E. C. ROWE & ASOC.
INGENIERIA CIVIL - GEOTECNIA

MONJITAS 454 - 9º PISO
FONOS: 6381797 - 6381603 - SANTIAGO
FAX: (56-02-6381859)

E. C. ROWE M.
P. WELKNER M.
E. ROWE R.
J. JAMETT Z.

A N E X O V

ESTUDIO HIDROLOGICO

TRANQUE de RELAVES "El BRONCE de ATACAMA"

ESTUDIO HIDROLOGICO de las CRECIDAS AFLUENTES al TRANQUE

R. Astaburuaga G.
Ing. Civil

JUNIO - 1996

TRANQUE de RELAVES "El BRONCE de ATACAMA"

- ESTUDIO HIDROLOGICO de las CRECIDAS AFLUENTES al TRANQUE -

INDICE Pág.

- Resumen y Conclusiones
- Introducción. 1
1. Características de la Hoya Tributaria 5
2. Análisis de Precipitaciones Máximas 5
3. Coeficiente de Escorrentía de la Hoya 7
4. Tiempo de Concentración "tc" 8
5. Caudales Máximos de Crecidas Afluentes 9
6. Volúmenes Asociados a las Crecidas Afluentes 9
7. Hidrogramas de las Crecidas Afluentes 14

ANEXO A : - ANALISIS de PRECIPITACIONES MAXIMAS en 24 Hrs.
- VARIACION de la PRECIPITACION vs. ALTITUD.

ANEXO B : - CALCULO de las CRECIDAS.
- HIDROGRAMA de las CRECIDAS.

TRANQUE de RELAVES "El BRONCE de ATACAMA"
- ESTUDIO HIDROLOGICO de las CRECIDAS AFLUENTES al TRANQUE -

RESUMEN y CONCLUSIONES:

1. El tranque de relaves "El Bronce de Atacama" se construirá sobre la quebrada El Gato, último afluente por la derecha a la quebrada de Paipote antes de su afluencia al río Copiapó. El objetivo de este estudio es determinar los caudales máximos de las crecidas de esta quebrada que afluirán hacia el tranque, para diferentes períodos de retorno entre 10 y 500 años, sus hidrogramas y volúmenes de agua correspondientes, antecedentes que se utilizarán en el diseño de obras de seguridad y análisis de la evacuación de aguas desde el tranque.

2. En el presente estudio se aplicaron los mismos datos, métodos y procedimientos del "Estudio de Ingeniería Construcción Encauces Quebradas Sector Urbano Copiapó, II Región, D.R.V. N°0053", M.O.P.-REG-Ingenieros, 1995", el cual analiza las crecidas de quebradas vecinas que afluyen al sector urbano de Copiapó e incluye el diseño de varios tranques almacenadores de crecidas para proteger a sus habitantes.

3. La hoya en estudio es del tipo árida semi-costera, con suelos de roca meteorizada más rellenos de alta permeabilidad, comunes en la región. Dada la ausencia de humedad precedente a las mayores tormentas, gran parte de la precipitación es retenida sin producir escurrimiento. La Curva de Escurrimiento N°55, aplicable a la zona, indica que éste se inicia luego de 41 mm/día de precipitación.

4. Se obtuvieron los siguientes resultados para la hoya tributaria al tranque de 7,05 Km2:

Período de Retorno :	T=10	T=20	T=50	T=100	T=200	T=500
Precipitac. (mm/día) :	32,4	41.2	56,7	70,0	86,0	109,2
Caudal Máx. (m3/s) :	0,0	3,5	5,1	6,7	8,9	12,9
Volumen Crecida(m3):	0	30.000	42.000	57.000	80.000	115.000

5. El tranque podría almacenar al total de la crecida afluente T=500 años, la que se embalsa con una altura de 1.83 m el primer año de operación. decreciendo hasta 0.55 m al 10° año de operación.

TRANQUE de RELAVES "El BRONCE de ATACAMA"

- ESTUDIO HIDROLOGICO de las CRECIDAS AFLUENTES al TRANQUE -

INTRODUCCION.

El tranque de relaves "El Bronce de Atacama" se construirá sobre la quebrada El Gato, que es la última quebrada afluente por la derecha a la quebrada de Paipote, antes que ésta afluya al río Copiapó.

El objetivo del presente estudio hidrológico es determinar los caudales máximos instantáneos de las crecidas de esta quebrada El Gato, para diferentes períodos de retorno entre 10 y 500 años, y los volúmenes de agua correspondientes a estas crecidas, las que accederán hacia la poza del futuro tranque de relaves. Estos antecedentes se utilizarán en el diseño de las obras de evacuación de aguas del tranque de relaves.

La quebrada en estudio se ubica en una zona árida, con precipitaciones escasas cuyos totales anuales fluctúan entre 10 y 100 mm (mapa de isoyetas de Chile,. DGA-1987), con un importante efecto del relieve (elevación) sobre la distribución de éstas. Muy eventualmente se producen precipitaciones con intensidades altas.

Como es usual en la región, la pequeña quebrada lateral El Gato (< 8 Km2) normalmente está seca, y sólo presenta escurrimiento de agua con ocasión de las mayores tormentas locales. Dada la alta permeabilidad de los suelos de relleno de esta rinconada lateral, sólo las precipitaciones de intensidades sobre 41 mm/día, que ocurren en la zona con un período de retorno superior a 20 años, logran producir escurrimiento superficial (Curva N°55). Este escurrimiento se interrumpe al cabo de algunas horas.

En el presente estudio se aplicarán los mismos datos, métodos y procedimientos del "Estudio de Ingeniería Construcción Encauces Quebradas Sector Urbano Copiapó, II Región, D.R.V. N°0053", M.O.P.-REG-Ingenieros, 1995", estudio que analiza las crecidas de quebradas vecinas que afluyen al sector urbano de Copiapó y que incluye el diseño de varios tranques almacenadores de crecidas para proteger a sus habitantes. Dado que será de interés comparar los resultados de dicho estudio con el presente, a continuación se presenta un resumen de ellos:

ESTUDIO MOP-REG-1995 QUEBRADAS COPIAPO
CAUDALES MAX. de CRECIDAS
(m3/s)

I T E M	AREA Km2	Q T=10 m3/s	Q T=20 m3/s	Q T=50 m3/s	Q T=100 m3/s
Q. Chanchoquin	2.26	0.00	0.10	1.00	3.00
Q.Las Dos Copas					
Sub-cuenca 1	3,2	0.00	0.02	1.00	3.00
Sub-cuenca 2	2,7	0.00	0.02	0.80	2.60
Sub-cuenca 3	3.0	0.00	0.02	0.90	2.90
Q. Capis Chico					
Sub-cuenca 1	1,0	0.00	0.00	0.30	1.00
Sub-cuenca 2	3,3	0.00	0.00	1.00	3.10
Q. Paipote	6.228	0.00	0.00	26.00	112.00
EL GATO	7.05	0.0	3,5	5,1	6,7

ESTUDIO MOP-REG-1995 QUEBRADAS COPIAPO
VOLUMENES de CRECIDAS
(m3)

I T E M	AREA (km²)	V (T=10) (m3)	V (T=20) (m3)	V (T=50) (m3)	V(T=100 (m3)
Q. Chanchoquin	2.26	0.00	226	10 622	34 126
Q. Las Dos Copas					
Sub-cuenca 1	3.20	0.00	320	14 720	47 040
Sub-cuenca 2	2.70	0.00	270	12 420	39 690
Sub-cuenca 3	3.00	0.00	300	13 800	44 100
Q. Capis Chico					
Sub-cuenca 1	1.00	0.00	0.0	4 400	14 400
Sub-cuenca 2	3.30	0.00	0.0	14 520	47 520
EL GATO	7,05	0	30.000	42.000	57.000

Puesto que ni la quebrada El Gato ni otro cauce vecino similar cuentan con una estación fluviométrica que haya registrado una estadística de caudales máximos aplicables a la hoya en estudio, esta determinación se hará por métodos indirectos, basados en relaciones lluvia-caudal.

Los métodos aplicables a esta quebrada, con una hoya tributaria de 7,05 Km2 de tipo árida semi-costera, son:

- Fórmula Racional (hoyas menores que 10 Km2).
- Hidrograma Unitario Triangular (hoyas menores que 5.000 Km2).
- Hidrograma Unitario Sintético (hoyas entre 80 y 4.500 Km2).
- Fórmula de Verni & King (hoyas entre 10 y 5.000 Km2).

La validez del método a aplicar será acorde con el tipo de hoya para la que fueron deducidos. De este modo, podrá utilizarse los métodos de la Fórmula Racional (aplicable a hoyas menores que 10 Km2) y del Hidrograma Unitario Triangular (Ref.: Diseño de Presas Pequeñas, U.S. Bureau of Reclamation). Los métodos del Hidrograma Unitario Sintético y de Verni & King cuentan con parámetros deducidos para hoyas del valle central del país, y su deducción sólo consideró hoyas superiores a 80 y 10 Km2 respectivamente, por lo que sus resultados en este caso deben aplicarse con restricciones.

Todos estos métodos requieren la realización previa de un Análisis de Precipitaciones Máximas para la hoya, el que se presenta en el punto sub-siguiente.

El presente estudio hidrológico incluye los siguientes puntos:

1. Características de la Hoya Tributaria.
2. Análisis de Precipitaciones Máximas.
3. Coeficiente de Escorrentía de la Hoya.
4. Tiempo de Concentración "tc".
5. Caudales Máximos de Crecidas Afluentes.
6. Volúmenes Asociados a las Crecidas Afluentes.
7. Hidrogramas de las Crecidas Afluentes.

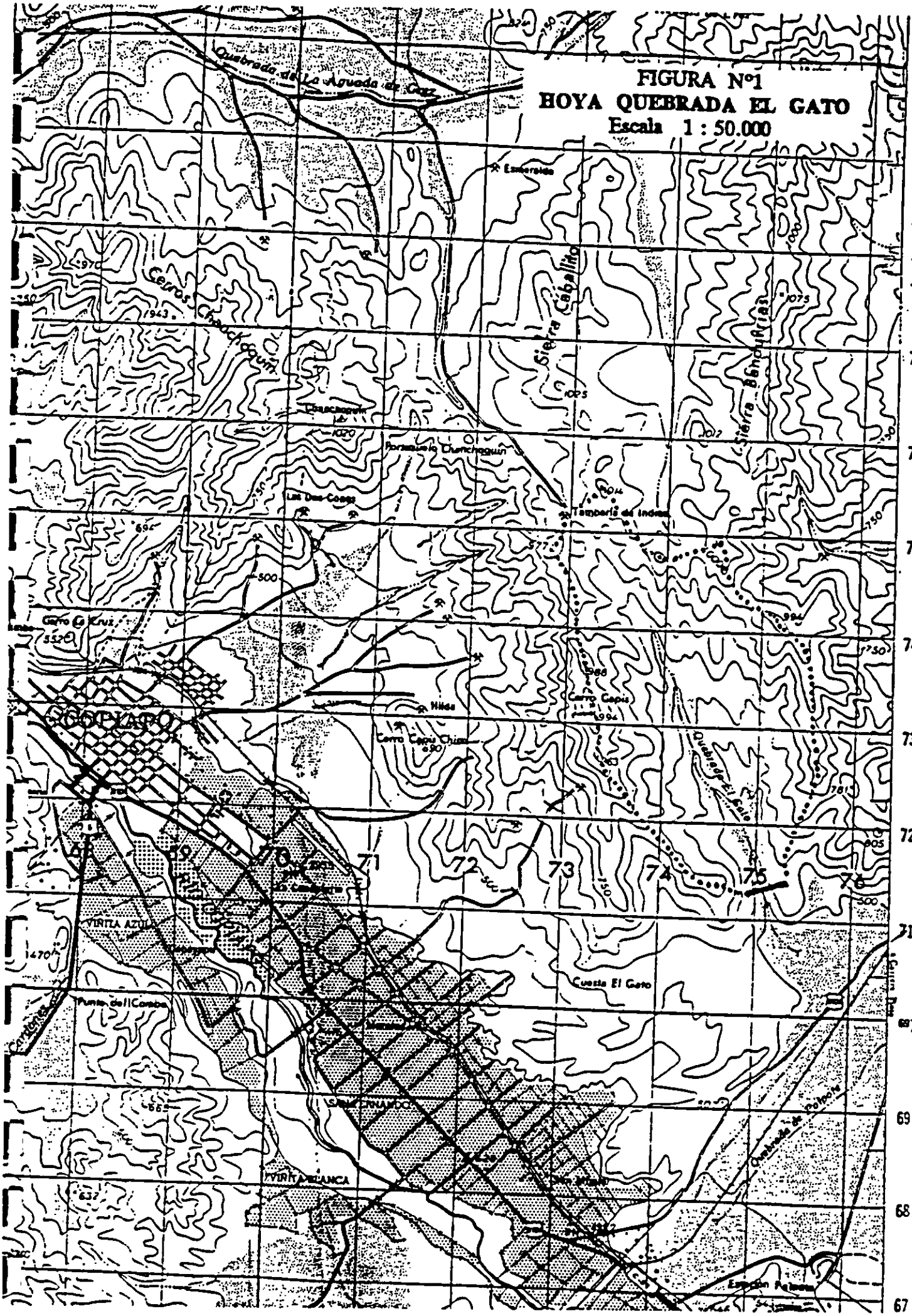


FIGURA Nº1
HOYA QUEBRADA EL GATO
Escala 1 : 50.000

Tranque Relaves "El Bronce de Atacama"
CURVA HIPSOMETRICA de la HOYA

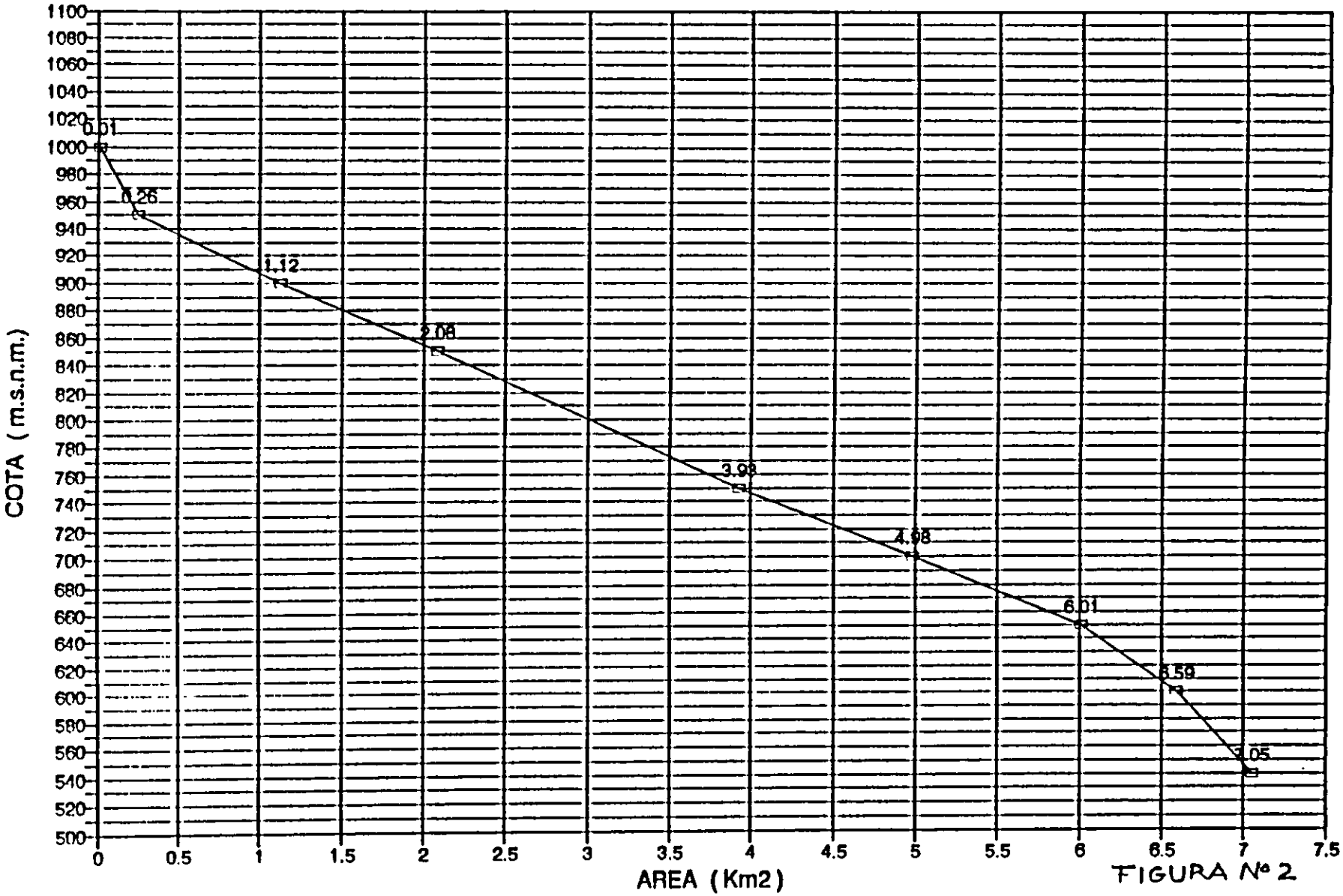


FIGURA Nº 2

1. Características de la Hoya Tributaria:

Como se dijo, la hoya de la quebrada en estudio es de tipo árida semi-costera, y se ubica en las cercanías de la ciudad de Copiapó, tal como se aprecia en en mapa de la hoya de la **Figura N°1.** Los principales parámetros morfométricos de esta hoya se obtuvieron desde las Planchetas IGM escala 1:50.000 , con los resultados que se presentan a continuación:

CUADRO N° 1
TRANQUE de RELAVES "El BRONCE de ATACAMA"
CARACTERISTICAS DE LA HOYA TRIBUTARIA

- AREA HOYA		Km2	7,05
- COTAS:	Máxima	msnm	1.014
	Media	msnm	770
	en Tranque	msnm	540
- Area sobre:			
* cota	950	Km2	0,26
* cota	900	Km2	1,12
* cota	800	Km2	3,0
* cota	700	Km2	4,98
* cota	600	Km2	6,59
* cota	540	Km2	7,05
- Longitud Cauce		Km	4,5
- Lg		Km	2,0
- Pendiente media		%	9 %

2. Análisis de Precipitaciones Máximas:

2.1 Análisis de Precipitaciones Máximas de cada Estac. Pluviométrica:

En el siguiente Cuadro se presentan las estaciones pluviométricas vecinas a la hoya en estudio, su ubicación, cota y años con registro (ver estadísticas en Anexo A):

CUADRO N° 2
ESTACIONES PLUVIOMETRICAS LOCALES

ESTACION	COORDENADAS	COTA m	REGISTRO	PRECIPITAC. ANUAL mm/año
- COPIAPO	27°22-70°20	370	1951-	10
- EMB. LAUTARO	27°58-70°01	1.110	1966-	24,9
- PAST. GRANDES	28°06-69°33	2.000	1966-	32.3
- JORQUERA	27°43-69°34	2.500	1966-	39,3

Se realizó un análisis de frecuencia a las estadísticas de Precipitaciones Máximas Anuales en 24 hrs de cada estación, con ajustes a distribuciones matemáticas (ver Figuras N°A-1 a N°A-4 en Anexo A), llegándose a los resultados del siguiente Cuadro N°3 .

CUADRO N° 3
TRANQUE de RELAVES "El BRONCE de ATACAMA"
PRECIPITACIONES MAX. vs. PERIODO de RETORNO

ESTACION	Cota msnm	T=10 mm/día	T=20 mm/día	T=50 mm/día	T=100 mm/día	T=200 mm/día	T=500 mm/dia
- Copiapó	370	26.8	33.0	43.0	53.0	63.0	78.0
- El Gato (interp)	770	32.4	41.2	56.7	70.0	86.0	109.2
- Emb.Lautaro	1.110	37.0	48.0	68.0	84.0	105.0	135.0
- Pastos Grandes	2.000	38.7	52.2	73.0	91.0	115.0	155.0
- Jorquera	2.500	34.7	40.0	48.0	55.0	60.5	70.0

2.2 Variación de la Precipitación vs. la Altitud:

Para determinar las "precipitaciones de diseño" aplicables a la hoya de la Quebrada El Gato, se deberá considerar que las precipitaciones locales aumentan según la altura media de la hoya. En este caso, se deben determinar las precipitaciones máximas para la cota media de 770 m.s.n.m. de esta hoya. Del mismo modo que el estudio del MOP-REG-1995, en la Figura N°A-5 del Anexo A, se presentan los resultados del análisis de frecuencia del anterior Cuadro N°3 ordenados gráficamente en función de la cota o altitud de cada estación pluviométrica. En dicho gráfico, se interpolaron las precipitaciones correspondientes a la cota 770 m.s.n.m. correspondientes a la hoya en estudio, las que tambien se presentan en ese Cuadro N°3.

2.3 Precipitaciones de Diseño para la hoya del Tranque:

Mediante el análisis de frecuencia de la estadística de precipitaciones máximas en las estaciones pluviométricas vecinas, con resultados ordenados según la cota o altitud de cada estación, se obtuvieron las siguientes "precipitaciones de diseño" aplicables a la hoya en estudio, para diferentes períodos de retorno, valores que son razonables para las hoyas áridas de la región:

CUADRO N° 4
TRANQUE de RELAVES "El BRONCE de ATACAMA"
PRECIPITACIONES MAX. de DISEÑO vs. PERIODO de RETORNO

Período de Retorno	mm/día
10 años	32,4
20 años	41,2
50 años	56,7
100 años	70,0
200 años	86,0
500 años	109,2

3. Coeficiente de Escorrentía "C" de la hoya:

El coeficiente de escorrentía "C" de una hoya, se define como el porcentaje de la precipitación que escurre sin detenerse hacia los cauces de drenaje, y depende de las características de la hoya, su relieve, permeabilidad, uso y capacidad de retención de agua.

En el estudio MOP-REG-1995 se aplica un coef. de escorrentía "c"=0,30 para las quebradas vecinas a Copiapó, señalando que éste no refleja "la ausencia absoluta de humedad precedente a los posibles temporales que ocasionan crecidas" en la zona, por lo que tiende a sobreestimar los caudales de estas crecidas. Finalmente adopta los resultados según precipitaciones efectivas obtenidas mediante la Curva N° 55 (Ref.: Diseño de Presas pequeñas, U.S. Bureau of Reclamation), método que refleja adecuadamente el estado inicial de humedad de los suelos y su capacidad de retención de agua, resultando retenciones decrecientes en la medida que persiste la precipitación.

En el presente estudio se utilizará un coef. de escorrentía "c"=0,30 en los métodos de la Fórmula Racional y del H.U.T., y el método de la Curva Número en el H.U.S. , aplicando la Curva N°55, válida para la zona en estudio.

4. Tiempo de Concentración "tc" :

El tiempo de concentración de cada hoya, definido como el tiempo que demora la partícula más alejada en salir de la hoya, se determinará promediando los resultados de tres fórmulas empíricas, a saber, las de Giandotti, U.S. Soil Conservation Service y U.S. Navy Navdocks (Ref.: Elementos de Hidrología, Centro de Recursos Hidráulicos, U.de Chile). Se tiene:

CUADRO N° 5

TIEMPO de CONCENTRACION "tc" (hrs)

Giandotti	U.S.S.C.S.	U.S.Navy	ADOPTADO
1,25	0,49	0,74	0,75 hrs

5. Caudales Máximos de Crecidas Afluentes:

Como se señaló al iniciar este capítulo, para estimar el caudal máximo instantáneos de crecida, para diferentes períodos de retorno, se aplicarán los métodos de la Fórmula Racional y del Hidrograma Unitario Triangular. Como referencia, se mostrará el resultado del Hidrograma Unitario Sintético y de la fórmula de Verni y King. Los cálculos se muestran en el Anexo B. Se tiene:

CUADRO N° 6
TRANQUE de RELAVES "El BRONCE de ATACAMA"
CAUDALES MAX. INST. de CRECIDAS AFLUENTES (m3/s)

T	F.R.	V&K	H.U.T.	H.U.S.	ADOPTADO
10 años	4,5	2,5	3,9	0,0	0,0 m3/s
20 años	5,7	3,4	5,0	0,0	3,5 m3/s
50 años	7,9	5,1	6,8	0,7	5,1 m3/s
100 años	9,7	6,6	8,4	2,3	6,7 m3/s
200 años	11,9	8,5	10,4	4,9	8,9 m3/s
500 años	15,1	11,4	13,2	11,7	12,9 m3/s

Los caudales adoptados equivalen al promedio de los resultados de los métodos aplicados, con la excepción del período de retorno de 10 años, para el cual se adoptó el resultado del H.U.S. que refleja el hecho local de escurrimiento nulo para precipitaciones bajo 40 mm/día.

En el cuadro anterior se observa que esta hoya tiene un rendimiento centenario de 0,95 m3/seg/Km2 , rendimiento aceptable para una hoya árida semi-costera de 7 Km2 . En resumen, los caudales obtenidos son adecuados, considerando la morfología de los suelos de esta hoya.

6. Volúmenes Asociados a las Crecidas Afluentes:

Durante crecidas, accederá al tranque de relaves sólo una parte del volumen total de agua caída en su hoya, variable según el período de retorno de la tormenta que la genera. En el anterior Cuadro N°4 se establecieron las precipitaciones máximas en 24 hrs. de la hoya de la quebrada El Gato, para diversos períodos de retorno, que representan un volumen total de agua que se

muestra en las primeras columnas del siguiente Cuadro N°7.

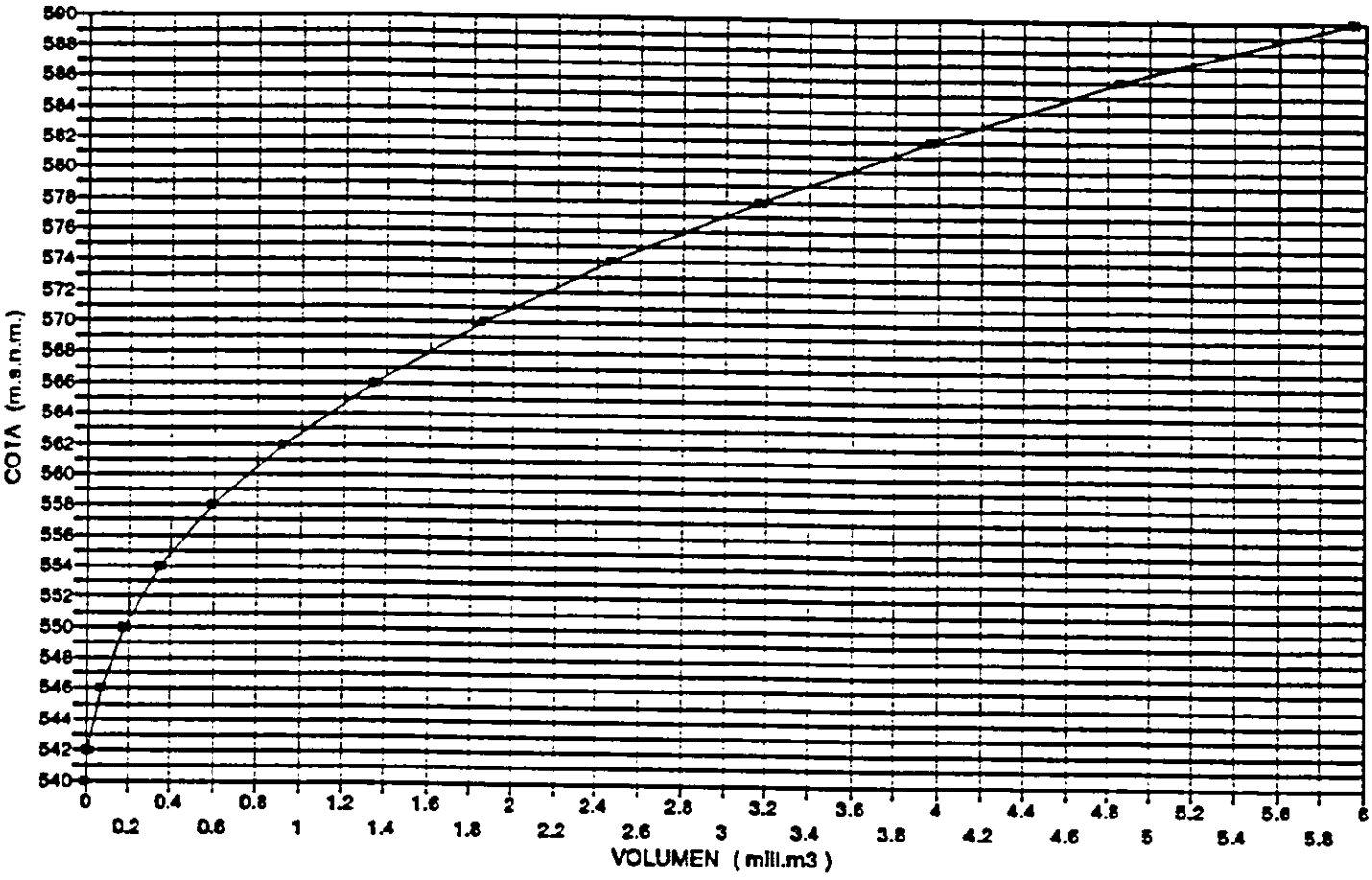
En este Cuadro se presenta además el cálculo del volumen de agua afluente al tranque durante crecidas, tanto por el método de la Curva Número, como aplicando los coeficientes de escorrentía definidos en el anterior punto 3. El volumen adoptado corresponde a un promedio con ponderación 2 para la Curva Número.

En el Cuadro N°8 se presenta la curva de capacidad del tranque de relaves. En el Cuadro N°9 se presenta, para los volúmenes de las crecidas de cada período de retorno, la altura de agua que alcanzarían estos volúmenes almacenados dentro del tranque, variable a lo largo de los años según la cota alcanzada por las lamas depositadas. De el Cuadro N°9 se desprende que el volumen de la crecida T=500 años (115 000 m3) se almacena dentro del tranque de relaves con una altura de aguas de 1,83 m el primer año de operación, la que disminuye hasta 0,55 m después de 10 años de operación (209 000 m2 de superficie de lamas).

CUADRO N° 7
TRANQUE de RELAVES "EL BRONCE de ATACAMA"
VOLUMEN ASOCIADO a las CRECIDAS

T	Precip. Hoya Tranque		Curva N°55	Coef. Escorr.	Volumen Escorr.	VOLUMEN a TRANQUE ADOPTADO
	Pp	Vol.	Vol.Q	C	Vol.Q	
24 HRS:	mm/24hrs	m3	m3		m3	m3
T= 10	32.4	228 420	0	0.30	68 526	0
T= 20	41.2	290 460	4	0.30	87 138	30 000
T= 50	56.7	399 735	7 255	0.30	119 921	42 000
T=100	70	493 500	24 149	0.30	148 050	57 000
T=200	86	606 300	55 217	0.30	181 890	80 000
T=500	109.2	769 860	117 132	0.30	230 958	115 000

TRANQUE de RELAVES El BRONCE de ATACAMA
CURVA de CAPACIDAD



CUADRO N° 8
TRANQUE de RELAVES "El BRONCE de ATACAMA"
CURVA DE CAPACIDAD

COTA m	Area m2	Vol. Parcial m3	Vol. Acumulado m3	VOLUMEN EMBALSE mill.m3
540	0	0	0	0.000
542	10 372	10 372	10 372	0.010
546	20 490	61 723	72 094	0.072
550	34 234	109 447	181 541	0.182
554	50 879	170 227	351 768	0.352
558	71 695	245 150	596 917	0.597
562	92 765	328 921	925 839	0.926
566	115 684	416 899	1 342 738	1.343
570	140 562	512 493	1 855 231	1.855
574	163 518	608 160	2 463 391	2.463
578	187 996	703 028	3 166 419	3.166
582	212 004	800 000	3 966 419	3.966
586	237 679	899 365	4 865 784	4.866
590	302 448	1 080 254	5 946 038	5.946

CUADRO Nº 9

TRANQUE de RELAVES "El BRONCE de ATACAMA"

- ALMACENAMIENTO CRECIDAS AFLUENTES : ALTURA DE AGUA EN TRANQUE -

			T=20años	T=50años	T=100años	T=200años	T=500años
	VOLUMEN CRECIDA :		30 000 m3	42 000 m3	57 000 m3	80 000 m3	115 000 m3
AÑO OPERACION	VOLUMEN RELAVES m3	COTA LAMAS m	PERALTE de AGUA dentro del TRANQUE m	m	m	m	m
1	386 897	554.57	0.50	0.70	0.94	1.30	1.83
2	773 793	560.15	0.35	0.48	0.65	0.91	1.29
3	1 160 690	564.25	0.28	0.39	0.52	0.73	1.05
4	1 547 586	567.60	0.24	0.33	0.45	0.63	0.90
5	1 934 483	570.52	0.21	0.29	0.40	0.56	0.80
6	2 321 379	573.07	0.19	0.27	0.36	0.50	0.72
7	2 708 276	575.39	0.17	0.24	0.33	0.46	0.66
8	3 095 172	577.59	0.16	0.23	0.31	0.43	0.62
9	3 482 069	579.58	0.15	0.21	0.29	0.40	0.58
10	3 868 966	581.51	0.14	0.20	0.27	0.38	0.55

7. Hidrogramas de las Crecidas Afluentes:

Para representar la amortiguación de la onda de crecida que ejercerá este tranque, y el comportamiento de sus obras de evacuación de aguas, se calcualron los hidrogramas de las crecidas para tormentas con 24 hrs. de precipitación acumuladas, para cada período de retorno, de acuerdo con los valores ya señalados en el Cuadro N°4.

Estos hidrogramas se obtuvieron sumando un caudal base variable en 24 hrs. a los hidrogramas de 6 hrs. obtenidos según el método del H.U.S., de modo que en conjunto alcancen un máximo instantáneo igual al adoptado en el anterior Cuadro N°6 , además del volumen en 24 hrs. correspondiente adoptado en el Cuadro N°7.

Los hidrogramas resultantes de las crecidas afluentes al Tranque de relaves "El Bronce de Atacama", se muestran en las Figuras y Cuadros N°B-4.1 a N°B-4.4 del Anexo B.

Junio, 1996

Ricardo Astaburuaga G.

TRANQUE de RELAVES "El BRONCE de ATACAMA"
- ESTUDIO HIDROLOGICO de las CRECIDAS AFLUENTES al TRANQUE -

A N E X O A

- ANALISIS de PRECIPITACIONES MAXIMAS en 24 Hrs.

- VARIACION de la PRECIPITACION vs. ALTITUD.

PRECIPITACIONES MAXIMAS DIARIAS (mm)

AÑOS	COPIAPO	EMBALSE LAUTARO	PASTOS GRANDES	JORQUERA EN LA GUARDIA
1962	16.2	25.0	58.0	30.0
1963	6.7	2.0	4.0	13.0
1964	2.6	7.0	4.5	15.0
1965	21.1	13.0	21.0	20.0
1966	4.8	0.0	0.0	12.0
1967	10.3	3.0	30.0	27.0
1968	0.0	0.0	0.0	0.0
1969	17.3	20.8	0.0	30.0
1970	1.3	0.5	0.0	6.0
1971	2.5	22.0	6.0	0.0
1972	6.0	30.0	9.0	31.0
1973	8.0	14.5	9.0	12.0
1974	2.6	5.0	20.0	12.0
1975	4.0	20.0	20.0	29.0
1976	8.0	16.0	11.0	28.0
1977	12.5	15.5	7.0	7.0
1978	0.0	0.0	18.0	10.0
1979	0.5	2.5	25.0	12.0
1980	32.0	19.0	27.0	34.0
1981	0.0	20.0	25.0	12.0
1982	1.5	5.0	19.0	25.0
1983	29.0	51.5	48.0	48.3
1984	12.0	7.5	10.0	12.0
1985	4.4	13.0	0.0	18.0
1988	4.5	9.0	11.0	18.0
1987	22.8	42.0	60.0	36.3
1988	1.0	2.5	9.2	9.2
1989	11.4	40.5	35.3	35.3
1990	0.0	10.5	17.2	17.2
1991	32.7	36.5	23.1	32.1
1992	25.8	44.5	19.2	19.2
1993	0.5	16.5	9.20	9.2
1994	0.0	3.5	2.5	2.5

* Datos rellenados en estudio DGA.

\+ Datos rellenados en presente estudio.

Est. Pluv. COPIAPO

- Análisis de Frecuencia (1962-94) -

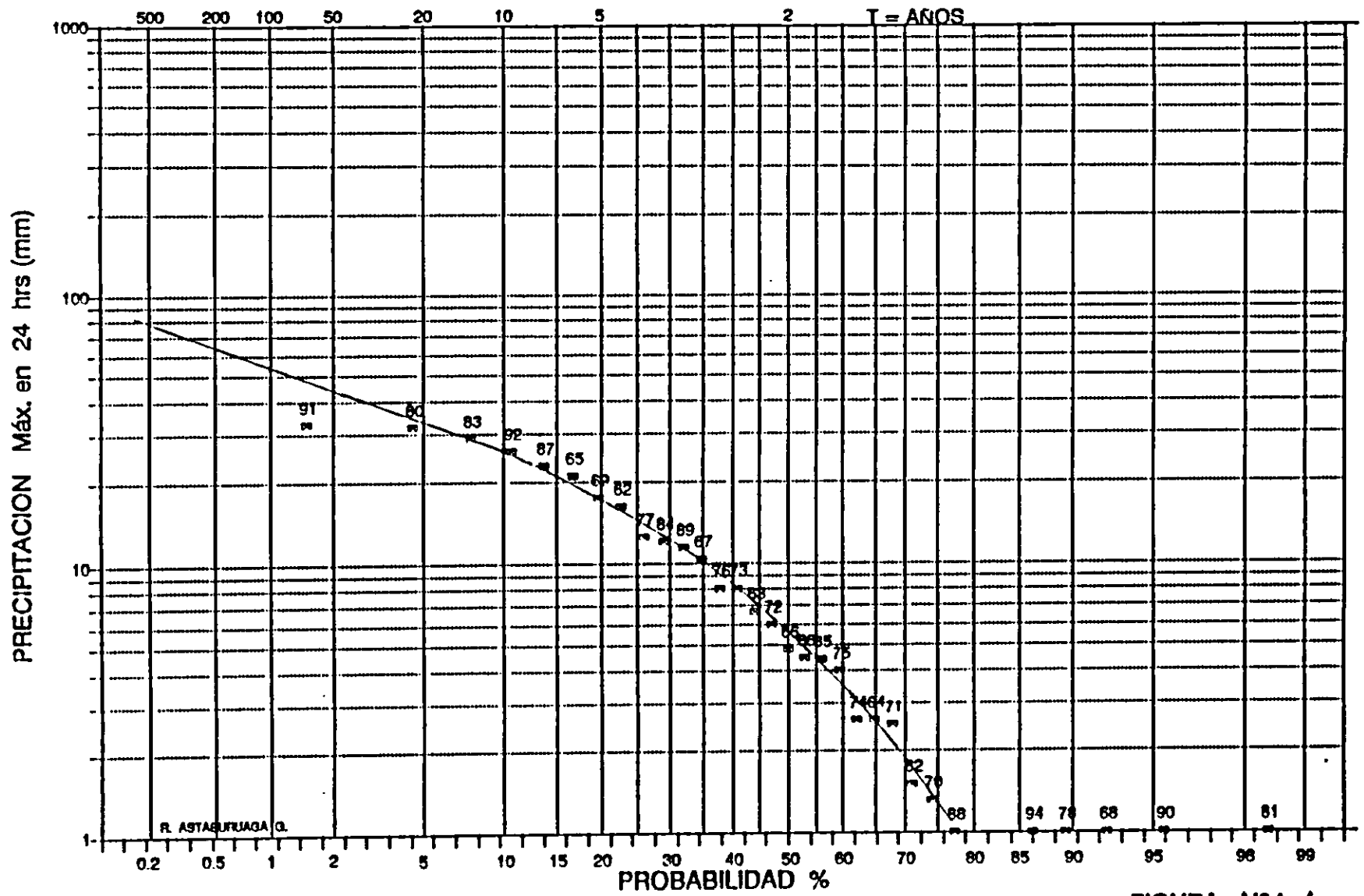


FIGURA N°A-1

Est. Pluv. EMBALSE LAUTARO
- Análisis de Frecuencia (1962-94) -

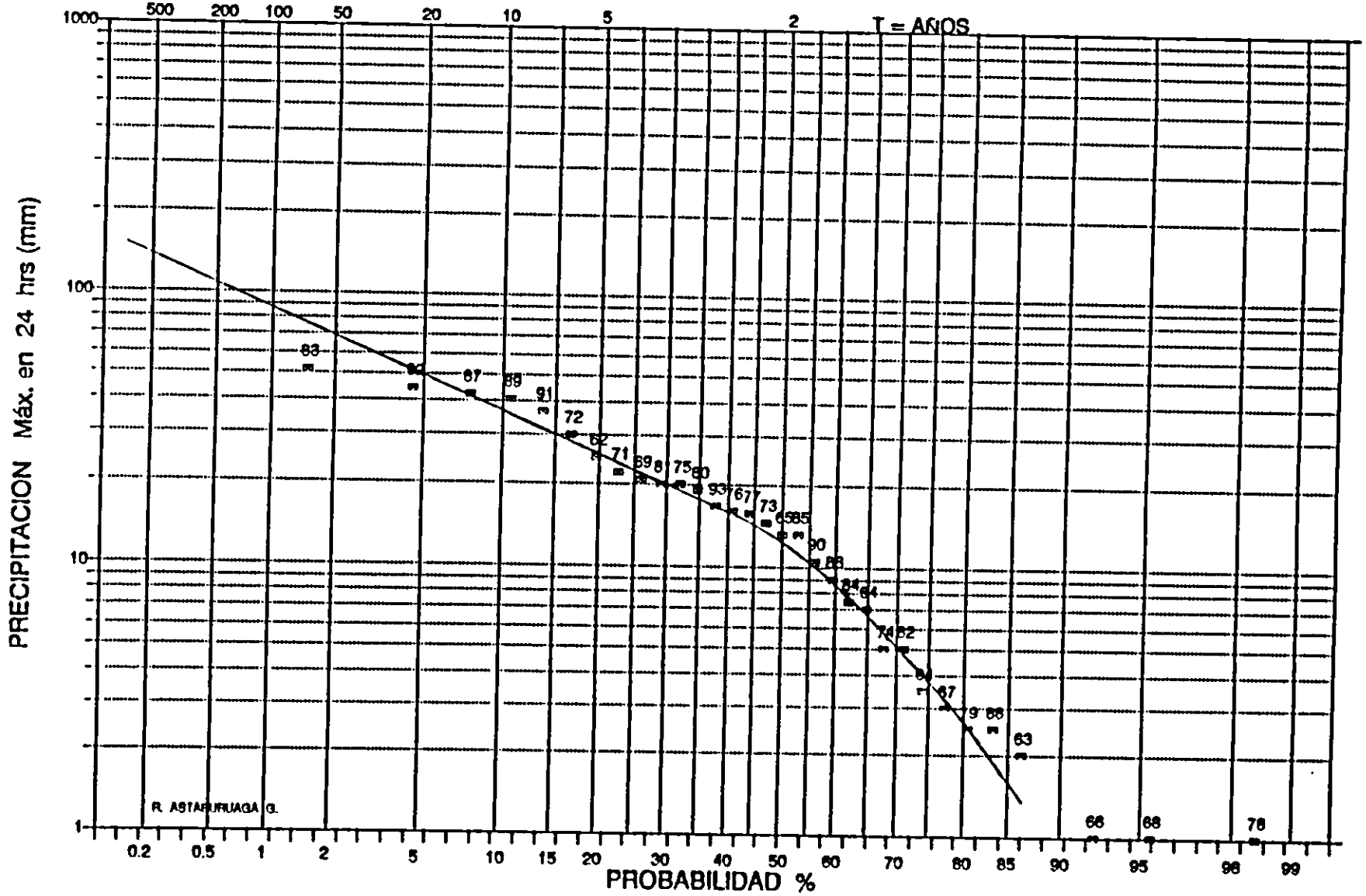


FIGURA N°A-2

Est. Pluv. PASTOS GRANDES
- Análisis de Frecuencia (1962-94) -

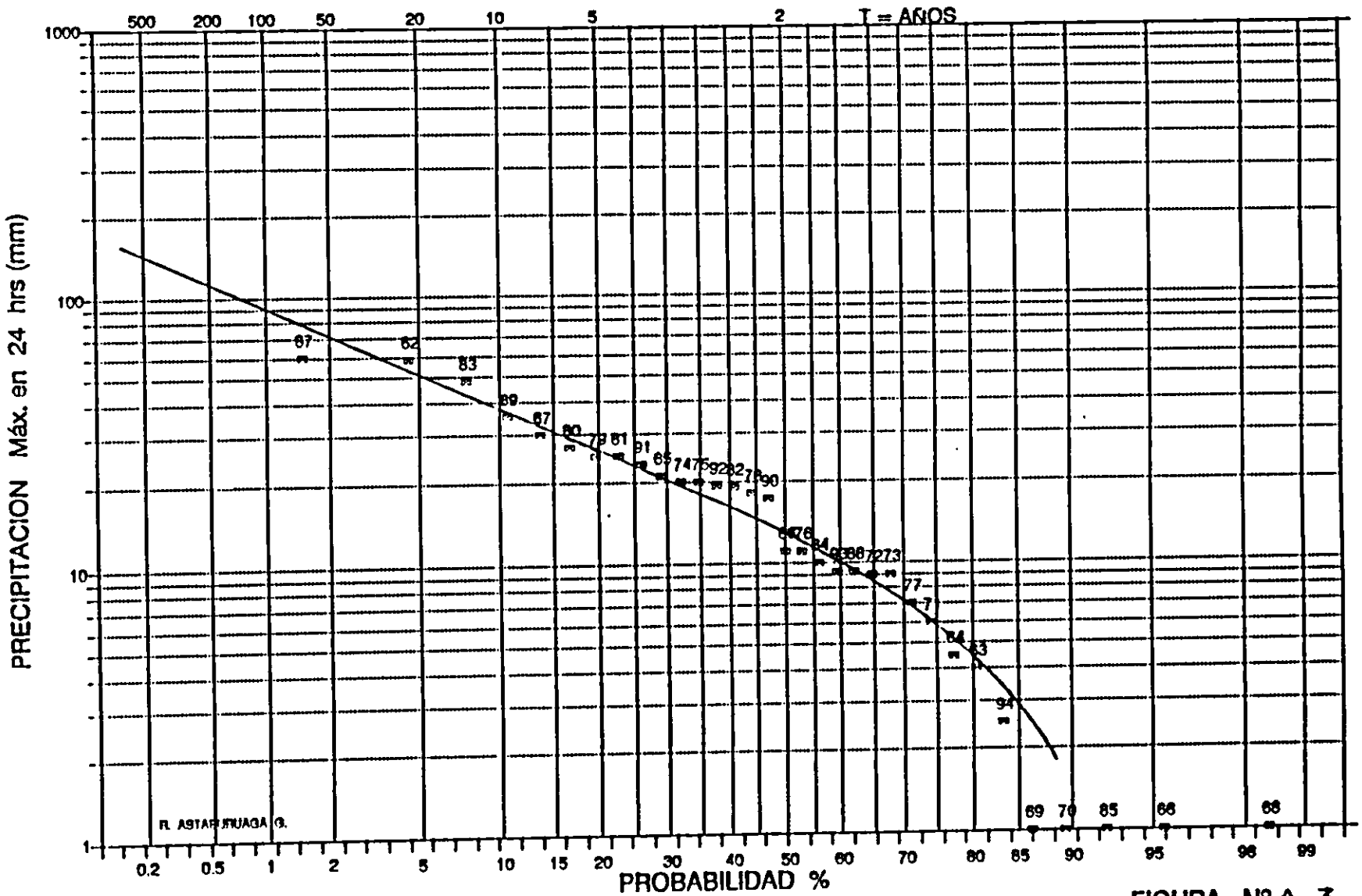


FIGURA N°A-3

Est. Pluv. JORQUERA en La Guardia
- Análisis de Frecuencia (1962-94) -

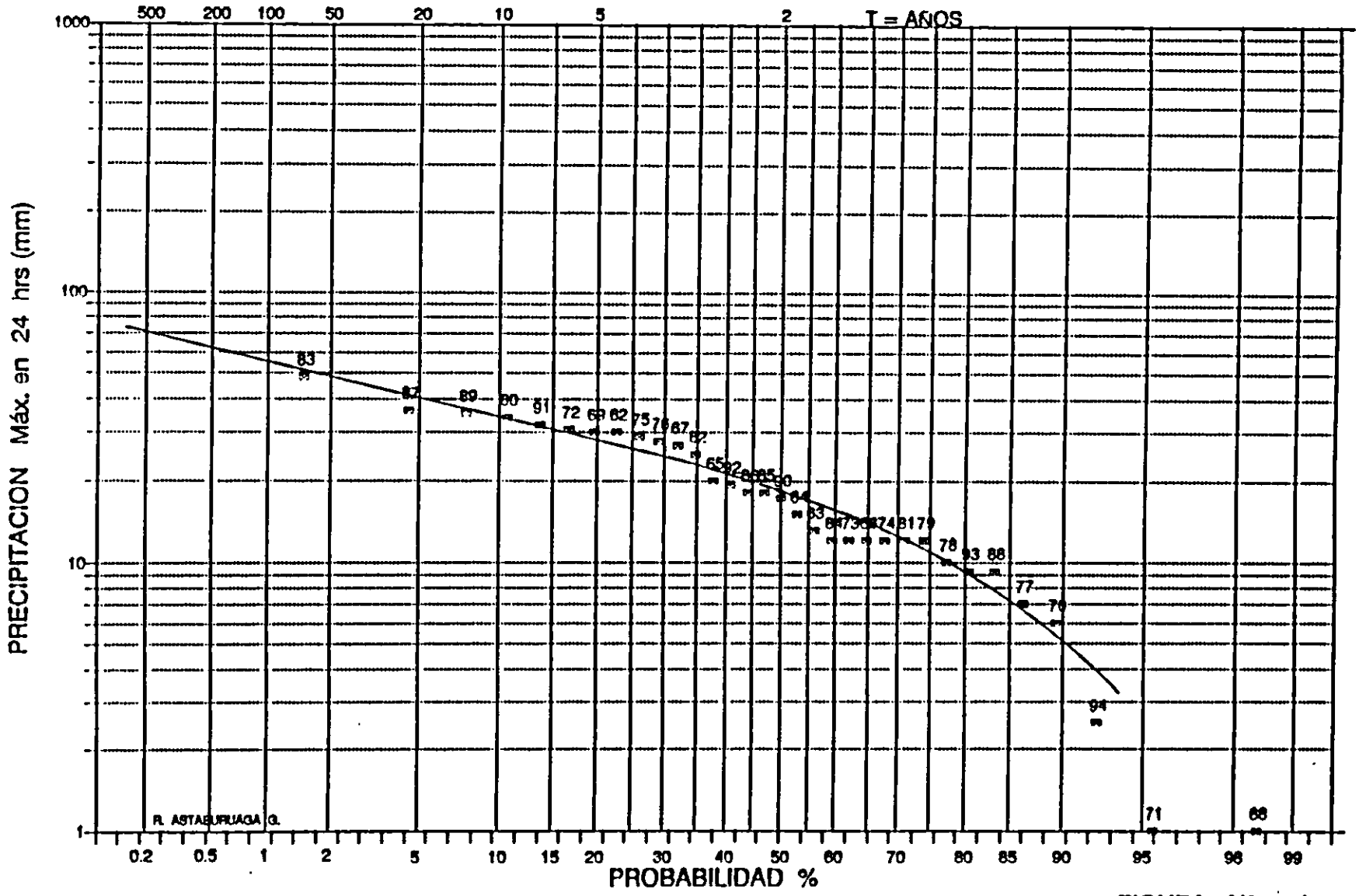


FIGURA N°A-4

CUADRO Nº A - 2

VARIACION PRECIP vs. ALTURA

ESTACION	COTA msnm	10 años mm/día	20 años mm/día	50 años mm/día	100 años mm/día	200 años mm/día	500 años mm/día
- COPIAPO	370	26.8	33.0	43.0	53.0	63.0	78.0
- EL GATO (interpic.)	770	32.4	41.2	56.7	70.0	86.0	109.2
- Emb. LAUTARO	1100	37.0	48.0	68.0	84.0	105.0	135.0
- PASTOS GRANDES	2000	38.7	52.2	73.0	91.0	115.0	155.0

Tranque Relaves "El Bronce de Atacama"
PRECIPITACION MAX. ANUAL vs. ALTURA

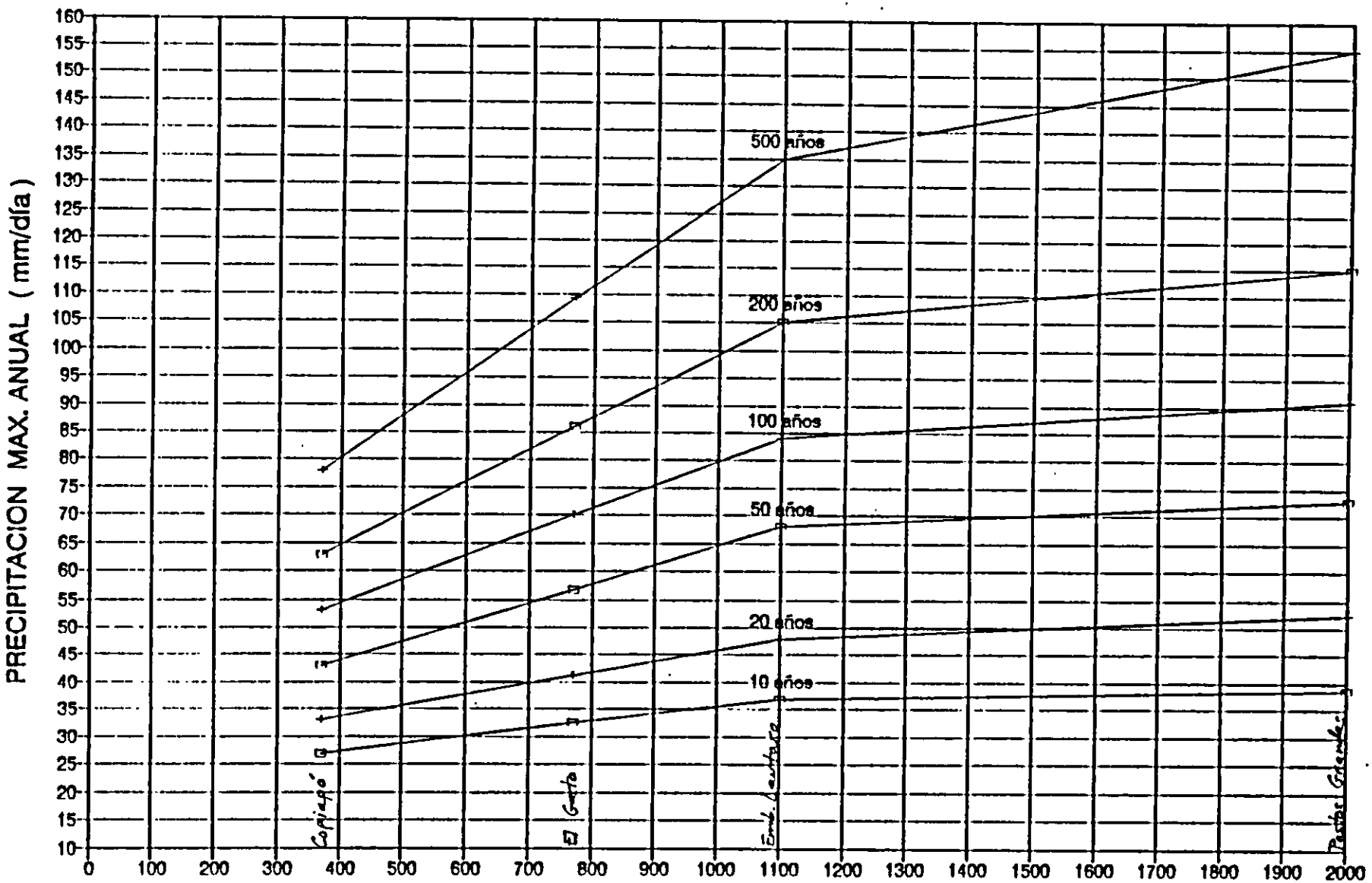


FIGURA N°A-5

TRANQUE de RELAVES "El BRONCE de ATACAMA"
- ESTUDIO HIDROLOGICO de las CRECIDAS AFLUENTES al TRANQUE -

A N E X O B

- CALCULO de las CRECIDAS

- HIDROGRAMA de las CRECIDAS

CUADRO Nº B-1
TRANQUE DE RELAVES
EL BRONCE DE ATACAMA
CALCULO de CRECIDAS : FORMULA RACIONAL

Per.Ret. T	Area Hoya Km2	Tpo.Conc. "tc"	Coef.Esc. "C"	Precip.24hrs mm/día	Intens."tc" mm/hr	CAUDAL MAX. m3/s
10 años	7.05	0.75	0.3	32.4	7.6	4.5
20 años			0.3	41.2	9.7	5.7
50 años			0.3	56.7	13.4	7.9
100 años			0.3	70	16.5	9.7
200 años			0.3	86	20.3	11.9
500 años			0.3	109.2	25.7	15.1

CUADRO Nº 5-2
TRANQUE DE RELAVES
EL BRONCE DE ATACAMA
CALCULO de CRECIDAS : FORM. de VERNI&KING

$Q = 0{,}00618 * Pp^{1.264} * A^{0.882}$

Periodo.Ret T	Area Hoya Km2	Precip.24hrs mm/día	CAUDAL MAX. m3/s
10 años	7.05	32.4	2.5
20 años		41.2	3.4
50 años		56.7	5.1
100 años		70	6.6
200 años		86	8.5
500 años		109.2	11.4

CUADRO Nº B-3.1

TRANQUE DE RELAVES "EL BRONCE DE ATACAMA"

CALCULO de CRECIDAS : HIDROGRAMA UNITARIO TRIANGULAR

	AREA =	7.05	Km2
	Esc."c"=	0.3	
	tc =	0.75	hrs.
(? tc/5)	D =	0.15	hrs.
(3D<tp<4	tp =	0.53	hrs.
	tr =	0.9	hrs.

Pp 24/h 32.4 mm/día T = 10 años

	Pi	t = 0	t= D	t= tp	t= D+tp	t= 2D+tp	t = 3D+tp	t= 4D+tp	t= 4D+1,67
	mm/hr	0.0	0.2	0.5	0.7	0.8	1.0	1.1	1.5
p1 =	0.69	0.0	0.2	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.0
p2 =	2.56	0.0	0.0	1.5	2.2	1.8	1.4	1.1	0.0
p3 =	1.06	0.0	0.0	0.5	0.6	0.9	0.7	0.6	0.0
p4 =	0.81	0.0	0.0	0.3	0.4	0.5	0.7	0.6	0.0
p5 =	0.60	0.0	0.0	0.0	0.2	0.3	0.4	0.5	0.0
5.73	5.73								
CAUDAL	m3/s	0.0	0.2	2.9	3.9 ✓	3.9	3.5	2.9	0.0
tiempo	hrs	0.0	0.2	0.5	0.7	0.8	1.0	1.1	1.5

VOLUMEN CRECIDA : 0 45 2 098 1 849 2 101 1 993 1 733 1 843

VOLUMEN TOTAL : 11 662 m3

CUADRO Nº B-3.2

TRANQUE DE RELAVES "EL BRONCE DE ATACAMA"

CALCULO de CRECIDAS : HIDROGRAMA UNITARIO TRIANGULAR

	AREA =	7.05	Km2
	Esc."c"=	0.3	
	tc =	0.75	hrs.
(? tc/5)	D =	0.15	hrs.
(3D<tp<4	tp =	0.53	hrs.
	tr =	0.9	hrs.

Pp 24/h 41.2 mm/día T = 20 años

	Pi	t = 0	t= D	t= tp	t= D+tp	t= 2D+tp	t = 3D+tp	t= 4D+tp	t= 4D+1,67
	mm/hr	0.0	0.2	0.5	0.7	0.8	1.0	1.1	1.5
p1 =	0.87	0.0	0.2	0.7	0.6	0.5	0.4	0.2	0.0
p2 =	3.26	0.0	0.0	2.0	2.8	2.3	1.8	1.3	0.0
p3 =	1.35	0.0	0.0	0.7	0.8	1.1	0.9	0.8	0.0
p4 =	1.04	0.0	0.0	0.4	0.5	0.6	0.9	0.7	0.0
p5 =	0.77	0.0	0.0	0.0	0.3	0.4	0.5	0.7	0.0
7.28	7.28								
CAUDAL	m3/s	0.0	0.2	3.7	5.0 ✓	4.9	4.5	3.7	0.0
tiempo	hrs	0.0	0.2	0.5	0.7	0.8	1.0	1.1	1.5

VOLUMEN CRECIDA : 0 57 2 668 2 352 2 672 2 534 2 203 2 344

VOLUMEN TOTAL : 14 830 m3

CUADRO Nº B-3.3

TRANQUE DE RELAVES "EL BRONCE DE ATACAMA"

CALCULO de CRECIDAS : HIDROGRAMA UNITARIO TRIANGULAR

	AREA =	7.05	Km2
	Esc."c"=	0.3	
	tc =	0.75	hrs.
(? tc/5)	D =	0.15	hrs.
(3D<tp<4	tp =	0.53	hrs.
	tr =	0.9	hrs.

Pp 24/h 56.7 mm/dia T = 50 años

	PI	t = 0	t= D	t= tp	t= D+tp	t= 2D+tp	t = 3D+tp	t= 4D+tp	t= 4D+1,67
	mm/hr	0.0	0.2	0.5	0.7	0.8	1.0	1.1	1.5
p1 =	1.20	0.0	0.3	1.0	0.8	0.7	0.5	0.3	0.0
p2 =	4.48	0.0	0.0	2.7	3.8	3.1	2.5	1.8	0.0
p3 =	1.86	0.0	0.0	0.9	1.1	1.6	1.3	1.0	0.0
p4 =	1.42	0.0	0.0	0.5	0.7	0.9	1.2	1.0	0.0
p5 =	1.06	0.0	0.0	0.0	0.4	0.5	0.6	0.9	0.0
10.02	10.02								
CAUDAL	m3/s	0.0	0.3	5.1	6.8 ✓	6.8	6.1	5.1	0.0
tiempo	hrs	0.0	0.2	0.5	0.7	0.8	1.0	1.1	1.5

VOLUMEN CRECIDA : 0 78 3 672 3 237 3 677 3 488 3 032 3 225

VOLUMEN TOTAL : 20 409 m3

CUADRO Nº B-3.4

TRANQUE DE RELAVES "EL BRONCE DE ATACAMA"

CALCULO de CRECIDAS : HIDROGRAMA UNITARIO TRIANGULAR

	AREA =	7.05	Km2
	Esc."c"=	0.3	
	tc =	0.75	hrs.
(? tc/5)	D =	0.15	hrs.
(3D<tp<4	tp =	0.53	hrs.
	tr =	0.9	hrs.

Pp 24/h 70 mm/dia T = 100 años

	PI	t = 0	t= D	t= tp	t= D+tp	t= 2D+tp	t = 3D+tp	t= 4D+tp	t= 4D+1,67
	mm/hr	0.0	0.2	0.5	0.7	0.8	1.0	1.1	1.5
p1 =	1.48	0.0	0.4	1.3	1.0	0.8	0.6	0.4	0.0
p2 =	5.53	0.0	0.0	3.3	4.7	3.9	3.1	2.3	0.0
p3 =	2.29	0.0	0.0	1.2	1.4	1.9	1.6	1.3	0.0
p4 =	1.76	0.0	0.0	0.6	0.9	1.1	1.5	1.2	0.0
p5 =	1.31	0.0	0.0	0.0	0.4	0.7	0.8	1.1	0.0
12.37	12.37								
CAUDAL	m3/s	0.0	0.4	6.4	8.4 ✓	8.4	7.6	6.3	0.0
tiempo	hrs	0.0	0.2	0.5	0.7	0.8	1.0	1.1	1.5

VOLUMEN CRECIDA : 0 97 4 533 3 996 4 539 4 306 3 743 3 982

VOLUMEN TOTAL : 25 196 m3

CUADRO Nº B-3.5

TRANQUE DE RELAVES "EL BRONCE DE ATACAMA"

CALCULO de CRECIDAS : HIDROGRAMA UNITARIO TRIANGULAR

	AREA =	7.05	Km2
	Esc."c"=	0.3	
	tc =	0.75	hrs.
(? tc/5)	D =	0.15	hrs.
(3D<tp<4	tp =	0.53	hrs.
	tr =	0.9	hrs.

Pp 24/h 86 mm/día T = 200 años

	Pi	t = 0	t= D	t= tp	t= D+tp	t= 2D+tp	t = 3D+tp	t= 4D+tp	t= 4D+1,67
	mm/hr	0.0	0.2	0.5	0.7	0.8	1.0	1.1	1.5
p1 =	1.82	0.0	0.4	1.5	1.3	1.0	0.8	0.5	0.0
p2 =	6.80	0.0	0.0	4.1	5.8	4.8	3.8	2.8	0.0
p3 =	2.82	0.0	0.0	1.4	1.7	2.4	2.0	1.6	0.0
p4 =	2.16	0.0	0.0	0.7	1.1	1.3	1.8	1.5	0.0
p5 =	1.61	0.0	0.0	0.0	0.5	0.8	1.0	1.4	0.0
15.20	15.20								
CAUDAL	m3/s	0.0	0.4	7.8	10.4 ✓	10.3	9.3	7.7	0.0
tiempo	hrs	0.0	0.2	0.5	0.7	0.8	1.0	1.1	1.5

VOLUMEN CRECIDA : 0 119 5 569 4 909 5 577 5 290 4 599 4 892

VOLUMEN TOTAL : 30 955 m3

CUADRO Nº B-3.6

TRANQUE DE RELAVES "EL BRONCE DE ATACAMA"

CALCULO de CRECIDAS : HIDROGRAMA UNITARIO TRIANGULAR

	AREA =	7.05	Km2
	Esc."c"=	0.3	
	tc =	0.75	hrs.
(? tc/5)	D =	0.15	hrs.
(3D<tp<4	tp =	0.53	hrs.
	tr =	0.9	hrs.

Pp 24/h 109.2 mm/día T = ~~20~~ 500 años

	Pi	t = 0	t= D	t= tp	t= D+tp	t= 2D+tp	t = 3D+tp	t= 4D+tp	t= 4D+1,67
	mm/hr	0.0	0.2	0.5	0.7	0.8	1.0	1.1	1.5
p1 =	2.31	0.0	0.6	2.0	1.6	1.3	1.0	0.6	0.0
p2 =	8.63	0.0	0.0	5.2	7.3	6.1	4.8	3.6	0.0
p3 =	3.58	0.0	0.0	1.8	2.2	3.0	2.5	2.0	0.0
p4 =	2.74	0.0	0.0	0.9	1.4	1.7	2.3	1.9	0.0
p5 =	2.04	0.0	0.0	0.0	0.7	1.0	1.2	1.7	0.0
19.30	19.30								
CAUDAL	m3/s	0.0	0.6	9.9	13.2 ✓	13.1	11.8	9.8	0.0
tiempo	hrs	0.0	0.2	0.5	0.7	0.8	1.0	1.1	1.5

VOLUMEN CRECIDA : 0 151 7 072 6 233 7 082 6 717 5 840 6 212

VOLUMEN TOTAL : 39 306 m3

TRANQUE "EL BRONCE de ATACAMA"
Hidrograma Crecida Afluen. T= 50 años

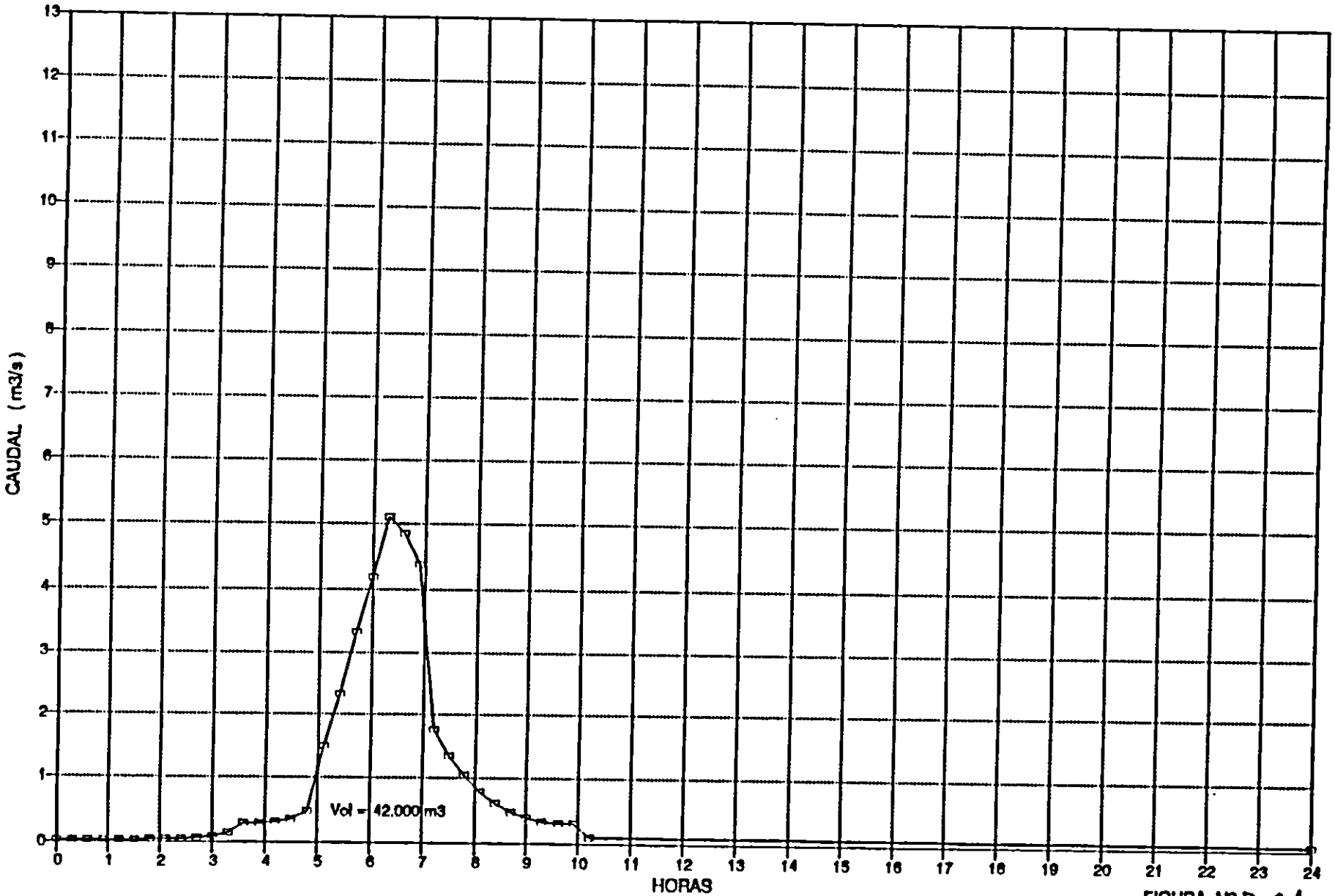


FIGURA Nº B-4.1

TRANQUE "EL BRONCE de ATACAMA"
Hidrograma Crecida Afluen. T=100 años

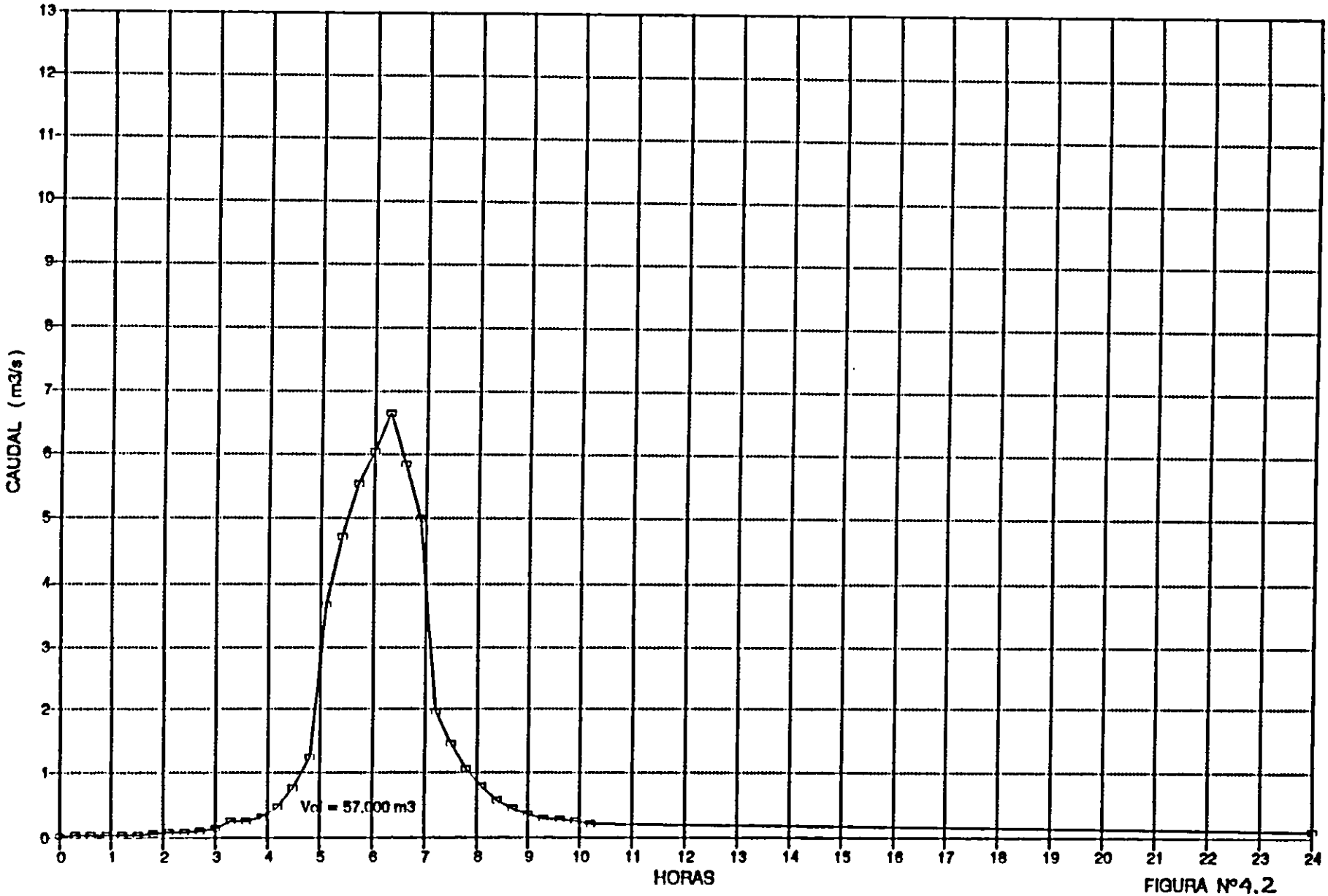


FIGURA Nº4.2

TRANQUE "EL BRONCE de ATACAMA"
Hidrograma Crecida Afluen. T=200 años

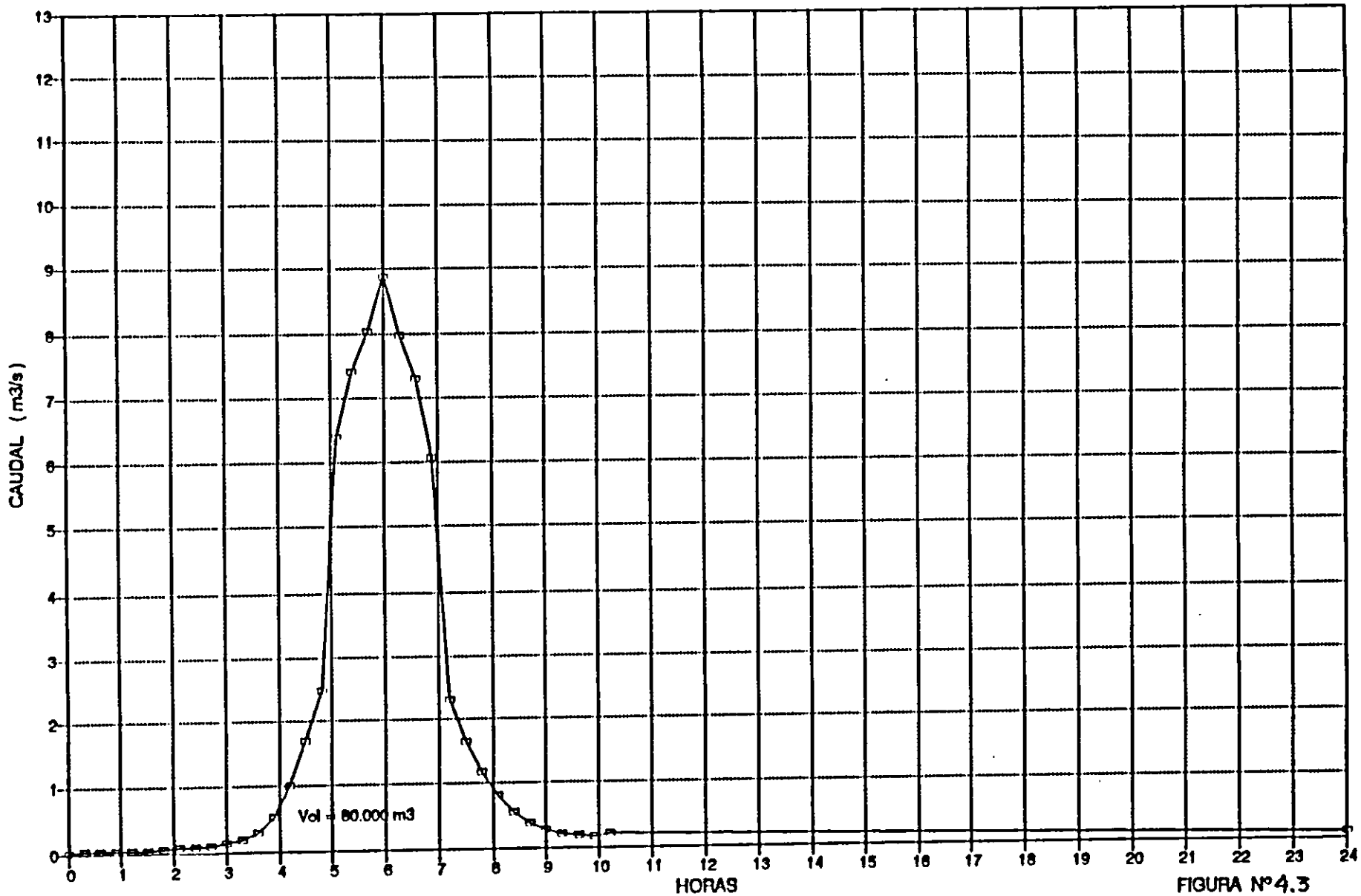


FIGURA Nº4.3

TRANQUE "EL BRONCE de ATACAMA"
Hidrograma Crecida Afluen. T=500 años

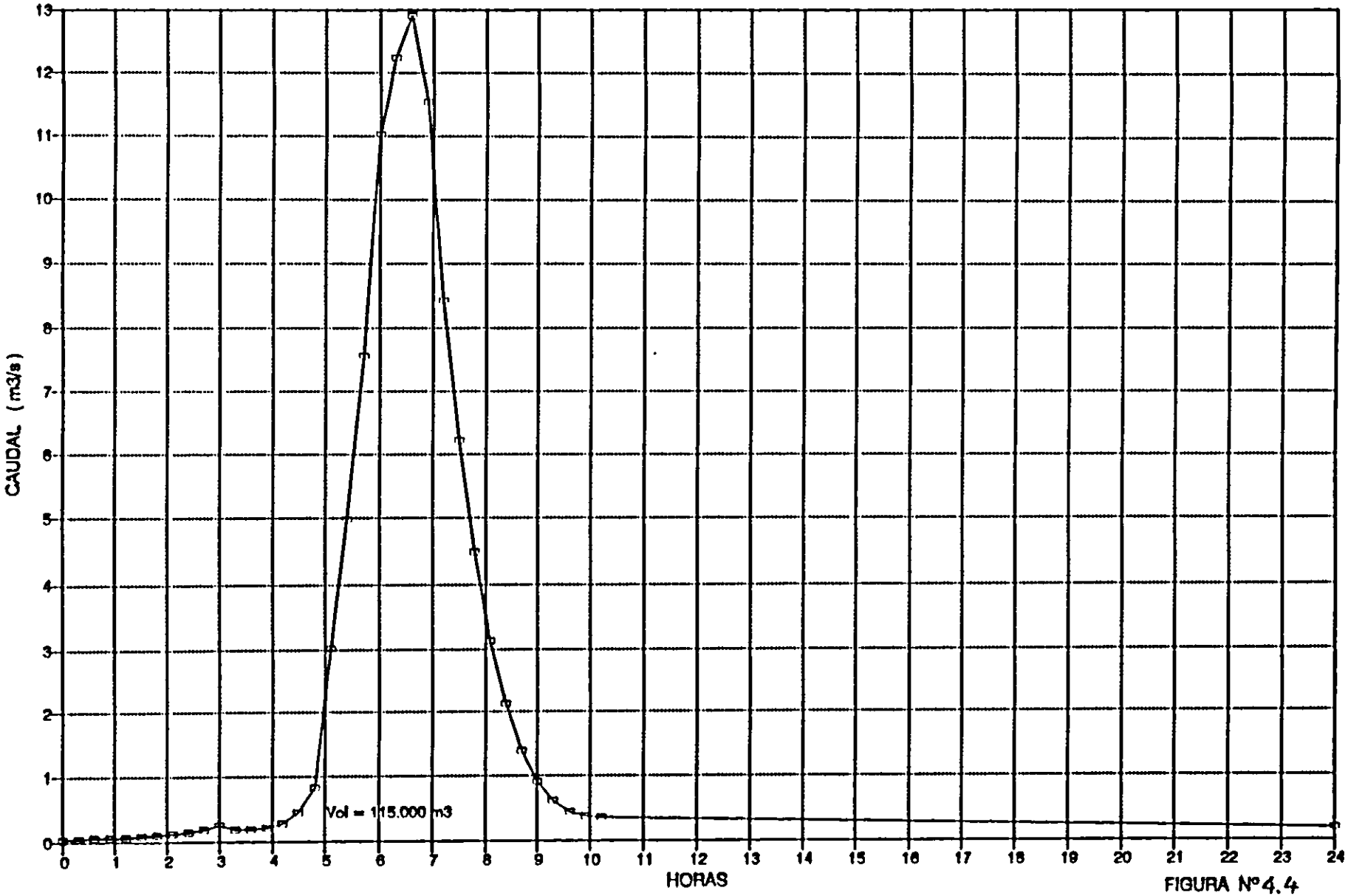


FIGURA Nº4.4

CUADRO Nº B-4.1
TRANQUE DE RELAVES "EL BRONCE DE ATACAMA"
HIDROGRAMA CRECIDA AFLUENTE
T= 50 años

	H.U.S. 6 hrs.		tpo	Q	Vol
Nº	Hrs	m3/s	hrs	m3/s	m3
42 000			0	0.1	41 908
5 483				6	38 182
					3 726
			0	0.00	
1	0	0	0	0.01	0
2	0.3	0	0.3	0.01	11
3	0.6	0	0.6	0.01	13
4	0.9	0	0.9	0.01	14
5	1.2	0	1.2	0.02	17
6	1.5	0	1.5	0.02	20
7	1.8	0	1.8	0.03	24
8	2.1	0	2.1	0.03	32
9	2.4	0	2.4	0.04	40
10	2.7	0	2.7	0.05	49
11	3	0	3	0.07	66
12	3.3	0	3.3	0.15	120
13	3.6	0	3.6	0.30	243
14	3.9	0	3.9	0.30	324
15	4.2	0.003	4.2	0.31	329
16	4.5	0.019	4.5	0.36	360
17	4.8	0.064	4.8	0.49	458
18	5.1	0.151	5.1	1.51	1 079
19	5.4	0.286	5.4	2.32	2 064
20	5.7	0.452	5.7	3.31	3 039
21	6	0.597	6	4.18	4 047
22	6.3	0.689	6.3	5.11 ←	5 019
23	6.6	0.711	6.6	4.87	5 389
24	6.9	0.629	6.9	4.37	4 990
25	7.2	0.487	7.2	1.76	3 313
26	7.5	0.353	7.5	1.36	1 685
27	7.8	0.249	7.8	1.05	1 299
28	8.1	0.186	8.1	0.80	996
29	8.4	0.105	8.4	0.62	763
30	8.7	0.061	8.7	0.48	593
31	9	0.033	9	0.40	476
32	9.3	0.015	9.3	0.35	402
33	9.6	0.006	9.6	0.32	358
34	9.9	0.001	9.9	0.30	335
35	10.2	0	10.2	0.1	218
			24	0.05	3 726
5483					

CUADRO Nº B-4.2
TRANQUE DE RELAVES "EL BRONCE DE ATACAMA"
HIDROGRAMA CRECIDA AFLUENTE
T= 100 años

	H.U.S. 6 hrs.		tpo	Q	Vol
Nº	Hrs	m3/s	hrs	m3/s	m3
57 000			0	0.2	60 304
20 303				2.5	52 852
					7 452
			0	0.01	
1	0	0	0	0.02	0
2	0.3	0	0.3	0.02	23
3	0.6	0	0.6	0.03	26
4	0.9	0	0.9	0.03	29
5	1.2	0	1.2	0.03	33
6	1.5	0	1.5	0.04	40
7	1.8	0	1.8	0.05	49
8	2.1	0	2.1	0.07	63
9	2.4	0	2.4	0.08	79
10	2.7	0	2.7	0.10	97
11	3	0	3	0.14	131
12	3.3	0	3.3	0.25	212
13	3.6	0.007	3.6	0.26	275
14	3.9	0.047	3.9	0.31	306
15	4.2	0.168	4.2	0.46	415
16	4.5	0.412	4.5	0.77	661
17	4.8	0.799	4.8	1.25	1 087
18	5.1	1.264	5.1	3.86	2 651
19	5.4	1.687	5.4	4.72	4 524
20	5.7	2.023	5.7	5.56	5 548
21	6	2.219	6	6.05	6 267
22	6.3	2.26	6.3	6.84 ←	6 852
23	6.6	2.14	6.6	5.85	6 746
24	6.9	1.806	6.9	5.02	5 867
25	7.2	1.361	7.2	1.95	3 762
26	7.5	0.965	7.5	1.46	1 840
27	7.8	0.662	7.8	1.08	1 368
28	8.1	0.43	8.1	0.79	1 007
29	8.4	0.266	8.4	0.58	740
30	8.7	0.151	8.7	0.44	551
31	9	0.079	9	0.35	425
32	9.3	0.036	9.3	0.30	348
33	9.6	0.013	9.6	0.27	303
34	9.9	0.003	9.9	0.25	281
35	10.2	0	10.2	0.2	245
			24	0.1	7 452
20303					

CUADRO Nº B-4.3
TRANQUE DE RELAVES "EL BRONCE DE ATACAMA"
HIDROGRAMA CRECIDA AFLUENTE
T= 200 años

	H.U.S. 6 hrs.		tpo	Q	Vol
Nº	Hrs	m3/s	hrs	m3/s	m3
80 000			0	0.2	79 419
48 472				1.6	71 967
					7 452
			0	0.01	
1	0	0	0	0.02	0
2	0.3	0	0.3	0.02	23
3	0.6	0	0.6	0.03	26
4	0.9	0	0.9	0.03	29
5	1.2	0	1.2	0.03	33
6	1.5	0	1.5	0.04	40
7	1.8	0	1.8	0.05	49
8	2.1	0	2.1	0.07	63
9	2.4	0	2.4	0.08	79
10	2.7	0	2.7	0.10	97
11	3	0	3	0.14	131
12	3.3	0.028	3.3	0.18	176
13	3.6	0.153	3.6	0.26	251
14	3.9	0.463	3.9	0.53	439
15	4.2	1.062	4.2	1.01	832
16	4.5	1.927	4.5	1.70	1 464
17	4.8	2.903	4.8	2.48	2 259
18	5.1	3.789	5.1	6.38	4 787
19	5.4	4.431	5.4	7.41	7 448
20	5.7	4.826	5.7	8.04	8 344
21	6	4.938	6	8.88 ←	9 137
22	6.3	4.782	6.3	7.97	9 099
23	6.6	4.36	6.6	7.30	8 244
24	6.9	3.595	6.9	6.07	7 219
25	7.2	2.668	7.2	2.29	4 518
26	7.5	1.867	7.5	1.65	2 132
27	7.8	1.264	7.8	1.17	1 525
28	8.1	0.81	8.1	0.81	1 069
29	8.4	0.495	8.4	0.56	737
30	8.7	0.279	8.7	0.38	507
31	9	0.145	9	0.28	356
32	9.3	0.065	9.3	0.21	264
33	9.6	0.024	9.6	0.18	211
34	9.9	0.005	9.9	0.16	185
35	10.2	0	10.2	0.2	197
			24	0.1	7 452
48472					

CUADRO Nº B-4.4
TRANQUE DE RELAVES "EL BRONCE DE ATACAMA"
HIDROGRAMA CRECIDA AFLUENTE
T= 500 años

	H.U.S. 6 hrs.		tpo	Q	Vol
Nº	Hrs	m3/s	hrs	m3/s	m3
115 000			0	0.35	115 370
105 692				1.075	102 329
					13 041
			0	0.01	
1	0	0	0	0.04	0
2	0.3	0	0.3	0.04	40
3	0.6	0	0.6	0.04	45
4	0.9	0	0.9	0.05	51
5	1.2	0	1.2	0.06	58
6	1.5	0	1.5	0.07	69
7	1.8	0	1.8	0.09	85
8	2.1	0	2.1	0.12	110
9	2.4	0	2.4	0.14	139
10	2.7	0	2.7	0.18	170
11	3	0	3	0.25	229
12	3.3	0	3.3	0.19	237
13	3.6	0	3.6	0.19	203
14	3.9	0.023	3.9	0.20	210
15	4.2	0.141	4.2	0.26	251
16	4.5	0.478	4.5	0.45	383
17	4.8	1.197	4.8	0.83	689
18	5.1	2.457	5.1	3.02	2 078
19	5.4	4.296	5.4	5.00	4 328
20	5.7	6.677	5.7	7.55	6 777
21	6	9.142	6	11.02	10 030
22	6.3	11.033	6.3	12.24	12 559
23	6.6	11.657 —	6.6	12.91 ←	13 578
24	6.9	10.393	6.9	11.55	13 206
25	7.2	8.073	7.2	8.423	10 785
26	7.5	5.863	7.5	6.213	7 903
27	7.8	4.149	7.8	4.499	5 784
28	8.1	2.777	8.1	3.127	4 118
29	8.4	1.778	8.4	2.128	2 838
30	8.7	1.046	8.7	1.396	1 903
31	9	0.564	9	0.914	1 247
32	9.3	0.26	9.3	0.61	823
33	9.6	0.096	9.6	0.446	570
34	9.9	0.022	9.9	0.372	442
35	10.2	0	10.2	0.35	390
			24	0.175	13 041
105692					

ANEXO C

PARA PERIODO DE RETORNO 1000 AÑOS:

- **ANALISIS DE PRECIPITACIONES MAXIMAS EN 24 HRS.**
- **VARIACION DE LA PRECIPITACION VS. ALTITUD**
- **CALCULO DE LA CRECIDA**

-

1. ALCANCE Y OBJETIVOS

En el Volumen Nº 1 de Junio 1996 de la "Memoria Descriptiva" del Proyecto "El Bronce de Atacama, Tranque de Relaves Quebrada El Gato" de E.C. ROWE y Asociados, donde se realizó un Estudio Hidrológico en el cual se obtuvieron los Caudales Máximos de la Crecidas de la Quebrada El Gato, que afluirán hacia el Tranque para períodos de retorno entre 10 y 500 años, sus hidrogramas y volúmenes de agua correspondientes.

El presente informe tiene por objetivo complementar esa información, obteniendo los mismos resultados para un período de retorno de 1000 años, para esto se utilizarán los datos, métodos y procedimientos de la "Memoria Descriptiva" del Proyecto en cuestión realizado en junio de 1996.

2. RESUMEN DE RESULTADOS

CUADRO C.1

TRANQUE DE RELAVES "EL BRONCE DE ATACAMA"

RESUMEN DE RESULTADOS PARA LA HOYA TRIBUTARIA AL TRANQUE DE 7,05 [km^2]

Período de retorno	T=10	T=20	T=50	T=100	T=200	T=500	T=1000
Precipitación máx. [mm/día]	32,4	41,2	56,7	70,0	86,0	109.2	134.7
Caudal Máx. [m^3/s]	0,0	3,5	5,1	6,7	8,9	12.9	16.2
Volumen Crecida [m^3]	0,0	30.000	42.000	57.000	80.000	115.000	165.144

3. ANÁLISIS DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA

Del análisis de Frecuencia a las estadísticas de Precipitaciones Máximas Anuales en 24 horas realizado para las Estaciones Copiapó, Embalse Lautaro, Pastos Grandes y Jorquera en La Guardia se obtuvieron las precipitaciones máximas de cada estación para período de retorno 1000 años. Por interpolación según la altitud de la estación, se logra la precipitación máxima en 24 horas para T = 1000 en Quebrada El Gato.

CUADRO C.2

TRANQUE DE RELAVES "EL BRONCE DE ATACAMA"

PRECIPITACIONES MÁXIMAS VS PERIODO DE RETORNO

ESTACION	Cota m.s.n.m.	T=10 mm/día	T=20 mm/día	T=50 mm/día	T=100 mm/día	T=200 mm/día	T=500 mm/día	T=1000 mm/día
- Copiapó	370	26.8	33.0	43.0	53.0	63.0	78.0	92.0
- El Gato (interp)	770	32.4	41.2	56.7	70.0	86.0	109.2	134.7
- Emb. Lautaro	1.100	37.0	48.0	68.0	84.0	105.0	135.0	170.0
- Pastos Grandes	2.000	38.7	52.2	73.0	91.0	115.0	155.0	180.0
- Jorquera	2.500	34.7	40.0	48.0	55.0	60.5	70.0	78.0

En la siguiente Figura se muestran los resultados del análisis de frecuencia anterior Cuadro C.2 ordenados gráficamente en función de la cota. En dicho gráfico, se interpolaron las precipitaciones correspondientes a la cota 770 m.s.n.m., que también se presenta en el Cuadro C.2.

En el Cuadro C.3, se muestran las Precipitaciones de diseño aplicables a la hoya en estudio, para los diferentes períodos de retorno (10, 20, 50, 100, 200, 500 y 1000 años).

CUADRO C.3

TRANQUE DE RELAVES "EL BRONCE DE ATACAMA"

PRECIPITACIONES MÁXIMAS VS PERIODO DE RETORNO

Período de Retorno	mm/día
10 años	32.4
20 años	41.2
50 años	56.7
100 años	70.0
200 años	86.0
500 años	109.2
1000 años	134.7

Coeficiente de escorrentía : C= 0.30

Tiempo de Concentración :Tc=0.75 hrs

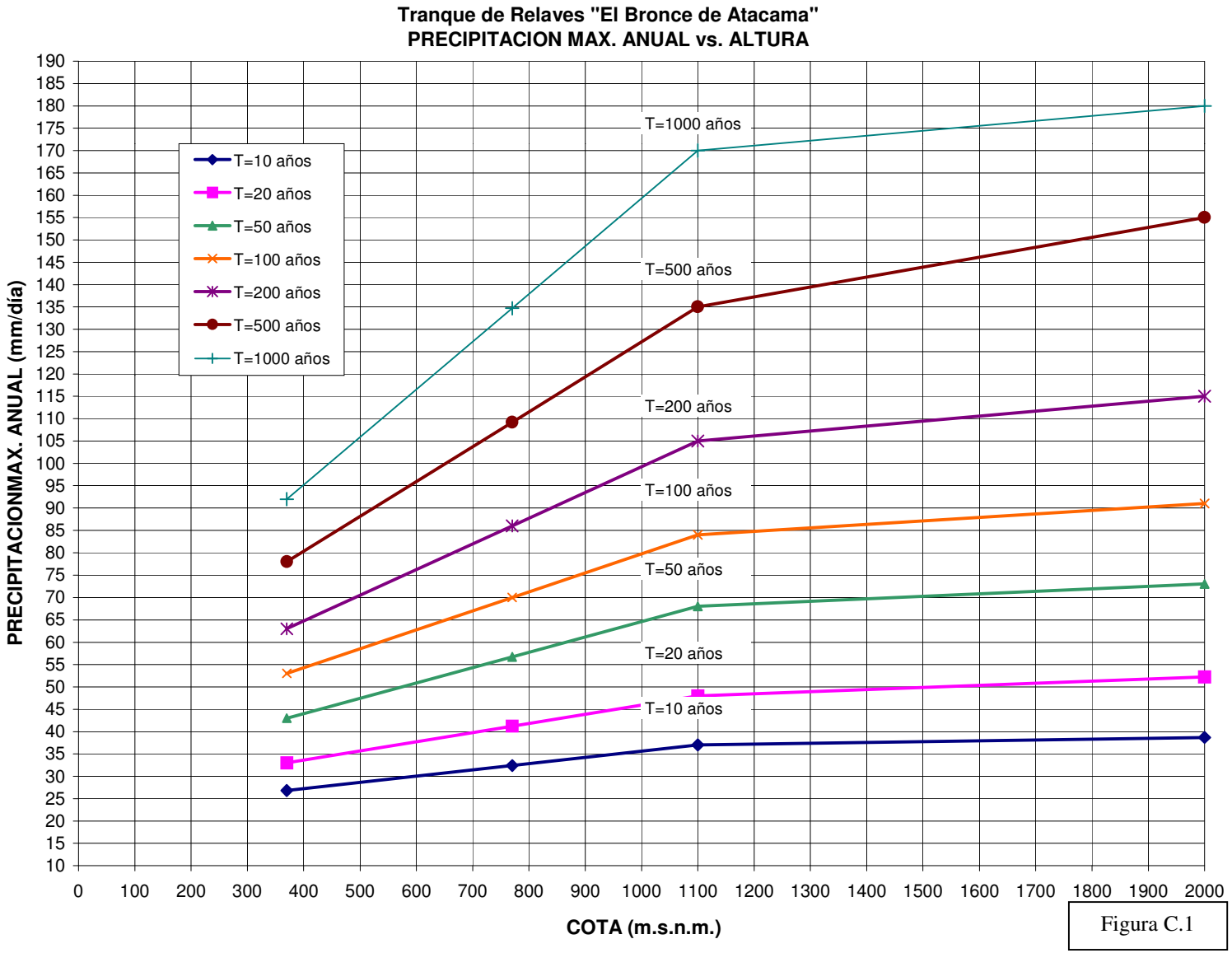

Tranque de Relaves "El Bronce de Atacama"
PRECIPITACION MAX. ANUAL vs. ALTURA
PRECIPITACIONMAX. ANUAL (mm/día)
COTA (m.s.n.m.)
T=10 años
T=20 años
T=50 años
T=100 años
T=200 años
T=500 años
T=1000 años
T=1000 años
T=500 años
T=200 años
T=100 años
T=50 años
T=20 años
T=10 años

Figura C.1

4. Caudales máximos de Crecidas Afluentes

Para obtener el caudal máximo de crecida para un período de Retorno de 1000 años, se ocupará el criterio mostrado en el Cuadro Nº 6 del Anexo V de la Memoria Descriptiva del Proyecto, que corresponde al promedio de los resultados de los Métodos de la Fórmula Racional, del Hidrograma unitario Triangular, del Hidrograma Unitario Sintético y la fórmula de Verni & King; aun cuando en el mismo informe se muestra que son aplicables los Métodos de la Fórmula Racional y del Hidrograma Unitario Triangular, por restricciones de Área de la Hoya en cuestión y el rango de validez de los métodos

Cuadro C.4. FORMULA RACIONAL (Qmáx = C x I x A)

Período de Retorno T	Área [Km^2]	C	I24 [mm/día]	Io [mm/hr]	Qmax [m^3/s]
10 años	7,05	0,3	32,4	7,6	4,5
20 años	7,05	0,3	41,2	9,7	5,7
50 años	7,05	0,3	56,7	13,4	7,9
100 años	7,05	0,3	70	16,5	9,7
200 años	7,05	0,3	86	20,3	11,9
500 años	7,05	0,3	109,2	25,7	15,1
1000 años	7,05	1,3	134,7	31,7	18,7

Donde:

I24 : Intensidad media máxima en 24 horas

Io : Intensidad media máxima de la lluvia durante el período de retorno

Cuadro C.5. FORMULA DE VERNI & KING (Qmáx = 0,00618 x $Pp^{1,264}$ x $A^{0,882}$)

Período de Retorno T	Área [Km^2]	I24 [mm/día]	Qmax [m^3/s]
10 años	7,05	32,4	2,5
20 años	7,05	41,2	3,4
50 años	7,05	56,7	5,1
100 años	7,05	70	6,6
200 años	7,05	86	8,5
500 años	7,05	109,2	11,4
1000 años	7,05	134,7	15

Cuadro C.6. MÉTODO DEL HIDROGRAMA UNITARIO TRIANGULAR (U.S. BUREAU OF RECLAMATION)

AREA	=	7,05	Km2
Esc. "c"	=	0,3	
tc	=	0,75	hrs.
D	=	0,15	hrs.
tp	=	0,53	hrs.
tr	=	0,9	hrs.

Pp24/h 134,7 mm/día

	Pi mm/hr	t = 0 0	t = D 0,2	t = tp 0,5	t = D+tp 0,7	t = 2D+tp 0,8	t = 3D+tp 1	t = 4D+tp 1,1	t = 4D+1,67 1,5
p1 =	2,51	0,0	0,9	2,5	2,3	2,1	1,4	1,2	0,0
p2 =	9,37	0,0	0,0	6,2	8,6	7,9	6,1	4,8	0,0
p3 =	3,89	0,0	0,0	2,2	2,9	2,7	2,4	2,3	0,0
p4 =	2,98	0,0	0,0	1,2	2,0	2,4	2,5	2,2	0,0
p5 =	2,22	0,0	0,0	0,0	1,1	1,7	1,8	2,1	0,0
	20,96								
Caudal	m3/s	0,0	0,9	12,1	16,9	16,8	14,2	12,6	0,0

Tb = Tiempo base del Hidrograma en horas
Tb= 2.67 tp

tp=Tiempo peak, igual al tiempo entre el inicio y el máximo del escurrimiento directo.

tp=tc

MÉTODO DEL HIDROGRAMA SINTÉTICO

Se utilizará el H.U.S tipo Linsley, definido para una precipitación efectiva de duración igual a 0.18 veces el tiempo al peak y de magnitud igual a 1mm. Para su cálculo se requiere determinar los siguientes parámetros:

- Tiempo al Peak (t_p): También conocido como tiempo de desfase o retardo, es el tiempo que media entre el centro de masas del histograma y el tiempo que se produce el peak o caudal máximo. Su expresión es la siguiente:

$$t_p = C_t\left(\frac{L\,L'}{\sqrt{s}}\right)^{\alpha} \quad (hr)$$

con:

- L: Longitud del cauce principal, en km.
- L': Distancia entre la sección de salida y el centro de gravedad de la cuenca, en km.
- s: Pendiente media del cauce principal

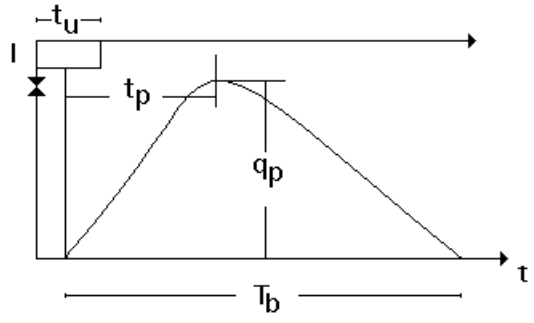
- Caudal Peak (q_p): Es el caudal asociado al máximo del H.U, expresado por unidad de Area.

$$q_p = C_p\left(t_p\right)^{\beta} \quad (lts/s/mm/km^2)$$

- Tiempo Base(T_b): Es el tiempo entre el comienzo y el término del hidrograma de escorrentía directa.

$$T_b = C_b\left(t_p\right)^{\gamma} \quad (hr)$$

La figura muestra un esquema típico, con los parámetros antes mencionados.



CUADRO Nº 6

TRANQUE DE RELAVES "EL BRONCE DE ATACAMA"

CAUDALES MAX. INST. DE CRECIDAS DE AFLUENTES [m^3/s]

T	F.R.	V&K	H.U.T.	H.U.S.	ADOPTADO
10 años	4,5	2,5	3,9	0,0	0,0
20 años	5,7	3,4	5,0	0,0	3,5
50 años	7,9	5,1	6,8	0,7	5,1
100 años	9,7	6,6	8,4	2,3	6,7
200 años	11,9	8,5	10,4	4,9	8,9
500 años	15,1	11,4	13,2	11,7	12,9
1000 años	18,7	15	16,9	14,0	16,2

CUADRO Nº 7

TRANQUE DE RELAVES "EL BRONCE DE ATACAMA"

VOLUMEN ASOCIADO A LAS CRECIDAS

T	Pp [mm/hr].	Volumen [m^3]	Curva Nº 55	Coef. Escorrentía (c)	VOLUMEN A TRANQUE ADOPTADO
10 años	32,4	228420	0	0.3	0
20 años	41,2	290460	4	0.3	30000
50 años	56,7	399735	7255	0.3	42000
100 años	70	493500	24149	0.3	57000
200 años	86	606300	55217	0.3	80000
500 años	109,2	769860	117132	0.3	115000
1000 años	134,7	949635	215331	0.3	165144

S.C.M. ATACAMA KOZAN

TRANQUE DE RELAVES QUEBRADA EL GATO

INFORME DE PERMISOS A DGA

ANEXO D

CRECIDA MÁXIMA PROBABLE

Preparado Por

ARCADIS GEOTECNICA

JULIO, 2004

REV. 0

S.C.M ATACAMA KOZÁN
TRANQUE DE RELAVES QUEBRADA EL GATO

INFORME DE PERMISOS A DGA

INDICE

1. INTRODUCCION 3

2. CRECIDA MAXIMA PROBABLE (C.M.P) HOYA QUEBRADA EL GATO 3

2.1 RESUMEN DE RESULTADOS 3
2.2 PRECIPITACIÓN MÁXIMA PROBABLE 3
2.3 CARACTERÍSTICAS DE LA HOYA TRIBUTARIA 4
2.4 CRECIDA DE DISEÑO 4
2.5 RESULTADO FINAL DE LA CRECIDA DE DISEÑO 9

ANEXO A

S.C.M ATACAMA KOZÁN
TRANQUE DE RELAVES QUEBRADA EL GATO

1. INTRODUCCION

El presente informe contiene las respuestas a las observaciones realizadas por la DGA en el expediente VC-0302-22 , con respecto al cálculo de la crecida máxima probable y al diseño de las obras de abandono.

2. CRECIDA MAXIMA PROBABLE (C.M.P) HOYA QUEBRADA EL GATO

En este ítem se determina la crecida máxima probable, con la cual serán diseñadas las obras de abandono para el Tranque de relaves El Gato propiedad de Atacama Kozán.

2.1 RESUMEN DE RESULTADOS

TABLA 2.1
TRANQUE DE RELAVES "EL BRONCE DE ATACAMA"
RESUMEN DE RESULTADOS PARA HOYA TRIBUTARIA AL TRANQUE DE 7,05 [km^2]

Precipitación Máxima Probable (PMP) [mm/día]	200
Crecida Máxima Probable (CMP) [m^3/s]	22
Volumen Crecida [m^3]	335.510

Nota: Las pertenencias mineras y proyecto minero original se denominaban "El Bronce de Atacama"; una vez formado el Joint Venture, pasa a llamarse S.C.M Atacama Kozán.

2.2 PRECIPITACIÓN MÁXIMA PROBABLE

El valor de la PMP para la cuenca en estudio, se estimó mediante interpolación con los datos de precipitación máxima probable de las estaciones pluviométricas "Copiapó" y "Embalse Lautaro".

TABLA 2.2
TRANQUE DE RELAVES "EL BRONCE DE ATACAMA"
PRECIPITACIONES MÁXIMAS PROBABLES

ESTACIÓN	COTA [m s.n.m.]	PMP [mm]
Copiapó	370	144 *
Embalse Lautaro	1100	246 *
Cuenca estudiada (El Gato)	770	200

* [1]

2.3 CARACTERÍSTICAS DE LA HOYA TRIBUTARIA

La hoya de la quebrada en estudio es de tipo árida semi-costera, y se ubica en las cercanías de la ciudad de Copiapó. Los principales parámetros morfométricos de esta hoya se obtuvieron desde las Planchetas IGM escala 1:50.000, con los resultados que se presentan a continuación[2]:

- Área de la Hoya Tributaria : 7,05 [km^2]
- Cota máxima : 1.014 m s.n.m.
- Cota media : 770 m s.n.m.
- Cota en Tranque : 540 m s.n.m.
- Área sobre cota 950 m s.n.m. : 0,26 [m^2]
-
- Área sobre cota 900 m s.n.m. : 1,12 [m^2]
- Área sobre cota 800 m s.n.m. : 0,26 [m^2]
- Área sobre cota 700 m s.n.m. : 4,98 [m^2]
- Área sobre cota 600 m s.n.m. : 6,59 [m^2]
- Área sobre cota 540 m s.n.m. : 7,05 [m^2]
- Longitud del cauce principal : 4,5 [km]
- Lg : 2,0 [km]
- Pendiente media : 9%

2.4 CRECIDA DE DISEÑO

Para la determinación del caudal y el volumen de la crecida máxima probable se empleará el método del Hidrograma Unitario Sintético (H.U.S.), utilizando los parámetros deducidos para la Zona Central Norte de Chile. Es importante señalar que la aplicación de este método en la Zona Norte, se basa en los buenos resultados obtenidos entre este tipo de H.U.S. y los hidrogramas unitarios deducidos de análisis de crecidas “medidas” en el sector alto del río Huasco[3]

Parámetros básicos y determinación del H.U.S

Se calcularán los Hidrogramas Unitarios para 24 horas, es decir, aquellos que producen una lluvia efectiva de 1mm. y que tienen una duración de 24 horas aproximadamente.
La uniformidad de la lluvia efectiva en el espacio y tiempo son hipótesis básicas sobre la cual está basado el H.U.

Se utilizará el H.U.S tipo Linsley, definido para una precipitación efectiva de duración igual a 0.18 veces el tiempo al peak y de magnitud igual a 1mm. Para su cálculo se requiere determinar los siguientes parámetros:

1 Fuente: “Pecipitaciones Máximas Diarias en Chile”, Ludwig Sthowas B.
Sociedad Chilena de la Ingeniería Hidráulica
VI Congreso Nacional

2 Fuente: Volumen 1 de Junio de 1996 de la Memoria Descriptiva del Proyecto “El Bronce de Atacama, Tranque de Relaves Quebrada El Gato” de E.C. Rowe y Asociados.

3 Fuente: Anteproyecto Presa El Toro. Obras diferidas y Complementarias. Hidrología y Sedimentación, Vol. 4. Noguera y Asociados para la Dirección General de riego 1984.

- Tiempo al Peak (t_p): También conocido como tiempo de desfase o retardo, es el tiempo que media entre el centro de masas del histograma y el tiempo que se produce el peak o caudal máximo. Su expresión es la siguiente:

$$t_p = C_t \left(\frac{L \cdot Lg}{\sqrt{s}} \right)^{\alpha} \quad (hr)$$

con:

L : Longitud del cauce principal, en km.
Lg : Distancia entre la sección de salida y el centro de gravedad de la cuenca, en km.
s : Pendiente media del cauce principal

- Caudal Peak (q_p): Es el caudal asociado al máximo del H.U, expresado por unidad de Area.

$$q_p = C_p \left(t_p \right)^{\beta} \quad (lts/s/mm/km^2)$$

- Tiempo Base (T_b): Es el tiempo entre el comienzo y el término del hidrograma de escorrentía directa.

$$T_b = C_b \left(t_p \right)^{\gamma} \quad (hr)$$

La figura 1 muestra un esquema típico, con los parámetros antes mencionados.

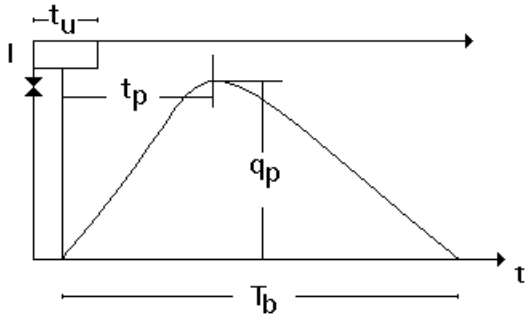


Figura 1.- Hidrograma Unitario

Las constantes C_t , α, C_p ,β ,C_b y γ fueron obtenidos de la Tabla 2.3 y corresponden a la Zona I (III[a] Región).

TABLA 2.3
TRANQUE DE RELAVES "EL BRONCE DE ATACAMA"
CONSTANTES DEL H.U.S

Constantes	Zona I Regiones III[a] a VI[a]
C_t	**0.323**
α	0.422
C_p	144.141
β	-0.796
C_b	5.377
γ	0.805

La duración de la precipitación efectiva puede ser modificada teniendo presente las siguientes recomendaciones:

La corrección de "$\mathbf{t}_u^{'}$" no puede ser superior al 50% de "$\mathbf{t}_u$"
Si el valor corregido queda dentro del intervalo: $\mathbf{t}_u - 10\% < \mathbf{t}_u^{'} < \mathbf{t}_u + 10\%$ entonces se acepta que los hidrogramas unitarios de "$\mathbf{t}_u^{'}$" y de "$\mathbf{t}_u$" son prácticamente el mismo, es decir, el hidrograma unitario no se modifica
Si "$\mathbf{t}_u^{'}$" queda fuera del intervalo anterior, entonces se modifica "t_p" en la forma:

$$t_p^{'} = t_p + \left(\frac{t_u^{'} - t_u}{4} \right)$$

Para definir la forma del hidrograma unitario, se utiliza el hidrograma unitario adimensional propuesto por el "Manual de Cálculo de Crecidas y Caudales Mínimos en cuencas sin información fluviométrica". (Ver Tabla 2.4)

Tabla 2.4
TRANQUE DE RELAVES "EL BRONCE DE ATACAMA"
HIDROGRAMA UNITARIO SINTÉTICO

Razón t/tp	Razón q/qp
0.00	0.00
0.30	0.20
0.50	0.40
0.60	0.60
0.75	0.80
1.00	1.00
1.30	0.80
1.50	0.60
1.80	0.40
2.30	0.20
2.70	0.10

El hidrograma así determinado debe verificarse que corresponda a un hidrograma de volumen unitario. Si esto no ocurre, entonces se debe corregir los valores en forma proporcional a la diferencia de volúmenes detectados.

Precipitación Efectiva y su distribución en el tiempo

Para la determinación de la precipitación efectiva se empleó el procedimiento de la Curva Número, dado por las siguientes expresiones:.

$CN = 11.9 + 73.7 \log(Lat - 25^{\circ})$ tendencia media superior

$CN = 29.9 + 73.7 \log(Lat - 25^{\circ})$ envolvente superior

con:

Lat: Latitud del centro de gravedad de la cuenca, en grados.
La curva envolvente maximiza los montos de la precipitación efectiva. El límite superior de CN es 98.

La distribución en el tiempo de la lluvia total caída durante una tormenta es un factor importante en la determinación del escurrimiento de respuesta de la cuenca. En la figura 2 se presenta el hietograma utilizado en este estudio.

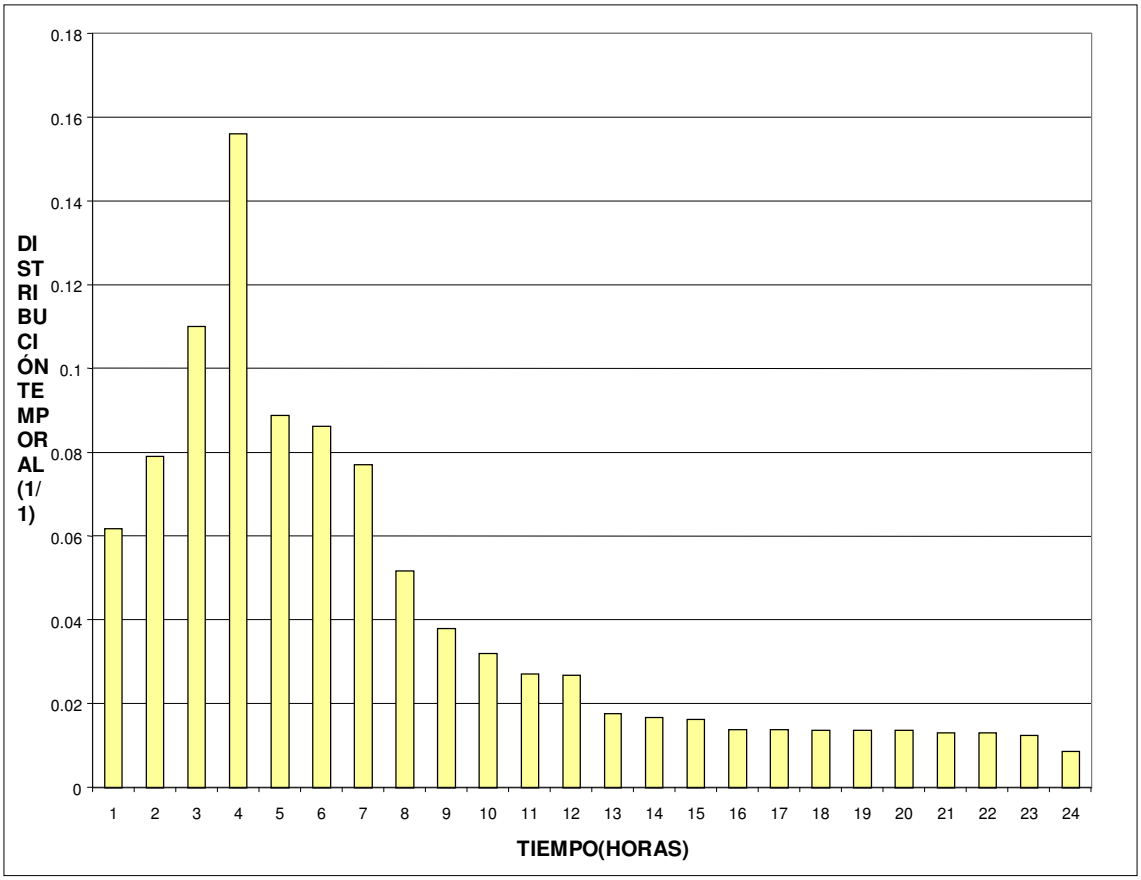


FIGURA 2.- Hietograma porcentual de la lluvia de diseño de 24 horas de duración.(distribución para intervalos de 1 hora).

La deducción de la lluvia de diseño se realizó en base a los siguientes criterios:

Los intervalos de precipitación del hietograma no sobrepasan las intensidades máximas calculadas a partir de las curvas I.D.F, al menos durante la precipitación de diseño más crítica.

Duración de la tormenta de 24 horas.

En la tabla 2.5 se presenta la lluvia de diseño para la PMP, para intervalos de lluvia de 1 hora.

Tabla 2.5
TRANQUE DE RELAVES "EL BRONCE DE ATACAMA"
LLUVIA DE DISEÑO

Hora	P24 [mm] = 200
1	12,3
2	15,8
3	22,0
4	31,2
5	17,7
6	17,3
7	15,4
8	10,3
9	7,6
10	6,4
11	5,4
12	5,4
13	3,5
14	3,3
15	3,3
16	2,7
17	2,7
18	2,7
19	2,7
20	2,7
21	2,6
22	2,6
23	2,5
24	1,7

Para obtener la precipitación efectiva por cada intervalo de tiempo considerado (desfase del hidrograma unitario), se multiplica la precipitación total acumulada por el factor de ponderación "K" dado por:

$$K = \frac{PP_{efectiva}}{Pmax_{t=6h}^{T=100}}$$

- Cálculo de la Onda de Crecida

El caudal máximo de diseño se calcula para una lluvia efectiva de 1 mm y de 24 horas de duración.

2.5 RESULTADO FINAL DE LA CRECIDA DE DISEÑO

La crecida de diseño calculado por el método del Hidrograma Unitario Sintético (H.U.S.) para la P.M.P. en el sector de Quebrada El Gato es 22 [m^3/seg] y el Volumen asociado a esta crecida es de 335.510 [m^3].