

## Tabla de Contenido

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1. Motivación.....	1
1.2. Alcance.....	2
1.3. Objetivos.....	3
1.3.1. Objetivo General .....	3
1.3.2. Objetivos Específicos.....	3
1.4. Estructura.....	4
<b>2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>5</b>
2.1. Caracterización mediante series de tiempo.....	5
2.1.1. Modelos ARMA.....	5
2.1.2. Modelos ARIMA.....	6
2.1.3. Modelos SARIMA .....	9
2.2. Modelos de Despacho Económico.....	10
2.2.1. Predespacho de Unidades.....	10
2.2.2. Modelo de despacho Uninodal.....	11
2.2.3. Despacho de sistemas Hidrotérmicos.....	14
2.3. Estructuras de Contratación.....	22
2.3.1. Consideraciones Básicas en el Mercado Eléctrico Chileno .....	22
2.3.2. Alternativas Implementadas en el Mundo.....	26
2.4. Criterio de evaluación de riesgo CVaR.....	35
<b>3. METODOLOGÍA PROPUESTA.....</b>	<b>37</b>
3.1. Generación de Escenarios.....	37
3.1.1. Generación de perfiles eólicos y solares .....	38
3.1.2. Generación de escenarios de precios.....	38
3.1.3. Perfiles hidrológicos.....	41
3.1.4. Escenarios de matriz energética .....	42
3.2. Determinación de margen operacional y algoritmo computacional utilizado	44
3.3. Análisis de Riesgo.....	51

<b>3.4. Orden cronológico de etapas.....</b>	<b>53</b>
<b>4. FUNCIONAMIENTO Y RESULTADOS.....</b>	<b>56</b>
<b>4.1. Precios Spot obtenidos por hora y por bloque</b>	<b>56</b>
<b>4.2. Ilustración de los despachos de carga obtenidos.....</b>	<b>58</b>
4.2.1. Despachos sobre matriz energética altamente eólica .....	58
<b>4.3. Histogramas de márgenes mensuales esperados.....</b>	<b>63</b>
4.3.1. Histogramas de márgenes mensuales para generación solar.....	63
4.3.2. Histogramas de márgenes mensuales para generación eólica.....	71
<b>4.4. Análisis de sensibilidad con altos precios spot a futuro.....</b>	<b>77</b>
4.4.1. Histogramas para generación solar bajo análisis de sensibilidad.....	79
4.4.2. Histogramas para generación eólica bajo análisis de sensibilidad.....	84
<b>5. ANÁLISIS CONJUNTO DE RESULTADOS.....</b>	<b>91</b>
<b>5.1 Evaluación de riesgo para generación ERNC</b>	<b>91</b>
5.1.1. Evaluación de riesgo contractual para generación solar en caso base. ....	91
5.1.2. Evaluación de riesgo contractual para generación eólica en caso base.....	94
5.1.3. Evaluación de riesgo contractual para generación ERNC bajo análisis de sensibilidad (para alto precio spot a futuro).....	96
<b>6. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO.....</b>	<b>99</b>
<b>6.1. Conclusiones.....</b>	<b>99</b>
<b>6.2. Propuesta de trabajo futuro.....</b>	<b>101</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>102</b>
<b>A. Modelación mediante series de tiempo.....</b>	<b>102</b>
<b>B. Cantidades Contratadas.....</b>	<b>107</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>112</b>

## Índice de Figuras

Figura 2.1 - Proceso no estacionario .....	7
Figura 2.2 - Transformación logarítmica de un proceso no estacionario .....	7
Figura 2.3 - Diferenciación de un proceso no estacionario .....	8
Figura 2.4 - Ejemplo de una serie estacional.....	9
Figura 2.5 - Costo marginal único en un sistema uninodal .....	13
Figura 2.6 - Desacople de costos en un sistema uninodal .....	13
Figura 2.7 - Diferentes tipos de caudales relativos a un embalse.....	14
Figura 2.8 - Costo Marginal en un sistema hidroeléctrico .....	16
Figura 2.9 - Diferentes hidrologías en un sistema hidrotérmico .....	17
Figura 2.10 - Costos presente y futuro de un embalse en función del agua almacenada ....	18
Figura 2.11 - Minimización de costos totales de un embalse en función de su volumen.....	18
Figura 2.12 - Construcción de la función de costo futuro de un embalse .....	21
Figura 2.13 - Construcción de la Función de Costo futuro mediante Programación Dinámica Dual.....	22
Figura 2.14 - Estructura del mercado eléctrico chileno.....	23
Figura 2.15 - Esquema de pago FIT fijo .....	27
Figura 2.16 - Cuotas OR Periodo 2003-2016.....	30
Figura 2.17 - Esquema de pago CFD .....	31
Figura 2.18 - Pago de CFD a través del Government owned counterparty .....	31
Figura 2.19 - Interacción CFD – RO en período 2014-17.....	33
Figura 2.20 - VaR de un Portafolio de Pérdidas.....	35
Figura 2.21 - CVaR de un Portafolio de Pérdidas .....	36
Figura 3.1 - Esquema básico del trabajo de memoria.....	37
Figura 3.2 - Generación de escenarios de precios de combustibles .....	39
Figura 3.3 - Proyección de nube de puntos sobre eje Carbón-Diesel.....	40
Figura 3.4 - Proyección de nube de puntos sobre eje Carbón-GNL.....	40
Figura 3.5 - Proyección de nube de puntos sobre eje GNL-Diesel .....	40
Figura 3.6 - Esquemático de simulaciones sistémicas.....	44
Figura 3.7 - PDF para dos distribuciones con igual media y distinta desviación estándar .	52
Figura 3.8 - Esquemático de la metodología del trabajo de memoria .....	55
Figura 4.1 - Precios Spot promedios obtenidos en forma horaria sobre el total de simulaciones .....	57
Figura 4.2 - Despacho económico bajo hidrología seca en semana representativa de verano de la matriz energética 3 con perfil de precios de combustible 9.....	59
Figura 4.3 - Despacho económico bajo hidrología húmeda en semana representativa de invierno de la matriz energética 3 con perfil de precios de combustible 9 .....	60

Figura 4.4 - Despacho económico bajo hidrología seca en semana representativa de verano de la matriz energética 3 con perfil de precios de combustible 9.....	61
Figura 4.5 - Despacho económico bajo hidrología húmeda en semana representativa de invierno de la matriz energética 3 con perfil de precios de combustible 9 .....	62
Figura 4.6 - Histograma del margen operacional mensual para una planta solar de 100 MW de capacidad, con una cantidad contratada definida por un inversionista neutro al riesgo y para un contrato por bloques ABC .....	64
Figura 4.7 - Histograma del margen operacional mensual para una planta solar de 100 MW de capacidad, con una cantidad contratada definida por un inversionista averso al riesgo y para un contrato por bloques ABC .....	65
Figura 4.8 - Histograma del margen operacional mensual para una planta solar de 100 MW de capacidad, con una cantidad contratada definida por un inversionista averso al riesgo y para un contrato por bloques horarios ABC .....	66
Figura 4.9 - Histograma del margen operacional mensual para una planta solar de 100 MW de capacidad, sin contratación.....	67
Figura 4.10 - Histograma del margen operacional mensual para una planta solar de 100 MW de capacidad, con una cantidad contratada definida por un inversionista neutro al riesgo y para un contrato por bloques único.....	68
Figura 4.11 - Histograma del margen operacional mensual para una planta solar de 100 MW de capacidad, con una cantidad contratada definida por un inversionista averso al riesgo y para un contrato por bloque único .....	69
Figura 4.12 - Histograma del margen operacional mensual para una planta solar de 100 MW de capacidad, con una cantidad contratada definida por un inversionista averso al riesgo y para un contrato por bloques horarios.....	70
Figura 4.13 - Histograma del margen operacional mensual para una planta eólica de 100 MW de capacidad, con una cantidad contratada definida por un inversionista neutro al riesgo y para un contrato por bloques ABC .....	71
Figura 4.14 - Histograma del margen operacional mensual para una planta eólica de 100 MW de capacidad, con una cantidad contratada definida por un inversionista averso al riesgo y para un contrato por bloques ABC .....	72
Figura 4.15 - Histograma del margen operacional mensual para una planta eólica de 100 MW de capacidad, con una cantidad contratada definida por un inversionista averso al riesgo y para un contrato por bloques horarios ABC .....	73
Figura 4.16 - Histograma del margen operacional mensual para una planta eólica de 100 MW de capacidad, sin contratación.....	74
Figura 4.17 - Histograma del margen operacional mensual para una planta eólica de 100 MW de capacidad, con una cantidad contratada definida por un inversionista neutro al riesgo y para un contrato por bloque único .....	75
Figura 4.18 - Histograma del margen operacional mensual para una planta eólica de 100 MW de capacidad, con una cantidad contratada definida por un inversionista averso al riesgo y para un contrato por bloque único .....	76

Figura 4.19 - Histograma del margen operacional mensual para una planta eólica de 100 MW de capacidad, con una cantidad contratada definida por un inversionista averso al riesgo y para un contrato por bloques horarios.....	77
Figura 4.20 - Precios spot horarios esperados bajo análisis de sensibilidad .....	78
Figura 4.21 - Histograma del margen operacional mensual para una planta solar de 100 MW de capacidad, con una cantidad contratada definida por un inversionista neutro al riesgo y para un contrato por bloques ABC bajo análisis de sensibilidad.....	79
Figura 4.22 - Histograma del margen operacional mensual para una planta solar de 100 MW de capacidad, con una cantidad contratada definida por un inversionista averso al riesgo y para un contrato por bloques ABC bajo análisis de sensibilidad.....	80
Figura 4.23 - Histograma del margen operacional mensual para una planta solar de 100 MW de capacidad, con una cantidad contratada definida por un inversionista averso al riesgo y para un contrato por bloques horarios ABC bajo análisis de sensibilidad.....	81
Figura 4.24 - Histograma del margen operacional mensual para una planta solar de 100 MW de capacidad, sin contratación y bajo análisis de sensibilidad.....	82
Figura 4.25 - Histograma del margen operacional mensual para una planta solar de 100 MW de capacidad, con una cantidad contratada definida por un inversionista neutro al riesgo y para un contrato por bloque único bajo análisis de sensibilidad.....	82
Figura 4.26 - Histograma del margen operacional mensual para una planta solar de 100 MW de capacidad, con una cantidad contratada definida por un inversionista averso al riesgo y para un contrato por bloque único bajo análisis de sensibilidad.....	83
Figura 4.27 - Histograma del margen operacional mensual para una planta solar de 100 MW de capacidad, con una cantidad contratada definida por un inversionista averso al riesgo y para un contrato por bloques horarios bajo análisis de sensibilidad.....	84
Figura 4.28 - Histograma del margen operacional mensual para una planta eólica de 100 MW de capacidad, con una cantidad contratada definida por un inversionista neutro al riesgo y para un contrato por bloques ABC bajo análisis de sensibilidad.....	85
Figura 4.29 - Histograma del margen operacional mensual para una planta eólica de 100 MW de capacidad, con una cantidad contratada definida por un inversionista averso al riesgo y para un contrato por bloques ABC bajo análisis de sensibilidad.....	86
Figura 4.30 - Histograma del margen operacional mensual para una planta eólica de 100 MW de capacidad, con una cantidad contratada definida por un inversionista averso al riesgo y para un contrato por bloques horarios ABC bajo análisis de sensibilidad.....	87
Figura 4.31 - Histograma del margen operacional mensual para una planta eólica de 100 MW de capacidad, sin contratación y bajo análisis de sensibilidad.....	87
Figura 4.32 - Histograma del margen operacional mensual para una planta eólica de 100 MW de capacidad, con una cantidad contratada definida por un inversionista neutro al riesgo y para un contrato por bloque único bajo análisis de sensibilidad.....	88
Figura 4.33 - Histograma del margen operacional mensual para una planta eólica de 100 MW de capacidad, con una cantidad contratada definida por un inversionista averso al riesgo y para un contrato por bloque único bajo análisis de sensibilidad .....	89

Figura 4.34 - Histograma del margen operacional mensual para una planta eólica de 100 MW de capacidad, con una cantidad contratada definida por un inversionista averso al riesgo y para un contrato por bloques horarios bajo análisis de sensibilidad.....	90
Figura 5.1 - Márgenes mensuales esperados para los esquemas considerados para generación solar .....	91
Figura 5.2 - Desviación estándar para los distintos tipos de contratos considerados para generación solar .....	92
Figura 5.3 - CVaR 5% para los distintos tipos de contratos considerados para generación solar .....	93
Figura 5.4- Márgenes mensuales esperados para los distintos tipo de contratos considerados para generación eólica .....	94
Figura 5.5 – Desviación estandar para los distintos tipo de contratos considerados para generación eólica .....	95
Figura 5.6 - CvaR 5% para los distintos tipo de contratos considerados para generación eólica.....	96
Figura 5.7 – CVaR 5% y margen esperado para los diferentes tipo de contratos considerados para generación solar bajo análisis de sensibilidad .....	97
Figura 5.8 – CVaR 5% y márgenes esperados para los distintos tipo de contratos considerados para generación eólica bajo análisis de sensibilidad.....	98
Figura A.1 - ACF (Izquierda) y PACF (Derecha) para serie Viento en periodo de Invierno .....	102
Figura A.2 - Representación gráfica de residuos de la serie Invierno (izquierda) y su histograma de frecuencias (Derecha) .....	103
Figura A.3- Series histórica y sintética de viento para un día representativo de invierno. ....	103
Figura A.4 - Series histórica (Izquierda) y sintética (Derecha) de sol para una semana representativo de verano.....	104
Figura A.5 - Series histórica (Izquierda) y sintética (Derecha) de sol para una semana representativo de invierno .....	105
Figura A.6 - Series histórica y sintética de sol para un día representativo de verano e invierno.....	106
Figura A.7 - Representación gráfica de residuos de la serie Error (izquierda) y su histograma de frecuencias (Derecha) .....	106
Figura B.1 - Cantidades contratadas neutras al riesgo por bloques horarios (Izquierda) y por bloque único (Derecha) para un generador solar .....	107
Figura B.2 - Cantidades contratadas aversas al riesgo por bloques horarios (Izquierda) y por bloque único (Derecha) para un generador solar .....	108
Figura B.3 - Cantidades contratadas aversas al riesgo por bloques horarios (Izquierda) y por bloque único (Derecha) para un generador solar .....	108
Figura B.4 - Cantidades contratadas aversas al riesgo variables por bloque único considerando un generador solar .....	109

Figura B.5 - Cantidades contratadas neutras al riesgo por bloques horarios (Izquierda) y por bloque único (Derecha) para un generador eólico .....	109
Figura B.6 -Cantidades contratadas aversas al riesgo por bloques horarios (Izquierda) y por bloque único (Derecha) para un generador eólico.....	110
Figura B.7 - Cantidades contratadas aversas al riesgo variables por bloques horarios ABC para un generador eólico.....	110
Figura B.8 - Cantidades contratadas aversas al riesgo variables por bloques único para un generador eólico.....	111

## Índice de Tablas

Tabla 3.1 - Precios de combustibles proyectados por CNE al 2025 .....	38
Tabla 3.2 - Precios proyectados por la CNE en unidades de [USD/Mwh] .....	38
Tabla 3.3 - Información estadística sobre precios de combustibles térmicos .....	38
Tabla 3.4 - Escenarios generados de precios de combustibles .....	41
Tabla 3.5 - Escenarios hidrológicos utilizados [22] .....	42
Tabla 3.6 - Escenarios de matrices energéticas utilizados.....	43
Tabla 3.7 - Factores de disponibilidad anual de tecnologías térmicas .....	46
Tabla 4.1 - Escenarios probabilísticos usados para la obtención de resultados .....	46
Tabla 4.2 - Precios Spot promedio por bloque sobre el total de simulaciones.....	57
Tabla 4.3 - Escenarios probabilísticos para análisis de sensibilidad .....	78
Tabla 4.4 - Precios Spot esperados por bloque bajo análisis de sensibilidad.....	79
Tabla A.1 - Cantidades contratadas para un generador solar .....	107
Tabla B.1 - Cantidades contratadas para un generador eólico .....	109