

Tabla de Contenido

1. Introducción	1
1.1. Motivación	2
1.2. Estado del Arte	3
1.3. Stochastic Dual Dynamic Programming (SDDP)	5
1.4. Organización de contenidos	5
2. Marco Teórico	6
2.1. Árboles y Escenarios	7
2.2. Principio de no-anticipatividad	10
2.3. Formulación extendida	11
2.4. Introducción a Progressive Hedging	12
2.4.1. Intuición	12
2.4.2. Pseudo Código PH	14
2.4.3. Caracterización	14
2.5. SDDP	15
3. Problema eléctrico	18
3.1. Antecedentes y descripción	18
3.2. Reducción de sub-problema bloque-etapa	21
3.3. Incertidumbre	23
3.4. Generación de Escenarios	24
3.4.1. Metodologías de generación de escenarios actuales (Generador de escenarios PLP)	25
3.4.2. Metodología de generación de escenarios propuesta	29
3.4.3. Tratamiento de Data	29
3.4.4. Generador de escenarios Synth - NSG	30
4. Modelo de optimización	34
4.1. Conjuntos	34
4.2. Parámetros	35
4.3. Variables	36
4.4. Restricciones	37
4.5. Función objetivo	39
4.6. Rectificaciones del modelo	40
5. Algoritmo Progressive Hedging	42
5.1. Pseudo-código extendido	42

5.2.	Ajustes y mejoras	44
5.2.1.	Aceleración de la resolución de cada subproblema	44
5.2.2.	Paralelización del algoritmo	45
5.2.3.	Linealizar término cuadrático proximal	46
5.2.4.	Ajustes del parámetro ρ de penalización	48
5.2.5.	Bundling de escenarios	49
5.2.6.	Criterio de término	50
6.	Implementación	52
6.1.	Implementación paralela PYSP	53
6.2.	Comparación de Metodologías	53
6.3.	Recursos computacionales utilizados	56
6.4.	Instancias	57
7.	Resultados	63
7.1.	Convergencia PH	64
7.2.	Cuenca del Laja	68
7.2.1.	Árbol Base	68
7.3.	Sistema completo (SIC - SING)	69
7.3.1.	Caso Uninodal	69
7.3.2.	Caso Multinodal	70
7.3.3.	Análisis de resultados Árbol Base - Sistema completo (SIC - SING)	71
7.4.	Metodologías Generadoras de Escenario	72
7.4.1.	Resultados SYNTH	73
7.4.2.	Resultados NSG	75
7.5.	Comparación de Árbol + Metodología	78
7.5.1.	Hidrologías Húmedas	80
7.5.2.	Hidrologías Medias	82
7.5.3.	Hidrologías Secas	83
8.	Conclusión	86
9.	Bibliografía	88
	Anexos	92
	Anexo A: Pseudo-código Benders Multi etapa	92
	Anexo B: Tipo de centrales de generación eléctrica	95
	Anexo C: Modelo hidráulico - Cuenca del Laja	97
	Anexo D: Resultados de Metodologías de aceleración de resolución de cada subproblema	101
	Anexo E: Resultados de la linealización del término cuadrático proximal	102
	Anexo F: Estrategias para cálculo de ρ	103
	Anexo G: Archivos para paralelización en NLHPC	106
	Anexo H: Convergencia de PH	108
	Anexo I: Años hidrológicos seleccionados para comparación de metodologías	108
	Anexo J: Tiempos de ejecución de lenguajes: Fortran vs Python	111

Índice de Tablas

1.1. Generación eléctrica por tipo de central. Fuente: Comisión nacional de energía CNE [1]	2
3.1. Cantidad de escenarios según aperturas y períodos	33
6.1. Descripción instancia Cuenca del Laja	58
6.2. Parámetros de línea de transmisión - Cuenca del Laja	59
6.3. Parámetros de generadores térmicos - Cuenca del Laja	59
6.4. Parámetros generadores hidroeléctricos - Cuenca del Laja	59
6.5. Características de la demanda - Cuenca del Laja	59
6.6. Descripción instancia Uninodal SIC-SING	61
6.7. Descripción instancia Multinodal SIC-SING	62
7.1. Cuenca del Laja - Árbol base	68
7.2. SIC - SING - Caso Uninodal - Árbol Base	70
7.3. SIC - SING - Caso Multinodal - Árbol Base	70
7.4. Resultados Generador de escenarios SYNTH	73
7.5. Resultados Generador de escenarios NSG	76
7.6. Tiempos de ejecución árbol + Metodología	79
7.7. Tabla resumen escenarios húmedos	81
7.8. Tabla resumen escenarios medios	83
7.9. Tabla resumen escenarios secos	85
A.1. Metodologías de aceleración para cada subproblema	101
A.2. Resultados de tramos para ρ	102
A.3. Convergencia de PH	108
A.4. Años hidrológicos seleccionados	109
A.5. Porcentaje de variación de F.O. por escenario	110
A.6. Tiempos de las pruebas comparativas en relación a C (menos es mejor, desempeño de $C = 1.0$).	111

Índice de Ilustraciones

2.1. Largo de períodos vs incertidumbre.	8
2.2. Árbol de escenario y formulación extendida.	9
2.3. Representación de principio de no anticipatividad, los nodos encerrados en elipses se denominan conjuntos de información.	10
3.1. Representación de Red eléctrica y sus nodos.	19
3.2. Representación de Red hidráulica, con afluentes naturales y sus nodos.	20
3.3. Representación de la carga en el tiempo (8 días) (a)Potencia demandada en cada instante de tiempo. (b) Cantiada de tiempo que la potencia demandada se encuentra sobre un nivel.	21
3.4. Representación aproximada por bloques de demanda de la curva de duración de la carga.	22
3.5. Hidrologías Laja 1960-2013.	23
3.6. Mínima y máxima hidrología Laja 2007 - 2000.	24
3.7. Diagrama de escenarios usado en PLP.	26
3.8. Ejemplo del generador de escenarios que considera todas las posibles combinaciones.	27
3.9. Ejemplo de escenarios improbables.	28
3.10. Estimación de distribución.	31
3.11. Selección de vecinos y estimación de distribución.	32
3.12. Distribuciones condicional, y elección de puntos dentro de cada segmento.	32
5.1. Bundling de Escenarios.	49
5.2. Región de la Formulación extendida compacta.	50
6.1. Representación teórica del árbol común utilizado, sin aperturas desde el segundo período.	54
6.2. Red eléctrica instancia Cuenca del Laja.	58
6.3. Red hidráulica instancia Cuenca del Laja.	60
7.1. Convergencia de PH, Caso SIC-SING Uninodal, 768 escenarios.	64
7.2. Variación porcentual de PH por iteración, Caso SIC-SING Uninodal, 768 escenarios.	65
7.3. F.O por iteración, Caso SIC-SING Uninodal, 768 escenarios.	66
7.4. Variación porcentual de F.O por iteración, Caso SIC-SING Uninodal, 768 escenarios.	67

7.5. Tiempos de ejecución Generador de escenarios SYNTH - Formulación extendida (EF), Caso SIC-SING Multinodal	74
7.6. Tiempos de ejecución Generador de escenarios SYNTH - Formulación extendida (EF), Caso SIC-SING Multinodal	75
7.7. Tiempos de ejecución Generador de escenarios NSG - Formulación extendida (EF), Caso SIC-SING Multinodal	77
7.8. Tiempos de ejecución Generador de escenarios NSG - Formulación extendida (EF), Caso SIC-SING Multinodal	78
7.9. Histograma de Costos operacionales, escenarios húmedos	80
7.10. Variación porcentual de Costos operacionales, escenarios húmedos	81
7.11. Histograma de Costos operacionales, escenarios promedio	82
7.12. Variación porcentual de Costos operacionales, escenarios promedio	82
7.13. Histograma de Costos operacionales, escenarios secos	84
7.14. Variación porcentual de Costos operacionales, escenarios secos	84
A.1. Representación de Red hidráulica - Cuenca del Laja.	98
A.2. Modelo hidráulico completo - Cuenca del Laja.	99
A.3. Modelo hidráulico completo - Cuenca del Laja (continuación).	100