

C. N. E. A. Biblioteca	
ARCHIVO PUBLICACIONES	
Nº 1	AÑO 1984

Optimización hidrométrica para el emplazamiento de centrales térmicas en la Cuenca del Plata. Centrales nucleares en Atucha

H.R. Gómez - G.E. Maggio - C.R. Trípoli.*

1 - ANTECEDENTES

Para prever racionalmente el adecuado suministro de agua al sistema de refrigeración convencional de centrales térmicas a partir de un río, lago o litoral marítimo, es necesario determinar mediante el análisis probabilístico los caudales o niveles extremos que se verificarán durante la vida útil de la misma. Este análisis es también necesario pero no suficiente, para el sector de agua de refrigeración asegurada (redundante) en las Centrales Nucleares: debe aquí incor-

porarse el análisis estocástico o un modelo determinístico que incluya crecidas máximas probables (CMP) y rotura de embalses u otros aspectos inducidos tales como polderización del Delta en el caso de Atucha II (1) (2).

2 - ANALISIS ESTADISTICO

El análisis estadístico de un conjunto de estaciones de aforo permite obtener máximas y mínimas cotas que definen apropiados niveles para sala de bombas y base del canal de toma principal, efectuando las pertinentes

* Comisión Nacional de Energía Atómica-Dirección de Radioisótopos y Radiaciones.

correcciones debidas a oscilaciones inducidas, sedimentación en el canal, caudales críticos para el tránsito del régimen fluvial al torrencial, etc. (3).

Dado que todo estudio estadístico debe basarse en un conjunto de datos confiables, se seleccionaron ciertas estaciones de aforo, ubicadas en las proximidades de Atucha caracterizadas por poseer registros con una suficiente continuidad y aceptable homogeneidad.

Como consecuencia de un análisis histórico que incluyó la recopilación de datos complementarios sobre vientos, mareas y lluvias y estudios de correlación y consistencia se seleccionaron las estaciones de aforo de Corrientes, Paraná, Rosario, San Pedro, Las Palmas-Guazú, Zárate, Las Palmas-Las Rosas y Riachuelo, algunas con hasta 100 años de registro ininterrumpido.

Una vez en posesión del conjunto de datos mencionado puede aplicarse el análisis estadístico el cual consiste en asignar a cada cota hidrométrica o caudal una probabilidad de ser igualado o superado en un lapso dado, en general un año. Sin embargo es preferible referirse no a probabilidades sino a períodos de retorno que son sus valores recíprocos.

Dado que Atucha se halla en una zona de plena transición entre un régimen fluvial regido por las lluvias en la alta cuenca y un régimen de estuario gobernado con mareas y vientos sobre el Río de la Plata, no es posible establecer una relación biunívoca entre niveles de agua y caudales razón por la cual se trabajó exclusivamente con cotas hidrométricas.

En una estación de aforo cada registro anual constituye una muestra estadística que puede ajustarse por una función de distribución. En este caso debe hallarse la función que mejor responda a la distribución conjunta

de los n valores máximos o mínimos anuales.

La teoría de valores extremos considera este tipo de problemas partiendo de la distribución inicial de los datos históricos. La función Tipo I es aplicable a distribuciones iniciales con cotas ajustables por exponenciales, la función Tipo II a distribuciones de Cauchy y la Tipo III a distribuciones truncadas. Otra dos funciones además de éstas son de amplia utilización en hidrología estadística, ellas son la Log-Pearson III y la función de Galton o Log-normal.

En este estudio fue empleada la función de Gumbel de Tipo I para el ajuste de todas las estaciones aguas abajo de Rosario tanto para crecientes como para estiajes. Su expresión matemática es la siguiente:

$$F(y) = e^{-y^\alpha} \quad y = \alpha(x-u)$$

Siendo $F(y)$ la función de distribución de la variable reducida y , la cual está vinculada con la variable aleatoria original x (cotas hidrométricas) por medio de una relación lineal en la cual α y u son los parámetros de ajuste.

La técnica del análisis estadístico consiste en ordenar los n valores extremos en forma decreciente o creciente, según se trate de avenida o estiajes, con el fin de asignar a cada valor tabulada un nivel de probabilidad p_i dependiente sólo del número de orden i que ese dato ocupa en la tabla. La expresión utilizada, recomendada por muchos autores, es la siguiente:

$$P_i = \frac{i}{n+1}$$

A continuación se calculan los valores de la variable reducida y_i para cada probabilidad, según la función de distribución de Gumbel, obteniéndose así un conjunto de n pares de valores x_i, y_i .

Finalmente deben determinarse los coeficientes α y u que mejor ajusten la recta $y = \alpha(x-u)$ para lo cual pueden emplearse los métodos estadísticos clásicos tales como máxima verosimilitud, momentos o cuadrados mínimos.

En este caso se recurrió a la obtención de la recta de regresión ortogonal aplicando cuadrados mínimos minimizando así los errores tanto en abscisas como en ordenadas. Este es el método sugerido por el propio Gumbel en sus trabajos originales.

Todos estos pasos fueron realizados por un programa de computación que efectúa también el cálculo de un conjunto de parámetros estadístico con el fin de comparar mejor las diversas estaciones de aforo. La secuencia aquí descrita para el ajuste de máximos fue también aplicada para el caso de mínimos o estiajes.

En la figura 1 se muestra un gráfico de diferencias entre crecidas y bajantes para igual período de retorno a partir de la cual se llega a la conclusión que en los alrededores de Atucha existe una singularidad hidrométrica entendiéndose por tal una sección en la cual dicha diferencia es mínima. Esto implica que, cualquiera sea el período de retorno de diseño, la diferencia entre los niveles de emplazamiento de la sala de bombas y la base del canal será mínima con las consiguientes ventajas económicas relativas a inversión de capital, costos operativos, etc.

Hasta no hace muchos años se consideró a ríos, estuarios o bahías como lugares indicados para emplazar centrales térmicas sin tener en cuenta pérdidas de rendimientos térmicos debida a las cíclicas mareas o bien sin considerar los mayores costos resultantes de la necesidad de buscar una configuración geométrica entre canal de toma y descarga que reduzca el reciclado de aguas para refrigeración: las

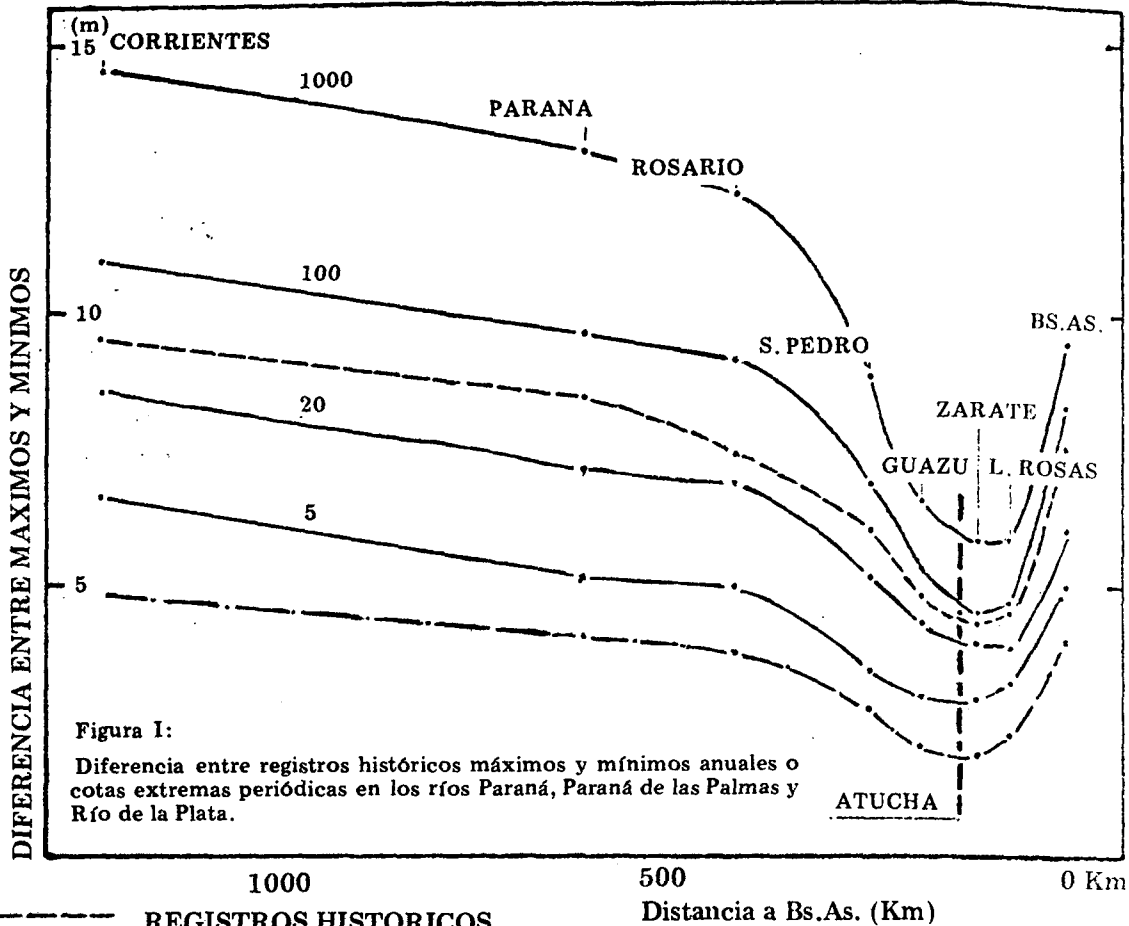


Figura I:

Diferencia entre registros históricos máximos y mínimos anuales o cotas extremas periódicas en los ríos Paraná, Paraná de las Palmas y Río de la Plata.

----- REGISTROS HISTORICOS
 - - - - - ESPERANZA MATEMATICA
 100 ----- CON IGUAL PERIODO DE RECURRENCIA

Centrales Nucleares en Atucha están ubicadas en una sección del Río Paraná de las Palmas donde la inversión neta de la corriente es prácticamente nula durante el año hidrológico.

3 - ANALISIS ESTOCASTICO

Como complemento de este estudio se recurrió al análisis estocástico, el cual consiste en generar en forma sintética, a través de un programa de computación, una serie de cotas extremas mediante una función apropiada, tal como las llamadas cadenas de Markov que permiten conservar algunas propiedades estadísticas de la serie histórica.

En el presente caso se recurrió a una cadena de Markov de primer orden en la cual cada suceso generado resulta función del anterior

y está constituido por dos componentes, uno determinístico y otro aleatorio. Este último término debe seguir la ley estadística que mejor represente el fenómeno en estudio, habiéndose empleado aquí la ley de Gumbel.

Aplicando esta técnica se generaron 5000 años de cotas hidrométricas y a partir de esta serie sintética se calcularon nuevamente las probabilidades mencionadas. Los resultados fueron aproximadamente coincidentes con los obtenidos mediante el análisis estadístico.

4 - ANALISIS DETERMINISTICO

Las avenidas extraordinarias así como otros eventos hidrológicos

son hechos físicos factibles de simular por ecuaciones o procedimientos matemáticos.

La Cuenca del Plata alcanzará en esta década un desarrollo hidro-energético superior al de su potencial técnicamente aprovechable. La polderización ya realizada o previsible así como la evolución requerida por la navegación en la baja cuenca son aspectos significativos a considerar.

Por lo expuesto, para dar bases de diseño a la Central Nuclear en Atucha II se analizaron los modelos hidrodinámicos concebidos para Itaipú, Corpus, Yacujá y Paraná Medio Inferior, así como otros dos modelos en condiciones de borde superior e inferior regidos por acciones meteorológicas y astronómicas desde el Río de la Plata.

Para obtener en primera instancia valores de referencia relativos a Crecidas Máximas Probables en el alto Paraná partimos del estudio efectuado por el Instituto Nacional de Ciencia y Técnicas Hídricas (INCYTH) (4). El modelo de maximización utilizado supone que la atmósfera trabaja para que las más importantes tormentas ocurridas conviertan con máxima eficiencia al vapor de agua en lluvia. El cálculo parte de la determinación de puntos de rocío mensuales y el supuesto de una estructura vertical de la atmósfera, adiabática y saturada.

Para determinar caudales o niveles en Atucha se optó por utilizar las crecidas simuladas (históricas o razonablemente predecibles) en el modelo hidrodinámico de los ríos Paraná y Paraguay. (5). Este modelo tiene en cuenta ecuaciones para el escurrimiento unidimensional permanente en canales abiertos, deducidas mediante la integración de las ecuaciones de movimientos tridimensionales sobre secciones transversales características.

Como la sección o borde inferior de este modelo está situada algunos pocos kilómetros aguas arriba de Atucha, optamos por prolongar este borde hasta la Central Nuclear partiendo de correlaciones espaciales o extrapolaciones y asumiendo condiciones de borde impuestas por el Río de la Plata que consideramos apropiadas ya que permitieron dar bases de diseño o sala de bombas redundante, con razonables condiciones de seguridad, frente a crecidas extraordinarias, rotura de embalses u otros aspectos negativos impuestos por el desarrollo de la cuenca aún teniendo en cuenta algunas obras en las que no están previstas adecuadas compensaciones para los usuarios de aguas abajo, frente al problema de las inundaciones.

5 — CONCLUSIONES

Las Centrales Nucleares en Atucha se encuentran emplazadas en un área que constituye una singularidad y optimización hidrométrica para el ámbito de la Cuenca del Plata y prácticamente para todo el litoral marítimo continental argentino.

Más allá de las ventajas técnico-económicas que surgen de esta consideración, debe tenerse en cuenta aspectos vinculados con mayores rendimientos térmicos, adecuada utilización de la capacidad de dilución y autodepuración del curso de agua, considerando no sólo el nivel regional sino también el grupo crítico (5) y otros aspectos vinculados con la sedimentología fluvial tales como relación erosión-sedimentación o autodragado.

El desarrollo hidroenergético de la cuenca supera el 60% mientras que antes del fin del siglo se alcanzarían niveles superiores al 90% de su potencial técnica y económicamente concebible en el presente.

Por lo expuesto, la evolución morfológica, hidráulica o hidrológica del régimen natural debe ser tenida en cuenta por los propietarios de obras ribereñas actualizando las previsiones respectivas antes que los proyectos se materialicen. Estas obras (aprovechamientos múltiples, polderización, rectificación de cauces, etc.) por otra parte han de concebirse en el marco de estudios —a nivel nacional o binacional— que contemplen no sólo aspectos locales o contemporáneos sino se inserten en sistemáticos planes de desarrollo que consideren los intereses y seguridad de usuarios o propietarios de instalaciones emplazadas aguas abajo de dichas obras de infraestructura.

El diseño de ciertos sectores vitales de la Central Nuclear en Atucha II contempla una Crecida Máxima Probable del orden

de 90000 m³/seg en la confluencia de los Ríos Paraná y Paraguay, o rotura en cadena de tres embalses así como niveles de polderización en el Delta u otras obras de infraestructura que consideramos se ajustan al desarrollo previsible de la Cuenca del Plata.

BIBLIOGRAFIA

1. Héctor R. Gómez, y otros. "Estudio Hidrológico para la Central Nuclear en Atucha II". CNEA. 1980.
2. Héctor R. Gomez, y otros. "Análisis de bajantes extremas naturales e inducidas en los Ríos Paraná y Paraná de las Palmas". CNEA. 1982.
3. Ven Te Chow. "Handbook of Applied Hydrology". Mc Graw Hill. 1977.
4. Eduardo Bustamante. "Cuenca superior del Río Paraná. Estudio de la Crecida Máxima Probable". INCYTH. A requerimiento de la Empresa Agua y Energía Eléctrica de la Nación. 1973.
5. Entidad Binacional Yaciretá Motor Columbus y Asociados. "Estudio de Crecidas Río Paraná y Paraguay. Modelo Hidrodinámico. 1979.
6. Contrato N° 3318/RB en colaboración con el OIEA. Programa Coordinado de Investigación. "El papel desempeñado por los sedimentos en la acumulación y transporte de radionucleídos en aguas superficiales". Primer informe de avance. CNEA-INCYTH-IN-GEIS. 1982.
7. Héctor R. Gomez, y otros. Estudio de navegación y tráfico por el Paraná de las Palmas. Central Nuclear en Atucha II. CNEA. 1981.
8. Estudio fluvial y de erosión en modelo matemático. Latino Consult S.A. Gradowcizyk y Ivanisevich. D.N. De Vialidad.
9. Agua y Energía Eléctrica. "Aprovechamiento Integral Paraná Medio. Gerencia Proyecto Paraná Medio.