

# METODOLOGÍA PARA LA OPERACIÓN ÓPTIMA DE DOS PRESAS HIDROELÉCTRICAS EN CASCADA

Ernesto Vázquez Fernández  
Instituto de Ingeniería, UNAM

## RESUMEN

Se presenta una metodología para la operación óptima de dos presas hidroeléctricas en cascada como un caso general y los resultados particulares obtenidos en las presas Angostura y Malpaso del alto río Grijalva, México. Los antecedentes para la propuesta de las leyes de extracción son los resultados obtenidos con la programación dinámica para dichas presas. La operación de ellas con 31 años de registro es muy aceptable en cuanto a la variación de niveles en el vaso y generación de energía eléctrica.

**Palabras clave:** metodología, operación óptima, presas hidroeléctricas en cascada.

## ABSTRACT

A methodology for the optimal operation in two cascade hydroelectric dams as a general case is presented, as well as the particular findings obtained from the Angostura and the Malpaso dams at the high area of the Grijalva river, Mexico. The background for the proposal for ruling the extraction were the obtained findings by the dynamic programming for the previously mentioned dams. Their operation taking into consideration the records through 31 years is highly acceptable referring to the variation of the reservoir and the generation of electric energy.

**Key words:** methodology, optimal operation, cascade hydroelectric dams.

## INTRODUCCIÓN

La operación óptima de dos presas hidroeléctricas en cascada requiere del análisis conjunto del funcionamiento de los vasos para generar la mayor energía posible, sin excluir una capacidad de control en cada uno de ellos para evitar inundaciones aguas abajo.

Mendoza et al. (1998) mencionan que existen infinidad de técnicas para determinar el control óptimo de un sistema (programación lineal, programación no lineal, planeación adaptable, programación dinámica, ya sea determinística o estocástica, etc.). Ellos eligieron la programación dinámica (PD), la cual define el control óptimo factible basándose en el principio de optimalidad (Bellman, 1957). El análisis realizado por estos autores con un programa en lenguaje FORTRAN para las presas Angostura (Presa 1, alta) y Malpaso (Presa 2, baja), únicas que tienen una capacidad de almacenaje importante, concluye que las extracciones en la presa alta son directamente proporcionales al volumen en el vaso ( $V_1$ ) e inversamente proporcionales al volumen en el vaso de la presa

baja ( $V_2$ ). En cambio, las extracciones en la presa baja son directamente proporcionales a los volúmenes en ambos vasos.

## Propuesta de Leyes de Extracción

De acuerdo con lo anterior, la ley de extracción en la presa alta podría escribirse como

$$(1) \quad E_1 = \frac{V_1^\alpha}{V_2}$$

donde  $E_1$  es la extracción en el mes  $j$  de la presa 1;  $V_1$  es el volumen inicial en el mes  $j$  del vaso en la presa 1;  $V_2$  es el volumen inicial en el mes  $j$  del vaso en la presa 2;  $\alpha$  es un exponente que depende de los ingresos del mes anterior ( $j-1$ ) en ambas presas. La extracción  $E_1$  no debe rebasar el gasto máximo que puede pasar por las turbinas.

Al despejar el exponente de la ecuación 1, se tiene que

$$\alpha = \frac{\log(E_1 V_2)}{\log(V_1)} \quad (2)$$