña mediciones de corrientes 2004)

ADCP remolcado
adcp_desertores_pos_transectos.ps
Fecha inicio = 3/ 4/ 2004 Hora = 10: 8
Fecha termino = 4/ 4/ 2004 Hora = 10:16
Circuito de 24.13 horas

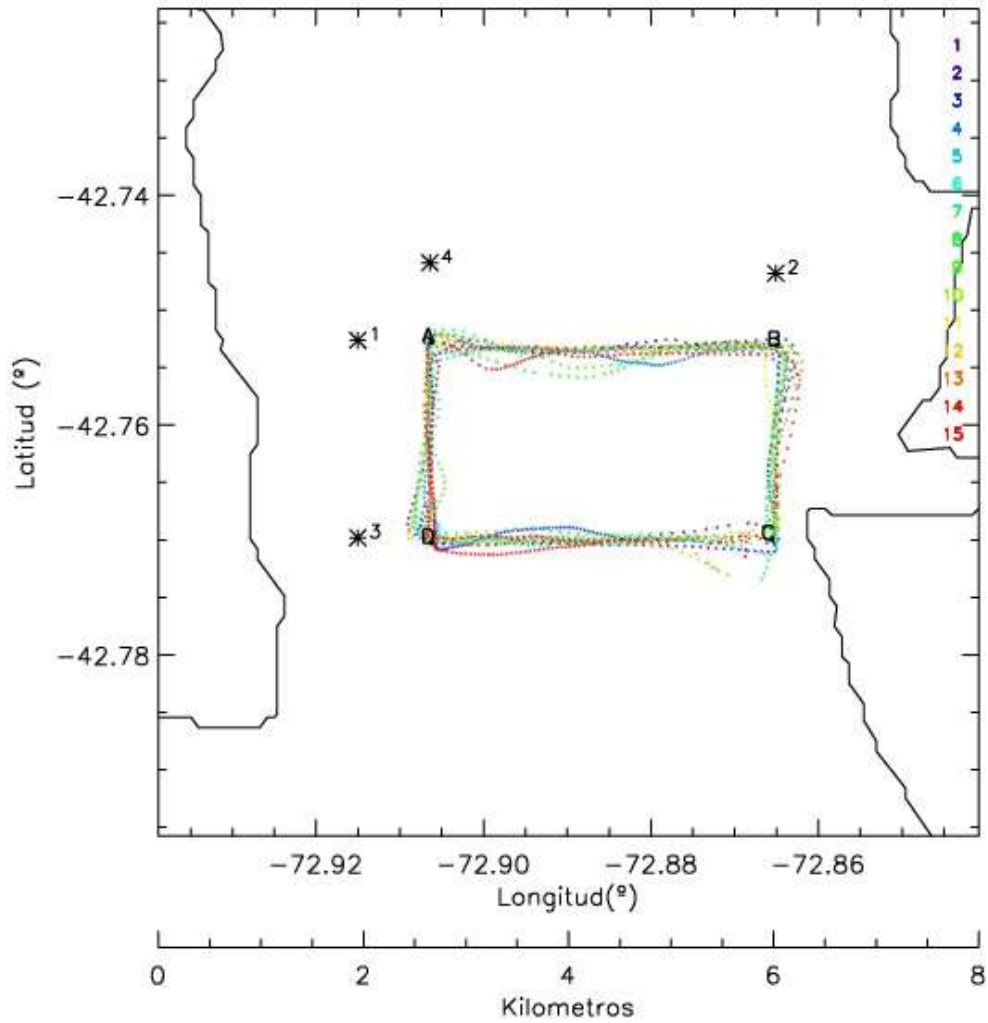


Figura 106: Medición de corriente – Canal Desertores.
(SHOA, Campaña mediciones de corrientes 2004)

8.2 CIZALLES VERTICALES

8.2.1 CANAL GABRIEL

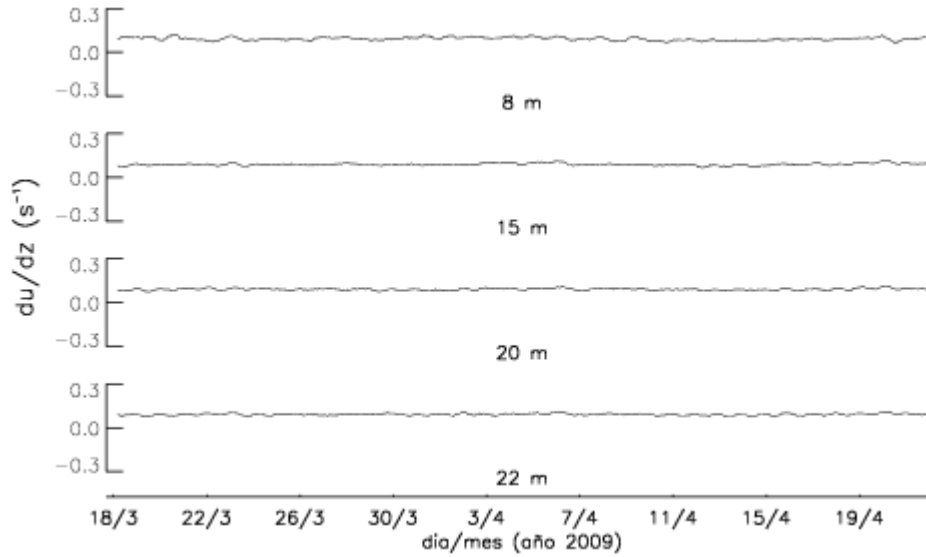


Figura 107: Canal Gabriel, Cizalles (du/dz), 2009.
(Elaboración Propia)

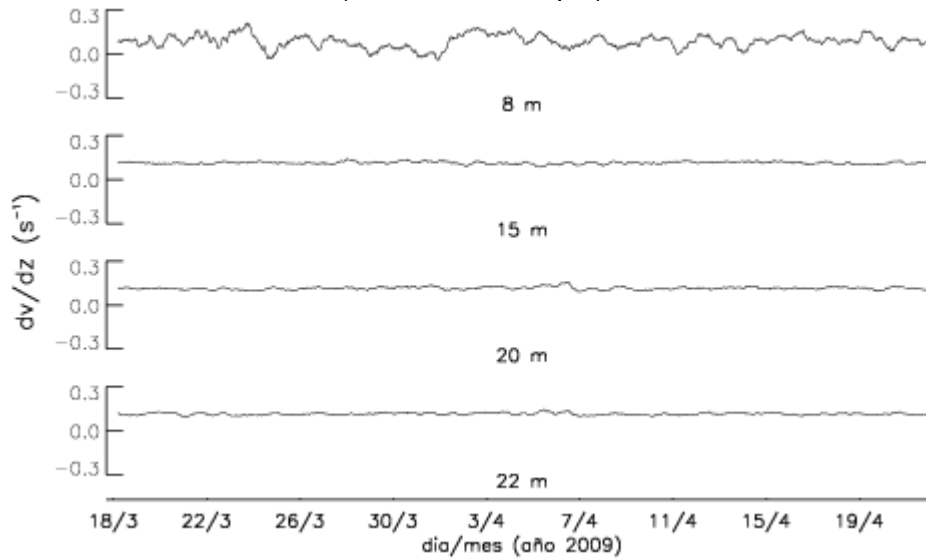


Figura 108: Canal Gabriel, Cizalles (dv/dz), 2009.
(Elaboración Propia)

8.2.2 PASO DEL INDIO

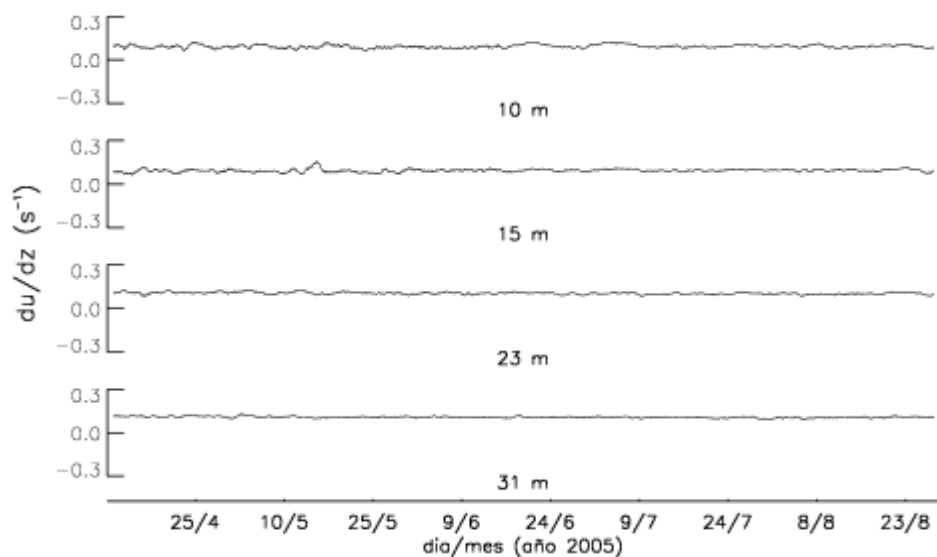


Figura 109: Paso del Indio, Cizalles (du/dz), 2005.
(Elaboración Propia)

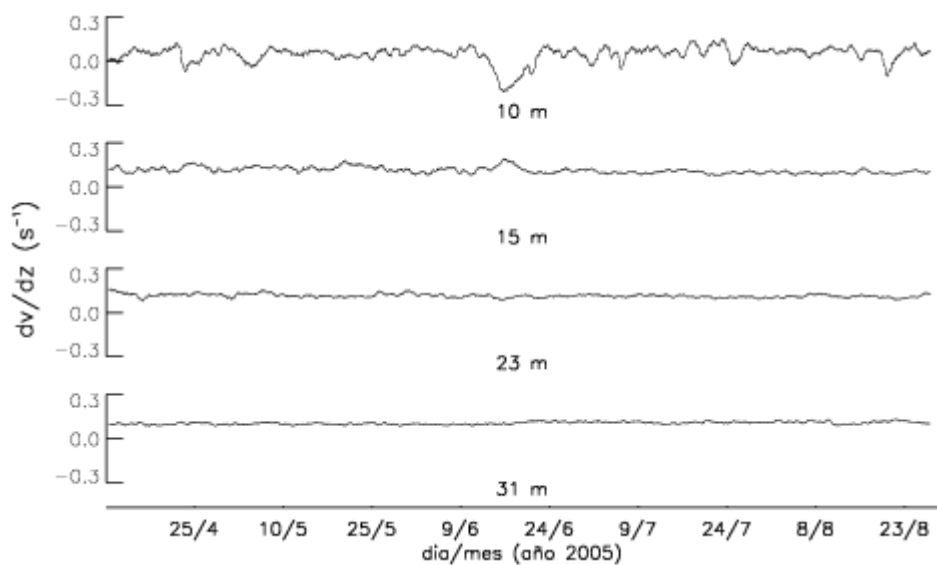


Figura 110: Paso del Indio, Cizalles (dv/dz), 2005.
(Elaboración Propia)

8.2.3 PASO MENINEA

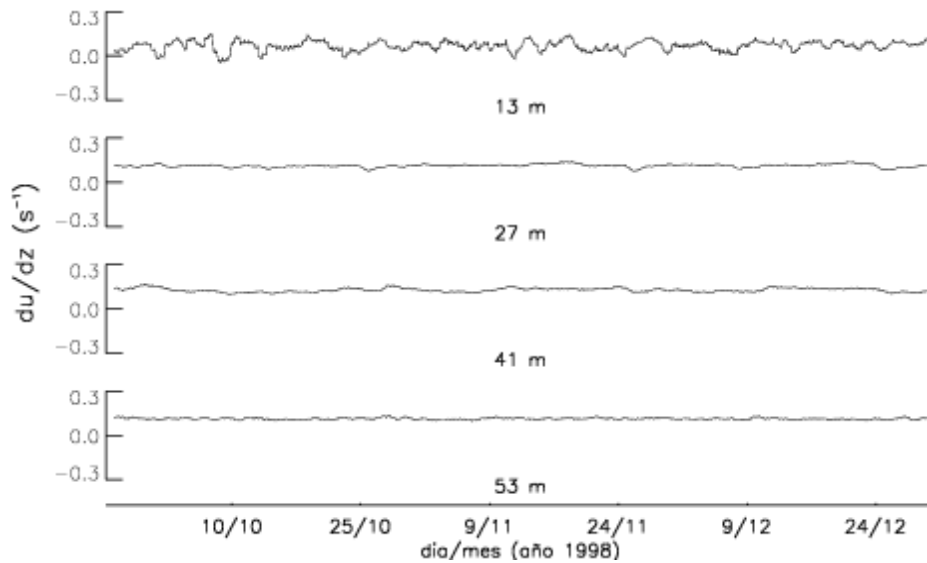


Figura 111: Canal Meninea, Cizalles (du/dz), 1998.
(Elaboración Propia)

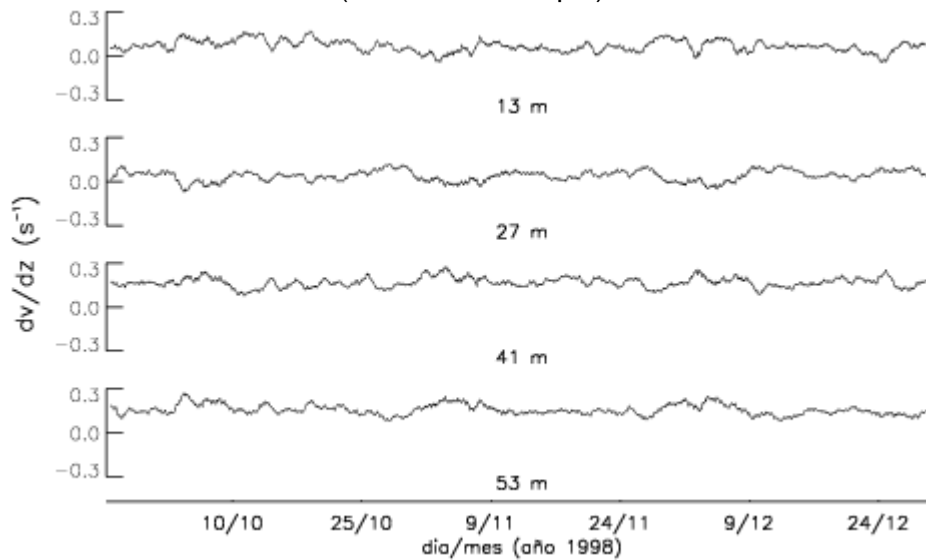


Figura 112: Canal Meninea, Cizalles (dv/dz), 1998.
(Elaboración Propia)

8.2.4 CANAL PITIPALENA

III. ZONA NORTE

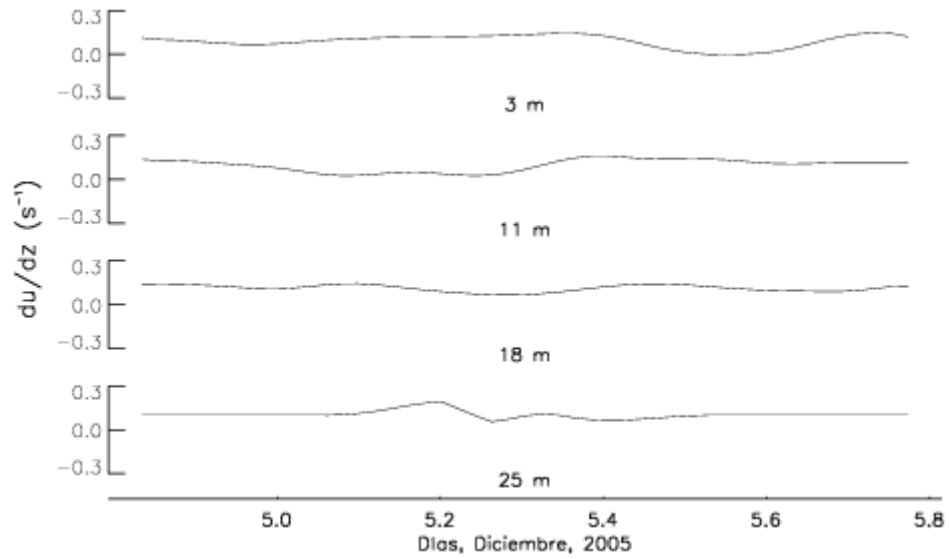


Figura 113: Canal Pitipalena – Zona Norte, Cizalles (du/dz), 2005.
(Elaboración Propia)

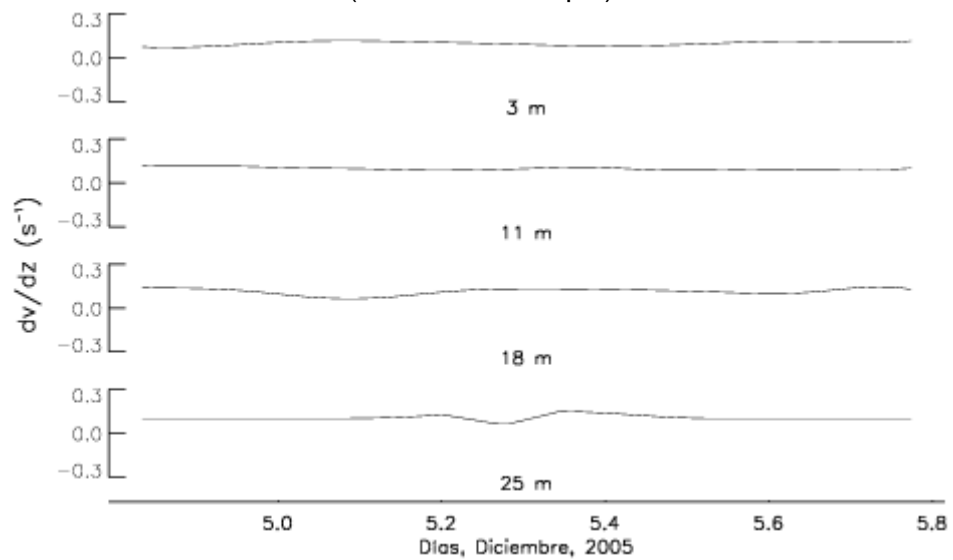


Figura 114: Canal Pitipalena – Zona Norte, Cizalles (dv/dz), 2005.
(Elaboración Propia)

IV. ZONA CENTRO

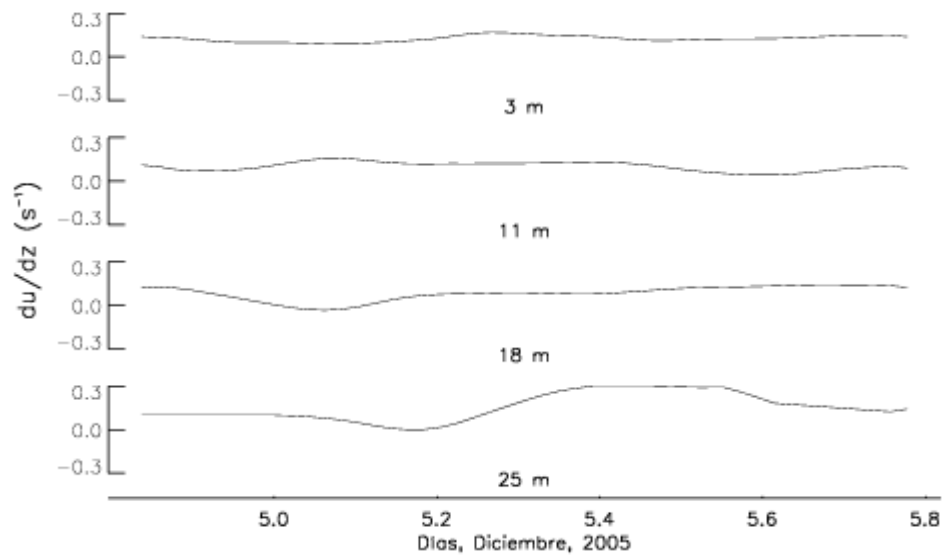


Figura 115: Canal Pitipalena – Zona Centro, Cizalles (du/dz), 2005.
(Elaboración Propia)

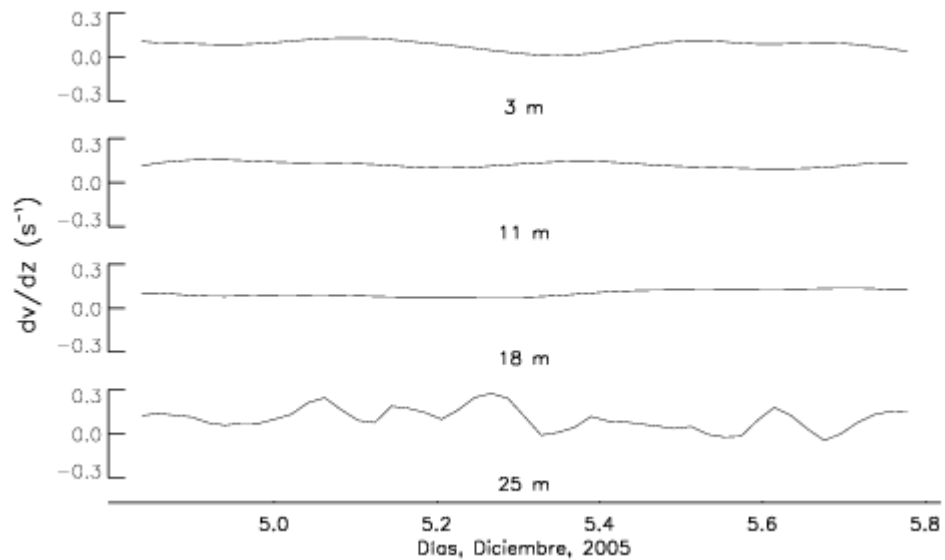


Figura 116: Canal Pitipalena – Zona Centro, Cizalles (dv/dz), 2005.
(Elaboración Propia)

V. ZONA SUR

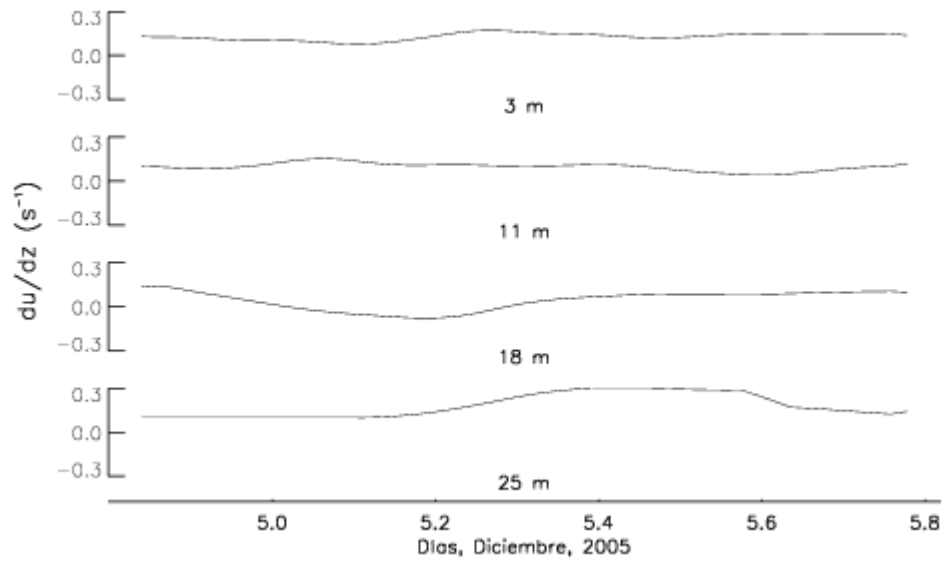


Figura 117: Canal Pitipalena – Zona Sur, Cizalles (du/dz), 2005. (Elaboración Propia)

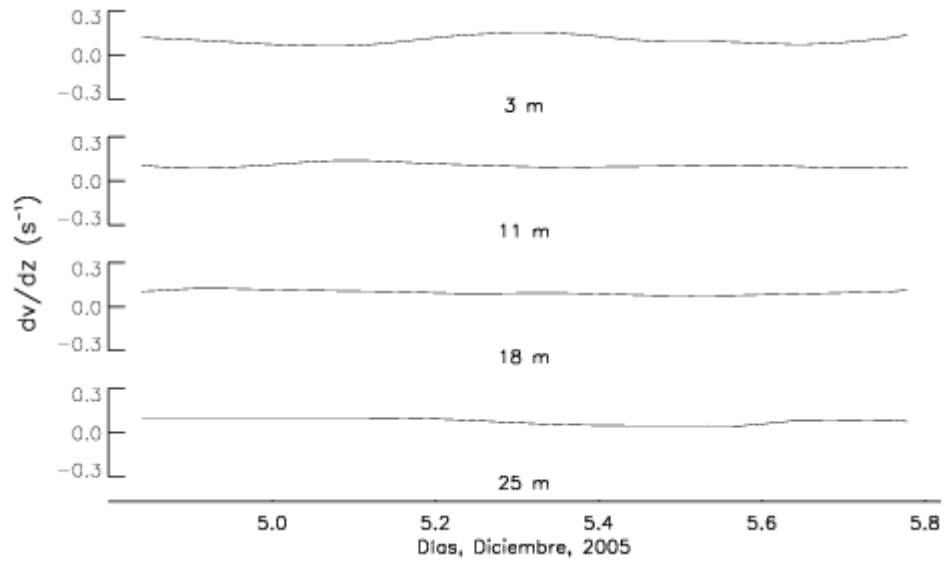


Figura 118: Canal Pitipalena – Zona Sur, Cizalles (dv/dz), 2005. (Elaboración Propia)

8.2.5 CANAL LAITEC

VI. MEDICIONES ABRIL, 2009

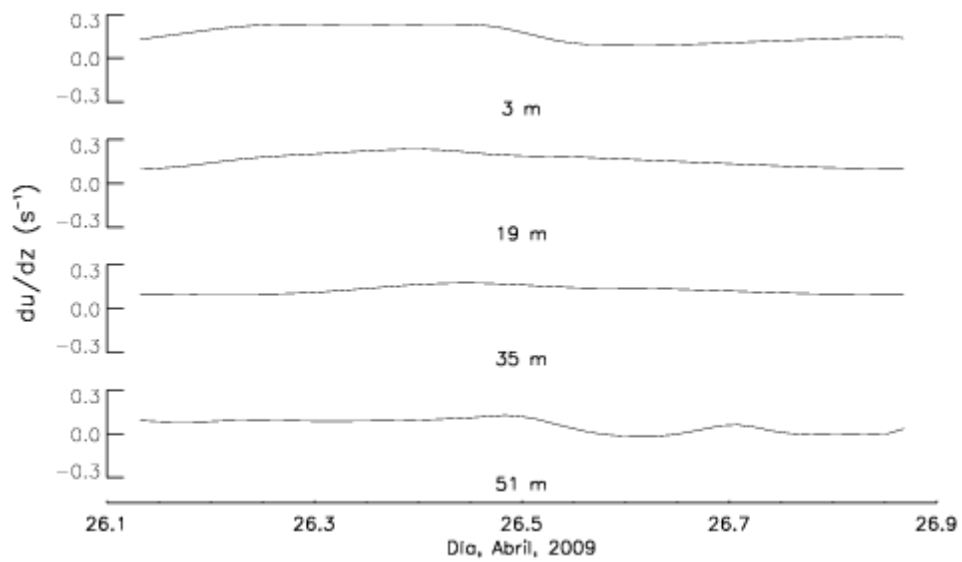


Figura 119: Canal Laitec 1, Cizalles (du/dz), 2009.
(Elaboración Propia)

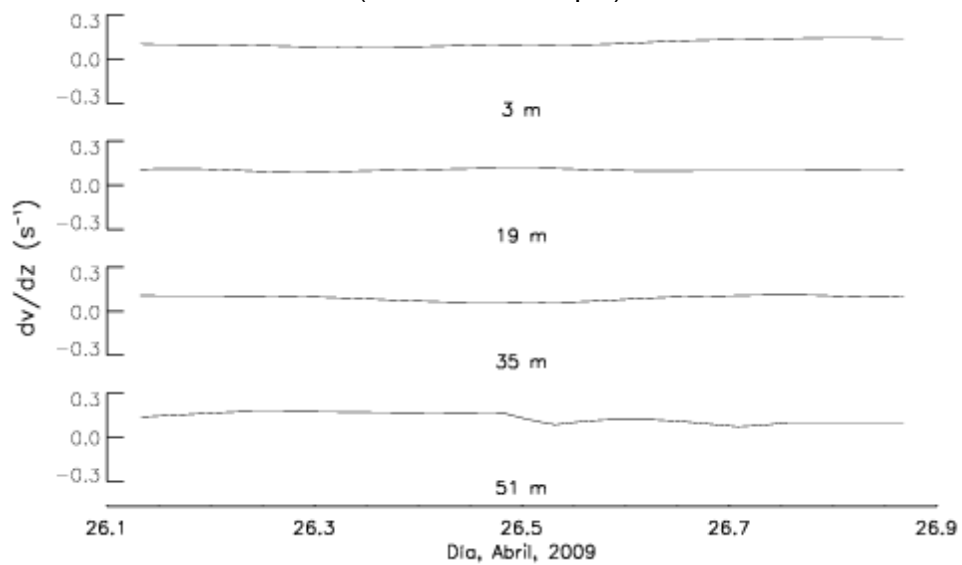


Figura 120: Canal Laitec 1, Cizalles (dv/dz), 2009.
(Elaboración Propia)

VII. MEDICIONES JULIO, 2010

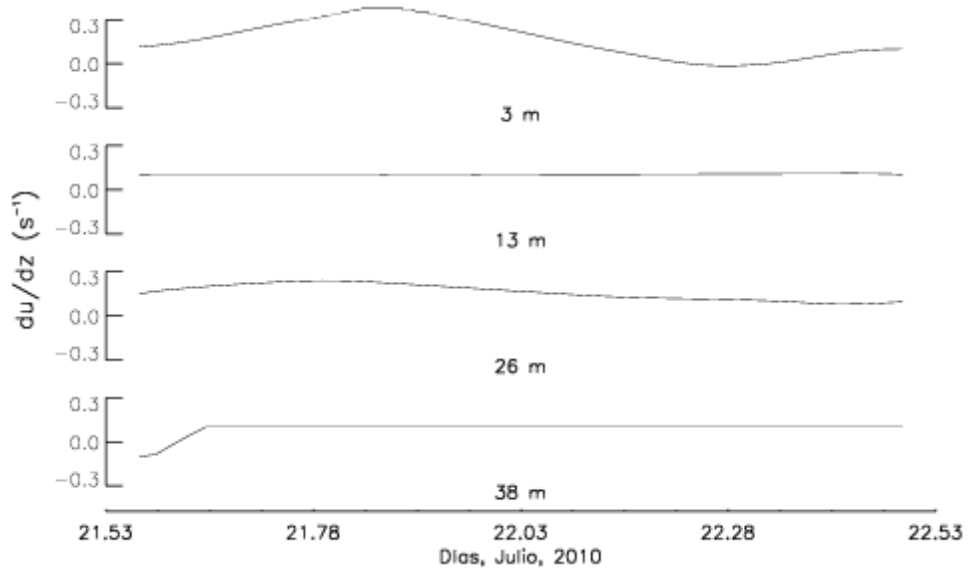


Figura 121: Canal Laitec 2, Cizalles (du/dz), 2010.
(Elaboración Propia)

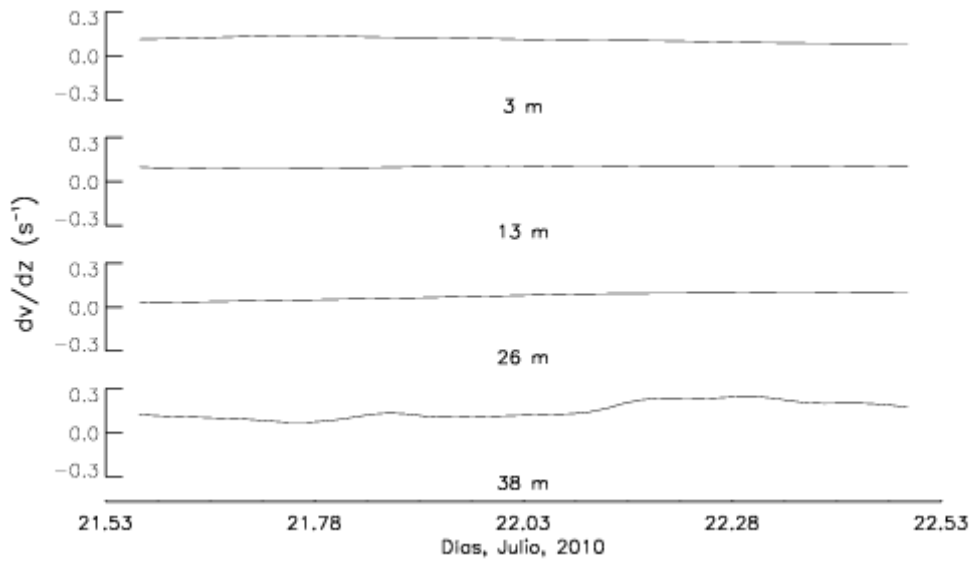


Figura 122: Canal Laitec 2, Cizalles (dv/dz), 2010.
(Elaboración Propia)

8.2.6 CANAL LEUCAYEC

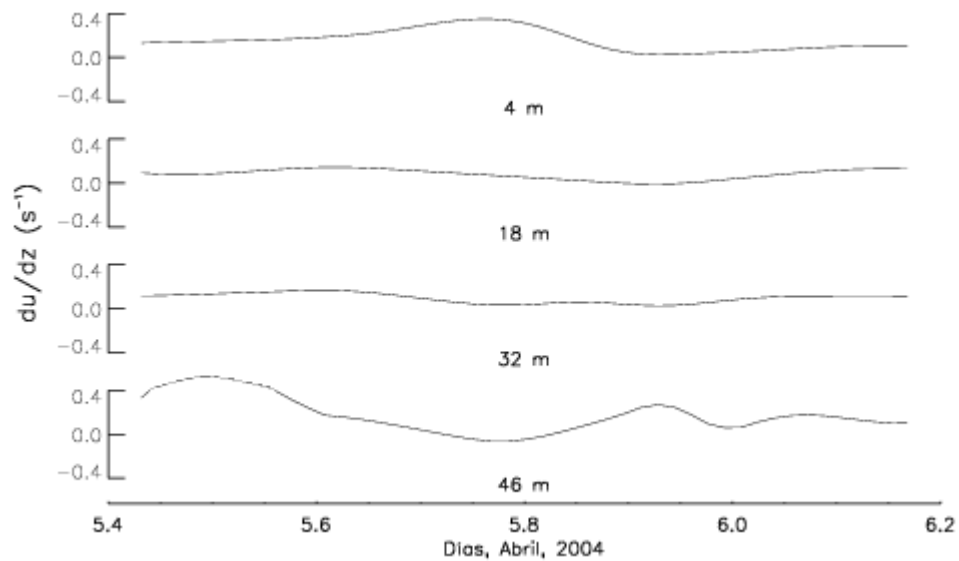


Figura 123: Canal Leucayec, Cizalles (du/dz), 2004.
(Elaboración Propia)

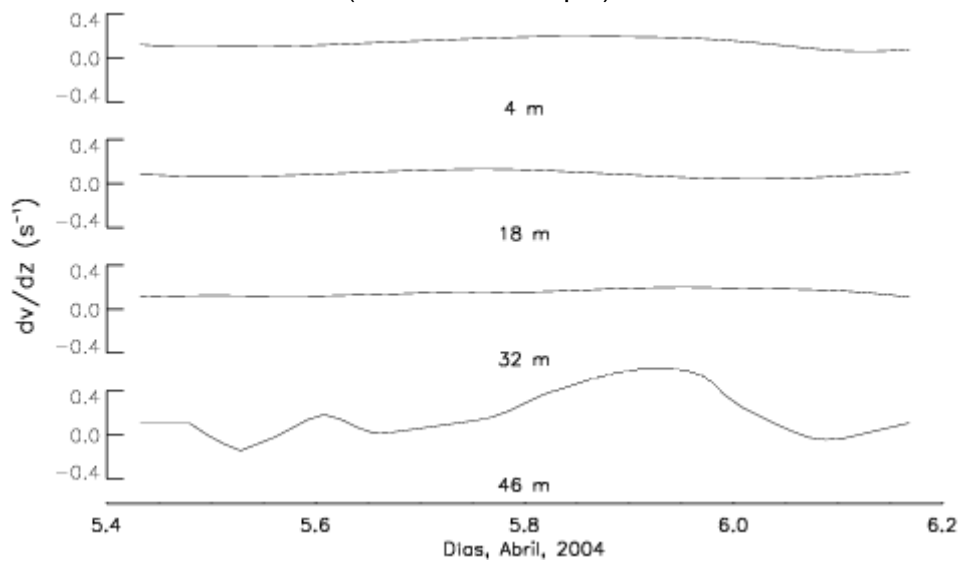


Figura 124: Canal Leucayec, Cizalles (dv/dz), 2004.
(Elaboración Propia)

8.2.7 CANAL KIRKE

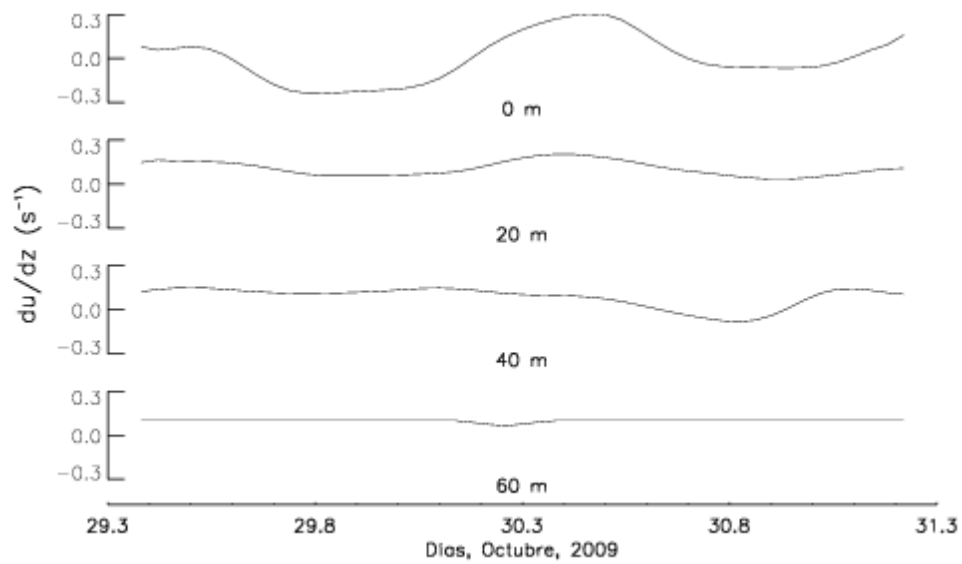


Figura 125: Canal Kirke, Cizalles (du/dz), 2009.
(Elaboración Propia)

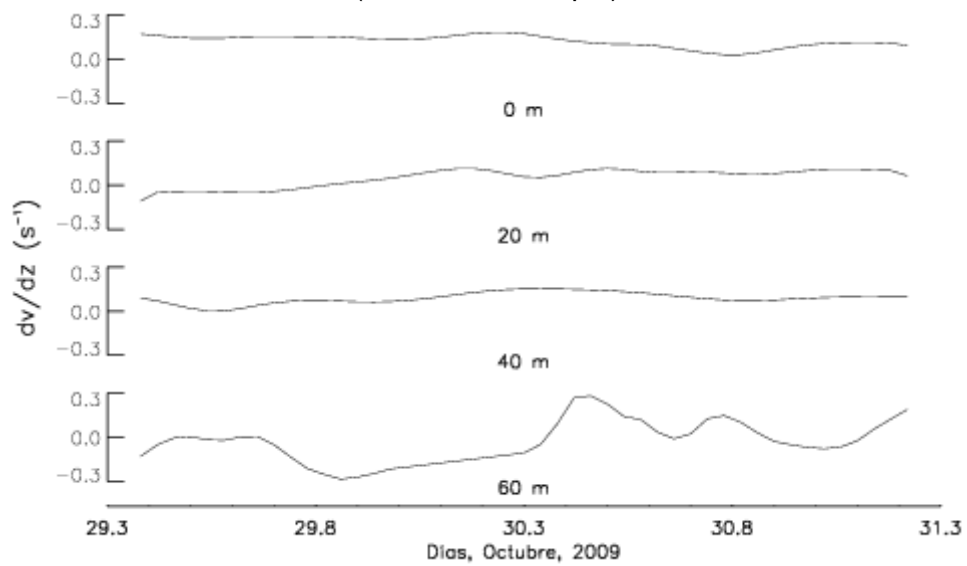


Figura 126: Canal Kirke, Cizalles (dv/dz), 2009.
(Elaboración Propia)

8.2.8 CANAL APIAO

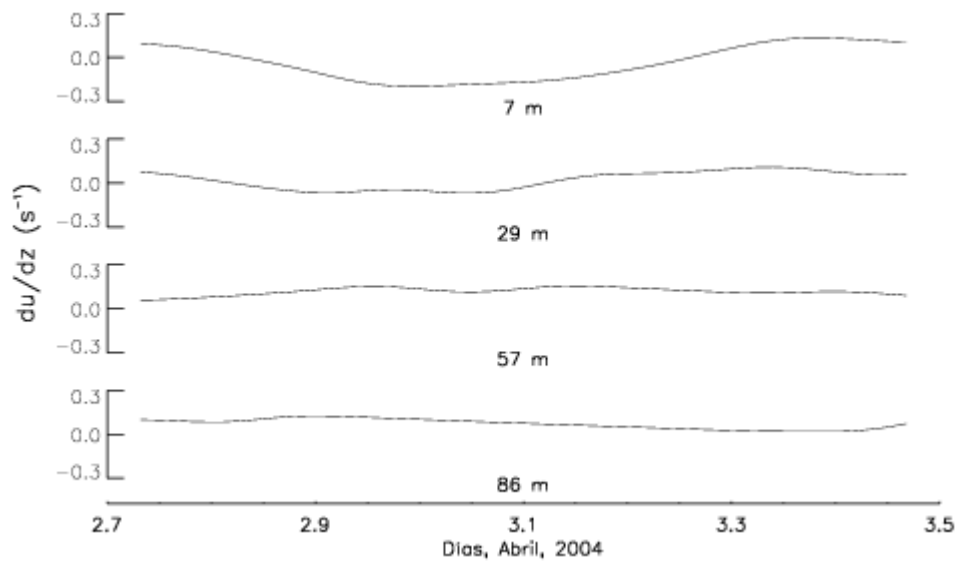


Figura 127: Canal Apiao, Cizalles (du/dz), 2004.
(Elaboración Propia)

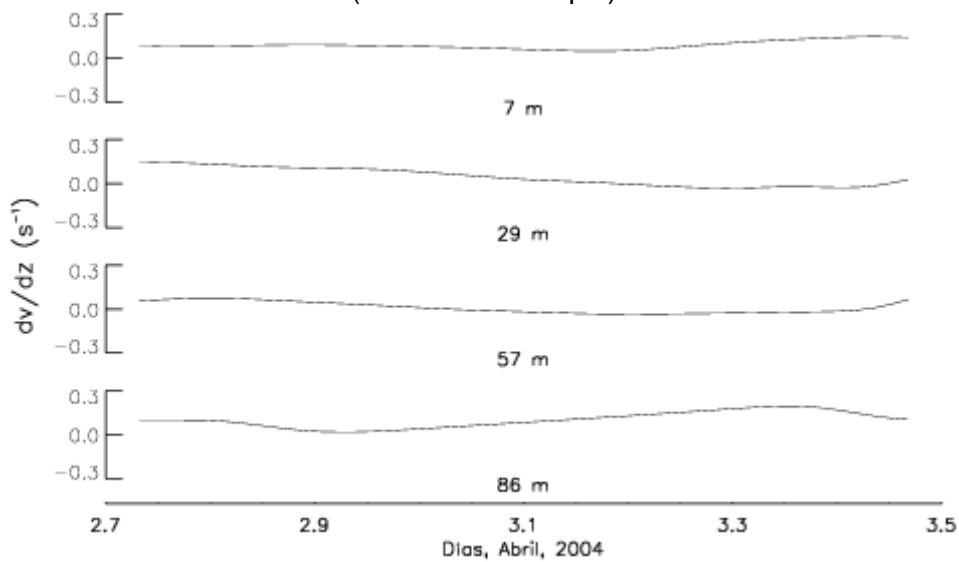


Figura 128: Canal Apiao, Cizalles (dv/dz), 2004.
(Elaboración Propia)

8.2.9 CANAL DESERTORES

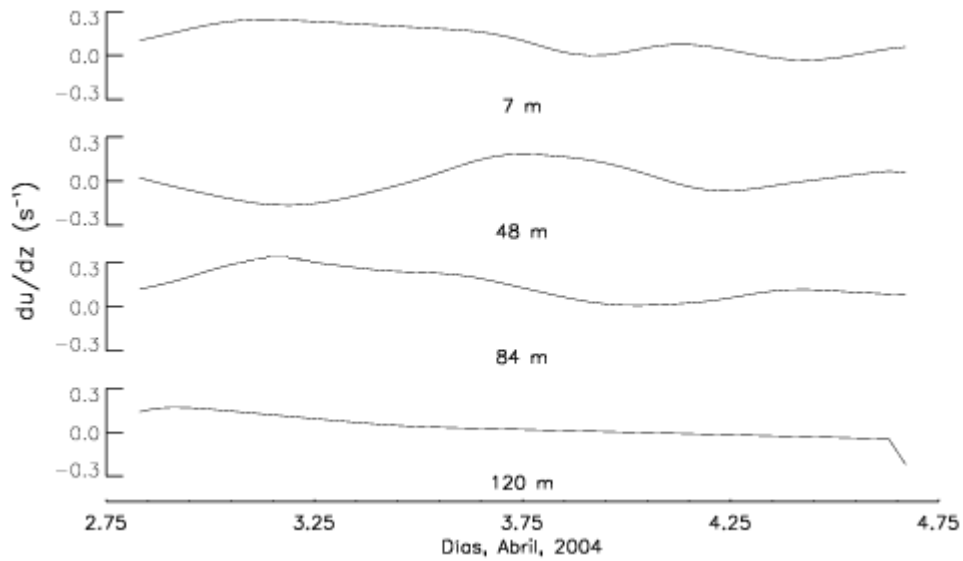


Figura 129: Canal Desertores, Cizalles (du/dz), 2004.
(Elaboración Propia)

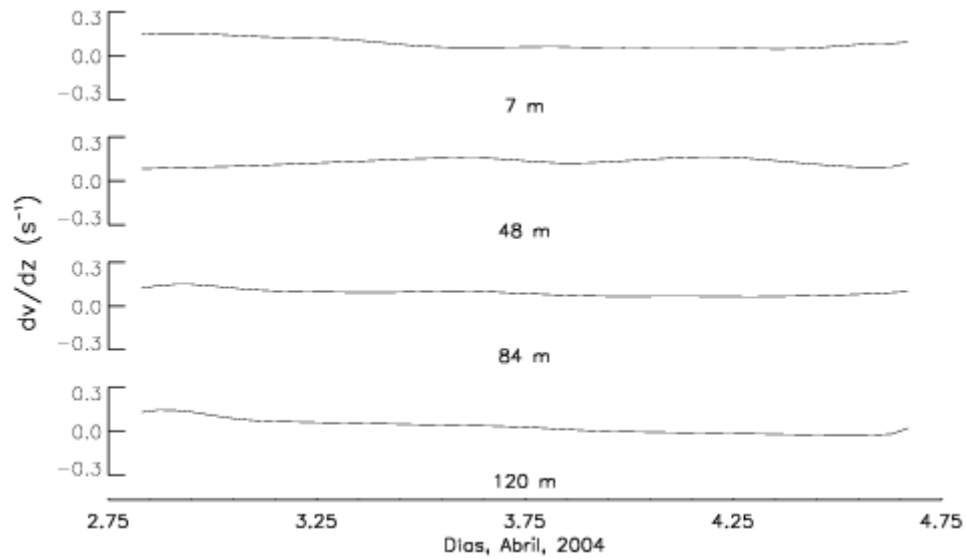


Figura 130: Canal Desertores, Cizalles (dv/dz), 2004.
(Elaboración Propia)

8.3 FRECUENCIA DIRECCIONAL

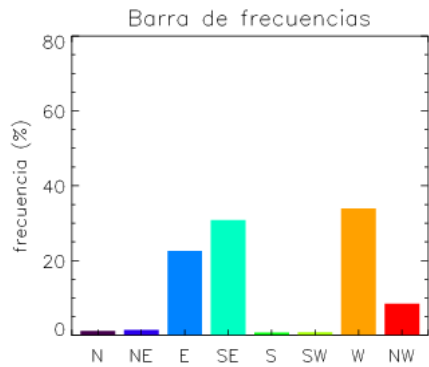


Figura 131: Barras de Frecuencia, Canal Gabriel.
(Elaboración Propia)

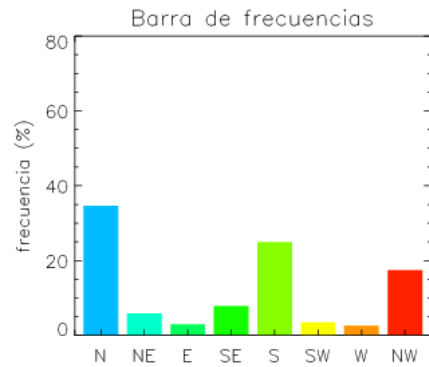


Figura 132: Barras de Frecuencia, Paso del Indio.
(Elaboración Propia)

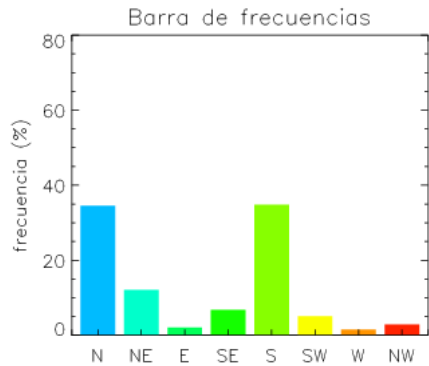


Figura 133: Barras de Frecuencia, Paso Meninea.
(Elaboración Propia)

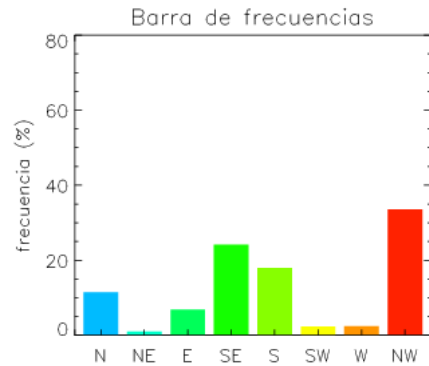


Figura 134: Barras de Frecuencia, Canal Pitipalena – Norte.
(Elaboración Propia)

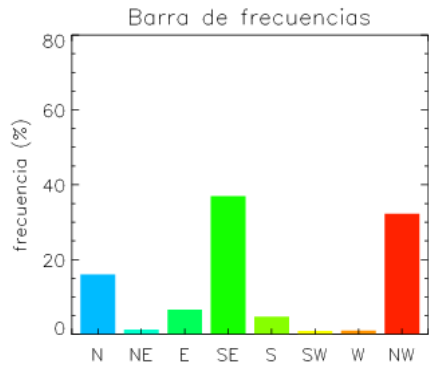


Figura 135: Barras de Frecuencia, Canal Pitipalena – Centro.
(Elaboración Propia)

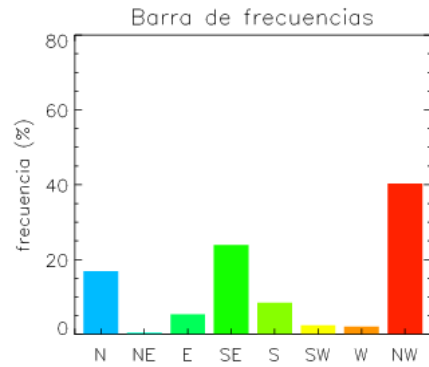


Figura 136: Barras de Frecuencia, Canal Pitipalena – Sur.
(Elaboración Propia)

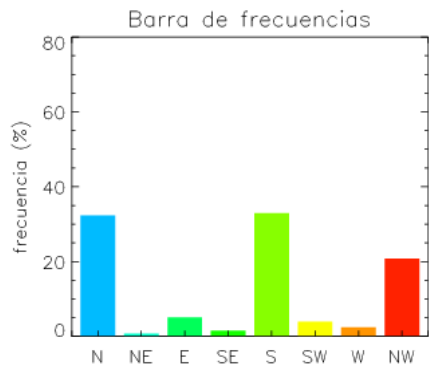


Figura 137: Barras de Frecuencia, Canal Laitec – Abril 2009. (Elaboración Propia)

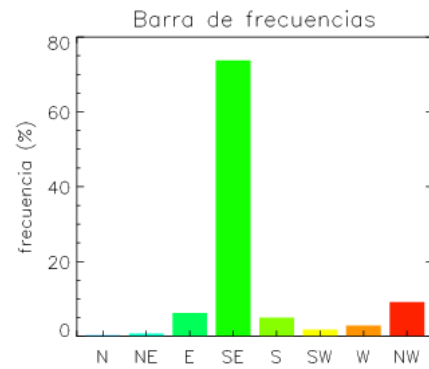


Figura 138: Barras de Frecuencia, Canal Laitec – Julio 2010. (Elaboración Propia)



Figura 139: Barras de Frecuencia, Canal Leucayec. (Elaboración Propia)

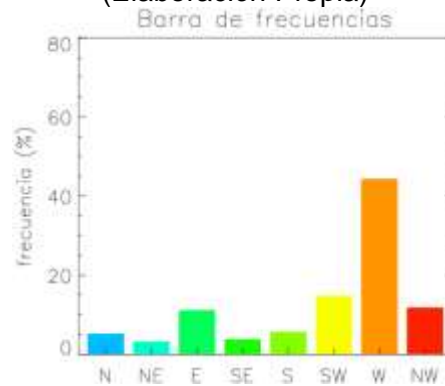


Figura 140: Barras de Frecuencia, Angostura Kirke. (Elaboración Propia)



Figura 141: Barras de Frecuencia, Canal Apiao. (Elaboración Propia)

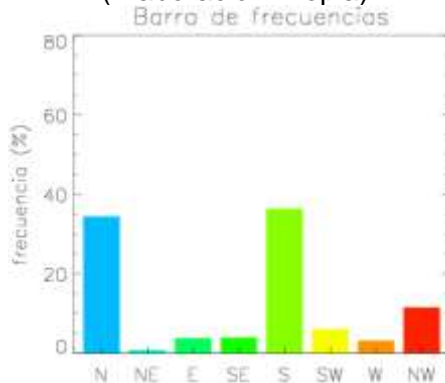


Figura 142: Barras de Frecuencia, Canal Desertores. (Elaboración Propia)

8.4 TABLAS RESUMEN, CONSTITUYENTES DE MAREA.

Tabla 8-1: Tabla resumen constituyentes de marea Canal Gabriel.
A 8, 20 y 22 metros de profundidad, con A [cm/s] y σ [rad], Amplitud y Fase respectivamente.
(Elaboración Propia)

Profundidad [m]	Canal Gabriel					
	8		20		22	
Componente	u	v	u	v	u	v
Corriente Residual [cm/s]	24,51	-15,45	15,16	-7,44	13,86	-6,17
M2 (A [cm/s])	106,58	42,72	94,30	34,40	91,59	33,34
M2 (σ [rad])	-2,18	0,95	-2,18	0,97	-2,18	0,98
K1 (A [cm/s])	22,39	9,84	18,98	7,13	18,42	6,71
K1 (σ [rad])	2,45	-0,77	2,49	-0,71	2,49	-0,72
S2 (A [cm/s])	52,71	21,49	45,95	16,57	44,43	15,99
S2 (σ [rad])	-1,55	1,58	-1,54	1,63	-1,54	1,63
N2 (A [cm/s])	12,27	4,62	11,14	3,76	10,70	3,62
N2 (σ [rad])	3,06	-0,12	3,01	-0,03	3,01	0,00
O1 (A [cm/s])	19,80	8,61	16,64	6,35	15,89	6,03
O1 (σ [rad])	-2,54	0,61	-2,59	0,58	-2,59	0,60
M4 (A [cm/s])	3,93	3,55	2,90	0,90	3,40	0,93
M4 (σ [rad])	2,28	-1,74	-2,66	-0,80	-2,43	-0,09
M6 (A [cm/s])	24,75	9,57	21,77	7,56	21,12	7,32
M6 (σ [rad])	-2,31	0,88	-2,36	0,85	-2,37	0,85
% de varianza explicada	80,46	78,11	81,87	80,48	81,88	80,63
Coefficiente de Amplitud (M4/M2)	0,04	0,08	0,03	0,03	0,04	0,03

Tabla 8-2: Tabla resumen constituyentes de marea Paso del Indio, para las profundidades 10, 23 y 31 metros, con A [cm/s] y σ [rad], Amplitud y Fase respectivamente.
(Elaboración Propia)

Profundidad [m]	Paso del Indio					
	10		23		31	
Componente	u	v	u	v	u	v
Corriente Residual [cm/s]	-5,96	8,27	-3,38	15,20	-0,08	9,80
M2 (A [cm/s])	9,58	30,48	7,30	23,36	1,96	10,80
M2 (σ [rad])	-2,95	0,41	-3,03	0,42	-2,87	0,92
K1 (A [cm/s])	3,58	9,98	2,31	6,14	0,99	3,44
K1 (σ [rad])	2,54	-0,59	2,49	-0,58	2,46	-0,40
S2 (A [cm/s])	3,15	8,45	1,98	4,37	0,96	2,41
S2 (σ [rad])	-2,42	0,78	-2,78	0,72	3,13	0,79
N2 (A [cm/s])	2,47	6,45	2,32	5,49	0,91	2,92
N2 (σ [rad])	2,05	-0,85	2,37	-0,36	2,35	-0,17
O1 (A [cm/s])	2,81	8,37	2,00	4,58	0,94	2,94
O1 (σ [rad])	-0,70	2,43	-0,64	2,62	-0,58	2,78
M4 (A [cm/s])	4,76	10,85	2,67	9,12	0,72	5,93
M4 (σ [rad])	1,05	-2,15	1,23	-1,72	1,21	-1,72
M6 (A [cm/s])	1,29	1,32	0,60	2,46	0,23	1,84
M6 (σ [rad])	-2,19	1,02	-3,02	0,69	2,76	1,49
% de varianza explicada	35,06	48,60	43,60	56,02	14,40	31,06
Coefficiente de Amplitud (M4/M2)	0,50	0,36	0,37	0,39	0,37	0,55

Tabla 8-3: Tabla resumen constituyentes de marea Paso Meninea, para las profundidades 13, 41 y 53 metros, con A [cm/s] y σ [rad], Amplitud y Fase respectivamente.
(Elaboración Propia)

Profundidad [m]	Paso Meninea					
	13		41		53	
Componente	u	v	u	v	u	v
Corriente Residual [cm/s]	3,83	10,12	8,84	0,86	8,81	-14,19
M2 (A [cm/s])	3,69	31,19	6,02	53,66	2,66	42,98
M2 (σ [rad])	1,50	0,87	0,72	0,49	-2,17	0,62
K1 (A [cm/s])	0,78	1,95	1,36	8,07	0,81	8,07
K1 (σ [rad])	1,75	0,10	0,45	-0,04	0,00	-0,02
S2 (A [cm/s])	2,26	6,08	1,02	15,91	1,25	11,61
S2 (σ [rad])	-2,27	2,80	2,83	2,30	0,01	2,47
N2 (A [cm/s])	1,71	8,96	1,13	15,14	0,77	13,37
N2 (σ [rad])	-0,03	-2,56	-1,67	-2,41	2,03	-2,43
O1 (A [cm/s])	1,02	1,94	2,05	4,97	1,94	6,28
O1 (σ [rad])	3,01	-1,00	2,36	2,00	2,04	1,98
M4 (A [cm/s])	1,59	8,07	6,70	2,53	5,68	6,29
M4 (σ [rad])	0,00	2,45	-0,76	-0,39	-0,50	-1,79
M6 (A [cm/s])	0,50	1,40	1,93	2,82	2,41	0,45
M6 (σ [rad])	0,27	1,40	1,23	-0,80	2,93	1,81
% de varianza explicada	9,19	49,03	34,48	91,91	23,84	85,53
Coeficiente de Amplitud (M4/M2)	2,31	3,87	0,90	21,24	0,47	6,83

Tabla 8-4: Tabla resumen constituyentes de marea Canal Pitipalena – Norte, para las profundidades 2, 19 y 24 metros, con A [cm/s] y σ [rad], Amplitud y Fase respectivamente.
(Elaboración Propia)

Profundidad [m]	Canal Pitipalena Norte					
	2		19		24	
Componente	u	v	u	v	u	v
Corriente Residual [cm/s]	-5,13	12,81	-0,76	-2,10	-1,60	0,48
M2 (A [cm/s])	37,89	92,24	12,39	36,81	1,88	2,37
M2 (σ [rad])	-1,71	1,34	-2,29	1,25	-0,95	3,08
K1 (A [cm/s])	4,81	19,50	6,46	11,50	2,68	1,80
K1 (σ [rad])	0,97	-2,60	-2,70	2,73	1,75	-0,49
% de varianza explicada	87,62	98,08	91,42	85,99	87,95	61,23

Tabla 8-5: Tabla resumen constituyentes de marea Canal Pitipalena – Centro, para las profundidades 2, 18 y 23 metros, con A [cm/s] y σ [rad], Amplitud y Fase respectivamente.
(Elaboración Propia)

Profundidad [m]	Canal Pitipalena Centro					
	2		18		23	
Componente	u	v	u	v	u	v
Corriente Residual [cm/s]	-12,50	22,23	-1,24	3,62	-0,78	9,68
M2 (A [cm/s])	47,50	78,43	20,59	35,46	2,07	1,39
M2 (σ [rad])	-1,72	1,38	-2,12	0,96	3,10	1,67
K1 (A [cm/s])	8,19	21,03	9,89	19,32	5,03	13,80
K1 (σ [rad])	1,15	-2,66	1,99	-0,94	-0,44	2,97
% de varianza explicada	91,51	97,91	88,42	90,25	81,47	75,73

Tabla 8-6: Tabla resumen constituyentes de marea Canal Pitipalena – Sur, para las profundidades 2, 18 y 23 metros, con A [cm/s] y σ [rad], Amplitud y Fase respectivamente.
(Elaboración Propia)

Profundidad [m]	Canal Pitipalena Sur					
	2		18		23	
Componente	u	v	u	v	u	v
Corriente Residual [cm/s]	-12,50	-14,12	-1,24	-19,01	-0,78	-2,67
M2 (A [cm/s])	47,50	46,76	20,59	7,04	2,07	0,49
M2 (σ [rad])	-1,72	-1,72	-2,12	-0,94	3,10	-1,03
K1 (A [cm/s])	8,19	6,68	9,89	14,34	5,03	2,87
K1 (σ [rad])	1,15	1,09	1,99	2,13	-0,44	0,22
% de varianza explicada	91,51	89,31	88,42	87,96	81,47	85,71

Tabla 8-7: Tabla resumen constituyentes de marea Canal Laitec, Abril 2009, para las profundidades 2, 37 y 48 metros, con A [cm/s] y σ [rad], Amplitud y Fase respectivamente.
(Elaboración Propia)

Profundidad [m]	Canal Laitec, Abril 2009					
	2		37		48	
Componente	u	v	u	v	u	v
Corriente Residual [cm/s]	14,60	-46,12	18,79	-23,57	0,26	16,70
M2 (A [cm/s])	22,28	63,08	12,06	15,96	0,96	20,42
M2 (σ [rad])	-2,00	1,09	-0,56	-0,33	-2,07	-0,78
K1 (A [cm/s])	37,72	109,90	31,43	39,61	0,88	33,85
K1 (σ [rad])	2,93	-0,27	-2,95	0,05	2,39	-3,03
% de varianza explicada	86,18	85,03	92,78	98,79	76,54	80,14

Tabla 8-8: Tabla resumen constituyentes de marea Canal Laitec, Julio 2010, para las profundidades 2, 28 y 36 metros, con A [cm/s] y σ [rad], Amplitud y Fase respectivamente.
(Elaboración Propia)

Profundidad [m]	Canal Laitec, Julio 2010					
	2		28		36	
Componente	u	v	u	v	u	v
Corriente Residual [cm/s]	8,10	-12,86	29,82	-18,29	9,91	-5,62
M2 (A [cm/s])	52,43	44,09	13,14	8,43	5,23	2,92
M2 (σ [rad])	2,22	-0,89	2,16	-1,05	2,84	-0,33
K1 (A [cm/s])	16,49	9,43	25,59	15,58	13,90	7,87
K1 (σ [rad])	2,24	-0,45	0,42	-2,71	1,98	-1,18
% de varianza explicada	97,49	98,09	97,84	97,72	99,09	99,14

Tabla 8-9: Tabla resumen constituyentes de marea Canal Leucayec, para las profundidades 4, 35 y 45 metros, con A [cm/s] y σ [rad], Amplitud y Fase respectivamente.
(Elaboración Propia)

Profundidad [m]	Canal Leucayec					
	4		35		45	
Componente	u	v	u	v	u	v
Corriente Residual [cm/s]	-25,54	-23,73	20,93	134,40	15,97	-51,21
M2 (A [cm/s])	38,45	178,28	2,48	52,64	18,50	50,72
M2 (σ [rad])	1,46	1,02	-2,04	0,34	-1,22	1,72
K1 (A [cm/s])	49,3704	125,13	3,11	148,78	14,49	67,93
K1 (σ [rad])	0,07	-0,73	-2,46	3,10	-3,06	-0,05
% de varianza explicada	71,54	85,99	84,06	98,25	81,30	75,33

Tabla 8-10: Tabla resumen constituyentes de marea Angostura Kirke, para las profundidades 3, 59 y 89 metros, con A [cm/s] y σ [rad], Amplitud y Fase respectivamente.
(Elaboración Propia)

Profundidad [m]	Angostura Kirke					
	0		40		60	
Componente	u	v	u	v	u	v
Corriente Residual [cm/s]	-62,08	2,75	-7,43	-0,68	0,07	-0,69
M2 (A [cm/s])	106,59	30,53	3,87	6,51	0,12	1,05
M2 (σ [rad])	-2,10	-2,03	1,76	0,25	1,47	-1,08
K1 (A [cm/s])	10,94	4,20	17,06	8,79	0,12	1,20
K1 (σ [rad])	-1,47	-0,58	0,15	1,15	-1,78	1,71
% de varianza explicada	82,61	70,98	81,38	72,97	61,14	63,37

Tabla 8-11: Tabla resumen constituyentes de marea Canal Apiao, para las profundidades 7, 57 y 86 metros, con A [cm/s] y σ [rad], Amplitud y Fase respectivamente.
(Elaboración Propia)

Profundidad [m]	Canal Apiao					
	7		57		86	
Componente	u	v	u	v	u	v
Corriente Residual [cm/s]	-61,09	-94,68	-17,17	-60,28	-6,10	4,52
M2 (A [cm/s])	33,95	38,86	17,98	42,41	9,32	22,12
M2 (σ [rad])	1,36	-0,65	-0,33	-0,57	2,53	0,13
K1 (A [cm/s])	52,55	104,07	12,72	81,58	6,43	26,23
K1 (σ [rad])	0,19	0,01	2,69	-0,01	0,63	-2,70
% de varianza explicada	95,65	98,95	93,75	99,43	70,82	75,63

Tabla 8-12: Tabla resumen constituyentes de marea Canal Desertores, para las profundidades 6, 88 y 106 metros, con A [cm/s] y σ [rad], Amplitud y Fase respectivamente.
(Elaboración Propia)

Profundidad [m]	Canal Desertores					
	6		88		106	
Componente	u	v	u	v	u	v
Corriente Residual [cm/s]	12,97	-60,20	-1,19	4,49	-6,76	4,73
M2 (A [cm/s])	24,42	86,11	2,92	43,64	2,56	9,81
M2 (σ [rad])	2,82	-0,26	2,32	0,13	1,99	0,49
K1 (A [cm/s])	8,94	24,36	4,79	21,27	2,98	31,74
K1 (σ [rad])	0,11	-2,55	1,62	-1,26	1,57	0,15
% de varianza explicada	76,92	96,75	73,96	85,48	73,86	94,04

8.5 ELIPSES DE MAREA

Tabla 8-13: Tabla Resumen, Elipses de Marea.
(Elaboración Propia)

Componente de Marea	Elipses de Marea				Profundidad de celda vertical [m]	Sitio
	Eje Mayor [cm/s]	Eje Menor [cm/s]	Orientación [rad]	Fase [rad]		
M2	114,82	0,41	-0,38	-2,18	8	Canal Gabriel
K1	24,44	0,74	-0,41	2,44		
M2	100,38	-0,46	-0,35	-2,18	20	
K1	20,27	0,36	-0,36	2,48		
M2	97,47	-0,70	-0,35	-2,18	22	
K1	19,60	0,44	-0,35	2,48		
M2	31,89	-1,99	1,87	0,39	10	Paso del Indio
K1	10,60	-0,07	1,92	-0,59		
M2	24,38	-2,11	1,86	0,40	23	
K1	6,56	-0,14	1,93	-0,59		
M2	10,91	-1,17	1,72	0,90	31	
K1	3,57	-0,27	1,84	-0,42		
M2	31,34	-2,17	1,48	0,87	13	Paso Meninea
K1	1,95	-0,78	1,61	0,08		
M2	53,97	-1,38	1,46	0,49	41	
K1	8,16	-0,64	1,42	-0,03		
M2	43,06	0,92	1,63	0,62	53	
K1	8,11	-0,02	1,47	-0,02		

Componente de Marea	Eje Mayor [cm/s]	Eje Menor [cm/s]	Orientación [rad]	Fase [rad]	Profundidad de celda vertical [m]	Sitio
M2	99,67	3,07	-1,18	-1,79	2	Pitipalena - Norte
K1	20,00	1,93	-1,35	0,56		
M2	38,57	-4,63	1,88	1,21	19	
K1	12,39	-4,50	-1,98	-0,25		
M2	2,76	-1,25	-0,96	-0,37	24	
K1	2,97	-1,27	-0,50	1,98		
M2	91,67	1,71	-1,03	-1,75	2	Pitipalena-Centro
K1	22,05	4,81	-1,26	0,56		
M2	40,99	1,18	2,10	0,97	18	
K1	21,63	-1,86	2,04	-0,98		
M2	2,08	-1,36	-2,98	-0,14	23	
K1	14,64	-1,25	-1,23	-0,21		
M2	85,64	1,64	-0,99	-1,75	2	Pitipalena - Sur
K1	22,62	3,72	-1,32	0,52		
M2	13,21	2,84	-1,05	-1,30	18	
K1	36,98	-2,53	1,96	-0,85		
M2	2,98	-0,16	-1,42	-0,70	23	
K1	12,32	0,60	-1,34	0,02		

Componente de Marea	Eje Mayor [cm/s]	Eje Menor [cm/s]	Orientación [rad]	Fase [rad]	Profundidad de celda vertical [m]	Sitio
M2	66,90	0,96	1,91	1,10	2	Laitec - 2009
K1	116,17	2,29	1,90	-0,27		
M2	19,89	2,15	0,93	-0,41	37	
K1	50,45	3,45	2,24	0,10		
M2	20,42	0,92	1,56	-0,78	48	
K1	33,86	0,66	-1,59	0,11		
M2	68,49	-1,30	-0,70	2,23	2	Laitec - 2010
K1	18,65	-3,60	-0,50	2,35		
M2	15,61	0,46	-0,57	2,14	28	
K1	29,96	-0,17	-0,55	0,42		
M2	5,98	0,06	2,63	-0,31	36	
K1	15,97	0,09	-0,52	1,98		
M2	181,64	-16,39	1,38	1,03	4	Leucayec
K1	130,15	-34,01	1,28	-0,66		
M2	52,67	1,70	1,61	0,34	32	
K1	148,80	-2,05	-1,59	-0,04		
M2	53,87	3,55	-1,23	-1,40	46	
K1	69,44	1,80	1,78	-0,04		

Componente de Marea	Eje Mayor [cm/s]	Eje Menor [cm/s]	Orientación [rad]	Fase [rad]	Profundidad de celda vertical [m]	Sitio
M2	110,86	1,99	0,28	-2,09	0	Kirke
K1	11,29	3,16	0,26	-1,39		
M2	6,52	-3,86	1,51	0,29	40	
K1	17,84	7,08	0,32	0,28		
M2	1,06	-0,06	1,66	-1,09	60	
K1	1,21	-0,04	-1,48	-1,44		
M2	43,71	-27,43	-0,94	2,07	7	Apiao
K1	116,28	-8,42	1,11	0,04		
M2	29,09	3,49	1,28	-0,52	57	
K1	44,69	-14,66	1,83	0,07		
M2	23,24	-6,02	1,89	0,04	86	
K1	26,98	1,20	-1,33	0,45		
M2	89,49	-1,39	1,85	-0,27	6	Desertores
K1	25,65	-3,93	-1,25	0,54		
M2	43,68	-2,36	1,61	0,12	88	
K1	21,77	-1,21	1,79	-1,27		
M2	9,81	-2,56	1,55	0,50	106	
K1	31,74	-2,94	1,56	0,15		

8.6 VIVACE

Tabla 8-14: Características de los prototipos VIVACE por escala.
(Adaptado de Raghavan, 2007)

Escala	Potencia P_d [MW]	N° de Cilindros	Diámetro - D [m]	Largo - L [m]	h [m] (*)	S [m^2] (**)	W [tons] (***)
Giga	1.000	32.849	2	40	60	1.497.335	1.775
Mega	100	6.570	2	20	30	258.998	159
Large	10	1.314	1	20	15	14.569	11
Medium	1	526	0,5	10	15	2.428	1
Small	0	328	0,2	4	5	92	0
Micro	0	657	0,1	2	5	45	0

(*) Profundidad del sitio h [m].

(**) Superficie del sitio S [m^2].

(***) Peso total, es decir, peso de la estructura más el peso de la fundación W [ton].

8.7 POTENCIAL ENERGÉTICO

8.7.1 POTENCIA ENERGÉTICA DE LOS SITIOS

Tabla 8-15: Máxima Potencia [kW] generada en los sitios de estudio.
(Elaboración Propia)

Sitios		Ancho [m]	Profundidad [m]	Área [m ²]	Magnitud [m/s] (*)	Potencia [kW] (**)
Angostura Gabriel		1.895	24	22.742	368	578.480
Paso del Indio		1.668	32	26.693	330	489.398
Paso Meninea		3.453	53	91.495	244	678.672
Canal Pitipalena	N	604	26	7.793	133	9.388
	C		25	7.552	125	7.482
	S		25	7.552	124	7.423
Canal Laitec	Abril-2009	1.909	51	48.675	69	8.040
	Julio-2010				77	11.600
Canal Leucayec		2.412	46	55.474	216	288.050
Angostura Kirke		684	60	20.509	186	67.178
Canal Apiao		13.514	86	581.122	205	2.556.725
Canal Desertores		6.935	120	416.104	138	557.077

(*) Magnitud Máxima registrada para cada sitio del análisis [m/s].

(**) Potencia Máxima registrada para cada sitio de análisis [kW].

8.7.2 POTENCIA ENERGÉTICA GENERADA Y ACTUAL DISPONIBLE

Tabla 8-16: Potencial energético máximo generado y actual disponible en cada sitio para un dispositivo VIVACE de escala Media, considerando una eficiencia del 22%.
(Elaboración Propia)

Sitios	Magnitud Máxima [cm/s]	Potencia generada [kW]	Potencia actual (disponibilidad 90%) [kW]
Angostura Gabriel	367,50	27,98	25,18
Paso del Indio	329,50	20,17	18,15
Paso Meninea	243,70	8,16	7,34
Canal Pitipalena N	132,96	1,33	1,19
C	124,57	1,09	0,98
S	124,25	1,08	0,97
Canal Laitec Abril-2009	68,56	0,18	0,16
Julio-2010	77,47	0,26	0,24
Canal Leucayec	216,39	5,71	5,14
Canal Apiao	204,76	4,84	4,36
Canal Desertores	137,72	1,47	1,33
Angostura Kirke	185,58	3,60	3,24

Tabla 8-17: Potencial energético medio generado y actual disponible en cada sitio para un dispositivo VIVACE de escala Media, considerando una eficiencia del 22%.
(Elaboración Propia)

Sitios	Magnitud Promedio [cm/s]	Potencia generada [kW]	Potencia actual (disponibilidad 90%) [kW]
Angostura Gabriel	84,36	0,34	0,30
Paso del Indio	27,57	0,01	0,01
Paso Meninea	37,85	0,03	0,03
Canal Pitipalena N	32,68	0,02	0,02
C	34,00	0,02	0,02
S	35,37	0,02	0,02
Canal Laitec Abril-2009	22,03	0,01	0,01
Julio-2010	25,61	0,01	0,01
Canal Leucayec	72,45	0,21	0,19
Canal Apiao	31,36	0,02	0,02
Canal Desertoires	48,20	0,06	0,06
Angostura Kirke	35,94	0,03	0,02

8.8 TARIFAS DEL SUMINISTRO ELÉCTRICO



Tarifas de Suministro Eléctrico - 01 de Marzo de 2014

En conformidad con lo dispuesto en el Art. 191 del D.F.L. N° 4 de 2006 y el D.S. N° 320 de 2008, ambos del Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción, y del D.S. N° 17 de 2012 del Ministerio de Energía; teniendo presente lo establecido en los Decretos N° 297 y N° 315 de 2010, N° 17 y N° 47 de 2013 todos del Ministerio de Energía, y la Resolución N° 818 de 2012 de la CNE, las empresas concesionarias de servicio público eléctrico de distribución que suscriben informan que a contar del **01 de Marzo de 2014** inclusive, las tarifas máximas que podrán cobrar a sus clientes serán los valores que a continuación se indican y las condiciones de aplicación las del citado D.S. N° 17 de 2012.

Vigencia desde	SAESA 11	SAESA 12	SAESA 13	SAESA 14	SAESA 15	SAESA 16	SAESA 17	SAESA 18	SAESA 19	SAESA 20	SAESA 21	SAESA 22	
01 de marzo de 2014	Aéreo	Aéreo	Aéreo	Aéreo	Aéreo	Aéreo	Aéreo	Aéreo	Aéreo	Aéreo	Aéreo	Aéreo	
Tarifa BT 1													
Cargo Fijo	\$/cliente	1.021,296	1.049,503	1.056,953	1.094,074	1.104,053	1.133,324	1.133,324	1.182,820	1.182,820	1.182,820	1.203,708	1.021,296
Cargo Energía Base	\$/kWh	106,006	106,006	118,090	106,006	121,147	112,190	118,159	122,305	122,546	129,615	123,135	104,883
Cargo Energía Adicional Invierno	\$/kWh	155,180	155,180	179,340	155,180	185,460	167,545	179,484	187,776	188,258	202,395	189,437	154,056
Cargo Único por Uso del Sistema Troncal	\$/kWh	0,953	0,953	0,953	0,953	0,953	0,953	0,953	0,953	0,953	0,953	0,953	0,000
Tarifa BT 2 y BT3													
Cargo Fijo BT 2	\$/cliente	1.021,296	1.049,503	1.056,953	1.094,074	1.104,053	1.133,324	1.133,324	1.182,820	1.182,820	1.182,820	1.203,708	1.021,296
Cargo Fijo BT 3	\$/cliente	1.566,849	1.623,848	1.612,449	1.566,849	1.691,433	1.747,413	1.747,413	1.741,713	1.741,713	1.741,713	1.803,801	1.566,849
Cargo Potencia Parc. Presente en Punta	\$/kW	11.354,812	11.354,812	14.327,286	11.354,812	15.079,306	12.875,810	14.344,242	15.364,176	15.423,523	17.162,413	15.568,502	11.354,812
Cargo Potencia Presente en Punta	\$/kW	15.554,664	15.554,664	19.022,559	15.554,664	19.899,907	17.329,161	19.042,332	20.232,255	20.301,494	22.330,198	20.470,635	15.554,664
Cargo Energía	\$/kWh	56,834	56,834	56,834	56,834	56,834	56,834	56,834	56,834	56,834	56,834	56,834	55,711
Cargo Único por Uso del Sistema Troncal	\$/kWh	0,953	0,953	0,953	0,953	0,953	0,953	0,953	0,953	0,953	0,953	0,953	0,000
Tarifa BT 4.1, 4.2, 4.3													
Cargo Fijo BT 4.1	\$/cliente	1.021,296	1.049,503	1.056,953	1.094,074	1.104,053	1.133,324	1.133,324	1.182,820	1.182,820	1.182,820	1.203,708	1.021,296
Cargo Fijo BT 4.2	\$/cliente	1.566,849	1.623,848	1.612,449	1.566,849	1.691,433	1.747,413	1.747,413	1.741,713	1.741,713	1.741,713	1.803,801	1.566,849
Cargo Fijo BT 4.3	\$/cliente	2.253,609	2.253,609	2.009,730	2.253,609	2.074,213	2.260,774	2.260,774	2.250,302	2.250,302	2.250,302	2.256,365	2.253,609
Cargo Potencia Contratada o Leída en H. P	\$/kW	12.337,119	12.337,119	14.133,837	12.337,119	14.854,555	14.064,842	14.676,690	15.359,528	15.384,256	16.108,792	14.949,249	12.337,119
Cargo Potencia Contratada o Suministrada	\$/kW	3.217,545	3.217,545	4.888,713	3.217,545	5.045,352	3.204,319	4.365,644	4.872,728	4.917,238	6.221,406	5.521,386	3.217,545
Cargo Energía	\$/kWh	56,834	56,834	56,834	56,834	56,834	56,834	56,834	56,834	56,834	56,834	56,834	55,711
Cargo Único por Uso del Sistema Troncal	\$/kWh	0,953	0,953	0,953	0,953	0,953	0,953	0,953	0,953	0,953	0,953	0,953	0,000
Tarifa AT 2 y AT 3													
Cargo Fijo AT 2	\$/cliente	1.021,296	1.049,503	1.056,953	1.094,074	1.104,053	1.133,324	1.133,324	1.182,820	1.182,820	1.182,820	1.203,708	1.021,296
Cargo Fijo AT 3	\$/cliente	1.566,849	1.623,848	1.612,449	1.566,849	1.691,433	1.747,413	1.747,413	1.741,713	1.741,713	1.741,713	1.803,801	1.566,849
Cargo Potencia Parc. Presente en Punta	\$/kW	7.929,632	7.929,632	8.815,089	7.929,632	9.461,313	9.665,015	10.074,069	10.074,069	10.074,069	10.074,069	9.288,188	7.929,632
Cargo Potencia Presente en Punta	\$/kW	8.893,922	8.893,922	9.724,039	8.893,922	10.329,874	10.520,844	10.520,844	10.904,332	10.904,332	10.904,332	10.167,569	8.893,922
Cargo Energía	\$/kWh	52,489	52,489	52,489	52,489	52,489	52,489	52,489	52,489	52,489	52,489	52,489	51,451
Cargo Único por Uso del Sistema Troncal	\$/kWh	0,953	0,953	0,953	0,953	0,953	0,953	0,953	0,953	0,953	0,953	0,953	0,000
Tarifa AT 4.1, 4.2, 4.3													
Cargo Fijo AT 4.1	\$/cliente	1.021,296	1.049,503	1.056,953	1.094,074	1.104,053	1.133,324	1.133,324	1.182,820	1.182,820	1.182,820	1.203,708	1.021,296
Cargo Fijo AT 4.2	\$/cliente	1.566,849	1.623,848	1.612,449	1.566,849	1.691,433	1.747,413	1.747,413	1.741,713	1.741,713	1.741,713	1.803,801	1.566,849
Cargo Fijo AT 4.3	\$/cliente	2.253,609	2.253,609	2.009,730	2.253,609	2.074,213	2.260,774	2.260,774	2.250,302	2.250,302	2.250,302	2.256,365	2.253,609
Cargo Potencia Contratada o Leída en H. P	\$/kW	7.264,935	7.264,935	7.652,322	7.264,935	7.935,045	8.024,164	8.024,164	8.203,126	8.203,126	8.203,126	7.859,303	7.264,935
Cargo Potencia Contratada o Suministrada	\$/kW	1.628,987	1.628,987	2.071,716	1.628,987	2.394,829	2.496,680	2.496,680	2.701,206	2.701,206	2.701,206	2.308,266	1.628,987
Cargo Energía	\$/kWh	52,489	52,489	52,489	52,489	52,489	52,489	52,489	52,489	52,489	52,489	52,489	51,451
Cargo Único por Uso del Sistema Troncal	\$/kWh	0,953	0,953	0,953	0,953	0,953	0,953	0,953	0,953	0,953	0,953	0,953	0,000

SAESA área Típica 4. comunas:

Saesa 11: Ancud, Calbuco, Castro, Chonchi, Corral, Curaco de Vélez, Dalcahue, Futrono, Lago Ranco, Lanco, Los Lagos, Mifil, Maniquina, Paillaco, Panguipulli, Puelquén, Quellón, Quellón, Quemchi, Quinchao, Toltén, Valdivia, **Saesa 12:** Río Bueno, **Saesa 13:** Loncoche, **Saesa 14:** Llanquihue, **Saesa 15:** Villarrica, **Saesa 16:** Osorno, **Saesa 17:** Frutillar, La Unión, Puerto Octay, Purraranque, Puyehue, Río Negro, San Juan de la Costa, San Pablo, **Saesa 18:** Puerto Varas, **Saesa 19:** Puerto Montt, **Saesa 20:** Fiesla, Los Muermos, Maulín, **Saesa 21:** Gorbea, **Saesa 22:** Cochamó, Hualahue.

Los valores indicados incluyen el Impuesto al Valor Agregado (I.V.A.)

SOCIEDAD AUSTRAL DE ELECTRICIDAD S.A.



Tarifas de Suministro Eléctrico - 01 de Junio de 2014

En conformidad con lo dispuesto en el Art. 191 del D.F.L. N° 4 de 2006 del Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción, y del D.S. Nº 1T de 2012 del Ministerio de Energía; teniendo presente lo establecido en el Decreto Nº 298 de 2010 del Ministerio de Energía, y la Resolución Nº 151 de 2014 de la CNE, las empresas concesionarias de servicio público eléctrico de distribución que suscriben informan que a contar del **01 de Junio de 2014** inclusive, las tarifas máximas que podrán cobrar a sus clientes serán los valores que a continuación se indican y las condiciones de aplicación las del citado D.S. Nº 1T de 2012.

Vigencia desde		EDELAYSEN 11	EDELAYSEN 12
01 de junio de 2014		Aéreo	Aéreo
Tarifa BT 1			
Cargo Fijo	\$/cliente	1.329,597	1.329,597
Cargo Energía Base	\$/kWh	174,340	174,340
Cargo Energía Adicional Invierno	\$/kWh	286,570	286,570
Cargo Único por Uso del Sistema Troncal	\$/kWh	0,000	0,000
Tarifa BT 2 y BT3			
Cargo Fijo BT 2	\$/cliente	1.329,597	1.329,597
Cargo Fijo BT 3	\$/cliente	2.531,855	2.531,855
Cargo Potencia Parc. Presente en Punta	\$/kW	20.051,212	20.051,212
Cargo Potencia Presente en Punta	\$/kW	24.649,931	24.649,931
Cargo Energía	\$/kWh	94,175	94,175
Cargo Único por Uso del Sistema Troncal	\$/kWh	0,000	0,000
Tarifa BT 4.1, 4.2, 4.3			
Cargo Fijo BT 4.1	\$/cliente	1.329,597	1.329,597
Cargo Fijo BT 4.2	\$/cliente	2.531,855	2.531,855
Cargo Fijo BT 4.3	\$/cliente	2.780,602	2.780,602
Cargo Potencia Contratada o Leída en H. Punta	\$/kW	15.678,393	17.540,970
Cargo Potencia Contratada o Suministrada	\$/kW	8.971,539	7.108,961
Cargo Energía	\$/kWh	94,175	94,175
Cargo Único por Uso del Sistema Troncal	\$/kWh	0,000	0,000
Tarifa AT 2 y AT 3			
Cargo Fijo AT 2	\$/cliente	1.329,597	1.329,597
Cargo Fijo AT 3	\$/cliente	2.531,855	2.531,855
Cargo Potencia Parc. Presente en Punta	\$/kW	10.746,194	11.507,138
Cargo Potencia Presente en Punta	\$/kW	13.172,756	14.390,267
Cargo Energía	\$/kWh	87,216	87,216
Cargo Único por Uso del Sistema Troncal	\$/kWh	0,000	0,000
Tarifa AT 4.1, 4.2, 4.3			
Cargo Fijo AT 4.1	\$/cliente	1.329,597	1.329,597
Cargo Fijo AT 4.2	\$/cliente	2.531,855	2.531,855
Cargo Fijo AT 4.3	\$/cliente	2.780,602	2.780,602
Cargo Potencia Contratada o Leída en H. Punta	\$/kW	10.281,170	10.585,547
Cargo Potencia Contratada o Suministrada	\$/kW	2.891,587	3.804,719
Cargo Energía	\$/kWh	87,216	87,216
Cargo Único por Uso del Sistema Troncal	\$/kWh	0,000	0,000

EDELAYSEN área Típica 6, comunas:

Edelayesen 11: Futaleufú, **Edelayesen 12:** Aisén, Coihaique, Río Ibáñez, Chaitén, Cisnes, Lago Verde, Palena, Chile Chico, Cochrane.

Los valores indicados incluyen el Impuesto al Valor Agregado (I.V.A.)

EMPRESA ELÉCTRICA DE AISÉN S.A.

**PUBLICACION DE TARIFAS
EMPRESA ELECTRICA DE MAGALLANES S.A.**

En conformidad con lo dispuesto en el Art. 191 del DFL N° 4 de 2006 del Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción y en virtud del Decreto N° 1T/12 del Ministerio de Energía, y el Decreto N° 296/10 del Ministerio de Energía, la Empresa Concesionaria de Servicio Público Eléctrico de Distribución informa las tarifas que rigen desde el día 01 de Diciembre de 2014.

Las denominaciones y las condiciones de aplicación de las tarifas son las del Decreto N° 1T antes citado.

TARIFA	CARGOS	Punta Arenas	Puerto Natales	Porvenir	Puerto Williams
BT1	Cargo Fijo (\$/mes)	1.221,93	1.221,93	1.026,83	1.026,83
	Cargo por Energía Base (\$/kWh)	120,12	120,12	100,94	100,94
	Cargo por Energía Adicional de Invierno (\$/kWh)	199,53	199,53	167,67	167,67
BT2	Cargo Fijo (\$/mes)	1.221,93	1.221,93	1.026,83	1.026,83
	Cargo mensual por Potencia Contratada (\$/kW/mes):				
	a) Consumos parcialmente presentes en punta	9.364,77	9.364,77	7.869,55	7.869,55
	b) Consumos presentes en punta	14.666,64	14.666,64	12.324,91	12.324,91
	Cargo por Energía (\$/kWh)	63,40	63,40	53,27	53,27
BT3	Cargo Fijo (\$/mes)	2.078,77	2.078,77	1.746,87	1.746,87
	Cargo mensual por Demanda Máxima Leída (\$/kW/mes):				
	a) Consumos parcialmente presentes en punta	9.364,77	9.364,77	7.869,55	7.869,55
	b) Consumos presentes en punta	14.666,64	14.666,64	12.324,91	12.324,91
	Cargo por Energía (\$/kWh)	63,40	63,40	53,27	53,27
BT4	Cargo Fijo (\$/mes)				
	BT4.1	1.221,93	1.221,93	1.026,83	1.026,83
	BT4.2	2.078,77	2.078,77	1.746,87	1.746,87
	BT4.3	2.164,40	2.164,40	1.818,82	1.818,82
	Cargo mensual por Demanda Máxima de Potencia en horas de punta de invierno (\$/kW/mes)	11.401,36	11.401,36	9.580,97	9.580,97
	Cargo mensual por Potencia Contratada o Suministrada (\$/kW/mes)	3.265,28	3.265,28	2.743,93	2.743,93
	Cargo por Energía (\$/kWh)	63,40	63,40	53,27	53,27
AT2	Cargo Fijo (\$/mes)	1.221,93	1.221,93	1.026,83	1.026,83
	Cargo mensual por Potencia Contratada (\$/kW/mes):				
	a) Consumos parcialmente presentes en punta	6.599,56	6.599,56	5.545,85	5.545,85
	b) Consumos presentes en punta	9.025,80	9.025,80	7.584,71	7.584,71
	Cargo por Energía (\$/kWh)	59,87	59,87	50,31	50,31
AT3	Cargo Fijo (\$/mes)	2.078,77	2.078,77	1.746,87	1.746,87
	Cargo mensual por Demanda Máxima Leída (\$/kW/mes):				
	a) Consumos parcialmente presentes en punta	6.599,56	6.599,56	5.545,85	5.545,85
	b) Consumos presentes en punta	9.025,80	9.025,80	7.584,71	7.584,71
	Cargo por Energía (\$/kWh)	59,87	59,87	50,31	50,31
AT4	Cargo Fijo (\$/mes)				
	AT4.1	1.221,93	1.221,93	1.026,83	1.026,83
	AT4.2	2.078,77	2.078,77	1.746,87	1.746,87
	AT4.3	2.164,40	2.164,40	1.818,82	1.818,82
	Cargo mensual por Demanda Máxima de Potencia en horas de punta de invierno (\$/kW/mes)	7.785,61	7.785,61	6.542,53	6.542,53
	Cargo mensual por Potencia Contratada o Suministrada (\$/kW/mes)	1.240,19	1.240,19	1.042,17	1.042,17
	Cargo por Energía (\$/kWh)	59,87	59,87	50,31	50,31

Estos precios incluyen el Impuesto al Valor Agregado (IVA) del 19 %.

Los precios de Puerto y Puerto Williams, se encuentran exentos de IVA, según Leyes N° 19.606 y N° 18.392.

EMPRESA ELECTRICA DE MAGALLANES S.A.

8.9 CARACTERIZACIÓN DE LA DEMANDA

Tabla 8-18: Análisis de Demanda Total Mensual de las poblaciones aledañas a los puntos de extracción por ADCP.
(Elaboración Propia)

Sitio	Población aledaña	N° de habitantes	N° de viviendas	Consumo Doméstico Mensual [kWh]	Consumo S.ICPP.E Mensual [kWh] (*)	Demanda Total Mensual [kWh] (**)	Costo Energía Base [\$]	Costo Nudo Energía[\$]	Costo VIVACE [\$] (***)
Angostura Gabriel	Puerto Harris	296	78	11.739	5.031	16.770	2.014.412	622.196	571.857
Paso del Indio	Villa Puerto Edén	176	82	12.341	5.289	17.630	2.117.716	996.620	601.183
Paso Meninea	Puerto Aguirre	766	278	41.839	17.931	59.770	10.420.302	3.922.433	2.038.157
Canal Pitipalena	Raúl Marín Balmaceda	284	148	22.274	9.546	31.820	5.547.499	2.088.202	1.085.062
Canal Laitec	Quellón Viejo	329	131	19.716	8.450	28.165	2.985.659	1.339.471	960.427
Canal Leucayec	Melinka	1.411	408	61.404	26.316	87.720	15.293.105	5.756.664	2.991.252
Angostura Kirke	Puerto Natales	16.978	5.763	86.733	37.171	123.905	14.883.409	7.004.293	4.225.143
Canal Apiao	Quinchao - La Villa	117	46	6.923	2.967	9.890	1.724.223	649.036	337.249
Canal Desertoires	Chana	79	23	3.462	1.484	4.945	862.111	324.518	168.625

(*) Consumo S.ICPP.E Mensual [kWh]; corresponde al consumo del sector institucional, comercial, público y pequeñas empresas.

(**) Consumo Total Mensual; 70% Consumo doméstico Mensual + 30% Consumo S.ICPP.E Mensual.

(***) Costo VIVACE [\$/kWh]; incluye impuesto 18 [\$/kWh], considerando valor dólar \$620.

