

## **MODELO DE OPERACIÓN DE EMBALSES – PFIRM**

José Armijos Pazmiño<sup>1</sup>, Luis Cárdenas Saenz<sup>2</sup>, Diana Cortez Valdiviezo<sup>3</sup>, Juan Saavedra Mera<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Ingeniero Eléctrico en Potencia 2006

<sup>2</sup>Ingeniero Eléctrico en Potencia 2006

<sup>3</sup>Ingeniero Eléctrico en Potencia 2006

<sup>4</sup>Director de Tópico. Ingeniero Electrónico de Potencia, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 1985, Postgrado EEUU, Universidad Missouri-Rolla, 1971. Profesor de ESPOL desde 1971.

### **RESUMEN**

La carencia de energía eléctrica en el Ecuador a llevado al país a invertir en diferentes estudios para mejorar la confiabilidad del Sistema Eléctrico Ecuatoriano. Una de las soluciones a este problema es la implementación de los estudios de generación hidroeléctrica en la cuenca del Río Guayas, razón por la cual se ha desarrollado la investigación del modelo de operación de embalses PFIRM, logrando de esta manera pronosticar mediante caudales históricos, las afluencias futuras a los embalses y determinar las producciones energéticas de los proyectos hidroeléctricos del Sistema, garantizando su viabilidad.

El presente estudio ha sido desarrollado en base a la simulación del Proyecto Multipropósito Baba y su aportación al Proyecto Multipropósito Daule Peripa, en el modelo de operación de embalses PFIRM.

Para la aplicación del Modelo Operacional PFIRM se requiere de 3 etapas de Diseño de las Centrales: Diseño de Base de Datos, Datos Generales y Afluencias.

El Modelo de Operación de Embalses PFIRM, analiza las series de datos históricos de las afluencias y aplica el modelo estocástico para realizar la predicción de producciones energéticas confiables.

## **INTRODUCCION**

Desde siempre, el agua ha representado uno de los recursos primordiales para el ser humano, durante su proceso evolutivo, el hombre observó que el agua no era solo un recurso de subsistencia, sino que también era una fuente potencial energética. En la actualidad los avances tecnológicos nos permiten explotar los recursos hídricos eficientemente.

El Ecuador es un país rico en recursos hidráulicos, pero lamentablemente la explotación de estos recursos ha sido realizada en zonas de la Sierra, por lo que al existir deficiencia de lluvias (estiaje) en esta zona, el país ingresa en un caos energético, por lo tanto existirá una dependencia de otros recursos eléctricos como lo es la generación térmica y las interconexiones (Colombia y Perú), las cuales

encarecen el costo de producción energética, debido a los elevados costos de operación de dichas centrales y por ende el costo marginal de fijación de precios.

Con la finalidad de solucionar este déficit energético, el país invirtió en múltiples estudios hídricos en la cuenca del Guayas. El desarrollo y aprovechamiento de los recursos hídricos de una región requiere la recopilación y el análisis de eventos hidrológicos históricos, para obtener así una proyección estocástica de su comportamiento. Es por ello que se han desarrollado los Modelos de Operación de Embalses.

Para realizar las proyecciones de la operación de los embalses y los estudios de los eventos hidrológicos, la ingeniería de sistemas, aplicando métodos estadísticos y la teoría de la probabilidad, ha desarrollado un software específico para el manejo de los recursos hidroeléctricos. Es por esto que los eventos hidrológicos, tales como riego, caudales, precipitaciones y niveles de embalse, que son variables naturales, se consideran como eventos estocásticos. Los eventos estocásticos se caracterizan porque tienen patrones de comportamiento a largo plazo y el pronóstico de sus magnitudes está dado por rangos de incertidumbre, lo que nos permite obtener una mejor proyección de los eventos futuros.

Los modelos de simulación permiten analizar diferentes situaciones para obtener un panorama amplio de posibles resultados de un problema. Aquí se incluyen los modelos de operación de embalses. Uno de estos modelos de simulación de operación

de embalses es el Modelo PFIRM. Este modelo agrupa los caudales históricos y por medio de series de tiempo pronostica los niveles de caudales para un periodo de hasta 200 años, ofreciendo así la oportunidad de garantizar la viabilidad del proyecto. El modelo PFIRM requiere de datos generales de operación del proyecto y del sistema hídrico en el que se encuentra, de esta forma el modelo es capaz de simular la operación del embalse, dentro del sistema en el que lo situamos.

## **CONTENIDO**

Para determinar las producciones energéticas de los proyectos multipropósitos Baba y Daule Peripa, se utilizó el modelo PFIRM, en etapas mensuales, utilizando 20 escenarios hidrológicos e ingresando datos de diseño generales para cada una de las centrales, así como la planificación mensual de operación de la planta, para determinar la operación del embalse. El programa PFIRM resuelve el problema de despacho energético para diferentes probabilidades de excedencia, mediante los datos ingresados de distribución de energía, porcentaje de salidas planeadas y forzadas, y el análisis de los caudales históricos que permiten observar el comportamiento de los afluentes.

El estudio realizado propone la ubicación de la Central Baba en el trasvase, funcionando bajo las condiciones de operación de una “Central de pasada”, propiciando una doble turbinación por medio del trasvase desde la Central Baba

hacia la Central Marcel Laniado; logrando incrementar la producción energética de la misma, además de aprovechar el incremento del salto hidráulico.

Los niveles de confianza de cada simulación se encuentran con una banda de seguridad del 90%, con el cual se determinan las producciones firmes.

Los incrementos de energía y potencia, se resumen detalladamente en los siguientes cuadros obtenidos del análisis realizado de la serie sintética de resultados de generación de energía y potencia del PFIRM.

En la primera columna se describe mes simulado por la serie sintética, la segunda columna muestra la energía con una probabilidad del 50% de ocurrencia debido a la definición de Energía media de Daule Peripa; la tercera columna también muestra la probabilidad al 50% de la serie de energías pero a esto se suma el incremento de energía debido al apoyo de la Central Baba. La cuarta columna muestra el incremento de energía alcanzado.

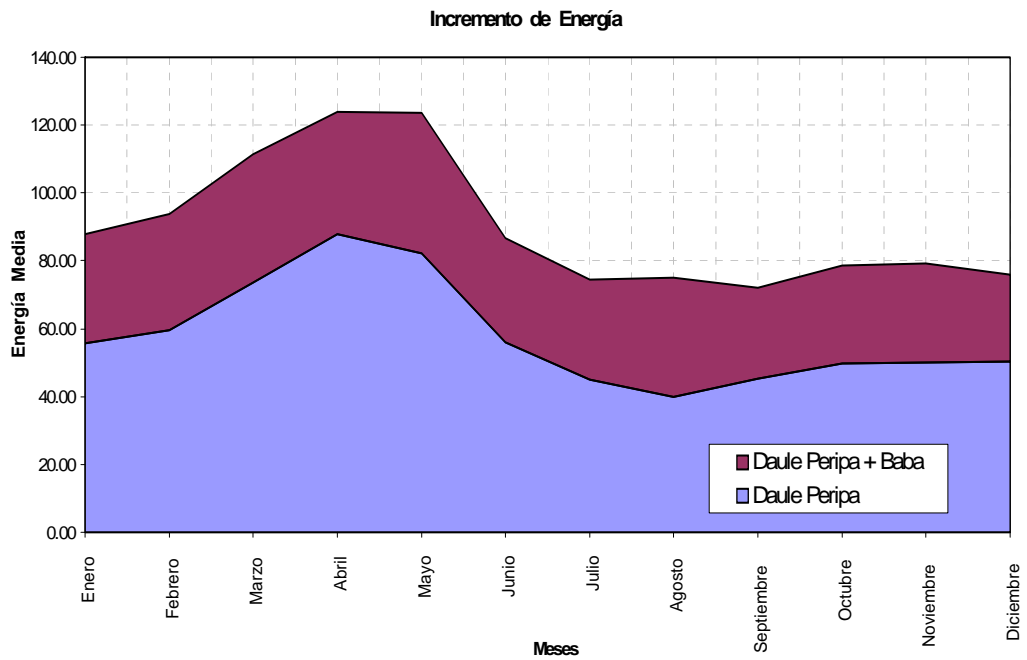
**Tabla 1**  
**Incremento de Energía Media Mensual**

<b>Incremento de Energía Media (GWh)</b>			
<b>Mes</b>	<b>Daule</b>	<b>Daule con Baba</b>	<b>Incremento</b>
<b>Enero</b>	55.70	87.88	32.18
<b>Febrero</b>	59.66	93.87	34.21
<b>Marzo</b>	73.64	111.51	37.87
<b>Abril</b>	87.99	124.02	36.03
<b>Mayo</b>	82.08	123.58	41.50
<b>Junio</b>	55.86	86.56	30.70
<b>Julio</b>	44.96	74.46	29.50
<b>Agosto</b>	39.94	75.04	35.10
<b>Septiembre</b>	45.22	71.97	26.75
<b>Octubre</b>	49.74	78.53	28.79
<b>Noviembre</b>	50.19	79.36	29.17
<b>Diciembre</b>	50.37	75.98	25.61
<b>Totales</b>	695.35	1082.76	387.41

Fuente: Investigación Propia

Una mejor manera para describir el cuadro anterior es la Figura 1 la cual muestra mes a mes la diferencia de energía que produce Daule Peripa sólo y el incremento considerable cuando existe el trasvase de Baba.

**Figura 1**



Fuente: Investigación Propia

Como se había descrito anteriormente el propósito del estudio era determinar cuanto podía aportar la Central Hidroeléctrica Baba por medio de un trasvase a la Central Marcel Laniado. Del cuadro se observa que la producción de energía media en Baba es 196,34 Gwh, y que la producción de Marcel Laniado independiente de Baba es 695,35 GWh.

Posteriormente, al realizar una simulación entre las dos centrales trabajando en forma conjunta el incremento de Daule Peripa debido al trasvase más el salto hidráulico fue de 1082,76 Gwh. En conclusión, el aporte debido al trasvase de Baba en Marcel

Laniado fue de 387,41Gwh, la producción energética total de dichas centrales se las puede apreciar en el siguiente cuadro:

**Tabla 2**  
**Resumen de Resultados Generación de Energía Media**

<b>Generación del Sistema Marcel Laniado de Wind &amp; Baba</b>		
<b>Energía Disponible</b>		
<b>Decripción del Sistema</b>	<b>Energía Media (GWh)</b>	<b>Incremento Energético (GWh)</b>
Central Marcel Laniado de Wind	695.35	
Central Marcel Laniado de Wind con Baba (Incluye trasvase y Salto Hidraulico)	1082.76	387.41
Central Baba	196.34	196.34
<b>Total</b>	<b>1279.1</b>	<b>583.75</b>

Fuente: Investigación Propia

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Para realizar un análisis de cualquier tipo de serie de tiempo se utilizan Procesos Estocásticos, que no son más que la manera de interpretar matemáticamente a dicha serie y que sirven para modelar de la manera más adecuada a la serie temporal de datos observados.
- Las serie histórica de caudales de Baba fue modelada como un proceso estacionario debido a que después de realizar el análisis de tendencia de dicha



serie, mostró como resultado una tendencia constante que se aproxima a cero; razón suficiente que indica que la media permanece invariable a lo largo del tiempo.

- La simulación de la producción de la Central Hidroeléctrica Baba da como resultado una energía firme de 152.42 Gwh anuales, con un intervalo de confianza del 90% de probabilidad de ocurrencia y una energía media de 196.34 Gwh, las cuales cumplen las mínimas reglas de operación exigidas por el Cenace; con un caudal de diseño de 171 m<sup>3</sup>/seg, una altura neta de 27.5 m y un nivel de embalse entre las cotas 113 min y 116 máx.
- La simulación de la producción energética de la Central Marcel Laniado da como resultado una energía firme de 431.00 Gwh anuales, con un intervalo de confianza del 90% de probabilidad de ocurrencia y una energía media de 695.35 Gwh, las cuales cumplen las mínimas reglas de operación exigidas por el Cenace; con un nivel de embalse entre las cotas 70 mín y 85 máx y con un caudal de diseño de 408 m<sup>3</sup>/seg.
- La producción total de energía entre las dos centrales en estudio, aprovechando el trasvase y el salto hidráulico aportado por la Central Hidroeléctrica Baba hacia Daule es de aproximadamente 1279.10 GWh.

- En el estudio del incremento del salto hidráulico, por medio del promedio de las diferencias de niveles finales del reservorio, se obtuvo una variación promedio de 2.23 m, lo que representa 434.49 Hm<sup>3</sup> de volumen adicional, y por lo tanto un incremento de energía por salto hidráulico de 63.36 GWh.
- Se recomienda que el programa PFIRM tenga la opción de utilizar más de un *export*, lo cual permita modelar bajo condiciones más cercanas a la realidad los diferentes escenarios que se presentan en un sistema hidrológico.
- Se recomienda integrar la compatibilidad entre el PFIRM y el MS Excel con la finalidad de proporcionar agilidad en el manejo y manipulación de datos para facilidad del usuario.

## **BIBLIOGRAFIA**

1. George P. Box, Gwilyn Jenkins, and Gregory Reinsel, Time Series Analysis, Prentice Hall 1994.
2. Gustavo A. Silva Medina, julio 2003, Hidrológica Estocástica, <http://www.geocities.com/gsilvam/hidrologia.html>
3. Juan Carlos Olmedo, noviembre 2001, Modelo GOL, [http://usuarios.lycos.es/turco777/centrales1/60\\_GOL\\_JCOlmedo.pdf](http://usuarios.lycos.es/turco777/centrales1/60_GOL_JCOlmedo.pdf)

## **MODELO DE OPERACIÓN DE EMBALSES – PFIRM**

José Armijos Pazmiño<sup>1</sup>, Luis Cárdenas Saenz<sup>2</sup>, Diana Cortez Valdiviezo<sup>3</sup>, Juan Saavedra Mera<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Ingeniero Eléctrico en Potencia 2006

<sup>2</sup>Ingeniero Eléctrico en Potencia 2006

<sup>3</sup>Ingeniero Eléctrico en Potencia 2006

<sup>4</sup>Director de Tópico. Ingeniero Electrónico de Potencia, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 1985, Postgrado EEUU, Universidad Missouri-Rolla, 1971. Professor of ESPOL since 1971.

### **SUMMARY**

The electrical energy deficiency in Ecuador has required necessity to invest in different studies to improve the trustworthiness of the Ecuadorian Electrical System. One solutions to this problem is the implementation of the hydroelectric generation studies in the basin of the Guayas River, that's the reason it has been developed the investigation of the dams operation model PFIRM, obtaining this way to foretell by means of historical volumes, affluence to the dams and to determine the power productions of the system hydroelectric projects, guaranteeing its viability.

The present study has been developed basing on the simulation of the Multipurpose Project Baba and its contribution to the Multipurpose Project Daule Peripa, on the dams operation model PFIRM.

For the application of Operational Model PFIRM it is required of 3 stages of Power Stations Design: Design of General performance, Data base and Affluence.

The Dams Operation Model PFIRM analyzes the series of historical data of the affluence and applies the stochastic model to make the prediction of reliable power productions.