

# Tabla de Contenido

<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Motivación . . . . .	1
1.2. Formulación del problema . . . . .	2
1.3. Objetivos . . . . .	4
1.3.1. Objetivo general . . . . .	4
1.3.2. Objetivos específicos . . . . .	4
1.4. Alcances . . . . .	5
<b>2. Marco Conceptual</b>	<b>6</b>
2.1. Sistema Eléctrico Nacional . . . . .	6
2.2. Balance Nacional de Energía . . . . .	8
2.3. Estado del arte en electromovilidad . . . . .	10
2.4. Red Metropolitana de Movilidad . . . . .	12
2.4.1. Electromovilidad en buses de Red . . . . .	13
2.5. Clasificación de buses . . . . .	15
2.6. Planificación del transporte público . . . . .	16
2.7. Formulación general del problema de despacho económico de carga . . . . .	18
2.7.1. Resolución del problema multinodal . . . . .	20
2.7.2. Inclusión de centrales de embalses . . . . .	20
2.7.3. Coordinación hidrotérmica: costo de oportunidad del agua . . . . .	21
2.8. Resolución del problema de despacho hidrotérmico . . . . .	22
2.8.1. Formulación del problema . . . . .	22
2.9. Estado del arte . . . . .	25
2.9.1. Revisión de literatura . . . . .	26
2.9.2. Memorias previas a este trabajo . . . . .	36
2.9.2.1. Electrificación del transporte público de Santiago . . . . .	36
2.9.2.2. Electrificación del transporte - Buses eléctricos y el sistema de distribución . . . . .	41
<b>3. Metodología</b>	<b>47</b>
3.1. Revisión de modelo base . . . . .	48
3.2. Desarrollo de modelo final . . . . .	50
3.2.1. Modelo de Gestión de Carga . . . . .	52
3.2.2. Modelo de operación del Sistema Eléctrico Nacional . . . . .	56
3.2.3. Porcentaje de electrificación del transporte público . . . . .	57
3.2.4. Emisiones de CO <sub>2</sub> . . . . .	59

<b>4. Elaboración del Modelo</b>	<b>60</b>
4.1. Herramientas computacionales . . . . .	60
4.1.1. Python . . . . .	60
4.1.2. Julia . . . . .	60
4.1.3. Gurobi . . . . .	60
4.1.4. QGIS . . . . .	61
4.1.5. OSE2000 . . . . .	61
4.2. Bases de Datos . . . . .	61
4.2.1. Diccionario Patentes . . . . .	61
4.2.2. Información de expediciones . . . . .	62
4.2.3. ShapeRutas de inicio y fin de recorridos . . . . .	62
4.2.4. Inventario de Terminales . . . . .	63
4.2.5. Asignación de recorridos a Terminales . . . . .	64
4.3. Modelo de Gestión de Carga . . . . .	65
4.3.1. Matriz de Estado de Flota . . . . .	66
4.3.2. Patentes con tiempo mínimo de carga . . . . .	71
4.3.3. Modelo de optimización para la Gestión de Carga . . . . .	72
4.3.3.1. Ecuaciones del modelo . . . . .	73
4.3.3.2. Descripción del modelo . . . . .	76
4.4. Modelo de despacho económico del Sistema Eléctrico Nacional . . . . .	79
4.4.1. Descripción de OSE2000 . . . . .	79
4.4.2. Proyección de la demanda . . . . .	80
4.4.3. Generación . . . . .	82
4.4.3.1. Centrales a Carbón . . . . .	84
4.4.4. Transmisión . . . . .	84
4.4.5. Bloques horarios . . . . .	85
4.4.6. Pre-procesamiento de los datos. . . . .	87
4.5. Análisis del sistema de transporte . . . . .	89
4.6. Análisis de emisiones CO <sub>2</sub> . . . . .	90
4.7. Casos de Estudio . . . . .	91
4.7.1. Gestión de Carga . . . . .	91
4.7.2. Impacto en Generación-Transmisión . . . . .	92
4.7.3. Emisiones de dióxido de carbono . . . . .	94
<b>5. Resultados y Análisis</b>	<b>96</b>
5.1. Día de mayor operación en set de datos. . . . .	96
5.2. Modelo de gestión de carga . . . . .	98
5.2.1. Perfiles de buses . . . . .	99
5.2.2. Perfil de terminales . . . . .	102
5.2.3. Perfil de Unidad de Negocio . . . . .	105
5.2.4. Electrificación en pasos . . . . .	106
5.2.4.1. Perfil de buses - carga por terminales . . . . .	106
5.2.4.2. Perfil de terminales . . . . .	108
5.2.4.3. Perfil de Unidades de Negocio . . . . .	110
5.2.4.4. Perfil de demanda acumulada . . . . .	112
5.2.5. Perfil general de demanda acumulada. . . . .	114
5.3. Expediciones con falla - Electrificación . . . . .	119

5.3.1.	Costos de operación . . . . .	124
5.4.	Análisis de Sistema Eléctrico Nacional . . . . .	124
5.4.1.	Escenarios de operación normal . . . . .	125
5.4.1.1.	Generación total . . . . .	125
5.4.1.2.	Generación de tecnologías con ligera variación en su despacho	127
5.4.1.3.	Generación de tecnologías con mayor variación en despacho .	130
5.4.1.4.	Costos Marginales . . . . .	132
5.4.1.5.	Costos de Operación . . . . .	134
5.4.2.	Escenarios con descarbonización en corto plazo . . . . .	134
5.4.2.1.	Generación total . . . . .	135
5.4.2.2.	Generación de tecnologías con ligera variación en su despacho	135
5.4.2.3.	Generación de tecnologías con mayor variación en despacho .	136
5.4.3.	Costos Marginales . . . . .	138
5.4.4.	Costos de operación . . . . .	139
5.5.	Emisiones de CO <sub>2</sub> . . . . .	140
5.5.1.	Procesamiento de datos de SNIFA . . . . .	140
5.5.1.1.	Carbón . . . . .	140
5.5.1.2.	Petróleo . . . . .	141
5.5.1.3.	Gas . . . . .	141
5.5.2.	Emisiones en ruta . . . . .	143
5.5.3.	Emisiones en generación . . . . .	144
5.5.4.	Desplazamiento de emisiones locales . . . . .	145
<b>6.</b>	<b>Conclusiones y trabajos futuros</b>	<b>146</b>
6.1.	Conclusiones . . . . .	146
6.2.	Trabajos futuros . . . . .	148
	<b>Bibliografía</b>	<b>150</b>
	<b>Anexo A. Curvas de demanda por terminal</b>	<b>155</b>
A.1.	Caso Base . . . . .	155
A.2.	Caso Variable 1 . . . . .	159
A.3.	Caso Variable 2 . . . . .	162
	<b>Anexo B. Curvas de demanda por Unidad de Negocios</b>	<b>166</b>
B.1.	Caso Base . . . . .	166
B.2.	Caso Variable 1 . . . . .	167
B.3.	Caso Variable 2 . . . . .	167
	<b>Anexo C. Buses en ruta por Unidad de Negocio</b>	<b>168</b>