

## Tabla de Contenido

1	Introducción .....	1
1.1	Motivación .....	1
1.2	Alcance.....	2
1.3	Objetivos .....	3
1.3.1	Objetivo General.....	3
1.3.2	Objetivos Específicos .....	3
1.4	Estructura .....	4
2	Marco Teórico .....	6
2.1	Lineswitching y su impacto en la operación del sistema. ....	6
2.2	Aplicaciones .....	8
2.2.1	Método para minimizar costos del sistema .....	8
2.2.2	Método correctivo en contingencias.....	11
2.2.3	Minimización perdidas.....	11
2.2.4	Lineswitching y confiabilidad .....	11
2.3	Requerimientos CPU del método .....	13
2.4	Esquema organizacional sistema eléctrico chileno .....	16
3	Modelo Utilizado .....	19
4	Metodología propuesta .....	23
4.1	Software propuesto .....	23
4.2	Método para utilización del modelo.....	23
4.3	Información modelo SIC-SING.....	24
4.3.1	Barras del Sistema .....	24
4.3.2	Demanda del Sistema.....	24
4.3.3	Factores de Generación.....	25
4.3.4	Generadores del Sistema .....	26
4.3.5	Tramos del Sistema.....	29
4.3.6	Adaptación Sub-transmisión y transmisión adicional (STx y ATx) .....	29

4.3.7	Trabajo utilizado del Centro de Energía.....	32
4.4	Esquema de la metodología utilizada .....	34
5	Resultados Simulaciones.....	36
5.1	Análisis por condiciones de operación .....	36
5.1.1	Condición de operación con mayor ahorro nominal .....	36
5.1.2	Condición de operación con un mayor ahorro porcentual .....	46
5.2	Ahorro Anual del método y análisis vertimiento ERNC.....	53
5.2.1	Ahorro del método .....	53
5.2.2	Ahorro en un caso con doble penetración de energías ERNC (viento y sol) 53	
5.2.3	Vertimiento ERNC (Eólico y Solar).....	55
5.2.4	Emisiones.....	60
5.3	Análisis tiempo de ejecución del método y eficacia.....	61
5.4	Comparación entre los métodos.....	64
6	Conclusiones y trabajos futuros.....	66
6.1	Conclusiones .....	66
6.2	Propuestas de trabajos futuros .....	67
7	Bibliografía .....	68
A.	Anexos .....	70
1.	Barras del sistema .....	70
2.	Demanda condiciones de operación.....	75
3.	Duración de condiciones de operación .....	91
4.	Factores de condiciones de operación por tecnología.....	91
➤	Factores Térmicos constantes.....	91
➤	Perfil Solar .....	92
➤	Perfiles eólicos.....	92
➤	Perfiles hidráulicos.....	94
5.	Centrales.....	97
➤	ERNC (eólicas y solares).....	97
➤	Centrales Hidráulicas .....	100
➤	Centrales Térmicas .....	104
6.	Líneas y transformadores .....	110
B.	Anexo Soluciones.....	120

1. Líneas desconectadas según condición de operación .....	120
--	-----

## Índice de Figuras

Figura 2.1 Ejemplo sistema de 3 barras [11] .....	7
Figura 2.2 Soluciones Factibles [11] .....	8
Figura 2.3 Análisis de Participantes de Mercado, según cantidad de líneas abiertas J. [9] .....	10
Figura 2.4 Costos Marginales de algunas barras para distinta cantidad de líneas abiertas J. [9].....	10
Figura 2.5 Ejemplo mejora de confiabilidad [11].....	12
Figura 2.6 Tiempo de resolución CPU para distinta cantidad de switches J. ....	15
Figura 2.7 Esquema de operación sistema eléctrico chileno [20] .....	16
Figura 2.8 Estructura mercado eléctrico chileno [20].....	18
Figura 4.1 Porcentaje de potencia instalada con respecto al total instalado .....	28
Figura 4.2 Potencia instalada con respecto a los distintos tipos de generación .....	28
Figura 4.3 Ejemplo kmeans de mathworks .....	33
Figura 4.4 Esquema de la metodología utilizada .....	34
Figura 5.1 Resultado abriendo una línea .....	40
Figura 5.2 Resultados cerrando una línea de la topología óptima.....	40
Figura 5.3 Diagrama simplificado de la zona sur del SING.....	42
Figura 5.4 Diagrama de parte de la zona sur del SING, líneas abiertas: "Antofagasta 110->Capricornio 110" y "La Negra 110->Alto Norte 110" .....	44
Figura 5.5 lineswitching "Antofagasta 110->Capricornio 110" y "La Negra 110->Alto Norte 110" .....	45
Figura 5.6 Esquema de solución en la Región Metropolitana de Santiago .....	49
Figura 5.7 Esquema de la solución de linswitching en la R.M, condición de operación 35 hidrología húmeda .....	51
Figura 5.8 Vertimiento ERNC (eólico y solar) en el SIC. ....	56
Figura 5.9 Porcentaje de condiciones de operación resueltas en S segundos .....	64

## Índice de Tablas

Tabla 2.1 Información de generadores.....	12
Tabla 2.2 Información de Líneas. ....	13
Tabla 2.3 Caso 1, Despacho óptimo sin posibilidad de lineswitching .....	13
Tabla 2.4 Caso 2, Despacho óptimo con posibilidad de lineswitching, saca Linea A-C. ....	13

Tabla 2.5 Tiempos de CPU según tamaño de sistema [10] .....	14
Tabla 2.6 Resumen métodos de disminución de requerimientos CPU.....	15
Tabla 4.1 División de Zonas y cantidad de líneas por zona. ....	24
Tabla 4.2 Demandas totales del sistema según condición de operación en MW ....	25
Tabla 4.3 Factores de planta máximo ERNC.....	26
Tabla 4.4 Factores de planta máximo por zonas eólicas .....	26
Tabla 4.5 Potencia instalada por tecnologías y porcentajes.....	27
Tabla 4.6 Valor de líneas promedio normalizada, en \$US por zona y nivel de voltaje .....	30
Tabla 4.7 Valor de transformadores promedio normalizada, en \$US por zona y según tipo.....	30
Tabla 5.1 Totales disponibles de cada tecnología de generación y los resultados de la condición de operación 4 con y sin posibilidad de cambios topológicos.....	37
Tabla 5.2 Cambio del punto de operación en centrales. ....	38
Tabla 5.3 Líneas desconectadas.....	39
Tabla 5.4 Resumen pruebas realizadas en US\$ .....	39
Tabla 5.5 Líneas saturadas, condición de operación 4, Hidrología seca .....	43
Tabla 5.6 Ejemplo línea "Kapatun 220->O'higgins 220" puesta en servicio con respecto a topología óptima imponiendo generación de central Bolero. ....	43
Tabla 5.7 Totales disponibles de cada tecnología de generación y los resultados de condición de operación 38 con y sin LS, hidrología húmeda.....	47
Tabla 5.8 Líneas abiertas en la condición de operación 38 hidrología húmeda.....	48
Tabla 5.9 Líneas saturadas con su porcentaje de saturación en el caso base y en el caso con LS.....	48
Tabla 5.10 Generación por Zonas, en MW .....	50
Tabla 5.11 Líneas desconectadas en Región Metropolitana. ....	51
Tabla 5.12 Generación por Zonas, condición de operación 35 hidrología húmeda. .	52
Tabla 5.13 Costo operacional por zonas .....	52
Tabla 5.14 Costos de Operación anual con y sin LS y distintas hidrologías. ....	53
Tabla 5.15 Información SEA [21].....	54
Tabla 5.16 Costos de Operación anual con y sin LS y distintas hidrologías, doble penetración ERNC .....	54
Tabla 5.17 Costos de Operación anual con y sin LS y distintas hidrologías, doble penetración ERNC, con adaptación STx y ATx doble ERNC.....	55
Tabla 5.18 Total disponible caso base.....	56
Tabla 5.19 Vertimiento sin LS caso Base en MWh .....	57
Tabla 5.20 Vertimiento con LS caso Base en MWh .....	57
Tabla 5.21 Reducción porcentual del vertimiento debido al LS en MWh, caso base	57
Tabla 5.22 Centrales solares con energía vertida.....	58
Tabla 5.23 Resumen de las centrales que vierten energía eólica. ....	58
Tabla 5.24 Líneas desconectadas, condición de operación 35 hidrología Húmeda ..	59
Tabla 5.25 Vertimiento sin LS caso doble penetración ERNC (eólica solar) en MWh .....	60

Tabla 5.26 Vertimiento con LS caso doble penetración ERNC (eólica solar) en MWh .....	60
Tabla 5.27 Reducción porcentual del vertimiento debido al LS en MWh, caso x2 ERNC .....	60
Tabla 5.28 Diferencia entre emisiones con y sin LS en toneladas de CO <sub>2</sub> equivalente según el sistema GEI .....	61
Tabla 5.29 Resultados del método vs problema completo .....	62
Tabla 5.30 tiempos de solución, estadísticos de las soluciones en segundos.....	63
Tabla 5.31 Contraste método de zonas vs optimización completa.....	65
Tabla A.1 Barras del sistema por zonas y tipo .....	70
Tabla A.2 Demanda total del sistema por condiciones de operación en MW (anexo) .....	75
Tabla A.3 Demanda por barra de retiro y condiciones de operación de verano en MW .....	75
Tabla A.4 Demanda por barra de retiro y condiciones de operación de otoño en MW .....	79
Tabla A.5 Demanda por barra de retiro y condiciones de operación de invierno en MW.....	83
Tabla A.6 Demanda por barra de retiro y condiciones de operación de primavera en MW.....	87
Tabla A.7 Duración condiciones de operación en Horas.....	91
Tabla A.8 Factores de centrales térmicas según tipo de tecnología .....	91
Tabla A.9 Perfil solar.....	92
Tabla A.10 Perfil eólico extremo Norte .....	92
Tabla A.11 Perfil eólico zona Norte y centro .....	93
Tabla A.12 Perfil eólico zona sur .....	93
Tabla A.13 Tabla de factores según estación, hidrología y tipo de tecnología de las barras con generadores cercanos.....	94
Tabla A.14 Centrales Solares .....	97
Tabla A.15 Centrales Eólicas .....	99
Tabla A.16 Centrales de Embalse.....	100
Tabla A.17 Centrales Serie.....	100
Tabla A.18 Centrales de Pasada.....	101
Tabla A.19 Centrales Termicas .....	104
Tabla A.20 Líneas y transformadores en transmisión [TxT] .....	110
Tabla A.21 Líneas y transformadores de Subtransmisión [STx] .....	113
Tabla A.22 Líneas y transformadores de Transmisión Adicional [ATx].....	117
Tabla B.1 N° de las líneas desconectadas por el modelo .....	120