

Tabla de Contenido

Agradecimientos.....	iii
Tabla de Contenido.....	iv
Índice de Figuras.....	vi
Índice de Tablas.....	vii
1. Introducción.....	1
1.1 Motivación.....	1
1.2 El impacto de las ERNC en los SEP.....	2
1.3 Objetivos.....	3
1.3.1 Objetivo general.....	3
1.3.2 Objetivos específicos.....	3
1.4 Alcances.....	3
1.5 Estructura del trabajo.....	3
2. Marco Teórico y Estado del Arte.....	5
2.1 Estado del arte.....	5
2.2 Flexibilidad en sistemas eléctricos de potencia.....	6
2.3 Fuentes de Flexibilidad.....	7
2.3.1 Generación convencional flexible.....	7
2.3.2 Interconexiones.....	7
2.3.3 Almacenamiento y Participación de la demanda.....	7
2.3.4 Marco regulatorio y estructura de mercado.....	8
2.4 Índices de flexibilidad.....	9
2.4.1 Normalized Flexibility Index (NFI).....	10
2.4.2 Loss of Wind Estimation (LOWE).....	11
2.4.3 Insufficient ramping resource Probability (IRRP).....	13
2.4.4 Lack of Ramp Probability (LORP).....	15
2.5 Simulación Horaria.....	16
3. Metodología.....	17
3.1 Caso de Estudio.....	18
3.1.1 Metodología de evaluación de la flexibilidad.....	18
3.1.2 Metodología de mejoramiento de la flexibilidad del sistema.....	25
4. Resultados y Análisis.....	29
4.1 Caso Base.....	29
4.1.1 Año 2018.....	29
4.1.2 Año 2025.....	36
4.1.3 Año 2035.....	38
4.1.4 Año 2050.....	41
4.2 Mejoramiento de la flexibilidad del Sistema Eléctrico Nacional.....	44
4.2.1 Adelanto de CSP.....	44
4.2.2 Reemplazo de centrales inflexibles.....	45

4.2.3	Reemplazo de centrales inflexibles y adelanto de CSP.....	47
4.3	Análisis económico	50
5.	Conclusiones y Trabajos Futuros	52
5.1	Conclusiones.....	52
5.2	Trabajos futuros.....	54
6.	Bibliografía.....	55
Anexo A.	Cálculo de Índices	57
A.1	NFI.....	59
A.2	IRRP	60
A.3	LORPup/LORPdn.....	66
A.4	LOWE	69
Anexo B.	Energía afluyente anual al sistema.....	75
Anexo C.	Proyecto GNL ANDES.....	77
Anexo D.	Características de las unidades del sistema	78

Índice de Figuras

Figura 1: Comparación económica de fuentes de flexibilidad	6
Figura 2: Representación del índice LORPup.....	16
Figura 3: Metodología de evaluación de la flexibilidad	18
Figura 4: Proyección de demanda estudio PELP, escenario B	20
Figura 5: Evolución de capacidad instalada, PELP, escenario B	20
Figura 6: Capacidad instalada, año 2018	21
Figura 7: Capacidad instalada, año 2025	22
Figura 8: Capacidad Instalada, año 2035.....	22
Figura 9: Capacidad instalada, año 2050	23
Figura 10: Metodología completa	25
Figura 11: Porcentaje de generación anual por tecnología.....	29
Figura 12: Perfil de índices 2018	30
Figura 13: Perfil de Índices IRRP año 2018	32
Figura 14: Demanda promedio, año 2018.....	32
Figura 15: Perfil promedio solar anual.....	33
Figura 16: Demanda neta promedio, año 2018.....	33
Figura 17: Variación estacional del perfil IRRP, año 2018.....	35
Figura 18: Generación por tecnología, año 2025.....	36
Figura 19: Perfil de Índices IRRP año 2025	37
Figura 20: Variación estacional del perfil IRRP, año 2025.....	38
Figura 21: Generación por tecnología, año 2035.....	39
Figura 22: Perfil de Índices IRRP año 2035	40
Figura 23: Variación estacional del perfil IRRP, año 2035.....	41
Figura 24: Generación por tecnología, año 2050.....	42
Figura 25: Perfil de Índices IRRP año 2050	42
Figura 26: Variación estacional del perfil IRRP, año 2050.....	43
Figura 27: Perfil IRRP para 1500 MW de CSP adelantados.....	45
Figura 28: Perfil IRRP con centrales inflexibles reemplazadas, año 2035	46
Figura 29: Perfil de índices, año 2035	47
Figura 30: Perfil de índices, año 2035_2	48
Figura 31: Variación estacional del perfil IRRP, año 2035.....	49
Figura 32: Perfil de índices, año 2050	50
Figura 33: Evolución del costo de inversión de centrales CSP	51
Figura 34: Despacho sistema A, un día.....	59
Figura 35: Distribución de probabilidad, hora 15:00.....	67
Figura 36: LORPup, hora15.....	68
Figura 37: Energía anual afluente al sistema.....	76

Índice de Tablas

Tabla 1: Aplicaciones potenciales del almacenamiento y la respuesta de demanda	8
Tabla 2: Catastro de centrales inflexibles.....	46
Tabla 3: Costos de la flexibilidad	51
Tabla 4: Características del sistema de prueba	57
Tabla 5: Despacho sistema de prueba	58
Tabla 6: Flexibilidad de cada máquina térmica	60
Tabla 7: Reservas de subida del sistema A, para cada hora	61
Tabla 8: Probabilidad de ocurrencia, rampa de subida	62
Tabla 9: Reservas de bajada del sistema A, para cada hora	63
Tabla 10: Probabilidad de ocurrencia, rampa de bajada	64
Tabla 11: Demanda neta y su variación.....	65
Tabla 12: Perfil IRRP.....	66
Tabla 13: Perfil LORPup.....	69
Tabla 14: MLL sistema A	70
Tabla 15: Probabilidad acumulada de demanda Neta.....	71
Tabla 16: Probabilidad acumulada de variación de demanda de bajada	72
Tabla 17: Probabilidad acumulada de variación de demanda de subida.....	73
Tabla 18: Perfil LOWE, Sistema A	74
Tabla 19: Energía anual afluyente al sistema	76
Tabla 20: Características del proyecto Andes LNG.....	77