Ing. Rómulo García E.
5/-01

MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS
INSTITUTO DE ASUNTOS INTERAMERICANOS
FONDO COMUN - RIEGO
PLAN CHILLAN

Estudio Hidrológico de los Ríos Diguillín - Chillán y Ñuble

(ANEXO CAPITULO V)

SANTIAGO - CHILE
1957

574919 ARTES Y LETRAS

MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS
INSTITUTO DE ASUNTOS INTERAMERICANOS
FONDO COMUN - RIEGO
PLAN CHILLAN

Estudio Hidrológico de los Ríos Diguillín - Chillán y Ñuble

(ANEXO CAPITULO V)

SANTIAGO - CHILE
1957

574919 ARTES Y LETRAS

I N D I C E

A) MATERIAS

B) GRAGICOS

ANEXO DEL CAPITULO VII

RECURSOS DE AGUA EN EL CAMINO LONGITUDINAL

A) SEGURIDAD DE RIEGO

I) Generalidades

a) Datos Generales

Número de años de la estadística:	N
Número de segundos del mes:	S
Gasto entregado en el mes de máximo consumo (en: m3/seg):	Q
Entrega (demanda) en un mes (en: m3/seg):	$k_n Q$
Entrega (demanda) en un mes (en: m3):	$S k_n Q$
Aportes en (m3/seg):	A
Volúmen (capacidad) del embalse (en: m3/seg):	V
Seguridad de riego (en: %):	p

Criterio de falla:

1° Se considera "malo" un año en que, en un mes dado, el déficit del mes es superior a (en: m3/seg): $S\alpha_n Q$

2° Se considera "malo" un año en que el déficit total de la temporada de riego es superior a (en: m3/seg): $S\beta Q$

3° Los años restantes son "buenos" (no fallan)

La seguridad de riego, para ciertos valores de (Q) y (V) se define como la razón entre el número de años "buenos" y el número total de años (N). Se acostumbra indicar la seguridad en tanto por ciento.

La sóla definición de (p) basta para darse cuenta que (p) varía en forma discontinua, siendo el valor de esta discontinuidad : 100/N%

De aquí fluye que, manteniendo uno de los datos (Q) o (V), y haciendo variar el otro dentro de ciertos límites, de modo que ningún año "bueno" pase a "malo" ni a la inversa, el valor de (p) no variará. Lo lógico será buscar una pareja de valores (Q) y (V) que esté justo en el límite de modo que, variando un poco uno de ellos, la seguridad cambie bruscamente en (100/N%); y asignarle a esta pareja la seguridad promedio entre los valores obtenidos.

En esta forma, la seguridad mayor que podríamos obtener, para un par de valores (Q) y (V) sería: (100-1/2 . 100/N = 100-50/N) que, para valores grandes de (N) se acerca a 100%. Por otra parte podemos encontrar parejas de valores (Q) y (V) que según la estadística de (N) años, ofrecen una seguridad de 100%, yaque todos los años serían buenos. Como siempre hay posibilidades, aunque remotas, que se produzcan años con menor disponibilidad que el año mas seco de la estadística y el embalse no se llene, jamás podremos afirmar que en ciertas condiciones la seguridad de riego es de 100%. Teóricamente, sólo para Q=0, la seguridad será 100 De aquí se deduce que, al obtener seguridades cercanas al 100%, estos valores son inseguros.

Lo mismo podrá demostrarse para seguridades cercanas al cero por ciento. En este caso el valor teórico de (Q) que da (p = 0%) será igual a infinito.

Para suavizar las curvas p = f (Q) resultantes, hemos analizado los dos procedimientos siguientes.

1° Si dibujamos para un valor dado de (V) las seguridades en función de los gastos (Q) usando el papel "Loragrítmico-probabilidades" (abscisas: deformadas según la frecuencia de errores; ordenadas: escala logarítmica) observamos que la curva resultante es prácticamente una recta. Aceptando que p = f(Q) es una recta, resulta que: cualquiera que sea el parámetro (V), estas rectas deben ser paralelas. En efecto: debido a que la seguridad debe aumentar siempre, al crecer el volúmen del embalse, las rectas no podrán cortarse y en consecuencia serán paralelas entre si. Hemos dibujado los datos en papel "Logarítmico-probabilidades" y las rectas obtenidas resultaron convergentes, lo que indica que la representación por rectas es improcedente.

2° Al dibujar estos mismos datos en papel "Probabilidades" de Allen Hazen (en que la escala de ordenadas en natural, manteniendose la de las abscisas) obtendremos una curva que para valores de (p) cercanos a 100% es asintótica a cero, y para valores de (p) cercanos a 0% es asintótica a una recta inclinada. La aplicación de este procedimiento nos llevó a asimilar las curvas a hipérbolas, que coincidieron en forma satisfactoria con los puntos calculados. Por la razón expuesta hemos preferido este segundo método.

El procedimiento de suavización de curvas indicado, nos obliga a estudiar el comportamiento de los embalses, partiendo de valores dados de sus capacidades (V). Estos cálculos de regulación (de volúmenes embalsados o deficit de agua a fin de cada mes, dados los aportes del río y las demandas de riego), resultaron más laboriosas, que aquellos en que se parte de valores dados de (Q), y el mayor trabajo se compensa con la facilidad para suavizar las curvas resultantes.

b) <u>Subíndices</u>

Usaremos los subíndices: 1,2,.....n,.....7, y 8 para designar respectivamente, los datos de los meses: septiembre, octubre... (n)....marzo y abril. Con el subíndice: o, indicaremos los datos del conjunto de los meses de mayo a agosto.

c) <u>Datos</u>

El aporte de un mes de la temporada de riego será (SA_n)m3 y él de la temporada de invierno (mayo a agosto) : (SA_o). En consecuencia los valores (A_n) son los gastos medios mensuales y (A_o) la suma de los gastos medios mensuales de mayo a agosto inclusives.

Como condición inicial aceptaremos que los embalses se encuentran llenos a principios de la temporada de riego. Esto justifica, ya que las escasas posibilidades de ubicación de embalses, reduce sus capacidades de modo que éstas son sólo una fracción del aporte de las hoyas.

Para el valor de (S), que en rigor es de 2,630 millones de segundos por mes, aceptaremos: 2,6 que tiene una diferencia de un 1% con el anterior. Esta diferencia equivale a una compensación entre las lluvias que caen directamente al embalse en la temporada de riego y la evaporación durante este período.

Los consumos de cada mes de la temporada de riego, en función del consumo máximo de diciembre, son los valores (k_n). En el cuadro siguiente figuran los valores de (k_n) que hemos adoptado.

Mes:	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	SUMA
k_n	0,22	0,66	1,00	1,00	1,00	0,80	0,60	0,30	5,58

Para determinar los valores (α_n) del primero de los criterios de falla, aceptaremos lo siguiente: Los perjuicios que produce un déficit en un mes dado, son más importantes en los primeros meses de la temporada de riego. Consideramos que un déficit de (a) % del consumo del mes máximo, produce entre septiembre y enero un perjuicio tal que el año debe estimarse "malo". El déficit en uno de los últimos meses de la temporada de riego (marzo o abril) carece practicamente de importancia en la estimación de la seguridad de riego, y por tanto podremos aceptar que en estos meses el déficit puede llegar a la totalidad de la demanda (Sk_7Q) y (Sk_8Q). Para febrero tomaremos el promedio entre enero y marzo: $(0{,}01\ a\ SQ + Sk_7Q)/2$

Este promedio de febrero, para ($k_7 < 0{,}01a$), resulta inferior al deficit aceptable de los meses iniciales, por lo que en este caso, aceptaremos para febrero, el mismo deficit de los meses anteriores.

Los deficits aceptables divididos por (SQ) dan valores de (α_n) del cuadro siguiente:

Con $k_7 \geq 0{,}01a$

Mes	Set. a Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	SUMA
n	0,01a	$1/2(0{,}01a+k_7)$	k_7	k_8	$(0{,}055a+3/2k_7+k_8)$

Con $k_7 \leq 0{,}01a$

Mes	Set. a Feb.	Mar.	Abr.	SUMA
n	0,01a	k_7	k_8	$(0{,}06a+k_7+k_8)$

Para (a) hemos adoptado 15% de modo que: $(0{,}01 \cdot 15 < 0{,}60)$ con lo que tendremos:

Mes	Set. a Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	SUMA
n	0,15	0,375	0,60	0,30	2,025

El valor de (β) del segundo criterio de falla, se determina en función del porcentaje (b) del consumo total, que será igual al deficit total máximo aceptable. De aqu

$$S\beta Q = 0{,}01b\ \Sigma(Sk_nQ)$$
$$\beta = 0{,}01b\ \Sigma k_n$$

Para (b) hemos aceptado el valor: 10% con lo que:

$$\beta = 0{,}01 \cdot 10 \cdot 5{,}58$$
$$\beta = 0{,}558$$

De la definición de (α_n) y (β) se desprende que, si: $\beta \geq \Sigma_1^8 \alpha_n$

no podremos aplicar (jamás) el segundo criterio, y las fallas se produciran exclusivamente de acuerdo con el primero de ellos. En nuestro caso, $(0{,}558 < 2{,}025)$ y se podrán presentar fallas de acuerdo con ambos criterios.

Podemos formar el siguiente cuadro resúmen:

Mes	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.
k_n	0,22	0,66	1,00	1,00	1,00	0,80	0,60	0,30
α_n	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,375	0,60	0,30
$kn-\alpha_n$	0,07	0,51	0,85	0,85	0,85	0,425	0,00	0,00

Para facilitar los cálculos subsiguientes nos conviene, tabular los valores de las sumas de (k_n) entre dos meses dados, ya que estas sumas son proporcionales a los consumos entre estos meses. Además interesa la diferencia de estas sumas con (β).

Suma de $(k_n) = \Sigma k_n$

Desde / Hasta	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.
Set.	0,22							
Oct.	0,88	0,66						
Nov.	1,88	1,66	1,00					
Dic.	2,88	2,66	2,00	1,00				
Ene.	3,88	3,66	3,00	2,00	1,00			
Feb.	4,68	4,46	3,80	2,80	1,80	0,80		
Mar.	5,28	5,06	4,40	3,40	2,40	1,40	0,60	
Abr.	5,58	5,36	4,70	3,70	2,70	1,70	0,90	0,30

$\Sigma k_n - \beta$

Desde: / Hasta:	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb,	Mar.	Abr.
Set	(-0,338)							
Oct.	0,322	0,102						
Nov.	1,322	1,102	0,442					
Dic.	2,322	2,102	1,442	0,442				
Ene.	3,322	3,102	2,442	1,442	0,442			
Feb.	4,122	3,902	3,242	2,242	1,242	0,242		
Mar.	4,722	4,502	3,842	2,842	1,842	0,842	0,042	
Abr.	5,022	4,802	4,142	3,142	2,142	1,142	0,342	(-0,258)

Además es conveniente formar un cuadro semejante con las sumas de los gastos mensuales de cada año, que son proporcionales a los aportes.

II PROCEDIMIENTO TEORICO

a) Entregas sin embalse

Por no existir embalses tendremos: V=0. Estudiaremos cada año de la estadística en la siguiente forma:

1°) Aplicaremos el primer criterio de falla, o sea: el año puede ser "bueno" si en todos los meses el deficit es igual o inferior a ($\alpha_n SQ$). Por no haber embalses el deficit es la diferencia entre las demandas y los aportes del mes:

$$k_n SQ - SA_n \leq \alpha_n SQ$$
$$Q_{\alpha n} \leq \frac{A_n}{k_n - \alpha_n}$$

Entre todos los valores ($Q_{\alpha n}$) elegiremos el menor que será:

$$Q_{\alpha} = (Q_{\alpha n})\ \mathrm{min}$$

Cabe hacer presente que en los meses en que ($k_n - \alpha_n$) es nulo (marzo y abril por definición) cualquier valor de (Q), por grande que sea, no produce fallas, según este criterio; y por lo tanto, no debemos considerar estos meses en el cálculo de ($Q_{\alpha n}$).

Para determinar ($Q_{\alpha n}$) formamos la tabla de todos los valores $A_n/(k_n - \alpha_n)$, excluyendo marzo y abril. En la última columna anotamos para cada año el cuociente mínimo que será (Q_α).

2°) Para verificar el segundo de los criterios de falla, buscamos los meses en que, entregando un gasto máximo (Q_α), falta agua. En estos meses los aportes (SA_n) son menores que las demandas ($k_n SQ_\alpha$), o sea:

$$\frac{A_n}{k_n} < Q_\alpha$$

Será conveniente formar la tabla de valores A_n/k_n, agregando en la última columna el valor (Q_α) ya calculado. Por simple inspección del cuadro, seleccionamos los meses con deficit.

Para que el año sea "bueno" el deficit total debe ser inferior a (βSQ). Como el deficit total es la suma de los deficit de cada uno de los meses en que ($A_n/k_n < Q_\alpha$). será:

$$\Sigma(k_n SQ - SA_n) \leq \beta SQ$$
$$Q_\beta \leq \frac{\Sigma A_n}{\Sigma k_n - \beta}$$

Si ($Q_\beta \geq Q_\alpha$) el valor definitivo de (Q) límite es (Q_α).

3°) Si ($Q_\beta < Q_\alpha$), el segundo criterio fija el gasto límite, y repetimos el punto 2° del cálculo reemplazando (Q_α) por (Q_β).

Encontramos en esta forma el valor límite de (Q) que hace "fallar" el a o en estudio.

b) Volúmen máximo del embalse

El aporte de invierno de un año (SA_o) más el posible remanente (R) del año anterior, deberá ser superior al volúmen (V) del embalse, para que éste se encuentre lleno a principios de la temporada de riego.

$$SA_o + R \geq V$$

Si tomamos el valor mínimo de (A_o) y suponemos nulo el remanente, obtendremos como valor máximo del embalse:

$$V_{max} = (A_o)_{min}$$

En el caso que el embalse no entregue agua en septiembre obtendríamos análogamente:

$$V_{max} = S(A_o + A_1 - k1Q)_{min}$$

Obtenido el embalse máximo, o es el valor de (V/S) máximo, fijaremos los valores de (V/S) con que calcularemos los (Q) limites. Fijaremos los valores (V/S) de modo que obtengamos cinco o seis puntos equidistantes.

c) Regulación con embalse

Al existir embalses grandes, los déficit se acumularán en los últimos meses de la temporada de riego y por tanto será más probable que las fallas se produzcan de acuerdo con el segundo criterio. Por tanto, buscaremos el gasto limite conforme al segundo criterio de falla y comprobamos si este gasto es compatible con el primer criterio.

El procedimiento de cálculo empleado se basa en una inspección visual del cuadro de valores (A_n/k_n) calculado según el parrafo anterior, y en dos hechos fundamentales, que son: Al aumentar el gasto máximo de entrega, las fechas en que se producen los deficit maximos acumulados se desplazan hacia el final de la temporada de riego; y las fechas en que el embalse comienza a suministrar agua, hacia el principio de ella.

Para que el deficit acumulado aumente en cierto mes, los aportes de este mes deben ser inferiores a sus demandas:

$$SA_n < Sk_nQ$$

$$Q > \frac{A_n}{k_n}$$

De aquí se desprende que, observando el cuadro de valores (A_n/k_n) podemos indicar inmediatamente, entre que valores debe variar (Q) para que el deficit máximo acumulado se produzca en un cierto mes.

El embalse suplirá el riego a partir de un mes, si los aportes de este mes son inferiores a sus demandas:

$$SA_n < Sk_nQ$$

$$Q > \frac{A_n}{k_n}$$

También en este caso, con sólo examinar el cuadro de valores (A_n/k_n) podemos indicar entre que valores de fluctuar (Q) para que el embalse trabaje (comience a entregar su reservas) a partir de un cierto mes.

Una vez anotadas estas dos series de valores limites de (Q), supondremos conocidas la fecha en que comienza a trabajar el embalse y la que corresponde al deficit máximo total. La condición limite exige que el deficit máximo sea igual a ($S\beta Q$). Como el deficit, cambiado de signo es igual a la diferencia entre el volúmen del embalse mas los aportes y las demandas, tenemos:

$$-S\beta Q = V + \Sigma(SA_n) - \Sigma(k_nSQ)$$

$$Q \leq \frac{V/S + \Sigma A_n}{\Sigma k_n - \beta}$$

en que la suma se extiende a todos los meses, del período comprendido entre el principio del trabajo del embalse y el momento del deficit máximo.

El valor de (Q) obtenido nos permite corregir (si es necesario) las fechas en que comienza a entregar el embalse y en que se produce la falla máxima. Si se producen correcciones de fechas bastará con aplicar nuevamente la fórmula entre los nuevos meses limites.

Este procedimiento puede tener un tropiezo, y es el caso en que los valores (A_n/k_n) bajan para en seguida aumentar y volver a bajar. En este caso, para un (Q) dado el embalse, según el cuadro (A_n/k_n) tiene dos fechas distintas para comenzar su trabajo. Habrá un valor de (Q) límite en que el embalse comienza a trabajar en un mes, se vuelve a llenar exactamente en uno de los meses siguientes, para volver a comenzar su trabajo posteriormente. Para los efectos de nuestro cálculo, con valores de (Q) superiores a este limite el embalse trabajo desde el primero de los meses indicados y con (Q) inferior al limite, en el segundo de ellos. Encontraremos el valor limite de este (Q), que vuelve a llenar el embalse, buscando el mes en que supondremos que rebalse nuevamente (el de mayor A_n/k_n). Conocidos los meses entre los que el embalse baja de nivel para volver a realsar, igualamos los aportes con las demandas de estos meses de modo que:

$$\Sigma SA_n = \Sigma Sk_nQ$$

$$Q = \frac{\Sigma A_n}{\Sigma k_n}$$

Tenemos una aplicación de esta fórmula en el cálculo correspondiente al río Chillán en el año 1941. (parrafo III-b-3).

Una vez encontrado el valor limite de (Q) que hace fallar el embalse según el segundo criterio, debemos verificar el primer criterio. A fin de comprobar simultáneamente el segundo criterio calculamos para cada mes el volúmen que queda en el embalse. Este será igual al volúmen que quedaba a principios del mes mas los aportes y menos las demandas.

$$V_{final} = V_{inicial} + SA_n - Sk_nQ$$

Para simplificar los cálculos hemos dividido esta ecuación por la constante (S):

$$(V/S)_{final} = (V/S)_{inicial} + A_n - k_nQ$$

El cuadro respectivo nos indica a fin de cada mes el volúmen que guarda el embalse. Si este volúmen resulta negativo tendremos un deficit, que anotamos en columna aparte. La diferencia (positiva) de los deficit de mes a mes nos dará los deficit que se producen en cada mes. En la columna de los deficit totales comprobamos el valor mayor que debe ser igual a (βQ); y en la de los deficit mensuales comprobamos que estos sean inferiores o iguales a $(\alpha_n Q)$.

Si en uno o dos meses el deficit mensual es superior a $(\alpha_n Q)$, debemos aplicar el segundo criterio.

Se nos presenta ahora dos casos distintos

1° El mes que falló es el primer mes en que se producen deficits.

En este caso determinamos un nuevo (Q) de modo que el deficit mensual de este mes sea exactamente igual a $(\alpha_n Q)$. Oo sea:

$$-\alpha_n SQ = V + \Sigma SA_n - \Sigma k_n SQ$$

$$Q = \frac{V/S + \Sigma A_n}{\Sigma k_n - \alpha_n}$$

aquí la suma abarca desde el mes en que comienza a trabajar el embalse hasta el mes en que se produce el primer deficit.

2° El mes que falló no es el primer mes en que se prodicen deficits.

Determinamos el nuevo (Q) de modo que el deficit mensual de este mes sea igual a ($\alpha_n Q$). Por haver deficit de arrastre, el deficit mensual es la diferencia entre las demandas y los aportes del mes:

$$\alpha_n SQ = Sk_n Q - SA_n$$

$$Q = \frac{A_n}{k_n - \alpha_n}$$

(Este valor está en una de las tablas del parrafo anterior).

Obtenido el nuevo valor de (Q) sólo resta comprobar si han variado las fechas en que comienza a trabajar el embalse y en que se producen los deficit peligrosos.

Un caso de aplicación de estas fórmulas está en el estudio del río Chillán correspondiente al año 1955 (parrafos: III-b-3)

Con esto tenemos determinados los valores del gasto limite (Q) que hace fallar un cierto año con un embalse dado (V).

En algunos años en que el aporte de invierno (SA_o) es inferior a la capacidad (V) del embalse, debemos verificar si este se llena. Por seguridad habíamos supuesto que el embalse está vacío al final de la temporada de riego anterior. Si suponemos ademas que el embalse comienza a trabajar en octubre, debe verificarse:

$$V \leqslant SA_o + SA_1 - Sk_1 Q$$

$$V/S \leqslant A_o + A_1 - k_1 Q$$

Análogamente si el embalse trabaja desde noviembre, obtendremos la condición:

$$V/S \leqslant A_o + A_1 + A_2 - (k_1 + k_2)\, Q$$

Si no se cumplen estas condiciones, el embalse no se llenará. El deficit máximo será el total de aportes, desde mayo hasta el mes crítico, menos las demandas del año hasta dicho mes. De aquí deducimos:

$$Q = \frac{Ao + \Sigma A_n}{\Sigma k_n - \beta}$$

Un ejemplo de aplicación está en el estudio de Chillán en el año 1924 (parrafo: III-b-3).

d) <u>Curvas de seguridades</u> .-

Según parrafos (b) y (d) hemos obtenido los gastos limites que hacen fallar un año para distintos valores de (V) o (V/S). Copiamos estos valores en una tabla.

De esta tabla obtenemos otra en que, para cada valor de (V) ordenamos los (Q) de mayor a menor.

Un gasto un poco inferior al (Q) que está en el (m) avo lugar de la lista, producirá una seguridad de riego de (p = 100 m/N %); y un gasto un poco superior a este (Q) dará una seguridad de p = 100 (m-1)/N %.

Por tanto asignaremos al valor de (Q) del (m) avo lugar, la seguridad promedio entre ambos valores.

$$p = 50\ (2m-1)/N\ \%$$

Agregamos al segundo de los cuadros, los valores de (m) y (p).

Debido a que en este estudio tratamos de obtener las seguridades de riego, con los recursos de agua que sólo se miden desde septiembre de 1956 a abril de 1957; y a que hemos demostrado en el capítulo D, sobre extensión de estadísticas, que podemos aceptar la proporcionalidad de gastos entre dos estaciones, procedemos en la siguiente forma:

Los valores de (V) y (Q) de la tabla anterior divididos por la suma de los aportes (ΣA_n) de la temporada de riego de 1956 (septiembre 1956 a abril 1957), nos permite formar el cuadro final de cada río.

Corresponde ahora dibujar los datos del cuadro anterior en papel "Probabilidades" y trazar las curvas suavizadas de las regulaciones correspondientes a cada parámetro ($V/\Sigma A_n$). Al hacer estos trazados tuvimos que considerar también la separación entre las distintas curvas ya que ella debe variar en forma continua.

Finalmente hemos obtenido por interpolación, las curvas de seguridad correspondiente a valores del parámetro espaciados de medio en medio millón.

Si la porporcionalidad entre los gastos de los distintos ríos es rigurosa, los cuadros finales obtenidos para cada uno de ellos deben ser coincidentes.

III APLICACION

En lo que sigue se aplicarán los métodos indicados para los ríos Diguillín, Chillán y Ñuble. No se anotará la totalidad de los cálculos, sino exclusivamente los que sean necesarios para formarse una idea de los que exigen las regulaciones.

a) Río Diguillín en Atacalco

1) Datos

Para la regulación del río Diguillín en Atacalco se usaron los datos corregidos y que se obtuvieron en el capítulo (II-a-1) del anexo del párrafo: D "Rendimiento de la hoya y comparación de estadísticas" (a pesar de tener un exceso de cifras, que no corresponde a la aproximación de las medidas). En el citado capítulo figuran los datos corregidos de Atacalco hasta abril de 1956.

Los datos de gastos medios mensuales del río Diguillín en San Lorenzo, a partir de mayo de 1956 son:

Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.
1956	-	-	-	-	26,0	8,6	45,5	20,5	11,6	15,9	14,1	6,0
1957	3,2	2,4	2,0	1,8	-	-	-	-	-	-	-	-

Según el capítulo del anexo, ya indicado, estos datos deben amplificarse por 1,0513 para obtener los correspondientes a Atacalco. Así obtendremos la siguiente estadística completa del río Diguillín en Atacalco.

Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.
1946	-	-	-	-	14,2	16,2	41,3	21,2	32,5	18,6	24,7	14,1
1947	4,7	3,0	2,6	2,2	6,6	30,9	21,7	19,2	14,4	20,8	11,5	7,0
1948	4,8	3,7	3,0	13,9	17,1	28,8	39,2	14,7	61,0	32,8	21,9	14,2
1949	7,2	5,2	7,1	4,5	68,0	55,7	13,1	8,9	6,8	7,7	4,7	5,2
1950	5,5	2,8	2,4	13,1	47,7	36,9	21,4	62,3	28,4	21,3	27,4	15,4
1951	18,0	12,6	6,5	4,3	32,2	51,6	61,2	22,9	36,3	19,7	15,6	11,6
1952	7,2	5,8	7,2	4,3	17,3	32,7	32,7	17,2	18,7	15,4	7,0	4,8
1953	5,0	3,8	3,4	4,7	55,0	22,1	34,6	66,6	64,5	21,8	27,4	19,9
1954	11,8	7,0	5,0	6,4	19,2	46,8	47,1	52,7	19,0	19,2	20,2	13,4
1955	6,8	4,3	2,5	2,0	6,9	65,2	9,0	23,4	17,6	16,7	12,3	19,6
1956	19,1	4,1	10,3	21,7	27,3	9,0	47,7	21,6	12,2	16,7	14,8	6,3
1957	3,4	2,5	2,1	1,9	-	-	-	-	-	-	-	-
Suma	93,5	54,8	52,1	79,0	311,5	395,9	369,0	330,7	311,4	210,7	187,5	131,5

Los gastos de septiembre a abril del cuadro anterior son los valores (A_n) del mes, y la suma de los gastos de mayo a agosto nos dará (A_o):

Valores de A

Año Hidrológico	Invierno May. a Ago. A_o	Set. A_1	Oct. A_2	Nov. A_3	Dic. A_4	Ene. A_5	Febl A_6	Mar. A_7	Abr. A_8	Temporada de Riego ^8A_n
1946	92,9	32,5	18,6	24,7	14,1	4,7	3,0	2,6	2,2	102,4
1947	78,4	14,4	20,8	11,5	7,0	4,8	3,7	3,0	13,9	79,1
1948	99,8	61,0	32,8	21,9	14,2	7,2	5,2	7,1	4,5	153,9
1949	145,7	6,8	7,7	4,7	5,2	5,5	2,8	2,4	13,1	48,2
1950	168,3	28,4	21,3	27,4	15,4	18,0	12,6	6,5	4,3	133,9
1951	167,9	36,3	19,7	15,6	11,6	7,2	5,8	7,2	4,3	107,7
1952	99,9	18,7	15,4	7,0	4,8	5,0	3,8	3,4	4,7	62,8
1953	178,3	64,5	21,8	27,4	19,9	11,8	7,0	5,0	6,4	163,8
1954	165,8	19,0	19,2	20,2	13,4	6,8	4,3	2,5	2,0	87,4
1955	104,5	17,6	16,7	12,3	19,6	19,1	4,1	10,3	21,7	121,4
1956	105,6	12,2	16,7	14,8	6,3	3,4	2,5	2,1	1,9	59,9
Suma:	1407,1	311,4	210,7	187,5	131,5	93,5	54,8	52,1	79,0	1120,5

En los cuadros siguientes anotaremos, para cada año, la suma de los valores (A_n) entre los distintos meses.

Año 1946 Sumas de (A_n)

Desde: / Hasta:	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.
Set	32,5							
Oct.	51,1	18,6						
Nov.	75,8	43,3	24,7					
Dic.	89,9	57,4	38,8	14,1				
Ene.	94,6	62,1	43,5	18,8	4,7			
Feb.	97,6	65,1	46,5	21,8	7,7	3,0		
Mar.	100,2	67,7	49,1	24,4	10,3	5,6	2,6	
Abr.	102,4	69,9	51,3	26,6	12,5	7,8	4,8	2,2

Año 1947 Sumas de (A_n)

Desde: / Hasta:	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.
Set.	14,4							
Oct.	35,2	20,8						
Nov.	46,7	32,3	11,5					
Dic.	53,7	39,3	18,5	7,0				
Ene.	58,5	44,1	23,3	11,8	4,8			
Feb.	62,2	47,8	27,0	15,5	8,5	3,7		
Mar.	65,2	50,8	30,0	18,5	11,5	6,7	3,0	
Abr.	79,1	64,7	43,9	32,4	25,4	20,6	16,9	13,9

Año 1948 Suma de (A_n)

Desde: / Hasta:	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.
Set.	61,0							
Oct.	93,8	32,8						
Nov.	115,7	54,7	21,9					
Dic.	129,9	68,9	36,1	14,2				
Ene.	137,1	76,1	43,3	21,4	7,2			
Feb.	142,3	81,3	48,5	26,6	12,4	5,2		
Mar.	149,4	88,4	55,6	33,7	19,5	12,3	7,1	
Abr.	153,9	92,9	60,1	38,2	24,0	16,8	11,6	4,5

Año 1949 Sumas de (A_n)

Desde:		Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.
Hasta:	Set.	6,8							
	Oct.	14,5	7,7						
	Nov.	19,2	12,4	4,7					
	Dic.	24,4	17,6	9,9	5,2				
	Ene.	29,9	23,1	15,4	10,7	5,5			
	Feb.	32,7	25,9	18,2	13,5	8,3	2,8		
	Mar.	35,1	28,3	20,6	15,9	10,7	5,2	2,4	
	Abr.	48,2	41,1	33,7	29,0	23,8	18,3	15,5	13,1

Año 1950 Sumas de (A_n)

Desde:		Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.
Hasta:	Set.	28,4							
	Oct.	49,7	21,3						
	Nov.	77,1	48,7	27,4					
	Dic.	92,5	64,1	42,8	15,4				
	Ene.	110,5	82,1	60,8	33,4	18,0			
	Feb.	123,1	94,7	73,4	46,0	30,6	12,6		
	Mar.	129,6	101,2	79,9	52,5	37,1	19,1	6,5	
	Abr.	133,9	105,5	84,2	56,8	41,4	23,4	10,8	4,3

Año 1951 Sumas de (A_n)

Desde:		Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.
Hasta:	Set.	36,3							
	Oct.	56,0	19,7						
	Nov.	71,6	35,3	15,6					
	Dic.	83,2	46,9	27,2	11,6				
	Ene.	90,4	54,1	34,4	18,8	7,2			
	Feb.	96,2	59,9	40,2	24,6	13,0	5,8		
	Mar.	103,4	67,1	47,4	31,8	20,2	13,0	7,2	
	Abr.	107,7	71,4	51,7	36,1	24,5	17,3	11,5	4,3

Año 1952 Sumas de (A_n)

Desde:		Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.
Hasta:	Set.	18,7							
	Oct.	34,1	15,4						
	Nov.	41,1	22,4	7,0					
	Dic.	45,9	27,2	11,8	4,8				
	Ene.	50,9	32,2	16,8	9,8	5,0			
	Feb.	54,7	36,0	20,6	13,6	8,8	3,8		
	Mar.	58,1	39,4	24,0	17,0	12,2	7,2	3,4	
	Abr.	62,8	44,1	28,7	21,7	16,9	11,9	8,1	4,7

Año 1953 Sumas de (A_n)

Desde Hasta:		Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.
	Set.	64,5							
	Oct.	86,3	21,8						
	Nov.	113,7	49,2	27,4					
	Dic.	133,6	69,1	47,3	19,9				
	Ene.	145,4	80,9	59,1	31,7	11,8			
	Feb.	152,4	87,9	66,1	38,7	18,8	7,0		
	Mar.	157,4	92,9	71,1	43,7	23,8	12,0	5,0	
	Abr.	163,8	99,3	77,5	50,1	30,2	18,4	11,4	6,4

Año 1954 Sumas de (A_n)

Desde Hasta:		Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.
	Set.	19,0							
	Oct.	38,2	19,2						
	Nov.	58,4	39,4	20,2					
	Dic.	71,8	52,8	33,6	13,4				
	Ene.	78,6	59,6	40,0	20,2	6,8			
	Feb.	82,9	63,9	44,7	24,5	11,1	4,3		
	Mar.	85,4	66,4	47,2	27,0	13,6	6,8	2,5	
	Abr.	87,4	68,4	49,2	29,0	15,6	8,8	4,5	2,0

Año 1955 Sumas de (A_n)

Desde Hasta:		Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.
	Set.	17,6							
	Oct.	34,3	16,7						
	Nov.	46,6	29,0	12,3					
	Dic.	66,2	48,6	31,9	19,6				
	Ene.	85,3	67,7	51,0	38,7	19,1			
	Feb.	89,4	71,8	55,1	42,8	23,2	4,1		
	Mar.	99,7	82,1	65,4	53,1	33,5	14,4	10,3	
	Abr.	121,4	103,8	87,1	74,8	55,2	36,1	32,0	21,7

Año 1956 Suma de (A_n)

Desde Hasta:		Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.
	Set.	12,2							
	Oct.	28,9	16,7						
	Nov.	43,7	31,5	14,8					
	Dic.	50,0	37,8	21,1	6,3				
	Ene.	53,4	41,2	24,5	9,7	3,4			
	Feb.	55,9	43,7	27,0	12,2	5,9	2,5		
	Mar.	58,0	45,8	29,1	14,3	8,0	4,6	2,1	
	Abr.	59,9	47,7	31,0	16,2	9,9	6,5	4,0	1,9

2) Entrega sin embalses

Según párrafo (II-a) formamos las tablas de valores: $A_n/(k_n - \alpha_n)$ y A_n/k_n. En la primera de ellas agregamos una columna con los valores (Q_α) según:

$$Q_\alpha = \left(\frac{An}{kn - \alpha n} \right) \min$$

(marzo y abril no se calculan por ser : $kn - \alpha n = 0$)

Valores: $A_n/(kn-\alpha n)$

Año	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Q_α
1946	464	36	29,1	16,6	5,5	7,1	5,5
1947	206	41	13,5	8,2	5,6	8,7	5,6
1948	871	64	25,8	16,7	8,5	12,2	8,5
1949	97	15,1	5,5	6,1	6,5	6,6	5,5
1950	406	42	32	18,1	21,2	29,6	18,1
1951	519	39	18,4	13,6	8,5	13,6	8,5
1952	267	30	8,2	5,6	5,9	8,9	5,6
1953	921	43	32	23,4	13,9	16,5	13,9
1954	271	38	23,8	15,8	8,0	10,1	8,0
1955	251	33	14,5	23,1	22,5	9,6	9,6
1956	174	33	17,4	7,4	4,0	5,9	4,0

En el cuadro siguiente de valores (A_n/k_n) agregamos una columna con (Q_α) que nos servirá para determinar los meses en que se producen fallas de riego con $(Q = Q_\alpha)$. Hemos subrayado estos meses que se caracterizan por: $(A_n/k_n < Q_\alpha)$.

Valores: A_n/k_n

Año	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	Q
1946	148	28,2	24,7	14,1	4,7	3,7	4,3	7,3	5,5
1947	65	32	11,5	7,0	4,8	4,6	5,0	46	5,6
1948	277	50	21,9	14,2	7,2	6,5	11,8	15,0	8,5
1949	31	11,7	4,7	5,2	5,5	3,5	4,0	44	5,5
1950	129	32	27,4	15,4	18,0	15,7	10,8	14,3	18,1
1951	165	29,8	15,6	11,6	7,2	7,2	12,0	14,3	8,5
1952	85	23,3	7,0	4,8	5,0	4,8	5,7	15,7	5,6
1953	293	33	27,4	19,9	11,8	8,7	8,3	21,3	13,9
1954	86	29,1	20,2	13,4	6,8	5,4	4,2	6,7	8,0
1955	80	25,3	12,3	19,6	19,1	5,1	17,2	72	9,6
1956	55	25,3	14,8	6,3	3,4	3,1	3,5	6,3	4,0

Para cumplir con el segundo criterio de falla debe ser:

$$Q_\beta = \frac{\Sigma A_n}{\Sigma k_n - \beta}$$

extendiéndose las sumas a los meses subrayados del cuadro anterior.

Debido a que los meses subrayados son seguidos, podemos obtener (ΣA_n) y $(\Sigma k_n - \beta)$ de los cuadros respectivos. Anotaremos sus valores en el cuadro siguiente en que calculamos (Q_β) que comparamos en seguida con (Q_α), anotando en la columna (Q) el menor valor de éstos.

Año	meses	ΣA_n	$(\Sigma kn - \beta)$	Q_β		Q_α	Q
1946	ene-mar	10,3	1,842	5,6	>	5,5	5,5
1947	ene-mar	11,5	1,842	6,2	>	5,6	5,6
1948	ene-feb	12,4	1,242	10,0	>	8,5	8,5
1949	nov-dic	9,9	1,442				
	feb-mar	5,2	1,400 (Σkn)				

	total:	15,1	2,842	5,3	< 5,5	(5,3)
1950	dic.-abr.	56,8	3,142	18,1	= 18,1	18,1
1951	ene-feb.	13,0	1,242	10,5	> 8,5	8,5
1952	dic.-feb.	13,6	2,242	6,1	> 5,6	5,6
1953	ene.-mar.	23,8	1,842	12,9	< 13,9	(12,9)
1954	ene.-abr.	15,6	2,142	7,3	< 8,0	(7,3)
1955	feb	4,1	0,242	16,9	> 9,6	9,6
1956	ene.-mar.	8,0	1,842	4,3	> 4,0	4,0

Revisamos el cuadro (A_n/kn) en los años en que $Q_\beta < Q_\alpha$, o sea, en 1949, 1953 y 1954.

Observamos que al variar Q respectivamente a 5,3; 12,9; y 7,3 los meses en que se producen fallas no varian, por lo que estos gastos son definitivos.

3) Volúmen máximo del embalse

Del cuadro de valores (A) del río Diguillín en el párrafo (III-a-1) obtenemos $(A_o)_{min} = 78,4$ y según (II-b) el volúmen máximo del embalse será:

$$V_{max} = 2,6 \cdot 78,4 = 203,8 \text{ mill. m3}$$

Para obtener 5 puntos en cada curva p = f (Q) calcularemos con V/S = 0; 20; 40; 60 y 80 lo que corresponde a embalses de 0; 52; 104; 156 y 208 millones de m3 respectivamente. De estos puntos ya hemos determinado los que corresponden a V = 0

En 1947 debemos verificar si el embalse se llena por ser (A_o) menor que $(V/S)_m$

4) Entregas con embalse

Aplicaremos el método expuesto en el párrafo (II -c). Para los años en que omitimos copiar los cálculos, anotaremos solamente el resúmen de los resultados.

Año 1946

Del párrafo 2 obtenemos que, sin embalse, la falla se produce con Q = 5,5 m3/seg. El cuadro (A_n/kn) del párrafo 2, indica que con Q = 5,5 hasta 14,1 el embalse comienza a trabajar (entregar agua - bajar su nivel) en enero por ser ($A_n/kn < Q$). Con Q = 14,1 hasta Q = 24,7 el embalse trabajaría a partir de diciembre.

Del cuadro (A_n/kn) se desprende también que para Q < 7,3 el deficit máximo se produce en marzo, ya que en abril: $A_n/kn = 7,3$. Para Q > 7,3 el deficit máximo se producirá en abril.

Los valores de ΣA_n están en el parrafo 2, y los de ($\Sigma kn - \beta$) en el párrafo (I-c).

V = 52 millones de m3 V/S = 20 m3.-mes/seg

Supondremos que el embalse trabaja desde enero, y que la falla máxima se produce en marzo o abril. En el cuadro siguiente calculamos los gastos (Q) regulados

Entregas en	Falla en	ΣA_n	$V/S+\Sigma A_n$	$\Sigma k_n-\beta$	Q
Enero	Marzo	10,3	30,3	1,842	16,4
Enero	Abril	12,5	32,5	2,142	15,2 (>14,1)

El menos valor de Q es 15,2, pero éste es superior a 14,1, demodo que el embalse comienza a trabajar en diciembre. Rehacemos el cuadro extendiendo las sumas a partir de diciembre (hasta abril por ser Q>7,3).

Entrega en	Falla en	ΣA_n	$V/S+\Sigma A_n$	$\Sigma k_n - \beta$	Q
Diciembre	Abril	26,6	46,6	3,142	14,8 (>14,1 < 24,7)(>7,3)

El valor de Q es 14,8 que está entre 14,1 y 24,7 que son los valores (A_n/k_n) de noviembre y diciembre por lo que el embalse trabajará desde diciembre; y es superior a 7,3 por lo que falla máxima se produce en abril.

Verificamos el primer criterio con Q = 14,8 para lo que calculamos en el cuadro siguiente los valores de (V/S) que tendremos al final de cada mes, y los deficit de riego que se producen.

Mes	V/S inicial	$+A_n$	$-k_nQ$	= V/S final	Deficit total	Deficit mensual
Dic.	20	14,1	14,8	19,3		
Ene.	19,3	4,7	14,8	9,2		
Feb.	9,2	3,0	11,8	0,4		
Mar.	0,4	2,6	8,9	(-) 5,9	5,9	$5,9 < \alpha_7 Q$
Abr.	(-) 5,9	2,2	4,4	(-) 8,1	8,1	$2,2 < \alpha_8 Q$
	20	+26,6	-54,7	= (-) 8,1		$8,1 = \beta Q$

$$\beta Q = 0{,}558 \cdot 14{,}8 = 8{,}2$$
$$\alpha_7 Q = 0{,}60 \cdot 14{,}8 = 8{,}9$$
$$\alpha_8 Q = 0{,}30 \cdot 14{,}8 = 4{,}4$$

Nota No es necesario verificar si los deficit mensuales de marzo y abril son menores que (αQ) porque nunca podremos obtener deficit superiores a estos valores.

Como el embalse no falla según el primer criterio, tenemos en definitiva

Q = 14,8

V = 104 V/S = 40

Suponiendo que el embalse comienza a trabajar en diciembre y sabiendo que el deficit máximo se produce en abril (Q 7,3):

Entrega en	Falla en	ΣA_n	$V/S+\Sigma A_n$	$\Sigma k_n - \beta$	Q	
Diciembre	Abril	26,6	66,6	3,142	21,2	(<24,7)

Mes	V/S inicial	$+A_n$	$-k_nQ$	+ V/S final	Deficit total	Deficit mensual	
Dic.	40	14,1	21,2	32,9			
Ene.	32,9	4,7	21,2	16,4			
Feb.	16,4	3,0	17,0	2,4			
Mar.	2,4	2,6	12,7	(-)7,7	7,7	7,7	$< \alpha_7 Q$
Abr.	(-) 7,7	2,2	6,4	(-)11,9	11,9	4,2	$< \alpha_8 Q$
	40	+26,6	- 78,5	=(-)11,9		11,9	$= \beta Q$

V = 156   V/S = 60

Suponiendo que el embalse entregue agua desde noviembre (24,7 < Q < 28,2):

Entrega en	Falla en	ΣA_n	$V/S + \Sigma A_n$	$\Sigma k_n - \beta$	Q
Noviembre	Abril	51,3	111,3	4,142	26,9 (> 24,7 < 28,2)

Mes	V/S + inicial	A_n −	$k_n Q$	=	V/S final	Deficit total	Deficit mensual	
Nov.	60	24,7	26,9		57,8			
Dic.	57,8	14,1	26,9		45,0			
Ene.	45,0	4,7	26,9		22,8			
Feb.	22,8	3,0	21,5		4,3			
Mar.	4,3	2,6	16,1	(-)	9,2	9,2	9,2	$< \alpha_7$ Q
Abr.	(-)9,2	2,2	8,1	(-)	15,1	15,1	5,9	$< \alpha_8$ Q
	60	+51,3	-126,4	= (-)	15,1		15,1	$= \beta$ Q

No falla:

Q = 26,9

V = 208   V/S = 80

Suponiendo que el embalse comienza a trabajar en noviembre: (Q<28,2)

Entrega en	Falla en	ΣA_n	$V/S + \Sigma A_n$	$\Sigma k_n - \beta$	Q
Noviembre	Abril	51,3	131,3	4,142	31,7 (>28,2)

Por ser Q mayor que 28,2 el embalse comienza a entregar antes de noviembre.

Entrega en	Falla en	ΣA_n	$V/S + \Sigma A_n$	$\Sigma k_n - \beta$	Q
Octubre	Abril	69,9	149,9	4,802	31,2 (>28,2<148

Mes	V/S + inicial	A_n −	$k_n Q$	=	V/S final	Deficit total	Deficit mensual	
Oct.	80	18,6	20,6		78,0			
Nov.	78,0	24,7	31,2		71,5			
Dic.	71,5	14,1	31,2		54,4			
Ene.	54,4	4,7	31,2		27,9			
Feb.	27,9	3,0	25,0		5,9			
Mar.	5,9	2,6	18,7	(-)	10,2	10,2	10,2	$< \alpha_7$ Q
Abr.	(-)10,2	2,2	9,4	(-)	17,4	17,4	7,2	$< \alpha_8$ Q
	80	+ 69,9	= -167,3	=(-)	17,4		17,4	$= \beta$ Q

No falla:

Q = 31,2

Resumen año 1946

V/S	Q
20	14,8
40	21,2
60	26,9
80	31,2

Año 1947

Sin embalse el riego falla con Q =,56. Del cuadro (A_n/k_n) obtendremos que con Q = 5,6 hasta 7,0 el embalse entrega agua al riego a partir de enero; con Q = 7,0 a 11,5 a partir de diciembre y con Q = 11,5 a 32 a partir de noviembre. Para Q = 5,6 hasta 46 la falla máxima se produce en marzo y con Q > 46 en abril.

Debemos verificar si el embalse se llena. (por ser: $A_o < V/S_{max}$)

$V = 52$ $V/S = 20$

Supondremos que el embalse entrega agua a partir de noviembre y falla en marzo.

Entrega en	Falla en	ΣA_n	$V/S+\Sigma A_n$	$\Sigma k_n-\beta$	Q
Noviembre	Marzo	30,0	50,0	3,842	13,0 (>11,5<32) (<46)

Mes	V/S inicial	+ A_n	- $k_n Q$	= V/S final	Deficit total	Deficit mensual
Nov.	20	11,5	13,0	18,5		
Dic.	18,5	7,0	13,0	12,5		
Ene.	12,5	4,8	13,0	4,3		
Feb.	4,3	3,7	10,4	(-) 2,4	2,4	2,4 $<\alpha_6$ Q
Mar.	(-) 2,4	3,0	7,8	(-) 7,2	7,2	4,8 $<\alpha_7$ Q
Abr.	(-) 7,2	13,9	3,9	2,8		
	20	+ 43,9	- 61,1	= 2,8		7,2 = β Q

No falla:

$Q = 13,0$

$V = 104$ $V/S = 40$

Suponiendo que se mantienen las condiciones de funcionamiento del embalse, entrega en noviembre y falla máxima en marzo:

Entrega en	Falla en	ΣA_n	$V/S+\Sigma A_n$	$\Sigma k_n-\beta$	Q
Noviembre	Marzo	30,0	70,0	3,842	18,2 (>11,5<32) (<46)

Mes	V/S inicial	+ A_n	- $k_n Q$	= V/S final	Deficit total	Deficit mensual
Nov.	40	11,5	18,2	33,3		
Dic.	33,3	7,0	18,2	22,1		
Ene.	22,1	4,8	18,2	8,7		
Feb.	8,7	3,7	14,6	(-) 2,2	2,2	2,2 $<\alpha_6$ Q
Mar.	(-) 2,2	3,0	10,9	(-) 10,1	10,1	7,9 $<\alpha_7$ Q
Abr.	(-) 10,1	13,9	5,5	(-) 1,7	1,7	
	20	+ 43,9	- 85,6	=(-) 1,7		10,1 = β Q

No falla:

$Q = 18,2$

$V = 156$ $V/S = 60$

Suponiendo nuevamente que el embalse comienza a trabajar en novimbre y que el deficit máximo se produce en marzo:

Entrega en	Falla en	ΣA_n	$V/S+\Sigma A_n$	$\Sigma k_n-\beta$	Q
Noviembre	Marzo	30,0	90,0	3,842	23,4 (>11,5<32) (<46)

Mes	V/S inicial	+	A_n	$- k_nQ =$		V/S final	Deficit total	Deficit mensual
Nov.	60		11,5	23,4		48,1		
Dic.	48,1		7,0	23,4		31,7		
Ene.	31,7		4,8	23,4		13,1		
Feb.	13,1		3,7	18,7	(-)	1,9	1,9	1,9 $< \alpha_6 Q$
Mar.	(-) 1,9		3,0	14,0	(-)	12,9	12,9	11,0 $< \alpha_7 Q$
Abr.	(-) 12,9		13,9	7,0	(-)	6,0	6,0	
	60	+	43,9	-109,9=	(-)	6,0		12,9 $= \beta Q$

No falla:

$$Q = 23,4$$

V = 208   V/S = 80

Supuestas las mismas condiciones del caso anterior:

Entrega en Noviembre	Falla en Marzo	ΣA_n	$V/S + \Sigma A_n$	$\Sigma k_n - \beta$	Q
		30	110	3,842	28,6 (>11,5< 32) (<46)

Mes	V/S inicial	+	A_n	$- k_n =$		V/S final	Deficit total	Deficit mensual
Nov.	80		11,5	28,6		62,9		
Dic.	62,9		7,0	28,6		41,3		
Ene.	41,3		4,8	28,6		17,5		
Feb.	17,5		3,7	22,9	(-)	1,7	1,7	1,7 $< \alpha_6 Q$
Mar.	(-) 1,7		3,0	17,2	(-)	15,9	15,9	14,2 $< \alpha_7 Q$
Abr.	(-) 15,9		13,9	8,6	(-)	10,6	10.6	
	80	+	43,9	-134,5=	(-)	10,6		15,9 $= \beta Q$

No falla

$$Q = 28,6$$

Comporbamos si el embalse se llena:

$$V < A_0 + A_1 - k_1 Q$$

$$80 < 78,5 + 14,4 - 0,22 \cdot 28,6 \ (= 85,5)$$

¡correcto!

Resumen año 1947

V/S	Q
20	13,0
40	18,2
60	23,4
80	28,6

Años 1948 a 1954

Para estos años anotaremos en el cuadro siguiente, los gastos obtenidos, ya que los cálculos respectivos no ofrecen novedades.

Valores de Q:

Año	V/S = 20	40	60	80
1948	18,5	24,2	29,0	33,8
1949	10,6	15,2	19,6	24,1
1950	24,4	30,0	34,5	38,6
1951	17,3	[illegible]	[illegible]	[illegible]
1952	11,5		16,6	

1953	V/S =	22,3	28,4	33,2	37,3
1954		15,6	21,5	26,4	30,9

<u>Año 1955</u>

Este año falla sin embalse para Q = 9,6. Del cuadro (A_n/k_n) se desprende que con gastos inferiores a 19,6 el embalse tiene dos meses en que podría comenzar a trabajar. Supondremos que Q sea siempre superior a 19,6 de modo que el embalse comienza a trabajar en noviembre o antes. Con Q = 25,3 hasta 80 el embalse entregaría agua a partir de octubre. Con Q superior a 17,2 a inferior a 72 la falla máxima se produce en marzo.

V = 52   V/S = 20

Supondremos entrega en noviembre y falla en marzo:

Entrega en	Falla en	ΣA_n	$V/S + \Sigma A_n$	$\Sigma k_n = \beta$	Q
Noviembre	Marzo	65,4	85,4	3,842	22,2 (>19,6< 25,3) (>17,2< 72)

Mes	V/S inicial	+	A_n	-	k_nQ	=	V/S final	Deficit total	Deficit mensual
Nov.	20		12,3		22,2		10,1		
Dic.	10,1		19,6		22,2		7,5		
Ene.	7,5		19,1		22,2		4,4		
Feb.	4,4		4,1		17,8	(-)	9,3	9,3	9,3 $>\alpha_6$ Q
Mar.	(-) 9,3		10,3		13,3	(-)	12,3	12,3	3,0 $<\alpha_7$ Q
Abr.	(-) 12,3		21,7		6,7		2,7		
	20	+	87,1	-	104,4	=	2,7		12,3 = β Q

Por ser (α_6 Q) menor que el deficit mensual de Febrero, el embalse falla de acuerdo al primer criterio en este mes. Suponiendo que el embalse mantiene sus condiciones de funcionamiento, al reducir Q, es decir, que comienza a entregar agua en noviembre y que la falla mensual se sigue produciendo en febrero aplicamos:

$$Q = \frac{V/S + \Sigma A_n}{\Sigma k_n - \alpha_n}$$

Las sumas se extienden entre los meses indicados (noviembre y febrero). Luego

Q = (20+55,1)/(3,80-0,375) = 21,9 (>19,6 < 25,3) (>17,2 <72)

Mes	V/S inicial	+	A_n	-	k_nQ	=	V/S final	Deficit total	Deficit mensual
Nov.	20		12,3		21,9		10,4		
Dic.	10,4		19,6		21,9		8,1		
Ene.	8,1		19,1		21,9		5,3		
Feb.	5,3		4,1		17,5	(-)	8,1	8,1	8,1 $=\alpha_6$ Q
Mar.	(-) 8,1		10,3		13,1	(-)	10,9	10,9	2,8 $<\alpha_7$ Q
Abr.	(-) 10,9		21,7		6,6		4,2		
	20	+	87,1	-	102,9	=	4,2		10,9 $<\beta$ Q

El embalse no falla en febrero con Q mayor de 21,9 luego:

Q = 21,9

V = 104 , 156 y 208   V/S = 20, 60 y 80

Con estas capacidades de embalses, las fallas ya no se producen según el primer criterio de modo que el cálculo sigue en forma normal.

Por tanto anotaremos los resultados en el cuadro resúmen y omitimos los cálculos .

Resúmen año 1955

V/S	Q
20	21,9
40	27,1
60	31,6
80	36,0

Año 1956

Por no presentarse dificultades, ni novedades en el cálculo copiamos sólo los resultados de los cálculos, omitiendo copiar los cálculos:

V/S	Q
20	11,5
40	17,1
60	22,0
80	26,6

5) Resumen general

Los valores li ites de (Q), que hacen fallar un año obtenidos de parrafos 2 y 4 serán:

Valores de Q (m3/seg)

V/S =	0	20	40	60	80	m3 mes/seg
V =	0	52	104	156	208	mill m3
Año 1946	5,5	14,8	21,2	26,9	31,2	
1947	5,6	13,0	18,2	34,4	28,6	
1948	8,5	18,5	24,2	29,0	33,8	
1949	5,3	10,6	15,2	19,6	24,1	
1950	18,1	24,4	30,0	34,5	38,6	
1951	8,5	17,3	22,1	27,0	31,5	
1952	5,6	11,5	16,6	21,4	25,8	
1953	12,9	22,3	28,4	33,2	37,3	
1954	7,3	15,6	21,5	26,4	30,9	
1955	9,6	21,9	27,1	31,6	36,0	
1956	4,0	11,5	17,1	22,0	26,6	

Ordenamos los valores de (Q) de mayor a menor y calculamos la seguridad de riego según: p = 50 (2m-1)/11

Valores de Q (m3/seg)

m	V = / p(%)	0	52	104	156	208
1	4,5	18,1	24,4	30,0	34,5	38,6
2	13,6	12,9	22,3	28,4	33,2	37,3
3	22,7	9,6	21,9	27,1	31,6	36,0
4	31,8	8,5	18,5	24,2	29,0	33,8
5	40,9	8,5	17,3	22,1	27,0	31,5
6	50,0	7,3	15,6	21,5	26,9	31,2
7	59,1	5,6	14,8	21,2	26,4	30,9

8	68,2	5,6	13,0	18,2	23,4	28,6
9	77,3	5,5	11,5	17,1	22,0	26,6
10	86,4	5,3	11,5	16,6	21,4	25,8
11	95,5	4,0	10,6	15,2	19,6	24,1

Dividiendo los valores del la tabla anterior por la suma de gastos de la temporada de riego de 1956, igual a $\Sigma A = \sum_1^8 A_n = 59,9$, obtendremos:

<u>Valores de $(Q/\Sigma A)$</u>

$V/\Sigma A$ = p %	0,00	0,87	1,74	2,60	3,47 (mill. m3/m3/seg)
4,5	0,302	0,407	0,501	0,576	0,644
13,6	0,215	0,372	0,474	0,554	0,623
22,7	0,160	0,366	0,452	0,528	0,601
31,8	0,142	0,309	0,404	0,484	0,564
40,9	0,142	0,289	0,369	0,451	0,526
50,0	0,122	0,260	0,359	0,449	0,521
59,1	0,093	0,247	0,354	0,441	0,516
68,2	0,093	0,217	0,304	0,391	0,477
77,3	0,092	0,192	0,285	0,367	0,444
86,4	0,088	0,192	0,277	0,357	0,431
95,5	0,067	0,177	0,254	0,327	0,402

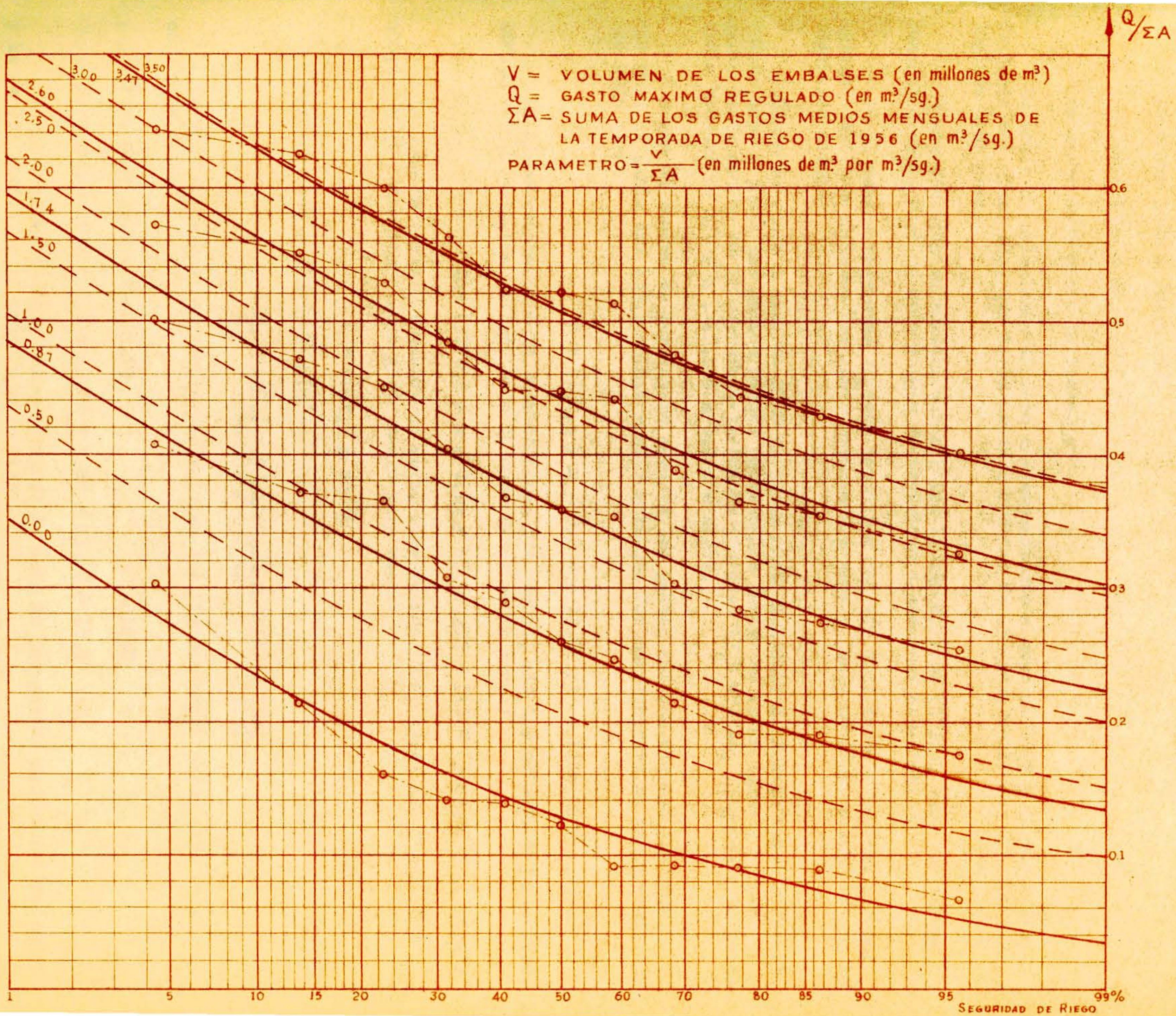
En el gráfico N°1 de la página siguiente, dibujamos en "papel probabilidades" los puntos representativos de las regulaciones que figuran en el cuadro anterior.

En el mismo gráfico hemos trazado las curvas suavizadas para cada uno de los $(V/\Sigma A)$ calculados; y finalmente hemos obtenido, por interpolación, las curvas que corresponden a valores de $(V/\Sigma A)$ espaciados en 0,5.

REGULACION DEL RIO DIGUILLIN EN ATACALCO

GRAFICO Nº 1

(DEL ANEXO DEL CAPITULO V)



b) Río Chillán en Esperanza

1) Datos

La estadística del río Chillán en Esperanza abarca tres períodos:

de marzo 1924 a junio 1925

de junio 1928 a mayo 1930 y

de marzo 1939 hasta la fecha.

Es decir si calculamos el dato correspondiente a mayo de 1928 y corregimos el de junio del mismo año, que corresponde a medidas de 15 días, tendremos 21 años hidrológicos completos.

Hemos incluído en nuestra estadística el año aislado (1924), que, por ser un año sumamente seco, dará un buen margen de seguridad a nuestros estudios.

En el cuadro siguiente figuran los datos del río Chillán en Esperanza y hemos agregado entre paréntesis los que corresponde a mayo y junio de 1928, calculados en la siguiente forma:

Hemos asignado a mayo de 1928 el gasto medio mensual: x. Además hemos supuesto que de mayo a junio los gastos medios quincenales varían en forma lineal; y como el gasto medio medido de la segunda quincena de junio es 17,1 m3/seg, llegamos a un gasto medio mensual de $x/5 + 4 \cdot 17{,}1/5 = 0{,}2\,x + 13{,}68$.

Según el cuadro de gastos, la suma de los gastos del año hidrológico 1928 sin mayo ni junio es: $133{,}1 - 14{,}0 - 16{,}5 = 102{,}6$. Por consiguiente el gasto medio del año 1928 será:

$$A = (102{,}6 + x + 0{,}2\,x + 13{,}68)/12 = (116{,}28 + 1{,}2)/12$$

El mismo cuadro da como suma de todos los gastos, sin los de mayo y junio 1928, $4001{,}0 - 14{,}1 - 16{,}5 = 3970{,}5$. Esto da como gasto medio anual:

$$B = (3970{,}5 + x + 0{,}2x + 13{,}68)/(12 \cdot 21) = (3982{,}38 + 1{,}2x)/252$$

La suma de todos los gastos de mayo, exceptuando 1928, será: $420{,}7 - 14{,}0 = 406{,}7$. Luego obtendremos como gasto medio para mayo:

$$C = (406{,}7 + x)/21$$

Por porporcionalidad obtuvimos:

$$x = \frac{AC}{B} = \frac{(406{,}7 + x)\,(116{,}28 + 1{,}2x)}{(3982{,}38 + 1{,}2\,x)} \cdot \frac{(252}{21 \cdot 12}$$

De aquí obtuvimos los siguientes valores que figuran entre paréntesis en el cuadro de datos:

Para mayo 1928 : $x \approx 13{,}99$ $= 14{,}0$

Para junio 1928 : $0{,}2 \text{ x } 13{,}68 = 2{,}80 + 13{,}68 = 16{,}5$

En el cuadro de datos hemos agregado la suma de los gastos medios de invierno y la de los gastos de la temporada de riego.

Río Chillán en Esperanza

Gastos medios mensuales

	May	Jun	Jul	Ago	Invierno Ao	Set A1	Oct A_2	Nov A_3	Dic A_4	Ene A_5	Feb A_6	Mar A_7	Abr A_7	Temp Riego $\sum_1^8 A_n$	Total $\sum_0^8 A_n$
4	5,8	8,2	10,6	7,5	32,1	6,5	6,5	5,7	4,7	4,3	4,2	4,3	4,9	41,1	73,2
8	(14,0)	(16,5)	30	10,9	71,4	11,5	10,0	7,6	8,4	6,9	7,2	5,3	4,8	61,7	133,1
9	5,6	15,5	20	21	62,1	16,3	16,9	11,4	12,0	8,6	7,0	5,8	7,0	85,0	147,1
9	27	35	22	48	132,0	15,4	29	11,5	9,0	6,9	6,8	5,2	9,5	93,3	225,3
0	59	58	69	23	209,0	14,9	17,5	11,9	14,4	9,4	8,5	7,8	6,1	90,5	299,5
1	24	33	54	71	182,0	22	15,8	26	21	12,9	11,4	9,7	8,1	126,9	308,9
2	15,1	17,4	24	42	98,5	24	22	16,1	10,8	8,7	7,7	6,8	6,1	102,2	200,7
3	18,9	10,8	13,4	13,6	56,7	30	12,8	9,6	8,1	7,0	6,9	5,9	5,6	85,9	142,6
4	13,1	27	20	46	106,1	21	39	21	13,1	11,0	11,8	9,9	10,0	136,8	242,9
5	33	22	28	36	119,0	25	20	24	11,2	8,1	7,0	6,0	4,8	106,1	225,1
6	11,2	11,7	29	13,3	65,2	27	13,3	13,6	9,7	6,2	5,1	4,4	3,9	83,2	148,4
7	4,6	26	19,9	16,0	66,5	13,6	15,5	8,2	6,4	5,4	4,3	3,7	8,9	66,0	132,5
8	12,6	17,4	48	13,7	91,7	38	23	13,5	11,9	9,1	8,7	7,8	6,2	118,2	209,9
9	46	48	15,9	10,5	120,4	7,8	6,7	5,6	5,9	5,3	4,6	5,6	10,4	51,9	172,3
0	33	37	17,7	30	117,7	31	17,1	19,8	13,4	15,2	12,0	8,7	6,7	123,9	241,6
1	15,4	37	39	23	114,4	26	16,6	13,3	11,0	9,6	8,7	8,8	6,8	100,8	215,2
2	14,1	18,3	42	14,6	89,0	14,4	11,1	8,0	6,7	6,8	6,2	5,6	6,3	65,1	154,1
3	32	18,2	27	40	117,2	55	19,1	16,0	12,3	9,9	8,9	7,3	6,5	135,0	252,2
4	11,7	27	33	24	95,7	13,7	12,1	10,8	9,5	8,1	6,8	5,8	5,2	72,0	167,7
5	6,8	30	11,0	14,8	62,6	16,3	12,4	8,8	8,4	10,6	6,4	10,5	10,0	83,4	146,0
6	17,8	11,4	3,9	25	93,2	15,1	14,2	11,7	8,0	6,6	5,5	4,7	3,7	69,5	162,7
a:	420,7	525,4	612,5	543,9	2102,5	445,5	350,6	274,1	215,9	176,6	155,7	139,6	141,5	1898,5	4001,0

En los cuadros siguientes anotaremos, para cada año, la suma de los valores (A_n) entre meses indicados.

Año 1924 Sumas de (A_n)

Desde / ta	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.
Set	6,5							
Oct.	13,0	6,5						
Nov.	18,7	12,2	5,7					
Dic.	23,4	16,9	10,4	4,7				
Ene.	27,7	21,2	14,7	9,0	4,3			
Feb.	31,9	25,4	18,9	13,2	8,5	4,2		
Mar.	36,2	29,7	23,2	17,5	12,8	8,5	4,3	
Abr.	41,1	34,6	28,1	22,4	17,7	13,4	9,2	4,9

Año 1928 Sumas de (A_n)

Desde / ta	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.
Set.	11,5							
Oct.	21,5	10,0						
Nov.	29,1	17,6	7,6					
Dic.	37,5	26,0	16,0	8,4				
Ene.	44,4	32,9	22,9	15,3	6,9			
Feb.	51,6	40,1	30,1	22,5	14,1	7,2		
Mar.	56,9	45,4	35,4	27,8	19,4	12,5	5,3	
Abr.	61,7	50,2	40,2	32,6	24,2	17,3	10,1	4,8

Año: 1929 — Sumas de (A_n)

Desde:	Set	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.
Set.	16,3							
Oct.	33,2	16,9						
Nov.	44,6	28,3	11,4					
Dic.	56,6	40,3	23,4	12,0				
Ene.	65,2	48,9	32,0	20,6	8,6			
Feb.	72,2	55,9	39,0	27,6	15,6	7.0		
Mar.	78,0	61,7	44,8	33,4	21,4	12,8	5,8	
Abr.	85,0	68,7	51,8	40,4	28,4	19,8	12,8	7,0

Año: 1939 — Sumas de (A_n)

Desde:	Set	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.
Set.	15,4							
Oct.	44,4	29						
Nov.	55,9	40,5	11,5					
Dic.	64,9	49,5	20,5	9,0				
Ene.	71,8	56,4	27,4	15,9	6,9			
Feb.	78,6	63,2	34,2	22,7	13,7	6,8		
Mar.	83,8	68,4	39,4	27,9	18,9	12,0	5,2	
Abr.	93,3	77,9	48,9	37,4	28,4	21,5	14,7	9,5

Año: 1940 — Sumas de (A_n)

Desde:	Set	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.
Set.	14,9							
Oct.	32,4	17,5						
Nov.	44,3	29,4	11,9					
Dic.	58,7	43,8	26,3	14,4				
Ene.	68,1	53,2	35,7	23,8	9,4			
Feb.	76,6	61,7	44,2	32,2	17,9	8,5		
Mar.	84,4	69,5	52,0	40,1	25,7	16,3	7,8	
Abr.	90,5	75,6	58,1	46,2	31,8	22,4	13,9	6,1

Año: 1941 — Sumas de (A_n)

Desde:	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.
Set.	22							
Oct.	37,8	15,8						
Nov.	63,8	41,8	26					
Dic.	84,8	62,8	47,0	21				
Ene.	97,7	75,7	59,9	33,9	12,9			
Feb.	109,1	87,1	71,3	45,3	24,3	11,4		
Mar.	118,8	96,8	81,0	55,0	34,0	21,1	9,7	
Abr.	126,9	104,9	89,1	63,1	42,1	29,2	17,8	8,1

Año: 1942 — Sumas de (A_n)

Desde:	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.
Set.	24							
Oct.	46,0	22						
Nov.	62,1	38,1	16,1					
Dic.	72,9	48,9	26,9	10,8				
Ene.	81,6	57,6	35,6	19,5	8,7			
Feb.	89,3	65,3	43,3	27,2	16,4	7,7		
Mar.	96,1	72,1	50,1	34,0	23,2	14,5	6,8	
Abr.	102,2	78,2	56,2	40,1	29,3	20,6	12,9	6,1

<u>Año: 1943</u> <u>Sumas de (A_n)</u>

Desde:	Set	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.
Set.	30							
Oct.	42,8	12,8						
Nov.	52,4	22,4	9,6					
Dic.	60,5	30,5	17,7	8,1				
Ene.	67,5	37,5	24,7	15,1	7,0			
Feb.	74,4	44,4	31,6	22,0	13,9	6,9		
Mar.	80,3	50,3	37,5	27,9	19,8	12,8	5,9	
Abr.	85,9	55,9	43,1	33,5	25,4	18,4	11,5	5,6

<u>Año: 1944</u> <u>Sumas de (A_n)</u>

Desde:	Set	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.
Set.	21							
Oct.	60,0	39						
Nov.	81,0	60,0	21					
Dic.	94,1	73,1	34,1	13.1				
Ene.	105,1	84,1	45,1	24,1	11,0			
Feb.	116,9	95,9	56,9	35,9	22,8	11,8		
Mar.	126,8	105,8	66,8	45,8	32,7	21,7	9,9	
Abr.	136,8	115,8	76,8	55,8	42,7	31,7	19,9	10,0

<u>Año: 1954</u> <u>Sumas de (A_n)</u>

Desde:	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.
Set.	25							
Oct.	45,0	20						
Nov.	69,0	44,0	24					
Dic.	80,2	55,2	35,2	11,2				
Ene.	88,3	63,3	43,3	19,3	8,1			
Feb.	95,3	70,3	50,3	26,3	15,1	7,0		
Mar.	101,3	76,3	56,3	32,3	21,1	13,0	6,0	
Abr.	106,1	81,1	61,1	37,1	25,9	17,8	10,8	4.8

<u>Año: 1946</u> <u>Sumas de (A_n)</u>

Desde:	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.
Set.	27							
Oct.	40,3	13,3						
Nov.	53,9	26,9	13,6					
Dic.	63,6	36,6	23,3	9,7				
Ene.	69,8	42,8	29,5	15,9	6,2			
Feb.	74,9	47,9	34,6	21,0	11,3	5,1		
Mar.	79,3	52,3	39,0	25,4	15,7	9,5	4,4	
Abr.	83,2	56,2	42,9	29,3	19,6	13,6	8,3	3,9

<u>Año: 1947</u> <u>Sumas de (A_n)</u>

Desde:	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.
Set.	13,6							
Oct.	29,1	15,5						
Nov.	37,3	23,7	8,2					
Dic.	43,7	30,1	14,6	6,4				
Ene.	49,1	35,5	20,0	11,8	5,4			
Feb.	53,4	39,8	24,3	16,1	9,7	4,3		
Mar.	57,1	43,5	28,0	19,8	13,4	8,0	3,7	
Abr.	66,0	52,4	36,9	28,7	22,3	16,9	12,6	8,9

Año 1948 Sumas de (A_n)

	Desde:Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.
sta;Set.	38							
Oct.	61,0	23						
Nov.	74,5	36,5	13,5					
Dic.	86,4	48,4	25,4	11,9				
Ene.	95,5	57,5	34,5	21,0	9,1			
Feb.	104,2	66,2	43,2	29,7	17,8	8,7		
Mar.	112,0	74,0	51,0	37,5	25,6	16,5	7,8	
Abr.	118,2	80,2	57,2	43,7	31,8	22,7	14,0	6,2

Año 1949 Sumas de (A_n)

	Desde:Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.
sta:Set.	7,8							
Oct.	14,5	6,7						
Nov.	20,1	12,3	5,6					
Dic.	26,0	18,2	11,5	5,9				
Ene.	31,3	23,5	16,8	11,2	5,3			
Feb.	35,9	28,1	21,4	15,8	9,9	4,6		
Mar.	41,5	33,7	27,0	21,4	15,5	10,2	5,6	
Abr.	51,9	44,1	37,4	31,8	25,9	20,6	16,0	10,4

Año 1950 Sumas de (A_n)

	Desde:Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.
sta:Set.	31							
Oct.	48,1	17,1						
Nov.	67,9	36,9	19,8					
Dic.	81,3	50,3	33,2	13,4				
Ene.	96,5	65,5	48,4	28,6	15,2			
Feb.	108,5	77,5	60,4	40,6	27,2	12,0		
Mar.	117,2	86,2	69,1	49,3	35,9	20,7	8,7	
Abr.	123,9	92,9	75,8	56,0	42,6	27,4	15,4	6,7

Año 1951 Sumas de (A_n)

	Desde:Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.
sta:Set.	26							
Oct.	42,6	16,6						
Nov.	55,9	29,9	13,3					
Dic.	66,9	40,9	24,3	11,0				
Ene.	76,5	50,5	33,9	20,6	9,6			
Feb.	85,2	59,2	42,6	29,3	18,3	8,7		
Mar.	94,0	68,0	51,4	38,1	27,1	17,5	8,8	
Abr.	100,8	74,8	58,2	44,9	33,9	24,3	15,6	6,8

Año 1952 Sumas de (A_n)

	Desde:Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.
sta:Set.	14,4							
Oct.	25,5	11,1						
Nov.	33,5	19,1	8,0					
Dic.	40,2	25,8	14,7	6,7				
Ene.	47,0	32,6	21,5	13,5	6,8			
Feb.	53,2	38,8	27,7	19,7	13,0	6,2		
Mar.	58,8	44,4	33,3	25,3	18,6	11,8	5,6	
Abr.	65,1	50,7	39,6	31,6	24,9	18,1	11,9	6,3

Año: 1953 — Sumas de (A_n)

	Desde: Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.
Hasta: Set.	55							
Oct.	74,1	19,1						
Nov.	90,1	35,1	16,0					
Dic.	102,4	47,4	28,3	12,3				
Ene.	112,3	57,3	38,2	22,2	9,9			
Feb.	121,2	66,2	47,1	31,1	18,8	8,9		
Mar.	128,5	73,5	54,4	38,4	26,1	16,2	7,3	
Abr.	135,0	80,0	60,9	44,9	32,6	22,7	13,8	6,5

Año: 1954 — Sumas de (A_n)

	Desde: Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.
Hasta: Set.	13,7							
Oct.	25,8	12,1						
Nov.	36,6	22,9	10,8					
Dic.	46,1	32,4	20,3	9,5				
Ene.	54,2	40,5	28,4	17,6	8,1			
Feb.	61,0	47,3	35,2	24,4	14,9	6,8		
Mar.	66,8	53,1	41,0	30,2	20,7	12,6	5,8	
Abr.	72,0	58,3	46,2	35,4	25,9	17,8	11,0	5,2

Año: 1955 — Sumas de (A_n)

	Desde: Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.
Hasta: Set.	16,3							
Oct.	28,7	12,4						
Nov.	37,5	21,2	8,8					
Dic.	45,9	29,6	17,2	8,4				
Ene.	56,5	40,2	27,8	19,0	10,6			
Feb.	62,9	46,6	34,2	25,4	17,0	6,4		
Mar.	73,4	57,1	44,7	35,9	27,5	16,9	10,5	
Abr.	83,4	67,1	54,7	45,9	37,5	26,9	20,5	10,0

Año: 1956 — Sumas de (A_n)

	Desde: Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.
Hasta: Set.	15,1							
Oct.	29,3	14,2						
Nov.	41,0	25,9	11,7					
Dic.	49,0	33,9	19,7	8,0				
Ene.	55,6	40,5	26,3	14,6	6,6			
Feb.	61,1	46,0	31,8	20,1	12,1	5,5		
Mar.	65,8	50,7	36,5	24,8	16,8	10,2	4,7	
Abr.	69,5	54,4	40,2	28,5	20,5	13,9	8,4	3,7

2) Entregas sin embalse

Como en el caso de la aplicación al río Diguillín formamos el cuadro siguiente, en que hemos subrayado el valor mínimo de cada año, que está copiado en la columna (Q_α

Valores: $A_n/k_n - \alpha_n$)

Año	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Q_α
1924	93	12,7	6,7	5,5	5,1	9,9	5,1
1928	164	19,6	8,9	9,9	8,1	16,9	8,1
1929	233	33	13,4	14,1	10,1	16,5	10,1
1939	220	97	13,5	10,6	8,1	16,0	8,1
1940	213	34	14,0	16,9	11,1	20	11,1
1941	314	31	31	25	15,2	27	15,2
1942	343	43	18,9	12,7	10,2	18,1	10,2
1943	429	25	11,3	9,5	8,2	16,2	8,2
1944	300	76	25	15,4	12,9	28	12,9
1945	357	39	28	13,2	9,5	16,5	9,5
1946	386	26	16,0	11,4	7,3	12,0	7,3
1947	194	30	9,6	7,5	6,4	10,1	6,4
1948	543	25	15,9	14,0	10,7	20	10,7
1949	111	13,1	6,6	6,9	6,2	10,8	6,2
1950	443	34	23	15,8	17,9	28	15,8
1951	371	33	15,6	12,9	11,3	20	11,3
1952	206	22	9,4	7,9	8,0	14,6	7,9
1953	786	37	18,8	14,5	11,6	21	11,6
1954	196	24	12,7	11,2	9,5	16,0	9,5
1955	233	24	10,4	9,9	12,5	15,5	9,9
1956	216	28	13,8	9,4	7,8	12,9	7,8

Para obtener los meses con deficit, al entregar un gasto máximo (Q_α), formamos la tabla siguiente en que subrayamos los valores inferiores al (Q_α) del año.

Valores (A_n/k_n)

Año	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	Q_α
1924	30	9,8	5,7	4,7	4,3	5,2	7,1	16,3	5,1
1928	52	15,2	7,6	8,4	6,9	9,0	8,8	16,0	8,1
1929	74	26	11,4	12,0	8,6	8,8	9,7	23	10,1
1939	70	44	11,5	9,0	6,9	8,5	8,7	32	8,1
1940	66	27	11,9	14,4	9,4	10,6	13,0	20	11,1
1941	100	24	26	21	12,9	14,2	16,2	27	15,2
1942	109	33	16,1	10,8	8,7	9,6	11,3	20	10,2
1943	136	19,4	9,6	8,1	7,0	8,6	9,8	18,7	8,2
1944	95	59	21	13,1	11,0	14,8	16,5	33	12,9
1945	114	30	24	11,2	8,1	8,8	10,0	16,0	9,5
1946	123	20	13,6	9,7	6,2	6,4	7,3	13,0	7,3
1947	62	23	8,2	6,4	5,4	5,4	6,2	30	6,4
1948	173	35	13,5	11,9	9,1	10,9	13,0	21	10,7
1949	35	10,2	5,6	5,9	5,3	5,8	9,3	35	6,2
1950	141	26	19,8	13,4	15,2	15,0	14,5	22	15,8
1951	118	25	13,3	11,0	9,6	10,9	14,7	23	11,3
1952	65	16,8	8,0	6,7	6,8	7,8	9,3	21	7,9
1953	250	29	16,0	12,3	9,9	11,1	12,2	22	11,6
1954	62	18,3	10,8	9,5	8,1	8,5	9,7	17,3	9,5
1955	74	18,8	8,8	8,4	10,6	8,0	17,5	33	9,9
1956	69	22	11,7	8,0	6,6	6,9	7,8	12,3	7,8

Verificaremos el segundo criterio de falla como en el caso del río Diguillín. En los meses subrayados del cuadro anterior se producirán déficits de agua.

Año	meses	ΣA_n	$(\Sigma k_n - \beta)$	β		α	
1924	dic-ene	9,0	1.442	6,2	>	5,1	5,1
1928	nov	7,6	0.442				
	ene	6,9	(Σk_n) 1.000				
	total	14,5	1 442	10,1	>	8,1	8,1
1929	ene-feb	15,6	1.242	12,6	>	10,1	10,1
1939	ene	6,9	0,442	15,6	>	8,1	8,1
1940	ene-feb	17,9	1.242	14,4	>	11,1	11,1
1941	ene-feb	24,3	1.242	19,6	>	15,2	15,2
1942	ene-feb	16,4	1.242	13,2	>	10,2	10,2
1943	dic-ene	15,1	1.442	10,5	>	8,2	8,2
1944	ene	11,0	0.442	25	>	12,9	12,9
1945	ene-feb	15,1	1.242	12,2	>	9,5	9,5
1946	ene-mar	15,7	1.842	8,5	>	7,3	7,3
1947	dic-mar	19,8	2,842	7,0	>	6,4	6,4
1948	ene	9,1	0,442	21	>	10,7	10,7
1949	nov-feb	21,4	3.242	6,6	>	6,2	6,2
1950	dic-mar	49,3	2.842	17,3	>	15,8	15,8
1951	dic-feb	29,3	2.242	13,1	>	11,3	11,3
1952	dic-feb	19,7	2,242	8,8	>	7,9	7,9
1953	ene-feb	18,8	1.242	15,1	>	11,6	11,6
1954	dic-feb	24,4	2.242	10,9	>	9,5	9,5
1955	nov-dic	17,2	1.442				
	feb	6,4	(Σk_n) 0.800				
	total	23,6	2.242	10,5	>	9,9	9,9
1956	ene-mar	16,8	1.842	9,1	>	7,8	7,8

3) Volúmen máximo del embalse

Del cuadro de valores (A_n) obtenemos $(A_o)_{min} = 32,1$ en el año 1924. Si no consideramos este año, por ser excepcionalmente seco, tendremos $(A_o)_{min} = 56,7$ en 1943.

Calculamos para $V/S = 60$ como máximo, y escalonamos con $V/S = 0, 15, 30, 45$ y 60; lo que equivale a embalses de 0, 39, 78, 117 y 156 millones de m3.

Debemos verificar en 1924 y 1943 si el embalse se llena por ser (A_o) menor que su capacidad.

4) Entregas con embalse

Aplicaremos el método usado para el río Diguillín, suprimiendo la copia de los cálculos de los casos sencillos.

Año: 1924

En este año, si el embalse trabaja desde septiembre, sólo podremos llenarlo con $V/S = A_o = 32,1$ y debemos comprobar si se llena.

Del párrafo 2 obtenemos que sin embalse podemos entregar hasta 5,1 m3/seg. El cuadro (A_n/k_n) indica que con $Q = 5,2$ hasta 7,1 el déficit máximo se produce en febrero, con $Q = 7,1$ a 16,3 se produce en marzo y con mayor de 16,3 en abril. Del mismo cuadro se desprende que con $Q = 5,1$ a 5,7 el embalse trabaja a partir de diciembre, con $Q = 5,7$ a 9,8 a partir de noviembre y con $Q = 9,8$ a 30 a partir de octubre.

V = 39 mill m3 **V/S = 15 m3 mes/seg**

Supondremos que el embalse trabaja a partir de diciembre y falla en octubre.

Entrega en	Falla en	ΣA_n	$V/S + \Sigma A_n$	$\Sigma k_n - \beta$	Q	
Diciembre	Febrero	13,2	28,2	2,242	12,6 > 9,8	

O sea, el embalse trabaja desde octubre y falla en marzo.

Entrega en	Falla en	ΣA_n	$V/S + \Sigma A_n$	$\Sigma k_n - \beta$	Q	
Octubre	Marzo	29,7	44,7	4.302	9,9	(>9,8< 30) (>7,1 < 16,3)

Mes	V/S inicial	+ A_n	− k_n	= V/S final	Déficit total	Déficit mensual	
Oct	15	6,5	6,5	15,0			(Se mantiene lleno)
Nov	15,0	5,7	9,9	10,8			
Dic	10,8	4,7	9,9	5,6			
Ene	5,6	4,3	9,9	0,0			
Feb	0,0	4,2	7,9	(−) 3,7	3,7	3,7	$= \alpha_6$ Q
Mar	(−) 3,7	4,3	5,9	(−) 5,3	5,3	1,6	$< \alpha_7$ Q
Abr	(−) 5,3	4,9	3,0	(−) 3,4	3,4		
	15	+ 34,6	− 53,0	= (−) 3,4		5,3	$= \beta$ Q

No falla por el primer criterio ya que (α_6 Q) no es inferior a 3,7, luego:

Q = 9,9

V = 78 **V/S = 30** (< A_0)

Manteniendo las condiciones de entrega y falla:

Entrega en	Falla en	ΣA_n	$V/S + \Sigma A_n$	$\Sigma k_n - \beta$	Q	
Octubre	Marzo	29,7	59,7	4.502	13,3	(>9,8<30) (>7,1 < 16,3)

Mes	V/S inicial	+ A_n	− k_n Q	= V/S final	Déficit total	Déficit mensual	
Oct	30	6,5	8,8	27,7			
Nov	27,7	5,7	13,3	20,1			
Dic	20,1	4,7	13,3	11,5			
Ene	11,5	4,3	13,3	2,5			
Feb	2,5	4,2	10,6 (−)	3,9	3,9	3,9	$< \alpha_6$ Q
Mar	(−) 3,9	4,3	8,0 (−)	7,6	7,6	3,7	$< \alpha_7$ Q
Abr	(−) 7,6	4,9	4,0 (−)	6,7	6,7		
	30	+ 34,6	− 71,3 = (−)	6,7		7,6	$= \beta$ Q

No falla:

Q = 13,3

V = 117 **V/S = 45** (> A_0)

Supondremos que el embalse no se llenará y que se mantiene marzo como mes de déficit máximo.

Por tanto las sumas se extienden de septiembre a marzo.

$$Q = (A_0 + \Sigma A_n)/(\Sigma k_n - \beta)$$

$$Q = (32,1 + 36,2)/4,772 = \underline{14,5} \quad \underline{(>7,1 < 16,3)}$$

Con (V/S) inicial igual a (A_0):

Mes		V/S inicial	+	A_n	-	k_nQ	=	V/S final	Déficit total	Déficit mensual	
										(No se llena)	
Set.		32,1		6,5		3,2		35,4			
Oct.		35,4		6,5		9,6		32,3			
Nov.		32,3		5,7		14,5		23,5			
Dic.		23,5		4,7		14,5		13,7			
Ene.		13,7		4,3		14,5		3,5			
Feb.		3,5		4,2		11,6	(-)	3,9	3,9	3,9	$<\alpha_6$
Mar.	(-)	3,9		4,3		8,7	(-)	8,3	8,3	4,4	$<\alpha_7$
Abr.	(-)	8,3		4,9		4,4	(-)	7,8	7,8		
		32,1	+	41,1	-	81,0	=(-)	7,8		8,3	$= \beta$

No falla:

Q = 14,5

V = 156 V/S = 60

Se mantienen los valores anteriores porque el embalse precedente no alcanzó a llenarse.

Q = 14,5

Resúmen año 1924

Incluimos el resultado del párrafo 2 que corresponde a V/S = 0.

V/S	Q
0	5,1
15	9,9
30	13,3
45	14,5
60	14,5

Años: 1928 - 1929 y 1939 - 1940

De estos años, cuyos cálculos no copiamos por no ofrecer dificultades, sólo anotamos os resultados:

Valores de Q:

Año	V/S	0	15	30	45	60
1928		18,1	13,1	16,7	19,8	22,9
1929		10,1	15,6	19,5	23,4	26,8
1939		8,1	14,2	18,1	22,0	25,9
1940		11,1	17,4	21,3	24,9	28,2

Año 1941

in embalse, el riego falla con Q = 15,2. Con Q = 16,2 a 27 falla en marzo, con Q yor de 27 en abril. Con Q = 15,2 a 21 el embalse entrega desde enero, con Q = 21 a 24, sde diciembre y con Q = 26 a 100, desde octubre. Para Q = 24 a 26 el embalse entrega vuelve a recibir agua.

V = 39 V/S = 15

upondremos que el embalse entrega agua en diciembre:

		ΣA_n	V/S $+ \Sigma A_n$	$\Sigma k_n - \beta$	Q	
trega en ciembre	Falla en Marzo	55,0	70,0	2.842	24,6	(>24<26)

Estamos en el caso en que el embalse puede entregar desde octubre y volver a llenarse. Para que se llene debe ser:

$Q = \Sigma A_n / \Sigma k_n = (15,8 + 26)/(0,66 + 1,00) = 25,2$

O sea, el embalse vuelve a llenarse con $Q = 24,6$ y entrega en definitiva desde diciembre (lo que demuestra el cuadro siguiente).

Mes		V/S inicial	+	A_n	-	$k_n Q$	=		V/S final	Déficit total	Déficit mensual	
Oct.		15		15,8		16,2			14,6			
Nov.		14,6		26		24,6			16,0			(Rebalse)
- - - - - -												
Dic.		15		21		24,6			11,4			
Ene.		11,4		12,9		24,6		(-)	0,3	0,3	0,3	$< \alpha_5$
Feb.	(-)	0,3		11,4		19,7		(-)	8,6	8,6	8,3	$< \alpha_6$
Mar.	(-)	8,6		9,7		14,8		(-)	13,7	13,7	5,1	$< \alpha_7$
Abr.	(-)	13,7		8,1		7,4		(-)	13,0	13,0		
		15	+	63,1	-	91,1	=	(-)	13,0		13,7	$= \beta$

No falla:
$Q = 24,6$

$V = 78, 117 \text{ y } 156$ $\qquad$ $V/S = 30, 45 \text{ y } 60$

El cálculo par[a] estas capacidades no ofrece dificultades, por lo que anotamos sus resultados en el resúmen siguiente:

Resúmen año 1941

V/S	Q
0	15,2
15	24,6
30	28,1
45	31,2
60	34,3

Año 1942

Para este año sólo interesa anotar el resúmen de resultados:

V/S	Q
0	10,2
15	16,9
30	20,8
45	24,4
60	28,1

Año 1943

En este año debemos comprobar si el embalse se llena ($A_o < V/S_{max}$).

Sin embalse falla con $Q = 8,2$. Con (Q) menor 18,7 tenemos el déficit máximo en marzo y con (Q) mayor de 18,7, en abril. Con $Q = 9,6$ a $19,4$ el embalse trabaja en noviembre y con $Q = 19,4$ a 136 en octubre.

$\underline{V = 39,\ 78 \text{ y } 117}$ $\underline{V/S = 15,\ 30 \text{ y } 45}$ $(< A_0)$

Para estos valores, no interesa anotar los cálculos. Los resultados son respectivamente : Q = 13,7 ; 17,6 y 21,0

$\underline{V = 156}$ $\underline{V/S = 60}$

Suponiendo entrega en octubre y falla en abril:

Entrega en Octubre	Falla en Abril	ΣA_n	$V/S + \Sigma A_n$	$\Sigma k_n - \beta$	Q	
		55,9	115,9	4.802	24,1	(>19,4<136)(>18,7)

Mes		V/S inicial	+	A_n	-	k_n Q =		V/S final	Déficit total	Déficit mensual
Oct.		60		12,8		15,9		56,9		
Nov.		56,9		9,6		24,1		42,4		
Dic.		42,8		8,1		24,1		26,4		
Ene.		26,4		7,0		24,1		9,3		
Feb.		9,3		6,9		19,3	(-)	3,1	3,1	3,1 $< \alpha_6$
Mar.	(-)	3,1		5,9		14,5	(-)	11,7	11,7	8,6 $< \alpha_7$
Abr.	(-)	11,7		5,6		7,2	(-)	13,3	13,3	1,6 $< \alpha_8$
		60	+	55,9	-	129,2 =	(-)	13,3		13,3 $= \beta$

No falla:

Q = 24,1

Comprobamos si el embalse se llena, en septiembre:

60 < 56,7 + 30,0 - 2,2 · 24,1 (= 61,4)

Como el embalse se llena:

Q = 24,1

Resumen año 1943

V/S	Q
0	8,2
15	13,7
30	17,6
45	21,0
60	24,1

Año 1944

Sin embalse falla con Q = 12,9. Con Q = 16,5 a 33 el déficit máximo se produce en marzo y con Q mayor de 33 en abril. Con Q menor de 21 el embalse entrega en diciembre, y con Q = 21 a 59, en noviembre.

$\underline{V = 39}$ $\underline{V/S = 15}$

Suponiendremos entrega en noviembre:

Entrega en Noviembre	Falla en Marzo	ΣA_n	$V/S + \Sigma A_n$	$\Sigma k_n - \beta$	Q	
		66,8	81,8	3,842	21,3	(=21) (<33)

Mes	V/S inicial	+	A_n	-	k_n Q	=	V/S final	Déficit total	Déficit mensual
Nov.	15		21		21,3		14,7		
Dic.	14,7		13,1		21,3		6,5		

Continuación página 35

Mes	V/S inicial	+	A_n	-	$k_n Q$	=	V/S final	Déficit total	Déficit mensual	
Ene.	6,5		11,0		21,3	(-)	3,8	3,8	3,8	$>\alpha_5$ Q
Feb.	(-) 3,8		11,8		17,0	(-)	9,0	9,0	5,2	$<\alpha_6$ Q
Mar.	(-) 9,0		9,9		12,8	(-)	11,9	11,9	2,9	$<\alpha_7$ Q
Abr.	(-) 11,9		10,0		6,4	(-)	8,3	8,3	——	
	15	+	76,8	-	100,1	=(-)	8,3		11,9	$= \beta$ Q

El embalse falla según el primer criterio en enero ($3,8 > \alpha_5 Q$). Por tanto:
(con $\Sigma A_n = 45,1$ y $\Sigma k_n = 3,00$)

$Q = (15 + 45,1)/(3,00 - 0,15) = \underline{21,1}$ (= 21) (<33)

Mes	V/S inicial	+	A_n	-	$k_n Q$	=	V/S final	Déficit total	Déficit mensual	
Nov.	15		21		21,1		14,9			
Dic.	14,9		13,1		21,1		6,9			
Ene.	6,9		11,0		21,1	(-)	3,2	3,2	3,2	$=\alpha_5$ Q
Feb.	(-) 3,2		11,8		16,9	(-)	8,3	8,3	5,1	$<\alpha_6$ Q
Mar.	(-) 8,3		9,9		12,7	(-)	11,1	11,1	2,8	$<\alpha_7$ Q
Abr.	(-) 11,1		10,0		6,3	(-)	7,4	7,4	——	
	15	+	76,8	-	99,2	= (-)	7,4		11,1	$= \beta$ Q

Luego el gasto límite, con que falla el mes de enero, según el primer criterio es:

$$Q = 21,1$$

<u>V = 78, 117 y 156</u> <u>V/S = 30, 45 y 60</u>

Como el cálculo, con estas capacidades no ófrece dificultades, anotamos sólamente los resultados en el resúmen siguiente:

<u>Resúmen 1944</u>

V/S	Q
0	12,9
15	21,1
30	25,2
45	29,1
60	33,0

<u>Años 1945 a 1950</u>

Los cálculos de estos años no ofrecen dificultades, por lo que sólo copiaremos un resúmen de los resultados:

Valores de Q

Año	V/S = 0	15	30	45	60
1945	9,5	16,6	21,4	25,6	29,2
1946	7,3	14,0	17,6	21,1	24,2
1947	6,4	11,2	15,1	19,0	22,9
1948	10,7	17,2	21,1	24,7	28,3
1949	6,2	10,8	14,1	17,5	20,8
1950	15,8	21,9	25,5	28,7	31,8

Año 1951

Sin embalse la falla se produce con Q = 11,3. Con Q = 14,3 a 23 el déficit máximo se produce en marzo y con Q mayor de 23, en abril. Con Q = 13,3 a 25 el embalse entrega desde noviembre y con Q = 25 a 118, desde octubre.

V = 39 V/S = 15

Suponiendo que el embalse entregue agua desde noviembre:

Entrega en	Falla en	ΣA_n	V/S $+ \Sigma A_n$	$\Sigma k_n - \beta$	Q
Noviembre	Marzo	51,4	66,4	3,842	17,3 (>13,3<25)(<23)

Mes	V/S inicial	+	A_n	−	k_n	=	V/S final	Déficit total	Déficit mensual	
Nov.	15		13,3		17,3		11,0			
Dic.	11,0		11,0		17,3		4,7			
Ene.	4,7		9,6		17,3		(−) 3,0	3,0	3,0	$>\alpha_5$
Feb.	(−) 3,0		8,7		13,8		(−) 8,1	8,1	5,1	$<\alpha_6$
Mar.	(−) 8,1		8,8		10,4		(−) 9,7	9,7	1,6	$<\alpha_7$
Abr.	(−) 9,7		6,8		5,2		(−) 8,1	8.1		
	15	+	58,2	−	81,3	=	(−) 8,1		9,7	$=\beta$

El embalse falla según el primer criterio en el mes de enero. Por tanto: (con ΣA_n = 33,9 y Σk_n = 3,00) Q = (15 + 33,9)/(3,00 − 0,15) = 17,2 (>13,3 <25)(<23)

Mes	V/S inicial	+	A_n	−	k_n	=	V/S final	Déficit total	Déficit mensual	
Nov.	15		13,3		17,2		11,1			
Dic.	11,1		11,0		17,2		4,9			
Ene.	4,9		9,6		17,2		(−) 2,7	2,7	2,7	$=\alpha_5$
Feb.	(−) 2,7		8,7		13,8		(−) 7,8	7,8	5,1	$<\alpha_6$
Mar.	(−) 7,8		8,8		10,3		(−) 9,3	9,3	1,5	$<\alpha_7$
Abr.	(−) 9,3		6,8		5,2		(−) 7,7	7,7		
	15	+	58,2	−	80,9	=	(−) 7,7		9,3	$<\beta$

Luego:

Q = 17,2

V = 78 V/S = 30

Suponiendo que el embalse trabaje en la misma forma que en el caso anterior:

Entrega en:	Falla en	ΣA_n	V/S $+ \Sigma A_n$	$\Sigma k_n - \beta$	Q
Noviembre	Marzo	51,4	81,4	3.842	21,2 (>13,3<25)(<23)

Mes	V/S inicial	+	A_n	−	k_n	=	V/S final	Déficit total	Déficit mensual	
Nov.	30		13,3		21,2		22,1			
Dic.	22,1		11,0		21,2		11,9			
Ene.	11,9		9,6		21,2		0,3			
Feb.	0,3		8,7		17,0		(−) 8,0	8,0	8,0	$=\alpha_6$
Mar.	(−) 8,0		8,8		12,7		(−) 11,9	11,9	3,9	$<\alpha_7$
Abr.	(−) 11,9		6,8		6,4		(−) 11,5	11,5		
	30	+	58,2	−	99,7	=	(−) 11,5		11,9	$=\beta$

Podemos observar que el gasto que habría hecho fallar el riego según el primer criterio (en febrero), es igual al que lo hace fallar según el segundo. En efecto (con $\Sigma A_n = 42,6$ y $\Sigma k_n = 3,80$) $Q = (30 + 42,6)/(3,80 - 0,375) = 21,2$

$V = 117$ y 156 $\qquad\qquad$ $V/S = 45$ y 60

Con estas capacidades el cálculo se desarrolla en forma normal, porlo que anotamos los resultados en el resúmen siguiente, sin copiar lós cálculos.

Resúmen año 1951

V/S	Q
0	11,3
15	17,2
30	21,2
45	24,9
60	28,1

Años 1952 a 1954

Para estos años daremos sólamente el resúmen de los resultados, ya que los cálculos no ofrecen mayor interés.

Valores de Q

Año	V/S	0	15	30	45	60
1952		7,9	12,6	16,5	19,9	23,1
1953		11,6	18,1	22,0	25,6	29,2
1954		9,5	14,6	18,4	21,5	24,6

Año 1955

El embalse falla con $Q = 9,9$. Con $Q = 10,6$ a $17,5$ el déficit máximo se produce en febrero, con $Q = 17,5$ a 33 en marzo y con Q mayor de 33 en abril. Con $Q = 10,6$ a $18,8$ la entrega comienza en noviembre y con $Q = 18,8$ a 74 en octubre.

$V = 39$ $\qquad\qquad$ $V/S = 15$

Supondremos entregas en noviembre:

Entrega en Noviembre	Falla en	ΣA_n	$V/S + \Sigma A_n$	$\Sigma k_n - \beta$	Q
	Febrero	34,2	49,2	3,242	15,2
				(>10,6 <18,8)	(<17,5)

Mes		V/ inicial	+	A_n	−	k_n	=	V/ final	Déficit total	Déficit mensual	
Nov.		15		8,8		15,2		8,6			
Dic.		8,6		8,4		15,2		1,8			
Ene.		1,8		10,6		15,2	(−)	2,8	2,8	2,8	$> \alpha_5$
Feb.	(−)	2,8		6,4		12,2	(−)	8,6	8,6	5,8	$> \alpha_6$
Mar.	(−)	8,6		10,5		9,1	(−)	7,2	7,2		
Abr.	(−)	7,2		10,0		4,6	(−)	1,8	1,8		
		15	+	54,7	−	71,5	= (−)	1,8		8,6	$= \beta$

El embalse falla según el primer criterio en enero y febrero.

Para suprimir la falla en enero tenemos, con $\Sigma A_n = 27,8$ y $\Sigma k_n = 3,00$:
$Q = (15 + 27,8)/(3,00 - 0,15) = 15,0$ $(>10,6 < 18,8)$ $(<17,5)$

Para suprimir la falla de febrero, suponiendo que en enero también se producen fallas, tendremos con : $A_n = 6,4$ y $k_n = 0,60$:
$Q = 6,4/(0,60 - 0,375) = 15,1$ (>10,6<18,8) (<17,5)

Entre ambos valores (15,0 y 15,1) tomamos el menor con este valor no cambian las condiciones de funcionamiento del embalse.

Mes		V/Q inicial	+	A_n	−	k_n		=	V/Q final	Déficit total	Déficit mensual	
Nov.		15		8,8		15,0			8,8			
Dic.		8,8		8,4		15,0			2,2			
Ene.		2,2		10,6		15,0	(−)		2,2	2,2	2,2	$= \alpha_5$
Feb.	(−)	2,2		6,4		12,0	(−)		7,8	7,8	5,6	$= \alpha_6$
Mar.	(−)	7,8		10,5		9,0	(−)		6,3	6,3		
Abr.	(−)	6,3		10,0		4,5	(−)		0,8	0,8		
		15	+	54,7	−	70,5	= (−)		0,8		7,8	$< \beta$

Con $Q = 15,0$ ya no se producen fallas en enero ni febrero según el primer criterio.

Luego:

$Q = 15,0$

V = 76   V/Q = 30

Suponiendo entrega en octubre:

Entrega en Octubre	Falla en Marzo	ΣA_n	V/Q + ΣA_n	$\Sigma k_n - \beta$	Q
		57,1	87,1	4,502	19,3 (>18,8<74) (>17,5<33)

Mes		V/Q inicial	+	A_n	−	k_n Q		=	V/Q final	Déficit total	Déficit mensual	
Oct.		30		12,4		12,7			29,7			
Nov.		29,7		8,8		19,3			19,2			
Dic.		19,2		8,4		19,3			8,3			
Ene.		8,3		10,6		19,3	(−)		0,4	0,4	0,4	$< \alpha_5 Q$
Feb.	(−)	0,4		6,4		15,4	(−)		9,4	9,4	9,0	$> \alpha_6 Q$
Mar.	(−)	9,4		10,5		11,6	(−)		10,5	10,5	1,1	$< \alpha_7 Q$
Abr.	(−)	10,5		10,0		5,8	(−)		6,3	6,3		
		30	+	67,1	−	103,4	= (−)		6,3		10,5	$= \beta Q$

El embalse falla según el primer criterio, en febrero. Suponiendo que al eliminar esta falla, se suprime el déficit de enero, tendremos con: $\Sigma A_n = 46,6$ y $\Sigma k_n = 4,46$
$Q = (30 + 46,6)/(4,46 - 0,375) = 18,8$ (= 18,8) (17,5 33)

Mes		V/Q inicial	+	A_n	−	k_n Q		=	V/Q final	Déficit total	Déficit mensual	
Oct.		30		12,4		12,4			30,0			
Nov.		30		8,8		18,8			20,0		(se	
Dic.		20,0		8,4		18,8			9,6		mantiene	
Ene.		9,6		10,6		18,8			1,4		lleno)	
Feb.		1,4		6,4		15,0	(−)		7,2	7,2	7,2	$= \alpha_6 Q$
Mar.	(−)	7,2		10,5		11,3	(−)		8,0	8,0	0,8	$< \alpha_7 Q$
Abr.	(−)	8,0		10,0		5,6	(−)		3,6	3,6		
		30	+	67,1	−	100,7	= (−)		3,6		8,0	$< \beta Q$

Luego:

= 18,8

V = 117 **V/S = 45**

Suponiendo que el embalse mantiene las condiciones de funcionamiento:

Entrega en	Falla en	ΣA_n	$V/S + \Sigma A_n$	$\Sigma k_n - \beta$	Q
Octubre	Marzo	57,1	102,1	4.502	22,7 (18,8 74)(17,5 3

Mes	V/S inicial	+	A_n	-	k_n Q	=	V/S final	Déficit total	Déficit mensual
Oct.	45		12,4		15,0		42,4		
Nov.	42,4		8,8		22,7		28,5		
Dic.	28,5		8,4		22,7		14,2		
Ene.	14,2		10,6		22,7		2,1		
Feb.	2,1		6,4		18,2	(-)	9,7	9,7	9,7 $> \alpha_6$ Q
Mar.	(-) 9,7		10,5		13,6	(-)	12,8	12,8	3,1 $< \alpha_7$ Q
Abr.	(-) 12,8		10,0		6,8	(-)	9,6	9,6	
	45	+	67,1	-	121,7	= (-)	9,6		12,8 $= \beta$ Q

El embalse falla en febrero según el primer criterio. Con $\Sigma A_n = 46,6$ y $\Sigma k_n = 4,46$ tendremos:

$Q = (45 + 46,6)/(4,46 - 0,375) = \underline{22,4}$ $\underline{(>18,8 < 74)\ (>17,5 < 33)}$

Mes	V/S inicial	+	A_n	-	k_n Q	=	V/S final	Déficit total	Déficit mensual
Oct.	45		12,4		14,8		42,6		
Nov.	42,6		8,8		22,4		29,0		
Dic.	29,0		8,4		22,4		15,0		
Ene.	15,0		10,6		22,4		3,2		
Feb.	3,2		6,4		17,9	(-)	8,3	8,3	8,3 $= \alpha_6$ Q
Mar.	(-) 8,3		10,5		13,4	(-)	11,2	11,2	2,9 $< \alpha_7$ Q
Abr.	(-) 11,2		10,0		6,7	(-)	7,9	7,9	
	45	+	67,1	-	120,0	= (-)	7,9		11,2 $< \beta$ Q

Luego: Q = 22,4

V = 156 **V/S = 60**

Los cálculos para esta capacidad no tienen mayor interes por lo que anotamos sus resultados en el resúmen siguiente:

Resúmen año 1955

V/S	Q
0	9,9
15	15,0
30	18,8
45	22,4
60	26,0

Año 1956

Para este año sólo daremos los resultados de los cálculos, que no ofrecen mayor interés:

V/S	Q
0	7,8
15	13,3
30	16,9

Continuación año 1956

45	20,6
60	23,8

5) - Resúmen General

Del párrafo anterior obtenemos el siguiente resúmen general de los gastos límites que hacen fallar un año:

	Valores de Q (m3/seg)				
V/S	0	15	30	45	60
V	0	39	78	117	156
Año: 1924	5,1	9,9	13,3	14,5	14,5
1928	8,1	13,1	16,7	19,8	22,9
1929	10,1	15,6	19,5	23,4	26,8
1939	8,1	14,2	18,1	22,0	25,9
1940	11,1	17,4	21,3	24,9	28,2
1941	15,2	24,6	28,1	31,2	34,3
1942	10,2	16,9	20,8	24,4	28,1
1943	8,2	13,7	17,6	21,0	24,1
1944	12,9	21,1	25,2	29,1	33,0
1945	9,5	16,6	21,4	25,6	29,2
1946	7,3	14,0	17,6	21,1	24,2
1947	6,4	11,2	15,1	19,0	22,9
1948	10,7	17,2	21,1	24,7	28,3
1949	6,2	10,8	14,1	17,5	20,8
1950	15,8	21,9	25,5	28,7	31,8
1951	11,3	17,2	21,2	24,9	28,1
1952	7,9	12,6	16,5	19,9	23,1
1953	11,6	18,1	22,0	25,6	29,2
1954	9,5	14,6	18,4	21,5	24,6
1955	9,9	15,0	18,8	22,4	26,0
1956	7,8	13,3	16,9	20,6	23,8

Ordenamos los valores de (Q) de mayor a menor y calculamos la seguridad de riego con: $p = 50\ (2\ m-1)/N = 50\ (2m-1)/21$

	Valores de Q (m3/seg)				
V =	0	39	78	117	156 (mill, m3)
p%					
2,4	15,8	24,6	28,1	31,2	34,3
7,1	15,2	21,9	25,5	29,1	33,0
11,9	12,9	21,1	25,2	28,7	31,8
16,7	11,6	18,1	22,0	25,6	29,2
21,4	11,3	17,4	21,4	25,6	29,2
26,2	11,1	17,2	21,3	24,9	28,3
31,0	10,7	17,2	21,2	24,9	28,2
35,7	10,2	16,9	21,1	24,7	28,1
40,5	10,1	16,6	20,8	24,4	28,1
45,2	9,9	15,6	19,5	23,4	26,8
50,0	9,5	15,0	18,8	22,4	26,0
54,8	9,5	14,6	18,4	22,0	25,9
59,5	8,2	14,2	18,1	21,5	24,6
64,3	8,1	14,0	17,6	21,1	24,2
69,0	8,1	13,7	17,6	21,0	24,1
73,8	7,9	13,3	16,9	20,6	23,8
78,6	7,8	13,1	16,7	19,9	23,1

Continuación de valores de Q

18	83,3	7,3	12,6	16,5	19,8	22,9
19	88,1	6,4	11,2	15,1	19,0	22,9
20	92,9	6,2	10,8	14,1	17,5	20,8
21	97,6	5,1	9,9	13,3	14,5	14,5

Dividimos los valores de esta tabla por la suma de los gastos de la temporada de riego de 1956 ($\Sigma A = \Sigma A_n = 69,5$), y obtendremos:

Valores de $(Q/\Sigma A)$

$V/\Sigma A$ = pf	0	0,56	1,12	1,68	2,24 (mill. m3)
2,4	0,227	0,354	0,404	0,449	0,494
7,1	0,219	0,315	0,367	0,419	0,475
11,9	0,186	0,304	0,363	0,413	0,458
16,7	0,167	0,260	0,317	0,368	0,420
21,4	0,163	0,250	0,308	0,368	0,420
26,2	0,160	0,247	0,306	0,358	0,407
31,0	0,154	0,247	0,305	0,358	0,406
35,7	0,147	0,243	0,304	0,355	0,404
40,5	0,145	0,239	0,299	0,351	0,404
45,2	0,142	0,224	0,281	0,337	0,386
50,0	0,137	0,216	0,271	0,322	0,374
54,8	0,137	0,210	0,265	0,317	0,373
59,5	0,118	0,204	0,260	0,309	0,354
64,3	0,117	0,201	0,253	0,304	0,348
69,0	0,117	0,197	0,253	0,302	0,347
73,8	0,114	0,191	0,243	0,296	0,342
78,6	0,112	0,188	0,240	0,286	0,332
83,3	0,105	0,181	0,237	0,285	0,329
88,1	0,092	0,161	0,217	0,273	0,329
92,9	0,089	0,155	0,203	0,252	0,299
97,6	0,073	0,142	0,191	0,209	0,209

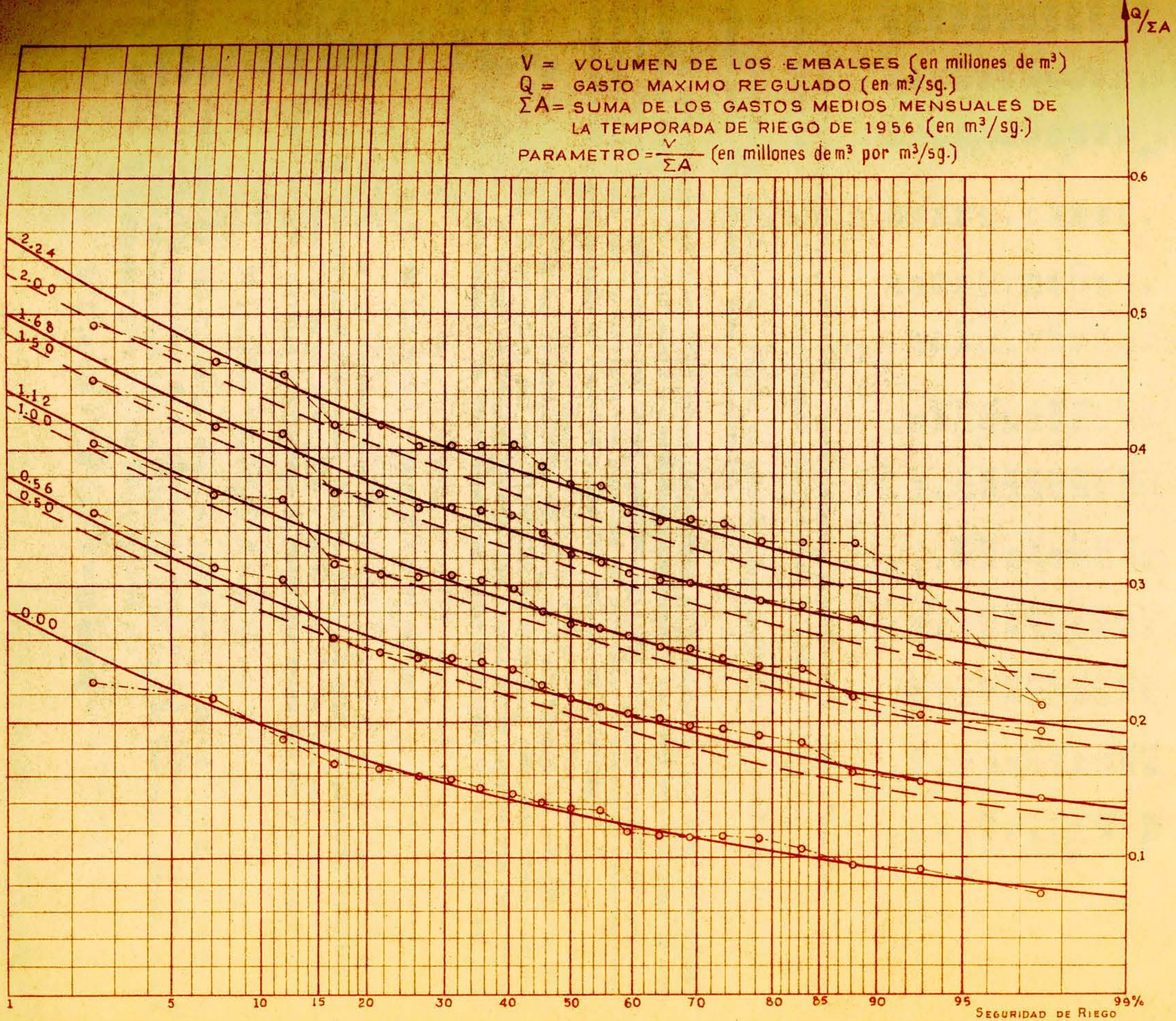
Hemos dibujado en el gráfico N° 2, de la página siguiente, los datos de esta tabla en "Papel probabilidades". En el mismo gráfico dibujamos las curvas suavizadas para los valores $(V/\Sigma A)$ calculados. Finalmente obtuvimos por interpolación, las curvas que corresponden a $(V/\Sigma A)$ espaciados en 0,5.

Para este río hemos repetido el cálculo para los años 1946 a 1956, que son los años en que tenemos estadísticas en el río Diguillín y en el Ñuble: Las curvas obtenidas son prácticamente iguales a las del gráfico N° 2, por lo que no consideramos oportuno incluirlas en el anexo.

GRAFICO Nº 2

(DEL ANEXO DEL CAPITULO V)

REGULACION DEL RIO CHILLAN EN ESPERANZA



c) Río Ñuble en San Fabián

1) Datos

La estadística de gastos medios mensuales del río Ñuble en San Fabián nos dá los siguientes datos:

Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.
1946	-	-	-	-	34	46	(84)	69	136	110	128	101
1947	51	26	22	17	39	176	104	122	98	134	128	96
1948	36	26	20	52	88	95	144	107	164	195	197	170
1949	75	37	58	(31)	54	162	231	131	(61)	82	64	43
1950	35	26	29	49	142	262	117	69	122	133	208	242
1951	203	134	42	22	24	63	187	(245)	236	174	165	136
1952	113	83	-	-	-	45	129	92	106	121	87	54
1953	36	27	22	26	75	135	101	192	252	16[illegible]	287	239
1954	106	59	34	44	112	119	113	136	98	162	284	79
1955	59	44	30	25	43	121	-	-	-	-	-	87
1956	80	34	31	30	57	50	69	-	93	148	154	85
1957	38	25	21	19	-	-	-	-	-	-	-	-

Los valores dentre paréntesis corresponden a promedios de pocos días. Completaremos estos datos por medio de la comparación con los ríos Chillán y Diguillín.

Como no hay canales que extraen su caudal aguas arriba de las secciones de aforo, podemos hacer directamente esta comparación.

Si comparamos las distancias entre los centros de gravedad de las distintas hoyas, deberíamos darle mayor importancia a los datos calculados a base del río Chillán. Si comparamos los caudales deberíamos dar mayor importancia a los datos calculados con el río Diguillín. Estimamos que lo correcto es: calcular el promedio de los datos recalculados usando los del río Diguillín en Atacalco y los del Chillán en Esperanza.

En Julio de 1946 no hay observaciones del 8 al 11 o sea tenemos un promedio de 27 días de observación. El promedio, del río Diguillín en Atacalco, para este mismo período es de 34,7 m3/seg y en el mes es de 41,3 m3/seg. Los mismos datos para el río Chillán son 25 y 29 m3/seg respectivamente. En consecuencia el valor corregido del río Ñuble en julio de 1946 será:

$$84\ (41{,}3/34{,}7 + 29/25)/\ 2 = 99 \text{ m3/seg}$$

En abril de 1949 no hay observaciones del 6 al 11 del 13 al 17 y de los días: 19, 21, 23, 26, y 28. Tenemos en consecuencia un promedio de 14 días. El promedio de estos 14 días en el río Diguillín es de 5,0 m3/seg y en el Chillán de 6,5. Los promedios mensuales son: Diguillín 4,5 y Chillán 6,2 m3/seg. El valor corregido del río Ñuble será:

$$31\ (4{,}5/5{,}0 + 6{,}2/6{,}5)/\ 2 = 28 \text{ m3/seg}$$

En septiembre de 1949 faltan los datos de los días: 14, 15, 18, 19, 22, 24, y 26. El promedio de los 23 días restantes en el río Diguillín es de 6,3 m3/seg y en el río Chillán 7,9. Los gastos medios mensuales del río Diguillín y del Chillán son respectivamente: 6,8 y 7,8 m3/seg. El valor corregido del río Ñuble quedará en:

$$61\ (6{,}8/6{,}3 + 7{,}8/7{,}9)/\ 2 = 63 \text{ m3/seg}$$

En el mes de agosto de 1951 faltan los datos de los días 6 al 18 inclusive. El promedio de los 18 días restantes en Diguillín es de 16,6 m3/seg y en Chillán 22. Los promedios mensuales del Diguillín y del Chillán son 22,9 y 23 m3/seg. Llegaremos al siguiente gasto corregido para el río Ñuble

$$245\ (22{,}9/16{,}6 + 23/22) = 297\ \text{m3/seg}$$

Además en 1952 faltan los datos estadísticos de marzo a mayo, en 1955 los de julio a noviembre, en 1956 los de agosto. Para calcular estos gastos medios mensuales, compararemos las estadísticas del río Ñuble con las del Diguillín y del Chillán, de mes a mes de acuerdo con el procedimiento indicado en el anexo del párrafo D "Rendimiento de la hoya y comparación de estadísticas", en el capítulo: V - b. Sólo usaremos los valores res efectivos del río Ñuble, es decir, no recurriremos a los valores recién corregidos. La estadística de los ríos Diguillín y Chillán están en los capítulos III - a - 1 y III - b - 1.

Sea: (q) el gasto del río Ñuble, (Q_1) el gasto simultáneo en el Diguillín y (Q_2) el del Chillán.

Mes: Marzo

Año	q	Q_1	Q_2	qQ_1	Q_1^2	qQ_2	Q_2^2
1947	22	2,6	4,4	57,2	6,76	96,8	19,36
1948	20	3,0	3,7	60,0	9,00	74,0	13,69
1949	58	7,1	7,8	411,8	50,41	452,4	60,84
1950	29	2,4	5,6	69,6	5,76	162,4	31,36
1951	42	6,5	8,7	273,0	42,25	365,4	75,69
1952	-	7,2	8,8				
1953	22	3,4	5,6	74,8	11,56	123,2	31,36
1954	34	5,0	7,3	170,0	25,00	248,2	53,29
1955	30	2,5	5,8	75,0	6,25	174,0	33,64
1956	31	10,3	10,5	319,3	106,09	325,5	110,25
				1 510,7	263,08	2 021,9	429,48

Año 1952:
q = (7,2 x 1 510,7/263,08 + 8,8 x 2 021,9/429,48)/2 = 41 m3/seg

Mes: Abril

Año	q	Q_1	Q_2	qQ_1	Q_1^2	qQ_2	Q_2^2
1947	17	2,2	3,9	37,4	4,48	66,3	15,21
1948	52	13,9	8,9	722,8	193,21	462,8	79,21
1950	49	13,1	10,4	641,9	171,61	509,6	108,16
1951	22	4,3	6,7	94,6	18,49	147,4	44,89
1952		4,3	6,8				
1953	26	4,7	6,3	122,2	22,09	163,8	39,69
1954	44	6,4	6,5	281,6	40,96	286,0	42,25
1955	25	2,0	5,2	50,0	4,00	130,0	27,04
1956	30	21,7	10,0	651,0	470,89	300,0	100,00
				2 601,5	926,09	2 065,9	456,45

Año 1952:
q = (4,3 x 2 601,5/926,09 + 6,8 x 2 065,9/456,45)/2 = 21 m3/seg

Mes: Mayo

Año	q	Q_1	Q_2	qQ_1	Q_1^2	qQ_2	Q_2^2
1946	34	14,2	11,2	482,8	201,64	380,8	125,44
1947	39	6,6	4,6	257,4	43,56	179,4	21,16
1948	88	17,1	12,6	1 504,8	292,41	1 108,8	158,76
1949	54	68,0	46	3 672,0	4 624,00	2 484,0	2 116,00
1950	142	47,7	33	6 773,4	2 275,29	4 686,0	1 089,00
1951	24	32,2	15,4	772,8	1 036,84	369,6	237,16
1952		17,3	14,1				
1953	75	55,0	32	4 125,0	3 025,00	2 400,0	1 024,00
1954	112	19,2	11,7	2 150,4	368,64	1 310,4	136,89
1955	43	6,9	6,8	296,7	47,61	292,4	46,24
1956	57	27,3	17,8	1 556,1	745,29	1 014,6	316,84
				21 591,4	12 660,28	14 226,0	5 271,49

Año 1952

q = (17,3 x 21 591,4/12 660,28 + 14,1 x 14 226,0/5 271,49)/2 = 34 m3/se

Mes: Julio

Año	q	Q_1	Q_2	qQ_1	Q_1^2	qQ_2	Q_2^2
1947	104	21,7	19,9	2 256,8	470,89	2 069,6	396,01
1948	144	39,2	48,0	5 644,8	1 536,64	6 912,0	2 304,00
1949	231	13,1	15,9	3 026,1	171,61	3 672,9	252,81
1950	117	21,4	17,7	2 503,8	457,96	2 070,9	313,29
1951	187	61,2	39	11 444,4	3 745,44	7 293,0	1 521,00
1952	129	32,7	42	4 218,3	1 069,29	5 418,0	1 764,00
1953	101	34,6	27	3 494,6	1 197,16	2 727,0	729,00
1954	113	47,1	33	5 322,3	2 218,41	3 729,0	1 089,00
1955		9,0	11,0				
1956	69	47,7	39	3 291,3	2 275,29	2 691,0	1 521,00
				41 202,4	13 142,69	36 583,4	9 890,11

Año 1955

q = (9,0 x 41 202,4/13 142,69 + 11,0 x 36 583,4/ 9 890,11)/2 = 34 m3/s

Mes: Agosto

Año	q	Q_1	Q_2	qQ_1	Q_1^2	qQ_2	Q_2^2
1946	69	21,2	13,3	1 462,8	449,44	917,7	176,89
1947	122	19,2	16,0	2 342,4	368,64	1 952,0	256,00
1948	107	14,7	13,7	1 572,9	216,09	1 465,9	187,69
1949	131	8,9	10,5	1 165,9	79,21	1 375,5	110,25
1950	69	62,3	30	4 298,7	3 881,29	2 070,0	900,00
1952	92	17,2	14,6	1 582,4	295,84	1 343,2	213,16
1953	192	66,6	40	12 787,2	4 435,56	7 680,0	1 600,00
1954	136,	52,7	24	7 167,2	2 777,29	3 264,0	576,00
1955		23,4	14,8				
1956		21,6	25				
				32 379,5	12 503,36	20 068,3	4 019,99

Año 1955

q = (23,4 x 32 379,5/12 503,36 + 14,8 x 20 068,3/4 019,99)/2 = 67 m3/s

Año 1956

q = (21,6 x 32 379,5/12 503,36 + 25,0 x 20 068,3/4 019,99)/2 = 90 m3/seg

Mes: Septiembre

Año	q	Q_1	Q_2	qQ_1	Q_1^2	qQ_2	Q_2^2
1946	136	32,5	27	4 420,0	1 056,25	3 672,0	729,00
1947	98	14,4	13,6	1 411,2	207,36	1 332,8	184,96
1948	164,	61,0	38	10 004,0	3 721,00	6 232,0	1 444,00
1950	122	28,4	31	3 464,8	806,56	3 782,0	961,00
1951	236	36,3	26	8 566,8	1 317,69	6 136,0	676,00
1952	106	18,7	14,4	1 982,2	349,69	1 526,4	207,36
1953	252	64,5	55	16 254,0	4 160,25	1 386,0	3 025,00
1954	98	19,0	13,7	1 862,0	361,00	1 342,6	187,69
1955		17,6	16,3				
1956	93	12,2	15,1	1 134,6	148,84	1 404,3	228,01
				49 099,6	12 128,64	39,288,1	7 643,02

Año 1955

q = (17,6 x 49 099,6/12 128,64 + 16,3 x 39 288,1/7 643,02)/2 = 78 m3/seg

Mes: Octubre

Año	q	Q_1	Q_2	qQ_1	Q_1^2	qQ_2	Q_2^2
1946	110	18,6	13,3	2 046,0	345,96	1 463,0	176,89
1947	134	20,8	15,5	2 787,2	432,64	2 077,0	240,25
1948	195	32,8	23	6 396,0	1 075,84	4 485,0	529,00
1949	82	7,7	6,7	631,4	59,29	549,4	44,89
1950	133	21,3	17,1	2 832,9	453,69	2 274,3	292,41
1951	174	19,7	16,6	3 427,8	388,09	2 888,4	275,56
1952	121	15,4	11,1	1 863,4	237,16	1 343,1	123,21
1953	161	21,8	19,1	3 509,8	475,24	3 075,1	364,81
1954	162	19,2	12,1	3 110,4	368,64	1 960,2	146,41
1955		16,7	12,4				
1956	148	16,7	14,2	2 471,6	278,89	2 101,6	201,64
				29 076,5	4 115,44	22 217,1	2 395,07

Año 1955

q = (16,7 x 29 076,5/4 115,44 + 22 217,1/2 395,07)/2 = 117 m3/seg

Mes: Noviembre

Año	q	Q_1	Q_2	qQ_1	Q_1^2	qQ_2	Q_2^2
1946	128	24,7	13,6	3 161,6	610,09	1 740,8	184,96
1947	128	11,5	8,2	1 472,0	132,25	1 049,6	67,24
1948	197	21,9	13,5	4 314,3	479,61	2 659,5	182,25
1949	64	4,7	5,6	300,8	22,09	358,4	31,36
1950	208	27,4	19,8	5 699,2	750,76	4 118,4	392,04
1951	165	15,6	13,3	2 574,0	243,36	2 194,5	176,89
1952	87	7,0	8,0	609,0	49,00	696,0	64,00
1953	287	27,4	16,0	7 863,8	750,76	4 592,0	256,00
1954	284	20,2	10,8	5 736,8	408,04	3 067,2	116,64
1955		12,3	8,8				
1956	154	14,8	11,7	2 279,2	219,04	1 801,8	136,89
				34 010,7	3 665,00	22 278,2	1 608,27

Año 1955

q = (12,3 x 34 010,7/3 665,00 + 8,8 x 22 278,2/1 608,27)/2 = 118 m3/seg

En esta forma hemos llegado a lo siguiente:

Estadística corregida del río Ñuble

Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.
1946	-	-	-	-	34	46	99	69	136	110	128	101
1947	51	26	22	17	39	176	104	122	98	134	128	96
1948	36	26	20	52	88	95	144	107	164	195	197	170
1949	75	37	58	28	54	162	231	131	63	82	64	43
1950	35	26	29	49	142	262	117	69	122	133	208	242
1951	203	134	42	22	24	63	187	297	236	174	165	136
1952	113	83	41	21	34	45	129	92	106	121	87	54
1953	36	27	22	26	75	135	101	192	252	161	287	239
1954	106	59	34	44	112	119	113	136	98	162	284	79
1955	59	44	30	25	43	121	34	67	78	117	118	87
1956	80	34	31	30	57	50	69	90	93	148	154	85
1957	38	25	21	19	-	-	-	-	-	-	-	-
Suma	832	521	350	333	702	1 274	1 328	1 372	1 446	1 537	1 820	1 332

En el cuadro anterior, los gastos medios de septiembre a abril son los valores (A_n) del mes, y la suma de los gastos de mayo a agosto será el valor (A_o) del año

Valores de A

Año hidrológico	Invierno May a Ago A_o	Set. A_1	Oct. A_2	Nov. A_3	Dic. A_4	Ene. A_5	Feb. A_6	Mar. A_7	Abr. A_8	Temporada de riego $\Sigma_1^8 A_n$
1946	248	136	110	128	101	51	26	22	17	591
1947	441	98	134	128	96	36	26	20	52	590
1948	434	164	195	197	170	75	37	58	28	924
1949	578	63	82	64	43	35	26	29	49	391
1950	590	122	133	208	242	203	134	42	22	1 106
1951	571	236	174	165	136	113	83	41	21	969
1952	300	106	121	87	54	36	27	22	26	479
1953	503	252	161	287	239	106	59	34	44	1 182
1954	480	98	162	284	79	59	44	30	25	781
1955	265	78	117	118	87	80	34	31	30	575
1956	266	93	148	154	85	38	25	21	19	583
Suma:	4 676	1 446	1 537	1 820	1 332	832	521	350	333	8 171

En los cuadros siguientes anotamos, para cada año, la suma de los valores (A_n) entre los distintos meses:

Año: 1946 Sumas de (A_n)

Hasta	Desde: Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.
Set.	136							
Oct.	246	110						
Nov.	374	238	128					
Dic.	475	339	229	101				
Ene.	526	390	280	152	51			
Feb.	552	416	306	178	77	26		
Mar.	574	438	328	200	99	48	22	
Abr.	591	455	345	217	116	65	39	17

Año: 1947 Sumas de (A_n)

Desde:	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.
Hasta Set.	98							
Oct.	232	134						
Nov.	360	262	128					
Dic.	456	358	224	96				
Ene.	492	394	260	132	36			
Feb.	518	420	286	158	62	26		
Mar.	538	440	306	178	82	46	20	
Abr.	590	492	358	230	134	98	72	52

Año: 1948 Sumas de (A_n)

Desde:	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.
Hasta Set.	164							
Oct.	359	195						
Nov.	556	392	197					
Dic.	726	562	367	170				
Ene.	801	637	442	245	75			
Feb.	838	674	479	282	112	37		
Mar.	896	732	537	340	170	95	58	
Abr.	924	760	565	368	198	123	86	28

Año: 1949 Sumas de (A_n)

Desde:	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.
Hasta Set.	63							
Oct.	145	82						
Nov.	209	146	64					
Dic.	252	189	107	43				
Ene.	287	224	142	78	35			
Feb.	313	250	168	104	61	26		
Mar.	342	279	197	133	90	55	29	
Abr.	391	328	246	182	139	104	78	49

Año: 1950 Sumas de (A_n)

Desde:	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.
Hasta Set.	122							
Oct.	255	133						
Nov.	463	341	208					
Dic.	705	583	450	242				
Ene.	908	786	653	445	203			
Feb.	1 042	920	787	579	337	134		
Mar.	1 084	962	829	621	379	176	42	
Abr.	1 106	984	851	643	401	198	64	22

Año: 1951 Sumas de (A_n)

Desde:	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.
Hasta Set.	236							
Oct.	410	174						
Nov.	575	339	165					
Dic.	711	475	301	136				
Ene.	824	588	414	249	113			
Feb.	907	671	497	332	196	83		
Mar.	948	712	538	373	237	124	41	
Abr.	969	733	559	394	258	145	62	21

Año: 1952 **Sumas de (A_n)**

Hasta \ Desde:	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.
Set.	106							
Oct.	227	121						
Nov.	314	208	87					
Dic.	368	262	141	54				
Ene.	404	298	177	90	36			
Feb.	431	325	204	117	63	27		
Mar.	453	347	226	139	85	49	22	
Abr.	479	373	252	165	111	75	48	26

Año: 1953 **Sumas de (A_n)**

Hasta \ Desde:	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.
Set.	252							
Oct.	413	161						
Nov.	700	448	287					
Dic.	939	687	526	239				
Ene.	1 045	793	632	345	106			
Feb.	1 104	852	691	404	165	59		
Mar.	1 138	886	725	438	199	93	34	
Abr.	1 182	930	769	482	243	137	78	44

Año: 1954 **Sumas de (A_n)**

Hasta \ Desde:	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.
Set.	98							
Oct.	260	162						
Nov.	544	446	284					
Dic.	623	525	363	79				
Ene.	682	584	422	138	59			
Feb.	726	628	466	182	103	44		
Mar.	756	658	496	212	133	74	30	
Abr.	781	683	521	237	158	99	55	25

Año: 1955 **Sumas de (A_n)**

Hasta \ Desde:	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.
Set.	78							
Oct.	195	117						
Nov.	313	235	118					
Dic.	400	322	205	87				
Ene.	480	402	285	167	80			
Feb.	514	436	319	201	114	34		
Mar.	545	467	350	232	145	65	31	
Abr.	575	497	380	262	175	95	61	30

Año: 1956 **Sumas de (A_n)**

Hasta \ Desde:	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.
Set.	93							
Oct.	241	148						
Nov.	395	302	154					
Dic.	480	387	239	85				
Ene.	518	425	277	123	38			
Feb.	543	450	302	148	63	25		
Mar.	564	471	323	169	84	46	21	
Abr.	583	490	342	188	103	65	40	19

2) Entregas sin embalse

Siguiendo el camino usado en el párrafo (III - a - 2) tendremos:

Valores: $A_n/(k_n - \alpha_n)$

Año	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Q_α
1946	1940	216	151	119	60	61	60
1947	1400	263	151	113	42	61	42
1948	2340	382	232	200	88	87	87
1949	900	161	75	51	41	61	41
1950	1740	261	245	285	239	315	239
1951	3370	341	194	160	133	195	133
1952	1510	237	102	64	42	64	42
1953	3600	316	338	281	125	139	125
1954	1400	318	384	93	69	104	69
1955	1110	229	139	102	94	80	80
1956	1330	290	181	100	45	59	45

Valores: A_n/k_n

Año	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	Q_α
1946	1130	167	128	101	51	33	37	57	60
1947	2000	203	[illegible]	96	36	33	33	173	42
1948	1970	295	197	170	75	46	97	93	87
1949	2630	124	64	43	35	33	48	163	41
1950	2680	202	208	242	203	168	70	73	239
1951	2595	264	165	136	113	104	68	70	133
1952	1360	183	87	54	36	34	37	87	42
1953	2280	244	287	239	106	74	57	147	125
1954	2130	245	284	79	59	55	50	83	69
1955	1200	177	118	87	80	43	52	100	80
1956	1210	224	154	85	38	31	35	63	45

Para obtener (Q_β) tendremos:

Año	meses	A_n	$(\Sigma k_n - \beta)$	Q_β		Q_α	Q
1946	ene-abr	116	2,142	54	<	60	(54)
1947	ene-mar	82	1,842	45	>	42	42
1948	ene-feb	112	1,242	90	>	87	87
1949	ene-feb	61	1,242	49	>	41	41
1950	oct-nov	341	1,102				
	ene-abr	401	(Σk_n=) 2,700				
	total:	742	3,802	195	<	239	(195)
1951	ene-feb	258	2,142	120	<	133	(120)
1952	ene-mar	85	1,842	46	>	42	42
1953	ene-mar	199	1,842	108	<	125	(108)
1954	ene-mar	133	1,842	72	>	69	69
1955	ene-mar	145	1,842	79	<	80	(79)
1956	ene-mar	84	1,842	46	>	45	45

Revisamos los año en que ($Q_\beta < Q_\alpha$).

Año 1946: En la tabla (A_n/k_n) observamos que en abril ya no se producen fallas ya que 57 > 54. Calculamos de nuevo (Q_β) con los meses: enero a marzo. Con $\Sigma A_n = 99$ y $(\Sigma k_n - \beta) = 1,842$, obtenemos el valor definitivo: Q = 54.

Año 1950: Con $Q = 195$ se eliminan los déficit de octubre, noviembre y enero, por lo que recalculamos con los meses: febrero a abril. $\Sigma A_n = 198$ y $(\Sigma k_n - \beta) = 1{,}142$ con lo que obtenemos $Q = 173$ que es definitivo, ya que mantiene los meses con déficit (febrero a abril).

Año 1951: (Q_β) es definitivo ya que se mantienen los meses de falla del cuadro (A_n/K_n).

Año 1953: (Q_β) es definitivo como en el año anterior.

Año 1955: Observamos, en la tabla (A_n/k_n) que con 79 m3/seg el mes de enero ya no tiene déficit. Recalculando con febrero y marzo tendremos: $\Sigma A_n = 65$ $(\Sigma k_n - \beta) = 0{,}842$, lo que da el valor definitivo de $Q = 77$.

3) Volúmen máximo del embalse

Del cuadro de valores (A) obtenemos $(A_o)_{min} = 248$ que será igual al volúmen máximo del embalse dividido por (B).

$$V_{max} = 248 \times 2{,}6 = 644{,}8 \text{ mill. m3}$$

Para obtener 5 puntos en cada curva $p = f(Q)$ calcularemos con $V/B = 0$, 70, 140, 210 y 280, ya que los fuertes aportes de septiembre permiten embalses mayores.

Si suponemos que en ningún caso el embalse trabaja en septiembre, y que el consumo de este mes es despreciable, el volúmen máximo será:

$$V_{max} = (A_o + A_1)_{min} \times 2{,}6 = 343 \times 2{,}6 = 891{,}8$$

Por tanto agregamos el punto $V/B = 350$ m3-mes/seg a lo que corresponde $V = 910$ mill m3.

Por resultar (A_o) menor que (V/B) máximo, debemos verificar si los embalses se llenan en los años 1946, 1952, 1955 y 1956.

4) Entregas con embalse

Año 1946

V = 182, 364, 546 y 728 $\qquad$ V/B = 70, 140, 210 y 280

En estas condiciones el cálculo se desarrolla en forma normal, por lo que sólo copiaremos sus resultados en el resúmen del año.

V = 910 $\qquad$ V/B = 350

Supondremos que el embalse comienza a trabajar en octubre y falla en abril. Para esto Q debe ser superior a 167 e inferior a 1 130. (Según el cuadro de valores A_n/k_n).

	Falla en	ΣA_n	$V/B + \Sigma A_n$	$\Sigma k_n - \beta$	Q
Entrega en octubre	Abril	455	805	4,802	168 (>167<1 130)

Veamos si el embalse se llena:

$$A_o + A_1 - k_1 Q = 248 + 136 - 0{,}22 \times 168 = 347 \quad V/B$$

Como el embalse no se llena, calculamos Q, con sumar desde septiembre hasta abril.

$$Q = (A_o + \Sigma A_n)/(\Sigma k_n - \beta) = (248 + 591)/5{,}022 = 167 \quad (= 167)$$

El valor de (V/S) inicial será igual a (A_o)

Mes	V/S inicial	+ A_n	- k_nQ	=	V/S final	Déficit total	Déficit mensual	
Set.	248	136	37		347			
Oct.	347	110	110		347			
Nov.	347	128	167		308			
Dic.	308	101	167		242			
Ene.	242	51	167		126			
Feb.	126	26	134		18			
Mar.	18	22	100	(-)	60	60	60	$< \alpha_7 Q$
Abr.	(-) 60	17	50	(-)	93	93	33	$< \alpha_8 Q$
	248	+ 591	- 932	= (-)	93		93	$= \beta Q$

No falla según el primer criterio, luego:

$$Q = 167$$

Resúmen del año 1946

V/S	Q
0	54
70	87
140	114
210	134
280	151
350	167

Años: 1947 a 1949

Los cálculos correspondientes a estos años no ofrecen dificultades, por lo que no copiamos sus desarrollos. Los resultados son:

Valores de Q:

AÑO V/S =	0	70	140	210	280	350
1947	42	83	112	134	153	171
1948	87	125	158	184	204	221
1949	41	69	88	106	124	140

Año 1950

Sin embalse falla con Q = 173. El embalse tendrá siempre sus deficit máximos en abril. Con Q = 202 el embalse comienza a entregar en octubre o febrero.

Para conocer el gasto con que el embalse vuelve a llenarse en diciembre, comenzando su entrega en octubre, tenemos:

$$Q = \Sigma A_n / \Sigma k_n = 583/2,66 = 219$$

Luego: Con Q = 168 a 203 el embalse trabaja desde febrero, con Q = 203 a 219, desde diciembre y con Q = 219 a 2 680, desde octubre. (Con Q = 202 a 219 el embalse trabaja en octubre, pero vuelve a llenarse).

V = 182   V/S = 70

Supondremos que el embalse trabaje desde enero:

Falla en	ΣA_n	V/S + ΣA_n	$\Sigma k_n - \beta$	Q	
Abril	401	471	2,142	220	(> 219)

Con entrega a partir de octubre:

Entrega en Octubre	Falla en Abril	ΣA_n	$V/S + \Sigma A_n$	$\Sigma k_n - \beta$	Q	
		984	1 054	4,802	219	(= 219)

Mes		V/S inicial	+ A_n	- k_nQ		= V/S final	Déficit total	Déficit mensual	
Oct.		70	133	144		59			
Nov.		59	208	219		48			
Dic.		48	242	219		71	(Rebalsó)		
Ene.		70	203	219		54			
Feb.		54	134	175		13			
Mar.		13	42	131	(-)	76	76	76	$< \alpha_7$ Q
Abr.	(-)	76	22	66	(-)	120	120	44	$< \alpha_8$ Q
		70 +	401 -	591 =	(-)	120		120	$= \beta$ Q

No falla según el primer criterio, luego:

210 Q = 219

V = 364, 546, 728 y 910 V/S = 140, 210, 280 y 350

Anotaremos los resultados de estos cálculos en el resúmen siguiente, ya que los cálculos no ofrecen novedades.

Resúmen año 1950.

V/S	Q
0	173
70	217
140	234
210	249
280	263
350	278

Año 1951

Ya que los cálculos de este año carecen de interés anotamos los resultados de las regulaciones:

V/S	Q
0	120
70	148
140	169
210	186
280	203
350	219

Año 1952

Comprobaremos si se llena el embalse máximo (V/S = 350). No anotaremos los cálculos restantes que no interesan mayormente.

Con V/S = 350 obtuvimos un gasto regulado de 145 m3/seg, en el supuesto que el embalse se llena. Este valor es inferior a 1360, que figura en el cuadro (A_n/k_n), de modo que durante septiembre, el nivel del embalse sube.

Si el embalse aporta A_0 = 300 en invierno y A_1 = 106 en septiembre, podrá llenarse un embalse de:

Año 1952

Comprobaremos si se llena el embalse máximo ($V/S = 350$). No anotaremos los cálculos restantes que no interesan mayormente.

Con $V/S = 350$ obtuvimos un gasto regulado de 145 m3/seg, en el supuesto que el embalse se llena. Este valor es inferior a 1 360, que figura en el cuadro (A_n/k_n), de modo que, durante septiembre, el nivel del embalse sube.

Si el embalse aporte $A_o = 300$ en invierno y $A_1 = 106$ en septiembre, podrá llenarse un embalse de:

$$V/S = A_o + A_1 - k_1 Q = 300 + 106 - 0{,}22 \times 145 = 374 > 350$$

O sea el embalse se llena en septiembre.

El resúmen del año es:

V/S	Q
0	42
70	74
140	95
210	112
280	128
350	145

Año 1953

Sin embalse falla con Q = 108, con Q = 108, a 147 la falla máxima se produce en marzo, con Q mayor de 147 , en abril. Con Q = 108 a 239 la entrega comienza en enero. Con Q = 239 a 244 entrega a partir de diciembre, ya que en octubre tenemos:($A_n/k_n = 244$).

V = 182, 364, 546 y 728 V/S = 70, 140, 210 y 280

Para estas capacidades resulta Q menos que 244 de modo que los cálculos se desarrollan en forma normal, y sólo daremos un resúmen de los resultados.

V = 910 V/S = 350

Suponiendo entrega en diciembre, presumiendo que el embalse se vuelva a llenar después de octubre:

Entrega en	Falla en	ΣA_n	$V/S + \Sigma A_n$	$\Sigma k_n - \beta$	Q
Diciembre	Abril	482	832	3,142	265 (>244)

En el cuadro siguiente calcularemos los remanentes en el embalse a partir de octubre, con lo que podemos demostrar, sin recurrir a fórmulas, que el embalse vuelve a llenarse:

Mes	V/S inicial	+ A_n	− $k_n Q$	=	V/S final	Déficit total	Déficit mensual	
Oct.	350	161	175		335			
Nov.	335	287	265		357			(Rebalsa)
Dic.	350	239	265		324			
Ene.	324	106	265		165			
Feb.	165	59	212		12			
Mar.	(−) 12	34	159	(−)	113	113	113	$< \alpha_7 Q$
Abr.	(−) 113	44	80	(−)	149	149	36	$< \alpha_8 Q$
	350	+ 482	− 981	= (−)	149		149	$= \beta Q$

No falla

Q = 265

Resúmen año 1953

V/S	Q
0	108
70	146
140	179
210	211
280	243
350	265

Año 1954

En forma análoga a la del año anterior tenemos un gasto en que el embalse comienza a trabajar en octubre y se vuelve a llenar, pero este gasto Q = 245, es superior al gasto máximo que podemos regular en este año con V/S = 350. Por tanto los cálculos no ofrecen dificultades y sólo daremos el resúmen del año.

V/S	Q
0	69
70	98
140	120
210	142
280	165
350	187

Año 1955

Debemos verificar si se llenan los embalses mayores (V/S = 280 y 350). Los cálculos restantes serán omitidos por carecer de interés.

Con V/S = 280, y suponiendo que el embalse se llena, obtuvimos Q = 159, comenzando la entrega de agua en noviembre.

Hasta octubre inclusive se habría podido acumular:

$V/S = A_o + A_1 + A_2 - (k_1 + k_2)\ Q = 265 + 78 - (0{,}22 + 0{,}66)\ 159 = 320$

O sea podemos llenar un embalse de V/S = 280 pero nó uno de 350.

Haremos a continuación el cálculo para V = 910 y V/S = 350.

Como el embalse no se llenará, y el déficit máximo se produce en abril:

$Q = (A_o + A_n)/(\ k_n -\ ) = (265 + 575)/\ 5{,}022 = \underline{167}$

(V/S) inicial será igual a A_o

Mes	V/S inicial +	A_n	- k_nQ	=	V/S final	Déficit total	Déficit mensual	
Set.	265	78	37		306			
Oct.	306	117	110		313			
Nov.	313	118	167		264			
Dic.	264	87	167		184			
Ene.	184	80	167		97			
Feb.	97	34	134	(-)	3	3	3	$< \alpha_6 Q$
Mar.	(-) 3	31	100	(-)	72	72	69	$< \alpha_7 Q$
Abr.	(-) 72	30	50	(-)	92	92	20	$< \alpha_8 Q$
	265 +	575	- 932	= (-)	92		92	$= \beta Q$

No falla

$Q = 167$

Resúmen Año 1955

V/S	Q
0	77
70	106
140	126
210	142
280	159
350	167

Año 1956

En este año debemos verificar si el embalse máximo (V/S = 350) se llena.

Sólo copiaremos los cálculos del caso V = 910 V/S = 350, por carecer de interés los restantes.

Del cuadro (A_n/k_n) obtenemos que, para que el embalse entregue agua desde noviembre, Q debe estar comprendido entre 154 y 224; y que la falla máxima se produce en abril con Q mayor de 63.

Suponiendo entrega en noviembre:

Entrega en	Falla en	ΣA_n	$V/S + \Sigma A_n$	$\Sigma k_n - \beta$	Q
Noviembre	Abril	342	692	4,142	167 (>154<224)

Verificamos si se llena este embalse:

$$A_0 + A_1 + A_2 - (k_1 + k_2)\, Q = 266 + 93 + 148 - (0{,}22 + 0{,}66)\, 167 = 360 > 350$$

O sea el embalse se llena.

Mes	V/S inicial +	A_n -	k_n =		V/S final	Déficit total	Déficit mensual	
Nov.	350	154	167		337			
Dic.	337	85	167		255			
Ene.	255	38	167		126			
Feb.	126	25	134		17			
Mar.	17	21	100	(-)	62	62	62	$< \alpha_7 Q$
Abr.	(-) 62	19	50	(-)	93	93	31	$< \alpha_8 Q$
	350 +	342 -	785 =	(-)	93		93	$= \beta Q$

No falla:

$Q = 167$

Resúmen año 1956

V/S	Q
0	45
70	81
140	104
210	127
280	149
350	167

5) Resumen General

Del párrafo 4, obtenemos los siguientes gastos límites que hacen fallar un año:

Valores de Q (m3/seg)

V/S	0	70	140	210	280	350
V	0	182	364	546	728	910
Año 1946	54	87	114	134	151	167
1947	42	83	112	134	153	171
1948	87	125	158	184	204	221
1949	41	69	88	106	124	140
1950	173	219	234	249	263	278
1951	120	148	169	186	203	219
1952	42	74	95	112	128	145
1953	108	146	179	211	243	265
1954	69	98	120	142	165	187
1955	77	106	126	142	159	167
1956	45	81	104	127	149	167

Ordenamos los valores de (Q) de mayor a menor y calculamos la seguridad de riego según p = 50 (2m-1)/N = 50 (2m-1)/11

Valores de Q (m3/seg)

V		0 0	182	364	546	728	910(mill.m3)
m	p%						
1	4,5	173	219	234	249	263	278
2	13,6	120	148	179	211	243	265
3	22,7	108	146	169	186	204	221
4	31,8	87	125	158	184	203	219
5	40,9	77	106	126	142	165	187
6	50,0	69	98	120	142	159	171
7	59,1	54	87	114	134	153	167
8	68,2	45	83	112	134	151	167
9	77,3	42	81	104	127	149	167
10	86,4	42	74	95	112	128	145
11	95,5	41	69	88	106	124	140

Dividiendo los valores de la tabla por la suma de los gastos de la temporada de riego de 1956, igual a ($\Sigma A = \Sigma_1^8 A_n = 583$), obtendremos:

Valores de ($Q/\Sigma A$)

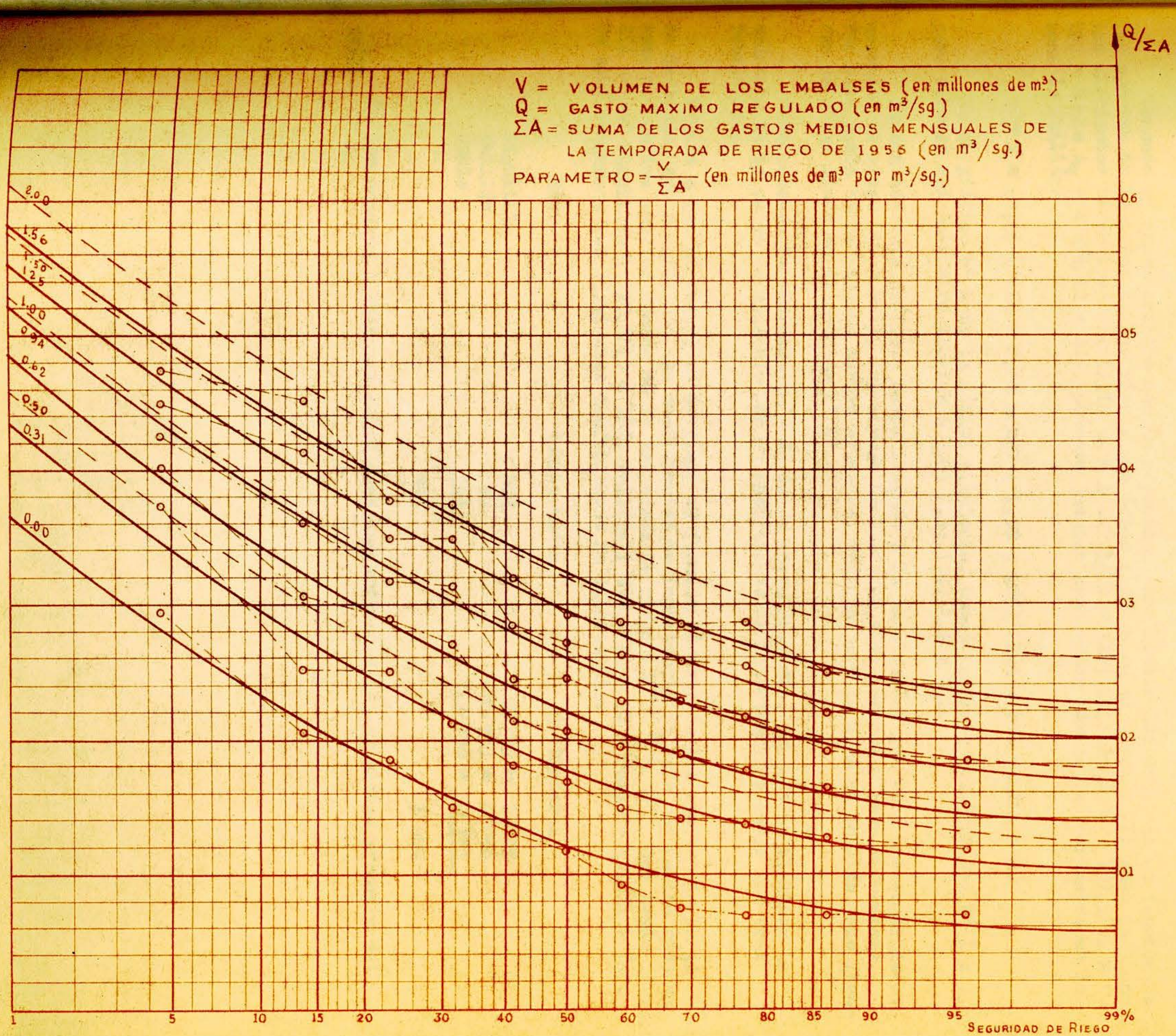
/ΣA	0,00	0,31	0,62	0,94	1,25	1,56 (mill.m3/m3/seg)
%						
4,5	0,297	0,376	0,401	0,427	0,451	0,477
3,6	0,206	0,254	0,307	0,362	0,417	0,455
2,7	0,185	0,250	0,290	0,319	0,350	0,379
1,8	0,149	0,214	0,271	0,316	0,348	0,376
0,9	0,132	0,182	0,216	0,244	0,283	0,321
0,0	0,118	0,168	0,206	0,244	0,273	0,293
9,1	0,093	0,149	0,196	0,230	0,262	0,286
8,2	0,077	0,142	0,192	0,230	0,259	0,286
[illegible]	0,072	0,139	0,178	0,218	0,256	0,286
[illegible]	0,072	0,127	0,163	0,192	0,220	0,249
[illegible]	0,070	0,118	0,151	0,182	0,213	0,240

Estos valores se encuentran dibujados en "papel probabilidades" en el gráfico N°3 la página siguiente. En este gráfico hemos trazado las curvas suavizadas para los valores $(V/\Sigma A)$ calculados. Finalmente hemos dibujado, por interpolación, las curvas de regulación ra valores de $(V/\Sigma A)$ espaciados en 0,5.

GRAFICO Nº 3

(DEL ANEXO DEL CAPITULO V)

REGULACION DEL RIO ÑUBLE EN SAN FABIAN



IV RESULTADOS DE LAS REGULACIONES

En los gráficos N°s 1, 2 y 3 del párrafo III hemos resumido los resultados de las regulaciones de los ríos Diguillín, Chillán y Ñuble, en función del parámetro $V/\Sigma A$ (V = volumen de los embalses; ΣA = suma de los gastos medios mensuales de la temporada de riego 1956).

Según el párrafo III el río Diguillín en Atacalco es capaz de llenar un embalse correspondiente a un parámetro de 3,47; el río Chillán en Esperanza uno de 2,24 y el Ñuble en San Fabián uno de 1,56.

Tomando en consideración que la capacidad para llenar los embalses es función de los aportes de invierno de los ríos y que éstos figuran en el párrafo III como (A_0) con los siguientes promedios: Diguillín A_0 = 1 407,1/11 = 128; Chillán A_0 = 2 102,5/21 = 100 y Ñuble A_0 = 4 676/11 = 425, podemos aceptar como valor máximo del parámetro en la zona de Chillán:

$$V/\Sigma A = (3{,}47 \times 128 + 2{,}24 \times 100 + 1{,}56 \times 425)/(128 + 100 + 425) = 2{,}0$$

En el gráfico N° 4 de la página siguiente, hemos resumido los gráficos N° 1 a 3, para valores del parámetro iguales a 0,0; 0,5; 1,0; 1,5 y 2,0.

Examinando este gráfico, hemos llegado a la conclusión, que para las seguridades normales de riego (40 a 90%), las curvas de los tres ríos presentan poca diferencia. Por esta razón hemos buscado curvas promedio, válidas para la zona de Chillán, que figuran de línea llena en el gráfico N° 4°.

Para obtener la ordenada ($Q/\Sigma A$) de la curva promedio, debemos multiplicar la ordenada de la curva de cada río por un coeficiente de importancia y sumar los tres resultados.

Debido a que la seguridad de riego es función directa de los aportes de la temporada de riego, hemos calculado los coeficientes de importancia de cada uno de los ríos de acuerdo con los aportes medios de la temporada de riego ($\Sigma_1^N \Sigma_1^8 A_n / N$), que según párrafo III valen: Diguillín 1 120,5/11 = 102, Chillán 1 898,5/21 = 90 y Ñuble 8 171/11 = 743. De aquí obtenemos los siguientes coeficientes de importancia:

Río	Aporte medio	Coeficiente
Diguillín	102	102/935 = 0 109
Chillán	90	90/935 = 0 096
Ñuble	743	743/935 = 0 795
	935	1 000

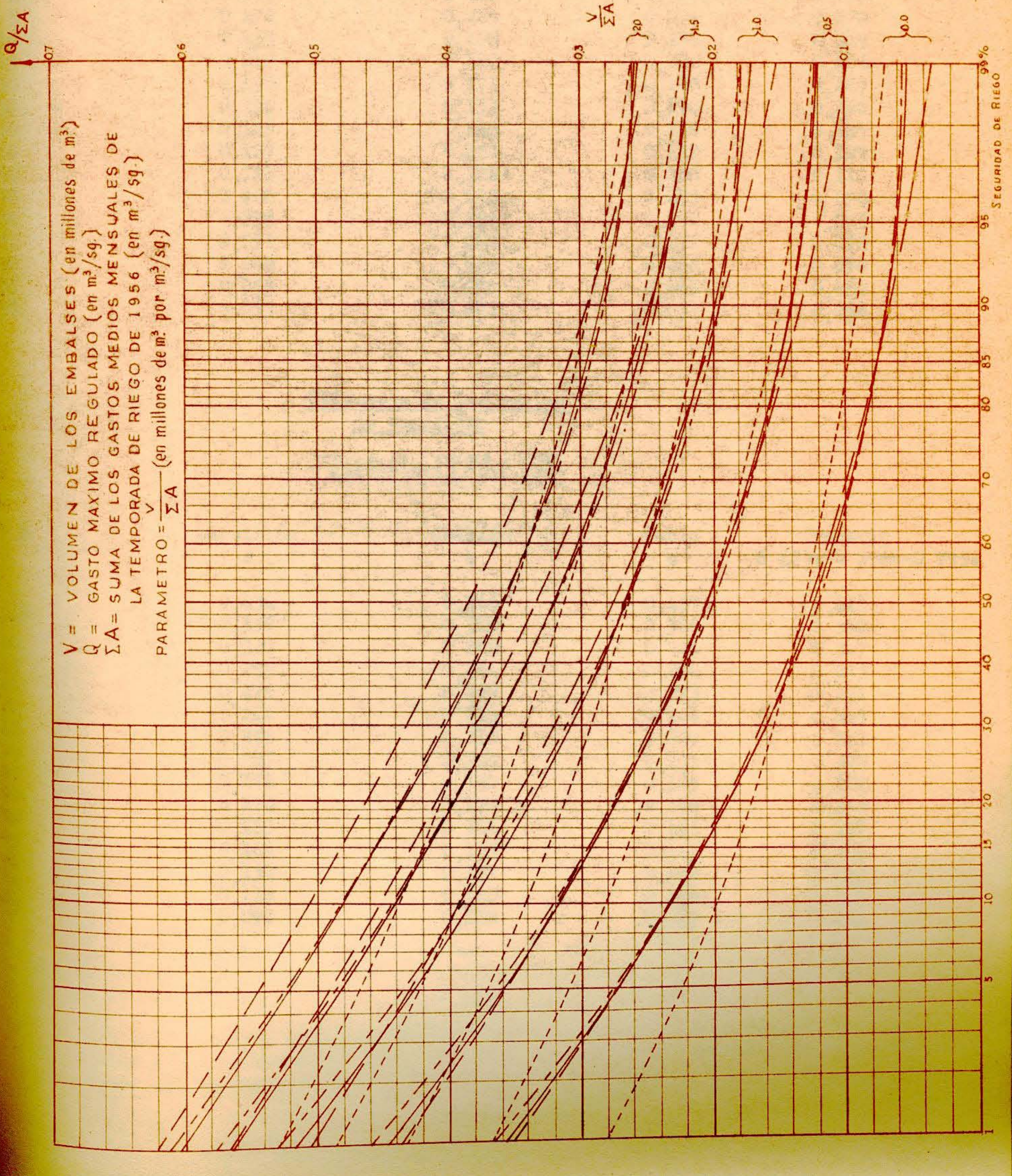
En los cuadros siguientes calculamos las ordenadas de las curvas promedio del gráfico N° 4.

GRAFICO Nº 4

(DEL ANEXO DEL CAPITULO V)

REGULACION GENERAL DE LOS RIOS DE LA ZONA DE CHILLAN

Rio Diguillin en Atacalco : — — — — —
Rio Chillan en Esperanza : - - - - - - - - - -
Rio Ñuble en San Fabian : — - — - — - —
Promedio de la zona : ————————



Ordenadas de las curvas de seguridad.-

Parámetro: $V/\Sigma A$ = 0,0

p %	Diguillín a	Chillán b	Ñuble c	Promedio 0 109a+0 096b+0 795c
1	0,350	0,280	0,365	0,355
5	0,272	0,225	0,275	0,270
10	0,233	0,198	0,232	0,229
15	0,210	0,182	0,208	0,206
20	0,190	0,171	0,188	0,187
30	0,165	0,153	0,160	0,160
40	0,145	0,143	0,138	0,139
50	0,127	0,132	0,120	0,122
60	0,113	0,122	0,108	0,110
70	0,100	0,113	0,093	0,096
80	0,086	0,104	0,082	0,085
85	0,075	0,098	0,076	0,078
90	0,066	0,092	0,068	0,070
95	0,053	0,084	0,061	0,062
99	0,033	0,071	0,057	0,066

Ordenadas de las curvas de seguridad

Parámetro: $V/\Sigma A$ = 0,5

p %	Diguillín a	Chillán b	Ñuble c	Promedio 0 109a+0 096b+0 795c
1	0,434	0,366	0,457	0,446
5	0,359	0,310	0,366	0,360
10	0,320	0,282	0,321	0,317
15	0,293	0,264	0,284	0,283
20	0,275	0,252	0,273	0,271
30	0,247	0,233	0,244	0,243
40	0,225	0,218	0,220	0,220
50	0,207	0,204	0,201	0,202
60	0,188	0,192	0,185	0,186
70	0,170	0,178	0,168	0,169
80	0,153	0,166	0,156	0,157
85	0,142	0,158	0,147	0,148
90	0,132	0,151	0,140	0,140
95	0,118	0,140	0,132	0,131
99	0,099	0,128	0,123	0,121

Ordenadas de las curvas de seguridad

Parámetro: $V/\Sigma A = 1,0$

p %	Diguillín a	Chillán b	Ñuble c	Promedio 0 109a+0 096b+0 795c
1	0.505	0,430	0,526	0,514
5	0,431	0,371	0,435	0,428
10	0,392	0,342	0,391	0,386
15	0,369	0,328	0,363	0,360
20	0,351	0,312	0,342	0,340
30	0,321	0,292	0,311	0,310
40	0,297	0,278	0,287	0,287
50	0,275	0,263	0,265	0,266
60	0,255	0,250	0,247	0,248
70	0,237	0,236	0,230	0,231
80	0,217	0,223	0,212	0,214
85	0.207	0,215	0,204	0,205
90	0,193	0,207	0,194	0,195
95	0,175	0,195	0,183	0,183
99	0,151	0,178	0,177	0,174

Ordenadas de las curvas de seguridad.-

Parámetro: $V/\Sigma A = 1,5$

p %	Diguillín a	Chillán b	Ñuble c	Promedio 0 109a+0 096b+0 795c
1	0,565	0,485	0,573	0,564
5	0,492	0,413	0,496	0,488
10	0,452	0,382	0,443	0,438
15	0,428	0,375	0,416	0,413
20	0,410	0,362	0,396	0,394
30	0,380	0,342	0,366	0,365
40	0,354	0,328	0,340	0,340
50	0,333	0,313	0,320	0,321
60	0,312	0,299	0,300	0,301
70	0,292	0,284	0,278	0,280
80	0,272	0,271	0,260	0,262
85	0,260	0,262	0,251	0,253
90	0,248	0,252	0,242	0,244
95	0,228	0,241	0,230	0,231
99	0,201	0,225	0,220	0,218

Ordenadas de las curvas de seguridad

Parámetro : $V/\Sigma A = 2,0$

p %	Diguillín a	Chillán b	Ñuble c	Promedio 0,109a+0,096b+0,795c
1	0,621	0,528	0,610	0,603
5	0,546	0,468	0,526	0,523
10	0,506	0,437	0,482	0,480
15	0,482	0,420	0,454	0,454
20	0,463	0,406	0,433	0,434
30	0,433	0,385	0,407	0,408
40	0,408	0,367	0,381	0,383
50	0,384	0,352	0,359	0,361
60	0,363	0,338	0,339	0,342
70	0,342	0,326	0,319	0,322
80	0,320	0,311	0,301	0,304
85	0,308	0,303	0,291	0,294
90	0,294	0,293	0,281	0,284
95	0,275	0,281	0,269	0,271
99	0,247	0,262	0,257	0,256

Los datos finales de los cinco cuadros precedentes nos permiten hacer el siguiente cuadro definitivo de los ríos de la zona de Chillán:

Valores de $Q/\Sigma A$ en la zona de Chillán

Seguridad	$V/\Sigma A$ = 0,0	0,5	1,0	1,5	2,0
1	0,355	0,446	0,514	0,564	0,603
5	0,270	0,360	0,428	0,488	0,523
10	0,229	0,317	0,386	0,438	0,480
15	0,206	0,283	0,360	0,413	0,454
20	0,187	0,271	0,340	0,394	0,434
30	0,160	0,243	0,310	0,365	0,408
40	0,139	0,220	0,287	0,340	0,383
50	0,122	0,202	0,266	0,321	0,361
60	0,110	0,186	0,248	0,301	0,342
70	0,096	0,169	0,231	0,280	0,322
80	0,085	0,157	0,214	0,262	0,304
85	0,078	0,148	0,205	0,253	0,294
90	0,070	0,140	0,195	0,244	0,284
95	0,062	0,131	0,183	0,231	0,271
99	0,056	0,121	0,174	0,218	0,256

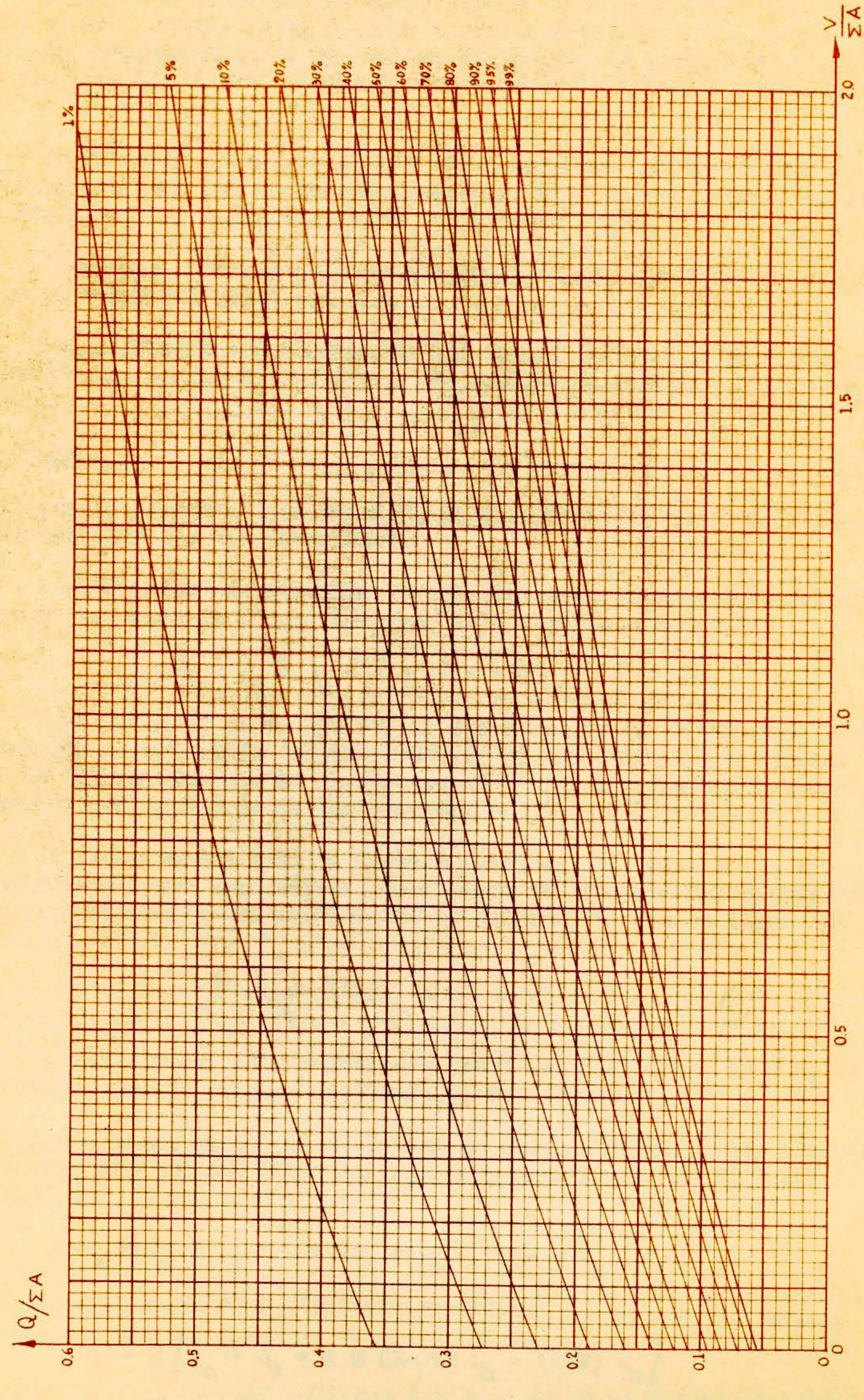
Los datos de este cuadro figuran en el gráfico N° 5 de la página siguiente y en el gráfico N° 17 del Informe. En este gráfico final usamos como parámetro la seguridad de riego.

Amplificando, para un río dado, las coordenadas por la suma de sus gastos medio mensuales de la temporada de riego de 1956, obtenemos la seguridad de riego en función del gasto máximo regulado y del volúmen de los embalses.

GRAFICO Nº 5

(DEL ANEXO DEL CAPITULO V)

REGULACION GENERAL DE LOS RIOS DE LA ZONA DE CHILLAN



V = VOLUMEN DE LOS EMBALSES (en millones de m³)
Q = GASTO MAXIMO REGULADO (en m³/sg.)
ΣA = SUMA DE LOS GASTOS MEDIOS MENSUALES DE LA TEMPORADA DE RIEGO DE 1956 (en m³/sg.)
PARAMETRO = SEGURIDAD DE RIEGO (en %)

B) DISPONIBILIDADES DE AGUA EN EL CAMINO LONGITUDINAL

I) Gastos Naturales de los ríos

a) Procedimiento

Para poder comparar las estadísticas de la parte alta con las de las estaciones del camino longitudinal, debemos corregir éstas últimas. En efecto, no es posible exigir proporcionalidad de gastos, si los de la parte baja (camino longitudinal) han sido afectados por las extracciones de los canales las que, en algunos casos, llegan al extremo de agotar los ríos.

En resumen, debemos calcular los gastos que habrían escurrido en la parte baja, en el supuesto que no existan canales. Estos gastos, serán los gastos naturales de los ríos, que designaremos por el símbolo (Q_n).

Para ello, debemos avaluar los efectos, que las extracciones por canales, tienen en el valor del gasto natural.

Estos efectos son: Reducción del caudal del río en bocatoma, y retorno al río de parte de los caudales extraídos, por pérdida en canales o derrames del terreno regado.

b) Retorno del riego

Aanalizaremos a continuación, el procedimiento que fué aplicado en el capítulo IV al estudiar las recuperaciones.

Para el caso más sencillo, en que los esteros afluentes del río no reciben derrames (retornos de riego) llegamos a la siguiente relación:

$$Q_b = Q_a + Q_e - Q_c + \beta Q_c + A + BQ_e$$

Aquí Q_b es el gasto del río al final del tramo en estudio (punto B), Q_a el gasto del río al principio del tramo AB, Q_c el que extraen los canales en este tramo y Q_e el de los esteros que lo alimentan. A, B y β son incógnitas, que determinamos de acuerdo con la teoría de los errores.

Al determinarse (β) en forma inequívoca, llegamos a que el gasto natural del río calculado según este método, no depende de los posibles errores en los avalúos de las superficies y del coeficiente de retorno α que se ligan con β por la relación:

$$\beta = \frac{S_1}{S_t} (\alpha)$$

S_1 es la superficie regada que drena hacia el tramo AB y S_t es la superficie total servida por los canales derivados en este tramo.

Ahora bien, si (β) se determina en forma precisa, y sus errores sólo dependen de la exactitud de las experiencias, podemos afirmar que el gasto natural en (B) habría sido:

$$Q_n = Q_a + Q_e + A + BQ_e = Q_b + Q_c - \beta Q_c$$

De aquí sacamos el siguiente promedio:

$$Q_n = \tfrac{1}{2}\left[Q_a + Q_b + A + (1-\beta)\, Q_c + (1+B)\, Q_e\right]$$

En el capítulo IV no se estudió una situación que analizaremos ahora, Se refiere al caso en que parte de los retornos de riego llegan a los esteros afluentes del tramo en estudio, de modo que estos retornos se aforan junto con los gastos propios de los esteros.

Para estudiar este caso supondremos que el coeficiente de retorno sea (α), y que, de la superficie total (S_t) bajo riego, una fracción (S_2) drena hacia los esteros, y otra (S_1) hacia el tramo del río en estudio. Designaremos por (Q^1_c) el gasto extraído por los canales en un momento anterior al de la experiencia, desfasado en el tiempo que demoran los retornos en volver al río.

Obtendremos los siguientes gastos propios de los esteros:

$$Q_e - (\alpha S_2/S_t)\, Q^1_c$$

La relación que determina el gasto en el punto (B) quedará en consecuencia, en la siguiente forma:

$$Q_b = Q_a + \left[Q_e - (\alpha S_2/S_t) Q^1_c\right] - Q_c + (\alpha S_1/S_t) Q^1_c + A + B\left[Q_e - (\alpha S_2/S_t)\, Q_c^1\right]$$

$$\alpha (S_1 - S_2) Q^1_c/S_t + A + BQ_E - (\alpha B) S_2 Q_c^1/S_t = Q_b - Q_a - Q_e + Q_c$$

En esta expresión debemos calcular las incógnitas A, B y α de acuerdo con la teoría de los errores, la que nos llevará a un sistema de tres ecuaciones no-lineales, por lo que conviene determinar las incógnitas por aproximaciones sucesivas.

En el capítulo IV se demostró que los retornos son rápidos, es decir que no transcurre mucho tiempo entre el momento que se produce la pérdida en el canal o el regadío del predio, y el retorno del agua al río. Por tanto: $Q_c = Q^1_c$.

El gasto natural en (B), si consideramos la relación anterior será:

$$Q_b + Q_c - (\alpha S_1/S_t) Q_c = Q_a + \left[Q_e - (\alpha S_2/S_t) Q_c\right] + A + B\left[Q_e - (\alpha S_2/S_t) Q_c\right]$$

De aquí obtenemos el siguiente promedio.

$$Q_n = \tfrac{1}{2}\left[Q_a + Q_b + A + \left\{1 - \alpha (S_1 + S_2 + BS_2)/S_t\right\} Q_c + (1+B)\, Q_e\right]$$

Al anular (S_2) llegamos a la fórmula que ya dedujimos en el capítulo IV

Si ($S_1 = S_2$), la teoría de los errores dará tres ecuaciones lineales con las siguientes incógnitas: A, B y ($\alpha B\, S_1/S_t$), de modo que ($\alpha S_1/S_t$) se determina en forma inequívoca. Por tanto, para ($S_1 = S_2$), el gasto natural en (B) no estará influenciado por posibles errores en el avalúo de (S_1).

Para el caso ($S_1 = 0$), también obtendríamos tres ecuaciones lineales en: A, B y $[(1+B)\alpha\, S_2/S_t]$, lo que determina el valor del gasto natural en (B) en forma independiente de cualquier error de (S_2).

En resumen, podemos afirmar que, para ($S_1 = 0$) ($S_1 = S_2$) y ($S_2 = 0$) los errores en los avalúos de (S_1) y (S_2) no tienen influencia en los avalúos de los gastos naturales en la parte baja de la hoya (punto B). Generalizando tendremos la siguiente conclusión:

Los errores en las apreciaciones de las superficies regadas que drenan hacia el río o hacia los esteros, prácticamente no afectan los gastos naturales calculados para la parte baja de los ríos, y sólo influyen en la determinación del coeficiente (α) de retorno.

Estos coeficientes de retorno, reflejan la situación real de riego de cada zona debido a que incluye el efecto de los riegos con retornos que se captan antes de llegar al río o a los esteros. Por tanto el coeficiente real de retorno debe ser superior al (α) global calculado según nuestro método.

Lo anterior nos permite ponernos del lado de la seguridad, y aceptar para los nuevos terrenos por regar, un coeficiente (α) semejante pero menor, al peor de los coeficientes de retorno calculados.

c) Cálculo de los gastos naturales

1) Río Diguillín

Del capítulo IV, sobre recuperaciones, sacamos los siguientes valores, cuya nomenclatura corresponde a la del párrafo anterior:

$$\alpha = 0{,}55$$
$$\beta = 0{,}49$$
$$A = 1{,}5$$
$$B = 0{,}13$$
$$S_2 = 0$$

Los gastos medios mensuales a partir de octubre de 1956, figuran en el cuadro siguiente. En este cuadro (Q_a) corresponde a los gastos en la estación de San Lorenzo y (Q_b) a los de la estación del camino longitudinal. Para (Q_c) y (Q_e) tomamos los valores promedios de las dos medidas hechas en el mes.

Mes	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	Suma
Gastos en:								
Parte Superior: Q_a	=15,9	14,1	6,0	3,2	2,4	2,0	1,8	45,4
Parte Inferior: Q_b	=36	16,5	0,8	0,6	0,4	0,5	0,8	
Canales: Q_c	=19,6	23,4	18,6	12,4	10,0	9,0	8,4	
Esteros: Q_e	=15,8	8,6	2,4	1,6	1,4	1,1	1,2	

Finalmente tenemos el valor de (Q_a) en el mes de septiembre, con un promedio de 11,6 m3/seg

Con estos datos calculamos los gastos naturales, medios mensuales, del río Diguillín en el camino longitudinal, según la fórmula respectiva del párrafo anterior.

Mes	$Q_a/2$ +	$Q_b/2$ +	$A/2$ +	$(1-\beta)\ Q_c/2$ +	$(1+B)\ Q_e/2$ =	Q_n (m3/seg)
Oct.	7,95	18,00	0,75	5,00	8,93	40,6
Nov.	7,05	8,25	0,75	5,97	4,86	26,9
Dic.	3,00	0,40	0,75	4,74	1,36	10,2
Ene.	1,60	0,30	0,75	3,16	0,90	6,7
Feb.	1,20	0,20	0,75	2,55	0,79	5,5
Mar.	1,00	0,25	0,75	2,30	0,62	4,9
Abr.	0,90	0,40	0,75	2,14	0,68	4,9

Suma de gastos medios mensuales (octubre a abril)= 99,7

En septiembre sólo disponemos de datos incompletos, por lo que calculamos la suma de los gastos medios mensuales de la temporada de riego de 1956 (ΣA), por proporción con la parte alta del río.

$$\Sigma A = 99{,}7\ (45{,}4 + 11{,}6)/45{,}4 = 125\ \text{m3/seg}$$

De aquí deducimos, para el gasto medio de septiembre en la parte baja: 125 - 99,7 = 25,3 m3/seg

Para desglosar los aportes de la hoya baja ($Q_n - Q_a$) tenemos:

Mes	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	Suma
Q_n	25,3	40,6	26,9	10,2	6,7	5,5	4,9	4,9	125,0
Q_a	11,6	15,9	14,1	6,0	3,2	2,4	2,0	1,8	57,0
$Q_n - Q_a$	13,7	24,7	12,8	4,2	3,5	3,1	2,9	3,1	68,0

De aquí se deduce como aporte de la hoya baja, en la temporada de riego de 1956 (septiembre a abril) un total de 68 m3/seg.

2) Río Chillán

En este río tenemos algunas zonas de riego que drenar hacia los esteros afluentes. La aplicación del método de cálculo nos llevó a resultados absurdos, cuyas causas se analizan en el capítulo IV. En ese estudio se llega a la conclusión, que, para avaluar los recursos de la parte baja del río Chillán, se debía aceptar que el rendimiento de la zona baja (en m3/seg por Km2 de hoya) es igual a los rendimientos de las partes bajas del río Diguillín o del Ñuble.

Esto obliga a incluir el estudio de la parte baja del río Chillán en el párrafo (4) de este capítulo. La parte alta del río Chillán aportó en la temporada de riego de 1956 un total de ΣA = 69,5 $\sim$ 70 m3/seg según el párrafo (A - III - b - 1).

Como dato ilustrativo daremos a continuación, los gastos naturales del río Chillán en el camino longitudinal, calculados por proporción, con los de la parte baja del río Diguillín. Logicamente, obtendremos valores de (Q_n) que carecen de exactitud.

Las hoyas hidrográficas de las partes bajas (que alimentan el tramo AB del río) de los ríos Diguillín y Chillán miden respectivamente: 1055 y 420 Km2. Esto nos dá un coeficiente de proporcionalidad de 420/1055 = 0,398.

En el cuadro siguiente, calculamos mes a mes los gastos naturales del río Chillán en el camino longitudinal. En el primer renglón figuran los gastos naturales de la parte baja del río Diguillín, obtenidos en el párrafo anterior. En el renglón siguiente, están los gastos naturales de la parte baja del río Chillán, que resultan, al amplificar por 0,398, los valores del renglón anterior. Agregamos, en el tercer renglón los gastos en la parte alta del río Chillán, según párrafo: A - III - b - 1. Finalmente, tenemos en el último renglón, los gastos naturales del río Chillán en el camino longitudinal, que obtuvimos sumando los dos renglones anteriores:

Río Chillán

Valores de (Q_n) en m3/seg

Mes	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.
Parte Baja del Diguillín:	13.7	24.7	12.8	4,2	3,5	3,1	2,9	3,1
Parte Baja del Chillán:	5,5	9,8	5,1	1,7	1,4	1,2	1,2	1,2
Parte Alta del Chillán:	15,1	14,2	11,7	8,0	6,6	5,5	4,7	3,7
Total del Chillán:	20,6	24,0	16,8	9,7	8,0	6,7	5,9	4,9

Nota: Ver también el párrafo subsiguiente.

3) Río Ñuble

Para calcular el gasto normal del río Ñuble en el camino longitudinal, y sus retornos hemos separado el río Ñuble del Cato en su confluencia. Este punto se encuentra cerca del camino longitudinal.

Con esta separación evitamos los errores, que pueden ser importantes en un estero de poco caudal, que además se encuentra reducido por extracciones de canales. En el párraf siguiente avaluaremos los aportes naturales del río Cato y de otros esteros de cierta importancia.

Los resultados del cálculo de recuperaciones (capítulo IV) del río Ñuble son:

α = 0,58
β = 0,46
A = -9,8 m3/seg
B = 0,03
S_o = 0

Para calcular los retornos de este río, fué necesario considerar el río Ñuble en San Fabián, como un estero más, debido a que los esteros propiamente dichos eran muy reducidos. Por tanto conocemos (Q_a=0) y los gastos de esteros los determinamos según el cuadro siguiente:

Mes	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	Suma
Gastos en								m3/seg
San Fabián	148	154	85	38	25	21	19	490
Esteros	5.4	2.9	0.5	0.2	0.1	0.0	0.0	
Q_e	153	157	86	38	25	21	19	

El gasto de septiembre en San Fabián, es de 93 m3/seg, lo que da un aporte de la temporada de riego del río Ñuble en San Fabián de 429 + 93 = 583 m3/seg.

En el cuadro siguiente calculamos los gastos (Q_b) del río Ñuble en la confluencia con el río Cato por diferencia, y agregamos el valor de (Q_c) que es el promedio de los valores medidos en cada mes.

Mes	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.
Gastos en:							
Camino Longitudinal	175	158	42	5,4	1,4	1,5	1,8
Río Cato	31	18,6	4,5	1,6	1,1	0,9	1,1
Confluencia: Q_b=	144	139	37	3,8	0,3	0,6	0,7
Canales: Q_c=	43	57	54	39	28	24	20

El cuadro siguiente muestra el cálculo de los gastos naturales del río Ñuble en la confluencia del río Cato, cerca del camino longitudinal:

Mes	$Q_a/2$ +	$Q_b/2$ + $A/2$ +	$(1-\beta)\ Q_c/2$ +	$(1+B)\ Q_e/2$	=	Gasto natural
Oct.	0,00	72,00	- 4,90	11,61	78,80	158
Nov.	0,00	69,50	- 4,90	15,39	80,86	161
Dic.	0,00	18,50	- 4,90	14,58	44,29	72
Ene.	0,00	1,90	- 4,90	10,53	19,57	27
Feb.	0,00	0,15	- 4,90	7,56	12,88	16
Mar.	0,00	0,30	- 4,90	6,48	10,82	13
Abr.	0,00	0,35	- 4,90	5,40	9,78	11

Suma de gastos medios mensuales (octubre a abril) 458

En este río se produce infiltración de agua superficial; es decir, el río alimenta la napa subterránea. Por tanto, si se drenan los retornos de riego o se extraen estas aguas, podemos contar además con el gasto perdido ascendente a $[-(A+BQ_e)]$. Esto nos dará un recurso adicional que calculamos en el cuadro siguiente:

Mes	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	Suma
- A =	+9,80	+9,80	+9,80	+9,80	+9,80	+9,80	+9,80	
- BQ_e =	-4,59	-4,71	-2,58	-1,14	-0,75	-0,63	-0,57	
Recurso	5,21	5,09	7,22	8,66	9,05	9,17	9,23	53,63

El recurso adicional, que podemos obtener recuperando las infiltraciones, será en consecuencia de 53,63 m3/seg = 54 m3/seg, desde octubre a abril. El total de recursos de octubre 1956 a abril 1957 será: 458 + 54 = 521 m3/seg.

Para obtener los recursos de la temporada de riego de 1956, debemos avaluar los aportes de septiembre, mes en que carecemos de antecedentes. Para este efecto recurrimos a la estadística del río Ñuble en San Fabián y procedemos por proporción. Con los datos ya anotados tendremos:

Sin recuperación de infiltraciones:

A = 458 x (583/490) = 545 m3/seg

Recuperando las infiltraciones:

A = 512 (583/490) = 609 m3/seg

Del primero de los datos obtenemos el gasto natural del río en el camino longitudinal, según: 545 - 458 = 87 m3/seg, lo que da la siguiente estadística de gastos naturales:

Mes	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.
Q_n	87	158	161	72	27	16	13	11

Del segundo dato obtenemos el aporte de la parte baja de la hoya que será: 609 - 583 = 26 m3/seg.

4) <u>Esteros mayores</u>

Fuera de los ríos Diguillín, Chillán y Ñuble, existen varios esteros de relativa importancia en sus cruces con el camino longitudinal, y que en conjunto aumentan las disponibilidades de agua en la zona.

Entre estos esteros y ríos menores, figura desde luego el río Cato mencionado en el párrafo anterior. Consideremos además el río Larqui y el estero Palpal. Según el párrafo (2) de este capítulo, debemos incluir también la zona baja del río Chillán.

Avaluaremos los gastos naturles de estos cauces, basándonos en los rendimientos (en m3/seg por Km2) de las partes bajas de los ríos Diguillín y Ñuble (Párrafos 1 y 3).

Con los datos del río Diguillín (párrafo 1) y las medidas de las hoyas hidrográficas, obtendremos el siguiente rendimiento:

(ΣA) de la parte baja:	68 m3/seg
Hoyas hidrográficas:	
En camino longitudinal (punto:3)	1250 Km2
En su parte alta, en San Lorenzo (punto A)	195 "
De la parte baja:	1055 Km2

Rendimiento: 68/1055 = 0,0645 m3/seg /Km2

Análogamente obtendremos para el río Ñuble (párrafo 3)

(ΣA) de la parte baja:	26 m3/seg
En confluencia con el Cato (Punto B)	2050 km2
Hoyas hidrográficas:	
En su parte alta, en San Fabián (Punto A)	1650 km2
	400 km2

Rendimiento: 26/400 = 0,0650 m3/seg/Km2

Los rendimientos de las hoyas de las partes bajas de ambos ríos son semejantes por lo que aceptaremos que en las demás hoyas se mantiene su valor medio, que es igual a:

Rendimiento medio = (68+26)/(1055+400) = 0,0646 m3/seg/Km2

Para calcular los gastos medios mensuales naturales de los distintos ríos, en la temporada de riego de 1956, aceptaremos que son proporcionales a los que calculamos en el río Diguillín. (No recurriremos a los resultados obtenidos en el río Ñuble ya que las fuertes infiltraciones, hacen dudar de la seguridad de los resultados, y la hoya de la parte baja del Ñuble es muy reducida, comparada con la del Diguillín).

En el párrafo 1 hemos obtenido los siguientes gastos medios mensuales, aportados por la parte baja del río Diguillín, desde septiembre de 1956 hasta abril de 1957: 13,7; 24,7; 12,8; 4,2; 3,5; 3,1; 2,9 y 3,1 m3/sg, lo que suma ΣA=68,0. Como el rendimiento medio total es de 0,0646 llegaremos a los siguientes rendimientos mensuales:

Mes		Rendimiento mensual
Set. 1956		0,0130 m3/seg/Km2
Oct.		0,0235
Nov.		0,0122
Dic.		0,0040
Ene. 1957		0,0033
Feb.		0,0029
Mar.		0,0028
Abr.		0,0029
	Total	0,0646 m3/seg/Km2

Anotamos a continuación las superficies de las distintas hoyas en el camino longitudinal:

Río Cato	875 Km2
Río Larqui	320 "
Estero Palpal	105 "
Río Chillán (parte baja):	420 "
	1 720 Km2

Aplicando a estas superficies, los rendimientos mensuales llegamos a:

Gastos naturales en camino longitudinal(m3/seg)

Río (Estero)	Cato	Larqui	Palpal	Chillán (parte baja)
Set.	11,4	4,2	1,4	5,5
Oct.	20,6	7,5	2,5	9,8
Nov.	10,7	3,9	1,3	5,1
Dic.	3,5	1,3	0,4	1,7
Ene.	2,9	1,1	0,3	1,4
Feb.	2,5	0,9	0,3	1,2
Mar.	2,4	0,9	0,3	1,2
Abr.	2,5	0,9	0,3	1,2
Total:	56,5	20,7	6,8	27,1

Nota: Los valores obtenidos para Chillán concuerdan con los del párrafo 2.

5) Resumen

Resumimos a continuación los gastos naturales de los distintos ríos y esteros en el camino longitudinal

Río (Estero)	Diguillín	Chillán	Ñuble	Cato	Larqui	Palpal
Set. 1956	25,3	20,6	87	11,4	4,2	1,4
Oct.	40,6	24,0	158	20,6	7,5	2,5
Nov.	26,9	16,8	161	10,7	3,9	1,3
Dic.	10,2	9,7	72	3,5	1,3	0,4
Ene. 1957	6,7	8,0	27	2,9	1,1	0,3
Feb.	5,5	6,7	16	2,5	0,9	0,3
Mar.	4,9	5,9	13	2,4	0,9	0,3
Abr.	4,9	4,9	11	2,5	0,9	0,3
Suma:	125,0	96,6	545	56,5	20,7	6,8

II RECURSOS EN CAMINO LONGITUDINAL.-

Del párrafo: (B-I), recopilamos las sumas de gastos medios mensuales, naturales, en la temporada de riego de 1956.

El río Diguillín en la parte alta dió (según párrafo B-I-c-1) 57,0 m3/seg y en la baja: 68,0 o más.

El río Chillán (según párrafos: B-I-c-2- y B-I-c-4) dió en la parte alta: 70 m3/seg y en la baja: 27,1 m3/seg más.

Para el río Ñuble (párrafo: (B-I-c-3), obtuvimos en la parte alta: A=583 m3/seg y en la parte baja sólo dió en total 545 m3/seg. Esto se debe a los gastos que se infiltran en el subsuelo. Por esta razón, calcularemos los recursos, considerando sólo los de la parte superior.

Los aportes del Cato, del Larqui y del Palpal, figuran en párrafo B-I-c-5 con 56,5; 20,7 y 6,8 m3/seg respectivamente.

Para los efectos del avalúo de la totalidad de los recursos aprovechables en el camino longitudinal, consideraremos lo siguiente:

1° Los recursos de las partes altas de los ríos Diguillín, Chillán y Ñuble son integramente aprovechables. Esto da un total de $\Sigma A = 57{,}0 + 70 + 583 = 710$ m3/seg.

2° Las partes bajas de los ríos Diguillín y Chillán y los aportes de los ríos Cato, Larqui y Palpal, sólo son aprovechables en un 75% en el camino longitudinal, ya que los aportes son reducidos. Obtendremos así un aporte total de 68,0 + 27,1 + 56,5 + 20,7 + 6,8 = 179,1 cuyo 75% alcanza a: 134 m3/seg.

3° No consideraremos aprovechable, el aporte de la parte baja del Ñuble, ya que en la actualidad se pierde por infiltración un gasto mayor que este aporte. Por tanto $\Sigma A = 0$.

En resumen los aportes totales disponibles en la zona de Chillán, medidos por la suma de los gastos medios de la temporada de riego de 1956, alcanzan a: 710 + 134 + 0 = 844 m3/seg.

$$\Sigma A = 844 \text{ m3/seg}$$

En la lista siguiente figuran los aportes aprovechables, calculados en la forma indicada, para las distintas hoyas:

Hoya	ΣA aprovechable
Diguillín Alto (hasta San Lorenzo)	57
Diguillín Bajo (San Lorenzo al Longitudinal)	51
Chillán Alto (hasta Esperanza)	70
Chillán Bajo (Esperanza al Longitudinal)	20
Ñuble Alto (hasta San Fabián)	583
Ñuble Bajo (San Fabián a Confluencia Cato)	0
Cato (hasta Confluencia Ñuble)	42
Larqui (hasta Camino Longitudinal)	16
Palpal (hasta Camino Longitudinal)	5
Total de la zona de Chillán:	844

En la parte baja del Diguillín, incluimos el aporte del río Renegado, que es totalmente aprovechable con ΣA = 12 m3/seg. Estos aportes podíamos haberlos considerado como formando parte de la zona alta del Diguillín, ya que la confluencia de ambos ríos se produce cerca de la posible ubicación de un embalse, y es posible almacenar estos aportes en él, en forma económica.

C) CONSUMOS DE RIEGO

1) Generalidades

En el párrafo (A) hemos calculado las regulaciones basándonos en los consumos relativos de los distintos meses. Estos eran de septiembre a abril: 0,22 - 0,66 - 1,00 - 1,00 - 1,00 - 0,80 - 0,60 y 0,30, con un total de 5,58. Las regulaciones fueron calculadas tomando como base el gasto del mes de máximo consumo, que es diciembre con 1,00. Para apreciar el número de hectáreas regadas con un cierto gasto del mes de máximo consumo, debemos estudiar la tasa necesaria para regar una hectárea.

Los consumos están afectados por dos circunstancias: 1° el agua necesaria en el terreno y 2° las pérdidas en los canales.

El agua necesaria en el terreno depende de los cultivos y de la calidad del suelo. Estimamos que en el mes de máximo consumo necesitamos 0,75 litros por segundo y por hectárea, siempre que el total de hectáreas regadas sea reducido. Esto equivale a 0,75 x 5,58 x 2 600 000 = 10 900 000 litros = 10 900 m3 por hectárea el año.

Al aumentar la superficie regada, estaremos obligados a incluir terrenos de peor calidad y que por ende necesitan mas agua. Aceptaremos que, con un total de aproximadamente 100,000 Has en la zona de Chillán, comienza a hacerse sentir este fenómeno y que para un total de unas 350 000 Has ya debemos contar con un consumo medio recargado en un 10%.

En cuanto a las pérdidas en los canales, estas también varían con la superficie bajo agua. En efecto: si la superficie es reducida, se elegirán los terrenos que están mas cerca de las bocatomas, y al aumentar la superficie regada será necesario agregar terrenos cada vez mas alejados y las pérdidas de los canales dependen del caudal y de la longitud de éstos. Aceptaremos que este efecto no se hace sentir cuando la superficie regada es inferior a las 100 000 Has límites del párrafo anterior, y que en este caso la pérdida alcanza a un 25% del gasto extraído del río. Cuando la superficie total bajo agua alcanza al límite de 350 000 Has, aceptaremos que la pérdida media llega a un 40%.

En consecuencia la tasa en boca-toma para un total de 100 000 Has o menos, es de 0,75/(1-0,25) = 1,000 L/seg/Ha, y para 350 000 Has de (0,75 x 1,10)/(1-0,40) = 1,375 L/seg/Ha. Esto es en el caso de no considerar retornos de riego que permiten regar con una mayor superficie con las mismas aguas.

En el párrafo (B-I-c) hemos copiado los resultados de los cálculos de retorno de los ríos de la zona de Chillán. Hemos obtenido en el río Diguillín un coeficiente de retorno de 0,55 y en el Ñuble uno de 0,58. Como medida de seguridad aceptaremos para toda la zona de un coeficiente de retorno de sólo 50% (= 0,50). Esto quiere decir que, del agua extraída del río, un 50% es reutilizable.

Con este coeficiente, y las tasas ya calculadas en bocatoma, llegaremos a las siguientes tasas efectivas en boca-toma:

Para 100 000 Has o menos: 1,000/(1+0,50) = 0,667 L/seg/Ha

Para 350 000 Has: 1,375/(1+0,50)= 0,917 L/seg/Ha

Debemos buscar ahora una función que nos dé estas tasas efectivas, para las superficies comprendidas entre 100 000 y 350 000 Has.

Para este efecto usaremos las siguientes notaciones:

A - B - C - K - N - R y n = Constantes

S = Superficie total de riego.

S_o = (Constante=) Superficie límite en que la tasa en boca-toma es constante.

S_1 = Superficie en que la tasa en boca-toma es variable.

L = Longitud desde la boca-toma al final de la zona regada

L_o =(Constante=) Longitud desde la boca-toma hasta el limite de las zonas (S_o y (S_1)

L_1 = Longitud desde el límite de las zonas (S_o) y (S_1) hasta el final de la z regada.

t = Tasa de riego en terreno, para la superficie (d S)

t = Tasa de riego en terreno, para la superficie (dS)
t_b = (Constante=) Tasa en boca-toma, para la superficie (S_o)
Q = Gasto total en boca-toma
Q_o = (Constante=) Gasto en boca-toma correspondiente a la superficie (S_o)
Q_1 = Gasto en boca-toma correspondiente a la zona: (S_1)
Q_1^1 = Gasto en el límite de las zonas (S_o) y (S_1)

De las definiciones deducimos:

$$S_o + S_1 = S$$
$$L_o + L_1 = L$$
$$Q_o + Q_1 = Q$$

Si suponemos que un nuevoelemento de superficie (dS) se agrega al final de la zona de riego, tendremos un gasto elemental: (tdS) que debe recorrer la distancia (L_1) desde el limite de las zonas (S_o) (S_1) para llegar a (dS). Aceptando que las pérdidas en canal son proporcionales al caudal y a la longitud de éste, y que el coeficiente de proporcionalidad es (K), tendremos una pérdida de: KL_1tdS. En consecuencia el gasto elemental en el limite de las zonas será:

$$d\,Q_1^1 = tdS + KL_1tdS$$

Suponemos, por el momento que (t) sea constante, e integramos entre cero y (S_1), o lo que es igual entre cero y (L_1) para llegar a:

$$Q_1^1 = t\int_o^{S_1} dS + Kt\int_o^{L_1} L_1 dS$$

La primera integral es: ($S_1 = S - S_o$)

La segunda integrales el momento estático de la superficie (S_1) con respecto al limite de las zonas (S_o) y (S_1), por lo que tendrá la siguiente forma: (NL_1S_1) en que (N) es constante, siempre que la zona (S_1) mantenga sus características geométricas (por ejemplo, si la zona es rectangular: $N = \frac{1}{2}$).

Tendremos en consecuencia:

$$Q_1^1 = t\,(S-S_o) + KtNL_1S_1$$
$$Q_1^1 = t\,(S-S_o) + KtN\,(L-L_o)\,(S-S_o)$$
$$Q_1^1 = (KNL_o-1)\,tS_o - (KNL_o-1)\,tS - (KNtS_o)\,L + (KNt)\,LS$$

Con este gasto se pierde en el trayecto (L_o): $KQ_1^1L_o$ de modo que: $Q_1 = Q_1^1(1+KL_o)$
$= Q_1^1(1+KL_o)$ y $Q = Q_o + Q_1$ será igual a:

$$Q = \left[Q_o + (1+KL_o)(KNL_o-1)tS_o\right] - (1+KL_o)\,(KNL_o-1)\,tS - (1+KL_o)\,(KNtS_o)L + (1+KL_o)(KNt)LS$$

Aceptamos ahora que $L = T + RS^n$, y que con ello llegamos a un polinomio que tiene un término constante, uno en (S), uno en (S^n) y uno en (S^{n+1}). Para simplificar la fórmula final aceptaremos ($n=1$). Esto corresponde aproximadamente a la realidad, ya que nuestras zonas de riego son estrechas y de ancho practicamente constante.

Luego la fórmula final será:

$$Q = \left[Q_o - (1+KL_o)(1+KNT-KNL_o)\,tS_o\right] + \left[(1+KL_o)t(1+KNRS+KNT-KNL_o)\right]S + \left[(1+KL_o)\right]KNRt\;S^2$$

Denominando el término constante: (A), el término constante que multiplica a (S): (B) y el que multiplica a (S^2), (C) tenemos:

$$Q = A + BS + CS^2$$

Analizaremos rápidamente el caso en que la tasa (t) varía con (S). En este caso podemos repetir el mismo proceso deductivo, con sólo reemplazar la superficie (S) por una superficie (s) de modo que(ds) sea igual a (dS) amplificado por la razón de la tasa (t) a la tasa media. En consecuencia llegaremos a la smisma fórmula de (Q), que será válida siempre que (S) sea superior a (S_o).

Si (S) es inferior a (S_o), la tasa en bocatoma es constante e igual a (t_b) luego:

$$Q = t_b S \qquad (S \leq S_o)$$

$$Q = A + BS + CS^2 \qquad (S \geq S_o)$$

Estas fórmulas implican la condición: (Q) y (dQ/dS) debe ser igual para ambas fórmulas si ($S = S_o$), para mantener la continuidad de la función.

Luego:

$$t_b S_o = A + BS_o + CS_o^2$$

$$t_b = B + 2\,C\,S_o$$

II) DETERMINACION DE CONSTANTES

Para determinar las constantes de las fórmulas anteriores, usaremos las siguientes notaciones:

A - B y C	=	Constantes
Q	=	Gasto en boca-toma (m3/seg)
S	=	Superficie regada (miles de Ha)
S_o	=	Superficie límite de ambas fórmulas
t_b	=	Tasa en boca toma, para superficies inferiores a (S_o)
	=	Relación entre una zona reducida de riego y la zona total de riego de Chillán.

Supongamos una zona de riego que sea (δ) veces la de la total de Chillán. Es obvio que en ella la tasa de 0,667 L/seg/Ha se produzca para superficies de 100 000δ hectáreas o menos, por lo que ($S_o = 100\delta$). Luego el gasto en boca-toma para esta superficie límite será:

$$Q = 0{,}667 \times 100\,000\,\delta = 66\,700\,\delta \text{ L/seg} = 66{,}7\,\delta \text{ m3/seg}$$

De aquí obtenemos:

$$t_b = 66{,}7\,\delta/(100\delta) = 0{,}667$$

En la zona de Chillán, habíamos obtenido para 350 (mil Ha) una tasa en boca-toma de 0,917 L/seg/Ha. Si la superficie parcial en estudio es (δ) veces la de la zona de Chillán, esta tasa se producirá para 350δ (mil Has). El gasto en boca-toma para esta superficie será:

$$Q = 0{,}917 \times 350\,000\,\delta = 320\,950\,\delta \text{ L/seg} = 320\;95\,\delta \text{ m3/seg}$$

Las ecuaciones para determinar A, B, y C serán:

$$\begin{aligned} 0{,}667\,(100\delta) &= A + B\,(100\,\delta) + C\,(100\delta)^2 \\ 320{,}95\,\delta &= A + B\,(350\delta) + C\,(350\delta)^2 \\ 0{,}667 &= B + 2\,C\,(100\delta) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A + 100\,\delta\,B + 10\,000\,\delta^2 C &= 66{,}700\,\delta \\ A + 350\,\delta\,B + 122\,500\,\delta^2 C &= 320\,950\,\delta \\ \delta\,B + 200\,\delta^2 C &= 0{,}667\,\delta \end{aligned}$$

Resuelto el sistema llegamos a:

$A = 14,0\ \gamma$

$B = 0,387$

$C = 0,0014/\gamma$

Con esto tenemos finalmente las siguientes relaciones:

$(Q/\gamma) = 0,667\ (S/\gamma)$ $\qquad [(S/\gamma) \leq 100$ (mil Ha)$]$
$(S/\gamma) = (Q/\gamma)/\ 0,667$ $\qquad [(Q/\gamma) \leq 66,7$ m3/seg$]$

$(Q/\gamma) = 14,0 + 0,387\ (S/\gamma) + 0,0014 (S/\gamma)^2$ $\qquad [(S/\gamma) \geq 100$ (mil Ha)$]$
$(S/\gamma) = (\sqrt{71\ 369 + 5\ 600\ (Q/\gamma)} - 387)/2,8$ $\qquad [(Q/\gamma) \geq 66,7$ m3/seg$]$

Las primeras fórmulas son lineales de modo que calculamos sólo el caso límite: $S/\gamma = 100$, de donde: $Q/\gamma = 66,7$ m3/seg, que es el gasto límite.

En el cuadro siguiente aplicamos el segundo grupo de fórmulas.

(S/γ) (mil Ha)	14,0 +	0,387(S/γ) +	0,0014(S/γ)² =	(Q/γ) (m3/seg)
100	14,00	38,70	14,00	66,7
120	14,00	46,44	20,16	80,6
140	14,00	54,18	27,44	95,6
160	14,00	61,92	35,84	111,8
180	14,00	69,66	45,36	129,0
200	14,00	77,40	56,00	147,4
220	14,00	85,14	67,76	166,9
240	14,00	92,88	80,64	187,5
260	14,00	100,62	94,64	209,3
280	14,00	108,36	109,76	232,1
300	14,00	116,10	126,00	256,1
320	14,00	123,84	143,36	281,2

Estos resultados están en el gráfico N° 6 de la página siguiente y en el gráfico N° 18 del capítulo V del informe.

Daremos a continuación algunos valores de (γ), correspondientes a las distintas zonas parciales.

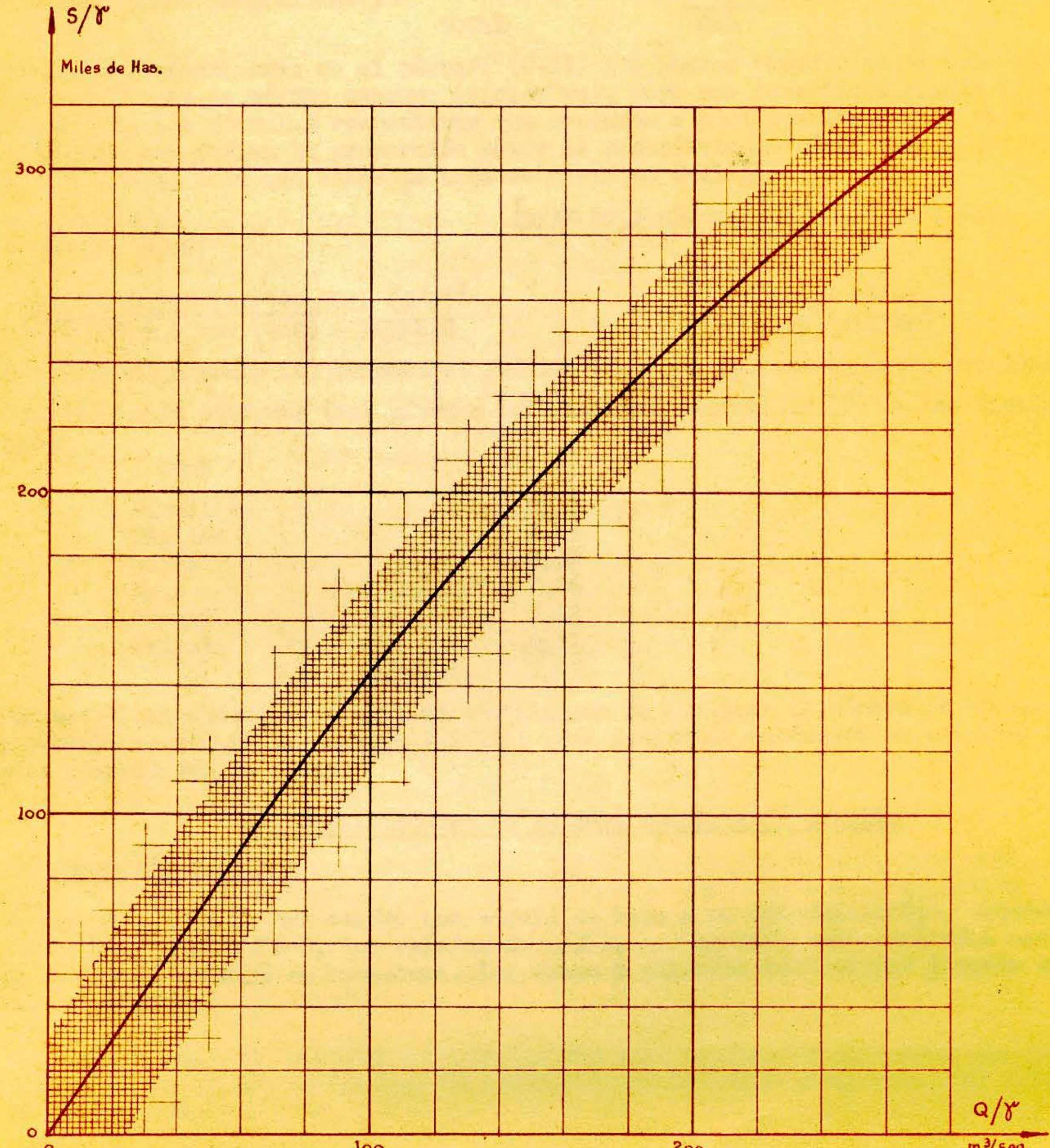
Zona	γ
Río Diguillín	0,17
Río Chillán	0,15
Río Ñuble	0,58
Río Cato	0,06
Río Larqui	0,03
Estero Palpal	0,01
TOTAL	1,00

GRAFICO Nº 6

(DEL ANEXO DEL CAPITULO V)

GASTOS DEL MES DE MAXIMO CONSUMO (Diciembre)

S = SUPERFICIE REGADA DE UNA ZONA PARCIAL DE RIEGO (Has.)
Q = GASTOS DEL MES DE MAXIMO CONSUMO (m^3/seg.)
γ = RELACION ENTRE LA ZONA PARCIAL DE RIEGO Y LA ZONA TOTAL DE RIEGO DE CHILLAN



D) POSIBILIDADES DE RIEGO

1) Antecedentes.

En el párrafo (A-IV) obtuvimos el gráfico N° 5, que nos da las posibilidades de riego en la zona de Chillán, siempre que conozcamos los aportes de la temporada de riego de 1956. Estos aportes son iguales a las sumas de los gastos medios mensuales, en m3/seg, de septiembre 1956 a abril 1957.

Del párrafo (B-II) extraetamos el valor $\Sigma A=844$ m3/seg, que representa el total aprovechable de los aportes de la zona en la temporada de riego 1956. Este total se desglosa, para las distintas hoyas, en la siguiente forma:

Hoya	ΣA (m3/seg) (aprovechable)
Diguillín Alto (hasta San Lorenzo)	57
Diguillín Bajo (San Lorenzo a Longitudinal)	51
Chillán Alto (hasta Esperanza)	70
Chillán Bajo (Espèranza a Longitudinal)	20
Ñuble Alto (hasta San Fabián)	583
Ñuble Bajo (San Fabián a confluencia Cato)	0
Cato (hasta confluencia Ñuble)	42
Larqui (hasta Camino Longitudinal)	16
Pàlpal (hasta Camino Longitudinal)	5
TOTAL	844

Finalmente determinamos en el párrafo (C-II) los gastos necesarios en boca-toma (Q m3/seg) en el mes de máximo consumo (diciembre), para una superficie regada (S en miles de Ha). En las fórmulas respectivas que copiamos a continuación figura el coeficiente (γ), que nos indica la proporción entre la superficie de fácil riego, que tiene la zona en estudio, y la que tiene la zona completa de Chillán.

$$(Q/\gamma) = 0{,}667\ (S/\gamma) \qquad [Q/\gamma \leq 66{,}7 \text{ m3/seg}]\ [S/\gamma \leq 100 \text{ (mil Ha)}]$$
$$(S/\gamma) = (Q/\gamma)\ /\ 0{,}667$$

$$(Q/\gamma) = 14{,}0 + 0{,}387\ (S/\gamma) + 0{,}0014\ (S/\gamma)^2 \qquad \left\{\begin{array}{l}[Q/\gamma \geq 66{,}7 \text{ m3/seg}]\\ [S/\gamma \geq 100 \text{ (mil Ha)}]\end{array}\right.$$
$$(S/\gamma) = (\sqrt{71\,369 + 5\,600\ (Q/\gamma)} - 387)/2{,}8$$

Al final del párrafo (C) tenemos el gráfico N° 6 que representa estas funciones.

A continuación copiamos (del párrafo anterior los valores de (γ) de las distintas zonas.

Zona	γ
Diguillín	0,17
Chillán	0,15
Ñuble	0,58
Cato	0,06
Larqui	0,03
Palpal	0,01
TOTAL	1,00

Con estos antecedentes estamos en condiciones de analizar el número de hectáreas que es posible servir en la zona de Chillán, para distintos volúmenes de embalses y distintas seguridades de riego.

II Posibilidades en la zona completa de Chillán

a) Riego sin embalses

Del gráfico N° 5 (o del cuadro que sirvió de base a su determinación), obtenemos para: V=0 o sea para $V/\Sigma A=0$, los valores de $Q/\Sigma A$, que amplificados por $\Sigma A=844$ nos dan los gastos (Q m3/seg) en boca-toma. Los datos y cálculos respectivos figuran en el cuadro siguiente.

Seguridad de riego p (%)	$Q/\Sigma A$ (de la tabla)	Q (m3/seg)
60	0,110	92,84
70	0,096	81,02
80	0,085	71,74
90	0,070	59,08
95	0,062	52,33
99	0,056	47,26

Debido a que estamos estudiando la zona completa de Chillán, tenemos: (δ=1). Por medio de las fórmulas que se relacionan (Q), (S) y (δ) o con el gráfico N° 6, podemos determinar, ahora los valores de (S) en miles de hectáreas, que corresponden a cada seguridad de riego (p).

Desde p = 90 hasta p = 99, (Q/δ=1) es inferior a 66,7 m3/seg, de modo que (S/δ=1) se calcula según: S = Q/0,667. Esta fórmula nos da las siguientes superficies para p= 90, 95 y 99%: 88,6; 78,5 y 70,9 Has respectivamente.

Para los valores restantes de (Q) aplicamos la segunda fórmula de (S), o el gráfico N° 6, con lo que llegamos a los siguientes resultados:

p	60	70	80	90	95	99	%
S	136,4	120,6	107,4	88,6	78,5	70,9	(mil Has)

Los datos de la tabla precedente figuran suavizados en el gráfico N° 19 del capítulo V del informe.

b) Riego con embalses

Analizando el gráfico N° 5, vemos que los embalses máximos posibles en la zona, suman en total: ($V/\Sigma A$= 2,00), que amplificado por ΣA= 844 dá V=1688 =1700 millones m3.

Por medio de una simple transformación de escalas del gráfico N° 5, tendremos resuelto nuestro problema. En efecto: sólo necesitamos amplificar por ΣA=844, los valores de las escalas ($Q/\Sigma A$) y ($V/\Sigma A$) para tener los gastos en boca-toma, en función de los embalses y de la seguridad de riego. Por consiguiente; las fórmulas que dan (Q) en función de (S) para (δ=1) permiten calcular $Q/\Sigma A$, que nos da, en el gráfico N°5 $V/\Sigma A$, y por tanto (V), para cada seguridad de riego.

Determinaremos previamente, los embalses necesarios para regar una superficie, igual al (S) límite de las fórmulas de (Q), S = 100 mil hectáreas. A estas 100 mil Has. corresponde Q = 14,00+0,387x100+0,0014x100^2 =0,667x100=66,7 m3/seg, y una ordenada de $Q/\Sigma A$=66,7/844=0,079 en el gráfico N° 5. Las curvas p=60, 70 y 80 no cortan esta ordenada y las curvas p=90, 95 y 99 la cortan para $V/\Sigma A$=0,042; 0,106 y 0,154 valores que amplificados por ΣA=844 nos darán los embalses necesarios. Estos serán en consecuencia de 35, 89 y 130 millones de m3. Luego tenemos:

S = 100 mil Ha

p =	60	70	80	90	95	99	%
V =	-	-	-	35	89	130	millones de m3

Para obtener los puntos necesarios para llevar estos resultados a un gráfico, nos valdremos de la tabla final del párrafo (A-IV) que dió origen al gráfico N° 5, y calculamos las superficies que corresponden a cada uno de los valores $V/\Sigma A$=0,5; 1,0 1,5 y 2,0, que equivalen a embalses de 0,5x844=422; 1,0x844=844; 1,5x844=1 266 y 2,0x844 = 1688 millones de m3. El caso $V/\Sigma A$=0 que completará el gráfico, ya fué calculado en el párrafo anterior.

El procedimiento es sencillo y lo seguiremos paso a paso. En el cuadro siguiente tenemos los valores de (Q) en m3/seg que obtenemos amplificando por ΣA=844 los valores de la tabla indicada.

V/ΣA =	0,5	1,0	1,5	2,0
p (%)				
60 Q=	156,98	209,31	254,04	288,65
70	142,64	194,96	236,32	271,77
80	132,51	180,62	221,13	256,58
90	118,16	164,58	205,94	239,70
95	110,56	154,45	194,96	228,72
99	102,12	146,86	183,99	216,06

Por ser todos los valores de (Q) superiores a 66,7 m3/seg, debemos aplicar la segunda de las fórmulas de (S). Para calcular (S) formamos en el cuadro siguiente los valores de (71 369 + 5600 Q)

V/ΣA =	0,5	1,0	1,5	2,0
p (%)				
60	950,457	1.243,505	1,493,993	1,687,809
70	870,153	1,163,145	1,394,761	1,593,281
80	813,425	1,082,841	1,309,697	1,508,217
90	733,065	993,017	1,224,633	1,413,689
95	690,505	936,289	1,163,145	1,352,201
99	643,241	893,785	1,101,713	1,281,305

Tabulamos a continuación las raíces cuadradas de los valores del cuadro anterior.

V/ΣA =	0,5	1,0	1,5	2,0
p (%)				
60	974,91	1,115,13	1,222,29	1,299,16
70	932,82	1,078,49	1,181,00	1,262,25
80	901,90	1,040,60	1,144,42	1,228,09
90	856,19	996,50	1,106,63	1,188,99
95	830,97	967,62	1,078,49	1,162,84
99	802,02	945,40	1,049,63	1,131,95

Restamos 387 de los valores de la tabla anterior y dividimos por 2,8 para obten la superficie buscada que figura en el cuadro siguiente. En este cuadro hacemos figura también los valores de (V) que corresponden a cada (V/ΣA).

SUPERFICIES REGABLES (miles de Ha)

V/ΣA =	0,5	1,0	1,5	2,0	
V =	422	844	1,266	1,688	mill, m3
p (%)					
60 S =	210,0	260,0	298,3	325,8	
70	194,9	247,0	283,6	312,6	
80	183,9	233,4	270,5	300,4	
90	167,6	217,7	257,0	286,4	
95	158,6	207,4	247,0	277,1	
99	148,2	199,4	236,7	266,1	

Estos resultados, los obtuvimos para S = 100 000 y los del párrafo anterior figuran en el gráfico N° 20 del capítulo V del informe.

n c) Caso Real

1) Distribución de recursos y zonas regables

En el hecho, tenemos los siguientes recursos de agua embalsables: La totalidad de los recursos de la parte alta de los ríos Diguillín, Chillán y Ñuble y un 20% de los de parte baja del río Diguillín, que son embalsables en estero laterales. Esto dá:

Diguillín Alto	ΣA =	57 m3/seg
Chillán Alto	=	70 "
Ñuble Alto	=	583 "
20% del Diguillín bajo: 0,20 x 51	=	10 "
Recursos embalsab,es A =		720 m3/seg

La diferencia entre los recursos totales de la zona (ΣA=844) y los embalsables, nos dá los recursos no embalsables con un total de ΣA=124 m3/seg.

De las zonas regables que corresponden a los ríos Diguillín, Chillán y Ñuble, podemos considerar, que un 10% queda al margen del servicio de los posibles embalses, por estar situados aguas arriba de éstos o en esteros laterales muy alejados. En cambio el 50% de la zona del río Cato, puede servirse con los embalses del río Ñuble. En consecuencia los embalses pueden servir la siguiente fracción de la zona total de Chillán:

90% del Diguillín, Chillán y Ñuble: γ= 0,9(0,17+0,15+0,58) = 0,81
50% del Cato: γ= 0,5x0,06 = <u>0,03</u>

Zona regable por embalses: γ= <u>0,84</u>

Por tanto, la zona que no podrá contar con embalses será: γ=1,00 -0,84 =0,16

Supondremos en lo que sigue, que las obras que se proyecten, den a todos los terrenos regados de la zona, la misma seguridad.

2) <u>Terrenos servidos sin embalses</u>

Según lo expresado, corresponde a estos terrenos: ΣA=124 y γ=0,16

Usaremos el método detallado en el párrafo (D-II-a), de donde se desprende:

Seguridad de riego p(%)	Q/ΣA (de la tabla)	Q (m3/seg) (124xQ/ΣA)	Q/γ (Q/0,16)
60	0,110	13,64	85,25
70	0,096	11,90	74,38
80	0,085	10,54	65,88
90	0,070	8,68	54,25
95	0,062	7,69	48,06
99	0,056	6,94	43,38

De las fórmulas que relacionan (Q/γ) y (S/γ) o del gráfico N°6, se desprende que para p=80 hasta p=99, (Q/γ) es inferior a 66,7 de modo que (S/γ) se calcula según: (S/γ) = (Q/γ)/0,667 por lo que (S) será igual a: 0,16 (Q/γ)/0,667. Esta fórmula dá para p=80; 90; 95 y 99% las siguientes superficies en miles de hectáreas: 15,8; 13,0; 11,5 y 10,4 respectivamente.

Para los valores restantes de (Q/) aplicamos la segunda fórmula de (S/) para llegar a los valores: (S/)= 126,4 y 111,2 que corresponden a p=60 y 70% respectivamente. Amplificando estos valores por (=0,16) llegamos a las superficies que figuran en el cuadro siguiente:

p =	60	70	80	90	95	99	%
S =	20,2	17,8	15,8	13,0	11,5	10,4	(mil Ha)

Estos valores figuran en el gráfico final, N° 21 del capítulo V.

3) <u>Terrenos servidos con embalses</u>

En el párrafo: (1) hemos visto que en este caso: ΣA=720 y γ=0,84

Seguiremos el método usado en el párrafo (D-II-b).

Los embalses máximos posibles serán ahora de: V=720x2,00=1 440 millones de m3.

El valor de la superficie límite será S= 100 000 γ= 100 000x0,84=84,000 y el gasto correspondiente será: Q=66,7x γ =66,7x0,84=56,0 m3/seg. Para Q/ΣA tendremos 56,0/720 = 0,078, como ordenada del gráfico N° 5. Las curvas p=60, 70 y 80 no cortan esta ordenada, y las curvas p=90, 95 y 99 la cortan para V/ΣA= 0,041; 0,105 y 0,153. Estos últimos valores amplificados por ΣA=720 nos darán los embalses necesarios que figuran en la tabla siguiente:

S = 84 000 Ha

p =	60	70	80	90	95	99	%
V =	-	-	-	30	76	110	millones m3

Los valores restantes, los calcularemos para V/ΣA= 0,5; 1,0; 1,5 y 2,0 a lo que corresponden embalses de 360, 720, 1 080 y 1 440 millones de m3.

Siguiendo el procedimiento ya usado en el párrafo: B-II-b, anotamos en el cuadro siguiente, los valores de (Q/γ) en m3/seg, obtenidos por amplificación de los valores (V/ΣA) por: ΣA/γ = 720/0,84 = 857,14

V/ΣA = p(%)		0,5	1,0	1,5	2,0
60	Q/γ =	159,43	212,57	258,00	293,14
70		144,86	198,00	240,00	276,00
80		134,57	183,43	224,57	260,57
90		120,00	167,14	209,14	243,43
95		112,29	156,86	198,00	232,28
99		103,71	149,14	186,86	219,43

Todos los valores de (Q/γ) son superiores al valor límite de las fórmulas de (S/γ) por lo que debemos aplicar la segunda fórmula de (S/γ). En el cuadro siguiente calculamos los valores: 71 369 + 5 600 (Q/γ).

V/ΣA = p (%)	0,5	1,0	1,5	2,0
60	964,177	1.261.761	1.516,169	1.712,953
70	882,585	1.180.169	1,415,369	1,616,969
80	824,961	1,098,577	1,328,961	1,530,561
90	743,369	1,007,353	1,242,553	1,434,577
95	700,193	949,785	1,180,169	1,372,137
99	652,145	906,553	1,117,785	1,300,177

Tabulamos a continuación las raíces cuadradas de los valores del cuadro anterior:

V/ΣA = p (%)	0,5	1,0	1,5	2,0
60	981,93	1.123,28	1.231,33	1.308,80
70	939,46	1.086,36	1.189,69	1.271,60
80	908,27	1.048,13	1.152,81	1.237,16
90	862,19	1.003,67	1.114,70	1.197,74
95	836,78	974,57	1.086,36	1.171,38
99	807,55	952,13	1.057,25	1.140,25

Restamos 387 de los datos del cuadro precedente y dividimos por 2,8 y multiplicamos por = 0,84 (lo que es igual a una multiplicación por 0,84/2,8 = 0,300) para obtener la superficie, buscada, que figura en el cuadro siguiente:

SUPERFICIES REGABLES CON EMBALSES (miles de Ha)

V/ΣA = V = p (%)		0,5 360	1,0 720	1,5 1 080	2,0 1 440	millones de m3
60	S =	178,5	220,9	253,3	276,5	
70		165,7	209,8	240,8	265,4	
80		156,4	198,3	229,7	255,0	
90		142,6	185,0	218,3	243,2	
95		134,9	176,3	209,8	235,3	
99		126,2	169,5	201,1	226,0	

Para completar el cuadro, calculamos el caso V = 0, para γ = 0,84, por diferencia entre las superficies (S_1) calculadas, en párrafo: D-II-a, para las disponibilidades totales, y las (S_2) del párrafo anterior, correspondiente a las superficies que se regarán de todas maneras sin embalses. Obtenemos así las siguientes superficies regables sin embalses, en la zona en que hay posibilidades de construir represas.

p =	60	70	80	90	95	99	%
S_1 =	136,4	120,6	107,4	88,6	78,5	70,9	
S_2 =	20,2	17,8	15,8	13,0	11,5	10,4	
S =	116,2	102,8	91,6	75,6	67,0	60,5	miles de Ha

Estos valores figuran en el gráfico final N° 21 del capítulo V.

En este cuadro, obtendremos, la superficie total regable, sumando la superficie servida por embalses, con la servida directamente por los ríos.