

VII/CE-C2-08

DEFINICIÓN DE CURVA DE DESCARGA CON INFLUENCIA DE REMANSO**RUBENS ALMIRON
ITAIPU BINACIONAL****RESUMEN**

La definición de una relación cota o nivel y caudal en una estación de medición de ambas variables depende en condiciones de escurrimiento permanente solo de la una ecuación de relación biunívoca entre estas variables, del tipo $Q = f(h)$. Sin embargo, cuando la estación se encuentra bajo los efectos de remanso esta biunicidad desaparece y se necesita medir más variables para establecer la relación entre el nivel y el caudal de la estación, por ejemplo, la pendiente de la superficie de agua. Es así, cuando la escala de la estación bajo estudio se encuentra en el remanso de una presa de embalse cuyo nivel superficial varía en el curso de los llenados o vaciados, o bien en la zona de influencia de una presa móvil, cuyas compuertas son maniobradas para necesidades de navegación o la alimentación de una central hidroeléctrica; está bien claro que en tales casos, a una misma cota de la escala pueden corresponder caudales muy diferentes.

PALABRAS-CLAVE

Descarga, Redes Neurales, Remanso

1.0 - INTRODUCCION

La definición de una relación cota o nivel y caudal en una estación de medición de ambas variables depende en condiciones de escurrimiento permanente solo de la una ecuación de relación biunívoca entre estas variables, del tipo $Q = f(h)$. Sin embargo, cuando la estación se encuentra bajo los efectos de remanso esta biunicidad desaparece y se necesita medir más variables para establecer la relación entre el nivel y el caudal de la estación, por ejemplo, la pendiente de la superficie de agua. Es así, cuando la escala de la estación bajo estudio se encuentra en el remanso de una presa de embalse cuyo nivel superficial varía en el curso de los llenados o vaciados, o bien en la zona de influencia de una presa móvil, cuyas compuertas son maniobradas para necesidades de navegación o la alimentación de una central hidroeléctrica; está bien claro que en tales casos, a una misma cota de la escala pueden corresponder caudales muy diferentes.

Aún en ausencia de toda obra artificial, la sección de control que domina el canal donde está la escala limnimétrica puede ser alterada o aún puesta fuera de acción por diversos fenómenos naturales, a veces difíciles de descubrir: erosión o formación de un banco de arena que forma un control, crecida importante de un afluente que desemboca cerca del control, aguas abajo, desarrollo estacional de la vegetación acuática, acumulación de témpanos de hielo en una sección estrecha, puentes, etc.

En esas condiciones, se puede también obtener buenas medidas instalando estaciones que tengan dos escalas limnimétricas, situadas a una distancia L entre sí, en el canal dominado

por el control variable. Sean Z_1 y Z_0 las cotas de la superficie del agua deducidas de las lecturas en esas escalas; a cada par de valores de cotas en las estaciones mencionadas corresponde un solo y mismo caudal con la condición de que la topografía y la rugosidad del lecho no varíen con el tiempo en el tramo entre las dos escalas; estas son condiciones que se pueden mantener mediante trabajos de siega, mantenimiento de taludes y otros.

En cierta medida, pues, la segunda escala, que permite determinar la pendiente dz/dx , interviene de hecho tan sólo como corrección de la primera, las estaciones de dos escalas son comparadas a los dispositivos utilizados para medir los caudales que pasan por un elemento de conducto forzado con cualquier forma, a partir de la diferencia de presión observada en las extremidades de ese conducto por un manómetro diferencial.

2.0 - ESTACIÓN DE ANÁLISIS

La estación cuya curva de descarga bajo efecto de remanso se desea definir, es la estación denominada Guaíra situada en el extremo norte del embalse de la Usina Hidroeléctrica, donde se han ubicado dos secciones de medición de caudales, una por cada brazo en que se divide el río aguas arriba del sitio mencionado, como se muestra en la Figura 1, a continuación.

Las dos reglas que se utilizan para definición del efecto de remanso son la de la estación denominada Guaíra Porto Velho, o simplemente Guaíra en adelante, y la estación ubicada en la presa de Itaipú, en adelante denominada Presa, unos 150 Km aguas abajo de la anterior. En un futuro próximo se pretende sustituir tal segunda estación por otra situada a unos 1.5 Km aguas abajo de Guaíra, en el sitio denominado Saltos del Guairá, siendo la diferencia entre las cotas del agua entre estas estaciones de unos 20 a 30 cm en promedio.

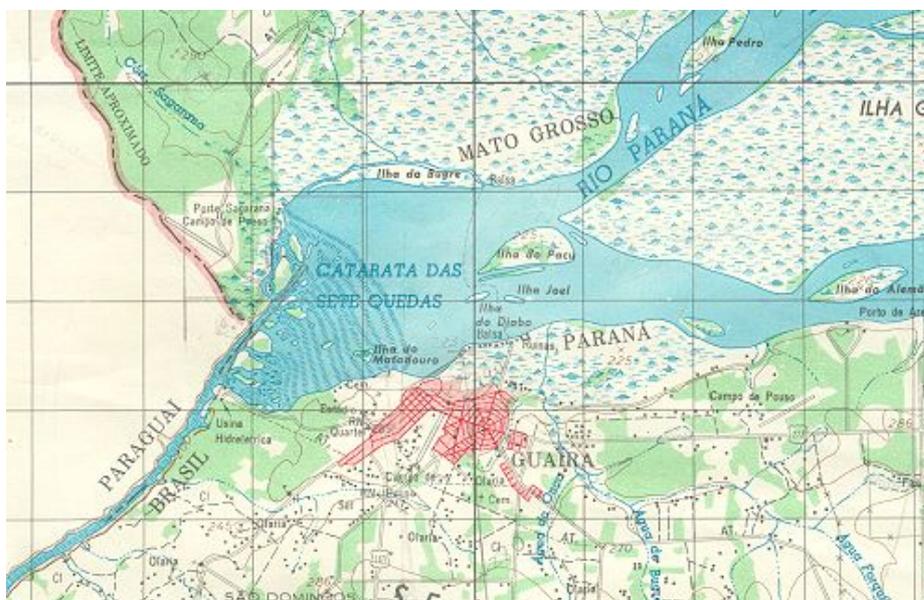


Figura 1. Ubicación de la estación de aforos de Guaíra.

3.0 - VARIABLES UTILIZADAS.

Partiendo de los estudios de análisis de correlación entre el caudal medido y varias variables relativas al estado del río en el sitio de interés se han definido estas variables

que servirán de base al cálculo que se pretende realizar. Las variables definidas son: la cota del nivel de agua en la estación Guaíra, en metros sobre el nivel del mar, la cota de la estación del paramento de aguas arriba de la Usina de Itaipú, la diferencia entre ambas, el nivel de agua en la estación Guaíra, en metros y el caudal del día anterior en la estación Porto Caiuá, situada a unos 300 km aguas arriba de la estación Guaíra.

En la Figura 2, se presenta el grado de correlación de cada variable con el caudal medido en ambos brazos del río aguas arriba de la zona de Guaíra. Este caudal, por supuesto, es la suma de los caudales medidos en cada brazo, medidos en secciones aguas arriba de la estación Guaíra.

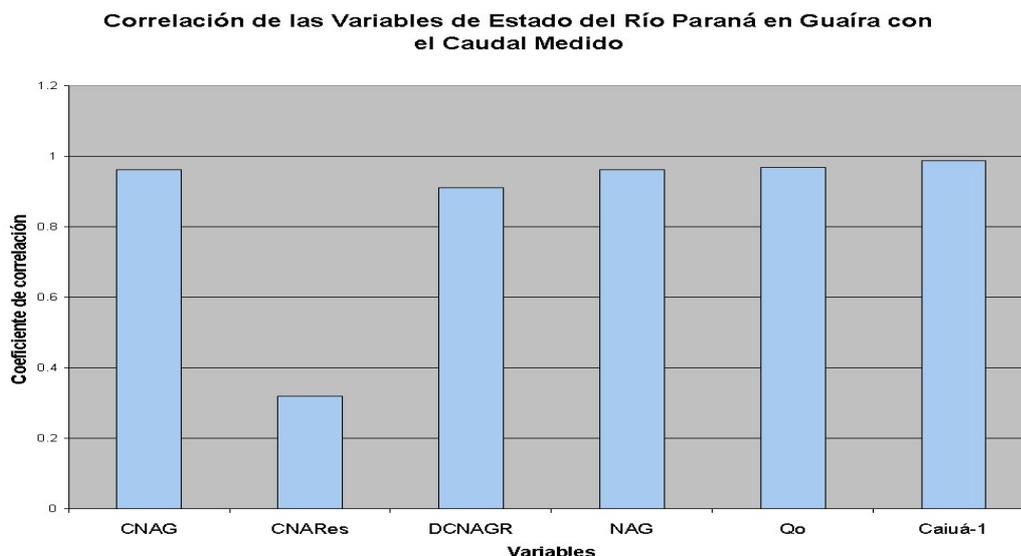


Figura 2: Correlación entre variables.

En este gráfico se observa que todas las variables escogidas tienen correlaciones muy altas con el caudal, a excepción de la cota del nivel agua medida en el paramento de la presa (CNARes), que se ha mantenido por comodidad pero que podría eliminarse sin perjuicio de la precisión de los resultados obtenidos. Las demás variables presentan coeficientes de correlación superiores a 0.90.

El motivo del uso de las variables relativas a la cota del nivel de agua en Guaíra y Presa, así como su diferencia es debido al papel directamente definitorio sobre el estado del río, en tanto que el caudal denominado Q_0 , que es el caudal que existiría si el nivel en la estación Guaíra fuese el medido y el régimen fuera aproximadamente uniforme. Este caudal mantiene definitivamente información acerca de las condiciones de escurrimiento en el canal bajo estudio.

Finalmente el valor nominado como Caiuá-1 se refiere al caudal del día anterior en una estación aguas arriba de aquella en estudio y por su posición provee información fehaciente y acabada de la cantidad de volumen de agua que debe llegar indefectiblemente hasta la estación que analizamos.

Para aclarar exactamente cada variable se hace la siguiente tabla

Variable	Definición
----------	------------

CNAG	Cota del Nivel de Agua en Guaíra, metros sobre el nivel del mar
CNARes	Cota del Nivel de Agua en Presa, metros sobre el nivel del mar
NAG	Nivel de Agua en Guaíra, metros
DNAGR	Diferencia entre CNAG y CNARes, metros
Qo	Caudal sin efecto de remanso, m ³ /s
Caiua-1	Caudal en Porto Caiuá del día anterior, m ³ /s

De estas variables solo los niveles de agua son medidos directamente en tanto que la cota del nivel de agua se obtiene por suma de la cota del cero de la estación a tales niveles, la diferencia se explica fácilmente, y el caudal de Porto Caiuá depende de niveles medidos en las proximidades de esta estación así como el caudal Q_o que se relaciona con el nivel de Guaíra por la siguiente ecuación de segundo grado $Q_o = A + B * NAG + C * NAG^2$.

En esta forma, todas las variables que en definitiva son medidas mediante sensores en las estaciones de medición y transmitidas hasta la Usina por el Sistema de Telemetría Hidrometeorológica con comunicación satelital son depositadas en forma automatizada, en cada hora entera, en la base de datos operacionales del HYMOS, que es el banco de datos usado, así como en el banco de datos Oracle, donde se encuentran todos los datos corporativos de la Entidad Binacional Itaipú.

Posteriormente, se pretende obtener esta información actualizada del banco de datos en forma automatizada y calcular el caudal en Guaíra sin intervención humana.

4.0 - CÁLCULO DE LA CURVA DE DESCARGA CON EFECTO DE REMANSO.

Este cálculo se realiza en dos etapas mediante un conjunto de redes neurales capaces de realizarlo luego de su entrenamiento con los datos disponibles, estos datos disponibles se refieren a los caudales medidos y a los valores de las variables antes definidas.

4.1 - Agrupamiento

La primera red neural utilizada consiste en una red del tipo denominado Self Organized Maps (SOM) que funciona transformando informaciones del mundo real de n dimensiones a una representación adecuada de tal realidad de solo dos dimensiones, con esta transformación se consigue ordenar toda la información disponible en grupos bien definidos a los que se le puede analizar por separado mediante tratamiento adecuados a cada grupo en particular. Es decir, en esta primera etapa transformamos cada grupo de información consistente en las variables antes definidas y el caudal medido en categorías bien definidas por medio de una red neural del tipo SOM. Este agrupamiento producido por las informaciones disponibles nos permitirá definir luego por esta red entrenada de tipo SOM a qué grupo pertenece el conjunto de variables que queremos usar en el cálculo.

En esta ocasión hemos usado una red SOM de $5 * 5$ elementos que ordena el espacio real n dimensional en 25 grupos en un plano, o sea, que cada uno de los elementos usados para el entrenamiento son ordenados dentro de uno de esos 25 grupos definidos por la red neural. Una vez entrenada esta red neural con la información disponible, ella será capaz de ordenar informaciones siguientes de acuerdo a tales agrupamientos.

4.2 - Definición de la variable de salida: el caudal bajo efecto de remanso.

Con los índices definidos por la red neural SOM anteriormente entrenada podemos aplicar a cada grupo una red neural del tipo Backpropagation diferente entrenada con los casos agrupados por la red SOM. Esta operación tiene la finalidad de trabajar con grupos de variables que mantienen desde el punto de vista de la matemática neural, la misma característica que permite sean tratados con la misma herramienta en este caso una red específica del tipo llamado Backpropagation.

La red neural del tipo Backpropagation funciona en base a nudos, cuya estructura se halla representada en la Figura 2, que, para formar la red se organizan en capas como se muestra en la Figura 3.

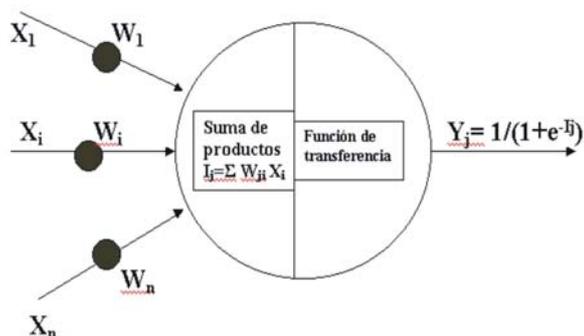


Figura 2. Nudo de una red neural.

La red neural denominada Backpropagation como su nombre indica es una red que realiza su aprendizaje mediante el transporte de los desvios obtenidos hacia atrás momento en que se reducen estos desvios ajustando los pesos de las conexiones por un método de aproximación como Mínimos Cuadrados y recalculando los desvios, este proceso se mantiene hasta obtener desvios menores que un valor considerado razonable. En el momento en que se obtengan tales desvios, la red se dice entrenada y los pesos calculados son los que se utilizan para los cálculos.

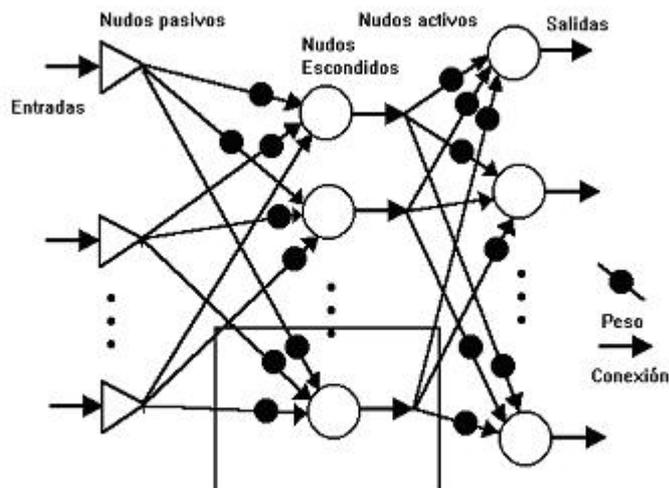


Figura 4. Red neural.

En las redes que nos ocupan se ha organizado cada una con las 6 variables de entrada antes mencionadas y una variable de salida que es el caudal calculado en la estación Guaíra.

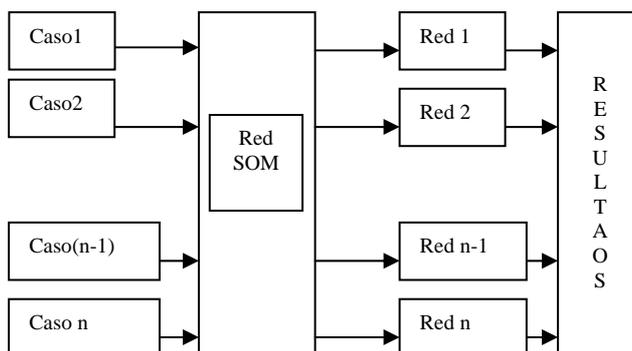


Figura 4. Esquema de aplicación de las redes

4.3 - Información de entrada

Se han utilizado 211 mediciones en la estación Guaíra, que constituyen la información disponible. Cada una de estas mediciones coinciden con el registro de las variables que llamamos de entrada. El listado de todas estas variables puede observarse en el Anexo 1.

4.4 - Resultados Obtenidos

Los resultados se han resumido por medio de los tres siguientes gráficos.

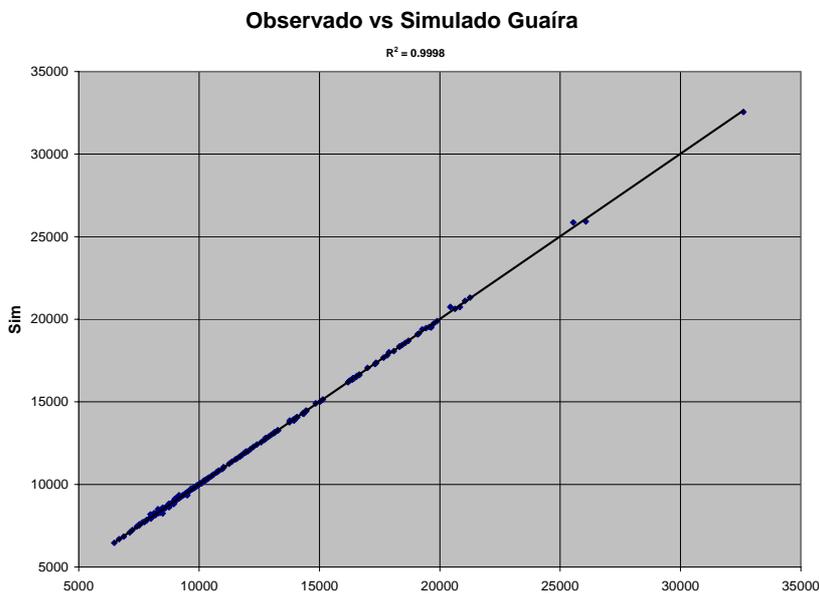


Figura 5. Valores observados versus Valores calculados.

En el primero, Figura 5, se han graficado los valores observados en contra de los valores simulados, en esta figura vemos que el grado de adherencia de los valores mencionados presenta valores de coeficiente de correlación del orden 0.9998. Esto evidencia un ajuste de buena calidad lo cual estaría respaldando los valores de cálculo por medio de este método.

En el segundo gráfico que analizamos, presentado en la Figura 6, se han graficado los desvios en función de los valores de la variable calculada, en este caso el caudal en Guaíra. Aquí se ve que la separación máxima entre el valor observado y calculado no está más allá de $\pm 3\%$ en relación con el valor observado.

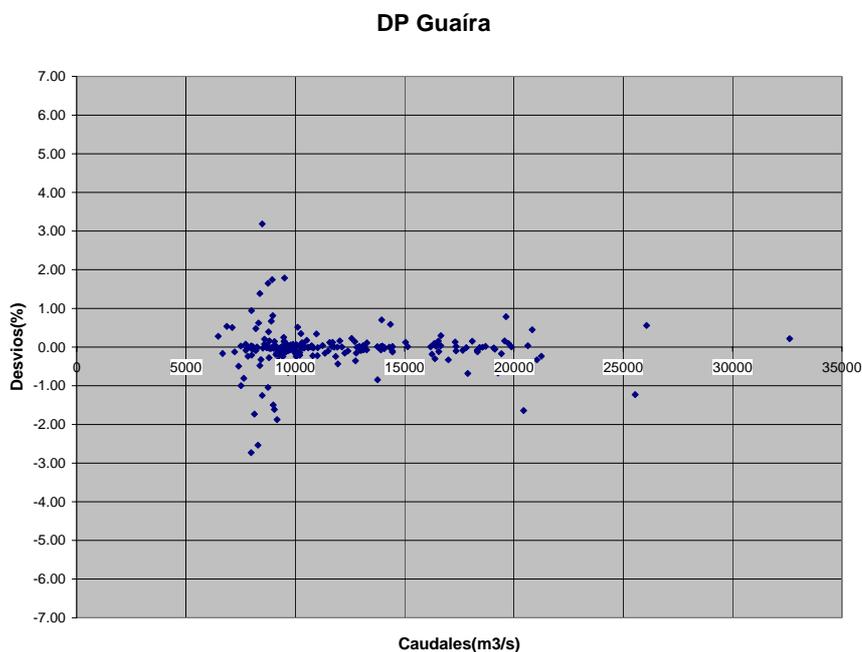


Figura 6: Desvios porcentuales.

El tercer gráfico, Figura 7, permite observar la permanencia de los desvios porcentuales, así observamos que en, aproximadamente, 92 % de los casos analizados, los desvios son menores que 1%. Esto nos permitiría decir que para un caudal de 10.000 m³/s el desvio no sería mayor que 100 m³/s en el 92 % de las veces que se realiza el cálculo en estas condiciones.

Permanencia de Desvios Porcentuales

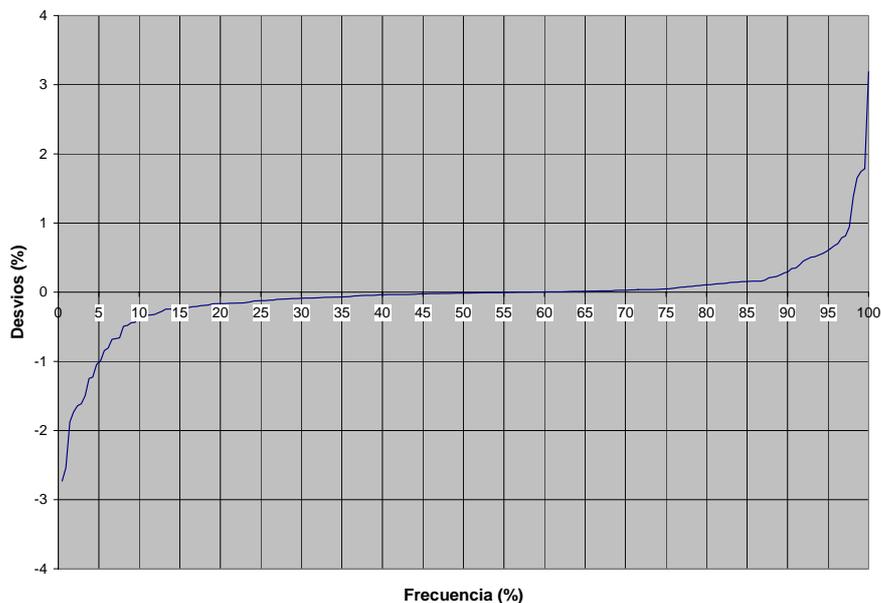


Figura 7: Permanencia de desvios.

4.5 - Desempeño del método.

En el siguiente gráfico hemos incluido los caudales calculados por esta metodología para el año 2000, en el mismo gráfico se presentan los caudales de Porto Caiuá así como los valores de caudal en Guaira medidos en campo.

Caudales

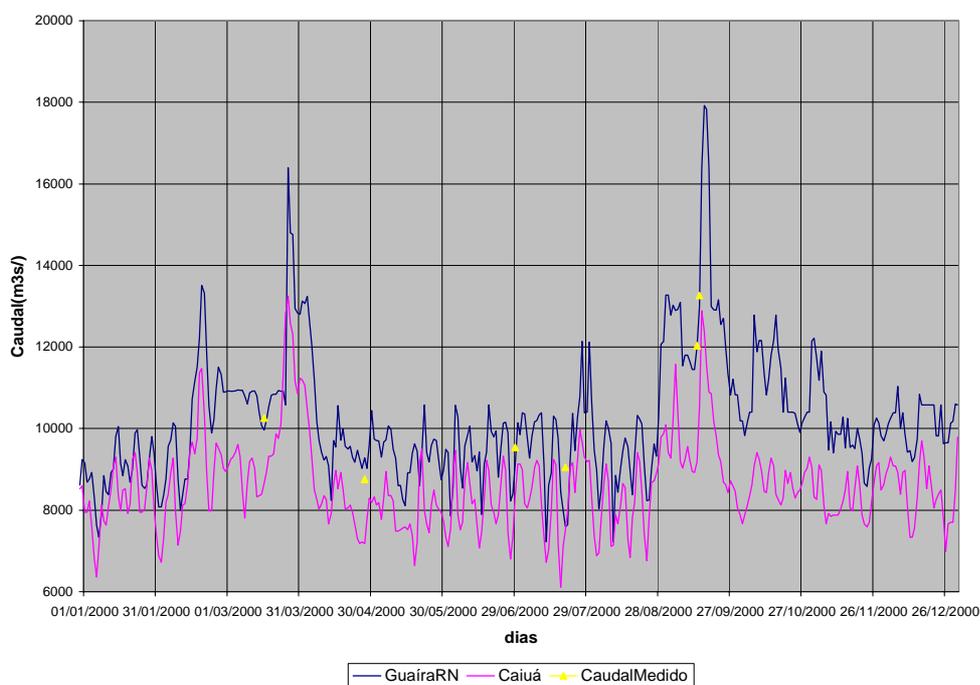


Figura 8: Caudales en Guaira durante el año 2000.

5.0 - CONCLUSIONES

El empleo de este método conduce, como ha sido demostrado, a resultados altamente precisos que van a permitir definir con toda exactitud el valor de la variable buscada.

Esta metodología puede ser aplicada a cualquier ocasión donde conociendo los valores de entrada y disponiendo de valores correspondientes de salida, no se consigue, sin embargo, una representación formal matemática de la solución. En los modelos de previsión este tipo de situaciones es bastante frecuente por lo que esta metodología planteada puede ser usada con éxito.