

Tabla de contenido

1.	Introducción.....	1
1.1.	Objetivos.....	1
1.1.1.	Objetivo general	1
1.1.2.	Objetivos específicos.....	2
1.2.	Alcances.....	2
2.	Revisión bibliográfica	3
2.1.	Tecnologías de almacenamiento.....	3
2.1.1.	Aplicaciones de los ESS.....	3
2.1.2.	Tipos de ESS.....	4
2.1.3.	Estado de las tecnologías de almacenamiento.....	9
2.2.	Centrales de concentración Solar	10
2.2.1.	Campo y Receptor Solar.....	11
2.2.2.	Transferencia y Almacenamiento de Calor	15
2.2.3.	Bloque de Potencia	20
2.3.	Experiencia internacional	21
2.3.1.	España.....	22
2.3.2.	Estados Unidos	25
2.3.3.	Sudáfrica.....	26
2.4.	Potencial CSP en Chile.....	26
2.4.1.	Factores favorables	26
2.4.2.	Factores desfavorables.....	28
2.4.3.	Proyectos en Chile	29
2.4.4.	Mercado Eléctrico Chileno	29
3.	Metodología.....	30
3.1.	Presentación del caso de estudio	30
3.2.	Determinación de la operación de la central CSP	30
3.3.	Simulación de la operación.	31
3.4.	Obtención y análisis de resultados.	31
4.	Modelación del sistema	32
4.1.	Características generales.....	32
4.1.1.	Capacidad Instalada año 2020	32
4.1.2.	Red de Transmisión	33

4.1.3. Demanda.....	33
4.1.4. Perfiles	34
4.1.5. Emisiones	34
4.1.6. Hidrologías	34
4.1.7. Central de estudio	35
4.2. Modos de despacho	37
4.2.1. AMEBA.....	37
4.2.2. Minimización de Costos	37
4.2.3. Generación Constante.....	38
4.2.4. Maximización de Utilidades.....	39
4.3. Índices de Lerner	41
5. Resultados y análisis.....	42
5.1. Minimización de costos del sistema con CSP	42
5.1.1. Energía y utilidad anual de central CSP	42
5.1.2. Impacto en el resto del parque generador.....	44
5.1.3. Costos del sistema y pago de demanda	52
5.2. Operación con distintos modelos de Despacho	53
5.2.1. Impacto en el resto del parque generador.....	54
5.2.2. Costos del sistema y pago de demanda	65
5.2.3. Índice de Lerner.....	67
5.2.4. Emisiones	71
6. Conclusiones.....	73
7. Trabajos futuros.....	75
8. Bibliografía.....	76
9. Anexos.....	78
9.1. Datos técnicos de centrales PV.....	78
9.2. Datos centrales Eólicas.....	79
9.3. Datos Centrales GNL.....	80
9.4. Datos Centrales Carbón.....	81
9.5. Datos Centrales Diésel.....	82
9.6. Datos Centrales Hidráulicas	84
9.7. Límite de transmisión de líneas del modelo:	86
9.8. Proyección de demandas utilizadas	87

Índice de tablas

Tabla 1 Comparación de baterías. [3], [4].....	8
Tabla 2 Diferencia entre tecnologías de concentración; [9].....	14
Tabla 3 Potencial CSP disponible estimado con planta piloto (fp 0.5 y 200 ha continuas como mínimo) [32].....	28
Tabla 4 Proyectos CSP en Chile; [33] [34]	29
Tabla 5 Capacidad instalada del sistema modelado por tecnología	32
Tabla 6 Datos de demanda utilizados	33
Tabla 7 Promedio de emisiones por tecnología.....	34
Tabla 8 Volumen inicial y final de embalses utilizados para las simulaciones.....	35
Tabla 9 Parámetros elegidos para central CSP	36
Tabla 10 Disminución de generación de centrales de carbón más afectadas por inclusión de central CSP a despacho de mínimo costo en las tres hidrologías evaluadas.	48
Tabla 11 Numero de encendido de centrales a carbón más afectadas por inclusión de central CSP a despacho de mínimo costo en las tres hidrologías evaluadas	48
Tabla 12 Diferencia de generación de centrales de GNL más afectadas por inclusión de central CSP a despacho de mínimo costo en las tres hidrologías evaluadas	50
Tabla 13 Numero de encendido de centrales a GNL más afectadas por inclusión de central CSP a despacho de mínimo costo en las tres hidrologías evaluadas	50
Tabla 14 Diferencia de generación de centrales diésel más afectadas por inclusión de central CSP a despacho de mínimo costo en las tres hidrologías evaluada.....	51
Tabla 15 Promedio margen operacional centrales hidráulicas, según modo de despacho.	58
Tabla 16 Promedio de energía anual inyectada por hidráulicas para los distintos modos de despacho.	59
Tabla 17 Promedio margen operacional centrales de biomasa, según modo de despacho	60
Tabla 18 Promedio de energía anual inyectada por carboneras para los distintos modos de despacho	61
Tabla 19 Promedio margen operacional centrales carboneras, según modo de despacho.	62
Tabla 20 Promedio energía anual centrales GNL, según modo de despacho	63
Tabla 21 Promedio margen operacional centrales GNL, según modo de despacho.	64
Tabla 22 Promedio energía inyectada centrales diésel, según modo de despacho.....	65
Tabla 23 Promedio de los costos de operación según modo de despacho	66
Tabla 24 Promedio pago de la demanda según modo de despacho.	67
Tabla 25 Promedio anual de Índice de Lerner de cada hidrología y promedio total.....	67
Tabla 26 Promedio de emisiones para distintos gases de efecto invernadero para distintos modelos de despacho.....	71

Índice de Figuras.

Figura 1 Distintos tipos de EES con su posible utilidad. [1].....	5
Figura 2 EES según forma de almacenamiento. [1]	6
Figura 3 Diagrama de Central de almacenamiento tipo bombeo; [2].....	6
Figura 4: Funcionamiento CAES. [2].....	7
Figura 5 Maduración de tecnologías son capital requerido por riesgo; [1].....	10
Figura 6 Capacidad instalada de distintas tecnologías de almacenamiento en el mundo; elaboración propia, [4][5].....	10
Figura 7 Sistemas que componen centrales de CSP Elaboración propia	11
Figura 8 Tecnologías de concentración, de izquierda a derecha: Espejos Parabólicos; Fresnel; Torre Central; Disco Stirling [6]	11
Figura 9 Diagrama de funcionamiento de colector cilíndrico parabólico; [7]	12
Figura 10 Diagrama de funcionamiento de colector tipo Fresnel; [7].....	12
Figura 11 Diagrama de funcionamiento de colector tipo Torre Solar; [7].....	13
Figura 12 Diagrama de concentrador Parabólico de disco; [7]	13
Figura 13 Distribucion de proyectos en operación, construcción y desarrollo en el mundo por tecnología; Elaboración propia.	15
Figura 14 Método de almacenamiento directo; [9]	16
Figura 15 Método de almacenamiento indirecto; [9]	17
Figura 16 Configuración de sales en torre solar con método directo [11]	18
Figura 17 Configuración de sales en espejos parabólicos con método directo [12]	18
Figura 18 Configuración de sales en espejos parabólicos con método indirecto; [14]	19
Figura 19 Sistema de almacenamiento con cerámica; [15]	20
Figura 20 Sistema de almacenamiento con acumuladores de vapor; [16]	20
Figura 21 Centrales CSP en operación en el mundo; Elaboración Propia con datos de Project Tracker CSPToday 20/junio/2016.....	22
Figura 22 Ejemplo de Feed in Tarif y Feed in Premium; [20]	23
Figura 23 Déficit generado por subvenciones a tecnologías renovables; [19].....	24
Figura 24 Resumen de marco regulatorio en España para centrales CSP y capacidad instalada; [19]	24
Figura 25 Mapa de radiación solar directa en el mundo; [28].....	27
Figura 26 Mapa de radiación solar directa en Antofagasta; [29]	27
Figura 27 Perfil de demanda del SING año de referencia 2012; [29]	28
Figura 28 Resumen de etapas de metodología utilizada.....	30
Figura 29 Metodología para definir despacho constante de central CSP	30
Figura 30 metodología par la maximizacion de utilidades.....	31
Figura 31 Capacidad instalada del sistema modelado por tecnología	33
Figura 32 Curva de duracion de demanda	34
Figura 33 Energía anual afluentes al SIC, elaboración propia	35
Figura 34 resumen de metodología para despacho de maximización de utilidades	39
Figura 35 Metodología para determinar curvas de precios horarias	40
Figura 36 Energía anual de CSP despachado por medio de Minimización de Costos en las tres hidrologías evaluadas	42
Figura 37 Ejemplo de generación diaria de central CSP en caso de Minimización de Costo para tres casos hidrológicos	43

Figura 38 Utilidad anual de central CSP por ventas al mercado spot despachada a minimización de Costos para las tres hidrologías evaluadas	44
Figura 39 Comparación energía inyectada y margen operacional para centrales fotovoltaicas entre caso base y minimización de costos.	45
Figura 40 Comparación energía inyectada y margen operacional para centrales eólicas entre caso base y minimización de costos.	45
Figura 41 Comparación energía inyectada y margen operacional para centrales hidráulicas entre caso base y minimización de costos.	46
Figura 42 Comparación energía inyectada y margen operacional para centrales de biomasa entre caso base y minimización de costos.	47
Figura 43 Comparación energía inyectada y margen operacional para centrales de carbón entre caso base y minimización de costos.	47
Figura 44 Comparación energía inyectada y margen operacional para centrales de GNL entre caso base y minimización de costos.	49
Figura 45 Comparación energía inyectada y margen operacional para centrales diésel entre caso base y minimización de costos.	51
Figura 46 Costos de operación del sistema, caso base y minimización de costos para las tres hidrologías evaluadas	52
Figura 47 Pago de demanda, caso base y minimización de costos para las tres hidrologías evaluadas	53
Figura 48 Generación anual CSP para los tres tipos de despacho en las tres hidrologías evaluadas	53
Figura 49 Utilidad anual de central CSP por ventas al mercado spot en los 3 tipos de despacho y las 3 hidrologías evaluadas	54
Figura 50 Comparación energía anual inyectada por centrales fotovoltaicas según modo de despacho.	55
Figura 51 Margen operacional centrales fotovoltaicas para los distintos modos de despacho.	56
Figura 52 Energía inyectada por eólicas para los distintos modos de despacho.	56
Figura 53 Margen operacional eólicas según modo de despacho.	57
Figura 54 Energía inyectada por hidráulicas para los distintos modos de despacho.....	58
Figura 55 Margen operacional hidráulicas según modo de despacho.	58
Figura 56 Energía inyectada por centrales de biomasa para los distintos modos de despacho.	59
Figura 57 Margen operacional centrales de biomasa según modo de despacho.	60
Figura 58 Energía inyectada por carboneras para los distintos modos de despacho.	61
Figura 59 Margen operacional centrales carboneras según modo de despacho.	62
Figura 60 Energía inyectada por centrales GNL para los distintos modos de despacho.....	63
Figura 61 Margen operacional centrales a GNL según modo de despacho.	64
Figura 62 Energía inyectada por centrales diésel para los distintos modos de despacho.....	65
Figura 63 Costos de operación del sistema, en los cuatro casos para las tres hidrologías evaluadas	66
Figura 64 Pago de demanda, en los cuatro casos para las tres hidrologías evaluadas.....	67
Figura 65 Ejemplo de cambio de costos marginales producto del desplazamiento de generación para obtener mayores utilidades	68
Figura 66 Distribución horaria de índice de Lerner según su valor para hidrología media	69
Figura 67 Distribución horaria de índice de Lerner según su valor para hidrología seca	69
Figura 68 Impacto a nivel individual para distintas centrales.	70
Figura 69 Impacto a nivel individual, para centrales con ingresos menores a 10 [MMUSD].	71