

Tabla de Contenido

1. Introducción	1
1.1. Motivación	1
1.2. Objetivos	3
1.2.1. Objetivo general	3
1.2.2. Objetivos Específicos	3
1.3. Alcances	3
2. Marco Teórico	5
2.1. Tipos de Problemas de Optimización Matemáticos	5
2.2. Instituciones Del Sistema Eléctrico Chileno	6
2.2.1. Ley 21.118	8
2.3. Redes de Distribución	8
2.3.1. Topología de las Redes de Distribución	8
2.3.2. Comportamiento de la Tensión en Redes de Distribución	9
2.3.3. Actualidad de la Generación Distribuida en Chile	10
2.3.4. Redes Inteligentes	11
2.3.5. Hosting Capacity	12
2.4. Flujos de potencia	12
2.4.1. Modelo de Carga	12
2.4.2. Modelo del transformador	14
2.4.2.1. Transformador con cambiador de derivación	15
2.4.3. Modelo de paneles solares	16
2.4.4. Sistemas de almacenamiento	17
2.5. Calidad de Suministro	18
2.5.1. Limitaciones de voltaje	19
2.5.2. Limitaciones de Corrientes	20
2.6. Modelos de optimización	20
2.7. Caso Cónico	21
2.7.1. Balance de flujo de potencia	21
2.7.2. Ecuaciones de Voltajes	22
2.7.3. Restricción Cónica	23
2.7.4. Inyección solar residencial	23
2.7.5. Transformador con Cambiador de Derivación Bajo carga (OLTC)	24
2.7.6. Modelo de Sistemas de Almacenamiento	26
2.7.7. Funciones objetivo	27

2.7.8.	Precisión del Método de Optimización	28
2.8.	Programación Linealizada de Datos Históricos Monofásico (LDHM)	28
2.8.1.	Reformulación de Corrientes	29
2.8.2.	Balances de flujo de potencia	31
2.8.3.	Ecuaciones de voltajes	32
2.8.4.	Funciones objetivo	32
2.8.5.	Precisión del Método de Optimización	32
2.9.	Programación Linealizada de Datos Históricos Trifásico (LDHT)	33
2.9.1.	Ecuaciones de Voltaje	34
2.9.2.	Pérdidas en los tramos: Potencias de salida	35
2.9.3.	Límites térmicos	36
2.9.4.	Transformador Delta-Estrella y Tap	36
2.9.4.1.	Modelo de Flujo de Potencia	36
2.9.5.	Balance Trifásico de Potencias	39
2.9.6.	Funciones Objetivo	39
2.9.7.	Precisión del Método de Optimización	40
2.10.	Estado del Arte	46
3.	Metodologías	51
3.1.	Red Simplificada	51
3.1.1.	Red Trifásica Desbalanceada	54
3.2.	Softwares Utilizados	55
3.2.1.	Python	55
3.2.2.	OpenDSS	55
3.2.3.	Gurobi	55
3.3.	Escenarios a implementar	56
3.3.1.	Esquema general de la metodología a implementar	57
3.3.2.	Error Cuadrático Medio Normalizado	59
3.4.	Datos Técnicos de Elementos Activos	59
3.4.1.	Generación Distribuida	59
3.4.2.	Tap	59
3.4.3.	Baterías	60
4.	Resultados y análisis	61
4.1.	Análisis del Hosting Capacity	61
4.2.	Tiempos de simulación	62
4.3.	Caso Cónico	63
4.3.1.	Minimización de Pérdidas	63
4.3.1.1.	Solo GD	63
4.3.1.1.1.	Comparación de Voltajes	64
4.3.1.1.2.	Comparación de Potencias Activas	65
4.3.1.1.3.	Comparación de Potencias Reactivas	66
4.3.1.1.4.	Corrientes	67
4.3.1.1.5.	Restricción Cónica	68
4.3.1.1.6.	Operación del Inversor	69
4.3.2.	Mín. Pérdidas y Potencia del Alimentador Principal	70
4.3.2.1.	Sin control	70

4.3.2.1.1.	Comparación de voltajes	70
4.3.2.1.2.	Comparación de Potencias Activas	71
4.3.2.1.3.	Comparación de Potencias Reactivas	72
4.3.2.1.4.	Comparación de Corrientes	73
4.3.2.1.5.	Restricción Cónica	74
4.3.2.1.6.	Operación del Inversor	75
4.3.2.2.	Solo GD	76
4.3.2.2.1.	Comparación de Voltajes	76
4.3.2.2.2.	Comparación de Potencias Activas	77
4.3.2.2.3.	Comparación de Potencias Reactivas	78
4.3.2.2.4.	Comparación de Corrientes	80
4.3.2.2.5.	Restricción Cónica	81
4.3.2.2.6.	Operación del Inversor	81
4.3.2.3.	GD y Tap	82
4.3.2.3.1.	Comparación de Voltajes	82
4.3.2.3.2.	Comparación de Potencias Activas	83
4.3.2.3.3.	Comparación de Potencias Reactivas	84
4.3.2.3.4.	Comparación de Corrientes	86
4.3.2.3.5.	Restricción Cónica	87
4.3.2.3.6.	Operación del inversor	87
4.3.2.4.	GD, Tap y Baterías	89
4.3.2.4.1.	Comparación de Voltajes	89
4.3.2.4.2.	Comparación de Potencias Activas	90
4.3.2.4.3.	Comparación de Potencias Reactivas	91
4.3.2.4.4.	Comparación de Corrientes	92
4.3.2.4.5.	Restricción Cónica	93
4.3.2.4.6.	Operación del Inversor	94
4.3.2.4.7.	Operación de la Batería	95
4.3.2.5.	Comparación Entre Escenarios	96
4.3.2.5.1.	Potencia Activa Solar por Máximo Nivel de Adopción	96
4.3.2.5.2.	Potencia Alimentador Principal por Máximo Nivel de Adopción	96
4.3.2.5.3.	Posicionamiento del Tap	98
4.3.2.5.4.	Energía Solar por escenario	98
4.3.2.5.5.	Errores Cuadráticos Medios	99
4.4.	Caso LDH Monofásico	100
4.4.1.	Mín. Pérdidas	100
4.4.1.1.	Solo GD	100
4.4.1.1.1.	Comparación de Voltajes	101
4.4.1.1.2.	Comparación de Potencias Activas	102
4.4.1.1.3.	Comparación de Potencias Reactivas	103
4.4.1.1.4.	Aproximación de pérdidas	104
4.4.1.1.5.	Operación del Inversor	104
4.4.2.	Mín. Pérdidas y Potencia del Alimentador Principal	105
4.4.2.1.	Sin Control	105
4.4.2.1.1.	Comparación de Voltajes	106
4.4.2.1.2.	Comparación de Potencia Activa	106

4.4.2.1.3.	Comparación de Potencia Reactiva	107
4.4.2.1.4.	Aproximación de Pérdidas	108
4.4.2.1.5.	Operación del Inversor	109
4.4.2.2.	Solo GD	110
4.4.2.2.1.	Comparación de Voltajes	110
4.4.2.2.2.	Comparación de Potencias Activas	111
4.4.2.2.3.	Comparación de Potencias Reactivas	112
4.4.2.2.4.	Aproximación de pérdidas	113
4.4.2.2.5.	Operación del Inversor	114
4.4.2.3.	GD y Tap	115
4.4.2.3.1.	Comparación de Voltajes	115
4.4.2.3.2.	Comparación de Potencias Activas	116
4.4.2.3.3.	Comparación de Potencias Reactivas	117
4.4.2.3.4.	Aproximación de pérdidas	118
4.4.2.3.5.	Operación del Inversor	119
4.4.2.4.	GD, Tap y Baterías	120
4.4.2.4.1.	Comparación de Voltajes	120
4.4.2.4.2.	Comparación de Potencias Activas	121
4.4.2.4.3.	Comparación de Potencias Reactivas	122
4.4.2.4.4.	Aproximación de pérdidas	123
4.4.2.4.5.	Operación del Inversor	124
4.4.2.4.6.	Operación de la batería	125
4.4.2.5.	Comparación entre escenarios	126
4.4.2.5.1.	Potencia Activa Solar por Máximo Nivel de Adopción	126
4.4.2.5.2.	Potencia Alimentador Principal por Máximo Nivel de Adopción	126
4.4.2.5.3.	Posicionamiento del Tap	127
4.4.2.5.4.	Energía Solar por escenario	128
4.4.2.5.5.	Errores Cuadráticos Medios	129
4.5.	Caso LDH trifásico Balanceado	130
4.5.1.	Mín. Pérdidas	130
4.5.1.1.	Solo GD	130
4.5.1.1.1.	Comparación de Voltajes	130
4.5.1.1.2.	Comparación de Potencias Activas	131
4.5.1.1.3.	Comparación de Potencias Reactivas	132
4.5.1.1.4.	Aproximación de pérdidas	133
4.5.1.1.5.	Operación del Inversor	135
4.5.2.	Mín. Pérdidas y Potencia del Alimentador Principal	136
4.5.2.1.	Sin Control	136
4.5.2.1.1.	Comparación de Voltajes	136
4.5.2.1.2.	Comparación de Potencias Activas	137
4.5.2.1.3.	Comparación de Potencias Reactivas	138
4.5.2.1.4.	Aproximación de pérdidas	139
4.5.2.1.5.	Valores del Inversor	141
4.5.2.2.	Solo GD	141
4.5.2.2.1.	Comparación de Voltajes	141
4.5.2.2.2.	Comparación de Potencias Activas	142

4.5.2.2.3.	Comparación de Potencias Reactivas	143
4.5.2.2.4.	Aproximación de pérdidas	144
4.5.2.2.5.	Valores del Inversor	145
4.5.2.3.	GD y Tap	146
4.5.2.3.1.	Comparación de Voltajes	146
4.5.2.3.2.	Comparación de Potencias Activas	148
4.5.2.3.3.	Comparación de Potencias Reactivas	149
4.5.2.3.4.	Aproximación de pérdidas	150
4.5.2.3.5.	Valores del Inversor	151
4.5.2.4.	GD, Tap y Baterías	152
4.5.2.4.1.	Comparación de Voltajes	152
4.5.2.4.2.	Comparación de Potencias Activas	153
4.5.2.4.3.	Comparación de Potencias Reactivas	154
4.5.2.4.4.	Aproximación de pérdidas	155
4.5.2.4.5.	Operación del Inversor	156
4.5.2.4.6.	Operación de la batería	157
4.5.2.5.	Comparación entre escenarios	158
4.5.2.5.1.	Potencia Activa Solar por Máximo Nivel de Adopción	158
4.5.2.5.2.	Potencia Alimentador Principal por Máximo Nivel de Adopción	159
4.5.2.5.3.	Posicionamiento del Tap	160
4.5.2.5.4.	Energía Solar por escenario	161
4.5.2.5.5.	Errores Cuadráticos Medios	162
4.6.	Caso LDH Trifásico Desbalanceado	163
4.6.1.	Mín. Pérdidas	163
4.6.1.1.	Solo GD	163
4.6.1.1.1.	Comparación de Voltajes	163
4.6.1.1.2.	Comparación de Potencias Activas	164
4.6.1.1.3.	Comparación de Potencias Reactivas	166
4.6.1.1.4.	Aproximación de pérdidas	167
4.6.1.1.5.	Operación del Inversor	168
4.6.2.	Mín. Pérdidas y Potencia del Alimentador Principal	169
4.6.2.1.	Sin Control	169
4.6.2.1.1.	Comparación de Voltajes	170
4.6.2.1.2.	Comparación de Potencias Activas	171
4.6.2.1.3.	Comparación de Potencias Reactivas	172
4.6.2.1.4.	Aproximación de pérdidas	173
4.6.2.1.5.	Operación del Inversor	174
4.6.2.2.	Solo GD	175
4.6.2.2.1.	Comparación de Voltajes	175
4.6.2.2.2.	Comparación de Potencias Activas	176
4.6.2.2.3.	Comparación de Potencias Reactivas	177
4.6.2.2.4.	Aproximación de pérdidas	178
4.6.2.2.5.	Operación del Inversor	179
4.6.2.3.	GD y Tap	180
4.6.2.3.1.	Comparación de Voltajes	180
4.6.2.3.2.	Comparación de Potencias Activas	181

4.6.2.3.3.	Comparación de Potencias Reactivas	182
4.6.2.3.4.	Aproximación de pérdidas	183
4.6.2.3.5.	Operación del Inversor	185
4.6.2.4.	GD, Tap y Baterías	186
4.6.2.4.1.	Comparación de Voltajes	186
4.6.2.4.2.	Comparación de Potencias Activas	187
4.6.2.4.3.	Comparación de Potencias Reactivas	188
4.6.2.4.4.	Aproximación de pérdidas	189
4.6.2.4.5.	Operación del Inversor	191
4.6.2.4.6.	Operación de la Batería	192
4.6.2.5.	Comparación entre escenarios	192
4.6.2.5.1.	Potencia Activa Solar por Máximo Nivel de Adopción	192
4.6.2.5.2.	Potencia Alimentador Principal por Máximo Nivel de Adopción	193
4.6.2.5.3.	Posicionamiento del Tap	194
4.6.2.5.4.	Energía Solar por escenario	195
4.6.2.5.5.	Errores Cuadráticos Medios	195
	Conclusión	197
	Bibliografía	201
	A. Anexo I: Proceso de conexión Ley 21.118	204