

Tabla de contenido

1. Introducción.....	1
1.1 Motivación.....	1
1.2 Objetivos	2
1.2.1 Objetivos Generales.....	2
1.2.2 Objetivos Específicos.....	2
1.3 Alcances	2
1.4 Metodología de trabajo	3
2. Antecedentes.....	5
2.1 Seguridad de suministro en los Sistemas Eléctricos de Potencia	5
2.1.1 Los Servicios Complementarios (SSCC).....	5
2.1.2 Servicios Complementarios según los requerimientos de los sistemas eléctricos de potencia	6
2.2 Integración de Energías Renovables de Fuente Variable en los sistemas eléctricos	8
2.2.1 Incorporación de Energías renovables en Chile.....	11
2.3 Impacto de las Energías Renovables de Fuente Variable en la seguridad del sistema ...	11
2.3.1 Efectos generales: Problemas de Corto plazo.....	12
2.3.2 Impacto ERFV en Chile: Estudio de Flexibilidad [6].....	13
2.4 Revisión Internacional	18
2.4.1 Estados Unidos, PJM.....	19
2.4.2 Italia	24
2.4.3 Bélgica [12].....	30
2.4.4 Australia.....	32
2.5 Contexto Chileno: Situación Actual	37

2.5.1	Mercado Eléctrico Chileno	37
2.5.2	Servicios Complementarios en Chile: Situación Actual.....	37
2.5.3	Determinación y obtención de reservas	40
3.	Metodología y Casos de Estudio	42
3.1	Propuesta General.....	42
3.2	Modelos.....	43
3.2.1	Modelos de pre-despacho: PLP y PCP	43
3.2.2	Modelo de despacho en tiempo real	45
3.3	Casos de estudio	46
3.3.1	Datos de entrada para los modelos y supuestos	46
4.	Desafíos en Chile e identificación de lineamientos fundamentales para las propuestas	50
4.1	Desafíos identificados	50
4.2	Elementos comunes de los mercados internacionales	51
4.3	Situación objetivo	55
4.3.1	Descripción de la situación objetivo.....	55
4.3.2	Ejemplificación de la situación objetivo.....	56
5.	Propuestas a partir de lineamientos identificados.....	60
5.1	Contextualización de las propuestas	60
5.2	Propuestas.....	61
5.2.1	Obtención de los Servicios Complementarios a mínimo costo mediante una co-optimización de la energía y las reservas.....	61
5.2.2	Existencia de un diseño adecuado de productos a remunerar	63
5.2.3	Resultado de cada instancia de mercado vinculante y la posibilidad de penalizaciones al desvío.....	63
5.2.4	Diversificar los tipos de tecnologías que entregan servicios, subastas como espacio para nuevos servicios	65

6.	Resultados y análisis del caso de estudio	66
6.1	Programación del día antes	66
6.1.1	Hidrología Seca	66
6.1.2	Hidrología Húmeda	68
6.2	Activación de reservas en tiempo real	70
6.2.1	Hidrología Seca	71
6.2.2	Hidrología Húmeda	73
6.3	Marco operacional	74
7.	Conclusiones.....	76
7.1	Conclusiones generales	76
7.2	Trabajo Futuro	77
8.	Bibliografía.....	78

Índice de Figuras

Figura 1.1:	Metodología de trabajo.....	4
Figura 2.1:	Respuesta en frecuencia frente a perturbaciones y activación de los CPF y CSF. Fuente: [2].....	8
Figura 2.2:	Capacidad instalada global acumulada e incremento anual de energía eólica. Fuente: REN21 Renewables 2017 Global Status Report	10
Figura 2.3:	Capacidad global e incremento anual de energía solar fotovoltaica. Fuente: REN21 Renewables 2017 Global Status Report	10
Figura 2.4:	Capacidad instalada sistema eléctrico chileno. Fuente: [4].....	11
Figura 2.5:	Impacto de las energías renovables: Problemas de corto plazo. Fuente: Elaboración propia.....	12
Figura 2.6:	Curva del pato del estudio de flexibilidad del CAISO. Fuente: “What the duck curve tell us about managing a green grid” en [5]	13
Figura 2.7:	Cantidad de partidas anuales máximas y promedio de las unidades de hidro-embalse	14

Figura 2.8: Cantidad de partidas anuales máxima y promedio de las unidades de Carbón (izquierda) y GNL (derecha) del Sistema Eléctrico Nacional.....	15
Figura 2.9: Cantidad de horas de ramping para las unidades a carbón para las horas del año.....	16
Figura 2.10: Cantidad de horas de ramping para las unidades a GNL para las horas del año	17
Figura 2.11: Cantidad de horas de ramping para las unidades hidráulicas de embalse para las horas del año	17
Figura 2.12: Caracterización de la demanda para un día de verano. Fuente: Estudio Flexibilidad CDEC SING 2016 [6].....	18
Figura 2.13: Ubicación del sistema PJM, EEUU. Fuente: www.pjm.com	19
Figura 2.14: Ejemplo de operación PJM, 3 de Agosto 2017 3:00 pm	20
Figura 2.15: Línea de tiempo de la operación del Mercado de Energía. Fuente: Elaboración propia	21
Figura 2.16: Esquema de funcionamiento del mercado de Regulación	22
Figura 2.17: Obtención precio de despeje Regulation Market. Elaboración propia	23
Figura 2.18: Mapa del Sistema Eléctrico Italiano. Fuente: [9].....	25
Figura 2.19: Generación neta Enero 2016. Fuente: Entsoe [10]	26
Figura 2.20: Estructura mercado eléctrico Italiano. Fuente: Elaboración propia basado en [11]	26
Figura 2.21: Línea de tiempo del Mercado Intradía italiano. Elaboración propia	27
Figura 2.22: Línea de tiempo mercado ex-ante MSD. Fuente: Elaboración propia	28
Figura 2.23: Sistema eléctrico Belga	30
Figura 2.24: Capacidad instalada NEM	32
Figura 2.25: Sistema Eléctrico y de gas de Australia. Fuente: AEMO.com.au	33
Figura 3.1: Metodología de casos de estudio	43
Figura 3.2: Matriz energética Sistema Eléctrico Nacional utilizada	47
Figura 4.1: Estructura común identificada entre los mercados internacionales. Fuente: Elaboración propia	51
Figura 4.2: Categorías de los SSCC identificadas	53

Figura 4.3: Resumen de características deseables en la situación objetivo. Fuente: Elaboración propia	56
Figura 4.4: Disponibilidad de la central eólica entregada al Mercado Day Ahead	57
Figura 4.5: Ilustración del predespacho. Cada barra representa si se encuentra o no despachada	58
Figura 4.6: Ilustración del re-despacho. Cada barra representa si se encuentra o no despachada	58
Figura 4.7: Modificación al perfil eólico introducido en el despacho. En azul la programación del día antes. En Rojo la reprogramación introducida en la hora 10 del mismo día del despacho. En Verde la estimación del pronóstico luego del cambio de corto plazo.....	59
Figura 5.1: Metodología para la obtención de los SSCC a mínimo costo. Elaboración propia. ...	63
Figura 6.1: Pre-despacho para el día 7 de enero. Hidrología seca.....	67
Figura 6.2: Participación por tecnología en el pre-despacho del día 7 de Enero para una Hidrología Seca	67
Figura 6.3: Pre-despacho para el día 7 de Enero. Hidrología Húmeda.....	69
Figura 6.4: Participación en el pre-despacho por tecnología. Hidrología Húmeda.....	69
Figura B.1: Generación por tecnología para el día 7 de enero. Hidrología Seca.	89
Figura B.2: Generación por tecnología para el día 7 de Enero. Hidrología Húmeda.	93