

Tabla de Contenido

Resumen	i
Dedicatoria	ii
Agradecimientos	iii
Lista de Tablas	vi
Lista de Figuras	vi
1. Introducción	1
1.1. Objetivos	2
1.1.1. Objetivo General	2
1.1.2. Objetivos Específicos	2
1.2. Alcances	2
2. Metodología	3
2.1. Estudio de índices de alteración hidrológica y su relación con las restricciones de caudal	3
2.2. Definición del sistema simplificado	3
2.3. Modelación del sistema eléctrico simplificado	4
2.4. Análisis de los efectos del contraembalse	4
3. Antecedentes	5
3.1. Impactos ambientales del <i>hydropeaking</i> y restricciones de caudales ambientales en hidroelectricidad.	5
3.2. Incorporación de restricciones de caudal en el la operación de centrales hidroeléctricas.	6
3.3. Contraembalses como medida de mitigación a las fluctuaciones intradiarias de caudal producto de operación hidroeléctrica.	7
4. Restricciones de caudal e Indicadores de alteración hidrológica utilizados	9
5. Modelo pre despacho sistema hidrotérmico	10
5.1. Definición sistema simplificado	11
5.2. Modelo de optimización	11
5.2.1. Modelo minimización de costos	12
5.2.2. Alternativas para la optimización de las entregas del contraembalse	15
5.2.3. Formal lineal de la función rampas absolutas	16
5.3. Datos de entrada del modelo	17
5.4. Algoritmo de solución del modelo	20

6. Análisis de Resultados	21
6.1. Resultados sin contraembalse	21
6.1.1. Generación y series de caudales turbinados	21
6.1.2. Costos totales del sistema	24
6.1.3. Costos de generación	26
6.1.4. Índices de alteración hidrológica	28
6.2. Resultados con contraembalse	29
6.2.1. Elección alternativa para la optimización de las entregas del contraembalse	29
6.2.2. Caudales Turbinados	31
6.2.3. Costos Totales	32
6.2.4. Costos de Generación	36
6.2.5. Índices de alteración hidrológica	38
6.2.6. <i>Tradeoff</i> entre costos del sistema e indicadores de alteración hidrológica . .	42
7. Discusión y Conclusiones	45
Bibliografía	48
Anexos	50
Anexo A. Nomenclatura modelo de optimización	50
Anexo B. Resultados alternativas de optimización de caudales descartadas	52
B.0.1. Minimización de rampas utilizando caudales turbinados como dato de entrada.	52
B.0.2. Minimización de rampas, sujeto a restricción de costos	53

Índice de tablas

5.1. Centrales utilizadas para la simulación.	11
5.2. Datos técnicos del embalse y su central	17
5.3. Tiempos mínimos de encendido y apagado de las centrales	17
5.4. Costos de generación térmica utilizados en la simulación (\$ <i>USD/MW</i>)	18
5.5. Caudales afluentes medios semanales utilizados por semana e hidrología (m^3/s)	19
5.6. Caudales de entrega mínimos (m^3/s)	19
5.7. Rampas Máximas (m^3/s)	19
5.8. Capacidades del contraembalse utilizadas en la simulación	20
6.1. Costos de generación económicamente óptimos (\$MUSD)	26
A-A1 Simbología índices utilizados en el modelo de optimización	50
A-A2 Variables de decisión del modelo de optimización	50
A-A3 Parámetros del modelo de optimización	51

Índice de figuras

2.1. Metodología planteada para el desarrollo del trabajo propuesto	3
3.1. Análisis de frecuencia, indicador de Richard-Baker, embalses Pangue Y Ralco (Fuente: Olivares et al.,2015)	7
5.1. Esquema conceptual sin contraembalse, Fuente: Escobar (2016)	10
5.2. Esquema conceptual con contraembalse, Fuente: Escobar (2016)	10
5.3. Esquema conceptual sistema simplificado.	11
5.4. Demanda horaria escalada de las semanas escogidas	18
6.1. Serie de caudales turbinados por la central para distintas combinaciones de restricciones de caudal, semana Febrero e hidrología seca	21
6.2. Serie de caudales turbinados por la central para distintas combinaciones de restricciones de caudal, semana Noviembre e hidrología húmeda	22
6.3. Generación horaria del sistema hidrotérmico desagregado por tecnologías bajo distintos niveles de restricciones	24
6.4. Aumento porcentual en los costos totales del sistema para distintos casos sin contraembalse, bajo todas las combinaciones de restricciones de caudal	25
6.5. Costos de generación térmica del sistema para distintos casos, bajo todas las combinaciones de restricciones de caudal	27
6.6. Indicador de Richard-Baker semanal para distintos casos, bajo todas las combinaciones de restricciones de caudal	28
6.7. Indicador de Richard-Baker para distintas restricciones, Mayo-normal, TR=0.5 horas	30
6.8. Indicador de Richard-Baker para distintas restricciones, Agosto-seco, TR=0.5 horas	31

6.9. Febrero-seco, series turbinadas (QT) y entregadas (RT) para distintos tiempos de retención (TR), en la figura 6.9a se aprecia el caso sin restricciones (Q1-R1) y en la figura 6.9b el con caso restricciones máximas (Q5-R5)	32
6.10. Agosto-seco, series turbinadas (QT) y entregadas (RT) para distintos tiempos de retención (TR), en la figura 6.9a se aprecia el caso sin restricciones (Q1-R1) y en la figura 6.9b el con caso restricciones máximas (Q5-R5)	32
6.11. Aumento porcentual en los costos totales (pérdidas) para distintos casos con contraembalse, bajo todas las combinaciones de restricciones de caudal	34
6.12. Comparación del aumento en los costos totales del sistema, manteniendo una restricción constante para el caso sin contraembalse (SC) y distintos tiempos de retención.	35
6.13. Costos de generación térmica normalizado para distintos casos con contraembalse, bajo todas las combinaciones de restricciones de caudal	37
6.14. Variación del costo de generación con respecto a las entregas mínimas manteniendo R1 constante, Febrero-seco.	38
6.15. Índices de alteración hidrológica para distintos casos con contraembalse, bajo todas las combinaciones de restricciones de caudal.	39
6.16. Comparación de los índices de alteración hidrológica, manteniendo una restricción constante para el caso sin contraembalse (SC) y distintos tiempos de retención (capacidad del contraembalse).	40
6.17. Análisis de soluciones eficientes entre el costo del sistema e indicador de alteración hidrológica (Richard-Baker) para distintos casos.	43
6.18. Análisis soluciones eficientes entre el costo del sistema e indicador de alteración hidrológica (Richard-Baker) para el caso anual, hidrología seca.	44
A-B1 Alternativa 1, indicador de Richard-Baker para distintas restricciones, Mayo-normal, TR=0.5 horas	52
A-B2 Alternativa 1, indicador de Richard-Baker para distintas restricciones, Mayo-normal, TR=2 horas	53
A-B3 Alternativa 2, indicador de Richard-Baker para distintas restricciones, Mayo-normal, TR=0.5 horas	54
A-B4 Alternativa 2, indicador de Richard-Baker para distintas restricciones, Mayo-normal, TR=2 horas	54