

Tabla de Contenido

1. Introducción.....	1
2. Revisión Bibliográfica	5
2.1. Impactos ambientales del <i>hydropeaking</i>	6
2.2. Indicadores de alteración hidrológica	7
2.3. Restricciones operacionales para mitigación del <i>hydropeaking</i>	8
3. Modelo operacional del sistema embalse-contraembalse.....	11
3.2.1. Modelo de optimización para minimizar rampas absolutas	16
4. Resultados modelación	17
4.1. Parámetros del modelo	17
4.2. Caso sin contraembalse ni restricciones de operación	18
4.3. Caso con contraembalse.....	23
4.3.1. Restricción de caudal mínimo.....	23
4.3.2. Restricción de rampas máximas.....	41
4.3.3. Restricciones combinadas	53
5. Aplicación de modelo de minimización de rampas absolutas a central Pangué	64
6. Discusiones y conclusiones	69
Bibliografía	74

Índice de Tablas

Tabla 1: Indicadores de alteración hidrológica – Volumen 50% - Contraembalse 1 hora de TRH - Caudal mínimo 10%.....	38
Tabla 2: Indicadores de alteración hidrológica – Volumen 80% - Contraembalse 1 hora de TRH - Caudal mínimo 10%.....	40
Tabla 3: Indicadores de alteración hidrológica - Volumen 50% - Contraembalse 2 horas de TRH – Rampa máxima 10%.....	50
Tabla 4: Indicadores de alteración hidrológica – Volumen 80% - Contraembalse 2 horas de TRH – Rampa máxima 10%.....	52
Tabla 5: Indicadores de alteración hidrológica – Caudal mínimo 10% - Rampa máxima 5% - Volumen disponible 50% - Contraembalse 1 TRH.....	60
Tabla 6: Indicadores de alteración hidrológica – Caudal mínimo 30% - Rampa máxima 5% - Volumen disponible 50% - Contraembalse 1 TRH.....	61
Tabla 7: Indicadores de alteración hidrológica – Caudal mínimo 10% - Rampa máxima 10% - Volumen disponible 50% - Contraembalse 1 TRH.....	62
Tabla 8: Indicadores de alteración hidrológica – Caudal mínimo 30% - Rampa máxima 10% - Volumen disponible 50% - Contraembalse 1 TRH.....	63

Índice de Figuras

Figura 1: Esquema conceptual sin contraembalse	11
Figura 2: Esquema conceptual con contraembalse.....	12
Figura 3: Precio Energía	17
Figura 4: Ingresos sin contraembalse ni restricciones de operación	18
Figura 5: Caudal turbinado – Volumen 20% - Caso sin restricciones ni contraembalse	19
Figura 6: Caudal turbinado – Volumen 50% - Caso sin restricciones ni contraembalse	20
Figura 7: Caudal turbinado – Volumen 80% - Caso sin restricciones ni contraembalse	20
Figura 8: Caudal turbinado – Volumen 100% - Caso sin restricciones ni contraembalse	21
Figura 9: Indicadores de alteración hidrológica – caso sin restricciones.....	22
Figura 10: Efecto de restricción de caudal mínimo en los ingresos con un volumen disponible de 20%	25
Figura 11: Efecto de restricción de caudal mínimo en los ingresos con un volumen disponible de 50%	27
Figura 12: Efecto de restricción de caudal mínimo en las ingresos con un volumen disponible de 80%	28
Figura 13: Índices de alteración hidrológica – Restricción de caudal mínimo e Volumen 20%	30
Figura 14: Series de Caudales para Explicar Comportamiento del R-B Index	31
Figura 15: Índices de alteración hidrológica – Restricción de caudal mínimo – Volumen 50%	33
Figura 16: Índices de alteración hidrológica – Restricción de caudal mínimo – Volumen 80%	35
Figura 17: Serie de caudales – Volumen 50% - Contraembalse 1 hora de TRH – Caudal mínimo 10%	37
Figura 18: Serie de caudales – Volumen 50% - Contraembalse de 5 horas de TRH – Caudal mínimo 10%	39
Figura 19: Serie de caudales – Volumen 80% - Contraembalse 0.5 horas de TRH – Caudal mínimo 10%	40

Figura 20: Serie de caudales – Volumen 80% - Contraembalse 3.5 horas de TRH – Caudal mínimo 10%	41
Figura 21: Efecto de restricción de rampa máxima en los ingresos con un volumen disponible de 20%	42
Figura 22: Efecto de restricción de rampa máxima en los ingresos con un volumen disponible de 50%	43
Figura 23: Efecto de restricción de rampa máxima en los ingresos con un volumen disponible de 80%	44
Figura 24: Índices de alteración hidrológica - Restricción de rampas máximas y volumen 20%	45
Figura 25: Índices de alteración hidrológica – Restricción de rampas máximas – Volumen 50%	47
Figura 26: Índices de alteración hidrológica – Restricción de rampas máximas – Volumen 80%	48
Figura 27: Serie de caudales – Volumen 50% - Contraembalse 2 horas de TRH – Rampa máxima 10%.....	50
Figura 28: Serie de caudales – Volumen 50% - Contraembalse 5 horas de TRH – Rampa máxima 10%.....	51
Figura 29: Serie de caudales – Volumen 80% - Contraembalse 2 horas de TRH – Rampa máxima 10%.....	52
Figura 30: Serie de caudales – Volumen 80% - Contraembalse 3.5 horas de TRH – Rampa máxima 10%	53
Figura 31: Efecto de restricción de rampa máxima, caudal mínimo 10% y volumen disponible 50% sobre los ingresos	54
Figura 32: Efecto de restricción de rampa absoluta, caudal mínimo 30% y volumen disponible 50% sobre los ingresos	55
Figura 33: Índices de alteración hidrológica – Restricción de rampas máximas – Caudal mínimo 10% - Volumen disponible 50%.....	56
Figura 34: Índices de alteración hidrológica – Restricción de rampas máximas – Caudal mínimo 30% - Volumen disponible 50%.....	58
Figura 35: Serie de caudales – Caudal mínimo 10% - Rampa máxima 5% - Volumen disponible 50% - Contraembalse 1 hora TRH	60
Figura 36: Serie de caudales – Caudal mínimo 30% - Rampa máxima 5% - Volumen disponible 50% - Contraembalse 1 hora de TRH	61

Figura 37: Serie de caudales – Caudal mínimo 10% - Rampa máxima 10% - Volumen disponible 50% - Contraembalse 1 hora de TRH	62
Figura 38: Serie de caudales – Caudal mínimo 30% - Rampa máxima 10% - Volumen disponible 50% - Contraembalse 1 hora de TRH	63
Figura 39: Ubicación estación DGA Río Biobío Ante Junta Pangué	64
Figura 40: Caudales estación DGA Río Biobío Ante Junta Pangué y Generación real de central Pangué, mes de febrero 2015	65
Figura 41: Resultados modelo de minimización de rampas absolutas aplicado a central Pangué – Febrero 2015 – Contraembalse TRH=0.5 horas	66
Figura 42: Resultados modelo de minimización de rampas absolutas aplicado a central Pangué – Febrero 2015 – Contraembalse TRH=2 horas	66
Figura 43: Índice CDV de resultados modelo de minimización de rampas absolutas aplicado a central Pangué – Febrero	67
Figura 44: Índice R-B Index de resultados modelo de minimización de rampas absolutas aplicado a central Pangué – Febrero 2015	68
Figura 45: Reducción de ingresos por operación a caudal constante.	70
Figura 46: Ingresos para el caso sin restricciones y operación a caudal constante	71
Figura 47: Pérdidas inducidas por restricciones: Caudal Mínimo 10% versus Rampa Máxima 10% y Operación Constante	72
Figura 48: Indicador R-B Index – Caudal mínimo 10% - Rampa máxima 10%	72