

ESTUDIO DE LAS REGLAS DE EXPLOTACIÓN DE LOS EMBALSES DEL SISTEMA CANTAREIRA, SÃO PAULO, BRASIL

Luciana Silva Peixoto¹, Frederico Fábio Mauad y Joaquín Andreu Álvarez

Resumen:

El rendimiento de un sistema de recursos hídricos es analizado, a través de simulación computacional, considerando diferentes políticas de operación de los embalses. Son utilizados indicadores de rendimiento (garantía, resiliencia, déficit máximo y medio) en la comparación de las diferentes estrategias de operación. Los resultados obtenidos en las simulaciones están, en general, de acuerdo con estudios similares desde el punto de vista de los criterios de rendimiento. Se ha encontrado que la regla de operación, definida en la "Portaría" del Departamento de Aguas y Energía Eléctrica-DAEE N° 1213, proporciona mejores resultados en relación a la vulnerabilidad, a costa de una mayor frecuencia de fallos.

Palabras clave: reglas de operación, simulación, recursos hídricos.

INTRODUCCIÓN

Ubicado en el Estado de São Paulo, el Sistema Cantareira está formado por seis embalses – Jaguari, Jacareí, Cachoeira, Atibainha (ubicados en la cuenca del río Piracicaba), Paiva Castro y Aguas Claras (ubicados en la cuenca del Alto Tietê) – conectados por túneles, canales y tramos de ríos, teniendo como destino la Estación de Tratamiento de Agua Potable del Guaraú (ETAP-Guaraú). Ese sistema constituye la principal fuente de suministro hídrico de la Región Metropolitana de São Paulo – RMSP, siendo responsable del suministro de 33 m³/s de agua para una población estimada en 9 millones de habitantes, de los cuales 31 m³/s provienen de las represas de la cuenca del río Piracicaba.

El agua, por gravedad, es transferida a lo largo de los embalses Jaguari-Jacareí, Cachoeira, Atibainha y Paiva Castro (Figura 1). A través de la Estación de Bombeo Santa Inês, el agua es bombeada para el embalse Aguas Claras, siguiendo por gravedad a la ETAP-Guaraú, responsable por el tratamiento de agua de aproximadamente mitad de la población de la Región Metropolitana de São Paulo (RMSP).

En la tabla 1 son presentadas las principales características de las presas 1– Perfil representativo del Sistema Cantareira. (Fuente: Deliberación Conjunta de los Comités PCJ n° 007/04 de 01/06/2004)

¹ Universidade Estadual de Maringá, Rod 489. Umuarama, PR - Brasil

Recibido el 7 de abril de 2005, recibido en forma revisada el 8 de octubre de 2005 y aceptado para publicación como nota técnica el 20 de abril de 2006. Pueden ser remitidas discusiones sobre el artículo hasta seis meses después de la publicación del mismo siguiendo lo indicado en las "Instrucciones para autores". En el caso de ser aceptadas, éstas serán publicadas conjuntamente con la respuesta de los autores.

Tabla 1. Datos básicos de los embalses de regularización del Sistema Cantareira.

	Jaguari/Jacareí		Cachoeira		Atibainha	
Area de drenaje (km ²)	1252		410		305	
Cotas y Niveles de agua	Cota (m)	Vol. Acum. (hm ³)	Cota (m)	Vol. Acum. (hm ³)	Cota (m)	Vol. Acum. (hm ³)
N.A. máximo maximorum	845,00	1087,11	825,28	174,06	789,00	350,97
N.A. máximo normal	844,00	1037,35	821,78	114,60	786,86	301,51
N.A. mínimo operacional	820,80	229,49	811,72	44,05	781,88	201,35
N.A. mínimo minimorum	818,00	173,71	808,00	26,41	777,90	136,12
Vol. Útil Operacional	----	807,86	----	70,55	----	100,16
Area del embalse en N.A. operacional (Km ²)	49,10		8,69		22,21	

Fuente: SABESP - Directoria Metropolitana de Distribución (julio/2004).

Tabla 2. Reglas de operación del Cantareira.

Estado del Sistema Equivalente (el % del Volumen Útil Operacional)												Límites de los caudales de retirada (m ³ /s)		
ene	Feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	out	nov	dic	X	X ₁	X ₂
16,3	15,7	15,8	15,8	16,6	15,3	12,9	9,9	6,6	3,0	0,0	0,0	27,0	24,08	2,92
21,4	20,7	20,5	20,4	20,9	19,4	16,7	13,6	10,0	6,3	3,0	2,0	27,8	24,80	3,00
22,7	21,9	21,7	21,5	22,0	20,4	17,7	14,5	10,9	7,1	3,8	2,5	28,0	24,95	3,05
29,2	28,1	27,6	27,1	27,4	25,5	22,6	19,1	15,2	11,1	7,5	6,0	29,0	25,70	3,30
35,6	34,3	33,5	32,7	32,8	30,6	27,4	23,6	19,4	15,1	11,3	9,5	30,0	26,46	3,54
42,1	40,4	39,4	38,4	38,1	35,7	32,2	28,2	23,7	19,1	15,0	13,0	31,0	27,22	3,78
48,5	46,6	45,3	44,0	43,5	40,8	37,1	32,8	28,0	23,2	18,8	16,5	32,0	27,97	4,03
55,0	52,8	51,2	49,7	48,9	45,9	41,9	37,3	32,3	27,2	22,6	20,0	33,0	28,73	4,27
61,4	59,0	57,1	55,3	54,2	51,0	46,7	41,9	36,6	31,2	26,3	23,5	34,0	29,48	4,52
67,8	65,2	63,0	60,9	59,6	56,1	51,6	46,4	40,9	35,3	30,1	27,0	35,0	30,24	4,76
74,3	71,3	68,9	66,6	65,0	61,2	56,4	51,0	45,2	39,3	33,8	30,5	36,0	31,00	5,00

X = límite del caudal total de retirada ($X = X_1 + X_2$)

X₁ = límite para la derivación, a través del Túnel 5, para la RMSP

X₂ = límite de la suelta aguas abajo de las presas de los ríos Jaguari, Jacareí, Cachoeira y Atibainha

En este artículo, el rendimiento del Sistema Cantareira es verificado a través de simulación computacional, considerando dos tipos de reglas operacionales. La primera (antigua gestión) considera como parámetros de gestión los caudales mínimos que deben ser garantizados a la población de la cuenca del Río Piracicaba (15 m³/s en el Río Atibaia y 40 m³/s en el Río Piracicaba) y aguas abajo de las presas Jaguari/Jacareí, Cachoeira y Atibainha (2 m³/s, 2 m³/s y 1 m³/s, respectivamente). Durante períodos hidrológicos favorables, y aún a lo largo de una secuencia de años moderadamente secos, ha sido posible a la Compañía de Saneamiento Básico del Estado de São Paulo (SABESP), responsable por la operación del sistema, mantener estos caudales sin mayores dificultades. Sin embargo, durante períodos más críticos, como

los observados a partir de 1999 hasta hoy, se ha tenido la necesidad de reducir las sueltas para la RMSP y para la cuenca del Piracicaba.

Con el vencimiento de la antigua concesión, a través de la Portaria n° 1213, del 06 de agosto de 2004, fue establecida una nueva, que concede a la SABESP el derecho a la concesión de los caudales máximos medios mensuales en las infraestructuras del sistema.

En relación a la operación del Cantareira se han establecido límites de caudal de retirada para la Región Metropolitana de São Paulo (X₁) y para la cuenca del Río Piracicaba (X₂). En la nueva gestión del Cantareira se debe utilizar la regla presentada en la Tabla 2.

ESTUDIO DE LAS REGLAS DE EXPLOTACIÓN DE LOS EMBALSES DEL SISTEMA CANTAREIRA, SÃO PAULO, BRASIL

En este estudio se busca analizar el rendimiento del Sistema de recursos hídricos de Cantareira, considerando no sólo la gestión aplicada hasta el momento, a través de la utilización del modelo de simulación SIMGES, sino también la gestión propuesta por la nueva concesión del sistema, a través del uso de indicadores de rendimiento, tales como la garantía, la resiliencia, el déficit máximo y el déficit medio.

SIMULACIONES Y RESULTADOS

Son analizadas las reglas de operación adoptadas hasta el mes de agosto de 2004 (antigua gestión), mediante la aplicación del modelo de simulación SIMGES, desarrollado por Andreu y colaboradores, en el Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente, de la Universidad Politécnica de Valencia. Más informaciones sobre las características y funcionamiento del modelo pueden ser obtenidas en Andreu et al. (1996).

Para simular las nuevas reglas operacionales definidas en la Tabla 1, se ha desarrollado un programa en la hoja de cálculo EXCEL, a fin de verificar el comportamiento del sistema, siempre que a partir de ese momento y durante los próximos años se presente una serie de aportación similar a la histórica.

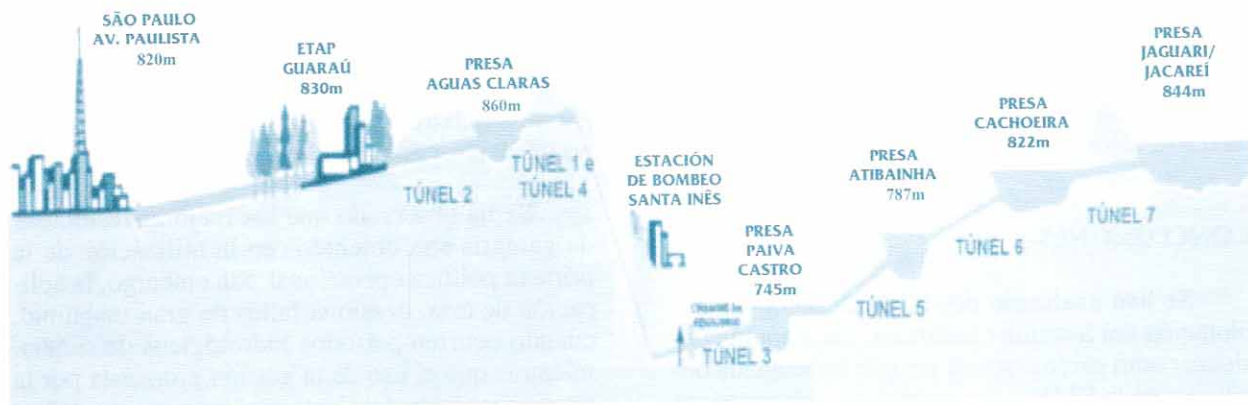
Las simulaciones son realizadas a nivel mensual y el período utilizado es de oct/1932 a sep/2002. En la tabla 3 son presentados los índices de rendimiento del sistema obtenidos en las simulaciones. En Hashimoto et al. (1982) pueden ser encontradas definiciones de los indicadores de rendimiento de sistemas de recursos hidráulicos más frecuentemente utilizados.

En la antigua gestión, como verificado en la realidad, a pesar de la alta garantía en el suministro de las demandas de la RMSP y de la cuenca del Río Piracicaba (un 95,48% y 94,29%, respectivamente), el sistema, en períodos hidrológicos de sequía, se encuentra muy vulnerable, presentando un déficit máximo de 24,169 m³/s (un 77,97% de la demanda requerida para la RMSP) y 4,586 m³/s (un 91,72% de la demanda requerida para la cuenca del Piracicaba).

En las Figuras 2 a 3 son presentados los gráficos de déficit en el suministro de la RMSP y de la cuenca del Río Piracicaba.

Se puede observar, en la Figura 2, que con la nueva gestión del Cantareira, la frecuencia y duración de fallos es mayor comparado a la antigua gestión adoptada, sin embargo, estos fallos son de pequeña magnitud, con un déficit máximo de 2,711 m³/s (un 8,74% de la demanda de la RMSP).

Figura 1. Perfil representativo del Sistema Cantareira.



(Fuente: Deliberación Conjunta de los Comités PCJ nº 007/04 de 01/06/2004)

Tabla 3. Índices de rendimiento del Sistema Cantareira.

ÍNDICES	Antigua gestión		Nueva gestión	
	RMSP	Piracicaba	RMSP	Piracicaba
Garantía (%)	95,48	94,29	89,64	88,21
Resiliencia (%)	28,95	22,92	34,48	30,30
Déficit máximo (m ³ /s)	24,169	4,586	2,711	0,872
Déficit medio (m ³ /s)	1,626	0,417	0,411	0,136

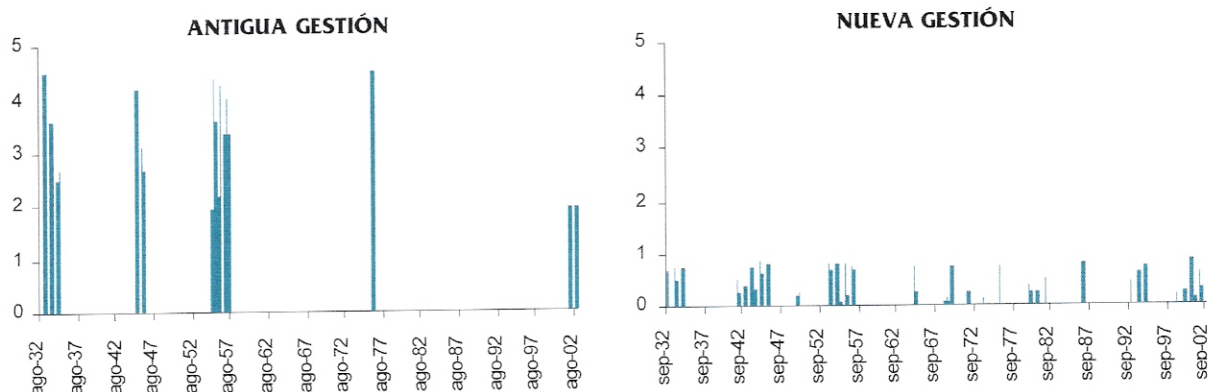


Figura 2. Déficit en el suministro de la RMSP (m^3/s).

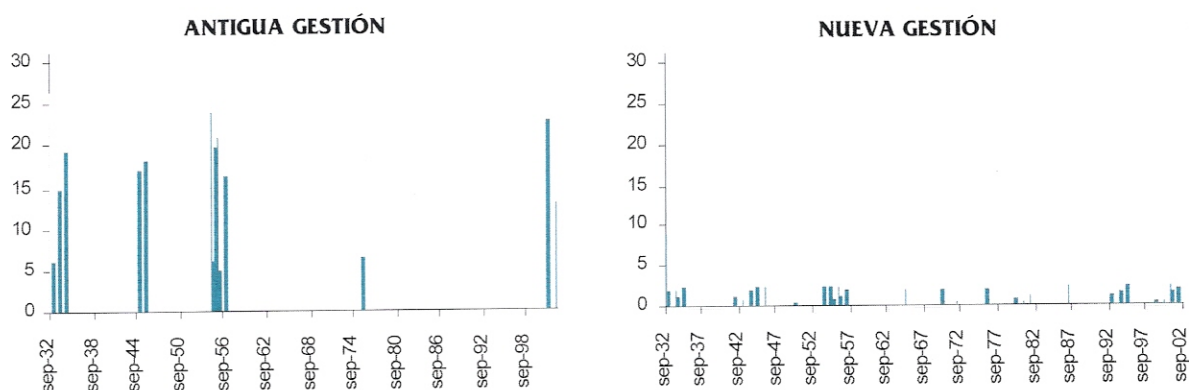


Figura 3. Déficit en el suministro de la Cuenca del Piracicaba (m^3/s).

En relación al suministro de la cuenca del Río Piracicaba, con la aplicación de la nueva gestión, se obtiene una menor vulnerabilidad del sistema, a costa de una menor garantía. Se han presentado fallos de pequeña magnitud, con déficit máximo de $0,872 m^3/s$ (un 17,43% de la demanda).

CONCLUSIONES

Se han analizado dos tipos de reglas de explotación del Sistema Cantareira. La primera considera como parámetros de gestión la demanda objetivo para la RMSP y los caudales mínimos aguas abajo a las presas consideradas en el estudio. La segunda, a ser aplicada actualmente, comprende las reglas de operación donde las liberaciones para el suministro de las demandas de la cuenca del Río Piracicaba y de la RMSP son funciones del volumen de los embalses.

Los resultados obtenidos en las simulaciones están, en general, de acuerdo con estudios simila-

res del punto de vista de las relaciones entre los criterios de rendimiento de un sistema hídrico. Por ejemplo: generalmente, garantía alta está acompañada de alta vulnerabilidad, de modo que tanto la garantía máxima, como la vulnerabilidad mínima no pueden ser encontradas.

Se ha observado que los mejores resultados de garantía son obtenidos en la utilización de la primera política operacional. Sin embargo, la aplicación de ésta, ocasiona fallos de gran magnitud, cuando ocurren períodos hidrológicos de sequía, mientras que el uso de la gestión propuesta por la nueva concesión del Cantareira proporciona déficit de menores magnitudes, a pesar de una frecuencia mayor de fallos. En función de la gran dependencia del suministro de la RMSP de las aguas provenientes del Cantareira, es de fundamental importancia la utilización de reglas operativas que eviten el colapso en el suministro de las demandas de las regiones envueltas. Una buena regla debe al mismo tiempo maximizar la garantía y la resiliencia de un sistema, así como minimizar la vulnerabilidad.

El estudio de la explotación del Sistema Cantareira permitió verificar la importancia de la definición de reglas de operación en el rendimiento de un sistema de recursos hídricos.

AGRADECIMENTOS

Este artículo se ha realizado conjuntamente por el Departamento de Hidráulica y Saneamiento de la Escuela de Ingeniería de São Carlos - EESC/USP y el Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente, de la Universidad Politécnica de Valencia, a través del Programa de Doctorado Sandwich de la alumna de doctorado Luciana Silva Peixoto, con el apoyo financiero del Consejo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico - CNPq de Brasil

BIBLIOGRAFIA

- Andreu, J.; Capilla, J; Sanchis, E. (1996). AQUATOOL, a generalized decision-support system for water-resources planning and operational management. *Journal of Hydrology*, v. 177, n. 4, p. 269-291.
- Hashimoto, Tsuyoshi; Stedinger, Jery R.; Loucks, Daniel P. (1982). Reliability, Resiliency and Vulnerability Criteria for Water Resources System Performance Evaluation. *Water Resources Research*, v. 18, n. 1, p. 14 – 20.
- Nota Técnica Conjunta ANA/DAEE. *Subsídios para a análise do pedido de outorga do Sistema Cantareira e para a definição das condições de operação dos seus reservatórios*. Relatório Final. Julho, 2004.
- PORTARIA DAEE Nº 1213, de 06 de agosto de 2004. (www.comitepcj.sp.gov.br).