

## **ANALISIS DE LA PERMANENCIA DE CAUDALES AFLUENTES Y SALTO BRUTO A COTA DEFINITIVA EN LA CHY**

**Lucas Federico Chamorro Vega**

**Entidad Binacional Yacyreta**

**Paraguay**

### **RESUMEN**

El emprendimiento de Yacyreta fue concebido para generar energía eléctrica y para garantizar la navegabilidad del río Paraná a través de los saltos del Apipé a la altura de la Isla Yacyreta.

Su funcionalidad plena ha quedado demostrada una vez lograda su cota de diseño de 83 msnm en el año 2011 generando 20.000 GWh de energía por año y con un paso de más de 2.600.000 toneladas de carga por la esclusa de navegación en el 2013.

Yacyreta es una central hidroeléctrica de llanura proyectada y construida como “presa de pasada- que no cambia la forma del pulso hídrico del río Paraná – para un caudal promedio del orden de 14.000 m<sup>3</sup>/s (erogando 13.000 m<sup>3</sup>/s por sus 20 turbinas tipo kaplan) y para evacuar hasta 95.000 m<sup>3</sup>/s (proyección estadística de una inundación decamilenaria coincidente con el la Crecida Máxima Probable) [2]por sus dos vertederos en casos de acometer caudales mayores a los normales del río.

Por lo tanto, desde el año 1994 con la operación a cota reducida de la primera turbina y en el año 1998 la de la última ( la número veinte) hasta la cota definitiva los caudales afluentes así como el salto bruto realizado han variado según las condiciones climáticas imperantes por un lado y por otro por las condiciones operativas evolutivas del proyecto y de la cuenca, en tal sentido se objetiva la realización del análisis de la frecuencia y permanencia de las diferentes temporalidades de la afluencia hídrica diaria a la CHY y por otro el salto bruto diario según las diferentes condiciones operativas referenciales extraídas, a Cota Reducida, Cota Intermedia y a Cota Definitiva.-

### **PALABRAS CLAVES**

Caudales- Salto Bruto - Frecuencia-Permanencia -Cota.

## 1. ANÁLISIS DE PERIODOS DE CAUDALES AFLUENTES EN PERIODOS CLIMÁTICOS

La Oscilación Decadal del Pacífico (ODP) sería el marco de fondo, desde el punto de vista oceanográfico y atmosférico, para otras oscilaciones de menor período, tal como el ENOS (El Niño/Oscilación del Sur). Las fases cálidas de la ODP están correlacionadas con el fenómeno de El Niño y, por el contrario, las fases frías, con La Niña.

Por su parte, el ENOS se compone de dos fases: las fases cálida y fría, conocidas popularmente como El Niño y La Niña, respectivamente. Ambos fenómenos tienen una duración mucho más corta que las fases de la ODP. La duración típica de las fases del ENOS oscila entre 1 y 2 años, mientras que las fases de la ODP son del orden de 20 a 30 años.

Las alteraciones climáticas más importantes en el continente americano sucederían cuando la ODP y el ENOS estén en fase. Es decir, cuando la fase cálida de la ODP coincida con el fenómeno de El Niño y, la fase fría, coincida con el fenómeno de La Niña [1].

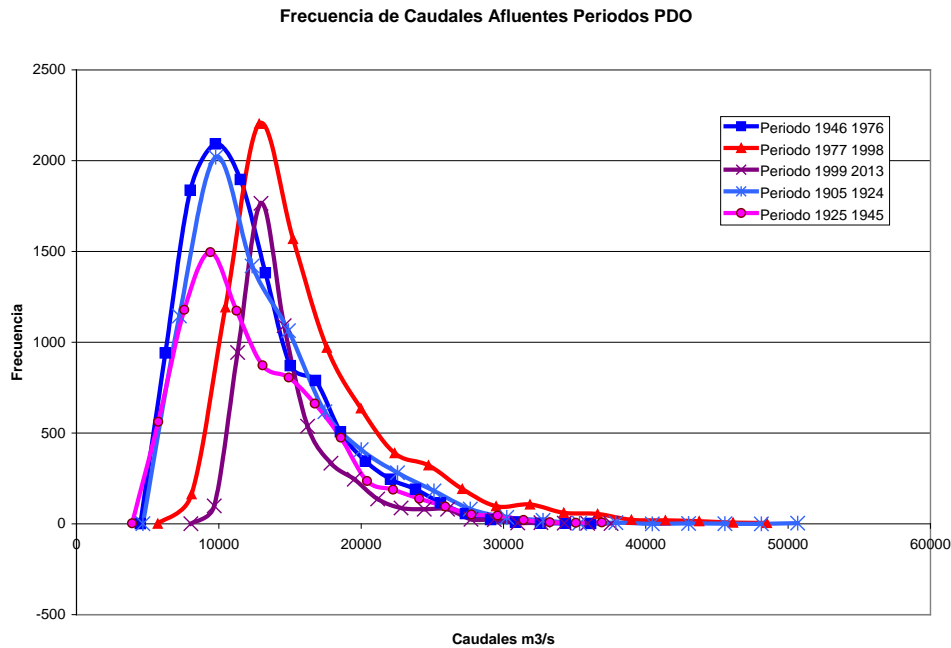
Los fenómenos de El Niño tenderían a ser más débiles e infrecuentes, mientras que los fenómenos de La Niña serían más recurrentes, siempre y cuando la fase negativa (fría) de la ODP predomine durante los próximos años.

La última fase fría de la ODP estuvo activa de 1940 a 1970, durando aproximadamente 30 años. Sin embargo, es interesante mencionar que la última fase positiva de esta misma oscilación estuvo acoplada recurrentemente con fenómenos de El Niño en la década de los años noventa y a partir del año 1999 estaríamos ante una ODP negativa [5].

En 1905, la PDO cambió a una fase cálida. En 1946, la PDO cambió a una fase fría. En 1977, la PDO cambió a una fase cálida. En 1998, la PDO mostró unos pocos años fríos. Las fases frías parecen coincidir con los periodos de enfriamiento (1946-1977) y las fases cálidas parecen coincidir con periodos de calentamiento (1905-1946, 1977-1998) y el actual coincidente con una fase fría (1999-2013?).

## 2. FRECUENCIA DE CAUDALES DIARIOS

Se elaboró la distribución de frecuencia de caudales diarios según diferentes series o muestras que están asociadas a los periodos climáticos de fondo, correspondiendo a la primera serie los caudales del rango 1905 a 1924, el segundo periodo de 1925 a 1945, el tercer periodo de 1946 a 1976, el cuarto periodo de 1977 a 1998 y el último periodo considerado en el análisis del año 1999 al 2013. Ver figura 1



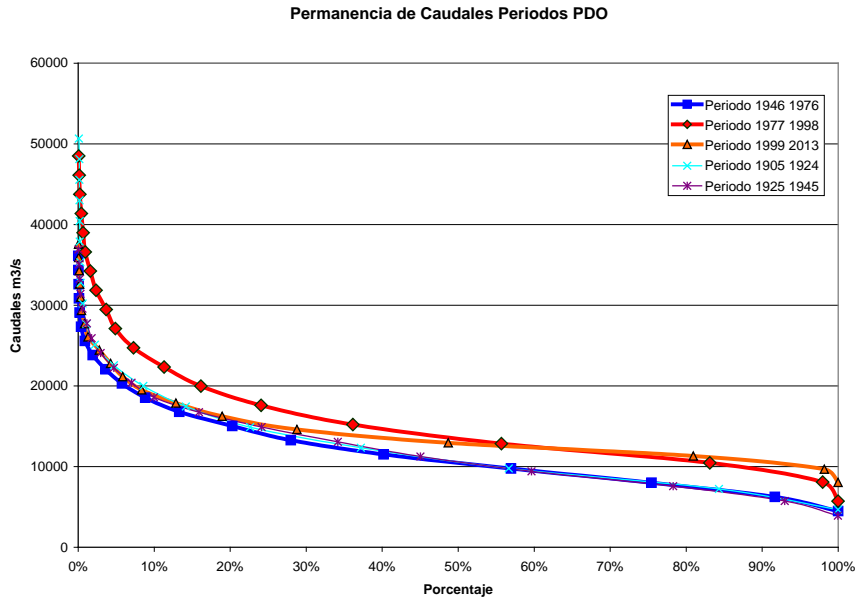
**Figura 1.** En la misma se destacan la distribución de frecuencia en función a los periodos seleccionados en función a los periodos de clima cálido o frío determinados por las series del PDO. Es destacable el apartamiento de los promedios post 70

De lo alcanzado en los gráficos de permanencia de caudales se infiere el cambio de los caudales medios de las series a partir de la década del 70, donde se visualiza el apartamiento con respecto a las décadas anteriores.

### 3. PERMANENCIA DE CAUDALES DIARIOS

La llamada curva de permanencia es una variación del diagrama de frecuencias relativas acumuladas, en la cual la frecuencia de no superación es substituida por el porcentaje de un intervalo de tiempo específico (años de las series adoptadas según los criterios previstos) en el que el valor de la variable (caudales a fluentes a la CHY), indicado en abscisas, fue igualado o superado. [2]

Los caudales son clasificados en intervalos y calculados las frecuencias de ocurrencia en términos probabilísticos. Las frecuencias son acumuladas en el sentido de mayor caudal para el menor [4], ejemplo ver Figura 2



**Figura 2.** Se observa el desarrollo de las curvas de permanencia según las series climáticas definidas por el ODP o PDO, una de las singularidades es que entre las series post 70, la del 99-13 supera a la anterior en mínimos más elevados sin embargo se asemeja a las pre 70 en los máximos.

#### 4. ANÁLISIS DE PERIODOS DE LA SERIE DE CAMMESA (1971 -2013) COMPARADO CON LA ENTRADA EN FUNCIONAMIENTO DE ILHA SOLTEIRA (1962 – 2013) EN LA CUENCA DEL PARANÁ


Se estima conveniente comparar la serie hidrológica que es informada y la que utiliza como datos hidráulicos para su planificación energética el administrador del SADI (Sistema Argentino de Interconexión) la Compañía Administradora del Mercado Mayorista Electrico Sociedad Anónima (CAMMESA) y la serie previa desde el funcionamiento de la represa de Ilha Solteira



### Datos Hidráulicos

#### SITUACION DE YACYRETA Y SALTO GRANDE

**RIO PARANA**  
11200 m<sup>3</sup>/s



**YACYRETA**  
Cota Hoy: 83,18 msnm  
Cota Max: 83,50 msnm  
Cota Min: 75,00 msnm  
Turbinado: 10200 m<sup>3</sup>/s  
Vertido: 1000 m<sup>3</sup>/s

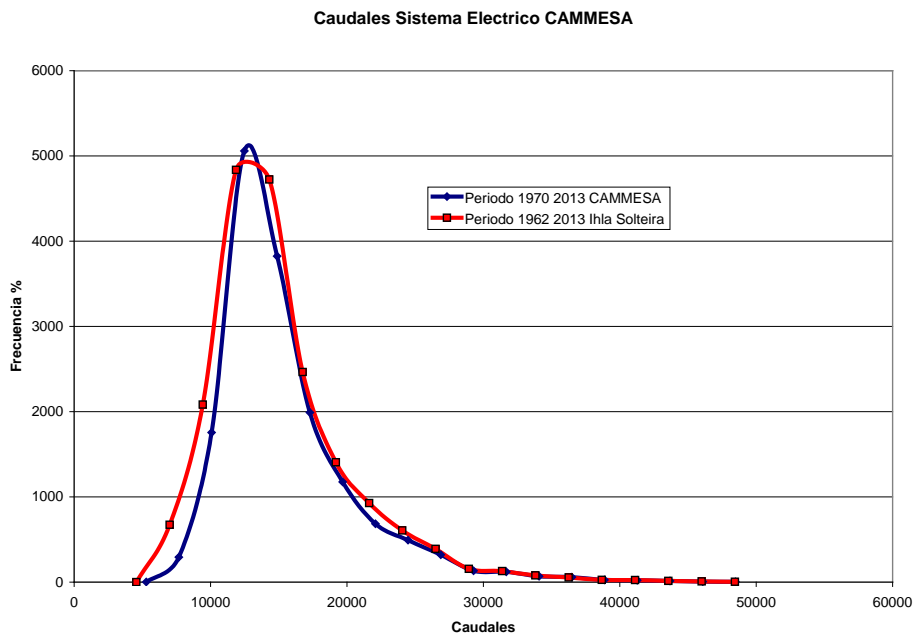
**RIO URUGUAY**  
3141 m<sup>3</sup>/s



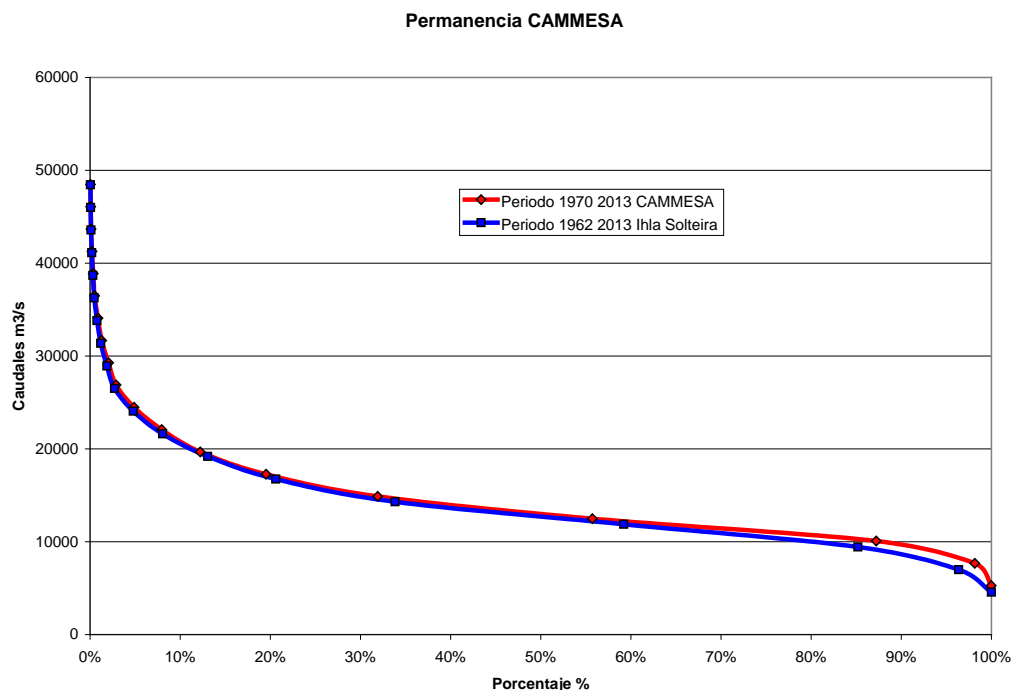
**SALTO GRANDE**  
Cota Hoy: 34,93 msnm  
Cota Max: 35,50 msnm  
Cota Min: 31,00 msnm  
Turbinado: 6050 m<sup>3</sup>/s  
Vertido: 0 m<sup>3</sup>/s

**Figura 3.** Ilustración de publicación diaria de datos hidráulicos de CAMMESA

Del análisis de la curva de frecuencia y de la curva de permanencia a priori se destaca que los valores medios están en el mismo entorno, sin embargo es destacable la evolución de los mínimos en poco lapso de tiempo.



**Figura 4.** Curva de frecuencia de caudales diarios de dos periodos con singularidad dada la característica evolutiva de los mínimos de afluencias.



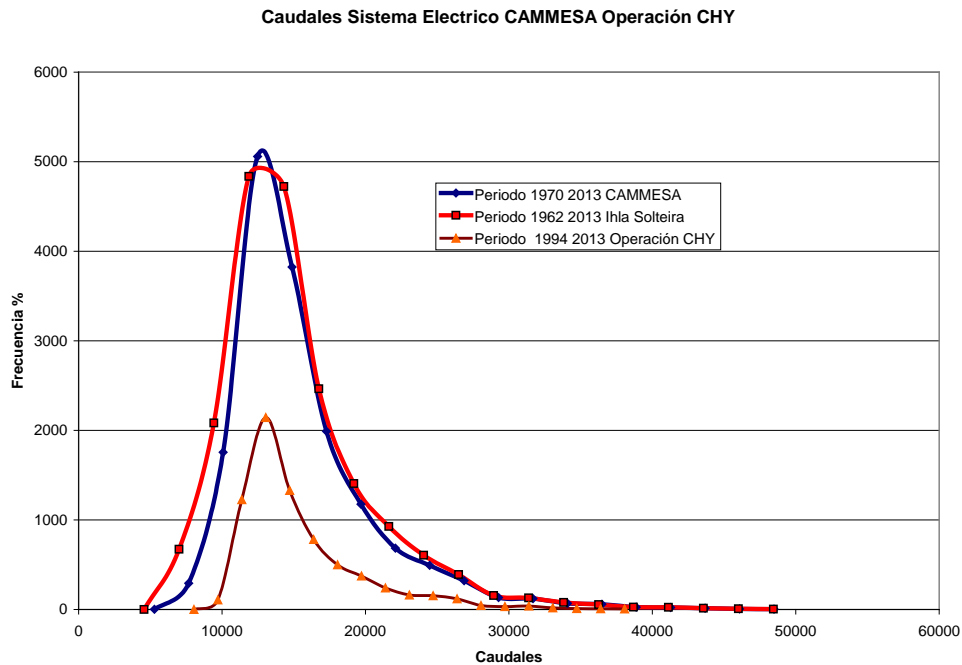
**Figura 5.** Curvas de permanencia en donde se destaca la variación en las afluencias mínimas para igual permanencia principalmente

## 5. ANÁLISIS CON LA OPERACIÓN A COTA REDUCIDA, ETAPA INTERMEDIA Y COTA DEFINITIVA DE LA CHY

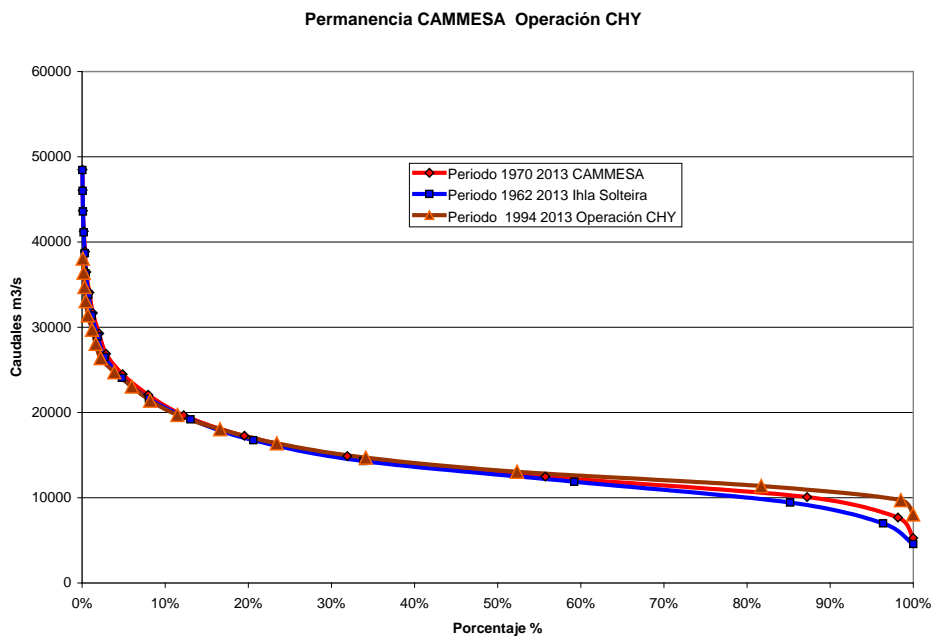
A fin de progresar con lo evaluado en la evolución de los mínimos principalmente después de la década del 70, se distinguió series de tiempo asociados a los periodos operativos de la Central Hidroeléctrica Yacyreta que tuvo diferentes en tre las cuales se destaca como principales dos anteriores a la definitiva (denominada Cota 83 msnm) , la de cota reducida ( denominada Cota 76 msnm), la de cota intermedia( denominada Cota 78 msnm), pero previamente se incorpora a al análisis anterior a las curvas de frecuencia y permanencia alcanzadas durante el periodo de operación de la CHY ( desde su inicio en 1994 hasta la actualidad a Cota Definitiva)

Por otro lado se asoció al tiempo de cada serie de las distintas etapas operativas consideradas a las diferentes cotas, el comportamiento del Salto Bruto diario realizado, las series hidrológicas asociadas a las del Salto Bruto fueron Cota 76 (1999-2005), Cota 78 (2007-2009) y Cota 83 (2011-2014) coincidentes en la misma temporalidad de los caudales diarios.

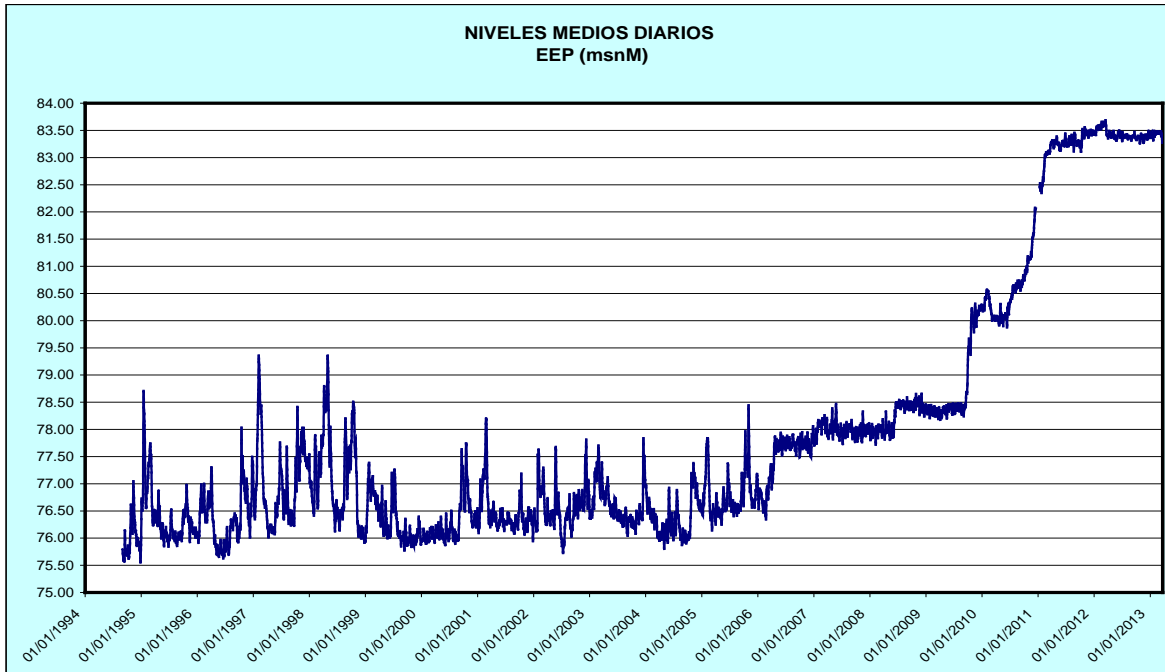
**XI SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO – CIGRÉ Paraguay**  
 24, 25 y 26 de Setiembre de 2014



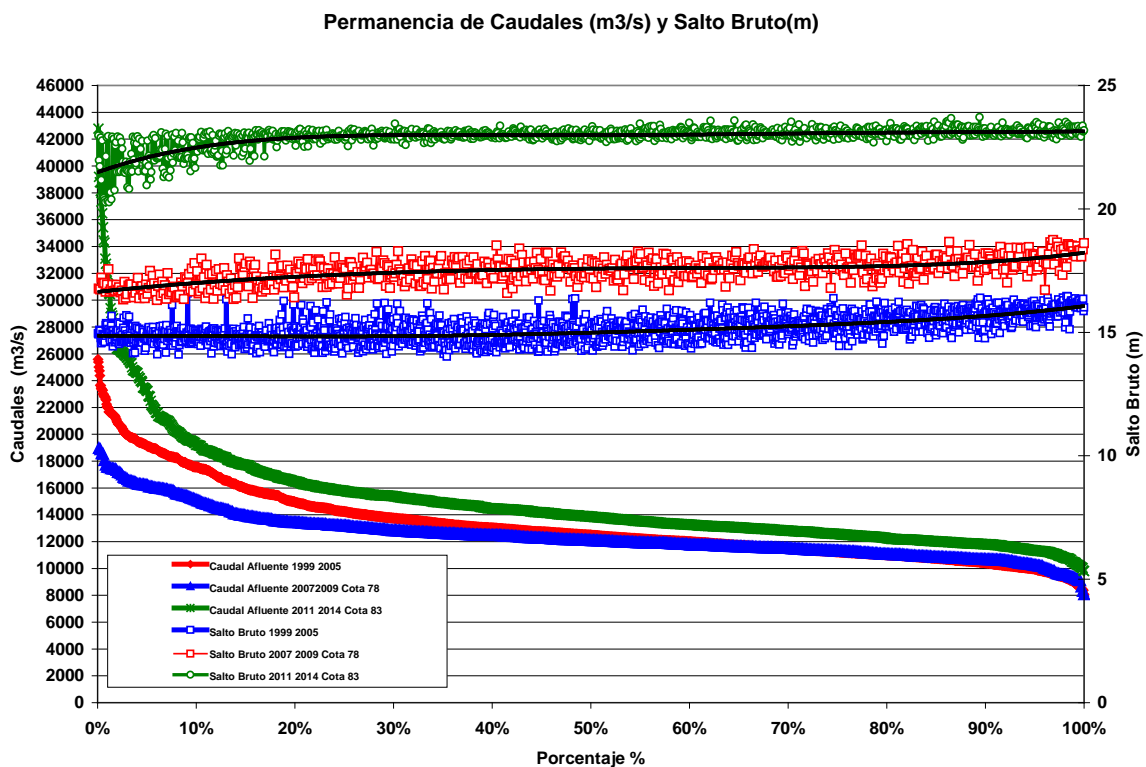
**Figura 6.** Curva de frecuencia de caudales diarios incluyendo el periodo operativo de la CHY, con dos periodos con singularidad dada la característica evolutiva de los mínimos de afluencias denotada.



**Figura 7.** Curvas de permanencia incluida el periodo de operación de la CHY, se destaca la variación en las afluencias mínimas.



**Figura 8.** Cuadro evolutivo de las Cotas de operación de la CHY



**Figura 9.** Curvas de permanencia de caudales a cota reducida, intermedia y definitiva asociada a los saltos brutos realizados en las mismas etapas consideradas.



## 6. CONCLUSIONES

- 1) Desde el punto de vista climático existe un apartamiento después de la década del 70 con respecto a las series climáticas anteriores, es observable que variaron los mínimos (son menos extremos en las series post 70) y los valores en el entorno de la media aumentaron y el volumen anual es el mayor detectado del siglo XX.
- 2) En las series contempladas por los Administradores Eléctricos comparados con los operativos de la CHY, los mínimos extremos son ligeramente diferentes, las series operativas con sus mínimos extremos son mayores, a igual permanencia sobre todo en la zona de mayor porcentaje de permanencia se destaca afluencias más altas (mínimos más elevados), se denota una evolución de mínimos hacia valores más altos.
- 3) Las etapas operativas de la CHY desde Cota reducida a Cota Definitiva marcan la misma tendencia anterior en la que los mínimos afluentes son superiores, en la Cota Definitiva actual también resalta que en la zona de menor permanencia se tiene afluencias más altas, en general esta situación ha favorecido a obtener el 80 % del tiempo con valores de salto bruto prácticamente constante desde la operación a Cota Definitiva, de igual manera el volumen anual hídrico de la etapa definitiva es mayor y envolvente con respecto a las anteriores operativas consideradas.

## 7. BIBLIOGRAFIA

- [1] A. M. Grimm, Influencia de El Niño sobre las lluvias del sur de Brasil, 1998
- [2] M. Naghettini, Hidrología Estadística, CPRM, Servicio Geológico del Brasil, 2007
- [3] Harza y Consorciados; CIDY Consultores Internacionales de Yacyretá. Manual de Operación y Mantenimiento, Manual de Operación del Embalse, VOL. II – Rev 2., 1998
- [4] C. Tucci, Clima e Recursos Hídricos no Brasil, ABRH, 2003.
- [5] L.F. Chamorro, HIDROGENERACION – VARIABILIDAD CLIMÁTICA – ESCENARIOS, 2007