



Análisis del Programa de Mantenimiento de Unidades Generadoras considerando la disponibilidad hidroenergética

Ariel David Cabo Devila Medina¹, Vanessa Eliane Ortiz Román¹, Anastacio Sebastián Arce Encina², Rodrigo José García Ramírez².

(1) Universidad Católica Nuestra Señora de la Asunción

(2) Itaipu Binacional

Hernandarias, Paraguay

RESUMEN

El principal objetivo de una central de generación eléctrica es atender la demanda de energía garantizando el suministro de forma continua y confiable.

Los compromisos contractuales inducen a contar con la mayor cantidad posible de unidades generadoras, de modo que habiendo una falla en alguna de ellas, las demás puedan minimizar las consecuencias de esta falla. Para lograr esto es importante definir un programa de servicios de mantenimiento preventivo que asegure el correcto funcionamiento de los equipos, asegurando su vida útil y minimizando las fallas.

Entonces se puede decir que por un lado el área de operación busca maximizar la producción energética, y el área de mantenimiento busca el cumplimiento del programa de mantenimiento.

Estos intereses contra puestos exigen un compromiso que asegure el cumplimiento de los servicios de mantenimiento de las unidades generadoras y al mismo tiempo la garantía del atendimento de los compromisos contractuales en los escenarios más probables de disponibilidad del recurso hídrico.

En este trabajo se analizan los efectos en la producción energética de la Central Hidroeléctrica de Itaipu con la adopción de distintos programas de mantenimiento de unidades generadoras buscando encontrar el mejor aprovechamiento de la disponibilidad del recurso hídrico y cumplir los compromisos de desconexiones programadas de las unidades generadoras para mantenimiento.

El análisis se realiza en los diferentes escenarios que resultan de la combinación de diferentes series de caudales afluentes y programa de mantenimiento de unidades generadoras.

Para ello fue desarrollado un algoritmo de simulación para cuantificar la disponibilidad energética de Itaipu maximizando su producción energética, en principio esto se conseguirá aumentando la producción en los meses húmedos colocando la mayor cantidad de unidades generadoras en operación y postergando los servicios de mantenimiento de las mismas para los meses más secos..

Con los resultados se espera obtener índices de desempeño de producción que ayuden a definir estrategias de operación y mantenimiento orientadas a la maximización de la producción.

PALABRAS CLAVES

Unidades Generadoras. Mantenimiento. Programa de paradas para Mantenimiento. Central Hidroeléctrica.



1. MARCO DEL PROBLEMA

Para lograr definir los distintos periodos hidrológicos y el impacto de estos en la operación de la Central Hidroeléctrica de Itaipu, este trabajo analiza la operación hidroenergética de la central simulando durante todo el registro histórico de caudales afluentes.

Los resultados de esta simulación nos ayudan a identificar los meses más factibles para la producción de energía y el número de unidades generadoras necesarias para suministrar esta energía.

De esta manera y en función a lo expuesto anteriormente podemos definir una política de operación energética para la Central Hidroeléctrica de Itaipu.

1.2 Análisis de la Operación Hidroenergética.

El análisis fué realizado con la ayuda de un algoritmo de simulación desarrollado con todas las características físicas y operativas de la Central Hidroeléctrica de Itaipu.

El algoritmo, permite el ingreso de los datos de afluencias de aguas arriba y de aguas abajo, para así realizar la simulación de la operación de la Central.

El simulador define como el caudal turbinado al promedio del caudal afluente diario de los próximos 5 días.

La **Figura 1** muestra el diagrama de bloque del simulador de la operación hidroenergética, que busca atender las restricciones operacionales como el nivel del embalse y el caudal turbinado máximo de tal forma que opere dentro de los límites correspondientes.

Fue simulado la operación tomando como referencia el histórico de caudales afluentes de la Central Hidroeléctrica de Itaipu con el objetivo de evaluar todas las condiciones hidrológicas ya sucedidas y verificar así la influencia del comportamiento aleatorio y estacional del recurso hidrológico sobre la generación de energía.

X SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
19, 20 y 21 de Setiembre de 2012

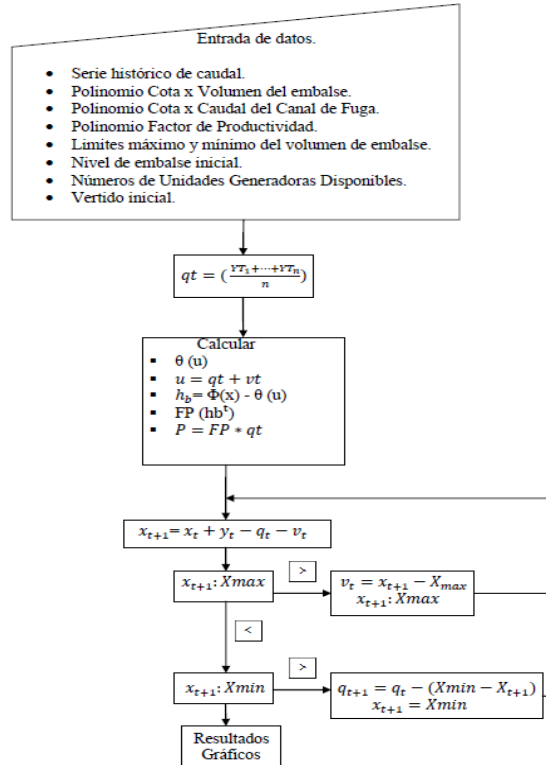


Figura1: Diagrama de Bloque para la simulación de la operación hidroenergética

Con los resultados de la simulación fueron realizados análisis de frecuencias empleando las curvas de permanencia de la energía generada para cada uno de los meses del registro histórico.

En la **Figura 2**, se puede observar la curva de permanencia de la generación media diaria de los diferentes meses. Se verifica que el comportamiento de la generación sufre una disminución en los meses secos, de junio a noviembre.

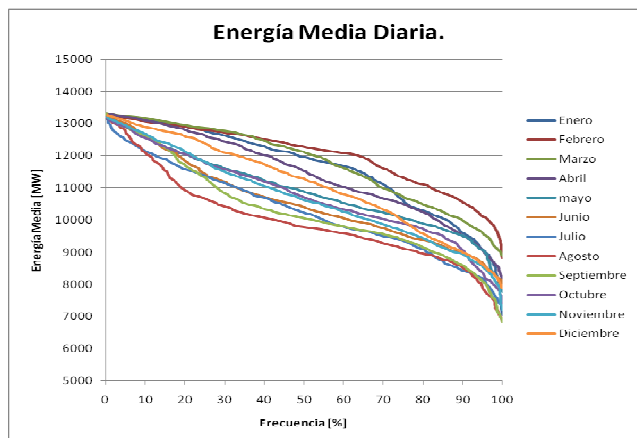


Figura 2: Curva de permanencia de la potencia media diaria.

X SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
19, 20 y 21 de Setiembre de 2012

De acuerdo a la **Figura 2**, el valor porcentual representa el porcentaje de tiempo que puede ser generado una determinada potencia para todos los escenarios analizados, esto es, al mayor porcentaje indica una mayor posibilidad de generar esa energía. La energía asegurada es definida como la energía que puede ser generada durante el 95% del tiempo del registro histórico de caudales.

En la **Tabla I** se muestran los valores resultantes de la energía media diaria de la curva de permanencia para el 95% de la frecuencia, también se presenta el valor de la potencia promedio disponible por unidad generadora y es calculado el número mínimo de unidades generadoras necesarias para atender esa generación. Estos valores son resultados de la simulación con un programa de mantenimiento genérico con 18 unidades en operación.

	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.
Energía Diaria.	9.094	10.122	9.582	9.072	9.064	8.661	8.207	7.941	8.095	8.343	8.566	8.612
Potencia por UG.	651	629	667	669	664	684	692	713	700	670	692	674
Mínimo Nro. UG	14	16	15	14	14	13	12	12	12	13	13	13

Tabla I- Resultados del 95% de la Curva de Permanencia.

1.3 Análisis del Programa de Mantenimiento.

El planeamiento de paradas de las unidades generadoras es una tarea compleja, debido a las diversidades de condiciones impuestas. Con base al planeamiento son programados los servicios de mantenimiento preventivo.

Para el desarrollo de un programa de mantenimiento de unidades generadoras se ha desarrollado un algoritmo que realiza el programa de parada de unidades generadoras seleccionando automáticamente a las unidades que deben ser desconectadas conforme a las prioridades de parada.

Para realizar esto, el algoritmo cumple con los siguientes criterios:

- Verificar el penúltimo y último mantenimiento realizado en cada unidad identificando el tipo del próximo mantenimiento a ser realizado, si este es anual, bianual o cuadrienal.
- Priorizar las ejecuciones de los mantenimientos periódicos en el plazo previsto máximo 18 meses, teniendo en cuenta su intervalo e índice de prioridad.
- Distribuir las paradas de las unidades generadoras al largo del tiempo, de forma a evitar las sobrecargas de trabajo.

X SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
19, 20 y 21 de Setiembre de 2012

- Los servicios de mantenimiento son realizados conforme el siguiente ciclo: anual-bianual-anual-cuadrienal.
- Los tiempos de paradas de las unidades generadoras para mantenimiento están definidos de la siguiente manera: mantenimiento anual, 9 días, mantenimiento bianual, 11 días y mantenimiento cuadrienal, 13 días.

2. ESTUDIOS DE CASOS.

Fueron generados varios programas de parada de unidades para mantenimiento con el objetivo de simular y verificar el impacto de estos programas en la generación de la Central Hidroeléctrica de Itaipu y así poder evaluar las ventajas y/o beneficios existentes en la elaboración de algún tipo particular de programa de parada de unidades generadoras.

A seguir será presentado un resumen de cada caso analizado:

Caso 1, Caso 2 y Caso 3: cronogramas típicos de paradas de mantenimiento de unidades generadoras, operando con 18 unidades generadoras en todo el periodo, permitiendo 1 unidad generadora parada para mantenimiento cuadrienal, bianual o anual y 1 unidad generadora parada disponible para cualquier eventualidad.

Caso 4: cronograma atípico de paradas de mantenimiento de unidades generadoras, operando con 18 unidades generadoras en todo el periodo, suponiendo una condición extrema donde todas las unidades generadoras paradas para mantenimiento son del tipo cuadrienal (13días) y 1 unidad generadora se encuentra parada disponible para cualquier eventualidad.

Caso 5 y Caso 6: cronogramas atípicos de paradas para mantenimiento de unidades generadoras, donde se evitó para unidades para mantenimiento en los periodos húmedos y se concentraron las paradas en los periodos secos, la central operó en los periodos húmedos con 18 unidades generadoras y en los periodos secos con 17 y 16 unidades generadoras.

Caso 7, Caso 8 y Caso 9: en estos casos las simulaciones se realizaron con distintos escenarios de afluencia, cronogramas típicos de paradas de mantenimiento de unidades generadoras, operando con 18 unidades generadoras en todo el periodo.

Caso 10: en este caso la simulación se realizó operando la central con 19 unidades generadoras en todo el periodo, lo que arrojó un resultado bastante favorable para el aprovechamiento de los altos valores de caudales afluentes del periodo húmedo.

X SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
19, 20 y 21 de Setiembre de 2012

3. RESULTADOS.

A través de los resultados obtenidos de la simulación de diferentes escenarios hidrológicos y programas de mantenimiento de unidades generadoras se definen estrategias que busquen maximizar la producción energética y asegurar el cumplimiento del programa de parada de unidades generadoras para mantenimiento.

El análisis de los escenarios de mantenimientos servirá de ayuda en la toma de decisiones para la realización de los cronogramas de las paradas para mantenimiento, observando el periodo más conveniente para la desconexión de las unidades generadoras.

En la **Tabla II** se puede apreciar un resumen de los casos estudiados, donde se muestra que la Central Hidroeléctrica de Itaipu no sufre grandes alteraciones en la generación operando con menor cantidad de unidades generadoras en los meses secos que abarca de mayo a noviembre.

Tabla II- Resultados obtenidos de los diferentes programas de mantenimiento.

Casos	ENERGÍA MEDIA DIARIA [MWmed]												Total Año MWh
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
1	12.559	12.433	12.400	12.395	10.694	9.677	9.179	8.714	8.985	10.025	9.889	11.024	93.333.781
2	12.559	12.433	12.400	12.395	10.694	9.677	9.179	8.714	8.985	10.025	9.889	11.024	93.333.781
3	12.559	12.433	12.400	12.395	10.694	9.677	9.179	8.714	8.985	10.025	9.889	11.024	93.333.781
4	12.559	12.433	12.400	12.395	10.694	9.677	9.179	8.714	8.985	10.025	9.889	11.024	93.333.781
5	12.559	12.433	12.302	12.395	10.694	9.677	9.179	8.714	8.985	10.025	9.889	11.024	93.261.431
6	12.559	12.433	12.400	11.985	10.691	9.677	9.179	8.714	8.985	10.025	9.889	10.024	93.036.312
7	11.852	12.155	12.948	12.492	11.571	10.561	10.592	10.051	10.275	11.484	11.166	12.487	100.457.499
8	11.981	12.259	11.645	11.569	10.676	9.667	9.157	8.700	8.972	10.015	9.873	10.929	94.032.390
9	12.110	12.364	10.342	10.647	9.781	8.774	7.722	7.349	7.669	8.546	8.579	9.371	82.513.394
10	12.550	12.746	12.389	12.631	11.131	11.426	11.596	12.074	10.537	11.862	12.270	11.611	105.813.739

En este análisis comparativo de los escenarios contemplados podemos corroborar que la generación es fuertemente dependiente del recurso hídrico y aún con los cronogramas de mantenimiento atípicos como los analizados se pueden cumplir con las paradas para mantenimiento de todas las unidades generadoras, como fue mostrado en el caso 4, donde todas las paradas son servicios de mantenimiento preventivo cuadrienal.



4. CONCLUSIÓN

Este trabajo tuvo como objetivo analizar el programa de parada para mantenimiento de las unidades generadoras considerando la disponibilidad del recurso hídrico.

Para el análisis del programa de mantenimiento de las unidades generadoras, se presenta un programa de simulación con discretización diaria, que fue desarrollado para calcular la generación hidroenergética de la central hidroeléctrica de Itaipu operando como central de acumulación y evaluar los diferentes programas de mantenimientos de las unidades generadoras desde el punto vista del recurso hídrico disponible.

El simulador incluye el modelo de la central hidroeléctrica de Itaipu y todas las variables que influyen en ella.

A través del simulador elaborado y analizando los resultados con ayuda de las curvas de permanencia se pueden definir criterios para elección de épocas del año donde parar unidades generadoras para mantenimiento ya que la generación fuertemente dependiente del comportamiento hidrológico.

Los resultados obtenidos indican que:

- Aún atendiendo los criterios más conservadores de paradas de las unidades generadoras para mantenimientos, se verifican la viabilidad de su ejecución en el plazo previsto de 18 meses.
- Existen periodo de baja afluencia como junio a septiembre, en que operar con 18 o 16 unidades generadoras no resultan con variaciones significativa en términos de producción energética.
- Estos periodos son los más indicados para los servicios de larga duración.

Este trabajo destaca la importancia de tener una buena coordinación entre las áreas de mantenimiento y de operación.



Comité Nacional Paraguayo



Unión de Ingenieros de ANDE

X SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
19, 20 y 21 de Setiembre de 2012

BIBLIOGRAFÍA

- Arce Encina, Anastacio Sebastián. (2006). “Despacho ótimo de unidades geradoras em sistemas hidrelétricos vía heurística baseada em relaxação lagrangeana e programação dinâmica”. Tese de Doutorado. Campinas: Universitária.
- CIGOGNA, M.A. (1999). Modelo de Planejamento da Operação Energetica de Sistemas Hidrotérmicos a Centrales Individualizadas Orientada por Objetos. Tese de Mestrado. Campinas: Universitária.
- García Ramírez, Rodrigo José. (2006). “Simulación de la Operación Hidroenergética y Cálculo de la Energía Firme de Centrales Hidroeléctricas”. Trabajo Final de Grado. UNE: Universitaria.
- ITAIPU BINACIONAL. Documento de Referencia de las Magnitudes Hidroenergéticas.
- ITAIPU BINACIONAL. Manuales del SOM ‘Sistema de Operación y Mantenimiento’.
- Luís Carmelo Ramírez Vergara. (2008). Modelos Aplicados al Planeamiento de la Operación de Centrales Hidroeléctricas. Trabajo Final de Grado. UNE: Universitaria.
- NAKAMURA, S. (1997). Análisis Numérico y visualización Gráfica con Matlab. México: Prentice-Hall Hispanoamérica S. A.