

Tabla de Contenido

1. Introducción	1
1.1. Motivación	1
1.2. Objetivos	2
1.3. Objetivos específicos	2
1.4. Alcance	3
1.5. Estructura del documento	3
2. Revisión Bibliográfica	4
2.1. Medidas de tendencia de variables aleatorias	4
2.1.1. Esperanza, Varianza y Desviación estándar	4
2.1.2. Covarianza y Correlación	5
2.2. Modelo de Selección de Carteras de Markowitz	6
2.3. Mercado eléctrico en Chile	8
2.4. Energía eólica	10
2.4.1. Potencia contenida en el viento	11
2.4.2. Curvas de potencia de una turbina eólica	12
2.5. Despacho económico de unidades de generación	13
2.5.1. Formulación	13
2.5.2. Modelo de Operación Económica de Corto Plazo de un Sistema Eléctrico (PCP)	15
3. Metodología y Formulación matemática	17
3.1. Descripción	17
3.2. Datos de entrada	20
3.3. Formulación matemática	23
3.4. Optimización	24
3.5. Impacto sobre el sistema eléctrico y emisiones de CO_2	25
3.6. Caracterización del caso base (Caso 0)	27
3.6.1. Descripción	27
3.6.2. Desempeño esperado	31
3.6.3. Desempeño sistémico	32
4. Resultados	35
4.1. Análisis de Markowitz y Optimización	35
4.2. Caso 1: Mínima Varianza	36
4.2.1. Descripción	36

4.2.2.	Desempeño esperado	39
4.2.3.	Desempeño sistémico	40
4.3.	Caso 2: Igual factor de planta y menor desviación intra-diaria que el caso base	44
4.3.1.	Descripción	44
4.3.2.	Desempeño esperado	48
4.3.3.	Desempeño sistémico	49
4.4.	Caso 3: Mayor factor de planta e igual desviación intra-diaria que el caso base	53
4.4.1.	Descripción	53
4.4.2.	Desempeño esperado	57
4.4.3.	Desempeño sistémico	58
5.	Análisis	62
5.1.	Análisis de Markowitz	62
5.2.	Caso 1: Mínima Varianza	62
5.3.	Caso 2: Menor desviación intra-diaria e igual potencia media que el caso base	63
5.4.	Caso 3: Mayor factor de planta e igual desviación intra-diaria que el caso base	64
5.5.	Resumen Resultados	65
5.5.1.	Potencia instalada por perfil y desempeño esperado	65
5.5.2.	Desempeño sistémico y emisiones de CO_2	70
	Conclusión	71
	Bibliografía	77
	Anexo	79

Índice de Tablas

2.1. Capacidad instalada SIC separada por tecnología, año 2015	9
2.2. Capacidad instalada SING separada por tipo de combustible, año 2015	10
2.3. Características del modelo de predespacho utilizado para realizar las simulaciones	16
3.1. Descripción de la base de datos de zonas, perfiles y centrales	21
3.2. Resumen potencias instaladas por zona al 2016 y 2025, base de datos inicial	22
3.3. Parámetros de emisiones de CO_2 por combustible	26
3.4. Potencia instalada por perfil, caso base	28
3.5. Potencia instalada por zona, caso base	30
3.6. Número total de partidas de unidades térmicas en el año, caso base	32
3.7. Energía anual y emisiones de CO_2 del parque térmico (en miles de toneladas), caso base	33
3.8. Energía anual generada por tecnología, caso base	34
4.1. Potencia instalada por perfil, caso mínima varianza	37
4.2. Potencia instalada por zona, caso de mínima varianza	38
4.3. Energía anual generada por tecnología, caso de mínima varianza	42
4.4. Número total de partidas de unidades térmicas en el año, caso de mínima varianza	43
4.5. Energía anual y emisiones de CO_2 del parque térmico (en millones de tonela- das), caso de mínima varianza	43
4.6. Potencia instalada por perfil, caso menor desviación intra-diaria e igual poten- cia media que el caso base	45
4.7. Potencia instalada por zona, caso menor desviación intra-diaria e igual poten- cia media que el caso base	46
4.8. Energía anual generada por tecnología, caso menor desviación intra-diaria e igual potencia media que el caso base	51
4.9. Número total de partidas de unidades térmicas en el año, caso menor desvia- ción intra-diaria e igual potencia media que el caso base	52
4.10. Energía anual y emisiones de CO_2 del parque térmico (en millones de tone- ladas), caso menor desviación intra-diaria e igual potencia media que el caso base	52
4.11. Potencia instalada por perfil, caso mayor factor de planta e igual desviación intra-diaria que el caso base	54
4.12. Potencia instalada por zona, caso mayor factor de planta e igual desviación intra-diaria que el caso base	55

4.13. Energía anual generada por tecnología, caso mayor factor de planta e igual desviación intra-diaria que el caso base	60
4.14. Número total de partidas de unidades térmicas en el año, caso mayor factor de planta e igual desviación intra-diaria que el caso base	61
4.15. Energía anual y emisiones de CO_2 del parque térmico (en millones de toneladas), caso mayor factor de planta e igual desviación intra-diaria que el caso base	61
5.1. Resumen producción de energía eólica anual y desviación intra-diaria promedio esperadas	65
5.2. Potencias nominales a instalar por perfil, todos los casos	66
5.3. Potencias nominales a instalar por zona, todos los casos	68
5.4. Resumen producción de energía eólica anual y desviación intra-diaria promedio, según PCP	70
5.5. Emisiones de CO_2 equivalentes de una central termoeléctrica a carbón para la energía eólica generada en todos los casos	70
5.6. Energía anual generada por fuentes térmicas, en GWh	71
5.7. Emisiones de CO_2 (en millones de toneladas) de todos los escenarios	71
5.8. Número de partidas y paradas de unidades térmicas, todos los casos	71
5.9. Correlación entre perfiles	80
5.10. Factor de planta y desviación estándar intra-diaria (en pu) de cada perfil	81

Índice de Ilustraciones

2.1. Parábola de retorno esperado - varianza, o Curva de Markowitz	7
2.2. Región factible en el plano $\sigma - R$	8
2.3. Columna de aire	11
2.4. Curva de potencia de un aerogenerador, y ajustes polinomiales sobre ella . .	12
3.1. Diagrama de bloques de la metodología de trabajo	19
3.2. Potencia instalada por perfil, caso base	29
3.3. Potencia instalada por zona, caso base	30
3.4. Perfil diario de producción esperada de energía eólica del caso base, año 2025	31
3.5. Perfil diario de producción de energía eólica del caso base, extraído del pre- despacho	32
3.6. Energía anual generada por tecnología, caso base	33
3.7. Energía mensual generada por tecnología, caso base	34
4.1. Resultado: Curva de Markowitz	35
4.2. Potencia instalada por perfil, caso de mínima varianza	36
4.3. Potencia instalada por zona, caso de mínima varianza	38
4.4. Perfil diario esperado de generación eólica, caso de mínima varianza	39
4.5. Perfil diario de producción de energía eólica caso de mínima varianza, según PCP	40
4.6. Energía anual generada por tecnología, caso de mínima varianza	41
4.7. Energía mensual generada por tecnología, caso de mínima varianza	42
4.8. Potencia instalada por perfil, caso menor desviación intra-diaria e igual poten- cia media que el caso base	44
4.9. Potencia instalada por zona, caso menor desviación intra-diaria e igual poten- cia media que el caso base	47
4.10. Perfil diario esperado de generación eólica, caso menor desviación intra-diaria e igual potencia media que el caso base	48
4.11. Perfil diario de producción de energía eólica, caso menor desviación intra-diaria e igual potencia media que el caso base, según PCP	49
4.12. Energía anual generada por tecnología, caso menor desviación intra-diaria e igual potencia media que el caso base	50
4.13. Energía mensual generada por tecnología, caso menor desviación intra-diaria e igual potencia media que el caso base	51
4.14. Potencia instalada por perfil, caso mayor factor de planta e igual desviación intra-diaria que el caso base	53

4.15. Potencia instalada por zona, caso mayor factor de planta e igual desviación intra-diaria que el caso base	56
4.16. Perfil diario esperado de generación eólica, caso mayor factor de planta e igual desviación intra-diaria que el caso base	57
4.17. Perfil diario producción de energía eólica caso mayor factor de planta e igual desviación intra-diaria que el caso base, según PCP	58
4.18. Energía anual generada por tecnología, caso mayor factor de planta e igual desviación intra-diaria que el caso base	59
4.19. Energía mensual generada por tecnología, caso mayor factor de planta e igual desviación intra-diaria que el caso base	60
5.1. Potencias nominales a instalar por perfil, todos los casos	67
5.2. Potencias nominales a instalar por zona, todos los casos	69
5.3. N° total de partidas unidades a Carbón y GNL-CC, todos los casos	72
5.4. Detalle por central, n° total de paradas unidades a Carbón, todos los casos	73
5.5. Detalle por central, n° total de paradas unidades GNL-CC, todos los casos	74
5.6. Escala de color para la tabla de correlaciones	79