

# Tabla de Contenidos

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1     | Introducción .....   | 1  |
| 1.1   | Motivación .....   | 1  |
| 1.2   | Objetivos .....  | 3  |
| 1.2.1 | Objetivo general .....   | 3  |
| 1.2.2 | Objetivos específicos .....  | 3  |
| 1.3   | Alcances.....  | 3  |
| 2     | Energía en Chile.....  | 4  |
| 2.1   | Matriz Energética Chilena .....  | 4  |
| 2.2   | Mercado Eléctrico Nacional – Capacidad instalada .....                             | 8  |
| 2.2.1 | Servicio Eléctrico Nacional (SEN).....   | 9  |
| 2.2.2 | Servicio Eléctrico de Aysén (SEA).....   | 11 |
| 2.2.3 | Servicio Eléctrico de Magallanes (SEM) .....                                       | 12 |
| 2.3   | Sustentabilidad Nacional.....  | 13 |
| 2.3.1 | Energía 2050, Política Energética de Chile 2015 y Hoja de Ruta 2050.....           | 13 |
| 2.3.2 | Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático de 2021 o COP26<br>15 |    |
| 2.3.3 | Plan Sequía.....   | 16 |
| 2.4   | Energías Renovables No Convencionales (ERNC) .....                                 | 17 |
| 2.4.1 | Energía eólica .....   | 18 |
| 2.4.2 | Energía solar.....   | 20 |
| 3     | Hidroeléctricas a bombeo o PHS .....   | 24 |
| 3.1   | Hidroelectricidad en Chile .....   | 24 |
| 3.1.1 | Hidráulica de embalse.....   | 24 |
| 3.1.2 | Hidráulica de pasada .....   | 25 |
| 3.1.3 | Mini Hidro .....   | 26 |
| 3.1.4 | Run off River .....  | 26 |
| 3.2   | Sistema Pumped Hydropower Storage (PHS) .....                                      | 26 |
| 3.3   | Componentes de una hidroeléctrica a bombeo.....                                    | 29 |
| 3.3.1 | Reservorio superior.....   | 29 |
| 3.3.2 | Reservorio inferior.....   | 29 |
| 3.3.3 | Presa o represa.....   | 30 |
| 3.3.4 | Captación de agua o bocatoma .....   | 30 |
| 3.3.5 | Tubería forzada.....   | 30 |
| 3.3.6 | Chimenea de equilibrio o torre piezométrica .....                                  | 30 |
| 3.3.7 | Casa de máquinas .....   | 30 |

|        |   |    |
|--------|---|----|
| 3.3.8  | Turbinas hidráulicas .....                          | 30 |
| 3.3.9  | Bombas de agua .....                                | 32 |
| 3.3.10 | Multiplicador de velocidad.....                     | 32 |
| 3.3.11 | Generador eléctrico.....                            | 33 |
| 3.3.12 | Transformador.....                                  | 33 |
| 3.3.13 | Tablero de comandos .....                           | 33 |
| 3.3.14 | Líneas de transmisión .....                         | 33 |
| 3.3.15 | Carreteras .....                                    | 33 |
| 3.3.16 | Subsistema turbina/generador y bomba .....          | 34 |
| 3.4    | Centrales a bombeo usando agua dulce.....           | 36 |
| 3.5    | Centrales a bombeo usando agua de mar .....         | 39 |
| 3.5.1  | Centrales a bombeo usando agua salada .....         | 39 |
| 3.5.2  | Centrales a bombeo usando agua desalinizada .....   | 44 |
| 4      | Desalinización de agua de mar .....                 | 47 |
| 4.1    | Antecedentes .....                                  | 47 |
| 4.1.1  | Contexto hídrico nacional e internacional .....     | 47 |
| 4.1.2  | Situación global de la desalinización de agua ..... | 50 |
| 4.1.3  | Desalinización en Chile.....                        | 52 |
| 4.2    | Características del agua de mar .....               | 55 |
| 4.2.1  | Composición del agua.....                           | 55 |
| 4.2.2  | Otros elementos.....                                | 56 |
| 4.2.3  | Salinidad .....                                     | 56 |
| 4.2.4  | pH.....   | 57 |
| 4.2.5  | Temperatura.....                                    | 57 |
| 4.2.6  | Densidad .....                                      | 58 |
| 4.3    | Proceso de desalinización del agua de mar.....      | 59 |
| 4.3.1  | Captación del agua de mar .....                     | 61 |
| 4.3.2  | Pre-tratamiento .....                               | 63 |
| 4.3.3  | Métodos de desalinización.....                      | 63 |
| 4.3.4  | Post-tratamiento.....                               | 70 |
| 4.3.5  | Vertido de salmuera .....                           | 71 |
| 4.4    | Impactos de la desalinización de agua de mar .....  | 71 |
| 4.4.1  | Salmuera.....                                       | 72 |
| 4.4.2  | Temperatura.....                                    | 73 |
| 4.4.3  | Obras de captación de agua de mar.....              | 73 |
| 4.4.4  | Ruido.....  | 73 |

|       |  |     |
|-------|--|-----|
| 5     | Abastecimiento hídrico .....   | 74  |
| 5.1   | Recurso hídrico .....  | 75  |
| 6     | Centrales objetivo.....  | 76  |
| 6.1   | Zona de emplazamiento.....   | 76  |
| 6.1.1 | Huentelauquén – Puerto Oscuro.....   | 77  |
| 6.1.2 | Embalse Corrales.....  | 81  |
| 6.1.3 | Embalse Culimo .....   | 88  |
| 6.1.4 | Talinay 1.....   | 93  |
| 6.1.5 | Talinay 2.....   | 97  |
| 6.1.6 | Chungungo 1.....   | 100 |
| 6.1.7 | Chungungo 2.....   | 105 |
| 6.1.8 | Huasco .....   | 109 |
| 7     | Diseño de las centrales .....  | 114 |
| 7.1   | Escenario de operación.....  | 114 |
| 7.2   | Parámetros de diseño; Hidroeléctrica .....   | 116 |
| 7.2.1 | Cálculo de volúmenes de reservorios y muros de contención.....   | 116 |
| 7.2.2 | Cálculo de desniveles entre reservorios .....  | 117 |
| 7.2.3 | Caudales y potencias máximas .....   | 118 |
| 7.3   | Parámetros de diseño; Desalinizadora .....   | 122 |
| 7.3.1 | Tamaño y capacidad de planta .....   | 122 |
| 7.3.2 | Viabilidad de las centrales objetivo .....   | 124 |
| 7.4   | Reservorios .....  | 126 |
| 7.5   | Sistema hidráulico de la hidroeléctrica.....   | 129 |
| 7.6   | Sistema de desalinización.....   | 132 |
| 7.6.1 | Plantas desaladoras tipo compacto Hidritec.....  | 133 |
| 7.6.2 | Plantas desalinizadoras y purificadoras de agua de mar Vodik, Lakshmi Energy y Waterman Engineers..... | 134 |
| 7.6.3 | Plantas desalinizadoras Vigaflow.....  | 136 |
| 7.7   | Tuberías .....   | 137 |
| 7.7.1 | Tuberías de la planta desalinizadora .....   | 137 |
| 7.7.2 | Tuberías de las centrales objetivo .....   | 138 |
| 7.8   | Caverna de máquinas .....  | 141 |
| 7.9   | Servicios y equipos auxiliares .....   | 143 |
| 7.9.1 | Servicios auxiliares esenciales .....  | 143 |
| 7.9.2 | Servicios auxiliares seguros o principales .....   | 144 |
| 7.9.3 | Servicios auxiliares normales.....   | 144 |

|     |  |     |
|-----|--|-----|
| 8   | Regulación administrativa .....                                | 145 |
| 8.1 | Requisitos legales central hidroeléctrica .....                | 145 |
| 8.2 | Requisitos legales planta desalinizadora .....                 | 146 |
| 8.3 | Estudios vigentes .....  | 146 |
| 9   | Evaluación de costos.....                                      | 147 |
| 9.1 | Reservorios .....  | 147 |
| 9.2 | Sistema Hidráulico .....                                       | 147 |
| 9.3 | Sistema de desalinización.....                                 | 148 |
| 9.4 | Tuberías .....   | 148 |
| 9.5 | Caverna de máquinas y servicios auxiliares .....               | 148 |
| 9.6 | Resultados .....   | 149 |
| 10  | Conclusiones .....   | 151 |
| 11  | Bibliografía .....   | 154 |
|     | Anexos.....  | 160 |
|     | Anexos A: Diseño de centrales objetivo.....                    | 160 |
|     | Curvas de nivel para cálculo de volúmenes de reservorios ..... | 160 |
|     | Perfiles de elevación para cálculo de desniveles .....         | 168 |
|     | Anexo B: Resumen presupuesto de centrales objetivo .....       | 171 |

## Índice de Figuras

|  |    |
|--|----|
| Figura 1: Distribución porcentual de la matriz energética primaria según tipo de energía. Fuente: Informe Balance Nacional de Energía 2019. .... | 4  |
| Figura 2: Matriz energética primaria desde 2010 a 2019 en Tcal. Fuente: Informe Balance Nacional de Energía 2019. ....                           | 5  |
| Figura 3: Distribución porcentual según el total de CTRs. Fuente: Informe Balance de Energía 2019.....   | 5  |
| Figura 4: Distribución de la matriz energética secundaria según tipo de energía. Fuente: Informe Balance Nacional de Energía 2019. ....          | 6  |
| Figura 5: Distribución de la matriz energética secundaria según sector de uso. Fuente: Informe Balance Nacional de Energía 2019. ....            | 6  |
| Figura 6: Distribución del consumo eléctrico según sector de uso. Fuente: Informe Balance de Energía 2019. ....                                  | 7  |
| Figura 7: Distribución del consumo eléctrico por región. Fuente: Informe Balance de Energía 2019.....  | 7  |
| Figura 8: Capacidad total instalada por sistema eléctrico. Fuente: Elaboración propia. ....  | 8  |
| Figura 9: Capacidad total instalada por tipo de energía. Fuente: Elaboración propia.....   | 9  |
| Figura 10: Capacidad total instalada en el SEN. Fuente: Elaboración propia.....  | 10 |
| Figura 11: Capacidad total instalada en el SEA. Fuente: Elaboración propia. ....   | 11 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 12: Capacidad total instalada en el SEM. Fuente: Elaboración propia. ....  | 12 |
| Figura 13: Comunas con déficit de agua en Chile a 2022. Fuente: sequia.visorterritorial.cl. ....  | 16 |
| Figura 14: Elementos de una central eólica. Fuente: Villagrán 2017. ....  | 19 |
| Figura 15: Esquema del mecanismo de un aerogenerador. Fuente: Menna. ComoFunciona. ....   | 19 |
| Figura 16: Aerogeneradores con turbina vertical. En orden: rotor Savonius, rotor Darrieus y rotor panemona o tipo H. Fuente: Del Río Sánchez. ....  | 20 |
| Figura 17: Paneles fotovoltaicos. Fuente: Universidad Católica. ....  | 21 |
| Figura 18: Tecnologías de concentración termo solar. Fuente: GIZ. ....  | 22 |
| Figura 19: Esquema de una central hidroeléctrica a bombeo. En flechas amarillas se muestra la dirección de la energía eléctrica, y en flechas blancas la dirección del flujo del agua. Fuente: International Hydropower Association. .... | 27 |
| Figura 20: Reservorios superior e inferior de la central a bombeo de Turlough Hill. Fuente: ESB. ....   | 29 |
| Figura 21: Turbinas tipo Pelton, Francis y Kaplan. Fuente: Areatecnologías. ....  | 31 |
| Figura 22: Turbinas a escoger c/r a su altura y caudal. Fuente: Areatecnologías. ....   | 32 |
| Figura 23: Esquema general sistema turbina/generador y bomba Tipo 1. Fuente: Centro de Energía FCFM 2020. ....  | 34 |
| Figura 24: Esquema general sistema turbina/generador y bomba del tipo 2. Fuente: Centro de Energía FCFM 2020. ....  | 35 |
| Figura 25: Esquema general sistema turbina/generador y bomba del tipo 3. Fuente Centro de Energía FCFM 2020. ....   | 35 |
| Figura 26: Ubicación de la central Turlough Hill. Fuente: Google Earth. ....  | 37 |
| Figura 27: Panel de control de la central Turlough Hill. Fuente: ESB Youtube Channel. ....  | 37 |
| Figura 28: Ubicación de la central La Muela II. Fuente: Google Earth. ....  | 38 |
| Figura 29: Composición de la central La Muela II. Fuente: Iberdrola Youtube Channel. ....   | 39 |
| Figura 30: Ubicación de la central Yanbaru, Japón. Fuente: Google Earth. ....   | 40 |
| Figura 31: Esquema de la central Yanbaru, Japón. Fuente: Centro de Energía Universidad de Chile. ....   | 41 |
| Figura 32: Ubicación del proyecto Hidrocaleras. Fuente: Google Earth. ....  | 42 |
| Figura 33: Esquema del proyecto Hidrocaleras. Fuente: Proyecto Hidrocaleras, Cobra Infraestructuras Hidráulicas. ....   | 42 |
| Figura 34: Ubicación del futuro proyecto Valhalla. Fuente: SEIA: Espejo de Tarapacá. ....   | 43 |
| Figura 35: Esquema del proyecto Valhalla. Fuente: Valhalla. ....  | 43 |
| Figura 36: Ubicación del proyecto Salto de Chira. Fuente: Salto de Chira Dossier Informativo. ...   | 45 |
| Figura 37: Esquema proyecto Salto de Chira. Fuente: Salto de Chira Dossier Informativo. ....  | 45 |
| Figura 38: Esquema de tecnología IPHROCES. Fuente: Oceanus Power & Water. ....  | 46 |
| Figura 39: Demanda global de agua por sector. Fuente: ONU 2018, basado en datos de AQUASTAT. ....   | 48 |
| Figura 40: Demanda de agua por tipo de uso. Fuente: BCN, MOP 2017. ....   | 48 |
| Figura 41: Demanda de agua por tipo de uso. Fuente: BCN, MOP 2017. ....   | 49 |
| Figura 42: Demanda de agua por usuario en Chile. Fuente: BCN, MOP 2017. ....  | 49 |
| Figura 43: Demanda de agua por usuario en Chile. Fuente: BCN, MOP 2017. ....  | 50 |
| Figura 44: Demanda consuntiva actual y proyectada en Chile. Fuente: Mesa Nacional del Agua 2020. ....   | 50 |
| Figura 45: Principales desaladoras mineras en Chile. Fuente: ALADYR 2019. ....  | 53 |
| Figura 46: Caletas con plantas desalinizadoras solares. Fuente: ALADYR 2019. ....   | 54 |
| Figura 47: Comparativa entre plantas desalinizadoras según capacidad. Fuente: ALADYR. ....  | 55 |
| Figura 48: Comparativa entre plantas desalinizadoras según capacidad. Fuente: ALADYR. ....  | 55 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 49: Variación de la densidad del agua según su salinidad. Fuente: Castro, Lagos & Farías 1999.....   | 59 |
| Figura 50: Esquema del proceso de desalinización. Fuente: Dévora-Isiordia.....  | 60 |
| Figura 51: Evolución del consumo energético en la desalinización de agua (1970-2005). Fuente: Cabero 2015. ....   | 61 |
| Figura 52: Capacidad de agua desalada según tipo de tecnología. Fuente: IDA Desalination Yearbook 2015-2016. ....   | 64 |
| Figura 53: Proceso de destilación de Etapa Flash Múltiple (MSF). Fuente: Dévora 2012. ....  | 65 |
| Figura 54: Proceso de Destilación de Efecto Múltiple (MED). Fuente: Dévora 2012. ....   | 65 |
| Figura 55: Proceso de Destilación por Compresión Mecánica de Vapor (MVC). Fuente: Dévora 2012.....  | 66 |
| Figura 56: Proceso de Electrodiálisis (ED) mediante el uso de fuente fotovoltaica. Fuente: Remtavares 2013. ....  | 67 |
| Figura 57: Osmosis y Osmosis Inversa. Fuente: IQR. ....   | 68 |
| Figura 58: Proceso general de desalinización mediante Osmosis Inversa. Fuente: IDA Yearbook 2012-2013.....  | 68 |
| Figura 59: Recuperación de energía mediante turbina Pelton. Fuente: Villagrán 2017. ....  | 69 |
| Figura 60: Intercambiador de presión. Fuente: Villagrán 2017.....   | 69 |
| Figura 61: Volúmenes almacenados en los embalses [en millones de m <sup>3</sup> ]. Fuente: DGA.....   | 74 |
| Figura 62: Ubicación central en Huentelauquén. Fuente: Elaboración propia obtenida de Google Earth. ....  | 77 |
| Figura 63: Vista en planta de central en Huentelauquén. Fuente: Elaboración propia obtenida de Google Earth.....  | 78 |
| Figura 64: Reservorios superiores (1 y 2), reservorio inferior (óvalo inferior) y planta desalinizadora (rectángulo). Fuente: Elaboración propia obtenida de Google Earth. .... | 78 |
| Figura 65: Reservorio superior 1. Fuente: Elaboración propia obtenida de Google Earth. ....   | 79 |
| Figura 66: Reservorio superior 2. Fuente: Elaboración propia obtenida de Google Earth. ....   | 79 |
| Figura 67: Reservorio inferior y planta desalinizadora. Fuente: Elaboración propia obtenida de Google Earth.....  | 80 |
| Figura 68: Ubicación de la central en Corrales. Fuente: Elaboración propia obtenida de Google Earth. ....   | 82 |
| Figura 69: Ubicación de los 3 posibles reservorios superiores y el embalse Corrales. Fuente: Elaboración propia obtenida de Google Earth.....                                   | 82 |
| Figura 70: Ubicación de los reservorios, embalses y tuberías. Fuente: Elaboración propia obtenida de Google Earth.....  | 83 |
| Figura 71: Bombeo desde la planta desalinizadora hasta el embalse. Fuente: Elaboración propia obtenida de Google Earth.....   | 83 |
| Figura 72: Embalse Corrales usado como reservorio inferior. Fuente: Elaboración propia obtenida de Google Earth.....  | 84 |
| Figura 73: Reservorio superior 1. Fuente: Elaboración propia obtenida de Google Earth. ....   | 84 |
| Figura 74: Reservorio superior 2. Fuente: Elaboración propia obtenida de Google Earth. ....   | 85 |
| Figura 75: Reservorio superior 3. Fuente: Elaboración propia obtenida de Google Earth. ....   | 85 |
| Figura 76: Planta Desalinizadora en Los Vilos. Fuente: Elaboración propia obtenida de Google Earth. ....  | 86 |
| Figura 77: Ubicación de la central en Culimo. Fuente: Elaboración propia obtenida de Google Earth. ....   | 88 |
| Figura 78: Bombeo desde la planta desalinizadora hasta el embalse. Fuente: Elaboración propia obtenida de Google Earth.....   | 89 |

|  |     |
|--|-----|
| Figura 79: Vista en planta reservorio superior e inferior. Fuente: Elaboración propia obtenida de Google Earth.....  | 89  |
| Figura 80: Reservorio superior e inferior. Fuente: Elaboración propia obtenida de Google Earth. ....   | 90  |
| Figura 81: Embalse Culimo como reservorio inferior. Fuente: Elaboración propia obtenida de Google Earth.....   | 90  |
| Figura 82: Reservorio superior. Fuente: Elaboración propia obtenida de Google Earth. ....  | 91  |
| Figura 83: Planta desalinizadora en Quilimarí. Fuente: Elaboración propia obtenida de Google Earth. ....   | 91  |
| Figura 84: Ubicación centrales 1 y 2 en Talinay. Fuente: Elaboración propia obtenida de Google Earth. ....   | 93  |
| Figura 85: Vista en planta reservorio superior, inferior (circunferencias) y planta desalinizadora (rectángulo). Fuente: Elaboración propia obtenida de Google Earth. ....   | 94  |
| Figura 86: Reservorio superior, inferior y desalinizadora. Fuente: Elaboración propia obtenida de Google Earth.....  | 94  |
| Figura 87: Reservorio inferior y planta desalinizadora. Fuente: Elaboración propia obtenida de Google Earth.....   | 95  |
| Figura 88: Reservorio superior. Fuente: Elaboración propia obtenida de Google Earth. ....  | 95  |
| Figura 89: Vista en planta de reservorios y desalinizadora. Fuente: Elaboración propia obtenida de Google Earth.....   | 97  |
| Figura 90: Reservorios y desalinizadora. Fuente: Elaboración propia obtenida de Google Earth. ....   | 98  |
| Figura 91: Reservorio inferior y planta desalinizadora. Fuente: Elaboración propia Google Earth. ....  | 98  |
| Figura 92: Reservorio superior. Fuente: Elaboración propia obtenida de Google Earth. ....  | 99  |
| Figura 93: Ubicación central en Chungungo. Fuente: Elaboración propia obtenida Google Earth. ....  | 101 |
| Figura 94: Vista en planta de la central. Reservorios y desalinizadora (amarillo), tubería forzada de caída (azul), tubería de impulsión (naranja) y tubería de captación (morado). Fuente: Elaboración propia obtenida de Google Earth..... | 101 |
| Figura 95: Reservorios y planta desalinizadora. Fuente: Elaboración propia obtenida de Google Earth. ....  | 102 |
| Figura 96: Planta desalinizadora y captación de agua. Fuente: Elaboración propia obtenida de Google Earth.....   | 102 |
| Figura 97: Reservorio superior. Fuente: Elaboración propia obtenida de Google Earth. ....  | 103 |
| Figura 98: Reservorio inferior. Fuente: Elaboración propia obtenida de Google Earth. ....  | 103 |
| Figura 99: Ubicación central en Chungungo 2. Fuente: Elaboración propia obtenida de Google Earth. ....   | 105 |
| Figura 100: Vista en planta de los reservorios, desalinizadora y tuberías. Fuente: Elaboración propia obtenida de Google Earth.....  | 106 |
| Figura 101: Reservorios y planta desalinizadora. Fuente: Elaboración propia obtenida de Google Earth. ....   | 106 |
| Figura 102: Vista lateral de la caída bruta entre reservorios. Fuente: Elaboración propia obtenida de Google Earth.....  | 107 |
| Figura 103: Vista hacia el mar de los reservorios y la desalinizadora. Fuente: Elaboración propia obtenida de Google Earth.....  | 107 |
| Figura 104: Ubicación central en Huasco. Fuente: Elaboración propia obtenida de Google Earth. ....   | 109 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 105: Vista en planta zona de emplazamiento central. Fuente: Elaboración propia obtenida de Google Earth.....   | 110 |
| Figura 106: Reservorio inferior, superior y desalinizadora. Fuente: Elaboración propia obtenida de Google Earth.....  | 110 |
| Figura 107: Desnivel y tubería de caída entre reservorios. Fuente: Elaboración propia obtenida de Google Earth.....   | 111 |
| Figura 108: Reservorio inferior y desalinizadora. Fuente: Elaboración propia obtenida de Google Earth. ....   | 111 |
| Figura 109: Reservorio superior. Fuente: Elaboración propia obtenida de Google Earth. ....  | 112 |
| Figura 110: Generación en base a ERNC y demanda eléctrica del SEN para el mes de enero. Fuente: Elaboración propia.....   | 114 |
| Figura 111: Generación en base a ERNC y demanda eléctrica del SEN para el mes de junio. Fuente: Elaboración propia.....   | 115 |
| Figura 112: Dosificación HCR y mortero de junta. Fuente: Uribe, Ingendesa. ....   | 127 |
| Figura 113: Geometría y dimensiones presa HCR. Fuente: Rocco. ....  | 127 |
| Figura 114: Elementos hidráulicos central Entracque. A la izquierda la sección vertical del grupo ternario (Hydroart), al centro la sección vertical de la turbina-bomba reversible multietapas (Hydroart), a la derecha la sección vertical de la turbina-bomba reversible multietapas (de Pretto-Escher Wyss). Fuente: ENEL Green Power. .... | 131 |
| Figura 115: Planta desaladora compacta Hidritec. Fuente: Hidritec. ....   | 134 |
| Figura 116: Planta desaladora RO Vodik. Fuente: Indiamart. ....   | 135 |
| Figura 117: Planta desalinizadora Lakshmi. Fuente: Indiamart y Alibaba. ....  | 135 |
| Figura 118: Plantas desalinizadoras Waterman Engineers. Fuente: Indiamart y Water Engineers. ....   | 135 |
| Figura 119: Sistemas de desalinización VigafLOW. Fuente: VigafLOW. ....   | 136 |
| Figura 120: Captación mediante pozos playeros verticales-radiales. Arriba: Sondeo captación desaladora Sta. Cruz Tenerife. Fuente: desalación.org. ....   | 137 |
| Figura 121: Velocidades máximas y mínimas en Tuberías. Fuente: Karia Scribd. ....   | 140 |
| Figura 122: Diseño preliminar de la caverna de máquinas, central Salto de Chira. Fuente: Hernández, eldiario.es.....  | 141 |
| Figura 123: Vista en planta caverna de máquinas, central Moralets. Fuente: ENHER. ....  | 142 |
| Figura 124: Vista isométrica caverna de máquinas, central Moralets. Fuente: ENHER. ....   | 142 |
| Figura 125: Diseño del túnel de acceso hacia la caverna de máquinas. Fuente: Manual de Carreteras.....  | 143 |
| Figura 126: Curvas de nivel reservorio sup. 1 Huentelauquen. Fuente: Elaboración propia. ...  | 160 |
| Figura 127: Curvas de nivel reservorio sup. 2 Huentelauquen. Fuente: Elaboración propia. ...  | 160 |
| Figura 128: Curvas de nivel reservorio inferior Huentelauquen. Fuente: Elaboración propia. ...  | 161 |
| Figura 129: Curvas de nivel reservorio superior 1 Corrales. Fuente: Elaboración propia. ....  | 161 |
| Figura 130: Curvas de nivel reservorio superior 2 Corrales. Fuente: Elaboración propia. ....  | 162 |
| Figura 131: Curvas de nivel reservorio superior 3 Corrales. Fuente: Elaboración propia. ....  | 162 |
| Figura 132: Curvas de nivel reservorio superior Culimo. Fuente: Elaboración propia. ....  | 163 |
| Figura 133: Curvas de nivel reservorio superior Talinay 1. Fuente: Elaboración propia. ....   | 163 |
| Figura 134: Curvas de nivel reservorio inferior Talinay 1. Fuente: Elaboración propia. ....   | 164 |
| Figura 135: Curvas de nivel reservorio superior Talinay 2. Fuente: Elaboración propia. ....   | 164 |
| Figura 136: Curvas de nivel reservorio inferior Talinay 2. Fuente: Elaboración propia. ....   | 165 |
| Figura 137: Curvas de nivel reservorio superior Chungungo 1. Fuente: Elaboración propia. ...  | 165 |
| Figura 138: Curvas de nivel reservorio inferior Chungungo 1. Fuente: Elaboración propia. ....   | 166 |
| Figura 139: Curvas de nivel reservorio superior Chungungo 2. Fuente: Elaboración propia. ...  | 166 |
| Figura 140: Curvas de nivel reservorio inferior Chungungo 2. Fuente: Elaboración propia. ....   | 167 |



|  |     |
|--|-----|
| Figura 141: Curvas de nivel reservorio superior Huasco. Fuente: Elaboración propia. ....             | 167 |
| Figura 142: Curvas de nivel reservorio inferior Huasco. Fuente: Elaboración propia. ....             | 168 |
| Figura 143: Perfil de elevación reservorio superior 1 Huentelauquen. Fuente: Elaboración propia..... | 168 |
| Figura 144: Perfil de elevación reservorio superior 2 Huentelauquen. Fuente: Elaboración propia..... | 168 |
| Figura 145: Perfil de elevación reservorio superior 1 Corrales. Fuente: Elaboración propia. ...      | 169 |
| Figura 146: Perfil de elevación reservorio superior 2 Corrales. Fuente: Elaboración propia. ...      | 169 |
| Figura 147: Perfil de elevación reservorio superior 3 Corrales. Fuente: Elaboración propia. ...      | 169 |
| Figura 148: Perfil de elevación reservorio superior Culimo. Fuente: Elaboración propia.....          | 169 |
| Figura 149: Perfil de elevación reservorio superior Talinay 1. Fuente: Elaboración propia. ....      | 169 |
| Figura 150: Perfil de elevación reservorio superior Talinay 2. Fuente: Elaboración propia. ....      | 170 |
| Figura 151: Perfil de elevación reservorio superior Chungungo 1. Fuente: Elaboración propia. ....    | 170 |
| Figura 152: Perfil de elevación reservorio superior Chungungo 2. Fuente: Elaboración propia. ....    | 170 |
| Figura 153: Perfil de elevación reservorio superior Huasco. Fuente: Elaboración propia. ....         | 170 |

## Índice de Tablas

|  |     |
|--|-----|
| Tabla 1: Distribución de la capacidad eléctrica total instalada por sistema eléctrico. Fuente: Energía Abierta.....  | 8   |
| Tabla 2: Distribución de la capacidad eléctrica total instalada por tipo de energía. Fuente: Energía Abierta.....  | 9   |
| Tabla 3: Distribución de la capacidad eléctrica del SEN por tipo de energía. Fuente: Energía Abierta. ....   | 10  |
| Tabla 4: Distribución de la capacidad eléctrica del SEA por tipo de energía. Fuente: Energía Abierta. ....   | 11  |
| Tabla 5: Distribución de la capacidad eléctrica del SEM por tipo de energía. Fuente. Energía Abierta. ....   | 12  |
| Tabla 6: Capacidad instalada de almacenamiento por bombeo a 2020. Fuente: IHA. ....  | 28  |
| Tabla 7: Resumen de configuraciones según tipo. Fuente Tesis Daniel Salinas FCFM.....  | 36  |
| Tabla 8: Ranking de países con mayor capacidad de desalinización. Fuente: GIZ 2017.....  | 51  |
| Tabla 9: Proporción de sales disueltas en agua de mar: Fuente: Pabón 2001.....   | 56  |
| Tabla 10: Temperaturas mínimas y máximas de los principales océanos y mares. Fuente: Fajardo 2018, Datos de National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). .... | 58  |
| Tabla 11: Comparativa entre captación abierta y cerrada. Fuente: Nexum 2020. ....  | 62  |
| Tabla 12: Clasificación de los métodos de desalinización. Fuente: Delgado 2007. ....   | 63  |
| Tabla 13: Parámetros central en Huentelauquén. Fuente: Elaboración propia.....   | 80  |
| Tabla 14: Parámetro central en Corrales. Fuente: Elaboración propia. ....  | 86  |
| Tabla 15: Parámetros central en Culimo. Fuente: Elaboración propia. ....   | 92  |
| Tabla 16: Parámetros central Talinay 1. Fuente: Elaboración propia.....  | 96  |
| Tabla 17: Parámetros central Talinay 2. Fuente: Elaboración propia.....  | 99  |
| Tabla 18: Parámetros central en Huasco. Fuente: Elaboración propia.....  | 112 |
| Tabla 19: Constantes para el cálculo de caudales y potencias.....  | 118 |
| Tabla 20: Volúmenes y desniveles máximos.....  | 119 |
| Tabla 21: Caudales y potencias máximas. ....   | 120 |

|  |     |
|--|-----|
| Tabla 22: Límites en consideración para el diseño de caudales. ....  | 121 |
| Tabla 23: Localidades para suministro hídrico y producción de agua. ....   | 123 |
| Tabla 24: Centrales objetivo-condicionadas según volumen. ....   | 125 |
| Tabla 25: Dimensiones de presas en centrales objetivo. ....  | 128 |
| Tabla 26: Características maquinaria reversible embalse Chiotas, Hidroeléctrica Entracque.<br>Fuente: ENEL Green Power. .... | 129 |
| Tabla 27: Características maquinaria reversible embalse Rovina, Hidroeléctrica Entracque:<br>Fuente: ENEL Green Power. ....  | 130 |
| Tabla 28: Largo de tuberías de captación. ....   | 138 |
| Tabla 29: Largo de tuberías forzadas y de impulsión. ....  | 139 |
| Tabla 30: Diámetro, velocidad y caída de presión de tuberías forzadas. ....  | 140 |
| Tabla 31: Resumen de costos totales de centrales objetivo. ....  | 149 |
| Tabla 32: Resumen presupuesto central Huentelauquén - Puerto Oscuro. ....  | 171 |
| Tabla 33: Resumen presupuesto central Corrales. ....   | 172 |
| Tabla 34: Resumen presupuesto central Culimo. ....   | 173 |
| Tabla 35: Resumen presupuesto central Talinay 1. ....  | 174 |
| Tabla 36: Resumen presupuesto central Talinay 2. ....  | 175 |
| Tabla 37: Resumen presupuesto central Chungungo 1. ....  | 176 |
| Tabla 38: Resumen presupuesto central Chungungo 2. ....  | 177 |
| Tabla 39: Resumen presupuesto central Huasco. ....   | 178 |