

... a la distribución de la precipitación en el tiempo (tiempo). Este se ha presentado un resumen de la información disponible. Los datos, se han preparado tres gráficos que muestran la distribución de la precipitación para duraciones entre 0.2 y 3 horas. Entre las 13 y 34 horas (Figura N° 2).

... se debe hacer mención al período de retorno. El período de retorno de las secciones anteriores, puede ser lo más general posible y para las aplicaciones. Por tal motivo, se han deducido coeficientes de retorno de 1 a 30 años.

... de las curvas estadísticas generales, que también incluido el caso especial de "7 veces en 10 años", que se utiliza en el diseño de algunas livianas. En un estudio anterior se ha hecho un análisis de la frecuencia de esta frecuencia de diseño. Se demuestra que el coeficiente de "7 veces en 10 años" está ligado al más de las estadísticas estadísticas y puede ser considerado un coeficiente de estadísticas de 27,28.

... se trabaja con series estadísticas anuales.

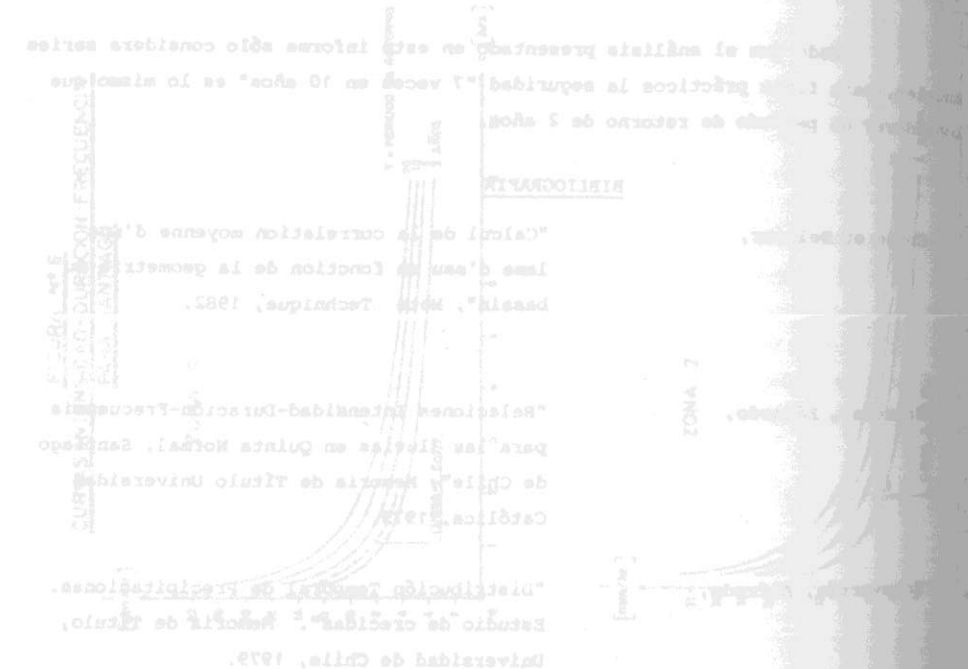
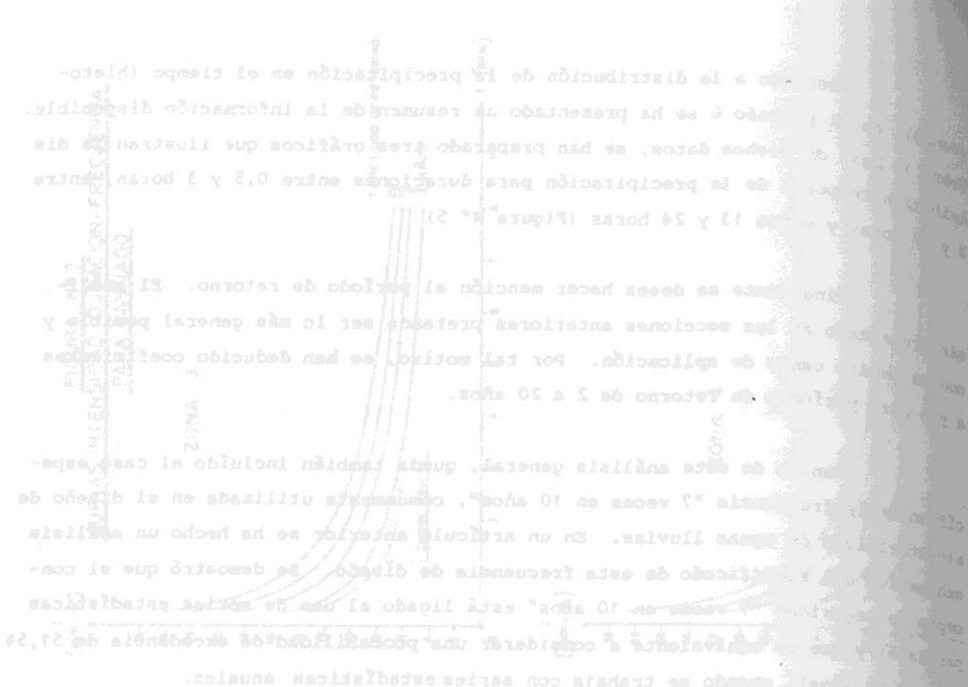
... en este informe se considera series estadísticas de la sequedad "7 veces en 10 años" se lo mismo que el período de retorno de 3 años.

BIBLIOGRAFIA

"Cálculo de la correlación promedio de la geometría de la función de la geometría de la función", "Método Técnico", 1982.

"Relaciones Intensidad-Duración-Frecuencia para las lluvias en Quinta Normal, Santiago de Chile", "Revista de la Universidad Católica de Chile", 1973.

"Distribución General de Precipitaciones", "Estado de Chile", "Revista de la Universidad de Chile", 1973.



CATASTRO DE CURVAS GRANULOMETRICAS
INTEGRALS EN RIOS CHILENOS

Lincoln Alvarado M. (1)
Eugenio García V. (2)

TEMA 3

HIDRAULICA FLUVIAL Y MARITIMA
TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

... la recopilación de curvas granulométricas integrales de las aguas de algunos ríos comprendidos entre el río Ligua y el Laja. Estas curvas, aunque parciales, son de interés para obtener datos que permitan determinar el tamaño de los materiales de fondo, necesarios para realizar estudios de hidráulica fluvial y arrastre de sedimentos. Se indican también algunas recomendaciones referente a la forma de efectuar el muestreo y el análisis granulométrico.

(1) Ingeniero Civil, Empresa Nacional de Electricidad S.A.
(2) Ingeniero Civil, Empresa Nacional de Electricidad S.A.

SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERIA HIDRAULICA

VI CONGRESO NACIONAL

CATASTRO DE CURVAS GRANULOMETRICAS

INTEGRALES EN RIOS CHILENOS

Lincoln Alvarado M. (1)

Eugenio Garcés V. (2)

E A N T

INGENIERIA FLUVIAL Y MARITIMA
TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

Se presenta una recopilación de curvas granulométricas integrales del material del cauce de algunos ríos comprendidos entre el río Ligua y el Laja. Estos antecedentes, aunque parciales, son de interés para obtener datos preliminares, del tamaño de los materiales de fondo, necesarios para realizar estudios de hidráulica fluvial y arrastre de sedimentos. Se indican también algunas recomendaciones referente a la forma de efectuar el muestreo y análisis granulométrico.

1. Ingeniero Civil. Empresa Nacional de Electricidad S.A.
2. Ingeniero Civil. Empresa Nacional de Electricidad S.A.

1. INTRODUCCION

El relieve de Chile se caracteriza por ser predominantemente montañoso, debido a la existencia de : sus cordilleras longitudinales, (cordilleras de Los Andes y de la Costa), los valles que las atraviesan (valles transversales) y las depresiones de origen tectónico (valle Central).

Este relieve que presenta una pendiente general que va de oriente a poniente, hace que la mayoría de los rios se desarrollen en esa misma dirección, naciendo en la frontera con Argentina a cotas que habitualmente superan los 4.000 m.s.n.m, desembocando en el mar después de recorrer distancias que generalmente no sobrepasan los 200 km.

En la primera parte de su desarrollo, los cursos de estos rios presentan una gran pendiente y una gran capacidad de erosión, por lo que es habitual que sus cauces sean angostos y queden labrados en roca. Los depósitos fluviales son muy gruesos , heterogéneos y escasos.

A medida que se avanza en su desarrollo, la pendiente del rio va disminuyendo por lo que su poder erosivo se va viendo reducido, dejando incluso la posibilidad de depositar parte del material que arrastra, lo que ha permitido la formación en sus cajas de depósitos fluviales importantes. En general en la primera zona de depositación del río, la caja de éste queda limitada por cerros que definirían totalmente sus riberas incluso en crecidas de gran magnitud. Mas adelante, sin cambiar significativamente de pendiente los rios abandonan los cajones de la cordillera de Los Andes ingresando a la planicie del valle Central, donde no existe un relieve que asegure el confinamiento del flujo en una zona determinada en caso de una crecida de proporciones, siendo frecuente observar que el curso actual del mismo se desarrolla por la parte más alta del cono de deyección o abanico aluvial que éste ha formado con el material que ha depositado al salir de esta llanura. Una vez que los rios abandonan el valle Central, ingresan nuevamente en zona montañosa (Cordillera de La Costa), condición que mantienen hasta desembocar en el mar. En esta parte de su desarrollo el curso del rio presenta una apariencia similar a la que se aprecia en él antes de salir al valle Central, aún cuando con menor pendiente, lo que se manifiesta en depósitos fluviales más finos.

La mayoría de los rios importantes de la zona Central de Chile se ajustan a

la descripción recién dada; además de la similitud de relieve, estos rios suelen desarrollarse en formaciones geológicas parecidas erosionando rocas y depósitos de suelos que no difieren mucho de un rio a otro. Este par de hechos hacen que los depósitos fluviales que se producen en sus cajas, en sus diferentes secciones, presenten una distribución o curva granulométrica que no difieren significativamente de un rio a otro. La curva granulométrica de estos depósitos es un parámetro que interviene en la solución de innumerables problemas prácticos. La obtención de esta información en los rios que se comentan, es una operación que demanda un trabajo importante dado que obliga a efectuar ensayos granulométricos que comprometen volúmenes importantes de suelo, debido a que estos depósitos están formados por suelos muy gruesos. En el caso de obras pequeñas o en el estudio preliminar de proyectos, habitualmente no se dispone de fondos para efectuar estos ensayos, por lo tanto la información necesaria debe obtenerse por otros medios, siendo frecuente que ella provenga de lo registrado mediante ensayos en una zona que presente características similares a la de estudio.

Instituciones tales como Universidad de Chile, ENDESA, Ministerio de Obras Públicas, además de otras, han efectuado ensayos granulométricos que comprometen volúmenes importantes de suelo de los depósitos que forman las cajas actuales de varios rios de las zonas Central de Chile, ensayos que se han ejecutado para proyectos específicos. En este trabajo se entrega una parte importante de esta información, antecedentes que pueden ser la base para estimar la granulometría de un depósito en la caja de un rio para un determinado proyecto en que no puedan desarrollarse ensayos, ya sea por razones de tiempo o costos

2. CATASTRO DE LA INFORMACION DISPONIBLE

En la Figura N°1 y en el Cuadro N°1 se indican la ubicación de los puntos en que se han efectuado los ensayos granulométricos integrales que comprenden este catastro. La totalidad de esta información queda comprendida entre los rios Ligua y Laja, o sea corresponde a la zona Central de Chile.

Todas las granulometrías integrales, entendiéndose por tales aquellas que representan a la totalidad del material de la muestra, han comprometido profundidades entre 1 y 3 m con volúmenes de suelo que varían entre 600 lt y 10.000 lt el que depende del tamaño máximo del material involucrado. En

estos ensayos el suelo habitualmente ha sido dividido en dos fracciones, separación que se ha efectuado en malla 3" o 6" , la fracción superior a la malla recién señalada se ha analizado íntegramente en terreno, mientras que la otra se procesa en laboratorio conforme a las normas chilenas (NCh.) o americanas (A.S.T.M.) siguiendo el procedimiento de tamizado.

En la elección del punto a controlar se ha cuidado siempre de elegir uno en el área seleccionada que represente bien al conjunto, evitando efectuar el análisis en puntos singulares tales como : bancos de arena, zonas de grava desprovistas de arena, etc., los que son frecuente en formaciones fluviales como las estudiadas, pero que generalmente comprometen volúmenes reducidos de la formación.

En las Figuras N°s 2 a 9 se presentan en forma gráfica (gráficos semi-logarítmicos) los resultados de los ensayos que se informan. En el Cuadro N° 1 se resumen los parámetros característicos (tamaño máximo (D90%), Diámetro medio, Diámetro 50%) de cada una de las granulometrías efectuadas.

El diámetro medio (Dm) que se define mediante la relación

$$D_m = \frac{1}{100} \sum \Delta P_i D_i$$

donde :

Pi = valor en porcentaje de cada intervalo en que se divide la curva granulométrica.

Di = diámetro promedio del intervalo.

fue en realidad calculado teniendo en cuenta solamente la parte de la curva granulométrica que estaba totalmente definida, o sea se consideraron los valores a partir del diámetro de la primera malla que retiene material.

Por otra parte se entiende por :

-D90 el diámetro del material tal que el 90% en peso de él está constituido por partículas iguales o menores.

-D50 Id para 50%

Se indica también, en las Figuras, las coordenadas UTM aproximadas de la zona donde se realizó el muestreo. Como un valor de referencia se incluye

la pendiente de cauce en el tramo donde se ubica el pozo. Dicha pendiente se ha calculado a partir de las planchetas 1:50.000 del Instituto Geográfico Militar.

COMENTARIOS A LAS CURVAS GRANULOMETRICAS.

La mayoría de los ensayos efectuados, que cubren una parte del desarrollo de los ríos desde la cordillera al mar, muestran que los depósitos están formados por gravas gruesas limpias con abundantes bolones y porcentajes variables de arena.

Gran parte de estos suelos presentan una mala graduación debido a la escasez de material que se registra entre las mallas 3/4" y # 16 U.S. Standard (gravilla y arena gruesa). La razón de esta deficiencia podría tener su origen en la siguiente explicación (siguiendo las ideas expuestas por Lowe 1978) : Los ríos presentan una gran pendiente (1% al 5%) por lo tanto, la velocidad del agua en su cauce durante crecidas alcanza cifras importantes, lo que hace que los bloques, bolones y gravas gruesas se muevan a lo largo del fondo rebotando y rodando; la arena fina y los finos van como sedimento en suspensión; pero las partículas de gravilla y arena gruesa son demasiado grande para ser arrastradas en suspensión, sin embargo cuando se desplazan como acarreo de fondo, rebotan intensamente sobre el fondo recubierto de bolones y gravas gruesas y pronto se rompen en fragmentos menores, esta rotura de granos continúa hasta que todo lo que queda son partículas del tamaño de arena fina o finos, las cuales a su vez, entran en suspensión. Este fenómeno también explica en cierta medida el acorazamiento que suele observarse en el cauce mismo de estos ríos.

En un análisis simple parecería que la pendiente del río así como también su caudal medio serían parámetros adecuados para definir en forma aproximada, sin ensayos especiales, las características de la curva granulométrica de un depósito en que no puedan efectuarse análisis. Para confirmar esta hipótesis es necesario, sin embargo, contar con mayores antecedentes que los actualmente disponibles, por esta razón en este trabajo no se ha pretendido más que recopilar y mostrar la información disponible.

Otro hecho que debe destacarse es que la granulometría de un depósito en un área determinada, no es única. Habitualmente ella queda incluida en una banda granulométrica que es relativamente estrecha. Este hecho es mas

marcado en las áreas del río que presentan menores pendientes, dado que en dichas zonas los depósitos presentan un tamaño máximo menor, por lo tanto la fracción mas gruesa del suelo pesa menos en el conjunto.

4. RECOMENDACIONES PARA EL MUESTREO Y ANALISIS GRANULOMETRICO

Basándose en las especificaciones para los muestreos y análisis realizados con ocasión del Estudio de Degradación del río Maule (CRH. U. de Chile, 1981) y en la experiencia de los autores, se indican algunas recomendaciones básicas.

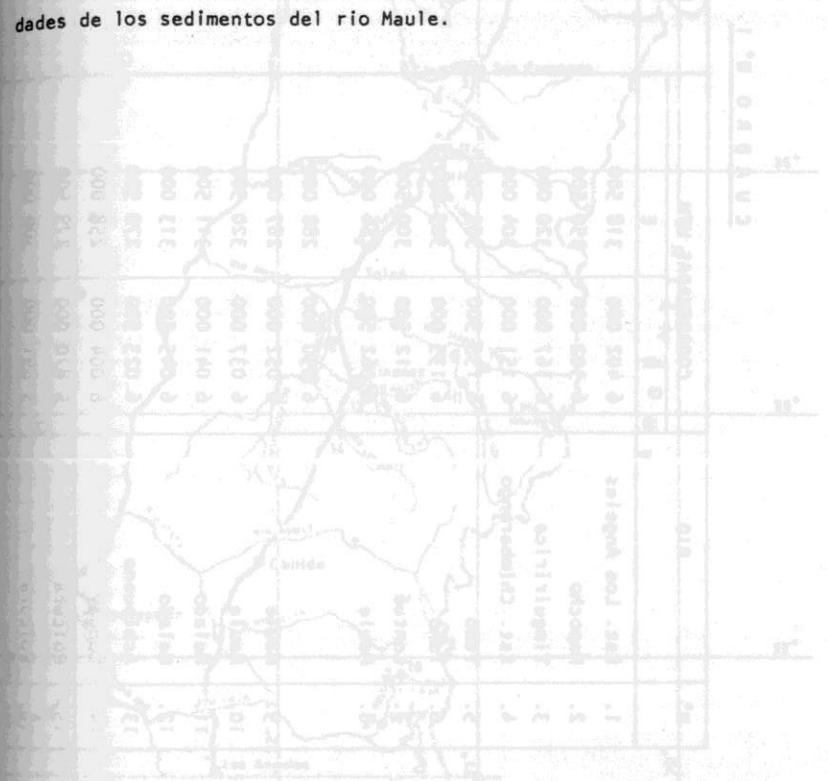
- En el tramo en estudio se ubicará un lugar dentro del lecho del río que corresponda a un banco móvil de acarreo. Debe tenerse cuidado en elegir un punto que represente bien el conjunto, evitando efectuar el muestreo en puntos singulares tales como, bancos de arena, zonas de gravas desprovistas de arenas, etc.
- En el punto elegido se excava un pozo, en lo posible, de 2 x 1 m² de superficie (pero no menos de 1 x 1 m²) y de unos 2 metros de profundidad, lo más cerca que se pueda del escurrimiento.
- El muestreo y análisis granulométrico se realizará por capas separadas de 0,50 m de espesor. De esta forma se podrá conocer la variación de la granulometría con la profundidad.
- El análisis granulométrico se realizará sobre el total de lo excavado en cada capa según el procedimiento que se indica a continuación .
- Cada muestra (o sea el material total de cada capa) se separará por la malla 3" o 6" (dependiendo del tamaño máximo de la muestra) en dos submuestras M1 y M2. Cada submuestra se pesará en sitio.
- A la submuestra M1 (material retenido en 3" o 6") se le efectuará una granulometría en sitio, que comprometa todo el material. Dependiendo del tamaño máximo se deberán usar las mallas 6", 8", 12", 16", 20", 24" etc. Conviene destacar la importancia de definir adecuadamente el tamaño máximo por su incidencia en el diámetro medio.
- De M2 (bajo 3" o 6") se elegirá una porción de unos 100 kgs por el método de cuarteo. A esta porción se le hará en laboratorio un ensayo de granulometría y humedad.

UBICACION ZONAS DE MUESTREO

Como resultado se obtendrá la curva granulométrica de cada capa y la total del pozo. Estas curvas deberán englobar los resultados de los ensayos de laboratorio y los en sitio, convenientemente corregidos en lo que a humedad se refiere. Así se considerarán en los resultados los pesos del suelo seco.

5. BIBLIOGRAFIA

- J. Lowe III. 1978. Diseño de la cimentación de la Presa Tarbela. IV conferencia de Nabor Carrillo.
- Centro de Recursos Hidráulicos U. de Chile 1981. Estudio de la degradación del río Maule. Informe de los estudios de terreno realizados para determinar las propiedades de los sedimentos del río Maule.

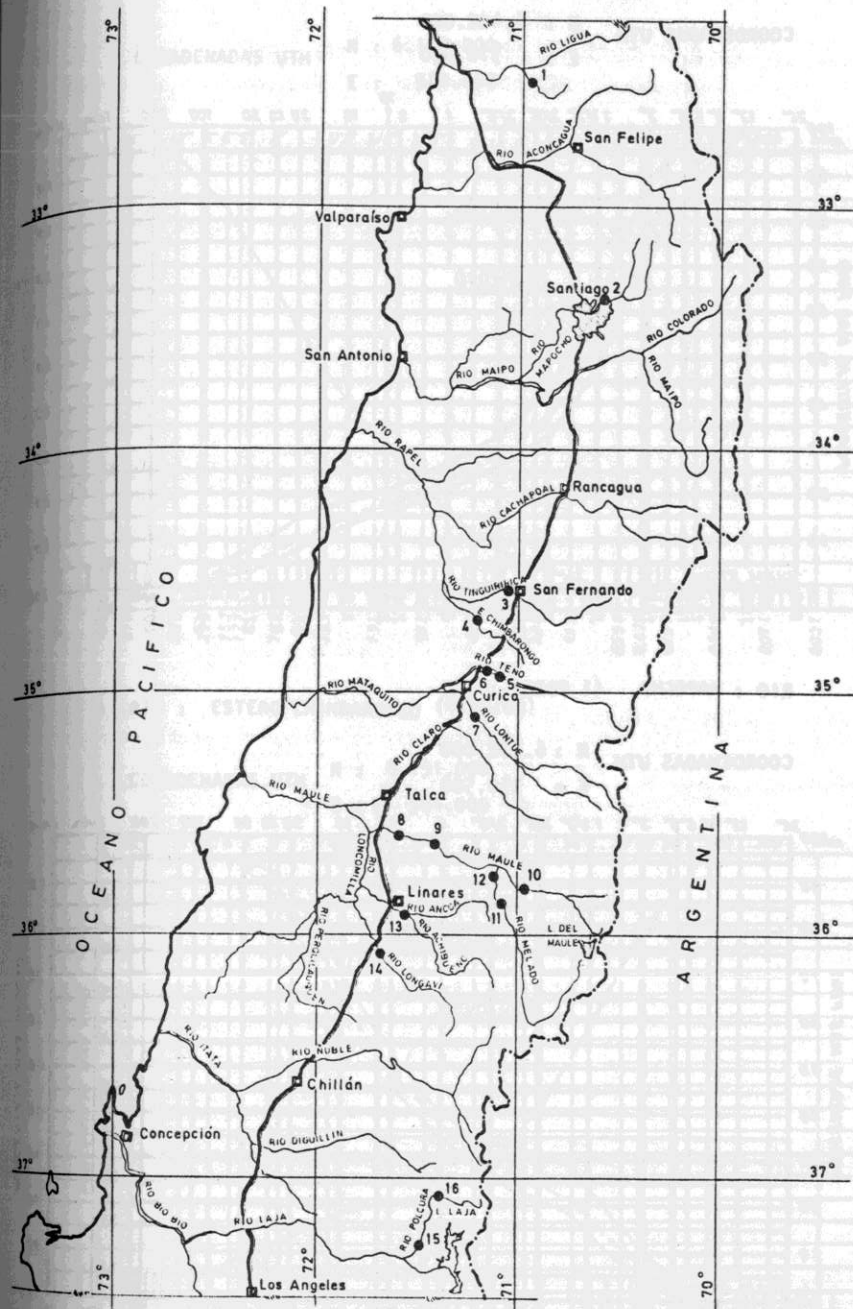


CUADRO N° 1

N°	RIO	COORDENADAS UTM		PENDIENTE	D90 mm	D50 mm	DM mm
		N	E				
1.	Est. Los Angeles	6 402 000	318 500	0,012	132	34	42
2.	Mapocho	6 302 000	350 500	0,010	133	29	55
3.	Tinguiririca	6 167 000	320 000	0,005	194	35	64
4.	Est. Chimbarongo	6 151 000	304 000	0,0045	67	13	20
5.	Teno	6 135 500	303 500	0,009	246	33	68
6.	Teno	6 135 000	309 000	0,010	343	94	97
7.	Lontué	6 112 500	300 500	0,0065	250	60	77
8.	Maule	6 062 500	256 000	0,0050	281	68	89
9.	Maule	6 050 000	288 000	0,012	465	254	206
10.	Maule	6 052 000	287 000	0,005	457	115	144
11.	Melado	6 037 000	320 500	0,011	502	213	211
12.	Melado	6 041 000	311 500	0,007	254	54	84
13.	Achibueno	6 045 500	313 000	0,004	314	88	94
14.	Longavi	6 023 500	270 500	0,005	406	104	85
15.	Polcura	6 004 000	258 000	0,007	169	29	63
16.	Polcura	5 870 000	279 500				
	Polcura	5 891 000	300 000				

FIGURA N° 1

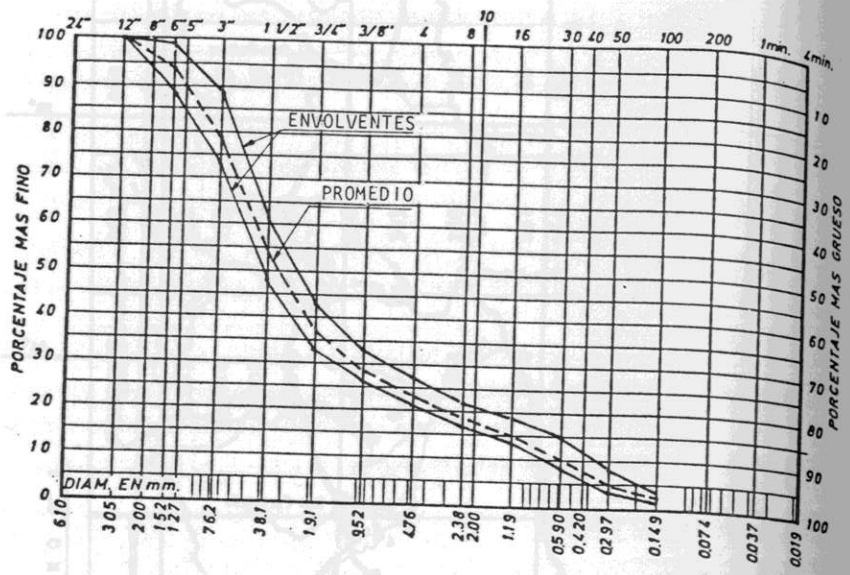
UBICACION ZONAS DE MUESTREO



RIO : ESTERO LOS ANGELES (8 POZOS)

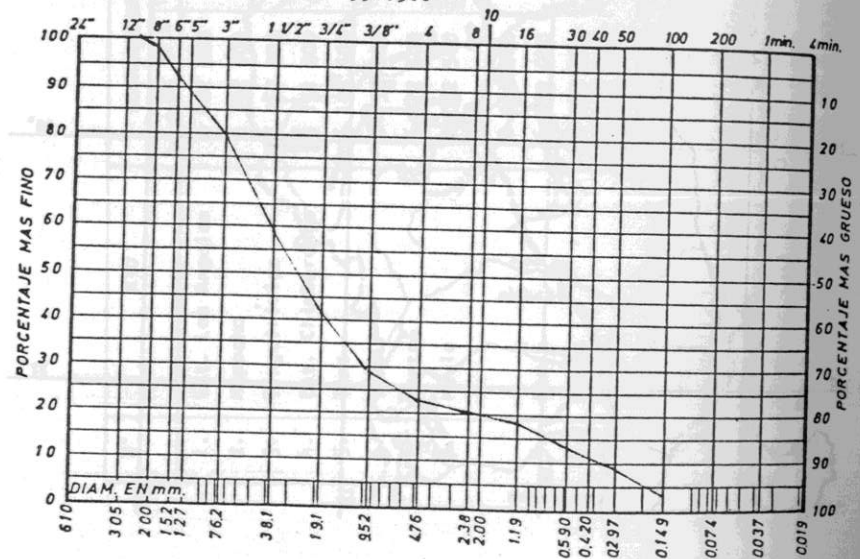
FIGURA N° 2

COORDENADAS UTM N : 6.402.000
E : 318.500



RIO : MAPOCHO (1 POZO)

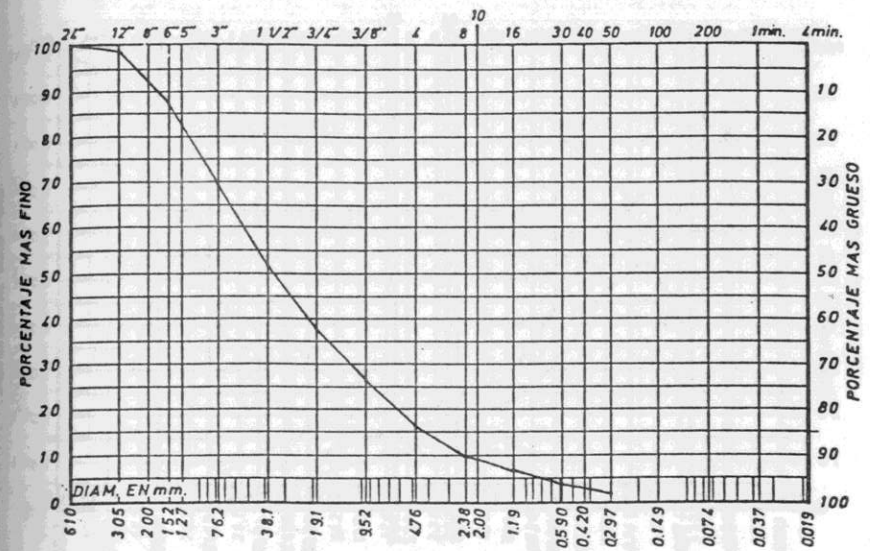
COORDENADAS UTM N : 6.302.000
E : 350.500



RIO : TINGUIRICA (1 POZO)

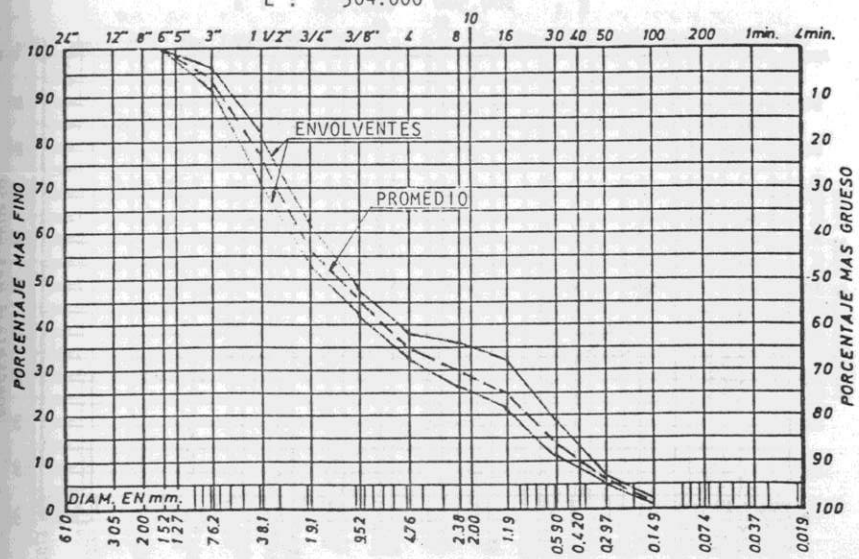
FIGURA N° 3

COORDENADAS UTM N : 6.167.000
E : 320.000



RIO : ESTERO CHIMBARONGO (4 POZOS)

COORDENADAS UTM N : 6.151.000
E : 304.000

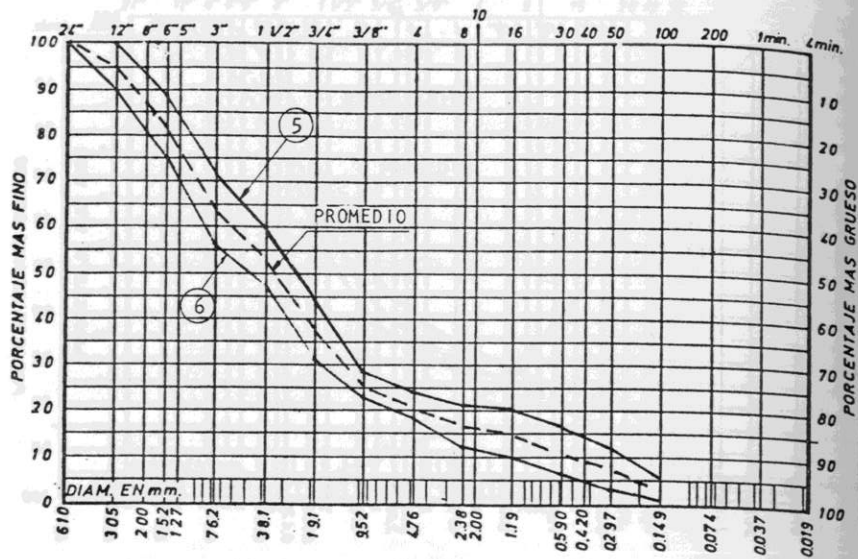


COORDENADAS UTM N : 6.135.500 E : 303.500

5 6

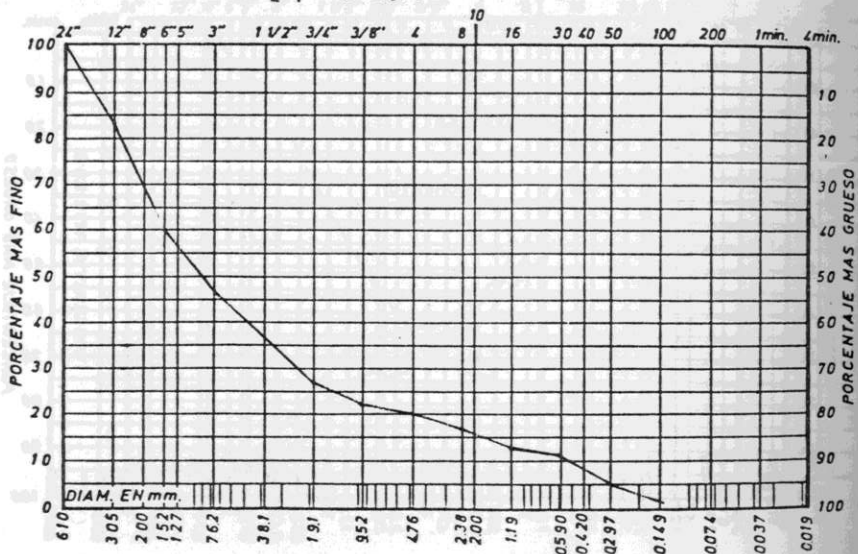
COORDENADAS UTM N : 6.135.500 E : 303.500

COORDENADAS UTM N : 6.135.000 E : 309.000



RIO : LONTUE (1 POZO)

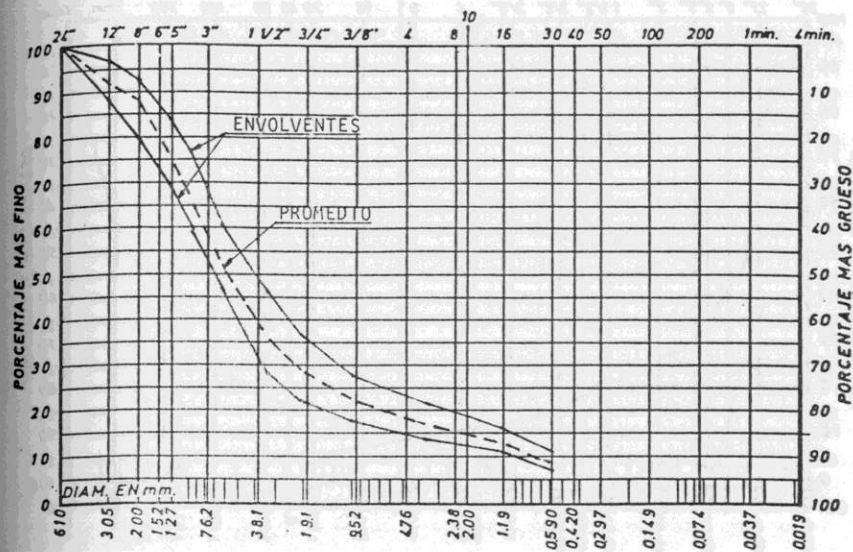
COORDENADAS UTM N : 6.112.500 E : 300.500



RIO : MAULE (6 POZOS)

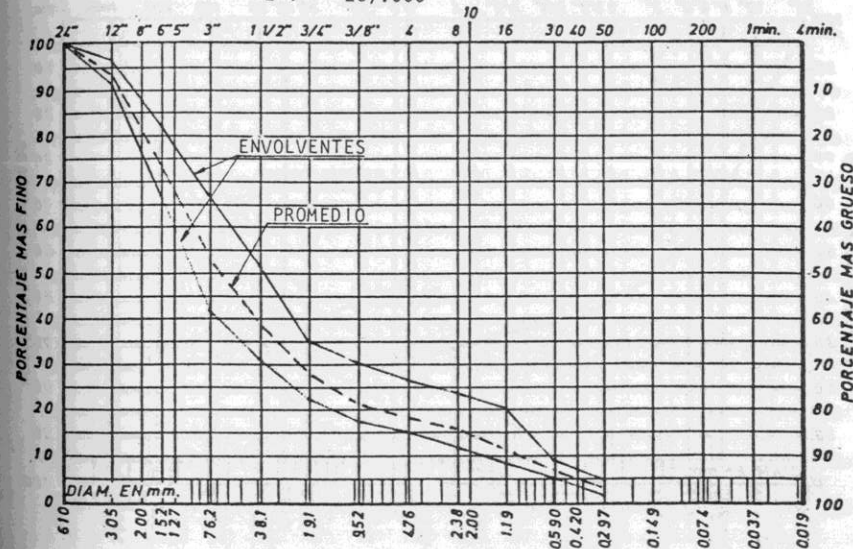
COORDENADAS UTM N : 6.062.500 E : 256.000

6.050.000 288.000



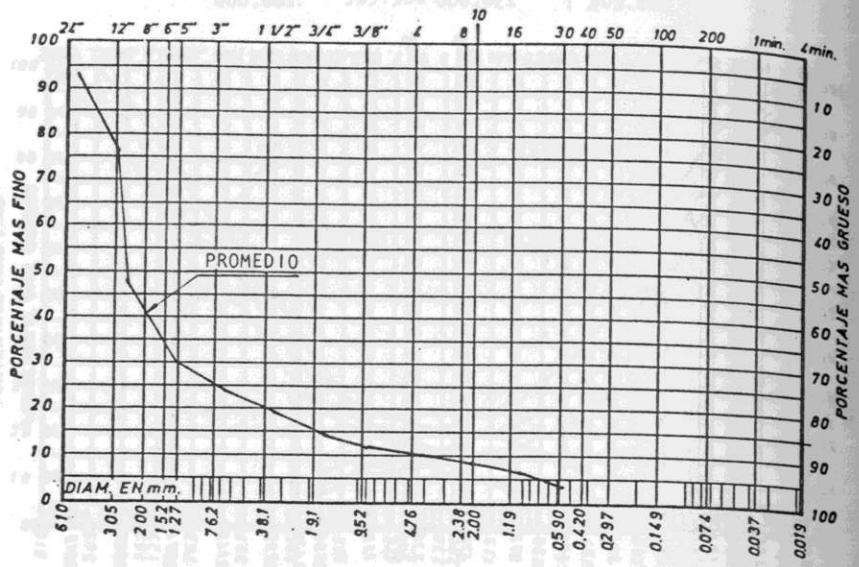
RIO : MAULE (7 POZOS)

COORDENADAS UTM N : 6.052.000 E : 287.000



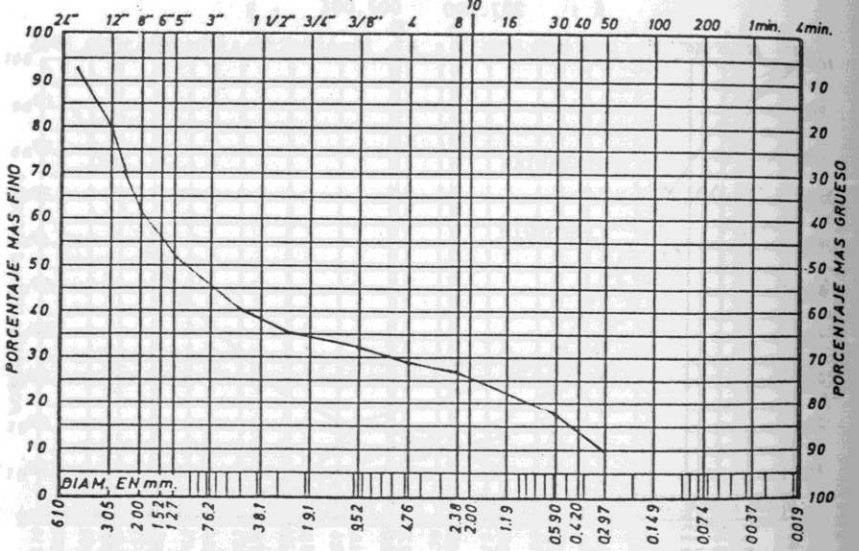
RIO : MAULE (2 POZOS)

COORDENADAS UTM N : 6.037.000
E : 320.500



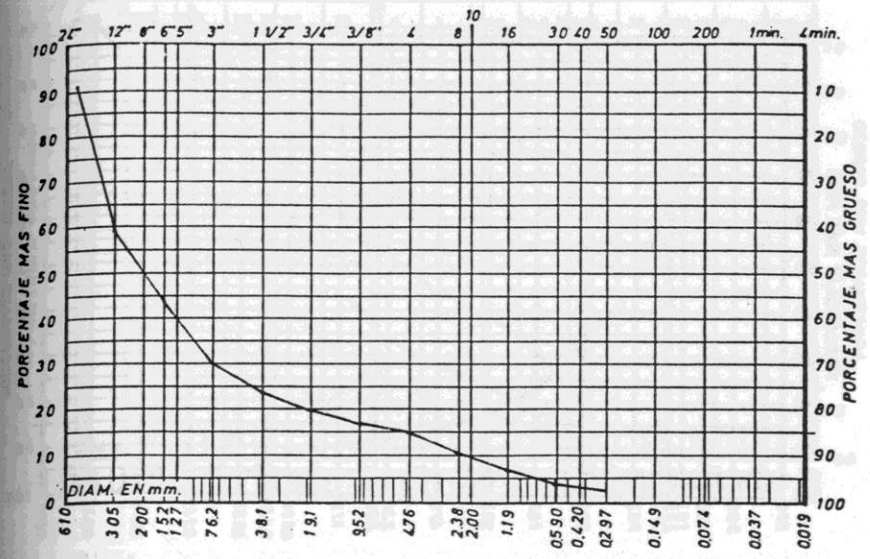
RIO : MELADO (1 POZO)

COORDENADAS UTM N : 6.041.000
E : 311.500



RIO : MELADO (1 POZO)

COORDENADAS UTM N : 6.045.500
E : 313.000



RIO : ACHIBUENO (4 POZOS)

COORDENADAS UTM N : 6.023.500
E : 270.500

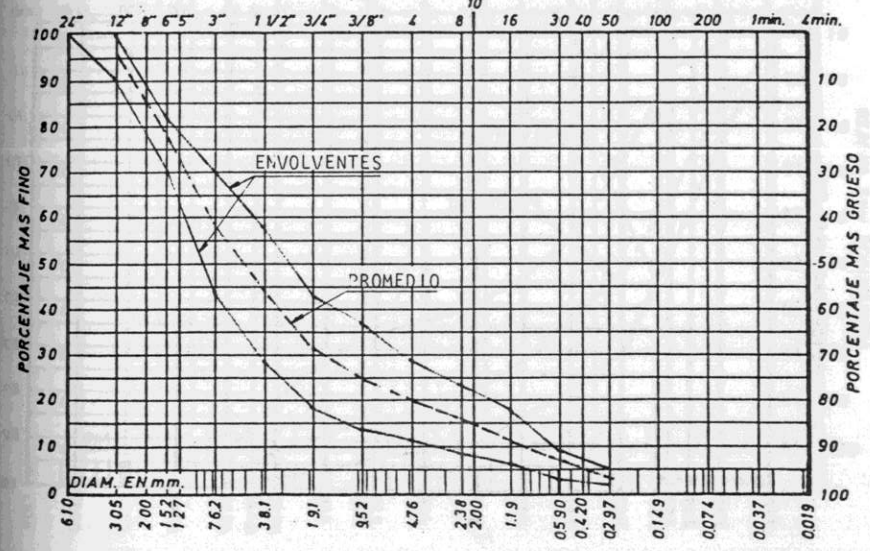
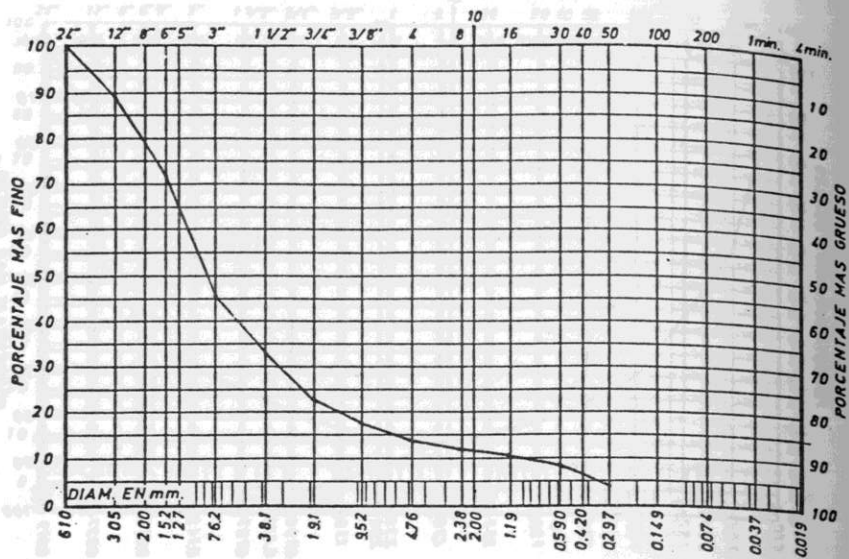


FIGURA N° 8

RIO : LONGAVI (1 POZO)

COORDENADAS UTM N : 6.037.000
COORDENADAS UTM E : 258.000



RIO : POLCURA (8 POZOS)

COORDENADAS UTM N : 5.870.000
COORDENADAS UTM E : 279.500

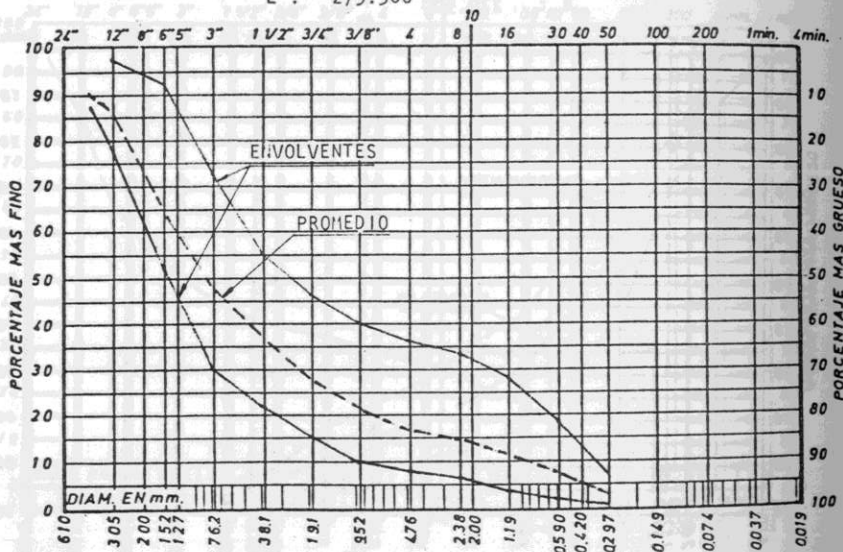
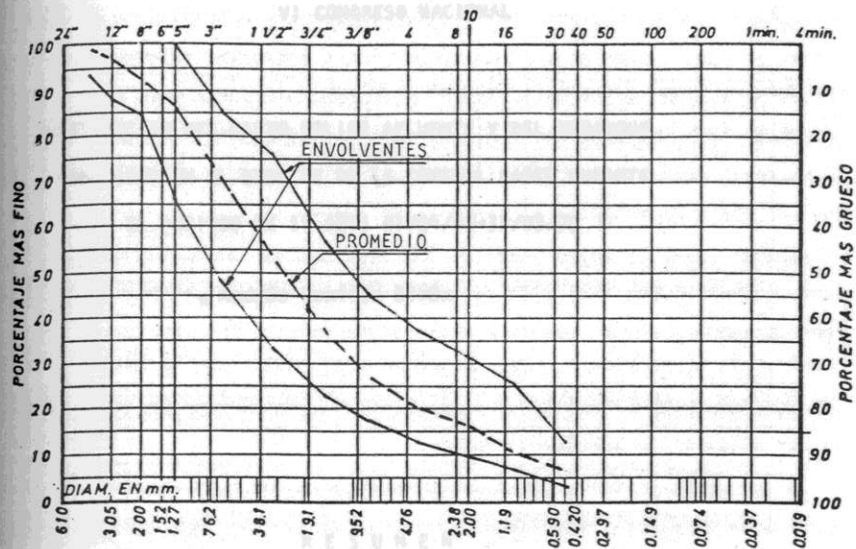


FIGURA N° 9

RIO : POLCURA (8 POZOS)

COORDENADAS UTM N : 5.891.000
COORDENADAS UTM E : 300.000



RIO : ... resumen del estudio realizado para analizar y estimar el ... producido en el embalse de la central Repal, después de 11 ... con el período 01/05/68 - 31/03/73.

COORDENADAS UTM N :
COORDENADAS UTM E :

