

131 A

**ANALISIS ALTERNATIVAS DE SOLUCION INUNDACIONES
CAUCES NATURALES Y ARTIFICIALES**

INFORME FINAL

TOMO - 1

**ESTUDIO HIDROLOGICO DE LA
QUEBRADA DE APOQUINDO**

CDA-383

V. A. C. S.

181 - A

PROLOGO

En atención a los problemas de inundación generados en diversos cauces naturales y artificiales de la comuna de Las Condes, la I. Municipalidad a través de Convenios Mandato con la Dirección General de Aguas Región Metropolitana, han venido realizando por medio de consultorías, diversos estudios y proyectos orientados a dar solución a dichos problemas.

Dentro del marco antes citado, la Dirección General de Aguas Región Metropolitana llamó a Licitación Pública para la ejecución del presente estudio, el que se refiere a los cauces del estero El Gabino y la Quebrada de Apoquindo. La Licitación fue resuelta a favor de esta Oficina Consultora "PRISMA INGENIERIA LTDA.", mediante Resolución D.G.A. R.M. N°006 del 11-10-1989, tramitada con fecha 08-11-1989.

De acuerdo a lo establecido en las Bases del Concurso, el estudio se dividió en cuatro etapas :

1ª Etapa : "Estudio Hidrológico de la Quebrada de Apoquindo"

2ª Etapa : "Anteproyectos de Evacuación de Desbordes del Estero El Gabino"

3ª Etapa : "Evaluación Económica de los Anteproyectos"

4ª Etapa : "Desarrollo a Nivel de Proyecto de la Alternativa más Económica"

Elaboradas, revisadas y corregidas las 4 Etapas del Estudio, las que fueron debidamente aprobadas por la Inspección Fiscal de la D.G.A. - Metropolitana, en el presente documento se entrega el Informe Final el que, de acuerdo a lo establecido en las Bases y Metodología del Consultor, contiene todos los antecedentes del estudio.

El Informe Final se presenta en 3 Tomos correspondiendo el 1° a la Etapa 1, el 2° a las Etapas 2 y 3 y el 3° a la Etapa 4.

ANALISIS ALTERNATIVAS DE SOLUCION INUNDACIONES
CAUCES NATURALES Y ARTIFICIALES

INDICE GENERAL

TOMO 1 : ESTUDIO HIDROLOGICO DE LA QUEBRADA DE APOQUINDO

- 1.- INTRODUCCION
- 2.- ESTUDIO HIDROLOGICO
- 3.- DELIMITACION AREAS DE INUNDACION
- 4.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

ANEXOS

PLANOS

**TOMO 2 : SOLUCION DE DESBORDES DEL ESTERO EL GABINO.
ANTEPROYECTOS Y EVALUACION ECONOMICA**

- 1.- INTRODUCCION
- 2.- ESTUDIOS BASICOS
- 3.- ANTEPROYECTO DE OBRAS
- 4.- ANALISIS DE EXPROPIACIONES, SERVIDUMBRES E INTERFERENCIAS
- 5.- ANALISIS DE FACTIBILIDAD DE ALTERNATIVAS
- 6.- CUBICACION DE ALTERNATIVAS PROPUESTAS
- 7.- ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS Y PRESUPUESTOS ESTIMADOS
- 8.- ANALISIS Y SELECCION DE ALTERNATIVA

ANEXOS

PLANOS

TOMO 3 : PROYECTO DE MEJORAMIENTO ESTERO EL GABINO SECTOR CALLE
EL RODEO A ESTERO LAS HUALTATAS

1.- INTRODUCCION

2.- INGENIERIA BASICA

3.- DISEÑO DE LAS OBRAS

ANEXOS

PLANOS

ANALISIS ALTERNATIVAS DE SOLUCION INUNDACIONES

CAUCES NATURALES Y ARTIFICIALES

TOMO 1

ESTUDIO HIDROLOGICO DE LA QUEBRADA DE APOQUINDO

INDICE

	Pag.
1.- INTRODUCCION.....	1
1.1.- Antecedentes Generales.....	1
1.2.- Objetivos del Estudio.....	2
2.- ESTUDIO HIDROLOGICO.....	3
2.1.- Introducción.....	3
2.2.- Puntos de Control de Caudales.....	4
2.3.- Parámetros de las Subcuencas.....	6
2.4.- Líneas de Nieve.....	8
2.5.- Análisis de Precipitaciones.....	9
2.6.- Determinación del Grupo de Suelo y Número de Curva con Datos de Suelo y Vegetación.....	12
2.7.- Coeficiente de Escorrentía.....	18
2.8.- Hietogramas de Diseño.....	21
2.9.- Cálculo de Caudales de Crecida.....	26
2.9.1.- Hidrograma Unitario Sintético (H.U.S.)	26

2.9.2.-	Hidrograma Unitario Triangular (H.U.T.).....	33
2.9.3.-	Fórmula Racional.....	37
2.9.4.-	Fórmula de Verni y King.....	40
2.10.-	Caudales Adoptados.....	42
2.11.-	Distribución de Caudales en Punto de Control III...	45
3.-	DELIMITACION AREAS DE INUNDACION.....	48
3.1.-	Análisis Preliminar de Areas de Inundación.....	48
3.2.-	Topografía.....	50
3.3.-	Areas de Inundación.....	51
3.3.1.-	Eje Hidráulico.....	51
3.3.1.1.-	Metodología.....	51
3.3.1.2.-	Parámetros de Cálculo.....	54
3.3.1.3.-	Cálculos y Resultados.....	55
3.3.2.-	Determinación de Areas Inundables.....	55
4.-	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	57

ANEXOS :

ANEXO N°1 : ESTUDIO DE SUELOS Y COBERTURA CUENCA
QUEBRADA DE APOQUINDO

ANEXO N°2 : LISTADOS COMPUTACIONALES DE EJES HIDRAULICOS

PLANOS :

PLANO N°1 :

- Lámina 1/1 : Planta General

PLANO N°2 :

- Lámina 1/3 : Quebrada Grande

Planta General, Límites Areas de
Inundación (Tr = 5 y 100 años)

- Lámina 2/3 : Quebrada Grande

Perfil Longitudinal, Ejes Hidráulicos
(Tr = 5 y 100 años)

- Lámina 3/3 : Quebrada Grande

Perfiles Transversales, Ejes Hidráulicos
(Tr = 5 y 100 años)

PLANO N°3 :

- Lámina 1/3 : Quebrada Almendros II y Canal Interceptor

Planta General, Límites Areas de
Inundación (Tr = 5 y 100 años)

- Lámina 2/3 : Quebrada Almendros II y Canal Interceptor

Perfil Longitudinal, Ejes Hidráulicos
(Tr = 5 y 100 años)

- Lámina 3/3 : Quebrada Almendros II y Canal Interceptor

Perfiles Transversales, Ejes Hidráulicos
(Tr = 5 y 100 años)

1.- INTRODUCCION

El presente tomo corresponde al "Estudio Hidrológico de la Quebrada de Apoquindo", cuyo objetivo final es el cálculo de los caudales máximos de crecidas de la quebrada, en diferentes puntos y para diferentes períodos de retorno, como asimismo la determinación de las áreas de inundación previsibles en los cauces que la conforman.

1.1.- Antecedentes Generales

La Quebrada de Apoquindo está ubicada en el límite sur-oriente de la comuna de Las Condes. Su área aportante es de 19 Km² y está formada por las quebradas Los Almendros y Grande, las que convergen al sur del cerro Apoquindo.

Las aguas de la Quebrada Apoquindo, para caudales bajos, son evacuadas por el canal Las Perdices, las que ingresan a este canal a través de una alcantarilla ubicada en la esquina de las calles Av. Cristobal Colón y Paul Harris. En períodos de crecidas los caudales generado por esta quebrada son superiores a la capacidad de evacuación del canal Las Perdices, produciéndose rebalses que escurren por Av. Cristobal Colón.

La Quebrada de Apoquindo es cruzada por el canal El Bollo, el que tiene su origen en el río Mapocho. Este canal que se localiza en la cota 855 m.s.n.m., intercepta sólo quebradas pequeñas, cruzando mediante obras de arte especiales las quebradas mayores.

Desde el punto de vista hidrológico esta cuenca es fundamentalmente pluvial.

Geomorfológicamente el área de la Quebrada Apoquindo está formada por morrenas de baja permeabilidad, es decir, derrubios transportados y depositados por glaciares, con un alto porcentaje de arcillas y limos, lo que se traduce en índices bajos de permeabilidad.

La vegetación predominante del área es del tipo leñoso bajo, poco abundante, con una baja intercepción pluvial.

1.2.- Objetivos del Estudio

De acuerdo a los Términos de Referencia del Concurso, el objetivo del estudio es determinar los caudales de crecida de la Quebrada de Apoquindo en el sector de cruce de la calle Vital Apoquindo, cota 1.000 m.s.n.m. y un punto equidistante entre los dos anteriores.

Dada la conformación hidrográfica de la Quebrada de Apoquindo (de cauces múltiples), el punto equidistante entre la calle Vital Apoquindo y la cota 1.000 ha sido sustituido en el análisis hidrológico por diferentes puntos de control intermedios los que corresponden a confluencias entre cauces importantes, como se explica con mayor detalle en el capítulo N°2. Esta opción fue previamente acordada con la Inspección Técnica de la D.G.A.

Adicionalmente a lo anterior se consulta delimitar las áreas ocupadas por las crecidas para los periodos de retorno de 5 y 100 años, en el sector comprendido entre la cota 1.000 m.s.n.m. hasta la calle Vital Apoquindo.

Los periodos de retorno utilizados corresponden a 5, 10, 50 y 100 años.

Los caudales máximos probables son calculados para la situación actual y para una situación futura en que se urbanice hasta la cota 1.000 m.s.n.m.

Las áreas ocupadas por las crecidas son delimitadas en base a los antecedentes generados por el estudio hidrológico y los levantamientos topográficos, calculando los ejes hidráulicos en cada uno de los cauces principales que conforman la Quebrada de Apoquindo.

2.- ESTUDIO HIDROLOGICO

2.1.- Introducción

El presente estudio realizado en la Quebrada de Apoquindo, comprende la determinación de los caudales de crecida correspondientes a periodos de retorno iguales a 5, 10, 50 y 100 años; utilizando cuatro métodos de cálculo :

- Hidrograma Unitario Sintético
- Hidrograma Unitario Triangular
- Fórmula Racional
- Fórmula de Verni y King

El punto de control final de la cuenca en estudio se ubica en la calle Vital Apoquindo, aproximadamente en la cota 730. Sin embargo, dado que es posible encontrar subcuencas dentro de los límites de la cuenca total, se han definido cinco puntos de control adicionales en los cuales se han determinado los caudales de diseño correspondientes. Por otra parte, se calcularon los caudales de crecida hasta la cota 1.000 m.s.n.m. en aquellas subcuencas cuya cota máxima fuera mayor a 1.000 m.s.n.m.

Los caudales de crecida fueron determinados para tres posibles líneas de nieve : 1.500, 1.800 y 2.000 m.s.n.m., las cuales fueron seleccionadas en base a los antecedentes recopilados en la sección nivometría de la Dirección General de Aguas y en la Compañía Minera Disputada de Las Condes.

Se han considerado dos situaciones en el cálculo de caudales :

- Situación actual del uso del suelo junto al tipo de vegetación existente.
- Situación futura suponiendo urbanización hasta la cota 1.000 m.s.n.m.

En base a los antecedentes disponibles y realizando un análisis fotointerpretativo complementado con reconocimientos de terreno se caracterizaron los tipos de suelos existentes, el grado de cobertura vegetal, así como el tipo de vegetación y el uso del suelo en las subcuencas involucradas en el presente estudio, con el objeto de definir en forma más precisa la precipitación efectiva en cada caso.

2.2.- Puntos de Control de Caudales

En la figura N°2.1 se puede observar la cuenca correspondiente a la Quebrada de Apoquindo en calle Vital Apoquindo. En ella se han definido seis puntos de control de caudales, los cuales permiten distinguir 10 áreas aportantes identificadas con números y letras correlativas respectivamente.

En la figura N°2.2 se muestran las subcuencas correspondientes a los puntos de control ubicados en la cota 1.000.

Los puntos de control se encuentran indicados además en el Plano N°1 Planta General.

Cabe destacar que en el área en estudio existe un canal artificial construido entre la Quebrada Grande y la Quebrada Los Almendros I paralelo (al oriente) del canal El Bollo, cuyo objetivo es el trasvasije de los caudales de crecidas mayores entre ambas quebradas, dado que el cauce de la Quebrada Grande se encuentra urbanizado aguas abajo y existe un abovedamiento de capacidad inferior el caudal máximo generado por su cuenca. Dicho canal se ha denominado como canal Interceptor, para los efectos del presente estudio.

PUNTO DE CONTROL	UBICACION	CONTROLA CAUDAL PROVENIENTE DE
I	Calle Vital Apoquindo en la Quebrada de Apoquindo.	Toda la cuenca en estudio.
II	Intersección cauces Quebrada Grande (iz- quierda) y Quebrada Los Almendros (dere- cha).	Izquierda : Cuenca corres- pondiente a Quebrada Gran- de, aguas abajo del canal Interceptor existente, más el aporte del resto de la Quebrada Grande ubicada aguas arriba del canal In- terceptor a través de obra de arte existente, en el punto de control III. Derecha : Cuenca correspon- diente a la Quebrada Los Almendros más el aporte del canal Interceptor a través de obra de arte existente en el punto de control V.

PUNTO DE CONTROL	UBICACION	CONTROLA CAUDAL PROVENIENTE DE
III	Entrada obra de arte, Quebrada Grande, inicio canal Interceptor.	Quebrada Grande más Quebrada Seca.
IV	Aguas arriba canal Interceptor por la Quebrada Los Almendros II.	Quebrada Los Almendros II
V	Entrada obra de arte, Quebrada Los Almendros I, fin canal Interceptor	Izquierda : Canal Interceptor con caudales provenientes de la Quebrada Grande, área aportante sector La Crianza y Quebrada Los Almendros II. Centro : Quebrada Los Almendros I. Derecha : Area aportante sector alto colegio Juanita de Los Andes.
VI	Intersección cauces Quebrada Los Almendros I y Los Almendros.	Izquierda : Punto de control V más área aportante intermedia entre los puntos V y VI. Derecha : Quebrada Los Almendros.

PUNTO DE CONTROL	UBICACION	CONTROLA CAUDAL PROVENIENTE DE
III-1	Quebrada Grande en cota 1.000	Quebrada Grande y Quebrada Seca.
VI-1I	Quebrada Los Almendros en cota 1.000	Quebrada Los Almendros izquierda.
VI-1D	Quebrada Los Almendros en cota 1.000	Quebrada Los Almendros derecha.

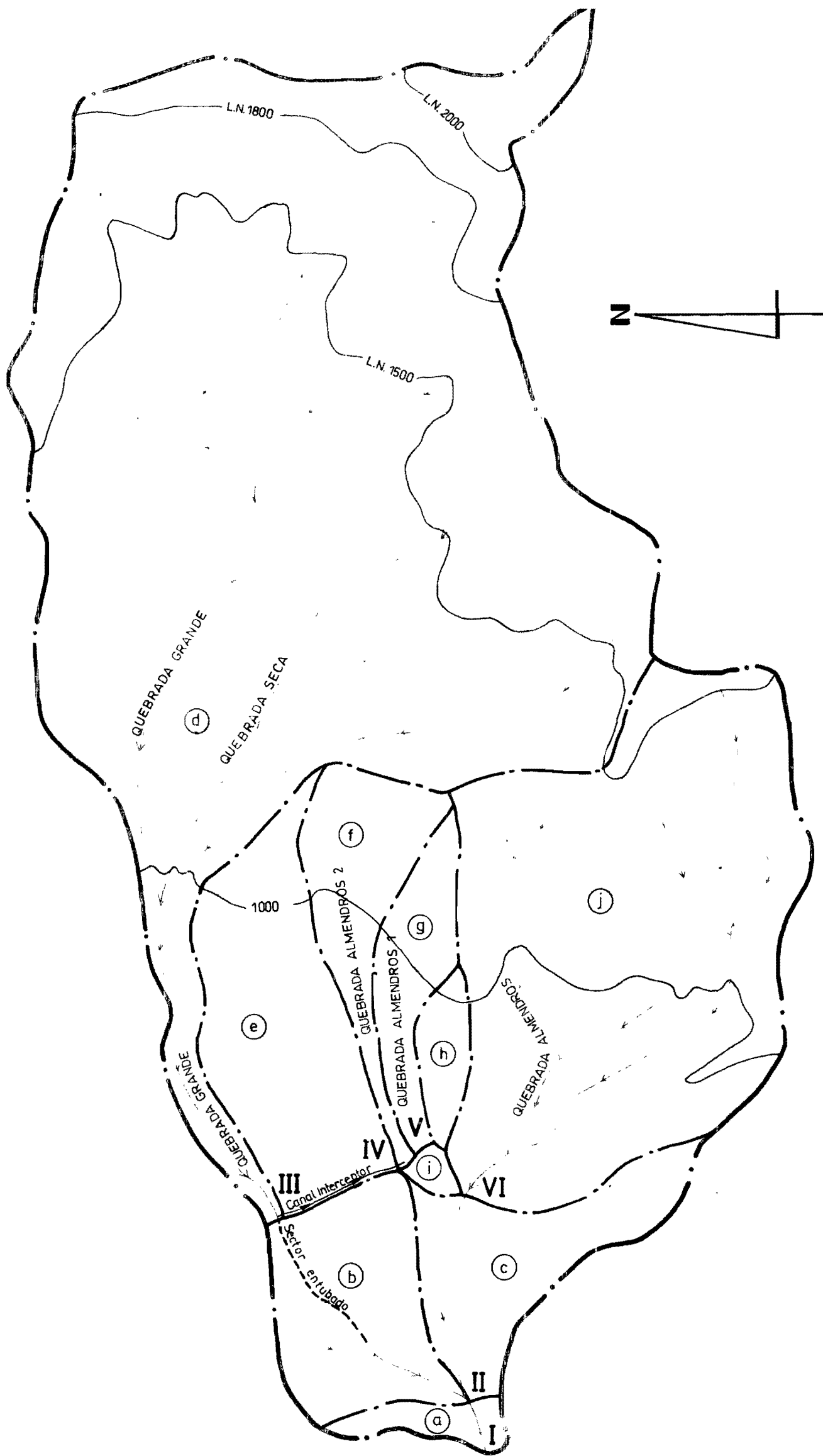


FIGURA Nº 21

(ESCALA 1:25.000)

QUEBRADA DE APOQUINDO
CUENCA EN CALLE VITAL APOQUINDO
Y SUBCUENCAS EN SALIDA

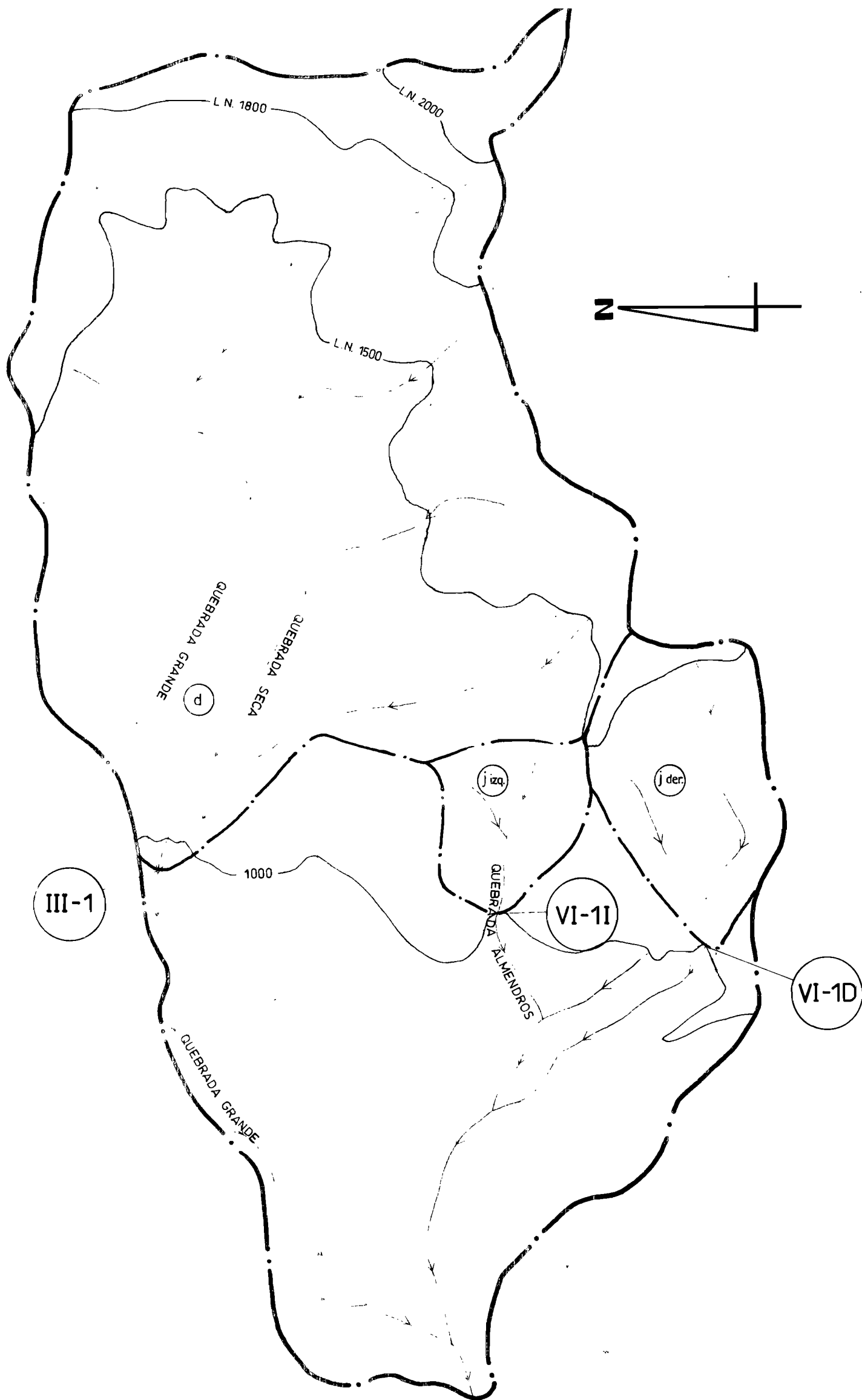


FIGURA N° 2.2

(ESCALA 1:25.000)

QUEBRADA DE APOQUINDO
CUENCAS EN COTA 1000

2.3.- Parámetros de las Subcuencas

En la figura N°2.1 se observan los límites de las subcuencas contenidas en la cuenca de la Quebrada de Apoquindo. En la tabla N°2.1 se presentan las características morfológicas de ellas, obtenidas de las cartas a escala 1:50.000 pertenecientes al Instituto Geográfico Militar. Estas características constituyen los parámetros básicos necesarios para aplicar los métodos de cálculo de los caudales de crecida.

TABLA N°2.1.a

PARAMETROS DE LAS SUBCUENCAS EN LA SALIDA

PUNTO DE CONTROL	AREA APORTANTE	LINEA DE NIEVE	A Km²	Lc Km.	Lq Km.	H m	h m	i	s	Obs.
I	Toda la cuenca	1.500 1.800 2.000	14,80 17,90 19,00	7,5 8,4 8,5	3,2 5,2 5,5	769 1.069 1.269	369 469 519	0,10 0,13 0,15	0,31 0,34 0,34	Corresponde a la cuenca total
II	b	-	0,85	1,4	0,8	81	60	0,06	0,09	Cota máxima < 1.500 m.s.n.m.
	c+g+h+i+j	-	5,33	4,3	2,1	750	200	0,17	0,33	Cota máxima < 1.500 m.s.n.m.
III	d	1.500 1.800 2.000	6,70 9,70 10,80	5,9 6,6 6,7	3,6 4,0 4,2	662 962 1.162	412 512 562	0,11 0,15 0,17	0,34 0,39 0,38	
IV	f	-	0,61	2,0	1,4	520	220	0,26	0,34	Cota máxima < 1.500 m.s.n.m.
V	g	-	0,41	1,7	0,9	520	95	0,31	0,38	Cota máxima < 1.500 m.s.n.m.
VI	g+h+i	-	0,65	2,0	0,8	525	100	0,27	0,38	Cota máxima < 1.500 m.s.n.m.
	j	-	3,89	3,1	1,4	675	225	0,22	0,35	Cota máxima < 1.500 m.s.n.m.

TABLA N°2.1.b

PARAMETROS DE LAS SUBCUENCAS EN COTA 1.000

PUNTO DE CONTROL	AREA APORTANTE	LINEA DE NIEVE	A Km²	Lc Km.	Lq Km.	H m	h m	i	s	Obs.
III-1	d	1.500	6,26	4,2	1,9	500	300	0,12	0,37	
		1.800	9,26	4,9	2,3	800	400	0,16	0,39	
		2.000	10,39	5,0	2,5	1.000	450	0,20	0,40	
VI-1I	j izq.	-	0,50	1,0	0,5	450	200	0,47	0,58	
VI-1D	j der.	-	1,15	1,6	0,8	550	250	0,34	0,38	

Nomenclatura :

A : Superficie de la cuenca.

Lc : Longitud del cauce principal, desde el punto más alejado hasta el desagüe de la cuenca.

Lq : Longitud desde el centro de la cuenca hasta el punto de salida.

H : Diferencia de nivel entre el punto más alejado y el desagüe de la cuenca.

h : Diferencia de nivel entre la cota media de la cuenca y el punto de salida.

i : Pendiente media de la cuenca, calculada como H/Lc

s : Pendiente media de la cuenca, según fórmula de Mocornita.

2.4.- Líneas de Nieve

Las líneas de nieve utilizadas en el cálculo de caudales fueron seleccionadas en base a información recopilada : en la sección de nivometría de la Dirección General de Aguas y con personal a cargo del tranque de relaves ubicado en San Francisco (cota aproximada 2.600 m.s.n.m.), perteneciente a la Compañía Minera Disputada de Las Condes.

Se obtuvieron datos de elevación media aproximada de la línea de nieves en la ruta Barros Negros, hoya del río Maipo, para el período comprendido entre los años 1965 y 1989. De estos datos se extrajeron aquellos de fecha posterior más cercana a la ocurrencia de precipitaciones máximas anuales de 24 hrs, 48 hrs y 72 hrs observadas en las estaciones pluviométricas Quinta Normal, Tobalaba y Los Maitenes. De este análisis se pudo concluir que las líneas de nieves más frecuentes están comprendidas entre 1.800 m.s.n.m. y 2.000 m.s.n.m.

La información adicional obtenida acerca de observaciones directas realizadas en inviernos anteriores por personal de la Dirección General de Aguas y de la Compañía Minera Disputada de Las Condes permite decir que en eventos de lluvia la cota de línea de nieves más frecuente observada es de 2.200 m.s.n.m. y la cota más baja normalmente observada en invierno alcanza un valor de 1.500 m.s.n.m.

De acuerdo a lo anterior y dado que la cuenca en estudio presenta una cota máxima del orden de los 2.000 m.s.n.m. se adoptaron las siguientes líneas de nieves :

Cota mínima : 1.500 m.s.n.m.

Cota intermedia : 1.800 m.s.n.m.

Cota máxima : 2.000 m.s.n.m.

2.5.- Análisis de Precipitaciones

Una vez revisados y analizados los estudios de precipitación realizados recientemente en el área de interés, entre los cuales se pueden mencionar los siguientes :

- Plan Maestro de Alcantarillado para el Gran Santiago, 1983.
- Anteproyecto de Evacuación de Aguas Lluvias, Quebrada Las Zorras, 1989.
- Investigación de Eventos Hidrológicos Extremos, 1989.
- Estudio de Crecidas Estero Las Hualtatas y sus Afluentes, 1982.
- Análisis de Alternativas de Solución Inundaciones Sector Lo Barnechea, 1987.

Se adoptó la siguiente metodología de trabajo :

Adicionalmente se consideraron estaciones pluviométricas ubicadas en las cercanías del sector en estudio y que además permitieran obtener una relación de la variación de la precipitación con la altura. Dichas estaciones se presentan en la tabla N°2.2.

TABLA N°2.2

ESTACIONES PLUVIOMETRICAS CONSIDERADAS EN EL ESTUDIO

ESTACION	UBICACION		ALTURA	ANO
	Latitud	Longitud	m.s.n.m	INICIO ESTADISTICA
Quinta Normal	33°26'	70°41'	520	1.915
Tobalaba	33°27'	70°33'	640	1.940
Los Maitenes	33°33'	70°16'	1.140	1.929

Del estudio "Investigación de Eventos Hidrológicos Extremos" se obtuvo la precipitación máxima anual en 24 hrs para períodos de retorno iguales a 5, 10, 50 y 100 años en las estaciones consideradas en el estudio. Los valores de las precipitaciones se muestran en la tabla N°2.3.

TABLA N°2.3

PRECIPITACIONES MAXIMAS ANUALES EN 24 hrs

ESTACION	PERIODO DE RETORNO AÑOS			
	5	10	50	100
Quinta Normal	60,1	71,0	95,0	105,4
Tobalaba	62,4	73,1	96,4	106,3
Los Maitenes	67,9	80,8	109,7	122,2

Los valores de precipitación máxima anual en 24 hrs para las estaciones consideradas en el estudio fueron graficadas en un papel semilogarítmico con la altitud en las abcisas y P24 hrs en las ordenadas, dibujando a continuación curvas de precipitación versus altura, siguiendo la tendencia de los perfiles Cajón del Maipo y Mapocho deducidos por Ismael Herrera en el "Estudio de Crecidas Estero Las Hualtatas y sus Afluentes". Dicho gráfico se presenta en la figura N°2.3.

Para obtener la precipitación anual máxima en 24 hrs en las subcuencas definidas por los puntos de control, se entró en las curvas que se muestran en la figura N°2.3 con la altura media de cada subcuenca y el período de retorno de la crecida que se deseaba estimar. En la tabla N°2.4 se muestran los valores de P24 obtenidos en las subcuencas de la Quebrada de Apoquindo.

FIG. 2.3

CURVAS PRECIPITACION $\frac{1}{6}$ ALTURA

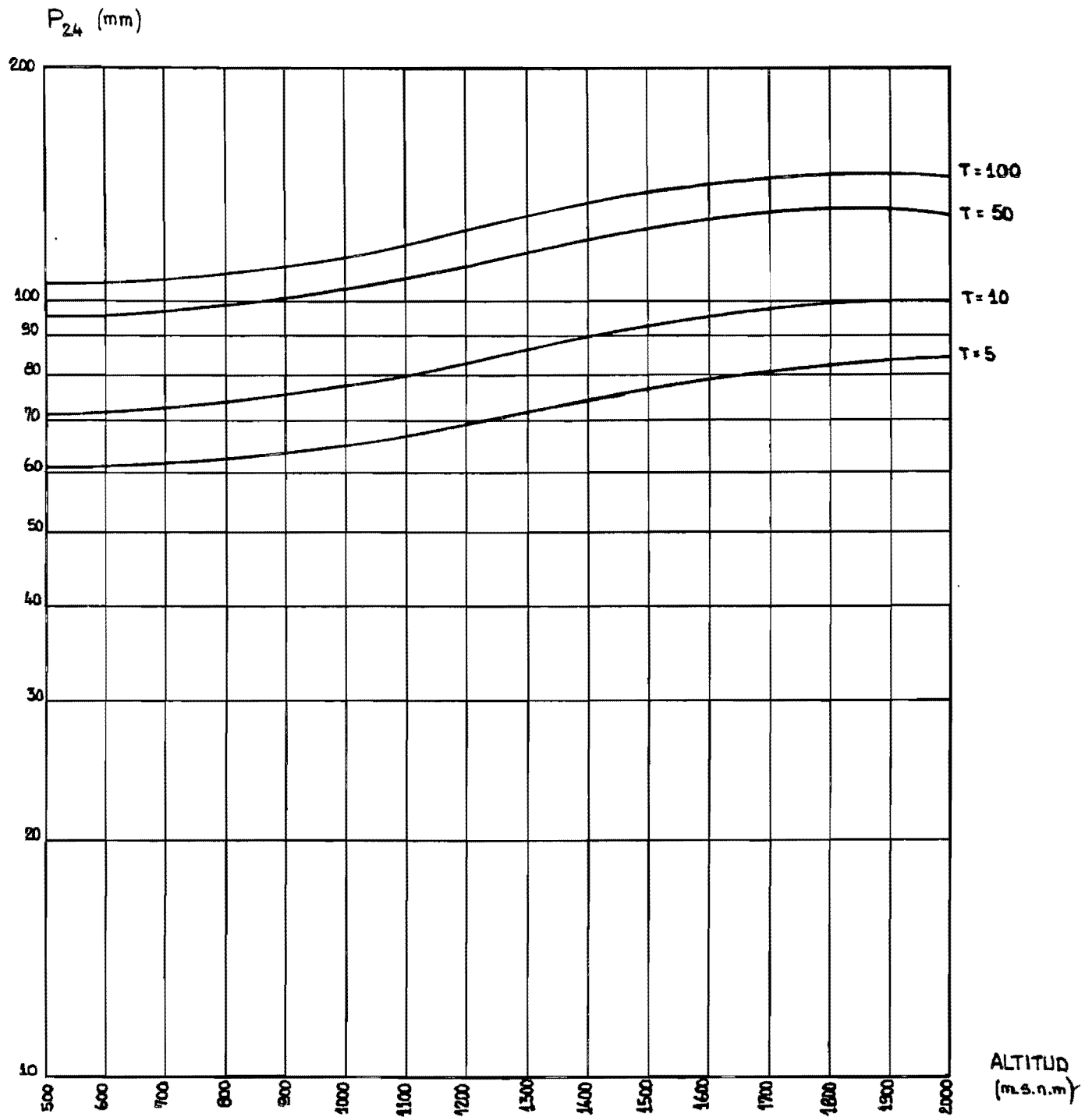


TABLA N°2.4.a

PRECIPITACIONES MAXIMAS ANUALES EN 24 hrs en mmEN LA SALIDA

PUNTO DE CONTROL	AREA APORTANTE	LINEA DE NIEVE	ALTURA MEDIA m.s.n.m	PERIODO DE RETORNO AÑOS			
				5	10	50	100
I	Toda la cuenca	1.500	1.100	67,0	80,0	107,0	119,0
		1.800	1.200	69,5	83,0	112,0	125,0
		2.000	1.250	70,5	85,0	114,0	128,0
II	b	—	810	62,5	74,0	99,0	110,0
	c+g+h+i+j	—	950	64,0	76,5	102,5	113,5
III	d	1.500	1.250	70,5	85,0	114,0	127,0
		1.800	1.350	73,0	88,0	118,0	132,0
		2.000	1.400	74,5	90,0	122,0	135,0
IV	f	—	1.050	66,0	79,0	106,0	117,0
V	g	—	925	64,0	76,0	102,0	112,0
VI	g+h+i	—	925	64,0	76,0	102,0	112,0
	j	—	1.050	66,0	79,0	106,0	117,0

TABLA N°2.4.b

PRECIPITACIONES MAXIMAS ANUALES EN 24 hrs en mmEN COTA 1.000

PUNTO DE CONTROL	AREA APORTANTE	LINEA DE NIEVE	ALTURA MEDIA m.s.n.m	PERIODO DE RETORNO AÑOS			
				5	10	50	100
III-1	d	1.500	1.300	72,0	86,5	116,0	130,0
		1.800	1.400	74,5	90,0	122,0	135,0
		2.000	1.450	75,5	91,5	123,0	136,5
VI-1I	j izq.	—	1.200	69,5	83,0	112,0	125,0
VI-1D	j der.	—	1.250	70,5	85,0	114,0	127,0

2.6.- Determinación del Grupo de Suelo y Número de Curva con Datos de Suelo y Vegetación

La aplicación de los métodos de cálculo usados en la determinación de los caudales de crecida para cada subcuenca, requiere de la estimación de precipitaciones efectivas. La obtención de estos valores en cada subcuenca se realizó en base a las características de tipo de suelo, vegetación y uso del suelo.

En el anexo 1 se presenta el estudio de suelo-cobertura para la Quebrada de Apoquindo. Con las cartas de grupos de suelos hidrológicos y vegetación, y considerando los datos y fórmulas propuestas por el U.S. Soil Conservation Service se determinaron las precipitaciones efectivas y los consiguientes coeficientes de escorrentía para cada una de las subcuencas definidas.

El método propuesto por el U.S. Soil Conservation Service consiste en asignar un número de curva (CN) para cada subcuenca estudiada en base al grupo de suelo hidrológico y al tipo de vegetación existente en dicha subcuenca. El número de curva representa una relación entre la precipitación y el escurrimiento directo, obtenido de la siguiente ecuación :

$$Q = (P + 0,2 \times S)^2 / (P + 0,8 \times S)$$

donde :

Q : Escurrimiento directo en mm

P : Precipitación de la tormenta en mm

S : Diferencia potencial máxima entre P y Q en mm, a la hora de comienzo de la tormenta y se obtiene de la siguiente relación :

$$S = 25.400/CN - 254$$

A continuación se presentan los resultados de grupos de suelos hidrológicos y números de curva obtenidos en la cuenca integral de la Quebrada de Apoquindo y en cada una de las subcuencas incluidas en ella.

TABLA N°2.5.a

GRUPOS DE SUELOS HIDROLOGICOSEN LA SALIDA

PUNTO DE CONTROL	AREA APORTANTE	LINEA DE NIEVE	AREA (%)		GRUPO DE SUELO ADOPTADO
			Grupo C	Grupo D	
I	Toda la cuenca	1.500	42	58	D
		1.800	40	60	D
		2.000	38	62	D
II	b	—	89	11	C
	c+g+h+i+j	—	55	45	C
III	d	1.500	25	75	D
		1.800	18	82	D
		2.000	16	84	D
IV	f	—	62	38	C
V	g	—	51	49	C
VI	g+h+i	—	55	45	C
	j	—	37	63	D

TABLA N°2.5.b

GRUPOS DE SUELOS HIDROLOGICOSEN COTA 1.000

PUNTO DE CONTROL	AREA APORTANTE	LINEA DE NIEVE	AREA (%)		GRUPO DE SUELO ADOPTADO
			Grupo C	Grupo D	
III-1	d	1.500	26	74	D
		1.800	19	81	D
		2.000	17	83	D
VI-1I	j izq.	—	0	100	D
VI-1D	j der.	—	0	100	D

TABLA N°2.6.a

NUMERO DE CURVA, SITUACION ACTUALEN LA SALIDA

PUNTO DE CONTROL	AREA APORTANTE	LINEA DE NIEVE		COMPLEJO SUELO - VEGETACION							CN
				LA1	LA2	LA3	LB3	H2	H3	U	
			N°	67	81	90	95	95	97	98	
I	Toda la cuenca	1.500	%	22,4	15,3	31,8	20,1	0,5	6,2	3,7	85
		1.800	%	18,5	16,2	31,4	24,5	0,5	5,9	3,0	86
		2.000	%	17,4	15,3	29,6	24,4	0,4	10,0	2,9	87
			N°		73	86	90	92	94	98	
II	b	-	%			1,5		9,4	24,4	64,7	96
	c+g+h+i+j	-	%		31,1	36,0	27,6		5,9		84
			N°	67	81	90	95		97		
III	d	1.500	%	42,8	10,7	29,9	15,0		1,6		80
		1.800	%	30,0	12,4	32,0	23,3		2,3		83
		2.000	%	26,8	11,1	28,7	24,1		9,3		85
			N°	60	73	86	90		94		
IV	f	-	%	33,3	12,8	5,1	48,7				78
V	g	-	%			31,6	57,7		7,7		89
			N°			86	90		94		
VI	g+h+i	-	%			35,0	90,0		15,0		89
			N°		81	90	95		97		
	j	-	%		42,6	48,2	6,0		3,2		87

TABLA N°2.6.b

NUMERO DE CURVA, SITUACION ACTUAL

EN COTA 1.000

PUNTO DE CONTROL	AREA APORTANTE	LINEA DE NIEVE		COMPLEJO SUELO - VEGETACION							CN
				LA1	LA2	LA3	LB3	H2	H3	U	
			N°	67	81	90	95		97		
III-1	d	1.500	%	44,0	11,3	31,8	11,1		1,8		80
		1.800	%	30,2	13,0	33,5	21,1		2,4		83
		2.000	%	26,9	11,5	29,8	22,1		9,7		85
VI-1I	j izq.	-	%		50,0	50,0					86
VI-1D	j der.	-	%		95,6	3,7			0,7		81

TABLA N°2.6.c

NUMERO DE CURVA, SITUACION FUTURA EN LA SALIDA

(Urbanización hasta la cota 1.000)

PUNTO DE CONTROL	AREA APORTANTE	LINEA DE NIEVE		COMPLEJO SUELO - VEGETACION							CN
				LA1	LA2	LA3	LB3	H2	H3	U	
			N°	67	81	90	95		97	98	
I	Toda la cuenca	1.500	%	19,4	15,2	24,0	2,7		1,7	37,0	87
		1.800	%	16,0	16,1	25,1	10,1		2,1	30,6	88
		2.000	%	15,1	15,2	23,7	10,7		6,5	28,8	88
			N°		73	86	90		94	98	
II	b	-	%							100,0	98
	c+g+h+i+j	-	%		31,1	15,4	0,9		2,5	50,1	88
			N°	67	81	90	95		97	98	
III	d	1.500	%	41,3	10,7	29,9	10,5		1,7	5,9	81
		1.800	%	28,9	12,4	32,1	20,2		2,3	4,1	84
		2.000	%	25,9	11,1	28,7	21,3		9,3	3,7	85
			N°	60	73	86	90		94	98	
IV	f	-	%	0,16	0,13	0,05	0,33			0,33	85
V	g	-	%			32,7	9,6		38,0	53,9	93
			N°			86	90		94	98	
VI	g+h+i	-	%			24,0	8,4		6,1	61,5	94
			N°		81	90	95		97	98	
	j	-	%		42,6	19,3	0,1		2,4	35,6	89

Nomenclatura :

Tipo Biológico	Cobertura
LA : Leñoso Alto	1 : 75% a 100%
LB : Leñoso Bajo	2 : 50% a 75%
H : Herbacea	3 : 0% a 50%
U : Urbano	

Para la zona urbana el número de curva se obtuvo distinguiendo dos tipos de urbanización U2 y U3 de acuerdo al porcentaje de cobertura que presentan. Para cada uno de estos tipos se utilizó la siguiente distribución de techo-patio-calle :

	N° de Curva	U2	U3
Techo	100	13,2%	31,2%
Patio	98	30,8%	31,9%
Calle	97	56,0%	36,9%

Para ambos tipos de zonas urbanas se adoptó un número de curva igual a 98.

2.7.- Coefficiente de Escorrentía (C)

Se calcularon los valores de los coeficientes de escorrentía para ser utilizados en la obtención de los hietogramas y en la fórmula racional.

Los coeficientes de escorrentía para cada una de las subcuencas se determinaron de la siguiente relación :

$$C = \frac{P_d^T}{P_d^T \text{ (efectiva)}} / P_d$$

donde :

C : Coeficiente de escorrentía

P_d^T : Precipitación para la duración d y periodo de retorno T en mm, obtenida a través de los coeficientes de duración correspondientes a la estación pluviográfica Quinta Normal.

d : Duración que maximiza el caudal de la subcuenca en estudio considerando C = 1 y una distribución de lluvia constante.

$P_d^T \text{ (efectiva)}$: Precipitación efectiva para la duración d y periodo de retorno T en mm, obtenida utilizando la fórmula propuesta por el U.S. Soil Conservation Service.

$$P_d^T \text{ (efectiva)} = (P_d^T - 0,2 \times S) / (P_d^T + 0,8 \times S)$$

donde :

S : Diferencia potencial máxima en entre

P_d^T y $P_d^T \text{ (efectiva)}$ a la hora que comienza la tormenta y se obtiene de la siguiente relación :

$$S(\text{mm}) = 25.400 / \text{CN} - 254$$

donde CN es el número de curva determinado en la tabla N°2.6

En la tabla N°2.7 se presentan los valores del coeficiente de escorrentía para las diferentes subcuencas definidas en la Quebrada de Apoquindo.

TABLA N°2.7.a

COEFICIENTE DE ESCORRENTIA, SITUACION ACTUAL EN LA SALIDA

PUNTO DE CONTROL	AREA IMPORTANTE	LINEA DE NIEVE	d	T = 5 años	T = 10 años	T = 50 años	T = 100 años
			hrs	Pd Pdef C	Pd Pdef C	Pd Pdef C	Pd Pdef C
				mm mm	mm mm	mm mm	mm mm
I	Toda la cuenca	1500	6	37,3:10,9:0,29:44,5:15,7:0,35:59,5:26,8:0,45:66,2:32,1:0,48:			
		1800	7	41,8:15,0:0,36:49,9:20,9:0,42:67,3:34,7:0,52:75,1:41,3:0,55:			
		2000	8	45,5:18,9:0,42:54,8:26,2:0,48:73,5:41,9:0,57:82,6:49,8:0,60:			
II	b	-	6	34,8:24,6:0,71:41,1:30,7:0,75:55,0:44,1:0,80:61,2:50,1:0,82:			
	c+g+h+i+j	-	6	35,6:9,0:0,25:42,5:13,3:0,31:57,0:23,4:0,41:63,1:28,0:0,44:			
III	d	1500	6	39,2:7,8:0,20:47,3:12,2:0,26:63,4:22,5:0,36:70,6:27,6:0,39:			
		1800	6	40,6:11,1:0,27:48,9:16,4:0,34:65,6:28,4:0,43:73,4:34,5:0,47:			
		2000	6	41,4:13,6:0,33:50,0:19,6:0,39:67,8:33,4:0,49:75,1:39,4:0,52:			
IV	f	-	4	28,1:2,2:0,08:33,6:4,1:0,12:45,1:9,2:0,20:49,7:11,7:0,24:			
V	g	-	4	27,2:8,4:0,31:32,3:11,8:0,37:43,4:20,1:0,46:47,6:23,5:0,49:			
VI	g+h+i	-	6	35,6:14,1:0,40:42,3:19,2:0,45:56,7:31,1:0,55:62,3:35,9:0,58:			
	j	-	4	28,1:7,2:0,26:33,6:10,6:0,31:45,1:18,6:0,41:49,7:22,1:0,45:			

TABLA N°2.7.b

COEFICIENTE DE ESCORRENTIA, SITUACION ACTUAL EN COTA 1.000

PUNTO DE CONTROL	AREA IMPORTANTE	LINEA DE NIEVE	d	T = 5 años	T = 10 años	T = 50 años	T = 100 años
			hrs	Pd Pdef C	Pd Pdef C	Pd Pdef C	Pd Pdef C
				mm mm	mm mm	mm mm	mm mm
III-1	d	1500	6	40,0:8,2:0,21:48,1:12,7:0,26:64,5:23,3:0,36:72,3:28,8:0,40:			
		1800	6	41,4:11,6:0,28:50,0:17,1:0,34:67,8:30,1:0,44:75,1:35,8:0,48:			
		2000	6	42,0:14,0:0,33:50,9:20,3:0,40:68,4:33,9:0,50:75,1:39,4:0,52:			
VI-1I	j izq.	-	2	18,1:1,9:0,10:21,7:3,3:0,15:29,2:7,1:0,24:32,6:9,0:0,28:			
VI-1D	j der.	-	3	24,2:2,1:0,09:29,2:3,9:0,13:39,5:8,5:0,22:43,6:11,0:0,25:			

TABLA N°2.7.c

COEFICIENTE DE ESCORRENTIA, SITUACION FUTURA EN LA SALIDA

PUNTO DE CONTROL	AREA IMPORTANTE DE	LINEA DE	d	T = 5 años	T = 10 años	T = 50 años	T = 100 años
			(hrs)	Pd (Pdef) C	Pd (Pdef) C	Pd (Pdef) C	Pd (Pdef) C
		(NIEVE)		mm mm	mm mm	mm mm	mm mm
I	Toda la cuenca		1500	6 37,3 13,0 35 44,5 18,2 41 59,5 30,0 50 66,2 35,5 54			
			1800	7 41,8 17,5 42 49,9 23,8 48 67,3 38,4 57 75,1 45,2 60			
			2000	8 45,5 20,3 45 54,8 27,8 51 73,5 43,8 60 82,6 51,9 63			
II	b	-	-	6 34,8 29,2 84 41,1 35,5 86 55,0 49,3 90 61,2 55,4 91			
	(c+g+h+i+j)	-	-	6 35,6 13,0 36 42,5 18,0 42 57,0 29,6 52 63,1 34,8 55			
III	d		1500	6 39,2 8,6 22 47,3 13,2 28 63,4 23,9 38 70,6 29,1 41			
			1800	6 40,6 12,1 30 48,9 17,6 36 65,6 30,0 46 73,4 36,2 49			
			2000	6 41,4 13,6 33 50,0 19,6 39 67,8 33,4 49 75,1 39,4 52			
IV	f	-	-	4 28,1 5,7 20 33,6 7,8 26 45,1 16,1 36 49,7 19,4 39			
V	g	-	-	4 27,2 12,9 47 32,3 17,0 53 43,4 26,6 61 47,6 30,5 64			
VI	g+h+i	-	-	6 35,6 21,5 61 42,3 27,6 65 56,7 41,0 72 62,3 46,3 74			
	j	-	-	4 28,1 8,9 32 33,6 12,7 38 45,1 21,4 48 49,7 25,2 51			

2.8.- Hietogramas de Diseño

Los métodos de cálculo de caudales basados en hidrogramas unitarios, requieren como datos, hietogramas de diseño, los cuales se han definido en el presente estudio tomando en cuenta las siguientes consideraciones.

Para determinar la precipitación efectiva a distribuir en los respectivos bloques se utilizó la fórmula propuesta por el U.S. Soil Conservation Service, en función del número de curva y de la duración de la tormenta de diseño.

Como duración total de la tormenta se tomó el intervalo de tiempo con el cual se obtuvo el caudal máximo, considerando una distribución de lluvia constante para un coeficiente de escorrentía igual a 1,0, periodo de retorno igual a 100 años y calculado por el método del Hidrograma Unitario Sintético.

Para obtener los valores de precipitación correspondientes a la duración que maximiza el caudal, así como para efectuar la distribución de la precipitación en el tiempo de duración de la tormenta en los diferentes bloques, se utilizaron los coeficientes de duración obtenidos en la estación pluviográfica Quinta Normal y que aparecen en el Manual de Carreteras M.O.P., 1981.

Se adoptó el siguiente ordenamiento de los bloques : Los valores menores a los extremos y los mayores al centro, colocando el menor a la extrema izquierda y el siguiente a la extrema derecha y así sucesivamente.

A continuación se presentan los hietogramas obtenidos en cada subcuenca, y en la cuenca integral de la Quebrada de Apoquindo, para la condición actual y para la condición futura en que se supone urbanizado hasta la cota 1.000 m.s.n.m.

TABLA N°2.8.a

HIETOGRAMAS DE DISEÑO SITUACION ACTUAL EN LA SALIDA

PUNTO DE CONTROL	AREA APORTANTE	LINEA DE	PERIODO DE	LLUVIA DE DISEÑO EN mm								DURACION BLOQUE EN HORAS
				NIEVE	RETORNO	1	2	3	4	5	6	7
I	Toda la cuenca	1500	5	1,3	1,6	1,9	3,2	1,6	1,3			1
			10	1,8	2,3	2,9	4,5	2,3	1,9		1	
			50	3,1	3,9	4,8	7,8	4,0	3,2		1	
			100	3,8	4,7	5,8	9,3	4,7	3,8		1	
		1800	5	1,1	1,7	2,1	4,0	2,5	2,0	1,6		1
			10	1,6	2,3	2,9	5,6	3,5	2,8	2,2		1
			50	2,6	3,8	4,7	9,3	5,8	4,7	3,8		1
			100	3,1	4,5	5,7	11,1	6,8	5,6	4,5		1
		2000	5	1,3	1,9	2,4	2,9	4,7	2,5	1,9	1,3	1
			10	1,8	2,6	3,3	4,1	6,5	3,4	2,7	1,8	1
			50	2,9	4,2	5,3	6,5	10,5	5,3	4,3	2,9	1
			100	3,4	5,0	6,3	7,8	12,4	6,3	5,1	3,5	1
II	b		5	2,9	3,6	4,4	7,1	3,6	2,9			1
			10	3,6	4,5	5,5	8,9	4,5	3,6			1
			50	5,2	6,5	7,9	12,8	6,5	5,2			1
			100	5,9	7,4	9,0	14,5	7,4	5,9			1
		c+g+h+i+j	5	1,1	1,3	1,6	2,6	1,3	1,1			1
			10	1,6	2,0	2,4	3,8	2,0	1,6			1
			50	2,7	3,5	4,2	6,8	3,5	2,8			1
			100	3,3	4,1	5,0	8,1	4,1	3,3			1
III	d	1500	5	0,9	1,1	1,4	2,3	1,2	0,9			1
			10	1,4	1,8	2,2	3,5	1,8	1,5			1
			50	2,6	3,3	4,1	6,5	3,3	2,7			1
			100	3,2	4,0	5,0	8,0	4,1	3,3			1
		1800	5	1,3	1,6	2,0	3,2	1,7	1,3			1
			10	1,9	2,4	3,0	4,7	2,4	2,0			1
			50	3,3	4,2	5,1	8,2	4,2	3,4			1
			100	4,0	5,1	6,2	10,0	5,1	4,1			1
		2000	5	1,6	2,0	2,5	3,9	2,0	1,6			1
			10	2,3	2,9	3,5	5,7	2,9	2,3			1
			50	3,9	4,9	6,0	9,7	4,9	4,0			1
			100	4,6	5,8	7,1	11,4	5,8	4,7			1
IV	f		5	0,4	0,6	0,8	0,4					1
			10	0,8	0,9	1,6	0,8					1
			50	1,9	2,1	3,5	1,8					1
			100	2,2	2,8	4,4	2,3					1
V	g		5	1,6	2,0	3,2	1,6					1
			10	2,3	2,7	4,5	2,3					1
			50	3,9	4,7	7,6	3,9					1
			100	4,5	5,5	8,9	4,6					1

PUNTO DE CONTROL	AREA APORTANTE	LINEA DE NIEVE	PERIODO DE RETORNO	LLUVIA DE DISEÑO EN mm								DURACION EN HORAS
				1	2	3	4	5	6	7	8	BLOQUE
VI	g+h+i		5	1,7	2,1	2,5	4,1	2,1	1,7			1
			10	2,2	2,8	3,5	5,6	2,8	2,3			1
			50	3,6	4,6	5,6	9,0	4,6	3,7			1
			100	4,2	5,3	6,5	10,4	5,3	4,3			1
	j		5	1,4	1,7	2,7	1,4					1
			10	2,0	2,5	4,0	2,1					1
			50	3,6	4,4	7,0	3,6					1
			100	4,2	5,2	8,4	4,3					1

TABLA N°2.8.b

HIETOGRAMAS DE DISEÑO SITUACION ACTUAL EN COTA 1.000

PUNTO DE CONTROL	AREA APORTANTE	LINEA DE NIEVE	PERIODO DE RETORNO	LLUVIA DE DISEÑO EN mm								DURACION EN HORAS
				1	2	3	4	5	6	7	8	BLOQUE
III-1	d	1500	5	0,9	1,2	1,4	2,4	1,3	1,0			1
			10	1,5	1,8	2,3	3,7	1,9	1,5			1
			50	2,7	3,4	4,2	6,7	3,5	2,8			1
			100	3,4	4,2	5,2	8,3	4,3	3,4			1
		1800	5	1,3	1,7	2,0	3,4	1,8	1,4			1
			10	2,0	2,5	3,0	5,0	2,6	2,0			1
			50	3,6	4,4	5,4	8,7	4,4	3,5			1
			100	4,3	5,3	6,4	10,4	5,3	4,2			1
		2000	5	1,7	2,1	2,5	4,1	2,1	1,6			1
			10	2,4	3,0	3,6	5,9	3,0	2,4			1
			50	4,0	5,0	6,1	9,8	5,0	4,0			1
			100	4,7	5,8	7,1	11,4	5,8	4,6			1
VI-1I	j izq.		5	0,2	0,4	0,9	0,4					1
			10	0,4	0,6	1,6	0,6					1
			50	0,9	1,4	3,4	1,4					1
			100	1,2	1,7	4,4	1,7					1
VI-1D	j der.		5	0,2	0,3	0,3	0,8	0,3	0,3			0,5
			10	0,4	0,5	0,6	1,4	0,6	0,5			0,5
			50	0,8	1,0	1,2	3,2	1,2	1,0			0,5
			100	1,1	1,3	1,6	4,1	1,6	1,3			0,5

TABLA N°2.8.c

HIETOGRAMAS DE DISEÑO SITUACION FUTURA EN LA SALIDA

PUNTO DE CONTROL	AREA APORTANTE	LINEA DE NIEVE	PERIODO DE RETORNO	LLUVIA DE DISEÑO EN mm								DURACION HORAS BLOQUE
				1	2	3	4	5	6	7	8	
I	Toda la cuenca	1500	5	1,5	1,9	2,3	3,8	1,9	1,5			1
			10	2,1	2,7	3,3	5,3	2,7	2,2			1
			50	3,5	4,4	5,4	8,7	4,4	3,6			1
			100	4,2	5,2	6,4	10,3	5,2	4,2			1
		1800	5	1,3	1,9	2,4	4,7	2,9	2,4	1,9		1
			10	1,8	2,6	3,2	6,4	4,0	3,2	2,6		1
			50	2,9	4,2	5,2	10,3	6,4	5,2	4,2		1
			100	3,4	5,0	6,2	12,1	7,5	6,2	4,9		1
		2000	5	1,4	2,1	2,6	3,1	5,1	2,6	2,0	1,4	1
			10	1,9	2,8	3,5	4,3	6,9	3,5	2,8	1,9	1
			50	3,0	4,5	5,6	6,8	10,9	5,6	4,4	3,1	1
			100	3,5	5,3	6,6	8,0	12,9	6,6	5,2	3,6	1
II	b		5	3,4	4,3	5,3	8,5	4,3	3,5			1
			10	4,2	5,2	6,4	10,3	5,2	4,2			1
			50	5,8	7,3	8,9	14,3	7,3	5,8			1
			100	6,5	8,2	10,0	16,0	8,2	6,6			1
		c+g+h+i+j	5	1,5	1,9	2,3	3,8	1,9	1,5			1
			10	2,1	2,7	3,2	5,2	2,7	2,1			1
			50	3,5	4,4	5,3	8,6	4,4	3,5			1
			100	4,1	5,1	6,3	10,1	5,1	4,1			1
III	d	1500	5	1,0	1,3	1,5	2,5	1,3	1,0			1
			10	1,5	1,9	2,4	3,8	1,9	1,6			1
			50	2,8	3,5	4,3	6,9	3,5	2,8			1
			100	3,4	4,3	5,2	8,4	4,3	3,5			1
		1800	5	1,4	1,8	2,2	3,5	1,8	1,4			1
			10	2,1	2,6	3,2	5,1	2,6	2,1			1
			50	3,5	4,4	5,4	8,7	4,4	3,6			1
			100	4,2	5,3	6,5	10,5	5,3	4,3			1
		2000	5	1,6	2,0	2,5	3,9	2,0	1,6			1
			10	2,3	2,9	3,5	5,7	2,9	2,3			1
			50	3,9	4,9	6,0	9,7	4,9	4,0			1
			100	4,6	5,8	7,1	11,4	5,8	4,7			1
IV	f		5	1,1	1,3	2,2	1,1					1
			10	1,7	2,1	3,3	1,7					1
			50	3,1	3,8	6,1	3,1					1
			100	3,7	4,6	7,4	3,7					1
V	g		5	2,5	3,0	4,9	2,5					1
			10	3,3	4,0	6,5	3,3					1
			50	5,1	6,3	10,1	5,1					1
			100	5,9	7,2	11,5	5,9					1

PUNTO	AREA	LINEA	PERIODO	LLUVIA DE DISEÑO EN mm								DURACION
DE	APORTANTE	DE	DE									BLOQUE
CONTROL		NIEVE	RETORNO	1	2	3	4	5	6	7	8	EN HORAS
VI	g+h+i		5	2,5	3,2	3,9	6,2	3,2	2,6			1
			10	3,2	4,1	5,0	8,0	4,1	3,3			1
			50	4,8	6,1	7,4	11,9	6,1	4,9			1
			100	5,4	6,8	8,3	13,4	6,8	5,5			1
	j		5	1,7	2,1	3,4	1,7					1
			10	2,4	3,0	4,8	2,4					1
			50	4,1	5,0	8,1	4,1					1
			100	4,9	5,9	9,6	4,9					1

2.9.- Cálculo de Caudales de Crecida

Se determinaron los valores de crecidas en los seis puntos de control definidos, a través de cuatro métodos de cálculo :

Hidrograma Unitario Sintético

Hidrograma Unitario Triangular

Fórmula Racional

Fórmula de Verni y King

A continuación se presentan los resultados obtenidos al aplicar los métodos descritos :

2.9.1.- Hidrograma Unitario Sintético

Este método se basa en la teoría del hidrograma unitario adimensional, suponiendo conocido una lluvia efectiva de diseño. El hidrograma de la crecida se obtiene de la suma de hidrogramas parciales definido para cada bloque de un hietograma de diseño

Las relaciones aplicables a la cuenca de estudio son las siguientes :

$$t_p = 0,3 \times (L_c \times L_g / \sqrt{S})^{0,44}$$

$$t_u = 0,18 \times t_p$$

$$q_p = 2,69 \times A \times t_p^{-1,08}$$

$$B = 2,32 \times t_p^{115}$$

donde :

t_p : Tiempo de retraso en horas.

q_p : Valor máximo del hidrograma unitario de una lluvia efectiva.

B : Base del hidrograma en horas.

L_c : Longitud del cauce principal en Km.

Lg : Longitud desde el centroide de la cuenca al punto de control en Km.

S : Pendiente media de la cuenca en tanto por uno.

tu : Duración lluvia efectiva en horas.

Para duraciones de bloque diferentes de tu, se debe corregir el valor del tiempo de retraso de acuerdo a la siguiente relación :

$$t_p = t_p + (D - t_u) / 4$$

Los parámetros de las subcuencas fueron obtenidos de la tabla N°2.1, con ellos se calcularon los valores de los parámetros del hidrograma unitario sintético que se muestra en la tabla N°2.9.

TABLA N°2.9.a

PARAMETROS HIDROGRAMA UNITARIO SINTETICO EN LA SALIDA

PUNTO DE CONTROL	AREA APORTANTE	LINEA DE NIEVE	D hrs	tp hrs	tu hrs	tp' hrs	qp' m3/s/cm	B hrs
I	Cuenca	1500	1	1,57	0,28	1,75	21,9	4,4
	total	1800	1	2,00	0,36	2,16	21,0	5,6
		2000	1	2,06	0,37	2,22	21,6	5,8
II	b		1	0,54	0,10	0,76	3,08	1,69
	c+g+h+i+j		1	1,01	0,18	1,22	11,62	2,9
III	d	1500	1	1,46	0,26	1,65	10,49	4,1
		1800	1	1,56	0,28	1,74	14,35	4,4
		2000	1	1,61	0,29	1,79	15,49	4,5
IV	f		1	0,60	0,11	0,82	2,03	1,85
V	g		1	0,45	0,08	0,68	1,67	1,49
VI	g+h+i		1	0,44	0,08	0,67	2,69	1,46
	j		1	0,72	0,13	0,94	11,22	2,16

TABLA N°2.9.b

PARAMETROS DEL HIDROGRAMA UNITARIO SINTETICO EN COTA 1.000

PUNTO DE CONTROL	AREA APORTANTE	LINEA DE NIEVE	D hrs	tp hrs	tu hrs	tp' hrs	qp' m3/s/cm	B hrs
III-1	d	1500	1	0,93	0,17	1,14	14,65	2,7
		1800	1	1,07	0,19	1,27	19,20	3,1
		2000	1	1,12	0,20	1,27	21,59	3,1
VI-1I	j izq.			0,5	0,24	0,04	0,36	4,05
VI-1D	j der.			0,5	0,41	0,07	0,52	6,27

En la tabla N°2.10 se presentan los hidrogramas unitarios y en la tabla N°2.11 los valores de los caudales de crecida que resultan de superponer los hidrogramas unitarios de acuerdo a los hietogramas de diseño que se muestran en la tabla N°2.8.

TABLA N°2.10.a

HIDROGRAMAS UNITARIOS EN LA SALIDA

PUNTO DE CONTROL	AREA APORTANTE	LINEA DE NIEVE	Hidrograma Unitario t (horas) y q (m3/s/cm)											
I	Cuenca total	1500	t	10,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0			
			q	4,4	10,9	19,2	20,0	14,5	10,2	7,1	4,4			
		1800	t	10,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5
			q	3,2	8,4	16,8	21,0	17,5	12,6	9,1	6,7	4,6	3,2	1,1
		2000	t	10,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5
			q	3,1	7,5	15,2	19,9	19,8	16,2	11,7	8,6	6,6	4,7	1,8
II	b		t	10,20	0,40	0,60	0,80	1,00	1,20	1,40	1,60			
			q	10,54	1,39	25,60	2,97	2,42	1,69	1,11	3,50			
	c+g+h+i+j		t	10,40	0,80	1,20	1,60	2,00	2,40	2,80				
			q	12,69	7,88	11,47	9,11	5,84	3,83	2,11				
III	d	1500	t	10,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,00			
			q	12,1	6,3	9,7	8,90	6,30	4,20	2,9	10,70			
		1800	t	10,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,00			
			q	12,9	8,6	13,0	13,00	9,60	6,30	4,50	2,90			
		2000	t	10,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,00			
			q	13,1	7,8	13,6	14,3	10,9	7,4	5,2	3,40			
IV	f		t	10,3	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8					
			q	10,54	1,56	1,90	1,30	0,77	0,11					
V	g		t	10,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,40				
			q	10,33	0,95	1,51	1,48	1,05	0,70	0,22				
VI	g+h+i		t	10,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,40				
			q	10,54	1,61	2,47	2,34	1,61	1,11	0,26				
	j		t	10,3	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8	2,10				
			q	12,48	7,33	10,83	9,14	6,01	3,44	0,57				

TABLA N°2.10.b

HIDROGRAMAS UNITARIOS EN COTA 1.000

PUNTO DE CONTROL	AREA APORTANTE	LINEA DE NIEVE	Hidrograma Unitario											
			t (horas) y q (m3/s/cm)											
III-1	d	1500	t	0,3	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8	2,1	2,4			
			q	2,6	16,7	12,1	14,1	11,5	8,0	5,4	4,1			
		1800	t	0,3	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8	2,1	2,4	2,7	3,0	
			q	3,0	17,1	14,4	18,4	16,9	13,1	9,6	17,0	15,2	12,1	
		2000	t	0,3	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8	2,1	2,4	2,7	3,0	
			q	3,4	18,0	16,1	20,7	19,0	14,8	10,8	17,9	15,8	12,4	
VI-1I	j izq.		t	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7				
			q	0,74	2,03	3,51	3,76	2,89	1,99	0,46				
VI-1D	j der.		t	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	
			q	0,78	1,75	3,51	5,12	6,08	5,65	4,77	3,6	2,82	1,51	

TABLA N°2.11.a

CAUDALES DE CRECIDA EN m³/s
METODO HIDROGRAMA UNITARIO SINTETICO
SITUACION ACTUAL EN LA SALIDA

PUNTO DE CONTROL	AREA APORTANTE	LINEA DE NIEVE	PERIODO DE RETORNO EN AÑOS			
			5	10	50	100
I	Toda	1500	16,2	23,3	39,9	47,8
	la	1800	21,9	30,5	50,7	60,3
	cuenca	2000	28,1	39,0	62,3	74,0
II	b		5,4	6,8	9,8	11,1
	c+g+h+i+j		5,9	10,3	18,2	21,6
III	d	1500	5,5	8,5	15,8	19,4
		1800	11,0	16,2	28,1	34,1
		2000	14,6	21,1	35,9	42,3
IV	f		0,3	0,6	1,4	1,7
V	g		1,1	1,5	2,6	3,1
VI	g+h+i		1,9	3,5	5,6	6,5
	j		6,4	9,4	16,4	19,5

TABLA N°2.11.b

CAUDALES DE CRECIDA EN m³/s
METODO HIDROGRAMA UNITARIO SINTETICO
SITUACION ACTUAL EN COTA 1.000

PUNTO DE CONTROL	AREA APORTANTE	LINEA DE NIEVE	PERIODO DE RETORNO EN AÑOS			
			5	10	50	100
III-1	d	1500	8,7	13,4	24,6	30,4
		1800	16,7	24,6	43,1	51,6
		2000	22,8	32,8	54,8	63,7
VI-1I	j izq.		0,6	1,1	2,4	3,0
VI-1D	j der.		1,1	2,1	4,4	5,7

TABLA N°2.11.c

CAUDALES DE CRECIDA EN m³/s
METODO HIDROGRAMA UNITARIO SINTETICO
SITUACION FUTURA EN LA SALIDA

PUNTO DE CONTROL	AREA APORTANTE	LINEA DE NIEVE	PERIODO DE RETORNO EN AÑOS			
			5	10	50	100
I	Toda	1500	19,2	27,2	44,6	52,7
	la	1800	25,6	34,8	56,1	66,1
	cuenca	2000	30,2	41,0	65,2	76,8
II	b		6,5	7,9	11,0	12,3
	c+g+h+i+j		3,9	5,0	7,4	8,3
III	d	1500	6,0	9,2	16,7	20,4
		1800	12,0	17,5	29,7	35,7
		2000	14,6	21,1	35,9	42,3
IV	f		0,6	0,9	1,6	2,0
V	g		1,7	2,2	3,5	4,0
VI	g+h+i		10,0	14,0	23,0	27,0
	j		7,9	11,1	18,8	22,3

2.9.2.- Hidrograma Unitario Triangular

Este método está basado en la teoría del hidrograma unitario adimensional el cual se supone en forma triangular. El hidrograma total de la crecida se obtiene de sumar los hidrogramas triangulares parciales definidos para cada bloque del hietograma de diseño.

Las relaciones a aplicar son las siguientes :

$$t_p = 0,5 \times D + 0,6 \times t_c$$

$$q_p = 0,21 \times A \times Q/t_p$$

$$t_B = 2,67 \times t_p$$

donde :

t_p : Tiempo en horas desde el principio al máximo de intensidad.

D : Período de exceso de precipitación en horas.

t_c : Tiempo de concentración en horas.

q_p : Intensidad máxima en m³/s.

A : Area de la cuenca en Km².

Q : Escurrimiento total en mm.

t_B : Tiempo base del hidrograma.

En la tabla N°2.12 se presentan los parámetros necesarios para el cálculo de caudales por el método descrito.

TABLA N°2.12.a

PARAMETROS HIDROGRAMA UNITARIO TRIANGULAR EN LA SALIDA

PUNTO DE CONTROL	AREA APORTANTE	LINEA DE NIEVE	TIEMPO DE CONCENTRACION					D	tp	qp	tB
			USSCS	Giandotti	Navdocks	Adoptado	hrs	hrs	m3/s/cm	hrs	
I	Toda la cuenca	1500	0,80	1,70	1,40	1,60	1	1,46	2,13	3,90	
		1800	0,80	1,70	1,60	1,70	1	1,52	2,47	4,06	
		2000	0,70	1,70	1,60	1,70	1	1,52	2,63	4,06	
II	b		0,26	0,93	0,32	0,60	1	0,86	0,21	2,30	
	c+g+h+i+j		0,40	1,39	0,80	1,00	1	1,10	1,02	2,90	
III	d	1500	0,60	1,20	1,10	1,20	1	1,22	1,15	3,26	
		1800	0,60	1,20	1,20	1,20	1	1,22	1,67	3,26	
		2000	0,60	1,20	1,20	1,20	1	1,22	1,86	3,26	
IV	f		0,19	0,52	0,37	0,50	1	0,80	0,16	2,14	
V	g		0,16	0,65	0,47	0,58	1	0,85	0,10	2,27	
VI	g+h+i		0,19	0,77	0,37	0,50	1	0,80	0,17	2,10	
	j		0,29	1,04	0,57	0,75	1	0,95	0,86	2,54	

TABLA N°2.12.b

PARAMETROS HIDROGRAMA UNITARIO TRIANGULAR EN LA COTA 1.000

PUNTO DE CONTROL	AREA APORTANTE	LINEA DE NIEVE	TIEMPO DE CONCENTRACION					D	tp	qp	tB
			USSCS	Giandotti	Navdocks	Adoptado	hrs	hrs	m3/s/cm	hrs	
III-1	d	1500	0,46	1,18	0,78	1,00	1	1,10	1,20	2,94	
		1800	0,45	1,22	0,91	1,10	1	1,16	1,68	3,10	
		2000	0,43	1,20	0,93	1,10	1	1,16	1,88	3,10	
VI-11	j izq.		0,08	0,38	0,18	0,25	0,5	0,40	0,26	1,07	
VI-10	j der.		0,14	0,53	0,30	0,40	0,5	0,49	0,49	1,31	

En la tabla N°2.13 se presentan los valores de los caudales de crecida que resultan de superponer los hidrogramas triangulares correspondientes a cada bloque de los hietogramas de diseño. Los valores máximos de cada hidrograma se obtubieron amplificando los valores de la tabla N°2.8 para el factor qp correspondiente.

TABLA N°2.13.a

CAUDALES DE CRECIDA EN m3/s
METODO HIDROGRAMA UNITARIO TRIANGULAR
SITUACION ACTUAL EN LA SALIDA

PUNTO DE CONTROL	AREA APORTANTE	LINEA DE NIEVE	PERIODO DE RETORNO EN AÑOS			
			5	10	50	100
I	Toda	1500	10,8	15,7	26,8	32,2
	la	1800	16,1	22,3	36,9	44,0
	cuenca	2000	20,6	28,5	45,7	54,2
II	b		1,8	2,2	3,2	3,6
	c+g+h+i+j		3,5	5,2	9,2	11,0
III	d	1500	3,7	5,7	10,6	13,1
		1800	7,5	11,1	19,4	23,7
		2000	10,4	15,0	25,5	30,1
IV	f		0,2	0,3	0,7	0,8
V	g		0,4	0,5	0,9	1,1
VI	g+h+i		0,8	1,1	1,8	2,0
	j		2,9	4,2	7,4	8,9

TABLA N°2.13.b

CAUDALES DE CRECIDA EN m3/s
METODO HIDROGRAMA UNITARIO TRIANGULAR
SITUACION ACTUAL EN COTA 1.000

PUNTO DE CONTROL	AREA APORTANTE	LINEA DE NIEVE	PERIODO DE RETORNO EN AÑOS			
			5	10	50	100
III-1	d	1500	3,8	5,9	10,7	13,3
		1800	7,5	11,1	19,4	23,2
		2000	10,2	14,7	24,5	28,5
VI-1I	j izq.		0,3	0,5	1,0	1,3
VI-1D	j der.		0,4	0,8	1,8	2,3

TABLA N°2.13.c

CAUDALES DE CRECIDA EN m³/s
METODO HIDROGRAMA UNITARIO TRIANGULAR
SITUACION FUTURA EN LA SALIDA

PUNTO DE CONTROL	AREA APORTANTE	LINEA DE NIEVE	PERIODO DE RETORNO EN AÑOS			
			5	10	50	100
I	Toda	1500	13,0	18,3	29,9	35,4
	la	1800	18,6	25,3	40,8	48,1
	cuenca	2000	22,1	30,0	47,7	56,3
II	b		2,1	2,6	3,6	4,0
	c+g+h+i+j		5,1	7,0	11,6	13,7
III	d	1500	4,1	6,2	11,3	13,7
		1800	8,3	12,1	20,6	24,8
		2000	10,4	15,0	25,5	30,1
IV	f		0,4	0,6	1,1	1,4
V	g		0,6	0,8	1,2	1,4
VI	g+h+i		1,2	1,6	2,3	2,6
	j		3,6	5,1	8,6	10,2

2.9.3.- Fórmula Racional

Este método es utilizable en cuencas pequeñas, generalmente menores de 10 Km². El caudal máximo para un determinado periodo de retorno se calcula con la siguiente expresión :

$$Q = (C \times I \times A) / 36$$

donde :

Q : Caudal en m³/s.

C : Coeficiente de escurrimiento en la cuenca.

I : Intensidad de la lluvia de diseño en mm/hr.

A : Area aportante en Km²

En la tabla N°2.14 se presentan los valores de los caudales de crecida por el método descrito.

TABLA N°2.14.a

CAUDALES DE CRECIDA EN m3/s
FORMULA RACIONAL
SITUACION ACTUAL EN LA SALIDA

PUNTO DE CONTROL	AREA APORTANTE	LINEA DE NIEVE	T = 5 años			T = 10 años			T = 50 años			T = 100 años		
			C	I	Q	C	I	Q	C	I	Q	C	I	Q
				mm/hr	m3/s		mm/hr	m3/s		mm/hr	m3/s		mm/hr	m3/s
I	Toda la cuenca	1500	0,29	9,30	11,1	0,35	11,10	16,0	0,45	14,80	27,4	0,48	16,40	32,4
		1800	0,36	9,40	16,8	0,42	11,30	23,6	0,52	15,20	39,3	0,55	17,00	46,5
		2000	0,42	9,60	21,3	0,48	11,60	29,4	0,57	15,50	46,6	0,60	17,40	55,1
II	b c+g+h+i+j		0,71	13,95	2,3	0,75	16,52	2,9	0,80	22,10	4,2	0,82	24,56	4,8
			0,25	9,95	3,7	0,31	11,89	5,5	0,41	15,93	9,7	0,44	17,64	11,5
III	d	1500	0,20	10,63	3,9	0,26	12,82	6,2	0,36	17,20	11,5	0,39	19,20	13,9
		1800	0,27	11,01	8,0	0,34	13,27	12,2	0,43	17,80	20,6	0,47	19,91	25,2
		2000	0,33	11,24	11,1	0,39	13,58	15,9	0,49	18,40	27,0	0,52	20,36	31,8
IV	f		0,08	16,76	0,2	0,12	20,07	0,4	0,20	26,92	0,9	0,24	29,72	1,2
V	g		0,31	14,68	0,5	0,37	17,43	0,7	0,46	23,39	1,2	0,49	25,68	1,4
VI	g+h+i j		0,40	16,28	1,2	0,45	19,33	1,6	0,55	25,95	2,6	0,58	28,50	3,0
			0,26	12,67	3,6	0,31	15,17	5,1	0,41	20,35	9,0	0,45	22,46	10,9

TABLA N°2.14.b

CAUDALES DE CRECIDA EN m3/s
FORMULA RACIONAL
SITUACION ACTUAL EN COTA 1.000

PUNTO DE CONTROL	AREA APORTANTE	LINEA DE NIEVE	T = 5 años			T = 10 años			T = 50 años			T = 100 años		
			C	I	Q	C	I	Q	C	I	Q	C	I	Q
				mm/hr	m3/s		mm/hr	m3/s		mm/hr	m3/s		mm/hr	m3/s
III-1	d	1500	0,21	11,59	4,2	0,26	13,93	6,3	0,36	18,68	11,7	0,40	20,93	14,6
		1800	0,28	11,58	8,3	0,34	13,99	12,2	0,44	18,97	21,5	0,48	20,99	25,9
		2000	0,33	11,74	11,2	0,40	14,22	16,4	0,50	19,12	27,6	0,52	21,22	31,9
VI-11	j izq.		0,10	25,51	0,4	0,15	30,50	0,6	0,24	41,10	1,4	0,28	45,90	1,8
VI-1D	j der.		0,09	19,92	0,6	0,13	24,02	1,0	0,22	32,21	2,3	0,25	35,88	2,9

TABLA N°2.14.c

CAUDALES DE CRECIDA EN m³/s
FÓRMULA RACIONAL
SITUACIÓN FUTURA EN LA SALIDA

PUNTO DE CONTROL	AREA APORTANTE	LINEA DE INIEVE	T = 5 años			T = 10 años			T = 50 años			T = 100 años		
			C	I	Q	C	I	Q	C	I	Q	C	I	Q
			mm/hr	m ³ /s		mm/hr	m ³ /s		mm/hr	m ³ /s		mm/hr	m ³ /s	
I	Toda	1500	0,35	9,30	13,4	0,41	11,10	18,7	0,50	14,80	30,4	0,54	16,40	36,4
	la	1800	0,42	9,40	19,6	0,48	11,30	27,0	0,57	15,20	43,1	0,60	17,00	50,7
	cuenca	2000	0,45	9,60	22,8	0,51	11,60	31,2	0,60	15,50	49,1	0,63	17,40	57,9
II	b		0,84	13,95	2,8	0,86	16,52	3,4	0,90	22,10	4,7	0,91	24,56	5,3
	c+g+h+i+j		0,36	9,95	5,3	0,42	11,89	7,4	0,52	15,93	12,3	0,55	17,64	14,4
III	d	1500	0,22	10,63	4,4	0,28	12,82	6,7	0,38	17,20	12,2	0,41	19,16	14,6
		1800	0,30	11,01	8,9	0,36	13,27	12,9	0,46	17,80	22,1	0,49	19,91	26,3
		2000	0,33	11,24	11,1	0,39	13,58	15,9	0,49	18,40	27,0	0,52	20,36	31,8
IV	f		0,20	16,76	0,6	0,26	20,07	0,9	0,36	26,92	1,6	0,39	29,72	2,0
V	g		0,47	14,68	0,8	0,53	17,43	1,1	0,61	23,39	1,6	0,64	25,68	1,9
VI	g+h+i		0,61	16,28	1,8	0,65	19,33	2,3	0,72	25,95	3,4	0,74	28,50	3,8
	j		0,32	12,67	4,4	0,38	15,17	6,2	0,48	20,35	10,6	0,51	22,46	12,4

2.9.4.- Fórmula de Verni y King

Este método se basa en la aplicación de una fórmula empírica deducida analizando varias crecidas realizadas en cuencas de la región Quilimarí - Imperial, analizado por los ingenieros Francisco Verni y Harry King.

La expresión utilizada es la siguiente :

$$Q = 0,0062 \times P^{1,24} \times A^{0,88}$$

donde :

Q : Caudal máximo de la crecida en m³/s.

P : Precipitación máxima en 24 hrs en mm

A : Area de la cuenca en Km²

En la tabla N°2.15 se presentan los caudales de crecida obtenidos por el método descrito.

TABLA N°2.15.a

CAUDALES DE CRECIDA EN m³/s
FORMULA DE VERNI Y KING, SITUACION ACTUAL EN LA SALIDA

PUNTO DE CONTROL	AREA APORTANTE	LINEA DE NIEVE	PERIODO DE RETORNO EN AÑOS			
			5	10	50	100
I	Toda la cuenca	1500 1800 2000	12,2 15,1 16,2	15,2 18,8 20,4	21,8 27,3 29,4	24,9 31,3 33,9
II	b c+g+h+i+j		0,9 4,7	1,1 5,9	1,6 8,4	1,8 9,6
III	d	1500 1800 2000	6,5 7,4 10,6	8,2 11,8 13,3	11,7 17,0 19,4	13,4 19,5 22,1
IV	f		0,7	0,9	1,3	1,5
V	g		0,5	0,6	0,9	1,0
VI	g+h+i j		0,7 3,6	0,9 4,6	1,3 6,7	1,5 7,5

TABLA N°2.15.b

CAUDALES DE CRECIDA EN m³/s
FORMULA DE VERNI Y KING, SITUACION ACTUAL EN COTA 1000

PUNTO DE CONTROL	AREA APORTANTE	LINEA DE	PERIODO DE RETORNO EN AÑOS			
			NIEVE	5	10	50
III-1	d	1500	6,3	7,9	11,3	13,0
		1800	9,2	11,7	17,0	19,3
		2000	10,4	13,2	19,0	21,6
VI-1I	j izq.		0,6	0,8	1,2	1,3
VI-1D	j der.		1,4	1,7	2,5	2,8

2.10.- Caudales Adoptados

Observando los caudales calculados por los 4 métodos (tablas N°2.11, 2.13, 2.14 y 2.15), se puede notar que los mayores valores se obtienen por el método del Hidrograma Unitario Sintético; los menores por la fórmula de Verni y King. Los métodos Hidrograma Unitario Triangular y Fórmula Racional entregan valores intermedios y semejantes entre sí, siendo los calculados por la Fórmula Racional levemente mayores.

De acuerdo a lo anterior en la definición de los caudales adoptados para la cuenca de la Quebrada de Apoquindo y sus subcuencas fueron considerados los métodos : Fórmula Racional e Hidrograma Unitario Triangular, optándose por los caudales obtenidos por la Fórmula Racional.

Los valores calculados por el método Hidrograma Unitario Sintético fueron descartados debido a que el rango de aplicación de dicho método es de 80 Km²-4.500 Km², presentando la cuenca total una superficie de 19 Km².

En relación al método de Verni y King, los valores obtenidos resultan significativamente inferiores a los determinados por los otros métodos, lo que a nuestro juicio se debe a que dicho método considera condiciones de infiltración medias a nivel regional, las que son mayores a las presentes en la cuenca de la Quebrada de Apoquindo.

En la tabla N°2.16 se presentan los valores adoptados para los caudales de crecida en los diferentes puntos de control definidos y en cota 1.000, considerando una situación actual de uso del suelo y una condición futura con cuencas urbanizadas hasta la cota 1.000. El cálculo se realizó para períodos de retorno iguales a 5, 10, 50 y 100 años y se consideraron tres posibles líneas de nieve a 1.500, 1.800 y 2.000 m.s.n.m.

TABLA N°2.16.a

CAUDALES DE CRECIDA EN m3/s
VALORES ADOPTADOS SITUACION ACTUAL EN LA SALIDA

PUNTO DE CONTROL	AREA APORTANTE	LINEA DE NIEVE	PERIODO DE RETORNO EN AÑOS			
			5	10	50	100
I	Toda la cuenca	1500	11,1	16,0	27,4	32,4
		1800	16,8	23,6	39,3	46,5
		2000	21,3	29,4	46,6	55,1
II	b c+g+h+i+j		2,3	2,9	4,2	4,8
			3,7	5,5	9,7	11,5
III	d	1500	3,9	6,2	11,5	13,9
		1800	8,0	12,2	20,6	25,2
		2000	11,1	15,9	27,0	31,8
IV	f		0,2	0,4	0,9	1,2
V	g		0,5	0,7	1,2	1,4
VI	g+h+i j		1,2	1,6	2,6	3,0
			3,6	5,1	9,0	10,9

TABLA N°2.16.b

CAUDALES DE CRECIDA EN m3/s
VALORES ADOPTADOS SITUACION ACTUAL EN COTA 1000

PUNTO DE CONTROL	AREA APORTANTE	LINEA DE NIEVE	PERIODO DE RETORNO EN AÑOS			
			5	10	50	100
III-1	d	1500	4,2	6,3	11,7	14,6
		1800	8,3	12,2	21,5	25,9
		2000	11,2	16,4	27,6	31,9
VI-1I	j izq.		0,4	0,6	1,4	1,8
VI-1D	j der.		0,6	1,0	2,3	2,9

TABLA N°2.16.c

CAUDALES DE CRECIDA EN m3/s
VALORES ADOPTADOS SITUACION FUTURA

PUNTO DE CONTROL	AREA APORTANTE	LINEA DE NIEVE	PERIODO DE RETORNO EN AÑOS			
			5	10	50	100
I	Toda la cuenca	1500	13,4	18,7	30,4	36,4
		1800	19,6	27,0	43,1	50,7
		2000	22,8	31,2	49,1	57,9
II	b		2,8	3,4	4,7	5,3
	c+g+h+i+j		5,3	7,4	12,3	14,4
III	d	1500	4,4	6,7	12,2	14,6
		1800	8,9	12,9	22,1	26,3
		2000	11,1	15,9	27,0	31,8
IV	f		0,6	0,9	1,6	2,0
V	g		0,8	1,1	1,6	1,9
VI	g+h+i		1,8	2,3	3,4	3,8
	j		4,4	6,2	10,6	12,4

2.11.- Distribución de Caudales en Punto de Control III

En el punto de control III se produce una distribución de caudales provenientes de la Quebrada Grande (subcuenca d), debido a la presencia del canal Interceptor que conduce parte de las aguas de la subcuenca d al punto de control V (ver figura N°2.1) y a la presencia de un abovedamiento de hormigón de diámetro igual a 1,2 m que mantiene el escurrimiento por la Quebrada Grande hacia el punto de control II.

Calculadas las capacidades máximas de dichas obras se ha obtenido un caudal de 10,8 m³/s para el canal interceptor y de 5,5 m³/s para el abovedamiento.

Se calculó la distribución de caudales que se producen en el punto de control III considerando los valores adoptados en la tabla N°2.16 para una situación futura y una línea de nieve de 1.800 m.s.n.m. El resultado se presenta a continuación en la tabla N°2.17.

TABLA N°2.17.a

DISTRIBUCION DE CAUDALES, PUNTO DE CONTROL III LINEA DE NIEVE 1.800 m.s.n.m., SITUACION ACTUAL

PERIODO DE RETORNO AÑOS	Q m ³ /s	DISTRIBUCION EM m ³ /s	
		CANAL	OBRA DE ARTE
5	8,0	3	5
10	12,2	7	5,2
50	20,6	10,8	9,8
100	25,2	10,8	14,4

TABLA N°2.17.b

DISTRIBUCION DE CAUDALES, PUNTO DE CONTROL III LINEA DE NIEVE 1.800 m.s.n.m., SITUACION FUTURA

PERIODO DE RETORNO AÑOS	Q m ³ /s	DISTRIBUCION EM m ³ /s	
		CANAL	OBRA DE ARTE
5	8,9	4,3	4,6
10	12,9	7,6	5,3
50	22,1	10,8	11,3
100	26,3	10,8	15,5

Se puede observar que una vez alcanzado el valor del caudal correspondiente a la capacidad máxima del canal, el excedente retorna en parte por el abovedamiento y en gran parte por rebase a la condición de escurrimiento natural por la Quebrada Grande (parte inferior) hacia el punto de control II.

Por otra parte, el canal Interceptor recibe el aporte en conjunto de las subcuencas e y f, para las cuales se han adoptado los valores que se presentan en la tabla N°2.18, calculados siguiendo la misma metodología que la empleada para el resto de las subcuencas en estudio.

TABLA N°2.18.a

CAUDALES DE CRECIDA EN m3/s
VALORES ADOPTADOS SITUACION ACTUAL

PUNTO DE CONTROL	AREA APORTANTE	PERIODO DE RETORNO EN AÑOS			
		5	10	50	100
V	e+f	0,9	1,4	2,8	3,4

TABLA N°2.18.b

CAUDALES DE CRECIDA EN m3/s
VALORES ADOPTADOS SITUACION FUTURA

PUNTO DE CONTROL	AREA APORTANTE	PERIODO DE RETORNO EN AÑOS			
		5	10	50	100
V	e+f	2,5	3,3	5,5	6,4

Teniendo en cuenta estas consideraciones, en la tabla N°2.19 se presentan los valores modificados de los caudales de crecida probables en los puntos de control II, V y VI.

Cabe destacar que para el cálculo de los caudales máximos de las subcuencas involucradas, se tomó como base la duración que maximiza el caudal de la cuenca d.

TABLA N°2.19.a

CAUDALES DE CRECIDA EN m3/s
SITUACION ACTUAL EN PUNTOS DE CONTROL II, V Y VI

PUNTO DE CONTROL	AREA APORTANTE	PERIODO DE RETORNO EN AÑOS			
		5	10	50	100
II	$b + \%(d+e+f)$	7,3	8,1	16,8	22,6
	$c+g+h+i+j + \%(d+e+f)$	7,6	13,9	20,5	22,3
V	$g+h + \%(d+e+f)$	4,6	9,4	12,5	12,8
VI	$g+h+i + \%(d+e+f)$	5,1	10,0	13,4	13,8

TABLA N°2.19.b

CAUDALES DE CRECIDA EN m3/s
SITUACION FUTURA EN PUNTOS DE CONTROL II, V Y VI

PUNTO DE CONTROL	AREA APORTANTE	PERIODO DE RETORNO EN AÑOS			
		5	10	50	100
II	$b + \%(d+e+f)$	7,4	8,8	21,5	27,2
	$c+g+h+i+j + \%(d+e+f)$	12,1	18,3	23,1	25,2
V	$g+h + \%(d+e+f)$	8,0	12,4	13,1	13,5
VI	$g+h+i + \%(d+e+f)$	8,6	13,1	14,2	14,1

3.- DELIMITACION AREAS DE INUNDACION

3.1.- Análisis Preliminar de Areas de Inundación

De acuerdo a las características morfológicas de la red de drenaje de la Quebrada de Apoquindo, la que presenta cauces con secciones de escurrimiento profundas y de fuerte pendiente en general, así como a las modificaciones que estos cauces naturales han sufrido debido a su abovedamiento y desvíos en los sectores urbanizados, se efectuó un análisis preliminar tendiente a identificar la red de drenaje principal, de manera de centrar en ésta, el estudio de delimitación de las áreas de inundación.

En base a los recorridos de terreno efectuados, al estudio de las fotografías aéreas (SAF 88 Esc. 1:4.000) y a la cartografía disponible del área (Carta Esc. 1:5.000 I. Municipalidad de Las Condes), se identificaron los principales cauces que conforman la Quebrada de Apoquindo, siendo éstos los siguientes :

- Los Almendros :
Sector sobre el canal El Bollo
Sector bajo el canal El Bollo
- Grande :
Sector sobre el canal El Bollo
Sector bajo el canal El Bollo
- Los Almendros I
- Los Almendros II
- Apoquindo

Las quebradas indicadas se presentan en el plano de ubicación general del área (Plano N°1).

Las quebradas Grande (sobre el canal El Bollo) y Almendros II, presentan secciones con riesgos de desbordes principalmente en su sector final (a su llegada al canal El Bollo), además de localizarse en áreas que tienen un alto potencial de urbanización en el corto a mediano plazo. Para las restantes quebradas, las que presentan secciones profundas y con fuerte pendiente, y donde su urbanización demandaría de importantes movimientos de tierras y obras de abovedamientos de envergadura, se procedió a calcular las alturas de escurrimiento normal y sus respectivos anchos superficiales de inundación, de manera de determinar, a este nivel preliminar, su inclusión en el análisis de delimitación de

las áreas inundables.

En la siguiente tabla N°3.1 se entregan los resultados obtenidos para las secciones tipo obtenidas de las quebradas Los Almendros (completa), Grande (bajo el canal El Bollo), Los Almendros I y Apoquindo. Estas secciones, como se indica en el Plano de ubicación general del área, fueron determinadas de la carta a escala 1:5.000 de la I. Municipalidad de Las Condes. En las figuras N°3.1 a N°3.5 se presentan las respectivas secciones.

TABLA N°3.1

ALTURAS DE ESCURRIMIENTO Y ANCHOS SUPERFICIALES DE INUNDACION

QUEBRADAS : APOQUINDO, GRANDE, ALMENDROS I Y ALMENDROS

QUEBRADA	SECCION			i	Q	h	b
	N°	Mi	Md	0/1	m3/s	m	m
APOQUINDO SALIDA	1	6,3	4,3	0,006	50,7	2,2	19
GRANDE SALIDA	2	1,3	8,0	0,005	25,6	1,8	13
APOQUINDO SUPERIOR	3	5,3	10,0	0,006	14,4	1,2	14
ALMENDROS I	4	8,3	8,3	0,014	1,9	0,5	7
ALMENDROS	5	1,6	4,6	0,009	12,4	1,5	8

donde :

Mi : Talud izquierdo sección triangular.

Md : Talud derecho sección triangular.

i : Pendiente.

Q : Caudal de la quebrada para un período de retorno de 100 años y cota de línea de nieves 1.800 m.s.n.m.

h : Altura normal de escurrimiento

b : Ancho superficial del escurrimiento.

Como puede observarse del análisis de la tabla N°3.1, las alturas y anchos de escurrimiento resultantes no representan riesgos de desbordes para las áreas vecinas, dado que estas alturas y anchos superficiales resultan muy inferiores a las profundidades y anchos medios de las secciones de las quebradas en estudio.

En relación a las quebradas menores, que tributan a la red de drenaje principal, éstas son en general de fuerte pendiente, teniendo alturas de escurrimiento reducidas con anchos superficiales que no comprometan superficies importantes, de acuerdo a los objetivos y alcances del presente estudio.

De este modo las quebradas en las que se efectuará la delimitación de las áreas de inundación corresponden a las Quebradas Grande (sobre el canal El Bollo) y Los Almendros II.

3.2.- Topografía

De acuerdo a los antecedentes generados por el estudio preliminar de las áreas de inundación de la Quebrada de Apoquindo presentados en el punto 3.1 y en base a los análisis hidráulicos de trasvasije de los caudales de una cuenca a otra que se producen en la cuenca, dada las modificaciones que han sufrido los cauces naturales debido a urbanizaciones, los levantamientos topográficos realizados corresponden a los siguientes sectores :

- Quebrada Grande
- Quebrada Los Almendros II
- Canal Interceptor

La Quebrada Grande y Los Almendros II, fueron levantadas desde su intersección con el canal Interceptor hasta la cota 1.000 m.s.n.m. (en su longitud de 2.269 m y 1.542 m respectivamente), límite altitudinal del presente estudio. El canal Interceptor fue levantado en su totalidad (870 m), desde su origen en la Quebrada Grande hasta su descarga en la Quebrada Los Almendros II.

Los levantamientos realizados consultaron lo siguiente :

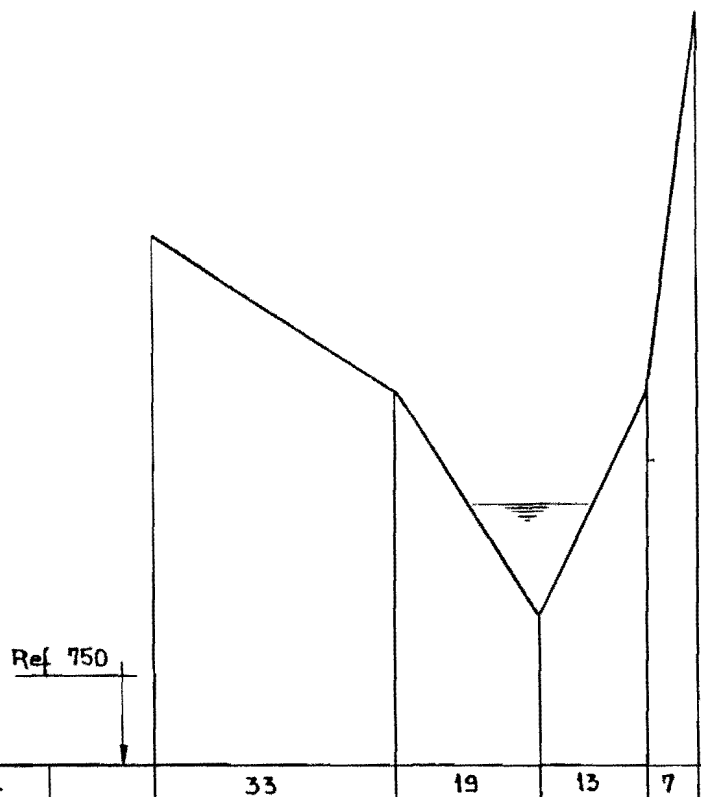
- Planta taquimétrica, escala 1:1.000 con curvas de nivel cada 1 m, en todo el ancho necesario para delimitar las áreas inundables.
- Perfil longitudinal escala horizontal 1:1.000 y vertical 1:100.
- Perfiles transversales escala horizontal 1:500 y vertical 1:100.

Se efectuaron además los levantamientos de las obras de arte correspondientes al canal Interceptor.

FIG 3.1.

QUEBRADA APOQUINDO
SECCION 1-1

escalas H 1:1000
V 1:100

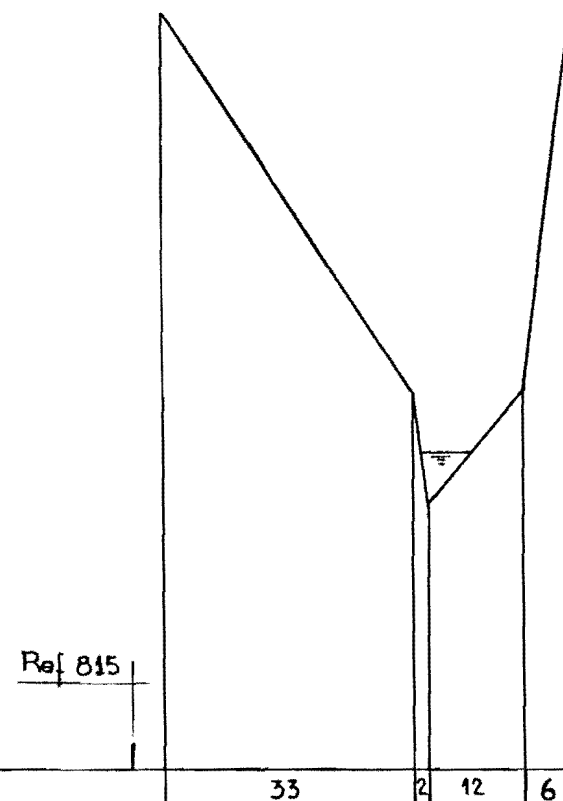


DISTANCIA PARCIAL		33	19	13	7		33	2	12	6	
DISTANCIA ACUMULADA	-52	-19	0	13	20	-35	-2	0	12	18	
COTA	757	755	752	755	760	825	820	818,5	820	825	

FIG.3.2.

QUEBRADA GRANDE
SECCION 2-2

escalas H 1:1000
V 1:100



DISTANCIA PARCIAL		33	2	12	6		33	2	12	6	
DISTANCIA ACUMULADA	-52	-19	0	13	20	-35	-2	0	12	18	
COTA	757	755	752	755	760	825	820	818,5	820	825	

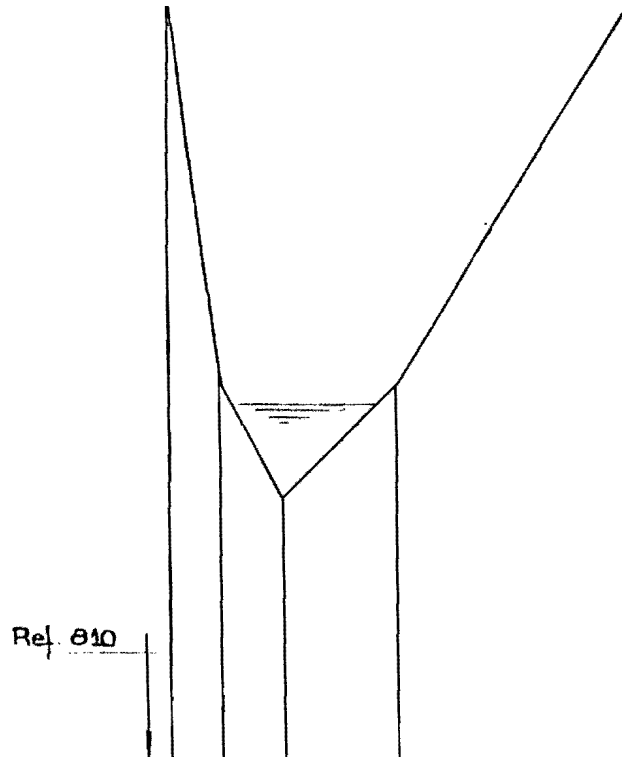
FIG. 3.3.

QUEBRADA APOQUINDO SUPERIOR

SECCION 3-3

escalas H 1:1000
V 1:100

50.8



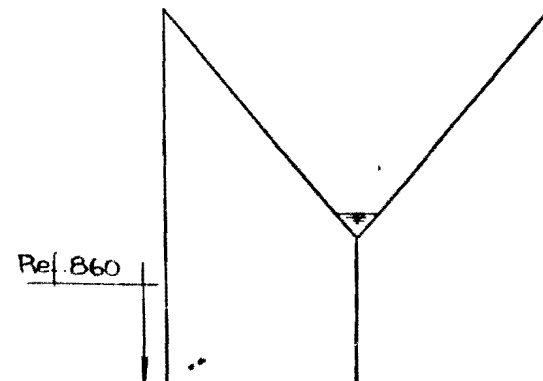
DIST. PARCIAL		7	8	15	30	
DIST. ACUMULADA	-15	-8	0	15	45	
COTA	820	815	813,5	815	820	

FIG. 3.4.

QUEBRADA ALMENDRO 1

SECCION 4-4

escalas H 1:1000
V 1:100

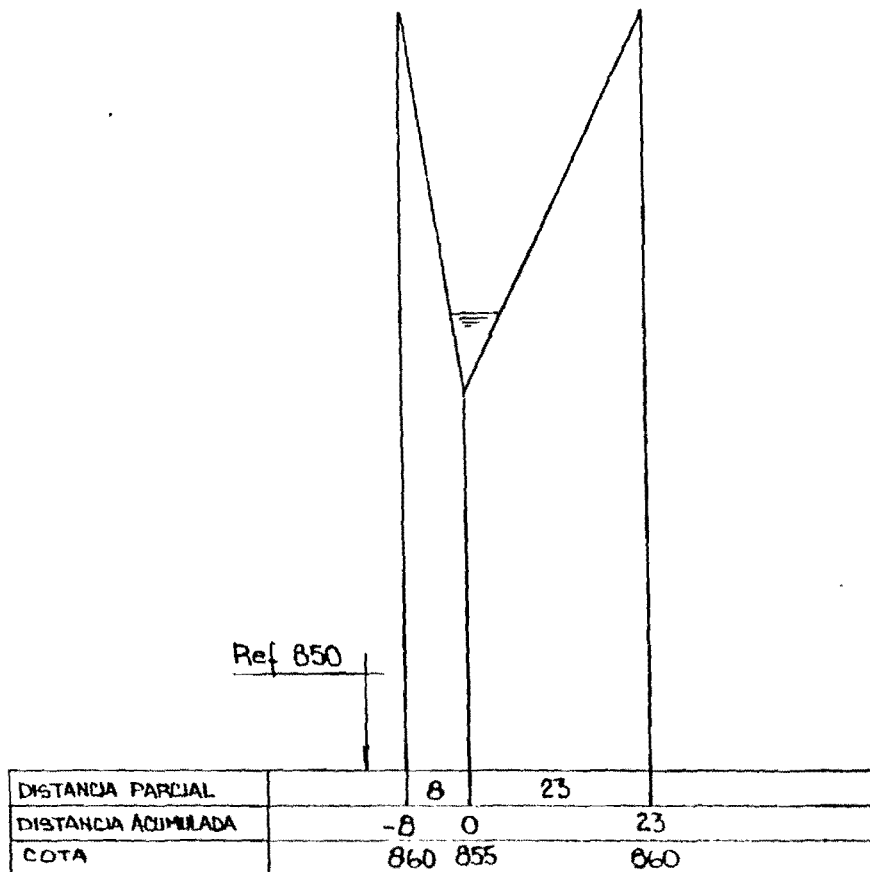


DIST. PARCIAL		25	25	
DIST. ACUMULADA	0	25	50	
COTA	865	862	865	

FIG. 3.5

QUEBRADA ALMENDRO
SECCION 5-5

escalas . H 1:1000
V 1:100



3.3.- Áreas de Inundación

En este punto se presenta la delimitación de las áreas ocupadas por las crecidas para los periodos de retorno de 5 y 100 años, en los cauces de la hoya de la Quebrada de Apoquindo seleccionados de acuerdo al análisis preliminar antes incluido. Dichos cauces son los correspondientes a la Quebrada Grande y Quebrada Los Almendros II.

La delimitación se ha realizado en el tramo comprendido entre la cota 1.000 m.s.n.m. y las respectivas salidas de las quebradas mencionadas, que corresponde para ambas a su desembocadura en el canal Interceptor.

La metodología utilizada, cuya explicación detallada se incluye más adelante, consistió en calcular el eje hidráulico de cada cauce para los caudales antes mencionados, dibujando los niveles de agua correspondientes en los perfiles transversales y traspasando luego dicha información a los planos de planta.

3.3.1.- Eje Hidráulico

3.3.1.1.- Metodología

En un río o cauce natural, no es factible aplicar para el cálculo del eje hidráulico el método paso a paso (Direct Step Method) en su forma directa, sin entrar en aproximaciones que pueden llegar a falsear en forma importante los resultados. Esto se debe a que un cauce natural no posee generalmente una sección regular o prismática como en el caso corriente de los canales artificiales; en este último caso el método consiste en darse niveles de agua variables y calcular la distancia a que ellos se producen; esto es posible ya que en cualquier sección el área, perímetro mojado y radio hidráulico, son funciones bien definidas y únicas de la profundidad de agua. En cauces naturales, en cambio, estos elementos no son independientes de la distancia a lo largo del canal, en consecuencia el cálculo debe hacerse entre secciones a distancias determinadas donde sea posible establecer algoritmos de cálculo de los elementos geométricos en función de la altura de agua (Standard Step Method). En consecuencia, para este caso, la distancia entre secciones es conocida y el procedimiento consiste en determinar el nivel de agua, lo que debe hacerse por aproximaciones sucesivas ya que el valor de dicho nivel no puede despejarse en forma explícita de las ecuaciones.

Aplicando la ecuación de la conservación de la energía (Ecuación de Bernoulli) entre dos secciones sucesivas (1) y (2), numeradas en el sentido del escurrimiento, podemos escribir :

$$H_1 = H_2 + h_f + h_e \quad (1)$$

Si H_j representa la energía total en la sección (j) (para $j = 1$ ó 2)

$$H_j = Z_j + \alpha_j \times (V_j^2/2g) \quad (2)$$

siendo :

Z_j : Cota o nivel de agua en la sección (j) sobre un nivel de referencia horizontal (datum).

α_j : Coeficiente de Coriolis en la sección (j).

V_j : Velocidad media del escurrimiento en la sección (j).

h_e : Representa pérdidas de carga singulares por remolinos que usualmente se incluyen como parte de la pérdida por fricción.

h_f : Representa la pérdida de carga por fricción entre las secciones (1) y (2) que puede calcularse por la expresión :

$$h_f = \overline{S_f} \times X = \frac{1}{2} (S_1 + S_2) X \quad (3)$$

siendo :

X : Distancia entre secciones.

S_j : Pendiente de fricción (pendiente de la línea de energía descontando sólo pérdidas por fricción). Utilizando la ecuación de Manning la pendiente de fricción puede expresarse como :

$$S_j = \frac{Q}{\sum_{i=1}^m K_i}$$

donde :

Q : Caudal y K_i el factor de conducción hidráulica de la subsección (i), supuesto que la sección (j) se ha dividido en m subsecciones.

$$K_i = A_i \times R_i^{2/3} / n_i$$

n_i : Coeficiente de rugosidad de Manning de las subsección (i) (aumentado para incluir las pérdidas h_e).

A_i : Area de la subsección (i).

Ri : Radio hidráulico de la subsección (i).

En resumen, el procedimiento consiste en resolver para Z2 la ecuación (1), en que H1 es conocido y Z2 está implícito en H2 y hf (he se considerará incluido en hf).

Este procedimiento ha sido programado en un computador. Esto ha permitido la ejecución del cálculo sin entrar en simplificaciones sobre la forma de las secciones, ya que se programó la rutina computacional de tal manera que como datos de cada sección considerada se ingresan las distancias y cotas de cada punto de la sección, tal como fueron levantadas en terreno.

Si se considera necesario se agregan, además, puntos artificiales que separan cauces que se supone funcionan en forma diferente, con distintas velocidades medias, tal como un cauce principal y un cauce de inundación.

Antes de iniciar el cálculo del eje hidráulico, es necesario conocer las alturas críticas y normales en cada sección considerada, a fin de establecer una primera aproximación al tipo de régimen que puede preverse. El cálculo de estos valores es realizado por el mismo programa computacional. El cálculo de las alturas normales se realiza aplicando la ecuación de Manning, mediante el método de factores de conducción hidráulica para secciones múltiples; este procedimiento se realiza por tanteos, considerando las secciones en su verdadera forma.

El cálculo de la altura crítica se realiza también por aproximaciones sucesivas, bajo la condición de igualar a 1 el número de Froude; se ha considerado el factor de corrección α (coeficiente de Coriolis), ya que el cauce natural normalmente se encuentra dividido en subsecciones en que el agua puede escurrir a velocidades muy diferentes.

El coeficiente de Coriolis se define como :

$$\alpha = A \int \frac{V^3}{V^3} dA / (\bar{V})^3 \times A$$

en que :

V : Velocidad en un punto

A : Area de la sección

$\bar{V}$: Velocidad media de la sección

Si se considera la sección dividida en subsecciones discretas, esta expresión puede transformarse en :

$$\alpha = \left[\left(\sum_{i=1}^n A_i^2 \right) / \left(\sum_{i=1}^n k_i^3 \right) \right] \times \sum_{i=1}^n (k_i^2 / A_i^3)$$

Los términos de esta ecuación ya fueron definidos anteriormente. Para el cálculo del eje hidráulico se emplea esta misma expresión para corregir la altura de velocidad en la ecuación de la energía.

3.3.1.2.- Parámetros de Cálculo

Caudales

De acuerdo a lo expresado anteriormente, los caudales de cálculo corresponden a los determinados en el estudio hidrológico para los períodos de retorno de 5 y 100 años.

Se han considerado los caudales correspondientes a una línea de nieve 1.800 m.s.n.m. y a la situación futura.

Los valores adoptados se reproducen en la siguiente tabla N°3.2.

TABLA N°3.2

CAUDALES DE CALCULO EJES HIDRAULICOS QUEBRADAS GRANDE Y ALMENDROS II

CAUCE	TR = 5 años	TR = 100 años
Quebrada Grande	8,9	26,3
Quebrada Almendros II	0,6	2,0

Cabe destacar que aun cuando el caudal es, en estricto rigor, variable desde la cota 1.000 hasta la salida de cada cauce, se ha adoptado el valor mayor para todo el tramo, en consideración a que dicha variación es despreciable.

Coefficiente de Rugosidad

En el sector en estudio, la quebrada en análisis presenta cauces relativamente despejados en su parte inferior, con lechos arenosos y con variaciones de sección no muy marcadas. En su parte superior, se incrementa la vegetación dentro del cauce.

Dadas dichas características, se ha adoptado un valor único $n = 0,03$ para el coeficiente de rugosidad, considerando que aun cuando en la situación actual, dicho valor puede resultar algo menor al real para la parte alta, al estar urbanizado hasta la cota 1.000 (situación futura) los cauces tenderán a ser despejados de vegetación, como se observa en otros sectores.

Características Geométricas

La geometría de los cauces queda definida por la información topográfica levantada en terreno y que corresponde a los perfiles transversales que se incluyen en los planos.

Por otra parte, observando los perfiles longitudinales correspondientes a cada quebrada, se han definido en cada caso dos tramos de diferentes pendientes, según se indica en la siguiente tabla N°3.3.

TABLA N°3.3

PENDIENTES DE FONDO
QUEBRADAS GRANDE Y ALMENDROS II

CAUCE	TRAMO	Km.	Km.	i
		INICIAL	FINAL	(%)
Quebrada Grande	1	1	16	5,79
	2	16	27	7,03
Quebrada Almendros II	1	1	8	7,59
	2	8	15	10,82

3.3.1.3.- Cálculos y Resultados

Aplicando la metodología descrita, se procedió al cálculo computacional del eje hidráulico.

Calculadas las alturas normales y críticas, se determinó que en ambos cauces en estudio, el régimen de escurrimiento es supercrítico o de torrente; dada esta circunstancia, el cálculo del eje hidráulico se realizó desde aguas arriba hacia aguas abajo. El inicio del cálculo se realizó asumiendo que en el perfil inicial se tiene altura normal.

El resultado del cálculo de alturas normales y críticas y del eje hidráulico, se presenta mediante los correspondientes listados de computación que se incluyen en el anexo 2.

3.3.2.- Determinación de Áreas Inundables

El presente punto corresponde a la delimitación del área ocupada por las crecidas con períodos de retorno de 5 y 100 años.

La determinación de las mencionadas áreas se realizó sobre la base del resultado del cálculo del eje hidráulico presentado en

el punto anterior y de la información topográfica generada en el presente estudio, correspondiente a plano de planta escala 1:1.000 con curvas de nivel cada 1 m, perfiles transversales y perfil longitudinal.

Las cotas del eje hidráulico, calculadas para los periodos de retorno de 5 y 100 años, se dibujaron en el perfil longitudinal y se transfirieron a los perfiles transversales. Posteriormente se procedió a replantear los puntos donde el nivel de agua toca los bordes en cada perfil transversal, en el plano de planta escala 1:1.000, determinando de esta forma las franjas de inundación correspondientes.

Para el caso del canal interceptor, no se determinaron áreas inundables, dado que, de acuerdo a los cálculos realizados, dicho canal tiene una capacidad de 10,8 m³/s, siendo suficiente para la crecida de 1 en 5 años ($Q = 3$ m³/s) e insuficiente para el caudal de crecida de 1 en 100 años, ya que en este caso se tiene un caudal de 26,3 m³/s que debe repartirse entre el canal Interceptor y la obra de arte correspondiente al abovedamiento de la Quebrada Grande, cuyas capacidades alcanzan a los 16,3 m³/s (ver punto 2.11).

4.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Del análisis hidrológico e hidráulico efectuado a la cuenca de la Quebrada de Apoquindo, se obtuvieron las siguientes conclusiones :

- a) De acuerdo a las características morfológicas de la cuenca de la Quebrada de Apoquindo, los cauces que presentan condiciones topográficas donde las áreas de inundación pueden ser significativas, corresponden a Quebrada Grande y Quebrada Los Almendros II. El resto de las quebradas presentan secciones profundas, con pendientes fuertes y donde las alturas de escurrimiento para los caudales máximos de crecidas no superan los 2,5 m, con un ancho máximo de 19,0 m. Estas quebradas presentan en promedio profundidades de 10 m.
- b) Para las Quebradas Grande y Los Almendros II, las áreas de inundación delimitadas para los caudales con período de retorno de 5 y 100 años, se localizan dentro de los límites del cauce, no afectando sectores ribereños. Sólo en la Quebrada Grande, en su zona baja (inmediatamente aguas arriba del canal Interceptor), las áreas de inundación para los períodos de retorno de 5 y 100 años, alcanzan un ancho máximo de 25 m, con riesgo de inundación para las casas de los cuidadores existentes en el área.
- c) En relación al análisis hidráulico realizado al canal Interceptor, a objeto de estudiar los caudales que serán trasvasiados de una cuenca a otra (Quebrada Grande a Los Almendros I), se determinó que este canal presenta una capacidad de evacuación inferior a la requerida, con riesgo potencial de inundación para las áreas urbanizadas de alto valor económico ubicadas al poniente del mismo.

Como recomendaciones generales del estudio se tienen :

- a) Dado el acelerado proceso de urbanización que se está desarrollando en la cuenca de la Quebrada de Apoquindo, lo que se ha venido traduciendo en la actualidad en importantes modificaciones de los cauces, para los cuales no se han efectuado, en general, los estudios hidrológicos e hidráulicos pertinentes, se considera recomendable que las futuras intervenciones que se realicen en los cauces del área, se basen en proyectos de ingeniería adoptando como caudales de diseño, los del presente estudio, en consideración a la profundidad con que fueron realizados los análisis hidrológicos de

crecidas.

- b) En relación al canal Interceptor, de acuerdo a los resultados del presente estudio, se considera necesario implementar las medidas para aumentar su capacidad, previa realización de un estudio de ingeniería detallado.

ANEXO - 1

ESTUDIO DE SUELOS Y COBERTURA CUENCA QUEBRADA DE APOQUINDO

1.- ESTUDIO DE SUELOS

1.1.- Descripción General

La cuenca en estudio se localiza en el dominio geológico correspondiente al área de contacto entre las macroestructuras de los cordones montañosos del núcleo central de la Cordillera de los Andes y la depresión intermedia del Valle Longitudinal de Chile Central.

Las asociaciones litológicas dominantes en la cuenca corresponden a materiales rocosos del cretácico superior de origen volcánico con fuerte carácter sedimentario de tipo continental especialmente.

Las estructuras geomorfológicas que configuran el paisaje general del área, corresponden a cornisas en el sector alto de la cuenca; conos de deyección en el sector medio; morrenas laterales y depositaciones fluvioglaciales en el sector bajo de la cuenca.

Los suelos en la cuenca corresponden a inceptisoles en la mayor parte de la cuenca; el tipo predominante son los suelos pardo forestales, diferenciándose fases por erosión y magnitud de los afloramientos rocosos. La posición de los suelos es intermedia a baja, con un nivel moderado de disección de laderas, evidenciando fuertes procesos de erosión de tipo laminar en los sectores intermedios y bajo; hacia los sectores altos los procesos erosivos se asocian con las rigurosas condiciones impuestas por el nivel altitudinal del sector (área sobre la línea de nieve, termo/crioclastia) y los procesos de carácter telúrico; hacia las partes bajas en áreas de sedimentación especialmente, los suelos presentan un mayor desarrollo del perfil.

Las pendientes en el sector intermedio y bajo de la cuenca son moderadas a suaves; hacia los sectores altos las pendientes son fuertes a escarpadas, con taludes rocosos hacia la divisoria de aguas del sector oriente de la cuenca.

La exposición predominante en el área corresponde a las laderas de solana, las cuales están asociadas al tipo biológico leñoso bajo-herbáceo y en algunos sectores al tipo suculento, predominando aquí malas condiciones de recubrimiento horizontal o densidad.

Así, los procesos erosivos alcanzan una fuerte significancia en este tipo de laderas, lo cual determina en general poca profundidad de los suelos y frecuentes afloramientos del material parental intemperizado y la roca madre.

Las laderas de umbria estan fuertemente asociadas al tipo biológico leñoso alto, por lo cual el recubrimiento del suelo, el mayor contenido de materia orgánica y la atenuación de los procesos erosivos determinan un mayor desarrollo del perfil del suelo en estos sectores.

La capacidad de uso de los suelos en la cuenca es de aptitud preferentemente forestal, alcanzando los suelos de clase VII una superficie total de 1006,8 ha (52.99%); los suelos de aptitud ganadera alcanzan un 29.56% de la superficie de la cuenca; el area de protección corresponde al area restante con un 17.45% de la superficie total.

Cabe destacar que los suelos de aptitud ganadera se ubican en el sector intermedio y bajo de la cuenca, y vienen a constituir en su mayor parte el area potencial de expansión urbana dentro de la cuenca.

La estructuración de los suelos de la cuenca está fuertemente influenciada por la pendiente, encontrandose el mayor desarrollo del perfil del suelo en los sectores despositacionales asociados al material de relleno glacial.

En el sector del Cerro La Gloria, el suelo alcanza su máximo desarrollo estructural, diferenciandose los horizontes fundamentales A, B y C, con escaso desarrollo de la estrata orgánica debido a la baja cobertura vegetal que facilita la insolación directa y por ende una rápida descomposición de la capa de litter (L) y su inmediata incorporación al suelo mineral.

Además la intensidad de los procesos erosivos impide una mayor acumulación del material orgánico, por lo cual las estratas F y H tienen una presencia mínima en la estructura del perfil.

El perfil evidencia un horizonte A de lixiviación, con dos sub-horizontes, A1 y A2, diferenciados entre ellos por textura y por color con el horizonte B de eluviación. El horizonte A2 tiene una profundidad de 20 cm; es un suelo de color pardo oscuro (Munsell 7.5 YR 3/2), plástico muy friable y adhesivo, de textura fina, arcillo limosa, predominando las arcillas expandibles del tipo montmorillonita, lo cual determina un manifiesto agrietamiento o cuarteado en estructura de bloques angulosos grandes cuando el suelo pierde humedad en estado seco.

El horizonte A2 tiene una profundidad media de 20 cm y se diferencia por textura, presentando un mayor contenido de la fracción mas gruesa de partículas de suelo, una estructura granular con abundantes raices finas.

El horizonte B se diferencia del horizonte A por color y textura, presentando un color café (Munsell 7.5 YR 5/2), de textura fina, arcillosa, con una profundidad media de 110 cm; presenta un Horizonte B2 de color mas claro y mayor contenido de la fracción fina, con una profundidad de 60 cm.

El material parental presenta 3 estratos: un horizonte C1 correspondiente a material de depositación con abundante gravilla angulosa y una profundidad de 50 cm; el horizonte C2 corresponde a un fragipan de material arcilloso de 60 cm de espesor, generado presumiblemente por represamiento de agua en una época previa al depósito del material encontrado en el horizonte C1; el horizonte C3 corresponde a una zona de depositación de cenizas volcánicas, cuya naturaleza es similar a los depositos existentes en Santiago Poniente (Pudahuel-Melipilla).

Cabe destacar que la distribución en profundidad de los estratos de material parental es completamente irregular y típica de las depositaciones de material volcánico y glacial, encontrándose en algunas áreas afloramientos de la estrata de cenizas volcánicas.

En forma similar, el suelo superficial se encuentra decapitado en la mayor parte de la cuenca por efecto de los procesos erosivos en el área, encontrándose regularmente solo el horizonte B; en los sectores altos de suelos desarrollados en situ, encontramos en la mayor parte solamente el material parental intemperizado y afloramientos rocosos por el mismo efecto.

En relación al comportamiento hidrológico de los suelos, podemos definir dos sectores en cuanto al comportamiento de escorrentía superficial :

- Sector con potencial de escorrentía superficial moderadamente alto, en suelos de posición intermedia a baja, de pendientes suaves a moderadas, con textura superficial moderadamente fina a fina, predominancia de arcillas expandibles y la existencia de una estrata impermeable tipo fragipan a una profundidad máxima de 175 cm;
- Sector de alto potencial de escorrentía, de suelos en posición alta, delgados de desarrollo incipiente del perfil, con pendientes fuertes a escarpadas, evidencias de erosión fuerte, afloramientos y taludes rocosos frecuentes, localizados también en el área de los talwegs de los cursos de agua. Por las características topográficas de la cuenca predominan los sectores de alto potencial de escorrentía (62.4%), los cuales se asocian a coberturas vegetacionales de mala condición hidrológica, por lo cual será dable esperar volúmenes de escorrentía superficial notablemente significativos.

1.2.- Metodología

El análisis de los suelos de la cuenca se fundamentó en la aplicación de técnicas de fotointerpretación sobre fotos

aereas escala 1:30.000, delimitación de unidades homogéneas de suelos, traspaso a cartografía regular 1:25.000, verificación de terreno de los resultados de la fotointerpretación y caracterización en terreno de las unidades edáficas determinadas.

El material fotogramétrico utilizado corresponde a las fotos aereas pancromáticas, vuelo SAF CH 30 81 fotos 031819, 031820, 031821, en las cuales se determinaron puntos principales, puntos transferidos en base a lo cual se delimitaron las areas efectivas de análisis.

El análisis de las fotos aereas se realizó utilizando los procedimientos convencionales de fotointerpretación, empleando a este efecto estereoscopio de espejo Topcon, obteniendo como resultado la caracterización preliminar de los suelos, definiendo principalmente las clases de uso potencial y las distintas fases de profundidad, pendiente, erosión y afloramientos rocosos.

A fin de expresar los resultados con significancia cartográfica, se elaboró una base empleando la carta regular 1:25.000 del Instituto Geográfico Militar para el sector intermedio y bajo de la cuenca; para el sector alto se utilizó una ampliación a la misma escala de la carta 1:50.000 del sector.

Los resultados de la fotointerpretación se traspasaron a la base cartográfica empleando un rectificador tipo Sketchmaster, generando de esta manera resultados cartográficos para la estimación de superficies.

Las unidades definidas se agruparon en las dos principales categorías definidas para el área de estudio en cuanto a su potencial de escorrentia, generando un mapa base lo cual se verificó mediante reconocimiento de terreno. El trabajo de terreno consistió en la verificación de los patrones de interpretación y clasificación utilizados, procediendo a caracterizar los perfiles de suelos a través de cortes de calicatas.

En el análisis de los perfiles de suelos se determinó la estructura del perfil, las texturas de los horizontes mediante la estimación de los porcentajes de las distintas fracciones por método de terreno (pipeta graduada), la clasificación de estructura y la medición del color del suelo empleando Tabla Munsell.

Posterior a la verificación de los resultados del reconocimiento de terreno, se procedió a determinar las superficies de las unidades de suelo definidas a partir de la cartografía rectificada de la cuenca obtenida en la etapa de traspaso cartográfico; se empleó para ello un planímetro polar Ushikata, cuyos resultados en la caracterización del area se indican en el punto siguiente.

1.3.- Resultados

CATEGORIA DE SUELO	SUPERFICIE (Hás)
MODERADO POTENCIAL DE ESCORRENTIA	1.185
ALTO POTENCIAL DE ESCORRENTIA	715
SUPERFICIE TOTAL	1.900

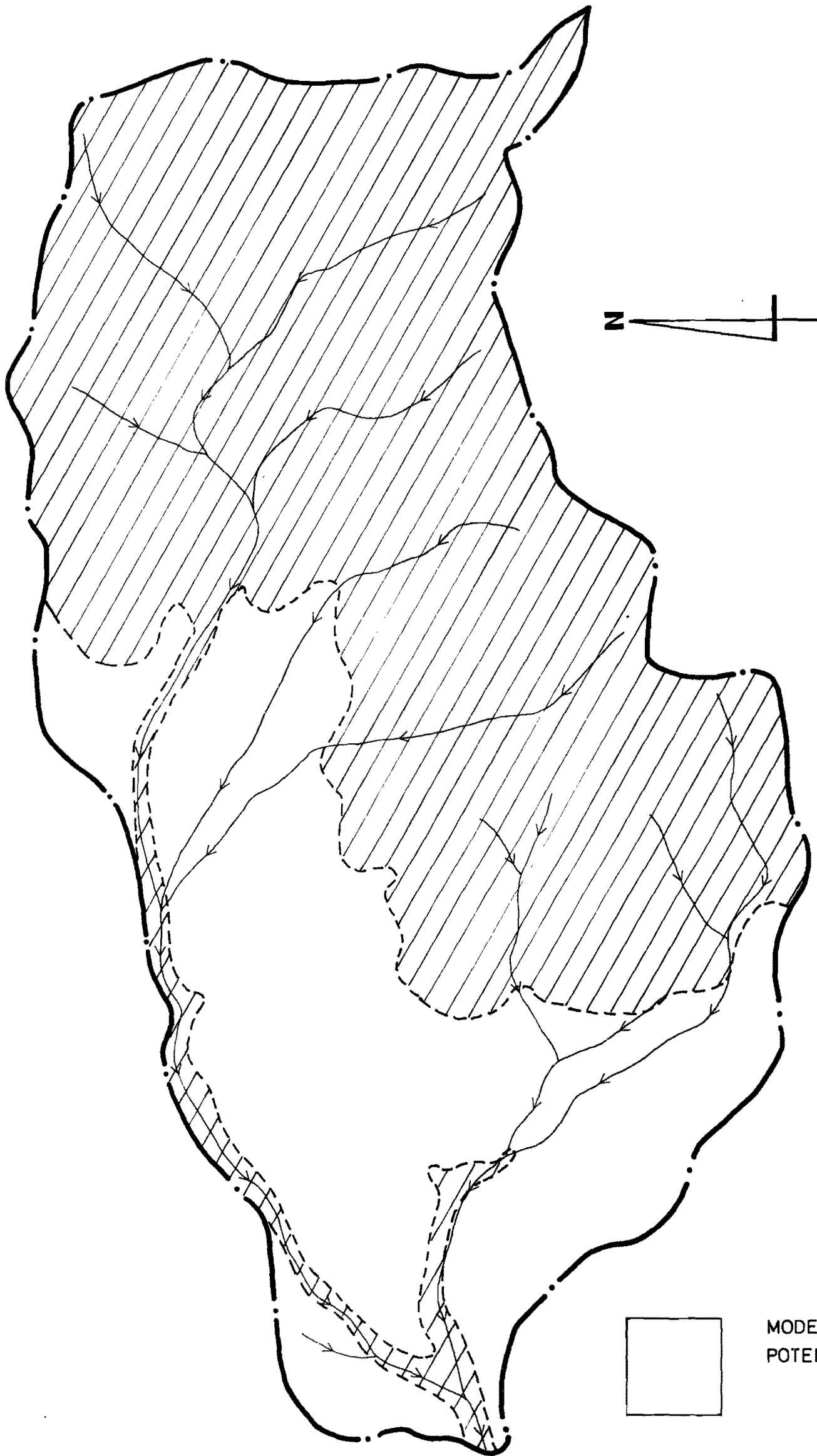
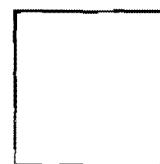
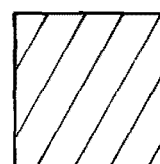


FIGURA Nº A1-1
(ESCALA 1:25.000)

CLASES DE POTENCIAL DE ESCURRIMIENTO
EN QUEBRADA DE APOQUINDO



MODERADAMENTE ALTO
POTENCIAL DE ESCORRENTIA
(CLASE C)



ALTO POTENCIAL DE
ESCORRENTIA
(CLASE D)

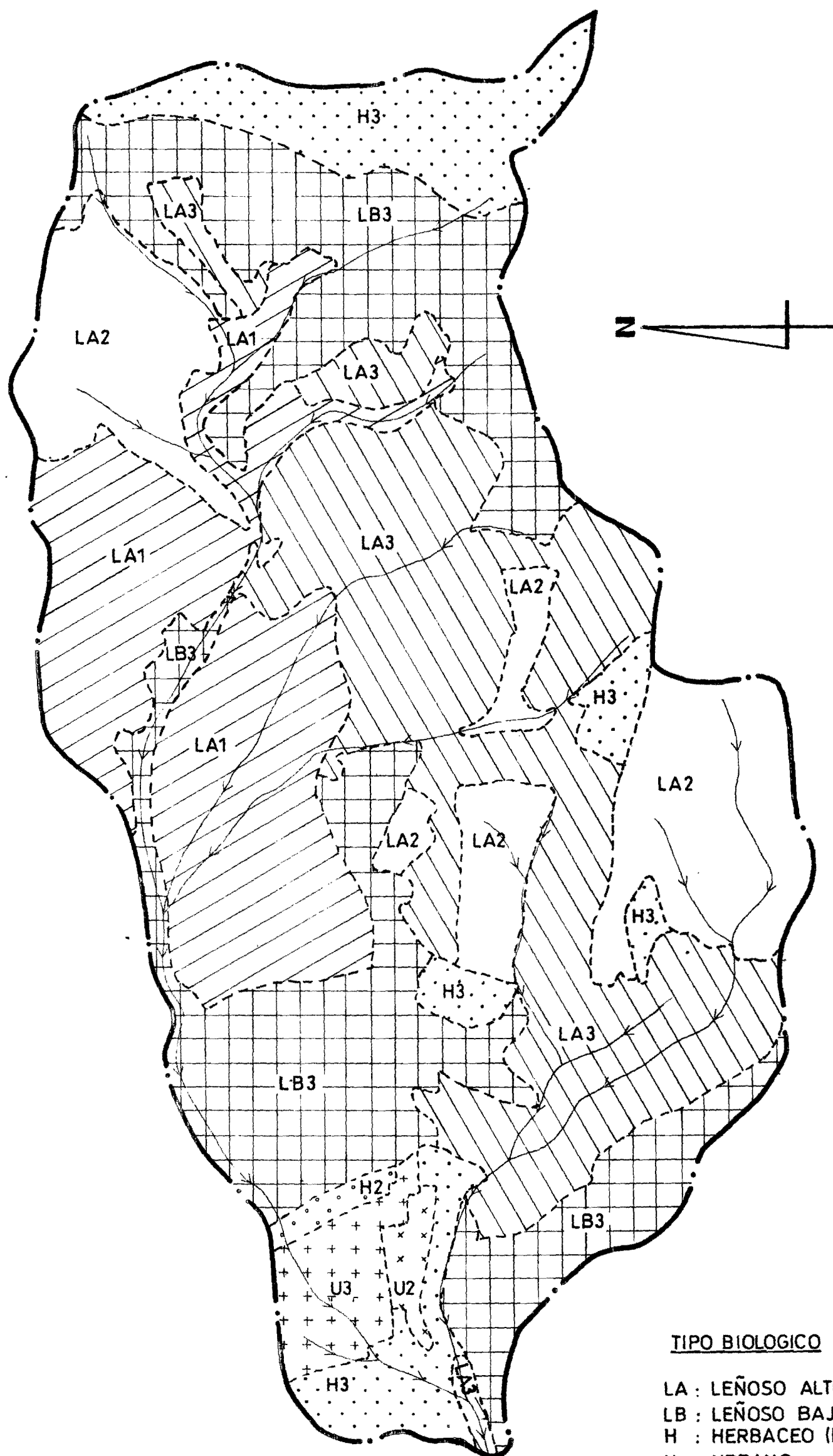


FIGURA Nº A1-2
(ESCALA 1:25.000)

CLASES DE COBERTURAS DE SUELOS
EN QUEBRADA DE APOQUINDO

2.- ESTUDIO DE COBERTURA

2.1.- Descripción General

El dominio fitoecológico en el cual se inserta el área de estudio corresponde a la zona mesomórfica, donde la situación climax está representada por el tipo forestal denominado bosque esclerófilo.

Las especies principales del tipo forestal predominante corresponden a las del tipo más xerófito, como espino (*Acacia caven*), litre (*Lithraea caústica*) y quillay (*Quillaya saponaria*). Asociadas a quebradas y cursos de agua ocasionales encontramos peumo (*cryptocarya alba*) y boldo (*Peumus boldus*), especies más higrofitas del tipo. Finalmente en altura aparecen *Kageneckia angustifolia* (frangel) y *Escallonia revoluta* (lón).

La condición de disclimax predominante en los sectores bajos de la cuenca, -correspondiente a la estepa de *acacia caven*-, señala un alto grado de intervención antrópica en el sector, evidenciando una creciente desertización en términos de una significativa reducción de la humedad ambiente y mayor evaporación por insolación directa sobre el suelo, lo que determina condiciones desfavorables para la repoblación y reestablecimiento de la situación climax, en el corto y mediano plazo.

El tipo biológico predominante en el área corresponde al tipo leñoso alto, el cual confiere la fisonomía característica del paisaje en la cuenca; los tipos leñoso bajo y herbáceo presentan también una significativa participación en la cobertura vegetal del área. El tipo biológico suculento tiene escasa representación, con algunos sectores cubiertos con bromeliáceas principalmente (*Puya* spp) y cactáceas (*Trichocereus chilensis*).

Entre los tipos biológicos presentes en la cuenca, el tipo leñoso alto es el de mayor importancia en la regulación del balance hídrico de la cuenca, especialmente el tipo forestal bosque esclerófilo, correspondiendo al de mayor nivel de intercepción por el follaje, el que puede alcanzar estimativamente a un 18% de la precipitación, dependiendo de las condiciones ambientales imperantes (viento, intensidad y monto de la precipitación, precipitación acumulada, etc.).

Sin embargo, cabe destacar que los sectores correspondientes a bosque esclerófilo por estar compuesto de especies perennifolias su influencia en el régimen hídrico es significativo; a diferencia del tipo leñoso alto correspondiente a la estepa de *acacia caven*, cuya intercepción en el período lluvioso es mínima, por cuanto absorbe el mayor porcentaje del follaje. La participación del tipo herbáceo es asimismo poco significativo

respecto a la regulación del régimen hídrico durante el período lluvioso, debido al escaso desarrollo de la biomasa invernal de la pradera de gramíneas anuales, presentes especialmente en las partes bajas de la cuenca.

En altura la presencia de *Festuca* sp y *Stipa* sp, especies perennes podría constituir un importante factor de regulación hídrica, sin embargo su hábito erecto y la estrategia de sobrevivencia formando cojines aislados (coirón) le resta mayor incidencia en la intercepción y escorrentía superficial.

El estrato leñoso bajo, conforma un importante elemento de regulación hídrica, por cuanto la mayor parte de sus especies es perennifolia, generalmente de hábito simpódico, globoso y compacto. Las principales especies son *Muelenbeckia hastulata* (quilo), *Baecharis linearis* (romerrillo), *Adesmia arborea* (chalguan), y en altura *Valenzuela trinervis* (valenzuelia); *Tetraglochin alatum* (horizonte), *Chuquiragua oppositifolia* (yerba blanca); sin embargo la condición de matorral abierto que presentan limita su capacidad de regular en forma significativa la intercepción.

Finalmente, cabe destacar que la vegetación presenta en general formaciones abiertas de regular densidad, con sectores de escasa cobertura, pudiéndose concluir que en general la vegetación existente, propia de una zona semi-árida, no presenta una capacidad de regulación significativa en cuanto a su capacidad de intercepción que minimice la precipitación directa al suelo. El mayor aporte de la vegetación en la regularización del régimen hídrico de esta cuenca corresponde a su capacidad para inducir una mayor infiltración y retardamiento del flujo de escorrentía superficial.

En términos generales, la vegetación de la cuenca tiene una mayor participación en el balance hídrico total del área antes que en la regulación del régimen hídrico durante el período de precipitaciones, considerando el grado de intervención antrópica sobre la cubierta vegetal de la cuenca.

2.2.- Metodología

Con el propósito de caracterizar la vegetación de la cuenca, se realizó un trabajo de cartografía en base al análisis de fotografías aéreas pancromáticas escala 1:30.000, vuelo SAF CH 30/82, con verificación de terreno de los resultados de la fotointerpretación.

El material fotogramétrico se analizó utilizando los métodos de fotointerpretación convencionales. Primeramente se determinaron puntos principales del set de fotos (SAF CH 30/031819, CH 031820, CH /031821) definiendo estereoscópicamente los puntos

transferidos, pudiendo de esta manera determinar el área efectiva por foto.

Seguidamente, utilizando un estereoscopio de espejo se procedió a delimitar unidades temáticas de cobertura definidas por la metodología de cartografía de la vegetación del Instituto de Estudios Fitoecológicos de Montpellier, Francia. Posteriormente utilizando patrones de reconocimiento, se procedió a asignar la correspondencia de clase a cada una de las unidades temáticas definidas. Una vez clasificadas las fotos aéreas, se procedió a realizar el traspaso cartográfico a la base topográfica, elaborada a este efecto a partir de las cartas regulares a escala 1:50.000 y 1:25.000 del Instituto Geográfico Militar (IGM), para el área de estudio. Para el traspaso cartográfico se utilizó un transferoscópio tipo Sketchmaster pudiendo generar de esta forma una cartografía rectificadas, determinando las superficies por clase temática delimitada.

Finalmente, las clases analizadas se asociaron a las clases definidas por la metodología para cálculos hidrológicos del Manual de Construcción de Pequeñas Represas del Servicio Forestal U.S.D.A. (E.E.U.U.). Así, los sectores indicados como leñoso alto para bosque esclerófilo, se asoció a la clase roble-tiemblo; los sectores del tipo leñoso alto con estepa de acacia caven se asociaron a las clases artemisia y herbáceo por cuanto la estepa no funciona como interceptor durante el invierno; los sectores del tipo leñoso bajo se clasificaron como el tipo artemisia indicado en la metodología del U.S.D.A.

A cada uno de los tipos de cobertura se le determinó su porcentaje de cobertura, definiendo tres rangos : 0-50% , 50-75% y 75-100% , tipificando la condición hidrológica de mala regular y buena para los respectivos rangos de densidad definidos para cada unidad temática.

Esta información permite el cálculo del número de curva y sus ajustes requeridos para el procesamiento de los datos incorporados a la metodología de estimación de caudales.

De la misma manera se determinó el área potencial de expansión urbana, considerando en este caso aquellos sectores de posición baja con un patrón de distribución de las pendientes similar al área actualmente ocupada por el sector urbano.

En el sector urbano, mediante superposición de grilla sobre fotos aéreas SAF 88, escala 1:4.000 N, se determinaron los porcentajes de superficie cubierta por patios, calles y techos, definiendo dos sectores con diferente comportamiento respecto a escorrentía superficial :

a) Sector regular condición hidrológica :

Techos : 1,75 Hás (13,2%)

Calles : 4,10 Hás (30,8%)

Pacios : 7,45 Hás (56,0%)

Total : 13,30 Hás (100%)

b) Sector mala condición hidrológica :

Techos : 13,04 Hás (31,2%)

Calles : 13,34 Hás (31,9%)

Pacios : 15,42 Hás (36,9%)

Total : 41,80 Hás (100%)

Los resultados se presenta esquematizados en el siguiente punto.

2.3.- Resultados

A continuación se presentan los resultados del análisis cartográfico del área; indicando la cobertura de los distintos tipos biológicos existentes en el área asociado a las distintas categorías de cobertura vegetal utilizada en la metodología de cálculo hidrológico.

CLASE DE COBERTURA VEGETACIONAL	SUPERFICIE (Hás)	PORCENTAJE
HERBACEO :		
- H2 (condición regular)	7,6	0,4
- H3 (Condición mala)	190,0	10,0
ARTEMISIA :		
- LB3 (condición mala)	463,6	24,4

CLASE DE COBERTURA VEGETACIONAL	SUPERFICIE (Hás)	PORCENTAJE
ROBLE-TIEMBLO :		
- LA1 (condición buena)	330,6	17,4
- LA2 (condición regular)	290,7	15,3
- LA3 (condición mala)	562,4	29,6
URBANO :		
- U1 (condición regular)	13,3	0,7
- U2 (condición mala)	41,8	2,2
TOTALES	1.900,0	100,0

Area potencial de expansión urbana : 547 Hás

ANEXO - 2

LISTADOS COMPUTACIONALES DE EJES HIDRAULICOS

En el presente anexo se incluyen los listados computacionales de ejes hidráulicos correspondientes a las Quebradas Grande y Los Almendros II.

Dado que el programa de computación utiliza una numeración independiente por tramos, se ha confeccionado una tabla de identificación de secciones en la cual se indica la correspondencia entre los números de secciones en los planos y los listados de ejes hidráulicos.

TABLA DE IDENTIFICACION DE SECCIONES

QUEBRADA GRANDE

TRAMO	N° SECCION PLANOS	N° SECCION EJES HIDRAULICOS
1	1	16
1	2	15
1	3	14
1	4	13
1	5	12
1	6	11
1	7	10
1	8	9
1	9	8
1	10	7
1	11	6
1	12	5
1	13	4
1	14	3
1	15	2
1	16	1
2	16	12
2	17	11
2	18	10
2	19	9
2	20	8
2	21	7
2	22	6
2	23	5
2	24	4
2	25	3
2	26	2
2	27	1

TABLA DE IDENTIFICACION DE SECCIONESQUEBRADA LOS ALMENDROS II

TRAMO	N° SECCION PLANOS	N° SECCION EJES HIDRAULICOS
1	1	8
1	2	7
1	3	6
1	4	5
1	5	4
1	6	3
1	7	2
1	8	1
2	8	8
2	9	7
2	10	6
2	11	5
2	12	4
2	13	3
2	14	2
2	15	1

EJE HIDRAULICO QUEBRADA GRANDE

TRAMO N°1

ALTURAS NORMALES Y CRITICAS

RIO:QUEBRADA GRANDE - TRAMO 1 $Q= 8.9$ $n= .03$ $i= .0579$

Secc.	Cota Fondo	Alt.Normal	Alt.Critica	Cota Normal	Cota Critica
	m	m	m	m	m
1	921.19	0.66	0.92	921.85	922.11
2	916.21	0.46	0.67	916.67	916.88
3	909.90	0.59	0.84	910.49	910.74
4	904.02	0.62	0.90	904.64	904.92
5	899.98	0.41	0.60	900.39	900.58
6	897.40	0.67	0.89	898.07	898.29
7	891.40	0.59	0.78	891.99	892.18
8	893.00	0.78	1.05	893.78	894.05
9	878.57	0.59	0.82	879.16	879.39
10	873.40	0.64	0.85	874.04	874.25
11	869.70	0.37	0.47	870.07	870.17
12	865.90	0.53	0.79	866.43	866.69
13	863.66	0.61	0.87	864.27	864.53
14	861.04	0.37	0.51	861.41	861.55
15	857.70	0.52	0.75	858.22	858.45
16	853.00	0.55	0.69	853.55	853.69

EJE HIDRAULICO

RIO: CUEBRADA GRANDE - TRAMO 1

Q= 8.9

n= .03

i= .0579

Secc.	Dist. Parcial m	Dist. Acum. m	Cota E.N. m	Area m2	Revancha m	Vmedia m/seg	Ancho Sup. m	Altura E.N. m
1	85	1022	921.80	2	4.00	4.70	5.7	0.61
2	92	1107	916.72	3	2.58	3.14	8.3	0.51
3	100	1199	910.44	2	1.86	4.53	5.9	0.54
4	60	1299	904.71	3	1.59	3.54	5.7	0.69
5	46	1359	900.33	2	2.65	4.24	8.2	0.35
6	140	1405	898.29	4	1.21	2.08	9.7	0.89
7	112	1545	891.97	2	2.81	3.79	8.3	0.57
8	82	1657	883.75	2	3.45	4.52	5.2	0.75
9	84	1739	879.19	3	1.61	3.55	6.8	0.62
10	65	1823	874.01	2	1.78	4.06	7.0	0.61
11	47	1888	870.07	4	1.83	2.53	20.1	0.37
12	55	1935	866.41	2	2.34	4.24	5.8	0.51
13	61	1990	864.49	4	1.86	2.43	7.2	0.83
14	58	2051	861.39	3	0.66	3.29	12.8	0.35
15	90	2109	858.30	3	1.30	3.13	7.1	0.60
16		2199	853.53	3	0.47	3.38	18.8	0.53

EJE HIDRAULICO QUEBRADA GRANDE

TRAMO N°2

ALTURAS NORMALES Y CRITICAS

RIO:QUEBRADA GRANDE - TRAMO 2 $Q= 8.9$ $n= .03$ $i= .0703$

Secc.	Cota Fondo	Alt.Normal	Alt.Critica	Cota Normal	Cota Critica
	m	m	m	m	m
1	993.00	0.44	0.65	993.44	993.65
2	985.95	0.91	1.27	986.86	987.22
3	980.55	0.62	0.86	981.17	981.41
4	972.80	0.56	0.81	973.36	973.61
5	965.65	0.48	0.76	966.13	966.41
6	960.05	0.51	0.71	960.56	960.76
7	951.50	0.38	0.57	951.88	952.07
8	944.60	0.52	0.75	945.12	945.35
9	938.35	0.74	1.02	939.09	939.37
10	932.20	0.49	0.70	932.69	932.90
11	927.10	0.63	0.88	927.73	927.98
12	921.19	0.64	0.92	921.83	922.11

EJE HIDRAULICO

RIO:QUEBRADA GRANDE - TRAMO 2

Q= 8.9

n= .03

i= .0703

Secc.	Dist. Parcial m	Dist. Acum. m	Cota E.H. m	Area m ²	Revancha m	Vmedia m/seg	Ancho Sup. m	Altura E.H. m
1		0	993.44	2	8.76	3.78	8.4	0.44
	93							
2		93	984.88	2	8.92	4.65	4.1	0.93
	108							
3		201	981.21	3	5.79	3.42	7.8	0.66
	110							
4		311	973.34	2	3.36	4.31	6.9	0.54
	96							
5		407	966.13	2	4.87	4.25	5.7	0.48
	90							
6		497	960.58	3	4.43	3.44	9.6	0.53
	124							
7		621	951.87	2	5.08	3.70	9.2	0.37
	89							
8		710	945.12	2	1.58	3.97	7.7	0.52
	84							
9		794	939.10	2	2.50	4.16	6.1	0.75
	80							
10		874	932.66	2	3.35	4.23	8.0	0.46
	70							
11		944	927.79	3	3.06	3.43	7.6	0.69
	78							
12		1022	921.80	2	4.00	4.74	5.7	0.61

EJE HIDRAULICO QUEBRADA GRANDE

TRAMO N°1

ALTURAS NORMALES Y CRITICAS

RIO:QUEBRADA GRANDE - TRAMO 1 $Q= 26.3$ $n= .03$ $i= .0579$

Secc.	Cota Fondo	Alt.Normal	Alt.Critica	Cota Normal	Cota Critica
	m	m	m	m	m
1	921.19	1.02	1.48	922.21	922.67
2	916.21	0.76	1.16	916.97	917.37
3	909.90	0.94	1.37	910.84	911.27
4	904.02	1.01	1.42	905.03	905.44
5	899.98	0.70	1.02	900.68	901.00
6	897.40	1.00	1.37	898.40	898.77
7	891.40	0.87	1.23	892.27	892.63
8	883.00	1.16	1.64	884.16	884.64
9	878.57	0.92	1.38	879.49	879.95
10	873.40	0.96	1.40	874.36	874.80
11	869.70	0.54	0.75	870.24	870.45
12	865.90	0.89	1.38	866.79	867.28
13	863.66	0.98	1.43	864.64	865.09
14	861.04	0.59	0.88	861.63	861.92
15	857.70	0.85	1.34	858.55	859.04
16	853.00	0.73	0.96	853.73	853.96

EJE HIDRAULICO

RIO:QUEBRADA GRANDE - TRAMO 1 Q= 26.3 n= .03 s= .0079

Secc.	Dist. Parcial m	Dist. Acum. m	Cota E.H. m	Area m ²	Sevancha m	Vmedia m/seg	Ancho Sup. m	Altura E.H. m
1	85	1022	922.15	4	3.65	6.17	7.8	0.96
2	92	1107	917.00	5	2.30	4.82	10.2	0.79
3	100	1199	910.80	5	1.50	5.75	8.7	0.90
4	60	1299	905.08	6	1.22	4.76	16.3	1.06
5	46	1359	900.60	5	2.38	5.48	12.4	0.62
6	140	1405	898.77	10	0.73	2.57	15.1	1.37
7	112	1545	892.25	5	2.53	5.10	11.1	0.85
8	82	1657	884.13	4	3.07	5.96	7.4	1.13
9	54	1739	879.53	5	1.27	5.19	8.2	0.96
10	65	1823	874.33	5	1.46	5.73	8.2	0.93
11	47	1888	870.21	6	1.69	4.10	20.4	0.51
12	55	1935	866.84	5	1.91	5.19	8.0	0.94
13	61	1990	864.75	6	1.60	4.61	8.6	1.09
14	58	2051	861.61	6	0.44	4.66	14.6	0.57
15	90	2109	858.68	6	0.92	4.52	8.5	0.98
16		2199	853.70	6	0.30	4.07	25.0	0.70

EJE HIDRAULICO QUEBRADA GRANDE

TRAMO N°2

ALTURAS NORMALES Y CRITICAS

RIG:QUEBRADA GRANDE - TRAMO 2 $Q= 26.3$ $n= .03$ $i= .0703$

Secc.	Cota Fondo	Alt.Normal	Alt.Critica	Cota Normal	Cota Critica
	m	m	m	m	m
1	993.00	0.71	1.15	993.71	994.15
2	985.95	1.34	1.96	987.31	987.91
3	980.55	0.93	1.31	981.48	981.86
4	972.80	0.87	1.29	973.67	974.09
5	965.65	0.83	1.37	966.48	967.02
6	960.05	0.77	1.13	960.82	961.18
7	951.50	0.63	1.02	952.13	952.52
8	944.60	0.82	1.22	945.42	945.82
9	938.35	1.09	1.56	939.44	939.91
10	932.20	0.77	1.16	932.97	933.36
11	927.10	0.95	1.36	928.05	928.46
12	921.19	0.99	1.48	922.18	922.67

EJE HIDRAULICO

RIO:QUEBRADA GRANDE - TRAMO 2 D= 26.3 n= .03 i= .0703

Secc.	Dist. Parcial m	Dist. Acum. m	Cota E.H. m	Area m ²	Revancha m	Vmedia m/seg	Ancho Sup. m	Altura E.H. m
1		0	993.71	5	8.49	5.59	9.0	0.71
	93							
2		93	987.36	4	8.44	6.03	6.2	1.41
	108							
3		201	981.52	6	5.48	4.75	11.4	0.97
	110							
4		311	973.65	5	3.05	5.55	10.2	0.85
	96							
5		407	966.50	4	4.50	5.94	7.1	0.85
	90							
6		497	960.82	5	4.19	4.97	12.1	0.77
	124							
7		621	952.13	5	4.82	5.22	11.0	0.63
	89							
8		710	945.40	5	1.30	5.47	10.4	0.80
	84							
9		794	939.45	5	2.15	5.16	10.4	1.10
	80							
10		874	932.93	5	3.08	5.67	10.7	0.73
	70							
11		944	926.09	5	2.76	4.88	10.6	0.99
	78							
12		1022	922.15	4	3.65	6.13	7.8	0.96

EJE HIDRAULICO QUEBRADA LOS ALMENDROS 2

TRAMO N°1

ALTURAS NORMALES Y CRITICAS

RIO:QUEBRADA ALMENDROS 2 - TRAMO 1 Q= .6 n= .03 i= .0759

Secc.	Cota Fondo	Alt.Normal	Alt.Critica	Cota Normal	Cota Critica
	m	m	m	m	m
1	902.78	0.29	0.39	903.07	903.17
2	896.95	0.25	0.33	897.20	897.28
3	887.28	0.26	0.34	887.54	887.62
4	882.98	0.30	0.40	883.28	883.38
5	876.30	0.21	0.28	876.51	876.58
6	867.91	0.22	0.29	868.13	868.20
7	859.79	0.19	0.24	859.98	860.03
8	853.00	0.20	0.26	853.20	853.26

EJE HIDRAULICO

RIO:QUEBRADA ALMENDROS 2 - TRAMO 1 Q= .6 n= .03 i= .0759

Secc.	Dist. Parcial	Dist. Acum.	Cota E.H.	Area	Revancha	Vmedia	Ancho Sup.	Altura E.H.
	m	m	m	m ²	m	m/seg	m	m
1		816	903.07	0	4.13	2.53	1.6	0.29
	74							
2		890	897.20	0	2.81	2.27	2.1	0.25
	113							
3		1003	887.53	0	1.85	2.46	2.0	0.25
	55							
4		1058	883.28	0	1.47	2.34	1.7	0.30
	98							
5		1156	876.52	0	0.21	1.96	2.8	0.22
	94							
6		1250	868.11	0	0.56	2.44	2.5	0.20
	112							
7		1362	860.01	0	0.38	1.30	2.2	0.22
	110							
8		1472	853.19	0	0.24	2.15	3.0	0.19

EJE HIDRAULICO QUEBRADA LOS ALMENDROS 2

TRAMO N°1

ALTURAS NORMALES Y CRITICAS

RIO:QUEBRADA ALMENDROS 2 - TRAMO 1 Q= 2 n= .03 i= .0759

Secc.	Cota Fondo	Alt.Normal	Alt.Critica	Cota Normal	Cota Critica
	m	m	m	m	m
1	902.78	0.46	0.63	903.24	903.41
2	896.95	0.39	0.53	897.34	897.48
3	887.28	0.41	0.56	887.69	887.84
4	882.98	0.47	0.64	883.45	883.62
5	876.30	0.33	0.45	876.63	876.75
6	867.91	0.34	0.46	868.25	868.37
7	859.79	0.29	0.39	860.08	860.18
8	853.00	0.31	0.42	853.31	853.42

EJE HIDRAULICO

RIO:QUEBRADA ALMENDROS 2 - TRAMO 1 Q= 2 n= .03 i= .0759

Secc.	Dist. Parcial	Dist. Acum.	Cota E.H.	Area	Revancha	Vmedia	Ancho Sup.	Altura E.H.
	m	m	m	m2	m	m/seg	m	m
1		816	903.24	1	3.96	3.36	2.6	0.46
	74							
2		890	897.33	1	2.68	3.14	3.3	0.38
	113							
3		1003	887.67	1	1.71	3.29	3.1	0.39
	55							
4		1058	883.46	1	1.29	3.14	2.7	0.48
	98							
5		1156	876.63	1	0.10	2.75	4.3	0.33
	94							
6		1250	868.23	1	0.44	3.07	4.0	0.32
	112							
7		1362	860.11	1	0.28	2.14	5.9	0.32
	110							
8		1472	853.31	1	0.12	2.54	5.0	0.31

EJE HIDRAULICO QUEBRADA LOS ALMENDROS 2

TRAMO N°2

ALTURAS NORMALES Y CRITICAS

RIO:QUEBRADA ALMENDROS 2 - TRAMO 2 $Q = .6$ $n = .03$ $i = .1082$

Secc.	Cota Fondo	Alt.Normal	Alt.Critica	Cota Normal	Cota Critica
	m	m	m	m	m
1	991.05	0.32	0.45	991.37	991.50
2	980.00	0.28	0.39	980.28	980.39
3	960.65	0.32	0.46	960.97	961.11
4	948.00	0.31	0.45	948.31	948.45
5	934.80	0.34	0.48	935.14	935.28
6	923.80	0.26	0.37	924.06	924.17
7	912.90	0.26	0.38	913.16	913.28
8	902.78	0.28	0.39	903.06	903.17

EJE HIDRAULICO

RIO:QUEBRADA ALMENDROS 2 - TRAMO 2 $Q = .6$ $n = .03$ $i = .1082$

Secc.	Dist. Parcial	Dist. Acum.	Cota E.H.	Area	Revancha	Vmedia	Ancho Sup.	Altura E.H.
	m	m	m	m ²	m	m/seg	m	m
1		0	991.37	0	8.73	2.99	1.3	0.32
	97							
2		97	980.27	0	7.73	2.99	1.5	0.27
	154							
3		251	960.97	0	10.22	3.08	1.2	0.32
	121							
4		372	948.32	0	8.18	2.82	1.3	0.32
	116							
5		488	935.13	0	8.23	3.23	1.1	0.33
	120							
6		608	924.09	0	5.93	2.20	1.4	0.29
	114							
7		722	913.16	0	4.78	2.93	1.6	0.26
	94							
8		816	903.07	0	4.13	2.61	1.6	0.29

EJE HIDRAULICO QUEBRADA LOS ALMENDROS 2

TRAMO N°2

ALTURAS NORMALES Y CRITICAS

RIO:QUEBRADA ALMENDROS 2 - TRAMO 2 Q= 2 n= .03 i= .1082

Secc.	Cota Fondo	Alt.Normal	Alt.Critica	Cota Normal	Cota Critica
	m	m	m	m	m
1	991.05	0.50	0.73	991.55	991.78
2	980.00	0.43	0.63	980.43	980.63
3	960.65	0.51	0.74	961.16	961.39
4	948.00	0.49	0.72	948.49	948.72
5	934.80	0.53	0.78	935.33	935.58
6	923.80	0.41	0.61	924.21	924.41
7	912.90	0.42	0.61	913.32	913.51
8	902.78	0.43	0.63	903.21	903.41

EJE HIDRAULICO

RIO:QUEBRADA ALMENDROS 2 - TRAMO 2 Q= 2 n= .03 i= .1082

Secc.	Dist. Parcial	Dist. Acum.	Cota E.H.	Area	Revancha	Vmedia	Ancho Sup.	Altura E.H.
	m	m	m	m2	m	m/seg	m	m
1		0	991.55	0	8.55	4.09	2.0	0.50
	97							
2		97	980.43	1	7.57	3.91	2.4	0.43
	154							
3		251	961.14	0	10.05	4.41	1.9	0.49
	121							
4		372	948.53	1	7.97	3.52	2.2	0.53
	116							
5		488	935.31	0	8.05	4.56	1.7	0.51
	120							
6		608	924.28	1	5.74	2.72	3.0	0.48
	114							
7		722	913.30	0	4.64	4.10	2.5	0.40
	94							
8		816	903.24	1	3.96	3.34	2.6	0.46

PLANOS



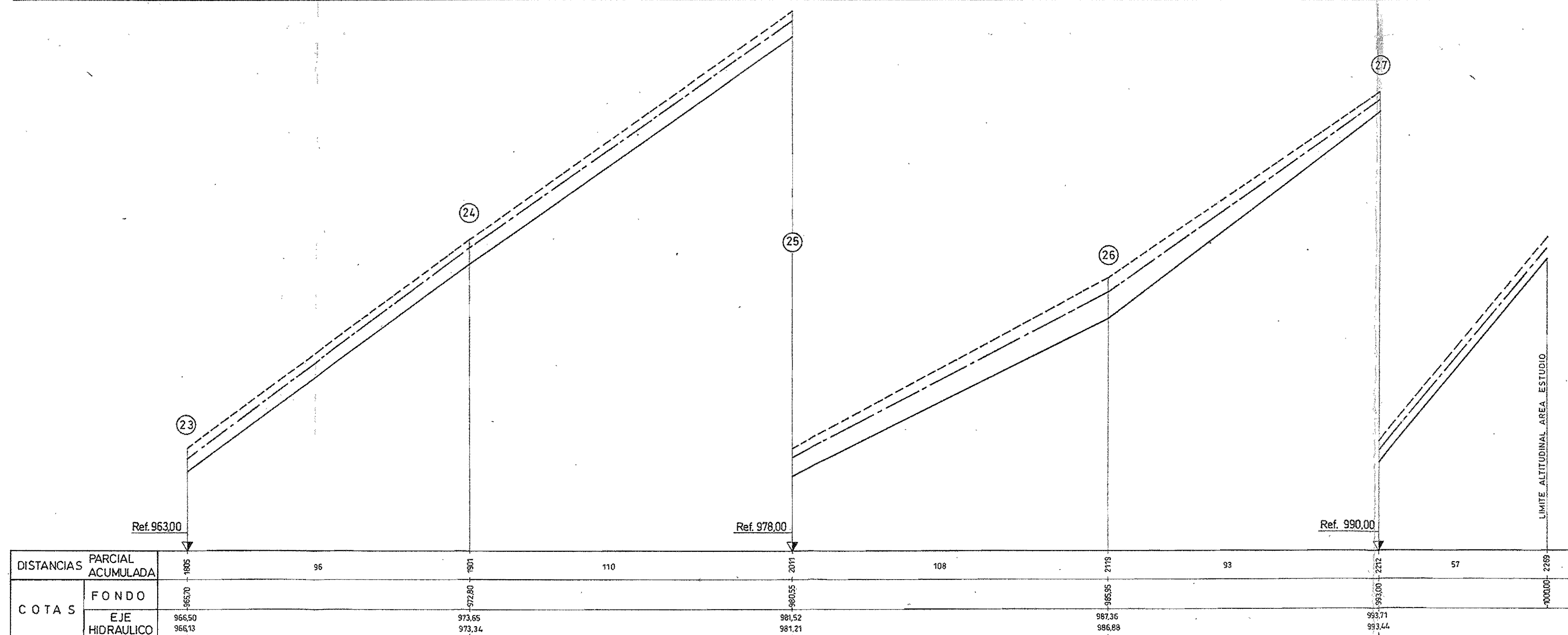
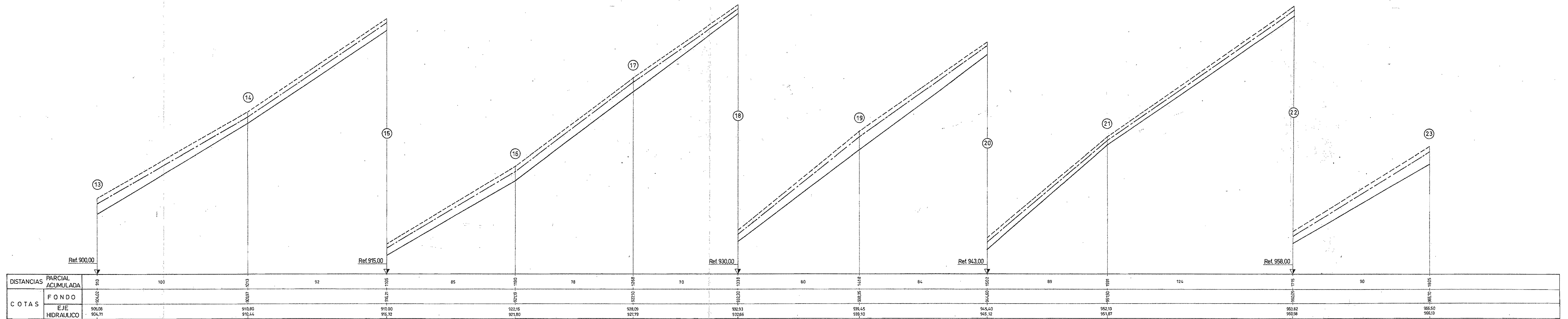
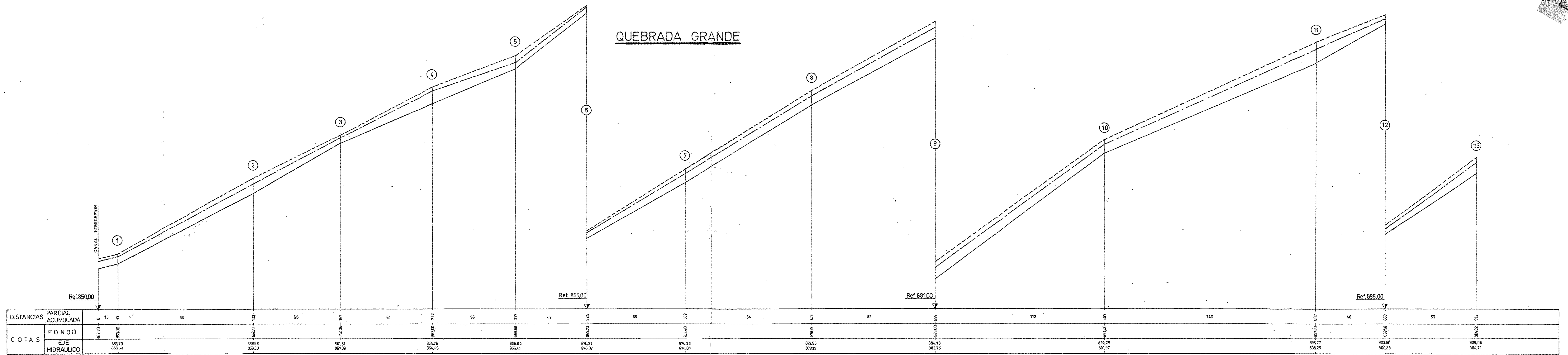
SIMBOLOGIA:	
	PUNTOS DE CONTROL ESTUDIO HIDROLOGICO
	SECCIONES TIPO, ANALISIS PRELIMINAR
	PUNTO DE CONFLUENCIA

INSPECCION FISCAL - D.G.A. REGION METROPOLITANA MINISTERIO OBRAS PUBLICAS		ILUSTRE MUNICIPALIDAD DE LAS CONDES DEPARTAMENTO DE AGUAS	
ESTUDIO: ANALISIS ALTERNATIVAS DE SOLUCION INUNDACIONES CAUCES NATURALES Y ARTIFICIALES			
ETAPA: ESTUDIO HIDROLOGICO DE LA QUEBRADA DE APOQUINDO			
FECHA: DIC.-1989	PLANO: 1	CONTENIDO: PLANTA GENERAL	
ESCALA: 1:5000	LAMINA: 1/1		
EJECUCION DEL ESTUDIO		APROBACION DEL ESTUDIO	
 PRISMA INGENIERIA			
JEFE DE PROYECTO: LEONIDAS CHAVEZ P. - ING.CIVIL INGENIEROS: RICARDO DIAZ B. - ING. CIVIL ALEJANDRO DIAZ M. - ING. CIVIL		JOSE PINTO G. - ING. CIVIL DIRECTOR REGIONAL	

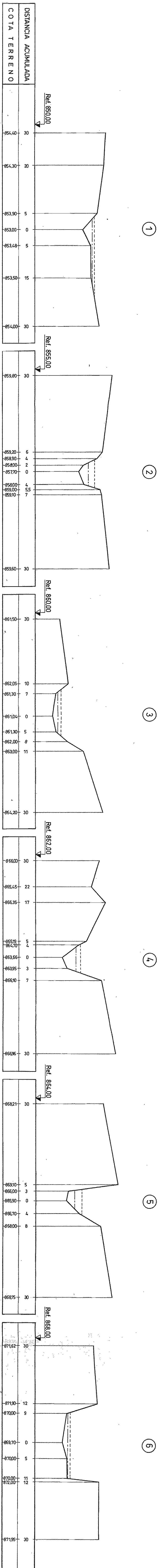


INSPECCION FISCAL - D.G.A. REGION METROPOLITANA MINISTERIO OBRAS PUBLICAS		ILUSTRE MUNICIPALIDAD DE LAS CONDES DEPARTAMENTO DE AGUAS	
ESTUDIO: ANALISIS ALTERNATIVAS DE SOLUCION INUNDACIONES CAUCES NATURALES Y ARTIFICIALES			
ETAPA: ESTUDIO HIDROLOGICO DE LA QUEBRADA DE APOQUINDO			
FECHA:	DIC.-1989	PLANO:	2
ESCALA:	1:1000	LAMINA:	1/3
EJECUCION DEL ESTUDIO		CONTENIDO:	
PRISMA INGENIERIA		QUEBRADA GRANDE - PLANTA GENERAL - LIMITES AREAS DE INUNDACION (Tr=5 y 100 AÑOS)	
JEFE DE PROYECTO: LEONIDAS CHAVEZ P. - ING.CIVIL INGENIEROS: RICARDO DIAZ B. - ING. CIVIL ALEJANDRO DIAZ M. - INS. CIVIL		APROBACION DEL ESTUDIO JOSE PINO E. - ING. CIVIL DIRECTOR REGIONAL	

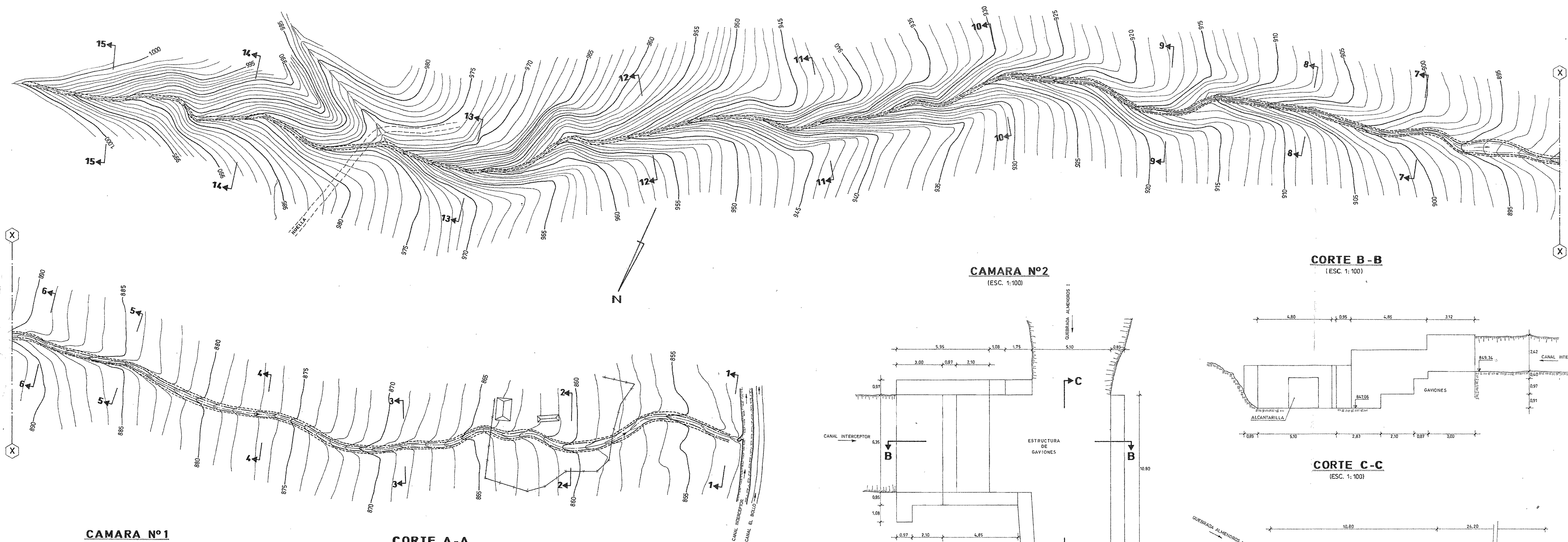
QUEBRADA GRANDE



QUEBRADA GRANDE



QUEBRADA ALMENDROS II



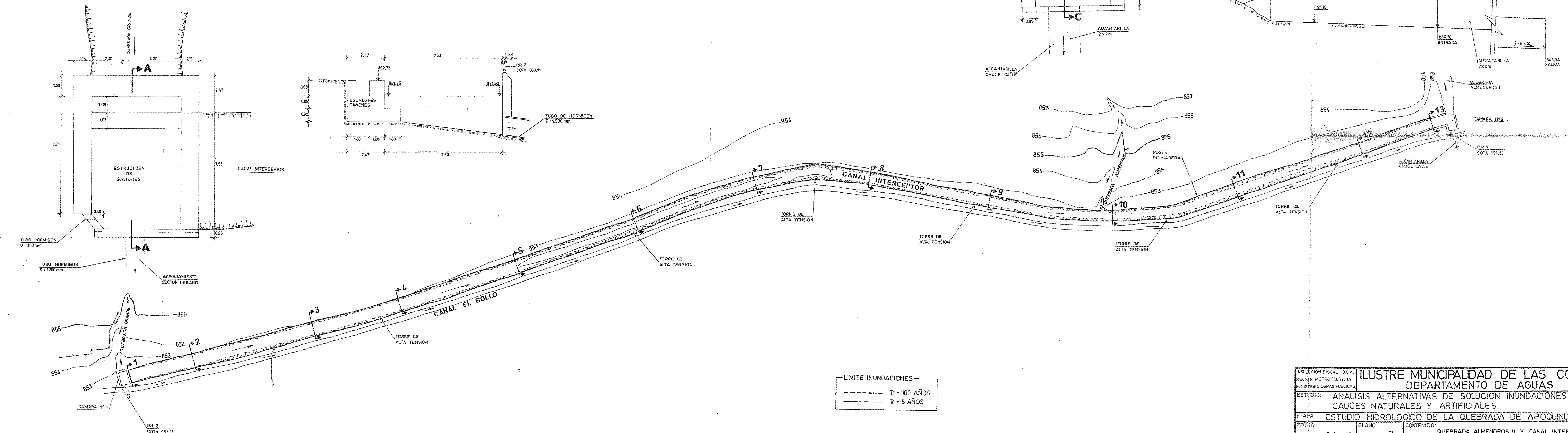
CAMARA N°1
(ESC. 1:100)

CORTE A-A
(ESC. 1:100)

CAMARA N°2
(ESC. 1:100)

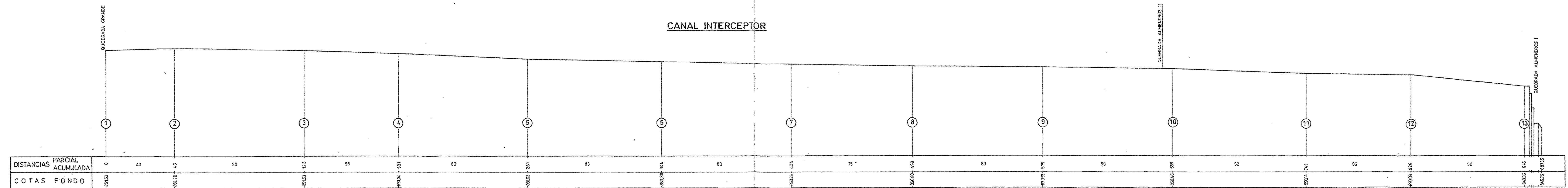
CORTE B-B
(ESC. 1:100)

CORTE C-C
(ESC. 1:100)

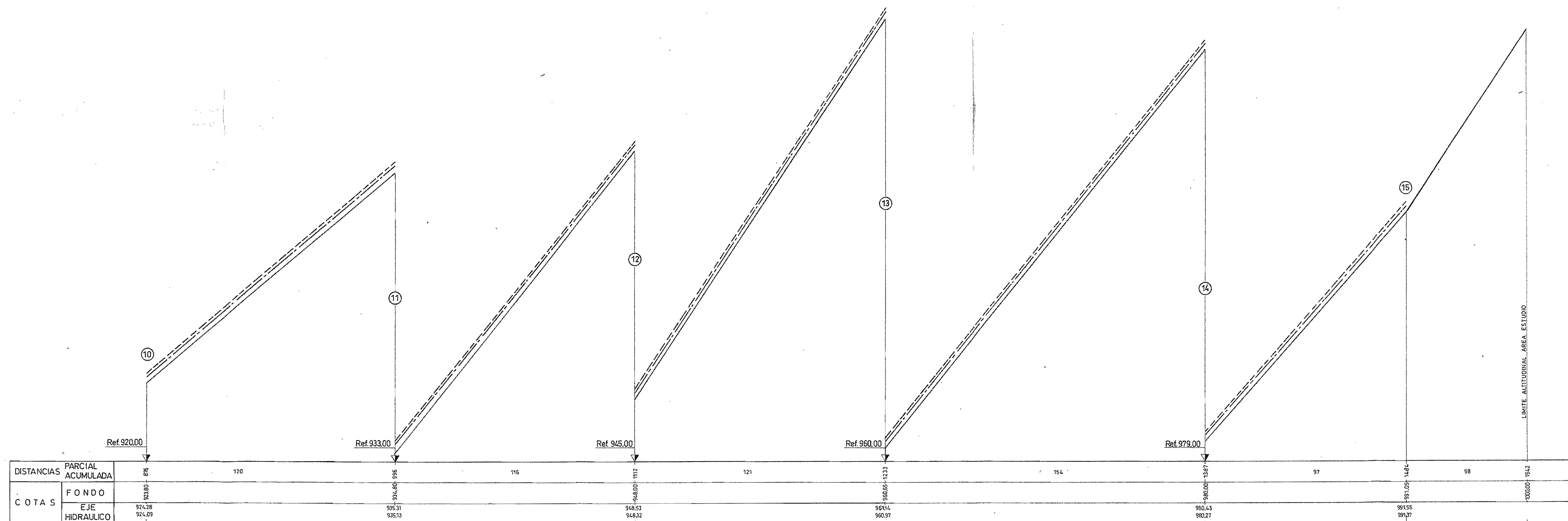
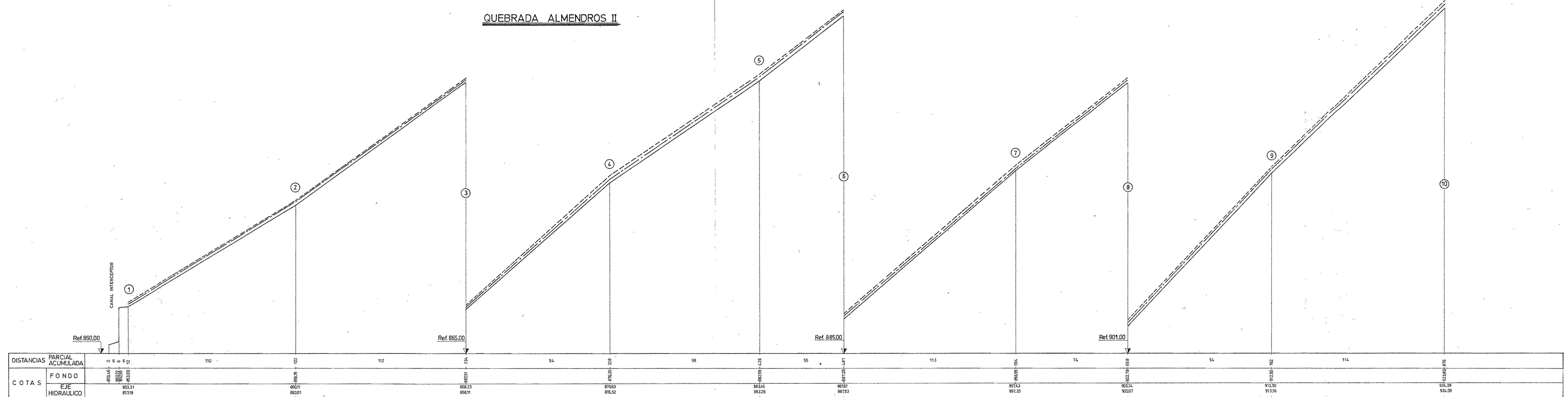


LIMITE INUNDACIONES
 - - - - - Tr = 100 AÑOS
 ———— Tr = 5 AÑOS

INSPECCION FISCAL: D.G.A. REGION METROPOLITANA MINISTERIO OBRAS PUBLICAS		ILUSTRE MUNICIPALIDAD DE LAS CONDES DEPARTAMENTO DE AGUAS	
ESTUDIO: ANALISIS ALTERNATIVAS DE SOLUCION INUNDACIONES CAUCES NATURALES Y ARTIFICIALES			
ETAPA: ESTUDIO HIDROLOGICO DE LA QUEBRADA DE APOQUINDO			
FECHA: DIC.-1989	PLANO: 3	CONTENIDO: QUEBRADA ALMENDROS II Y CANAL INTERCEPTOR	
ESCALA: 1:1000	LAMINA: 1/3	- PLANTA GENERAL - LIMITES AREAS DE INUNDACION (Tr = 5 y 100 AÑOS)	
EJECUCION DEL ESTUDIO		APROBACION DEL ESTUDIO	
 JEFE DE PROYECTO: LEONIDAS CHAVEZ P. - ING. CIVIL INGENIEROS: RICARDO DIAZ B. - ING. CIVIL ALEJANDRO DIAZ M. - ING. CIVIL		JOSE PINTO G. - ING. CIVIL DIRECTOR REGIONAL	



QUEBRADA ALMENDROS II

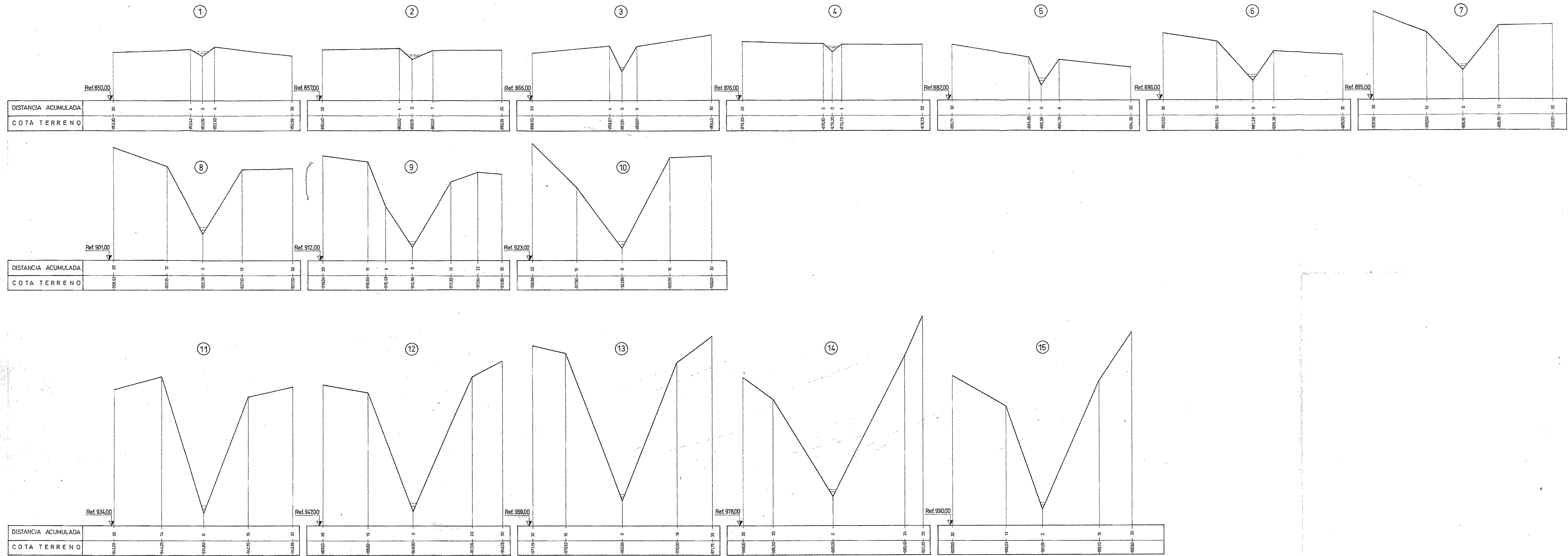


NOTA:

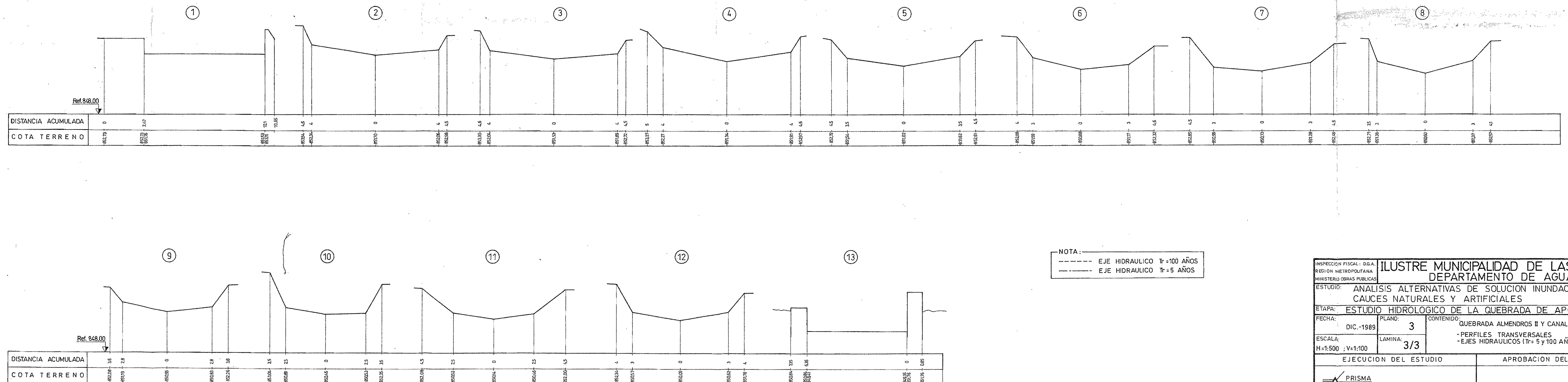
- EJE HIDRAULICO Tr=100 AÑOS
- - - EJE HIDRAULICO Tr=5 AÑOS
- (N) PERFILES TRANSVERSALES

INSPECCION FISCAL: D.G.A. REGION METROPOLITANA MINISTERIO OBRAS PUBLICAS		ILUSTRE MUNICIPALIDAD DE LAS CONDES DEPARTAMENTO DE AGUAS	
ESTUDIO: ANALISIS ALTERNATIVAS DE SOLUCION INUNDACIONES CAUCES NATURALES Y ARTIFICIALES			
ETAPA: ESTUDIO HIDROLOGICO DE LA QUEBRADA DE APOQUUNDO			
FECHA:	DIC.-1989	PLANO:	3
ESCALA:	H=1:1000 ; V=1:100	LAMINA:	2/3
EJECUCION DEL ESTUDIO		APROBACION DEL ESTUDIO	
JEFE DE PROYECTO: LEONIDAS CHAVEZ P. - ING. CIVIL INGENIEROS: RICARDO DIAZ B. - ING. CIVIL ALEJANDRO DIAZ M. - ING. CIVIL		JOSE PINTO G. - ING. CIVIL DIRECTOR REGIONAL	

QUEBRADA ALMENDROS II



CANAL INTERCEPTOR



NOTA:
 - - - - - EJE HIDRAULICO Tr=100 AÑOS
 - - - - - EJE HIDRAULICO Tr=5 AÑOS

INSPECCION FISCAL: DGA REGION METROPOLITANA MINISTERIO OBRAS PUBLICAS		ILUSTRE MUNICIPALIDAD DE LAS CONDES DEPARTAMENTO DE AGUAS	
ESTUDIO: ANALISIS ALTERNATIVAS DE SOLUCION INUNDACIONES CAUCES NATURALES Y ARTIFICIALES			
ETAPA: ESTUDIO HIDROLOGICO DE LA QUEBRADA DE APOQUINDO			
FECHA:	DIC.-1989	PLANO:	3
ESCALA:	H=1:500 ; V=1:100	LAMINA:	3/3
EJECUCION DEL ESTUDIO		APROBACION DEL ESTUDIO	
PRISMA INGENIERIA		JOSE PINTO G. - ING. CIVIL DIRECTOR REGIONAL	
JEFE DE PROYECTO: LEONIDAS CHAVEZ P. - ING. CIVIL INGENIEROS: RICARDO DIAZ B. - ING. CIVIL ALEJANDRO DIAZ M. - ING. CIVIL			

CENTRO DE INFORMACION DE RECURSOS HIDRICOS



3 5617 00003 1724