

CNEA-AC 36/82

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA

Gerencia de Protección Radiológica y Seguridad

MINISTERIO DE SALUD PUBLICA Y MEDIO AMBIENTE

Dirección Nacional de Saneamiento

UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES

Facultad de Ingeniería

INUNDACIONES

Ing. Héctor GOMEZ

Ing. G. E. MAGGIO

Apuntes para el Curso de Post-Grado
en Protección Radiológica y Seguridad Nuclear

BUENOS AIRES

1982

APUNTES
INUNDACIONES

<u>INDICE</u>	<u>PAGINA</u>
1. INUNDACIONES Y BAJANTES EXTREMAS	1-2
2. EL CICLO HIDROLOGICO Y LAS CUENCAS HIDRICAS	3-4
3. COTAS O NIVELES DE REFERENCIA	4-5
3.1 Instrumental para medir distintos eventos hidrológicos o meteorológicos	5-6
4. EVENTOS CAUSANTES DE INUNDACIONES O SITUACIONES QUE IMPORTAN RIESGO SOBRE INSTALACIONES COSTERAS	6
4.1 Lluvias, Nieve, Granizo	6-7
4.2 Borrascas o Ciclones. Huracanes. Tornados. Maremotos	7-8
4.2.1 Olas y Mareas	8-9
5. METODOS PARA CALCULAR INUNDACIONES O FENOMENOS HIDRICOS EXTREMOS	9
5.1 Análisis de Registros Máximos y Mínimos Históricos	9-10
5.2 Métodos Determinísticos	10-11
5.3 Métodos estadísticos basados en el análisis de frecuencias máximas y mínimas	12-13
5.4 Métodos o Análisis Estocástico	13-14
BIBLIOGRAFIA	21

<u>FIGURA</u>	<u>INDICE DE FIGURAS</u>	<u>PAGINA</u>
1	Cotas de diversos planos de comparación de niveles referidos al peristilo de la catedral	15
2	Curva de calibración en la estación de aforo de la ciudad de Corrientes. Río Paraná. Relación alturas-caudales	16
3	Registro histórico de máximas y mínimas anuales en dos estaciones hidrométricas	17
4	Relación entre altura de aguas (máximas anuales) en una estación hidrométrica y probabilidad o período de retorno con ajustes, según ley de Fréchet y Gumbel	18
5	Alturas máximas y mínimas anuales en distintas estaciones hidrométricas de un río aluvial en función del período de retorno	19
6	Ajuste según Ley de Gumbel (Mínimas mensuales)	20

1. INUNDACIONES Y BAJANTES EXTREMAS

La cantidad y calidad del agua superficial o eventualmente subterránea disponible es condición básica para la selección del emplazamiento de una central nuclear.

La cantidad de agua requerida en general varía entre 0,05 m³/seg. MW_e y 0,08 m³/seg MW_e dependiendo esta magnitud del tipo de reactor, sistema de refrigeración (circuito abierto o cerrado), diseño del condensador, relación entre la potencia eléctrica instalada y térmica (MW_e o MW_t) y salto térmico entre las salidas y entradas de los circuitos de refrigeración. La mayor demanda surge de la necesidad de refrigerar el condensador de la turbina.

Los circuitos cerrados de refrigeración sólo requieren un caudal de agua, provisto por una fuente externa, equivalente a las pérdidas por evaporación; el costo de estas instalaciones y su mantenimiento son, sin embargo mayores, razón por la cual en general se opta por circuitos abiertos.

Por lo expuesto el emplazamiento a seleccionar debe ser un río, lago artificial o natural, estuario o litoral marítimo y la central propiamente dicha o sus instalaciones secundarias, servicios, etc., han de protegerse y estar dotados de razonables límites de seguridad contra inundaciones, acordes con los nuevos conceptos de "riesgo aceptable".

En estos apuntes se estudian bajantes extremas o máximas razonablemente concebibles dado que es conveniente, que ambos casos sean tratados en forma conjunta e inseparable, por lo menos a nivel de aplicación de métodos históricos o probabilísticos.

El análisis histórico parte de registros obtenidos en aquellas estaciones de aforo que brinden un número de datos estadísticamente significativos y una información coherente y confiable, permitiendo evaluar los eventos extremos y relacionarlos con fenómenos meteorológicos o de otro tipo que tengan vinculación con el comportamiento de la cuenca bajo estudio.

El análisis determinístico es una herramienta apropiada para evaluar fenómenos hidráulicos complejos y extremos. Se basa en la aplicación de ecuaciones y la formulación de modelos matemáticos con el fin de, a través de la maximización de un conjunto de parámetros, arribar al resultado buscado.

El análisis estadístico consiste en cambio en el ajuste de los registros históricos por medio de una función probabilística y a partir de ella efectuar inferencias acerca de cotas máximas o mínimas asociadas a un nivel de probabilidad o bien a un periodo de recurrencia en el tiempo.

Finalmente los métodos estocásticos tienen su fundamento en series cronológicas siendo entonces primordial la secuencia en el tiempo. Conducen a la elaboración de modelos matemáticos-probabilísticos.

Las inundaciones máximas probables (IMP) deben además analizarse teniendo en cuenta sus efectos destructivos, sobre instalaciones u obras fijas, capacidad de erosión o degradación de márgenes etc. Los efectos dinámicos de la corriente en su máxima expresión deben evaluarse.

En algunas cuencas el efecto y consecuencias de una inundación pueden agravarse por atarquinamiento de sedimentos, barreras de hielo, troncos y otras obstrucciones al libre flujo de las aguas, razón por la que han de preverse estas circunstancias.

Por otra parte el conocimiento de las bajantes extremas es necesario para asegurar el permanente abastecimiento hídrico a la central. En efecto, la refrigeración con importantes caudales de agua es una necesidad vital en todo reactor nuclear. Cuando existe un circuito abierto de refrigeración es imprescindible proveer los niveles o caudales mínimos necesarios aún en condiciones naturales extremas.

Para mantener este abastecimiento permanente de agua para refrigeración es menester efectuar un análisis de bajantes extraordinarias, velocidad de propagación de la onda de estiaje, frecuencia y duración de la misma en relación con el tipo de toma de agua (circulación forzada, a superficie libre, etc.) y niveles mínimos de sección o tirantes críticos.

2. EL CICLO HIDROLOGICO Y LAS CUENCAS HIDRICAS

Un fenómeno hídrico y cíclico configura una igualdad o balance entre aporte y pérdidas.

$$P = E+R+I$$

Las precipitaciones pluviales (P), bajo la forma de nieve a nivel de cuenca o subcuenca hídrica, son iguales a la suma de la evapotranspiración real anual (E), escorrentía superficial o arrastamiento en superficie anual (R) e infiltración anual (I), que involucra la recarga de los acuíferos o aguas subterráneas.

La evapotranspiración comprende la fracción del agua que luego de una precipitación retorna a la atmósfera en forma de vapor. Está constituida por dos procesos que resultan muy difíciles de separar en el momento de realizar el balance hídrico: evaporación y transpiración. El primero se refiere a la tasa neta de vapor que se incorpora a la atmósfera a partir de superficies de agua y es función de la naturaleza de dichas superficies y de factores meteorológicos, en tanto que la transpiración se debe al agua que, absorbida por las raíces de las plantas, es devuelta también como vapor. Es decir que la evaporación puede considerarse como un proceso puramente "físico" en tanto que la transpiración es un efecto "biológico".

La escorrentía superficial corresponde al volumen de agua que avanza sobre la superficie de la tierra hasta alcanzar un canal, entendiéndose por canal cualquier depresión que pueda transportar una pequeña corriente de agua durante la lluvia y a lo largo de un período corto de tiempo después de su terminación. Puede resultar un elemento importante en la formación de los picos de las crecientes.

La infiltración es el movimiento de agua a través de la superficie del suelo hacia el interior de la tierra. Los intersticios más gruesos captan agua por medio de la acción de la gravedad mientras que los pequeños lo hacen por capilaridad.

El movimiento del agua en las distintas fases del ciclo hidrológico es errático tanto desde el punto de vista espacial como tem-

poral. Las mayores crecientes o bajantes deben ser razonablemente conocidas, dado los efectos perjudiciales de ambos extremos.

El análisis de crecidas debe estar fundado en un profundo conocimiento de las características naturales y artificiales de la cuenca o subcuenca de captación.

Entre las características naturales cabe mencionar la pendiente, morfología, drenajes, aspectos hidráulicos del cauce y del valle inundable mientras que en lo referente a los imputables a la acción del hombre sobre la naturaleza deben tenerse en cuenta embalses, diques, polderizaciones que reduzcan la capacidad de almacenaje del valle inundable, terraplenes, etc.

3. COTAS O NIVELES DE REFERENCIA

Todas las referencias de nivelación en la República Argentina están relacionadas con el cero correspondiente al "nivel de aguas medias de Mar del Plata" o cero establecido por el Instituto Geográfico Militar y vinculado con la red de nivelación y triangulación nacional así como con aquellas de países limítrofes.

Por otra parte en el año 1889 adoptóse el cero de la escala del mareógrafo del Riachuelo como "cero normal" para todas las nivelaciones nacionales; este horizonte se supone coincidente con el "nivel de aguas bajas ordinarias" del Río de la Plata y está situado a 19,0081 m debajo de la estrella central del peristilo de la Catedral Metropolitana (Fig. 1) y su relación con el cero de Mar del Plata es:

$$0_{(\text{Riachuelo})} = - 0,554 \text{ m del } 0 \text{ (IGM)}$$

El criterio general para países con litoral marítimo es el de adoptar como cero de referencia el nivel de aguas medias correspondiente a uno de sus puertos mientras que un país mediterráneo suele relacionarse y adoptar un cero de referencia vinculado con el de un país vecino con cuencas hídricas comunes o bien al plano de niveles mínimos al que rinden tributos sus cuencas sin salida al mar.

Por otra parte debe tenerse en cuenta que cada estación de aforo refiere sus registros a un cero local correspondiente a la escala del limnómetro instalado en la misma, debiendo tenerse en cuenta que dicha escala puede haber sido destufada en algún momento por acción de las crecidas o de otros factores. En estos casos la nue-

va regla instalada rara vez coincide con la anterior debiendo entonces contemplarse esta alteración cuando se analizan los registros históricos provenientes de ellas.

3.1 Instrumental para medir distintos eventos hidrológicos o meteorológicos

Para realizar un estudio hidrológico es necesario contar con datos y registros confiables sistemáticos y extendidos en el tiempo y en el espacio.

Los pluviómetros o pluviógrafos deben estar distribuidos racionalmente de acuerdo a las características físicas y meteorológicas de la cuenca. El método de Thiessen al tener en cuenta la falta de uniformidad en la distribución geográfica de lluvia, da a cada pluviómetro un factor de ponderación acorde con el área y características del entorno de cada estación meteorológica.

Los limnímetros, hidrógrafos y mareógrafos permiten medir altura o caudales de agua mientras que los olígrafos registran altura y frecuencia de olas.

En la Figura 2 está representada la curva de calibración de una estación de aforo provista de limnímetros (regla fija) que permite determinar caudales en función de la altura de agua en secciones estables del río. El caudal o gasto (Q) depende de la velocidad media (v) de los filetes líquidos y la sección (s) que a su vez es función de la altura o tirante (h).

$$Q \left(\frac{m^3}{seg} \right) = v \left(\frac{m}{seg} \right) \cdot s \left(m^2 \right); s = f(h)$$

En ríos aluviales para una determinada altura existen por lo menos dos caudales o velocidades medias que difieren considerablemente. La curva en lazo de la Figura 2 representa estos valores extremos determinados en bajantes y crecientes. Sin embargo cuando el río aluvial se acerca a un estuario, por acción de pleamares y bajamares, desaparece toda relación entre tirantes de agua y caudales llegando a invertirse periódicamente el sentido del flujo de agua. Cuando las variaciones de nivel diarias son significativas o bien cuando se suceden con frecuencia crecientes o estiajes pronunciados, en cortos lapsos, es necesario contar con mediciones o registros continuos (hidrógrafos, mareógrafos, etc.) mientras que los limnímetros o hidrómetros sólo permiten identificar unos pocos niveles diarios. Estas últimas consideraciones son válidas también para evaluar correctamente niveles en la alta montaña donde los

nivógrafos al registrar alturas de nieve (o equivalentes en agua) sirven para pronosticar crecientes o futuras disponibilidades de agua en la cuenca.

Del número de estaciones meteorológicas en relación con la superficie de la cuenca y de las estaciones hidrométricas ubicadas a lo largo de un río dependerá en gran parte la precisión de los resultados. Sin embargo en algunas amplias cuencas, con baja densidad de población o recursos se cuenta algunas veces con un sólo pluviómetro, mareógrafo y otro instrumental de medición. En estos casos resulta lógico valerse de una sola fuente de información, pero, cabe recordar que no es admisible atribuir a los resultados obtenidos una certidumbre incompatible con la realidad, generalizando o extrapolando resultados más allá de prudentes límites.

4. EVENTOS CAUSANTES DE INUNDACIONES O SITUACIONES QUE IMPORTAN RIESGO SOBRE INSTALACIONES COSTERAS

4.1 Lluvias, Nieve, Granizo

Las crecidas de los ríos de montaña o aluviales son provocadas por las precipitaciones pluviales o nivales. Cuando durante un ciclo hidrológico cualquiera, la época de deshielo tiene una elevada probabilidad de coincidir con la época de precipitaciones máximas en la alta cuenca, los caudales módulos del río presentan un sólo período de máximas, mientras que, cuando están desplazados ambos fenómenos meteorológicos, aparecen dos crecientes anuales. Por lo expuesto es conveniente hacer un tratamiento separado de las causas, midiendo en la alta cuenca precipitaciones pluviales y nivales así como otros parámetros meteorológicos determinantes de la esorrentía final (temperatura, presión, albedo, etc.). Las grandes crecientes, desbordan el cauce e invaden el valle inundable; la velocidad de propagación de la onda y caudales máximos dependerán de las características topográficas, naturales y artificiales: embalses, plantaciones, pérdidas de infiltración y aportes de afluentes.

Los embalses suelen tener capacidad para regular grandes cre-

cidas pero incrementan la velocidad de propagación de la onda principal.

En los últimos estadios de un río aluvial, en cambio, los embalses pueden tener efectos reguladores con crecidas importantes pero frente a una creciente extrema suelen agudizar el pico máximo en secciones situadas aguas abajo de los mismos.

La operación de los embalses, distribución de aguas para riego, generación de energía, etc. antes y durante la creciente son factores y posibilidades de regulación que deben tenerse en cuenta. Cuando la central nuclear está ubicada sobre el vaso o lago artificial la cota de coronamiento del dique fija la cota de inundación mientras que aguas abajo la capacidad máxima del vertedero o aliviaderos condicionan caudales máximos. Las guías recomiendan además analizar la posibilidad de roturas de presas. En este caso será necesario sumar a los caudales máximos causantes de las roturas el volumen acumulado en el vaso.

Las inundaciones tipo (IT) más graves, deben ser calculadas a partir de (Guía SG-S 10 A):

- "Inundación máxima probable debido a las precipitaciones"
- "Inundaciones debidas a la liberación repentina del contenido de embalses naturales o artificiales"
- "Inundaciones debidas a una combinación adecuada de sucesos que no necesariamente incluya el suceso causante de la inundación más grave en cada uno de los casos"

4.2 Borrascas o Ciclones. Huracanes. Tornados. Maremotos

La circulación de vientos en torno a un centro de baja presión genera las borrascas o ciclones. El radio de acción de estos fenómenos es grande y puede permanecer estacionario o evolucionar en determinadas direcciones y sentidos.

Reciben el nombre de huracanes las borrascas tropicales con vientos de más de 100 km/h. La presión en el centro de un huracán es muy baja. Un fuerte gradiente de presión entre el vórtice y el contorno caracteriza este tipo de fenómeno.

Los tornados centrados siempre sobre reducidas áreas y con formas visibles semejantes a gigantes embudos compuestos por agua condensada tienen también un efecto devastador. También existe una gran diferencia de presión entre el centro y el contorno. Cuando un tornado pasa por encima de un edificio la presión en el interior desciende bruscamente provocando la violencia explosiva que despierta partes estructurales u objetos voluminosos a grandes distancias.

Los maremotos o tsunamis son olas gigantes producidas por terremotos o explosiones volcánicas.

De acuerdo a las guías antes mencionadas "el huracán máximo probable (HMP) es un huracán hipotético cuya combinación de características lo harán el más grande, desde el punto de vista de las inundaciones que pueden razonablemente producirse en una determinada región". "El huracán se aproxima al punto en cuestión a lo largo de un camino crítico y con velocidad de desplazamiento crítica".

4.2.1 Olas y Mareas

Se distinguen dos tipos de olas o bien ondas marinas; las que reconocen como causa inmediata la acción del viento, denominadas "olas forzadas", y las "olas libres" u oscilaciones del nivel del mar que no reconocen como origen inmediato la acción del viento.

Las olas pueden llegar a tener más de 14 m y en algunos casos han sido medidas olas producidas por el viento de 20 m de altura. La clasificación más común las ordena a partir de mar calmo (0 m), mar rizado (0,10 m), marejadilla (0,5 m) hasta llegar a mar enorme (más de 14 m).

Una ola de maremoto puede llegar a 30 m de altura y progresar a velocidades de más de 600 km/h.

Las olas al llegar a la costa disipan gran parte de su energía sobre barrancas o estructuras costeras. Esta energía es proporcional al cuadrado de la altura y está vinculada también con el período o longitud de onda, es decir a su nivel de propagación. La forma o inclinación del plano costero que recibe el embate de la onda tiene gran influencia en la disipación de esta energía. La ac-

ción destructora de las olas es mayor en penínsulas, mientras que sobre los golfos la atenuación es notoria.

Las mareas son oscilaciones periódicas (de largo período) provocada por la atracción lunar y solar. Son movimientos de flujo y reflujo predecibles pero que por distintas circunstancias pueden ser alterados.

En los estuarios con poca profundidad el efecto de marea es prácticamente nulo; sin embargo, la propagación de las mareas oceánicas produce también cíclicas pleamares y bajamares que se atenuan al alejarse de las aguas profundas.

En los cálculos de máxima altura de agua en un determinado emplazamiento deben tenerse en cuenta la superposición de todos los fenómenos descritos. Por ejemplo deben considerarse las máximas olas registradas como si hubieran ocurrido simultáneamente con las mayores mareas comprobadas.

5. METODOS PARA CALCULAR INUNDACIONES O FENOMENOS HIDRICOS EXTREMOS

5.1 Análisis de Registros Máximos y Mínimos Históricos

En el litoral marítimo los registros de mareas, altura y frecuencia de olas y corrientes litorales así como otros eventos correlacionables son indispensables para iniciar todo estudio de emplazamiento.

El análisis ordenado de máximos y mínimos niveles de agua en un determinado lugar de una cuenca así como de las causas que los originaron permite determinar cotas extremas, duración de las inundaciones, velocidad de propagación, etc.

En la Figura 3 se aprecia un registro de máximas y mínimas anuales sin establecerse aún el origen de cada pico. En este caso particular cabría distinguir entre crecidas o bajantes producidas por la lluvia en la alta cuenca o vientos sobre el estuario ya que se trata de un emplazamiento en un área de plena transición entre régimen fluvial (pluvio-nival) y régimen de estuario (mareas-vientos).

Todo análisis histórico debe estar precedido de un estudio de consistencia de la información como así también de una evaluación de la calidad de los datos debiendo descartarse aquellas estaciones que por una u otra razón no resultaran confiables.

Es imprescindible además recopilar toda otra información histórica que pueda reunirse y que esté vinculada con la cuenca bajo estudio tales como fotos aéreas de grandes crecidas, registros pluviométricos y de vientos, modificaciones geomorfológicas del lecho del río, etc.

Finalmente y considerando que lo que se pretende es obtener una proyección futura es necesario analizar aquellos factores naturales o inducidos que pudieran contribuir a la alteración del comportamiento actual de la cuenca. Entre los primeros, con miras a predecir la futura tendencia del cauce, deben considerarse los fenómenos de erosión y de sedimentación a partir de relevamientos y mediciones hidráulicas efectuadas con anterioridad.

Entre los factores inducidos son especialmente importantes los relacionados con endicamientos, polderización, embalses y obras de aprovechamiento múltiple.

Por último, el incremento de la navegación modificará también el comportamiento sedimentológico de las vías fluviales.

5.2 Métodos Determinísticos

En el diseño de estructuras vitales tales como vertederos de embalses, donde la seguridad de toda la obra depende de su capacidad para evacuar el caudal de crecidas extraordinarias se utilizan métodos determinísticos.

"Método determinístico es aquel que tiene la mayoría de sus parámetros o valores que pueden justificarse por relaciones físicas y son definibles matemáticamente". Los modelos matemáticos o modelos determinísticos representan fenómenos o procesos reales por medio de fórmulas algebraicas y operaciones lógicas que se traducen en programas para computación.

Los modelos determinísticos poseen bases subjetivas y no tienen recurrencia en el tiempo. Deben estar avalados por profesionales experimentados y con conocimientos o antecedentes en la cuenca hídrica.

A través de la maximización de todos los parámetros que influyan puede hallarse un valor extremo de inundación llamado "inundación máxima probable" el cual se obtiene por lo general a partir de la "precipitación máxima probable".

La Guía SG-S 10A da las siguientes definiciones:

"La inundación máxima probable (IMP) es una inundación hipotética (caudal, volumen y forma del hidrograma máximo) que se considera la más grave razonablemente posible basándose en la combinación desde el punto de vista hidrometeorológico de la precipitación máxima probable y de otros factores hidrológicos favorables para la máxima escorrentía de la crecida, tales como tempestades seguidas de fusión de las nieves".

"La precipitación máxima probable (PMP) determina el nivel estimado para una duración, cuenca de captación y época del año determinados tal que no existe virtualmente riesgo alguno de que sea excedido. Es, para una duración y cuenca de captación determinada, aproximadamente el máximo físicamente posible dentro de los límites de los conocimientos y técnicas hidrometeorológicas actuales".

Estos valores son, por lo tanto, cotas límites siendo casi imposible alcanzarlas en condiciones normales o incluso extremas, pero deben emplearse en el diseño de aquellas instalaciones en las cuales una falla puede constituir una catástrofe ya sea debida a la pérdida de vidas humanas o a la magnitud de los daños materiales producidos.

El cálculo de los eventos máximos probables debe ser realizado no sólo a partir de condiciones naturales extremas sino que también se deben tener en cuenta otros factores tales como la posible rotura de embalses.

5.3 Métodos estadísticos basados en el análisis de frecuencias máximas y mínimas

Un caudal o una altura de agua máxima o mínima definida como el mayor o menor evento de un año o ciclo hidrológico, puede ser considerado como una variable aleatoria continua e ilimitada cuya distribución estadística se ajusta a una determinada función probabilística.

El análisis de frecuencias busca asignar a cada caudal o altura máxima o mínima una probabilidad (p) de ser igualada o excedida en un año cualquiera. El período de retorno (Tr) y la probabilidad son recíprocos:

$$p = \frac{1}{Tr}$$

Si se confecciona un histograma se observa que el mismo presenta una marcada asimetría positiva no resultando adecuado el ajuste dado por una curva normal, debiendo seleccionarse la ley que mejor se adapte a cada caso particular dado que no existe ninguna de aplicación universal.

Entre las funciones de distribución más empleadas pueden mencionarse: la ley de Galton o log-normal que es simplemente la clásica función de Gauss con una transformación logarítmica en abscisas; las leyes de valores extremos tipo I y tipo II conocidas como de Gumbel y de Fréchet respectivamente que brindan aproximaciones asintóticas; la ley log-Pearson o tipo III de la cual la función de Galton puede considerarse como caso particular.

En todos los casos suelen efectuarse las representaciones gráficas en papel especial de manera de que la función resulte una recta, facilitando así la extrapolación, la cual siempre debe ser medida y limitada debiéndose también así interpretarse los resultados. Por supuesto resulta condición imprescindible la correcta coincidencia entre la función teórica y los puntos experimentales debiendo trazarse siempre los intervalos de confianza que permitan evaluar la bondad del ajuste. Con respecto a este punto tampoco hay un acuerdo unánime al respecto existiendo varios criterios que dan intervalos diferentes.

En la Fig. 4 se muestra, para una estación hidrométrica y numerosos valores de máximos anuales, el ajuste de dos leyes: Fréchet y Gumbel, mientras que en la Fig. 5 se exponen curvas que, para distintas estaciones hidrométricas situadas a lo largo del Paraná de las Palmas, permiten predecir alturas de aguas en relación con sus respectivos períodos de recurrencia. Puede observarse para Buenos Aires la gran influencia de los vientos del norte o sudeste que, al incidir sobre el Río de la Plata, provocan bajantes o avenidas importantes.

Los registros de las estaciones hidrométricas analizados (Buenos Aires, Campana, Zárate, etc.) cubren lapsos comprendidos entre 60 y 100 años; habiendo realizado un análisis relativo a la confiabilidad y calidad de cada serie de registros es aceptable la extrapolación hasta cubrir períodos de retorno de 1000 años. También deben demostrarse que la ley se ajusta bien, tanto a máximos como a mínimos, pudiendo resultar que en cada uno de ambos casos deba utilizarse una función teórica distinta.

Para el caso de bajantes extremas se muestra en la Fig. 6 un ajuste según la ley de Gumbel para tres meses diferentes.

En este caso es importante contar con algún método que permita efectuar pronósticos acerca de los niveles o caudales mínimos probables aguas abajo en base a los valores medidos en una o más estaciones de aforo aguas arriba y a ciertas condiciones de contorno. De esta forma se pueden tomar las precauciones necesarias en la operación de la central nuclear frente a un evento de esta naturaleza.

5.4 Métodos o Análisis Estocástico

En estadística los conceptos aleatorio y estocástico son sinónimos, sin embargo en hidrología este último término adquiere otra dimensión refiriéndose a series en el tiempo que son parcialmente aleatorias. En hidrología probabilística, según se dijo, sólo interesa la probabilidad de que un evento sea igualado o excedido sin contemplar su secuencia temporal, en cambio en hidrología estocástica el ordenamiento cronológico de los eventos es primordial.

Su aplicación conduce a modelos matemáticos del tipo de las llamadas cadenas de Markov las cuales permiten generar, por medio de una computadora, series de tiempo que difieren de la observada pero que conservan varias de sus propiedades estadísticas.

Las ecuaciones empleadas contienen términos determinísticos tales como el valor medio y el coeficiente de autocorrelación de la serie observada y términos aleatorios que siguen la función de distribución que mejor se adapte al registro histórico. Además cada valor generado en la serie sintética es función de los precedentes. De esta manera a partir de un conjunto de condiciones iniciales puede simularse el comportamiento del sistema durante lapsos muy extensos (miles de años).

La hidrología estocástica es fundamental para diseños de estructuras o decisiones de tipo operacional (cómo debe operarse, por ejemplo, un embalse). Si suponemos que los eventos futuros tendrán las mismas propiedades estocásticas que los eventos conocidos del pasado y además estamos en condiciones de prever la demanda de riesgo, electricidad, etc., puede entonces ser indicado un método estocástico.

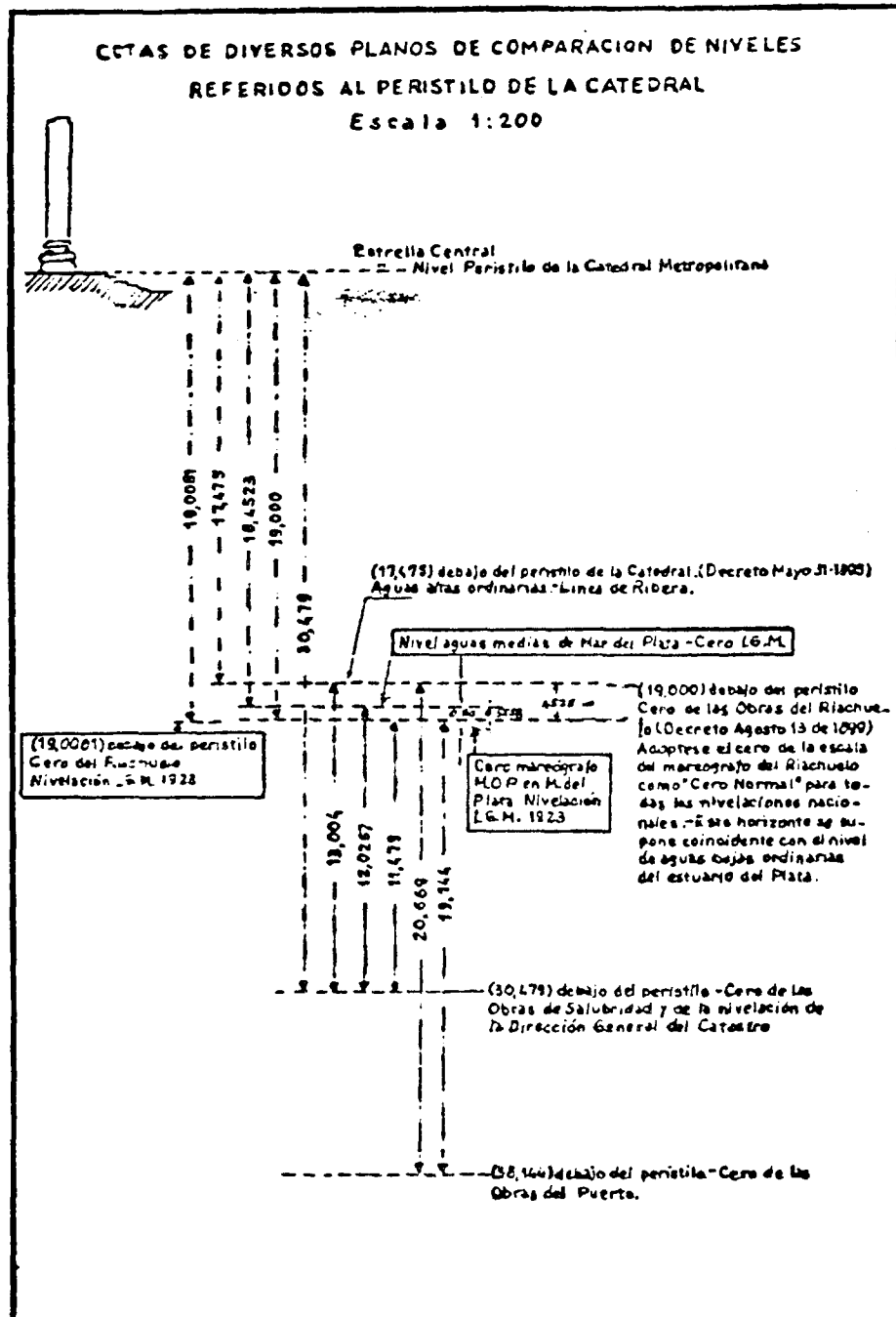
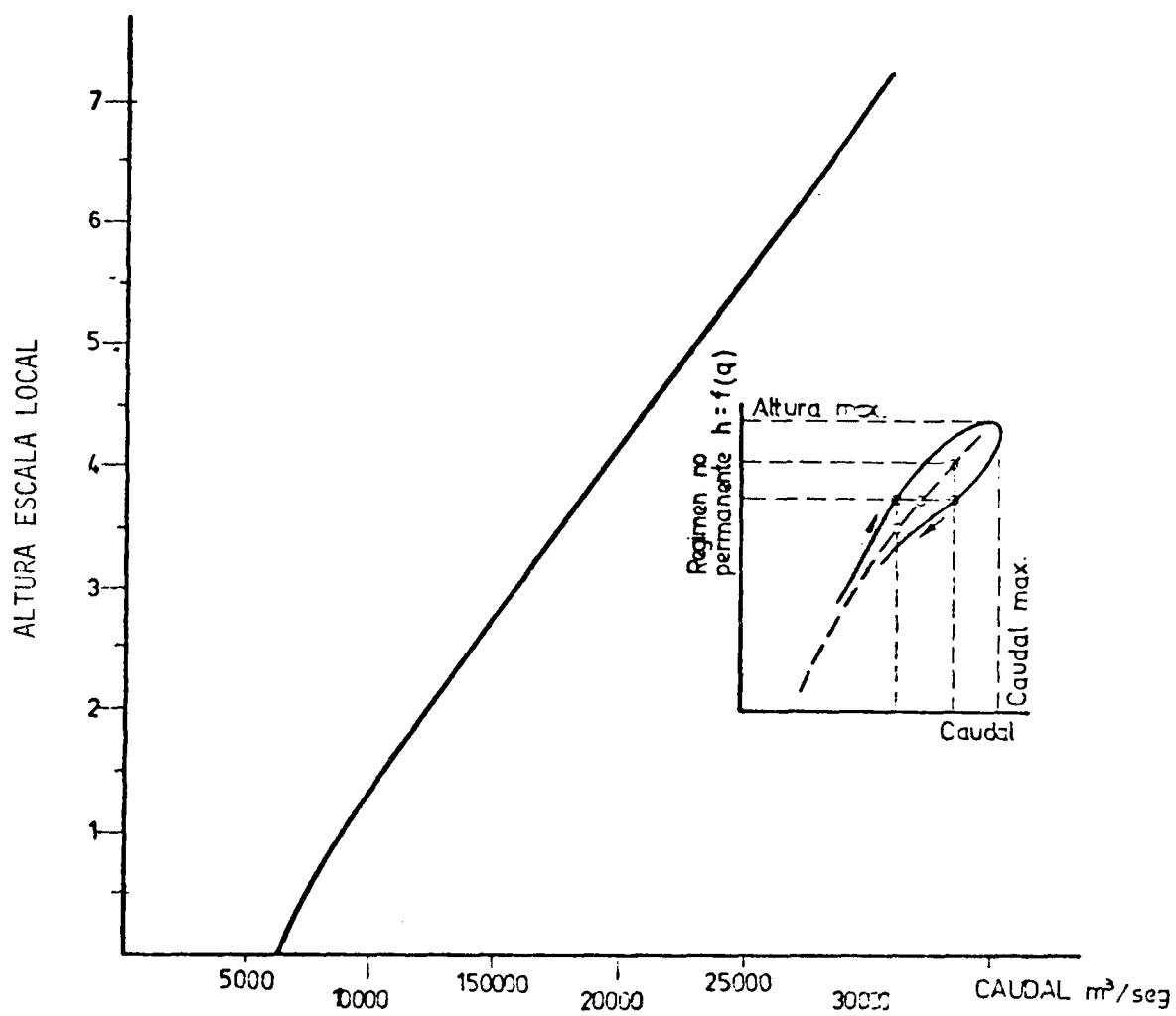


FIGURA 2

Curva de calibración en la estación de aforo de la ciudad de Corrientes. Río Paraná. Relación alturas-caudales



RELACION ALTURAS Y CAUDALES-CORRIENTES

FIGURA 3

Registro histórico de máximas y mínimas anuales
en dos estaciones hidrométricas

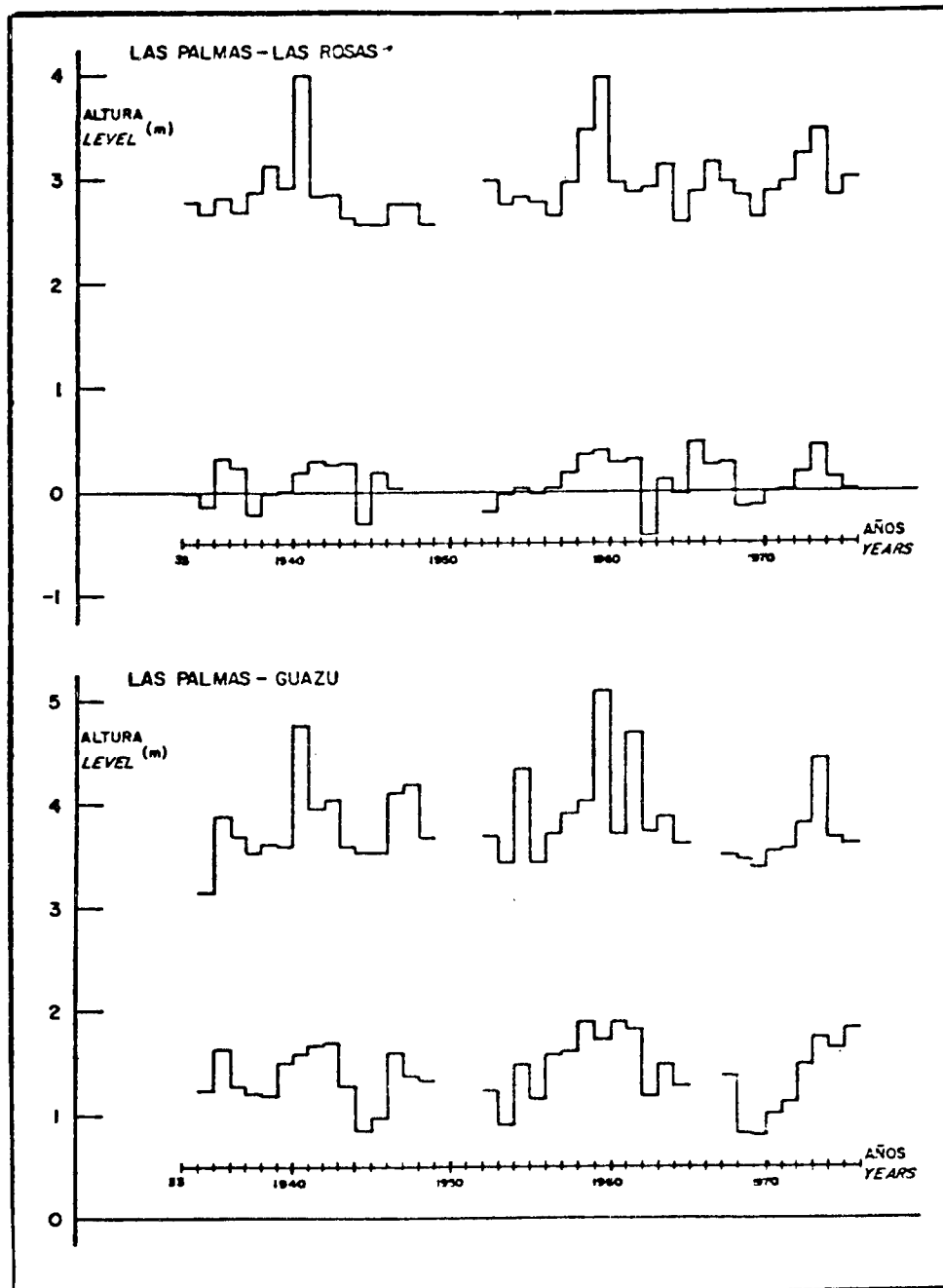


FIGURA 4

Relación entre altura de aguas (máximas anuales) en una estación hidrométrica y probabilidad o período de retorno con ajustes, según ley de Frechet y Gumbel

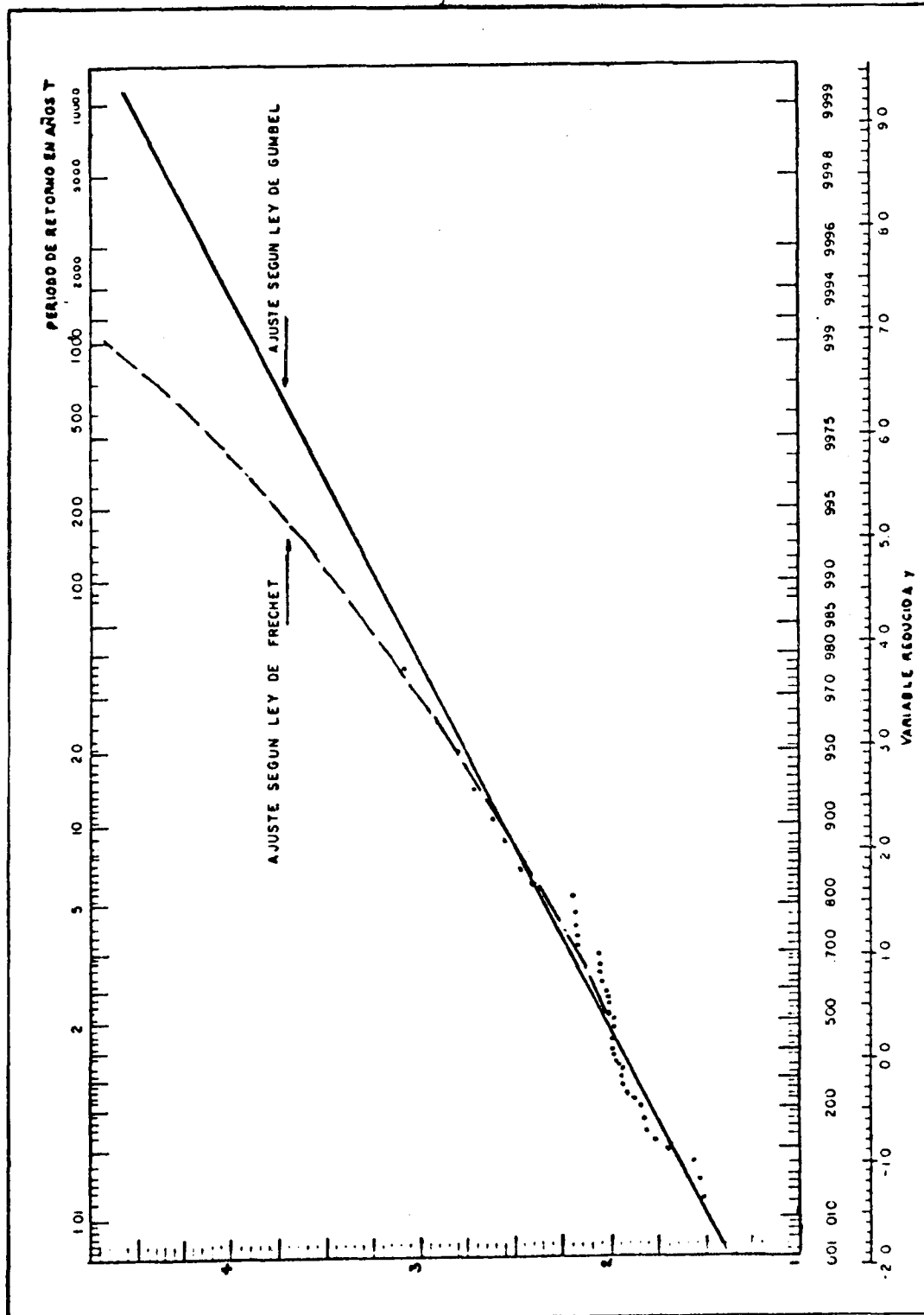


FIGURA 5

Alturas máximas y mínimas anuales en distintas estaciones hidrométricas de un río aluvial en función del período de retorno

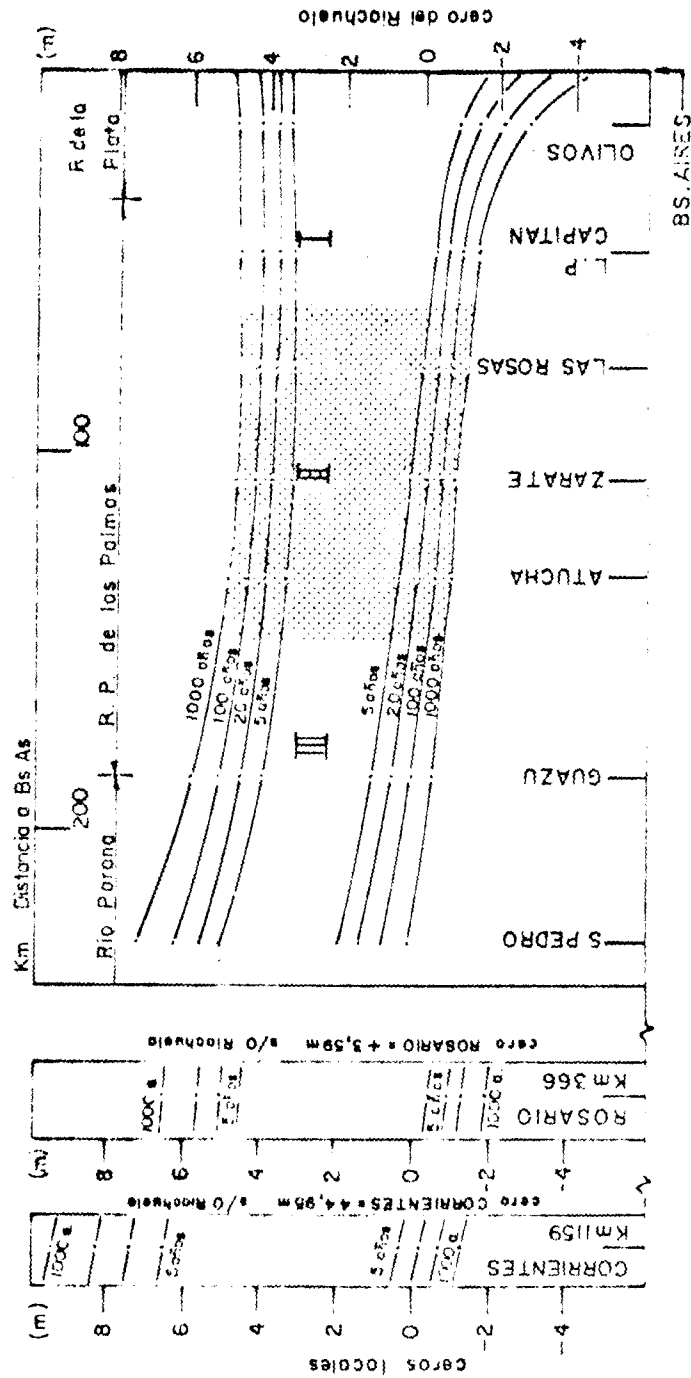
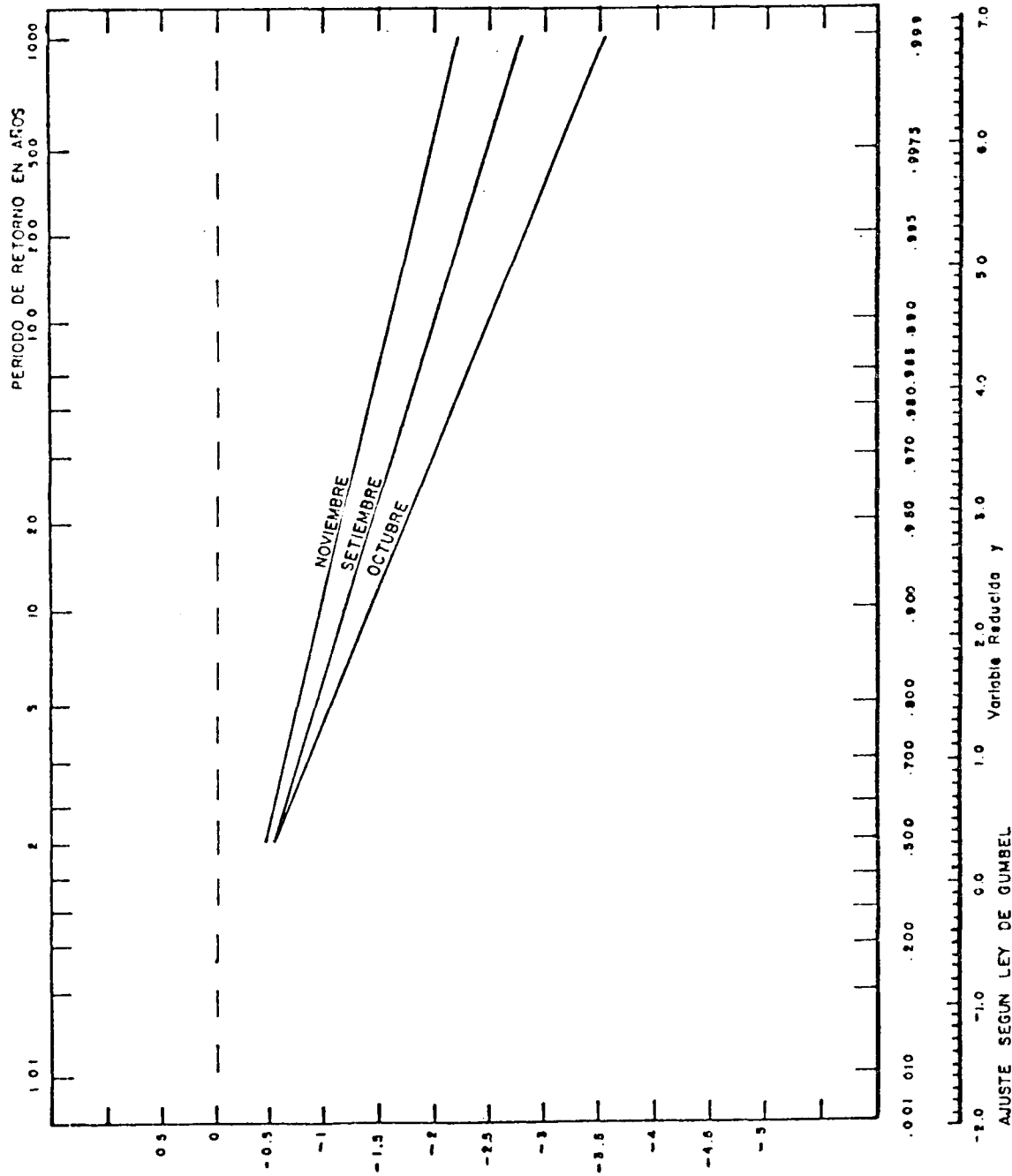


FIGURA 6

Ajuste según ley de Gumbel (Mínimas mensuales)



BIBLIOGRAFIA

- 1 - Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). "Proyecto de Fomento Agrícola en el Delta del Paraná". Nedeco. La Hava, Países Bajos (1962)
- 2 - Balay Mariano. "El Río de la Plata entre la atmósfera y el mar". R.A. Servicio de Hidrografía Naval Bs.As. (1961).
- 3 - E. Bustamante. "Estudio de la Crecida Máxima Probable. Cuenca Superior del Río Paraná". Instituto Nacional de Ciencias y Técnicas Hídricas, INCYTH, (1975).
- 4 - Motor Columbus y Asociados. "Estudio de Crecidas Ríos Paraná y Paraguay" Entidad Binacional Yaciretá (1981).
- 5 - R.K. Lindsley, M.A. Kohler, J.L.H. Paulus. "Hidrología para Ingenieros". MC Graw Hill (1977).
- 6 - United Nations. "Assessment of the magnitude and frequency of flood flows. Transactions of a Inter-regional seminar". Water Resources Research Series N° 30 (1967).
- 7 - E.J. Gumbel. "Méthodes grafiques pour L'analyse des débits de crue". La Houille Blanche N° 5 (1956).
- 8 - World Metrological Organization (WMO). "Manual of estimation of probable maximum precipitation N° 1 (1970).
- 9 - World Metrological Organization (WMO). "Applications of Hidrology to water resources management" (1973).
- 10 - Organismo Internacional de Energía Atómica. "Seguridad en el emplazamiento de centrales nucleares". Código de práctica 50-C-S (1979).
- 11 - Organismo Internacional de Energía Atómica. "Determinación de inundaciones tipo en el caso de centrales nucleares emplazadas junto a ríos". Guía de seguridad 50-SG-S10A.