

Tabla de Contenido

Índice de Tablas	x
Índice de Ilustraciones	xi
1. Introducción	1
1.1. Motivación	1
1.2. Objetivo general	3
1.3. Objetivos específicos	3
1.4. Alcances	3
2. Marco teórico	5
2.1. Cambio climático y emisión de gases de efecto invernadero	5
2.1.1. Acuerdo de París	5
2.2. Generación distribuida	7
2.2.1. Inversiones globales en energía y ERNCS's	8
2.2.2. Sector energético chileno y el acuerdo de París	10
2.2.3. Política Energética Nacional	11
2.3. Ley de 20.571	12
2.3.1. Proceso de Conexión	13
2.4. El sector eléctrico chileno	15
2.5. Generalidades sobre las redes de distribución	16
2.6. Impacto de GD en las redes de distribución	17
2.6.1. Flujo de potencia y capacidad térmica	18
2.6.2. Efectos sobre los perfiles de tensión	19
2.6.3. Experiencia internacional: Problemas causados por GDs	20
2.7. Normativa Chilena	20
2.7.1. Regulación de tensión	20
2.7.2. Consideraciones para la norma técnica en media tensión	21
3. Creación del modelo	23
3.1. Modelo de redes	23
3.1.1. Softwares utilizados	23
3.1.2. Topología de las redes a evaluar	25
3.2. Creación de perfiles	26
3.2.1. Perfiles de consumo residencial	26
3.2.2. Perfiles de generación: PV residenciales	31
3.2.3. Perfiles de consumo: Vehículos eléctricos	34

3.2.4.	Nivel de Penetración por tecnología	38
3.3.	Representación de la red en OpenDSS	38
3.3.1.	Características de OpenDSS	38
3.3.2.	Representación de elementos en OpenDSS	39
3.3.3.	Representación de elementos en QGIS	40
3.4.	Subestaciones a modelar	42
4.	Metodología	44
4.1.	Metodología propuesta	45
4.2.	Evaluación de impactos	46
4.2.1.	Porcentaje de transformadores de distribución con problemas de tensión	46
4.2.2.	Porcentaje de kilómetros de conductor con problemas térmicos	46
4.3.	Simulación de Monte Carlo	47
4.4.	Ejemplo: Aplicación de la metodología a una subestación	48
4.4.1.	Sistemas PV	48
4.4.2.	Vehículos Eléctricos	51
4.4.3.	Otros resultados importantes	52
5.	Resultados y análisis	55
5.1.	Resultados de la modelación	55
5.2.	Comparación: 100 simulaciones de Montecarlo	57
5.3.	Análisis estadístico de resultados	60
5.3.1.	Problemas de voltaje	60
5.3.2.	Problemas de corriente	61
5.3.3.	Primer nivel de penetración con problemas	62
5.3.4.	Severidad de los problemas	64
	Conclusión	66
5.4.	Trabajo a futuro	69
6.	Bibliografía	70
7.	Anexos	76
7.1.	Anexo A: CENSO 2012 cuadro 11.10	76
7.2.	Anexo B: Resultados modelación de subestaciones	78
7.3.	Anexo C: Datos generales por subestacion	80

Índice de Tablas

2.1. Top 10 de Inversiones a nivel mundial en ERNC's [1].	10
3.1. Resumen resultados por vivienda según Censo 2012 Chile	27
3.2. Parámetros demográficos de entrada para el algoritmo CREST	27
3.3. Parámetros geográficos Observatorio Astronomico Nacional OAN.	31
3.4. Resumen de dias seleccionados	32
3.5. Función de densidad de probabilidad de conexiones por dia [%] Fuente: "A Statistical Analysis of EV charging Behavior in the Uk" [2]	35
5.1. Datos SSEE 19	58
7.1. Resultados modelación de subestaciones	78
7.2. Datos generales por subestación	80

Índice de Ilustraciones

1.1. Historial de precios promedio por watt en USA. Fuente: GTM Research [3]	2
2.1. Estado por país frente al acuerdo de París. Fuente: World Economic Forum [4]	6
2.2. Inversiones a nivel mundial en ERNC's [1].	8
2.3. Numero de nuevas instalaciones de Generación Ciudadana. Fuente: Informe mensual SEC Agosto 2017. [5].	11
2.4. Esquema de conexión:parte 1. Fuente: Presentación ley 20.571 Ministerio de energía [6]	13
2.5. Esquema de conexión:parte 2. Fuente: Presentación ley 20.571 Ministerio de energía [6]	14
2.6. Esquema del sistema eléctrico nacional [7]	16
2.7. Diagrama unilineal de una red de distribución [8]	17
2.8. Ejemplo: Flujos desde el sistema de Alta tensión hacia Media tensión en una subestación primaria ficticia.	18
3.1. Captura de pantalla ejemplo: QGIS	24
3.2. Ejemplo de la topología de red obtenida mediante la metodología propuesta en [9].	25
3.3. Función de distribución de probabilidades asociada a la tabla 3.2	28
3.4. Demandas residenciales: 5 consumos distintos	28
3.5. Demandas residenciales: Promedio de los 2000 perfiles creados	29
3.6. Demanda máxima promedio: Consumos residenciales	30
3.7. Perfiles solares medidos en CCLAN 2015.	31
3.8. Histograma: energía diaria por unidad de área de los datos medidos del OAN durante el año 2015.	32
3.9. Area de concesión Enel Distribución en la Región Metropolitana [10]	33
3.10. Función de densidad de probabilidad de conexiones por dia [%]. Fuente: "A Statistical Analysis of EV charging Behavior in the Uk" [2]	35
3.11. Histograma: Potencia consumida por EV. Fuente: "A Statistical Analysis of EV charging Behavior in the Uk" [2]	36
3.12. Histograma de factor de potencia por EV. Fuente: "A Statistical Analysis of EV charging Behavior in the Uk" [2]	36
3.13. Perfiles de consumo EV según número de clientes.	37
3.14. Ejemplo OpenDSS:Representación de líneas	39
3.15. Representación de líneas cargas y generadores, en un archivo .txt	39
3.16. Diagrama de flujo: Cálculo de flujos de potencia y representación de la red	40
3.17. Visualización en QGIS de la subestación 11	41

3.18. Visualización en QGIS de la subestación 36	41
3.19. Visualización en QGIS de las 42 subestación a simular	42
4.1. Metodología propuesta	44
4.2. Representación en QGIS de la subestación 12	48
4.3. Ejemplo de Aplicación de la metodología: Problemas térmicos en la subestación 12, alimentador 6	49
4.4. Ejemplo de Aplicación de la metodología: Problemas de voltaje en la subestación 12	49
4.5. Ejemplo de Aplicación de la metodología: Problemas de voltaje en la subestación 12. Todos los alimentadores.	50
4.6. Ejemplo de Aplicación de la metodología: Problemas de voltaje en la subestación 12. Todos los alimentadores.	50
4.7. Ejemplo de Aplicación de la metodología, caso EV: Problemas de voltaje en la subestación 12. Todos los alimentadores.	51
4.8. Ejemplo de Aplicación de la metodología, caso EV: Problemas térmicos en la subestación 12. Todos los alimentadores.	51
4.9. Ejemplo de Aplicación de la metodología, caso PV: Importes de potencia desde alta tensión.	52
4.10. Ejemplo de Aplicación de la metodología, caso EV: Importes de potencia desde alta tensión.	53
4.11. Ejemplo de Aplicación de la metodología, subestación 12: Pérdidas energéticas diarias por nivel de penetración IZQ: Paneles PV. DER: Vehículos eléctricos	54
5.1. Perfil de voltaje diario, SSEE:5 alimentador 2.	56
5.2. Perfiles de voltaje: alimentador 1, subestación 5.	56
5.3. Representación en QGIS: Subestación 19	57
5.4. Métricas para distintos números de simulaciones de Monte-Carlo: (a) Valor promedio (b) Desviación estándar	58
5.5. Resumen de problemas por característica del alimentador: caso PV	60
5.6. Resumen de problemas por característica del alimentador: caso EV	60
5.7. Resumen de problemas por característica del alimentador: caso PV	61
5.8. Resumen de problemas por característica del alimentador: caso EV	62
5.9. Resumen de aparición de problemas en los alimentadores	62
5.10. Resumen de problemas por nivel de penetración	63
5.11. Resumen de porcentaje de alimentadores con problemas según característica.	64
5.12. Resumen de resultados. Porcentaje de transformadores con problemas de voltaje: (a) Alimentadores con problemas (b) Todos los alimentadores	65
5.13. Resumen de resultados. Porcentaje de km de líneas con problemas de corriente: (a) Alimentadores con problemas (b) Todos los alimentadores	66
7.1. Cuadro 11.10 Fuente: Informe resultados Censo 2012, INE [11]	76