

“MODELO ESTOCASTICO PARA LA OPERACION DE EMBALSES”

Julio Lindao López¹, José Poveda Castro², César Triviño Espinoza³, Juan Saavedra⁴.

¹ Ingeniero Eléctrico en Potencia 2006.

² Ingeniero Eléctrico en Potencia 2006.

³ Ingeniero Eléctrico en Potencia 2006

⁴ Director de Topico, Ingeniero Electrónico de Potencia, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Postgrado EEUU, Universidad de Missouri-Rolla 1971, Profesor de la ESPOL desde 1971.

RESUMEN

Las técnicas de análisis estadístico multivariable han demostrado ser una poderosa herramienta para el análisis de las operaciones, mediante la caracterización de las relaciones de causalidad e interdependencia entre las variables de proceso, definiendo patrones y medidas que permiten evaluar la calidad de las operaciones, las influencias relativas de los diferentes factores de operación así como alertar en forma temprana acerca de posibles desviaciones.

Este trabajo presenta un modelo que permite determinar la producción firme mensual de los proyectos hidroeléctricos, como también la potencia garantizada de punta y energía firme, la cual es calculada de acuerdo con la probabilidad de excedencia mensual (o garantía), que previamente se define, lo que permite analizar la influencia que tienen los valores de potencia y energía firme con sus respectivas curvas de duración mensual y reserva mínima.

Una central hidráulica deberá calcular cuanta agua necesita turbinar para generarla y actualizar consecuentemente el nivel, los aportes hidrológicos a una central son generalmente descritos por procesos no totalmente explicados y que se modelan como procesos parcialmente aleatorios, como se presentan en el programa PFIRM.

SUMMARY

The techniques of analysis statistical multivariable have demonstrated to be a powerful tool for the analysis of the operations, by means of the characterization of the relationships of causation and interdependence among the process variables, defining patterns and measures that allow to evaluate the quality of the operations, the relative influences of the different operation factors as well as to alert in early form about possible deviations.

This work introduces a model that allows to determine the monthly firm production of the hydroelectric projects, as well as the guaranteed power of tip and firm energy, which is calculated of agreement with the probability of monthly excedencia (or guarantee) that previously is defined, what allows to

analyze the influence that have the values of power and firm energy with its respective curves of monthly duration and minimum reservation.

A hydraulic power station will calculate all water it needs turbine to generate it and to modernize the level consequently, the hydrological contributions to a power station are generally not described by processes completely explained and that they are modelled as partially aleatory processes, like they are presented in the program PFIRM.

INTRODUCCION

La operación de las empresas en la actualidad ha obligado al desarrollo de sistemas operacionales complejos, cuyo análisis requiere métodos de modelado sofisticados. Para esto, las técnicas de investigación de operaciones nos proporcionan métodos apropiados para representar la operación de los sistemas ya sean en forma determinística o probabilística, permitiendo modelarlos con la finalidad de entender, analizar y optimizar sus medidas de desempeño.

Gracias al desarrollo de la computación, el modelado a incorporado procesos probabilísticos que consideran la variabilidad implícita en la naturaleza, empezando así a trabajar con procesos estocásticos.

La metodología propuesta se fundamenta en el análisis estocástico del conjunto de parámetros que definen los puntos críticos de operación del sistema a lo largo del tiempo, en lo que se refiere a escasez y a excesos. Estos parámetros se analizan por medio de modelos de optimización estocástica que definen niveles de los embalses que en términos de valores esperados optimizan la operación del sistema.

El análisis se realiza separadamente para escasez y para exceso, una vez que se ha determinado las regiones críticas para cada caso. Los conceptos que se presentan pueden aplicarse a sistemas de recursos hidráulicos con múltiples propósitos; como la generación de hidroelectricidad, el riego, el abastecimiento de agua potable, y/o a control de contaminación.

Las metas hidrológicas no solo producen los números apropiados para la operación, si no que aumentan el conocimiento del proceso hidrológico que afecta a un sistema de manejo de recursos hídricos.

Para el suministro de la energía eléctrica en un país se debe utilizar los recursos renovables, es decir aprovechar al máximo los recursos hidroeléctricos. El Ecuador por su topografía y el nivel de precipitación anual es un país rico en recursos hidroeléctricos.

Este modelo permite determinar la producción firme mensual de los proyectos Hidroeléctrico de acuerdo a las Regulaciones del MEM. Tanto la potencia garantizada de punta como la energía firme, es calculada de acuerdo con la probabilidad de excedencia mensual (o garantía) que previamente se define. Lo

anterior permite analizar la influencia que tiene el criterio de garantía en los valores de potencia y energía firme. Además de la producción firme el modelo estocástico entrega las curvas de duración mensual y las curvas de reservas mínimas. La curva de reservas mínimas del embalse (o curvas de alerta) corresponde a las cotas mínimas necesarias en los embalses para que pueda ser garantizada la producción firme en los meses futuros.

CAPÍTULO 1

OPERACIÓN DE EMBALSES

El producto que entrega un proyecto de generación de energía hidráulica es energía en un tiempo dado. La energía se expresa en kilovatios-hora y tiene una fórmula matemática que responde a la siguiente expresión:

$$E = K Q H$$

Donde:

K: Incluye el tiempo, la densidad del agua y las dimensiones.

Q: Representa el caudal

H: La altura neta del sistema hidrológico de generación.

El sistema hidrológico de generación puede ser a filo de agua o con embalse (Ver figura 1).

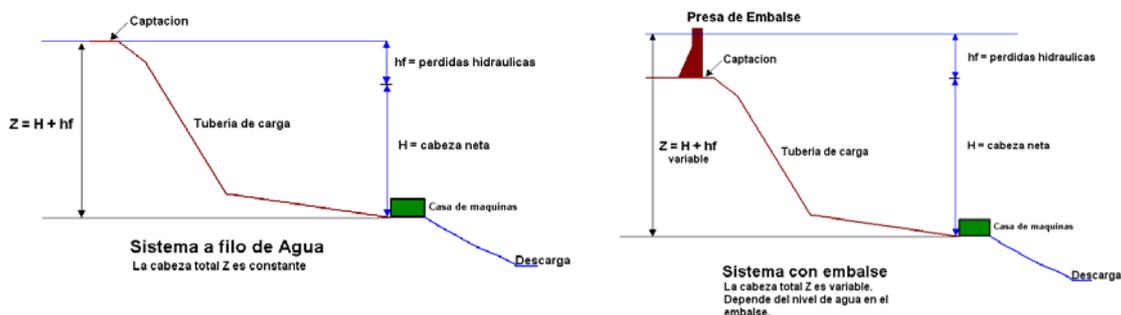


FIGURA 1

En los estudios de operación de embalses se utilizan modelos de simulación los cuales relacionan una serie de componentes y de variables:

1. Componentes: Características físicas de la presa y del vaso del embalse.

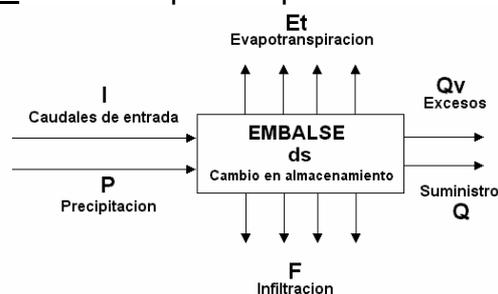
2. Variables:

Variable de Estado: El nivel del agua en el embalse determina el volumen embalsado.

Variables de Entrada: Caudales que llegan al embalse y precipitación sobre el vaso del embalse.

Variables de Salida: Pérdidas por evaporación e infiltración, vertimiento de excesos y entrega al proyecto.

Las variables de



estado, entrada y

BALANCE: $I + P = Et + F + Qv + Q + ds$

salida se pueden tratar todas o algunas de ellas como variables estocásticas (Ver figura 2).

FIGURA 2

El problema de diseño consiste en determinar el volumen de almacenamiento necesario para que el embalse sea capaz de suministrar la demanda con un nivel de probabilidad aceptable.

Por medio de la simulación se utilizan diferentes series hidrológicas generadas estocásticamente y se combinan con diferentes dimensiones del embalse. Esto permite obtener tantos Volúmenes de Almacenamiento probables como opciones se analicen.

Con los resultados obtenidos se hace luego un análisis de probabilidades para determinar los niveles de riesgo de las diferentes soluciones. Estos análisis permiten al diseñador tener un buen criterio para tomar la decisión sobre el dimensionamiento de las obras y la operación futura del embalse.

CAPÍTULO 2

FORMULACION DEL MODELO ESTOCASTICO

La hidrología estocástica aplica la teoría de los procesos estocásticos, que son parte de la ingeniería de sistemas, al estudio de los eventos hidrológicos.

Los eventos hidrológicos, tales como aguaceros, caudales, niveles de embalse, etc., son eventos estocásticos. Se caracterizan porque, de un lado tienen un patrón medio de comportamiento a largo plazo, y por el otro el pronóstico de sus magnitudes en un momento dado tiene un mayor o menor grado de incertidumbre. El patrón medio corresponde a lo que se denomina la tendencia general o componente determinístico y la incertidumbre constituye la componente aleatoria del evento.

Los proyectos que se diseñan hoy serán construidos y operarán en los próximos años. Por esta razón, cuando los estudios hidrológicos definen unos caudales de diseño para abastecer un acueducto, o para proteger una zona contra las inundaciones debe tenerse en cuenta que tanto la ocurrencia como las magnitudes de esos caudales son pronósticos hacia el futuro de eventos probables que están sujetos a un grado de incertidumbre.

CAUDAL REAL = CAUDAL CALCULADO +/- INCERTIDUMBRE

La proyección hacia el futuro se basa en la combinación de la estadística y la teoría de la probabilidad. Con la estadística se realiza el análisis de frecuencias de los eventos históricos y se definen los parámetros que determinan el patrón general de comportamiento. Con estos parámetros y con la aplicación de la teoría de la probabilidad se hace el pronóstico de lo que puede esperarse en el futuro, dentro de cierto nivel de riesgo.

Según las variables, en primer lugar los modelos pueden ser determinísticos o estocásticos (Ver figura 3).

El primero no considera variables aleatorias, es decir una entrada produce siempre una misma salida. La respuesta en cualquier momento a una determinada actividad se repite invariablemente cuantas veces se repite la actividad. El estado futuro del sistema queda totalmente determinado de acuerdo al estado actual y a las futuras entradas o estímulos.

Por el contrario un modelo estocástico tiene salidas que son aleatorias, por lo tanto la respuesta del sistema es diferente para el mismo modelo.



FIGURA 3

CAPÍTULO 3

PROGRAMA PARA LA OPERACIÓN DE EMBALSES

Los estudios de funcionamiento de los reservorios generalmente tienen que ser basados en las series del flujo sintéticas por los siguientes motivos:

Las series de los afluentes naturales son muy cortas, por lo que es necesario analizar todos los posibles casos de sucesiones de hidrología y particularmente la de los períodos extremadamente secos y húmedos.

De manera general el período cubierto por las series naturales no es el mismo para las diferentes zonas y mucha de la información se pierde cuando se generalizan los análisis.

Algunos datos de hidrología, especialmente relacionado a los proyectos futuros, no se han estudiado con precisión y por el momento no es

suficientemente fiable reflejar las correlaciones del clima adecuadamente para cada región.

Por estos motivos se usan los modelos estocásticos de autoregresión multivariable para generar las series de flujo sintéticas para las represas y plantas hidroeléctricas, cubriendo de esta manera todas las regiones por un período de 100 o más años.

CAPÍTULO 4

DATOS DE ENTRADA DEL MODELO DE OPERACIÓN ESTOCÁSTICA

Número de años hidrológicos (serie caudales naturales o sintéticos).- Estamos tomando como base la información recopilada por el CONELEC. En el caso de Daule-Peripa tenemos una serie mensual de 50 años.

Número de sitios (embalses, derivaciones y centrales hidroeléctricas).- Para nuestro estudio hemos seleccionado los siguientes 20 sitios:

Molino SIN Mazar.

Agoyan.

Pisayambo.

Daule SIN PH Baba.

Guango-Cumba-Nayon.

Los Chillos-Pasochoa

Saymirin-Saucay

Río Blanco-Alao.

Illuchi.

El Ambi.

SM de Car.

La Playa.

La Península.

Chimbo.

San Ramón.

San Francisco.

Paute Mazar

Proyecto Baba.

Molino CON PH Mazar.

Daule CON PH Baba.

Garantía anual potencia firme de punta.- La Potencia firme se la calcula a partir de la energía firme anual.

Garantía anual energía firme.- A pesar que actualmente rige una regulación que define la energía firme como la producción efectiva de una planta hidráulica que en función de los caudales mensuales aportados, asegure una probabilidad de ocurrencia del 90% anual, estimamos que debemos utilizar la reforma aprobada a dicha regulación en la que se establece el cálculo de la energía firme mensual como aquella con una probabilidad de excedencia del 90% en ese mes.

Garantía mensual potencia firme de punta.- La Potencia firme se la calcula a partir de la energía firme mensual.

Garantía mensual energía firme .- De acuerdo a la metodología establecida por le CONELEC, la energía firme mensual se considera como aquella energía a generarse con una probabilidad de excedencia del 90%.

Déficit admisible para contabilización de fallas.- Siendo la probabilidad de excedencia del 90%, una falla mensual representa 1/12 y la confiabilidad en el suministro mensual para N fallas será $1-1/(12N)$. El déficit admisible dependerá del criterio adoptarse.

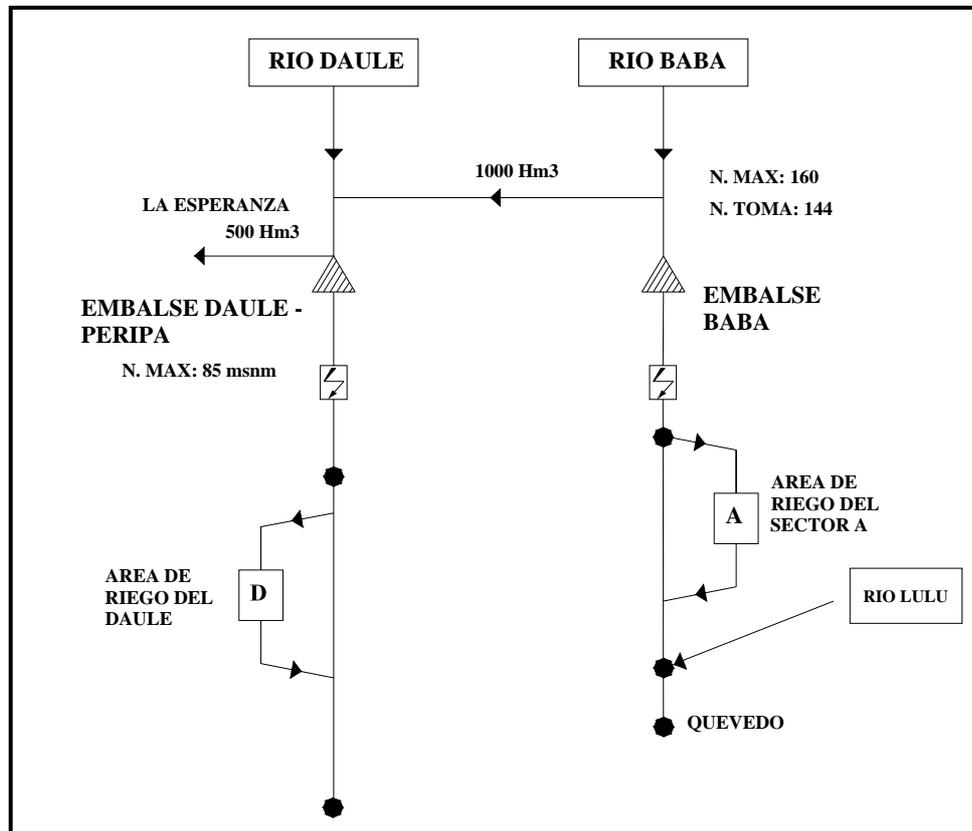


FIGURA 4: DIAGRAMA DEL TRASVASE

CAPÍTULO 5

APLICACION Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.

En este capítulo se procede a presentar los resultados del programa PFIRM a través de la pantalla o bien sea impreso, dichos resultados se los obtiene por medio de un menu desplegable donde el usuario puede elegir que resultados desea ver (Ver figura 5).

Estos resultados muestran el caudal firme mensual, la producción firme mensual, la capacidad firme mensual para cada planta de generación hidroeléctrica, la descarga turbinada para 100 años, la descarga de vertedero para 100 años, el mínimo nivel del reservorio para 100 años calculados, la energía generada mensualmente y la producción pico de las estaciones de

potencia hidráulica para los años hidrológicos de las series sintéticas y los resultados de las hidrocondiciones

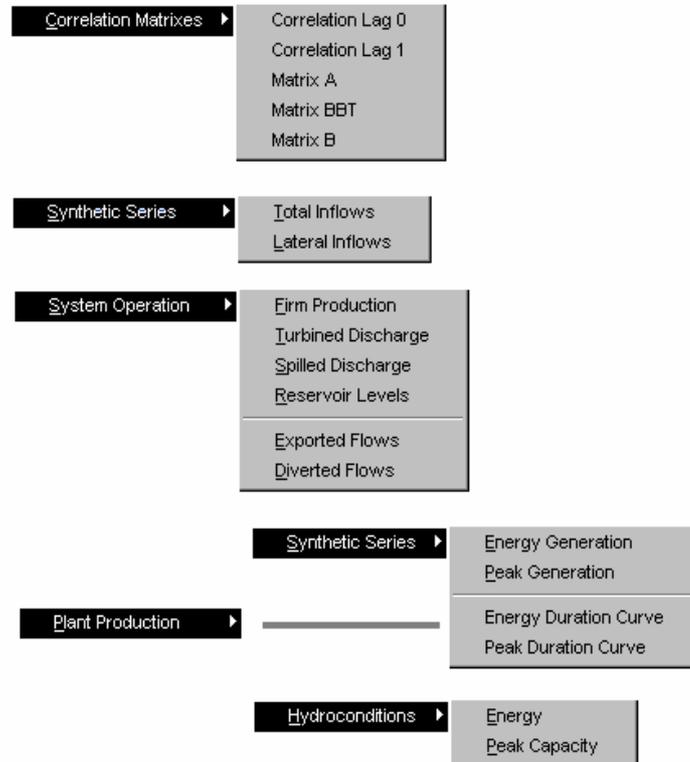


FIGURA 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De acuerdo al trabajo realizado en este proyecto se puede concluir lo siguiente:

- La simulación estocástica es un poderoso método, fácilmente aplicable y extremadamente flexible. Su principal ventaja es la habilidad para resolver problemas complejos, describiéndolos exactamente, sin restricciones, sin embargo, es un procedimiento aproximado y la exactitud de estos resultados dependen del tamaño de la muestra.
- Adicionalmente es un procedimiento lento, como la estimación del error disminuye inversamente proporcional a la raíz cuadrada del tamaño de la simulación, esto quiere decir que para la mitad de un error necesitamos cuatro veces mas grande al tamaño de la simulación.

En estos días esto no es un mayor problema por el progreso de la tecnología computacional. Los siguientes puntos deberán ser considerados de importancia si recurrimos a la simulación estocástica:

- Los registros hidrológicos simulados sintéticamente no pueden ser reemplazados por los registros históricos.
- La simulación estocástica se transforma en un poderoso método numérico cuando un sistema complejo va a ser estudiado, y los métodos analíticos no son aplicables, resultan muy difíciles o requieren de muchas asunciones para la simulación.
- Los problemas que puedan ser resueltos analíticamente, la simulación estocástica no es el método aconsejable o preferido.
- El programa PFIRM es un “software” de fácil acceso y manejo, que permite simular en forma sencilla y clara la operación del nivel del embalse de la Central Hidroeléctrica Daule Peripa. Incluye interfaces gráficas del ambiente de Windows, y cuyos resultados se ilustran con aproximaciones porcentuales. Al acceder al programa el usuario tendrá la opción de combinar los diferentes escenarios, hidrológicos y energéticos reflejados en los resultados, constituyendo una herramienta importante en la toma de decisiones.
- Los resultados se presentan tanto en forma mensual y totales anuales, siendo los más importantes los referentes a la determinación de la energía firme y potencia garantizada de los embalses del sistema de acuerdo a las regulaciones del MEM, los mismos que bosquejados gráficamente, representan una gran ayuda para la comprensión y análisis de los resultados obtenidos. La facilidad de almacenamiento de datos reales en un registro histórico, permite al usuario contar con información precisa de escenarios similares para futuras simulaciones.

Como recomendación se sugiere que se utilice, dentro de los parámetros de la cota de restitución y consignas, valores típicos de la operación del embalse para evitar obtener resultados fuera de la realidad. Dentro de la consigna de nivel se deberá tener muy en cuenta el nivel inicial del embalse y el mes de inicio de la proyección que pudieran provocar incoherencias en los resultados.

REFERENCIAS

- a) Novak P., Estructuras hidráulicas (Segunda Edición, México S.A, Mc. Graw-Hill, 2001)
- b) D. Koutsoyiannis, Stochastic Simulation of Hydrosystems, Department of Water Resources, Faculty of Civil Engineering, National Technical University, Athens, 2002.
- c) Rodrigo Fuster, Cátedra de hidrología, Universidad de Chile, Facultad de ciencias agronómicas, 2004.
- d) UNESCO, Concepts in Probability, Statistics and Stochastic Modeling, 2005.