

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**

**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**



**EL TRATAMIENTO DEL HUAYCO  
DE LA SUBCUENCA  
SANTA MARIA YANACOTO No.5 CHOSICA**

**TESIS**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE**

**INGENIERO CIVIL**

**DANIEL ANGEL FERNANDEZ CHENG**

**PROMOCION : 1990 - I**

**LIMA - PERU**

**1992**

## INDICE

	Pag.
<b>CAPITULO I: Introducción</b> .....	1
<b>CAPITULO II: Aspectos Generales</b> .....	7
2.1 Antecedentes de Trabajos Hidráulicos en Roca .....	8
2.2 Ubicación de la Comunidad de Yanacoto N° 5 .....	20
2.3 Historia de la Subcuenca Yanacoto N° 5 .....	22
2.3.1 Restos Arqueológicos .....	22
2.3.2 Central Hidroeléctrica .....	24
2.3.3 Comunidad de Yanacoto N° 5 .....	28
<b>CAPITULO III: Aspectos Geológicos y Geomorfológicos</b> .....	31
3.1 Aspectos Geológicos .....	32
3.2 Aspectos Geomorfológicos .....	41
<b>CAPITULO IV: Características de la Subcuenca</b> .....	47
4.1 Topográficas.....	48
4.1.1 Area de la Cuenca y Subcuencas.....	52
4.1.2 Características más importantes del Cauce de la Subcuenca .....	54
4.1.3 Pendiente de Laderas .....	61
4.2 Hidrológicas .....	64
4.2.1 Cálculo del Caudal Máximo y Mínimo Probable para el Dimensionamiento del cauce .....	66
a) Métodos Hidrológicos .....	66
b) Método Práctico del Ing. A. Martínez Vargas .....	110
4.2.1.1 Determinación de los Caudales Máximos y Mínimos .....	114
4.2.2 Dimensionamiento del Cauce .....	121
4.2.2.1 Deducción Teórica de la Velocidad del Huayco .....	123
4.2.2.2 Determinación de la Sección del Cauce .....	125
<b>CAPITULO V: Condiciones Hidráulicas</b> .....	132
5.1 Creación, Efectos y Características del Huayco .....	133
5.2 Zonas de Erosión de Fondo y Lateral .....	137
5.3 Zonas de Vórtices .....	139
5.4 Zonas de Sedimentación .....	142

<b>CAPITULO VI: Obras Hidráulicas para el Tratamiento del Huayco</b> .....	144
6.1 En el Cauce Alto y Medio con Tecnología Propia .....	145
6.2 En el Cauce Bajo con Tecnología Propia e Incorporando el Canal de Demasías de la Antigua C. H. de Yanacoto .....	153
6.3 Diseño de Obras Hidráulicas de la Alternativa Propuesta .....	155
<b>CAPITULO VII: Documentación Gráfica</b> .....	181
7.1 Fotografías del Cauce Principal.....	182
7.2 Secciones Transversales del Cauce Principal.....	196
<b>CAPITULO VIII: Conclusiones y Recomendaciones</b> .....	247
8.1 Conclusiones .....	248
8.2 Recomendaciones .....	254
<b>CAPITULO IX: Bibliografía</b> .....	257

## **SUMARIO**

La presente Tesis de Grado está enmarcada dentro del Plan de Prevención de Desastres, que se viene elaborando para evitar que se produzcan pérdidas de vida y/o pérdidas materiales de gran consideración.

El plantear obras hidráulicas para la prevención de desastres, es una de las múltiples alternativas que existen para este propósito.

Para llegar a proponer estas obras, se tuvo que empezar haciendo un análisis de todos los factores que caracterizan a la subcuenca de Yanacoto N° 5, tales como el geológico y geomorfológico, siguiendo con el topográfico e hidrológico y finalmente sus condiciones hidráulicas.

Cada uno de estos factores se describe de la manera más amplia posible, basándose en los planos topográficos, en las visitas al lugar, en informaciones personales y literarias, para luego relacionarlas entre sí y definir cuales son las obras hidráulicas necesarias para prevenir el peligro y mitigar los daños, resultando las más convenientes:



1. Muros de contención
2. Presa vertedero
3. Rápida
4. Transición
5. Canal de sección compuesta
6. Badén

Se propone que dichas obras sean construidas utilizando la roca del lugar como material predominante, las cuales estarán unidas entre sí por un mortero de cemento y arena gruesa, dicha arena también puede ser de la zona, a la cual debe darse un tratamiento previo de eliminación de partículas finas.

Las obras han sido ubicadas siguiendo un criterio técnico antes que social, por tal motivo se ven afectadas propiedades tanto de la misma Comunidad como de las vecinas específicamente del Country Club El Bosque y el Club de Empleados de Electrolima, las cuales deben colaborar de llevarse a cabo este proyecto, teniendo en cuenta que las obras hidráulicas propuestas también los beneficiarán a ellos.

# CAPITULO 1

## INTRODUCCION

## INTRODUCCION

La realización de la presente tesis se inicia a fines del año de 1990, después de realizar varias visitas a la comunidad de Yanacoto N°5, con el apoyo de PREDES (Centro de Estudios y Prevención de Desastres) y asesorado por el Ingeniero Alberto Martínez Vargas.

Los pobladores de la comunidad de Yanacoto N°5, se encuentran alarmados por los últimos huaycos caídos en las zonas de Pedregal y Quirio (1987-1989), y buscan por intermedio de PREDES el asesoramiento necesario para prevenir el peligro y mitigar los daños, ante la caída de algún huayco. Este proyecto después de los estudios básicos de Geotecnia, necesitaba de estudios específicos, uno de ellos es, las obras hidráulicas necesarias para el tratamiento del cauce del huayco.

La comunidad de escasos recursos económicos, no le es posible concretar el proyecto, por lo tanto, el estudio de este, parte sobre hidráulica aplicada a aliviar esta situación, por lo que la propuesta del asesor de contribuir con este proyecto era la oportunidad que se me presentaba, que no podía dejarla pasar y propuse el Plan de Tesis para

realizar el proyecto contando con el auspicio de PREDES y con la asesoría del Ingeniero Alberto Martínez Vargas, profesor de Magister-UNI, con amplia experiencia en la prevención de desastres y en el tratamiento de huaycos.

Para realizar el proyecto en forma ordenada, se dividió en tres etapas fundamentales, que son:

- 1) Etapa del levantamiento topográfico del cauce principal de la subcuenca.
- 2) Etapa de gabinete para el dibujo de planos y detalles importantes derivados del levantamiento topográfico y de las mediciones de campo.
- 3) Etapa del análisis de la información básica de Geotecnia, topografía, geología, geomorfología, hidrología e hidráulica, y las recomendaciones y conclusiones del estudio.

Para ser más preciso, el estudio de la subcuenca tiene por finalidad hacer un análisis y evaluación de las condiciones topográficas, geológicas, geomorfológicas, hidrológicas e hidráulicas del torrente que incluye toda la subcuenca de Yanacoto (Santa María). Luego, plantear las medidas de protección y mitigación contra huaycos, mediante obras civiles hidráulicas construídas con rocas a lo largo del cauce principal, la roca es un material abundante y bueno en la zona; además la idea para realizar el tratamiento del huayco mediante obras civiles hidráulicas usando rocas es complementada al adecuar y aprovechar la presencia de estructuras abandonadas de la primera Central Hidroeléctrica

del país construida dentro de la subcuenca (Central Hidroeléctrica de Yanacoto 1907-1960), que el Ingeniero A. Martínez Vargas, sugiere podría servir para el tratamiento del huayco aprovechando parte de sus instalaciones, como por ejemplo el canal de rebose o demasías que se encuentra en la prolongación del actual cauce medio y dentro del actual cono de deyección, el cual serviría para encauzar al huayco, dependiendo de su volumen de descarga.

La presencia de restos arqueológicos a espaldas de la Central Hidroeléctrica de Yanacoto hace al proyecto más interesante, debido a que los antiguos pobladores también debieron haber sufrido el efecto de algún huayco y será interesante averiguar como se protegieron.

La Tesis contiene los siguientes capítulos:

**CAPITULO I:** trata los motivos que me llevaron a realizar esta Tesis y los objetivos que pienso alcanzar con su realización.

**CAPITULO II:** expone en forma breve la forma en que los incas peruanos trabajaron la roca en trabajos hidráulicos, luego se hace mención a la ubicación e historia de la zona.

**CAPITULO III:** expone los aspectos geológicos y geomorfológicos de la subcuenca Santa María Yanacoto N° 5.

**CAPITULO IV:** describe en forma detallada las características topográficas e hidrológicas de la subcuenca, para luego calcular el posible volumen de descarga del huayco y con ello la sección de la obra hidráulica a diseñarse para el encauzamiento del huayco.

**CAPITULO V:** describe las condiciones hidráulicas del cauce principal de la subcuenca, enunciando las zonas en las cuales se presentan.

**CAPITULO VI:** menciona las obras hidráulicas que se proponen a lo largo del cauce principal, para luego diseñarlas.

**CAPITULO VII:** se incluye la documentación gráfica con la que se realizaron los capítulos III, IV, V y VI.

**CAPITULO VIII:** se exponen las conclusiones y recomendaciones del estudio efectuado.

**CAPITULO IX:** se incluye la bibliografía utilizada.

Con la realización de esta Tesis, espero contribuir a impulsar la investigación de proyectos similares, por que la mayoría de los pueblos que habitan dentro de quebradas que se encuentran activas, están en situaciones de peligro y riesgo, debido al bajo ingreso económico de sus pobladores no pueden solventar estos proyectos, pero están dispuestos a colaborar con las personas que se interesen en realizarlos.

La presente Tesis no se hubiera realizado, de no contar con el apoyo de mis padres Angel y Consuelo, así como de mis hermanas Nancy y Sonia, quienes en todo momento me dieron su apoyo y confianza para que termine con éxito mis estudios profesionales.

Si bien mis padres me dieron todo el apoyo moral, el Ingeniero Alberto Martínez Vargas me brindó su apoyo profesional para asesorarme, por lo que le estoy infinitamente

agradecido, del mismo modo sin el apoyo y auspicio de PREDES, quienes desde un principio confiaron en mí, no hubiese acabado esta Tesis, por lo que también les estoy agradecido.

Del mismo modo agradezco a mi amigo y compañero de promoción Javier Ortiz Rodríguez por haberme ayudado desde un principio en todos los pasos previos a la culminación de mi tesis, así como a toda su familia por haberme recibido en su hogar para realizar el presente trabajo.

Un agradecimiento especial a mis compañeros de estudios Angel Barrera Ramos, Leoncio Ramos Moreno, Wilmer Pinao Atanacio y Miguel Bravo Alarcón por haberme ayudado en el levantamiento topográfico del cauce principal de la subcuenca.

Finalmente agradezco a todos mis profesores de la Facultad de Ingeniería Civil, quienes hicieron posible mi formación profesional y en especial a los de Hidráulica y Mecánica de Suelos que me ayudaron a aclarar y comprender otro campo de la hidráulica aluvional de los huaycos.

**DANIEL ANGEL FERNANDEZ CHENG**

# **CAPITULO 2**

## **ASPECTOS GENERALES**



## 2.1 ANTECEDENTES DE TRABAJOS HIDRAULICOS EN ROCA

El plantear medidas de prevención y mitigación de desastres, utilizando la roca como material de construcción, la cual es predominante en la zona, no es algo reciente, pues hubo intentos en el pasado con mucho éxito.

Para el proyecto, el material básico de construcción en todas las obras de encauzamiento, tratamiento, regulación, control de huaycos se pretende sea la roca disponible.

Según el trabajo del Ingeniero Alberto Martínez y del Bachiller UNI Eduardo Santos (1990), "La Roca una alternativa en la Mitigación de Desastres Naturales, Huaycos-Chosica", plantean a la roca como el único material a la mano, disponible, sin costo alguno, de mejor comportamiento y resistencia al paso de los huaycos que cualquier otro material de construcción convencional. Agregan que en la antigüedad el uso de la roca con sus medios limitados en el tratamiento y técnica artesanal tuvo un sentido altamente técnico, práctico y humanístico, pues no hay otro material más noble y resistente que la roca contra los huaycos.

En otro párrafo de su trabajo manifiestan que encuentran abandono, falta de interés, para el uso de rocas en donde abunda este material básico, lo cual según ellos es una aberración inexplicable con la realidad socio-económica, más aún si existen antecedentes históricos del uso de las rocas en Chosica por los primeros pobladores cuyos restos

arqueológicos, huacas y agrupamientos humanos proyectaron su tecnología Pre-Inca a los andenes de Santa Inés, Moyopampa y San José de Pallé.

En base a lo manifestado, se hace necesario desarrollar una tecnología en Ingeniería Civil propia para el caso de huaycos, rescatando tecnología de la experiencia de nuestros antepasados Pre-Incas e Incas en el uso de la roca; ya que ellos mejor que nadie en el mundo la supieron aprovechar para construir sus obras hidráulicas, las cuales maravillaron a propios y extraños.

A continuación mencionaré testimonios de personajes nacionales y extranjeros, que han sido recopilados por el Ingeniero Civil Alberto Regal (1970) en su libro "Los trabajos hidráulicos del Inca en el antiguo Perú", estos testimonios cuentan las maravillas de la ingeniería hidráulica desarrollada por los antiguos peruanos, quienes utilizaron a la **roca** como el material base para sus diversas obras.

El propio Ing. A. Regal nos dice:

"En el periodo 500-300 a.C., fue una época de adelanto y de industria. Se practicó el riego y se introduce el cultivo de ciertas plantas no conocidas anteriormente. Se construyen andenes."

"Con referencia a la construcción de terrazas o andenes se ha establecido que en la sierra se inició con posterioridad a la costa, para este origen se fija para la sierra el periodo de 1000-1440 d.C."

Con relación a la cultura Chavín 850-500 a.C., dice:

"La agricultura se presentó en la forma llamada establecida, es decir poseyendo ya los fundamentos de un tipo superior. Se conocía el riego y se utilizaban las prácticas agrícolas como un elemento principal de la economía, figurando el maíz en forma preponderante, según Federico Engel (1965) en su obra "Historia elemental del Perú antiguo" dice que los hombres de esta cultura ya sabían construir cisternas y canales para almacenar y repartir aguas de lluvias."

Sobre Chavín de Huantar, el Ingeniero Julio Bustamante Ponce (VII CONIC-Huaraz-Perú), nos dice:

"Las construcciones de los diferentes canales tienen generalmente las mismas características, diferenciándose mayormente por la calidad de la misma construcción. Todos los canales son de sección rectangular, el material principal utilizado es la **pedra** y mortero de barro en la unión de piedras, existiendo dos tipos de canales, subterráneos y superficiales. Estos últimos son todos de sección rectangular, sus trazos son por lo general rectos y sus dimensiones uniformes. El fondo de estos canales es de piedra de diversos tamaños y barro, dispuestos de tal manera que permiten una superficie plana."

Con relación a la cultura Mochica 300 a.C.-500 d.C., Regal dice:

"Sus obras de ingeniería hidráulica tuvieron gran importancia. Emplazaron canales de derivación de los ríos y usaron reservorios. Los campos de cultivo estaban subdivididos en áreas pequeñas por medio de diques y muros, también los

cruzaban senderos de un nivel más alto, para permitir el pasaje a través de aquéllos campos, cuando se encontraban bajo riego."

Con relación al trabajo en general que realizaban los Incas, nos dice:

"El otro tipo de labores agrícolas era el realizado en obras de bien común, que podemos llamar estatales, con alguna libertad. Para este trabajo no se designaban o nombraban a los individuos personalmente, sino por comunidades, o sea un conjunto de personas unidas por algún vínculo de sangre, de localidad, interés, etc., la selección de los grupos para esos trabajos, se hacía en forma rotativa. En esta modalidad se ejecutaban las obras hidráulicas de volumen, como canales de desviación, reservorios, grandes andenes, canalización y defensa de riberas fluviales, etc."

Menciono este párrafo para hacer referencia de como deben trabajar los pueblos que se encuentran dentro de las quebradas activas, los cuales tienen un interés común, que es el de salvarse de los efectos de un huayco.

Con relación a las obras hidráulicas de los Incas, nos dice:

"Los Incas ejecutaron casi todos los tipos de obras de arte hidráulica que emplea el técnico contemporáneo con la diferencia, por supuesto, de los medios y procedimientos de una y otra época. En resumen dichos trabajos fueron: almacenamientos, reservorios y represas; en los ríos, canalización de fondos y orillas, obras de defensa de las

riberas, trabajos de desviación de las aguas de ríos y lagos, apertura de acequias y canalización de las mismas, acueductos y socavones, cortes y rellenos para permitir el paso de las aguas, redes de acequias de distribución para los campos de cultivo."

Luego menciona parte de un escrito del Inca Garcilazo de la Vega (1609) en relación a este tema: "Habiendo conquistado el Inca cualquier reino o provincia y dado asiento en el gobierno a los pueblos y viviendas de los moradores, a su idolatría y leyes, mandaba que se aumentase las tierras de labor, que se entiende las que llevaban maíz, para lo cual mandaba traer a los "ingenieros" de acequias de agua (Amautas), que los hubo famosos, como lo muestran hoy sus obras, así como las que se han destruido, cuyos restos se ven todavía, como las que viven."

Una manera de prevenir los deslizamientos de los cerros debido a las lluvias, fue la construcción de los andenes, cuya técnica los Incas la dominaron a la perfección, el Ing. A. Regal nos dice acerca del andén de Colccampata:

"Esta notable obra de ingeniería incaica de la ciudad del Cuzco, consiste principalmente para el tema, de un largo muro de piedra labrada, de unos dos metros de altura, que servía de sostenimiento a una amplia terraza posterior, presentando en lo que podríamos llamar fachada del muro, nichos u hornacinas capaces de aposentar a una persona de pie."

En relación a los andenes del Cuzco, el Ing. A. Regal, menciona un párrafo del libro de Pedro Pizarro (1571) "Descubrimiento y Conquista del Perú", editado en Lima en 1917, el cual nos dice:

"Eran todos los andenes cortados de **pedra**, por la parte por donde podría derrumbar, como de un estado (1.95 m.) y otros de más y otros de menos"

"Tenían puestos en algunos, unas **piędras** hincadas a trechos en la pared del andén, una braza y menos, puestas a manera de escalera por donde (los indios) subían y bajaban. Este orden tenían estos andenes para que el agua no los deshiciera..."

En cuanto a los sistemas de canales, el Ing. A. Regal, menciona un párrafo del boletín de geología "Estudio de la Riqueza Territorial de la Provincia de Piura", escrito por el publicista Víctor Eguiguren en 1894, el cual dice:

"Pero la obra verdaderamente notable es el gran canal que partiendo de Hualcas, atravezaba Serrán, Salitral, La Ala y Buenos Aires, dirigiéndose enseguida al despoblado de Pabur."

"La primera vez que vi esta acequia, fue en Salitral, siguiendo el camino que va al pie de los cerros, me encontré con una calzada de cerca de 4.0 m. de ancho, y con el piso perfectamente pavimentado con **lajas**, creí que era un antiguo camino, pero más adelante comprobé que era un canal..."

El ingeniero Alberto Regal manifiesta que las acequias, reservorios, canales de derivación, tomas y conducción de aguas de riego, fueron las obras hidráulicas que más ejecutaron los antiguos peruanos. Estas obras en su mayoría se ubicaban cerca de algún río, por ejemplo tenemos:

- En el departamento de Piura, se encuentra el río La Chira, del cual Germán Leguía y Martínez, escribió en el Diccionario Geográfico de Piura, en 1914, lo siguiente:

"Duval encontró una verdadera red de canales de conducción y distribución, cuya presencia acrecienta ante sus ojos, cuan vasta fue la irrigación efectuada y la agricultura alimentada por los indígenas en esa importante región territorial."

"Duval y otros dieron por situada la toma en el punto conocido con el nombre de "Bebedero de Chocán", pero lo cierto es que se abre 1 Km. más arriba del bebedero mencionado. El solado de grandes **pedras labradas**, dice Melo, encontrado en ese punto y la topografía local hacen evidente que de allí se sacaba un gran canal de derivación."

"Y agrega Duval que encontró restos claros, importantes y bien comprobados de tajamares con que los antiguos represaban el agua de aluvión en las quebradas. Aunque abandonados han resistido sin romperse 400 años."

- En el departamento de Cajamarca, se encuentra el acueducto de Cumbemayo, del cual Julio C. Tello escribió en su obra "La ciudad incaica de Cajamarca", en 1941, lo siguiente:

"El acueducto de Cumbemayo, trabajado en **roca viva**, en extensas porciones de su largo recorrido, conduce el agua desde las vertientes de los cerros Jamkal, Conejo, Frailondo y Kumbe, hasta la misma ciudad de Cajamarca."

"Logramos poner al descubierto el acueducto en una longitud de 800 m., sobre **roca viva**, con talladuras de avanzada técnica y preparamos un croquis desde la divisoria de aguas en las cumbres de máxima a Cumbe."

"Así por cerca de 1 Km. sigue este acueducto su curso en **roca durísima**, de la cual entre lugares han grabado sus constructores figuras simbólicas."

Según el Ing<sup>o</sup> Alberto Martínez Vargas, no es cierto que en el trazo del canal la mayor parte está construido en roca alterada, aún cuando conserva sus rasgos estructurales, a tal punto que en el abra, paso de la cuenca del Atlántico al Pacífico, la roca volcánica está totalmente alterada y se deja tallar con facilidad, donde se ha efectuado en 1988 otro canal, y en esta zona pasan túneles.

- En el departamento de La Libertad, se encuentra el río Moche, del cual el Ing. George Squier, escribió en su obra "Incidents of travel and exploration in the land of the Incas", en 1877, lo siguiente:

"...se tropieza entonces con los restos de una acequia importante, o conducto, la que se había desviado del río Madre unas 3 millas (4.5 Km.) arriba, hacia sus fuentes en la montaña y que estaba destinada al abastecimiento de la



antigua ciudad, habiendo sido conducido a través del valle, sobre un alto relleno."

"Este permanece todavía con una altura de 60 pies (18 m.) construido en tierra y **piedras**, con un canal en la parte superior, el que estaba originalmente revestido con **losas**, y que tenía las dimensiones de nuestros canales corrientes. Lo seguimos hasta el punto en que quedaba dominando en su base la ciudad antigua, donde el agua era distribuida por algunas acequias menores, sobre la baja llanura."

Otros párrafos interesantes, la prolija descripción de Chan Chan, por Squier, y que tienen íntima relación con nuestro tema son los que siguen:

"Dirigiendo nuestro recorrido hacia la gran huaca que se ha llamado del Obispo, pasamos una serie de excavaciones rectangulares, anchas y profundas, con sus bordes en terrazas, y revestidos con **piedras** en bruto, pero bien colocadas y con descansos o caminos en zig-zag que conducían al fondo. No se necesita mucho discernimiento, para comprender que se trata de reservorios de agua."

- En el departamento de Ancash, se encuentra el río Nepeña, del cual el mismo Ing. G. Squier, escribe:

"Otro de los reservorios del valle de Nepeña, tiene de largo  $3/4$  de milla (1250 m.), por más de  $1/2$  milla (750 m.) de ancho, y consiste en una represa maciza de **piedra**, de 80 pies (24 m.) de espesor en la base, tendido a través de una garganta que se abre entre dos elevados cerros rocosos..."

Julio C. Tello, describe trabajos en los ríos de la región Chavín, en su obra "Chavín", en 1960, lo siguiente:

"A uno y otro lado del cauce actual del Wacheksa, entre el Molino y el río Pukcha, se ven hileras de grandes piedras, como si fueran restos de la antigua canalización o defensa de las ruinas. Esto indicaría que los ríos estuvieron canalizados en la sección contigua a los edificios."

En páginas subsiguientes Tello vuelve a ocuparse de los trabajos fluviales "Existen dos tipos de murallas, uno de canalización a lo largo del río Wacheksa, y otro de defensa en la margen derecha del río Pukcha, con frente a la plaza del templo. La hilera de grandes bloques de **piedra** que corren a uno y otro lado del Wacheksa, desde la garganta de Shallapa, hasta la confluencia con el río Pukcha, no pueden ser otra cosa que murallas de canalización, porque están colocados intencionalmente para evitar el desbordamiento de las aguas en las épocas de lluvias invernales. La dirección de la canalización es curvilínea, según el curso del río, cuyo ancho es de 8 a 10 m. y su altura de 2 a 4 m."

"En la margen derecha del Pukcha, en el barrio llamado Ushnu, que queda junto a las ruinas del templo de Chavín, existe parte de una antigua muralla de defensa, que corre en línea quebrada de norte a sur, desde una gran roca o morena que se halla en la sección más angosta del cauce hasta 120 m. río arriba, donde desaparece por debajo de los muros de tierra y cascajo. La sección conservada de la muralla, mide

59 m. de largo y 3 m. de altura constituida por cuatro hileras de **piedras** pesadas."

- En el departamento de Lima, se encuentra el río Rímac, del cual Pedro Villar Córdova, escribió en su obra "Las culturas Pre-Hispánicas del departamento de Lima", en 1935, lo siguiente:

"Los naturales de Jicamarca tienen la creencia, para confirmar quizás una vieja tradición que relaciona el acueducto de Tambillo y Paucocha con la irrigación de los valles o rinconadas abandonadas de Cajamarquilla, Nievería, Canto Grande, Comas, Condevilla, Chocas y Punchauca, que no solamente hay huellas verídicas de una antigua canalización superficial, sino que existe, también un trabajo subterráneo de hidráulica, a manera de socavón, que aprovecha una corriente de agua del subsuelo y la conduce a modo de **canal empedrado**, a los sitios de Piedra Liza, Chocas y Punchauca, que son los lugares donde fluye constantemente agua pura y cristalina."

El Ing. A. Regal, menciona que Julio C. Tello, en 1939, descubrió en Pachacamac lo que llamó cisternas, las cuales eran excavaciones de plano rectangular, y sus paredes están revestidas por muros de hermosos bloks de **piedras cortadas**, además de que el agua descubierta era suficiente para alimentar acueductos subterráneos, también revestidos de **piedra cortada**, y que se distribuían por distintos lugares de la antigua ciudad Pre-Hispánica.

Al sur de Lima se encuentra el río Cañete, del cual el sabio Antonio Raimondi escribió en su obra "El Perú", en 1862, lo siguiente:

"(Viajando de Cotahuasi a Pacarán) se marcha en el antiguo lecho del río, un poco superior al actual y se notan a la derecha, los restos de una gran pared, constituida de **pedras**, tal vez con el objeto de contener el agua de la quebrada que se desborda e inunda los terrenos. Este trabajo es de los gentiles."

- En el departamento de Ica, se encuentra el río Pisco, del cual el Ing. Carlos Gonzáles, escribió en su obra "Política de Saneamiento del Perú", en 1937, lo siguiente:

"Personalmente he podido constatar, en una obra de irrigación, que estoy efectuando por cuenta de una compañía particular, en el valle de Pisco, la forma ingeniosa y hábil de como los indios conducían el agua..."

"Dentro de esta llanura extensa, constituida por tierras inmejorables y a una altura de más de 70 m. sobre el nivel del río, se encuentran todavía vestigios de los antiguos canales de los indios, constituidos por muros de **pedra**, superpuestos en seco, llamados pircas o pilcas, que encauzaban el agua y la repartían en las laderas de los cerros en las secciones horizontales, formadas artificialmente, o sea en los andenes."

"Estas secciones naturalmente no eran muy anchas, pues medían solamente de 2 a 3 m., en este sentido; pero en cambio se extendían por toda la longitud del cerro, y algunas

veces atravezaban pequeñas quebradas. Se sostienen estos rellenos por verdaderos muros de contención, formados por **pedras** de tamaño uniforme, puestas en seco, conservando su verticalidad en forma admirable."

De acuerdo a lo manifestado, se puede concluir que los trabajos hidráulicos en piedra, son posibles de realizar, para lo cual sólo es necesario la cooperación de todos los pobladores de la zona afectada, así como el asesoramiento de un Ingeniero entendido en la materia.

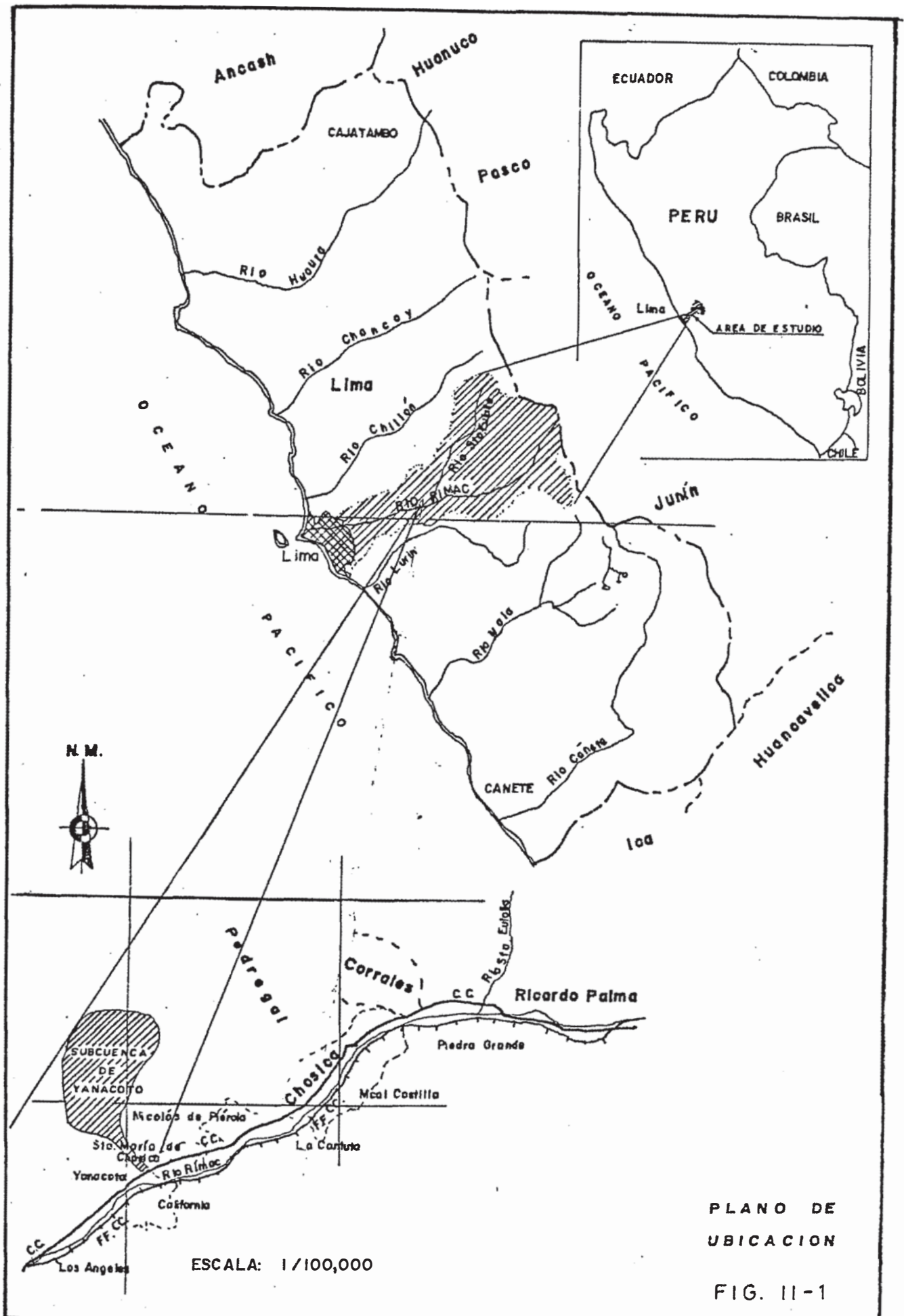
## 2.2 UBICACION DE LA COMUNIDAD DE YANACOTO N°5

La comunidad de Yanacoto N°5, se encuentra ubicada en la parte baja de la Cordillera Occidental de los Andes peruanos, en el valle del Rímac y pertenece a la cuenca de Santa María ubicada en Chosica, Lima, Perú.

El ingreso a la comunidad de Yanacoto N°5, se hace a través de la carretera Central, inmediatamente después del Country Club El Bosque, para los que van de Lima a Chosica, aproximadamente en el Km. 30, (FIG. II-1).

Sus límites geográficos son: por el Norte con Jicamarca, por el Este con el club de esparcimiento de los empleados de Electrolima y las zonas arqueológicas, por el Sur y el Oeste con el Country Club El Bosque.

La comunidad de Yanacoto N°5, toma dicho nombre debido a su cercanía con la primera Central Hidroeléctrica de Lima, la cual tuvo el nombre de Central Hidroeléctrica de



PLANO DE UBICACION

FIG. II-1

Yanacoto (1907-1960); dicha central al igual que el pueblo están en la margen derecha del río Rímac.

La cuenca de Santa María, posee tres subcuencas, estando la comunidad de Yanacoto N° 5 en la más grande de ellas y a una altura promedio de 850 m.s.n.m.

## **2.3 HISTORIA DE LA SUBCUENCA YANACOTO N°5**

### **2.3.1 RESTOS ARQUEOLOGICOS**

Los restos arqueológicos que se encuentran en las cercanías de la comunidad de Yanacoto N°5, según los arqueólogos datan de 1300 a.C y fue templo sacerdotal en los años 200 a 100 a.C.

Las personas que más han estudiado estas ruinas son el estudiante de arqueología Daniel Guerrero (1990- PUC) y el arqueólogo Ponciano Paredes, cada uno de ellos tiene una teoría sobre los antiguos pobladores de esta zona.

Según el estudiante de arqueología Daniel Guerrero, ubica a estos pobladores dentro del formativo medio y los define de características chavinoide debido a su antigüedad que data de 1300 a.C a 200 a.C, lo que se puede apreciar cerca al pueblo es un antiguo templo sacerdotal que arquitectónicamente tenía la forma de "U", este templo comienza a desaparecer por el año 200 a.C debido a rivalidades con otros pueblos, lo que los obliga a trasladarse a las partes altas buscando su propia protección; dicho templo estaba rodeado por aldeas en las partes bajas, las cuales



actualmente se encuentran sepultadas por los huaycos y por vegetación.

Según el arqueólogo Ponciano Paredes, el cual hizo un inventario arqueológico para Quirio-A, zona muy cercana a la comunidad de Yanacoto, la define como un conjunto habitacional de 150 m. por 100 m., construido con piedras las cuales estaban asentadas con barro, las habitaciones eran cerradas con techos de lajas formando falsa bóveda, se encontró tierra de otro lugar y piedra de moler, los restos encontrados en Yanacoto son: su cerámica tipo Huari-Lima de vasos, tazas, platos, poronguitos, figurines de perro, chivos hechos en pasta de color marrón; esta cerámica tenía color marrón, negro o tricolor incluyendo el blanco y rojo.

De estas dos versiones me inclino por la del estudiante de arqueología ya que su hipótesis de templo sacerdotal en forma de "U" y de la huida del pueblo hacia las partes altas se puede comprobar en la zona.

Según el Ing<sup>o</sup> Alberto Martínez Vargas la huida de los pobladores hacia las partes altas se debió a crisis climáticas, las cuales trajeron como consecuencia grandes huaycos que arrasaron con las aldeas de la parte baja, pero que no llegó a sepultar el templo sacerdotal (no se han encontrado restos de material aluvional sobre las ruinas).

Para el Ing<sup>o</sup> Alberto Martínez Vargas (1990) el término Yanacoto proviene de la combinación de dos palabras quechuas, él llega a esta conclusión después de observar e



interpretar otras palabras en las cuales intervienen términos semejantes tales como:

Yanañanca = Madre negra

Yanacocha = Laguna negra

Yana Puquio = Puquio negro

Del mismo modo: Coto = Cerro = Montículo = Montón;  
al deducir que Yana = Negro, entonces Yanacoto significa CERRO NEGRO o MONTICULO NEGRO.

Otro hecho que indica que existió una población en esta zona, es la descrita por Rostworowski M. (1978) en su obra "Señoríos Indígenas de Lima y Canta", donde describe un camino que unía el valle de Lurín y el Rímac diciendo: "... cerca del pueblo de Chontay partía un camino que unía la quebrada de Lurín con Yanacoto, en el valle de Lima .....", el Ing. A. Martínez V. (1991) comenta que se ha tomado de una revista histórica de 1908, tomo III, a esta descripción va acompañada un mapa del IGM a escala 1/100000 donde se indica los pueblos que pertenecían a los cinco guarangos de Huarochirí, dicho camino se traza con línea punteada llegando sólo hasta la margen izquierda del río Rímac lo cual sólo indica la dirección más no la ubicación de Yanacoto pues esta se encuentra en la margen derecha.

### 2.3.2 CENTRAL HIDROELECTRICA

La Central Hidroeléctrica de Yanacoto fue la primera en su género en construirse en la ciudad de Lima, fue

inaugurada el 19 de Noviembre de 1907 cuando Lima contaba con apenas 150,000 habitantes y dejó de funcionar el 30 de Marzo de 1960.

Antiguamente esta zona era conocida como Chacrasana pero al construirse la Central Hidroeléctrica cambia de nombre, según Antunez de Mayolo (1930), por el de Yanacoto, tal como actualmente se le conoce.

Esta Central fue conocida, según el ATLAS de Electrolima, como: "ESPINA DORSAL DEL ABASTECIMIENTO DE ENERGIA DE LIMA", también como: "OBRA MONUMENTAL DE LAS MAS IMPORTANTES EN LA INGENIERIA HIDRAULICA DE AMERICA DEL SUR".

Según la publicación de la ONERN, las aguas que alimentaban a la Central Hidroeléctrica de Yanacoto eran tomadas de la margen derecha del río Rímac, aproximadamente a 400 m. aguas abajo de lo que hoy es el puente peatonal de la ciudad de Chosica, actualmente es de uso particular, sirviendo para alimentar la Central Hidroeléctrica de Huampaní; esta estructura de captación, tiene una capacidad de derivación de  $23 \text{ m}^3/\text{s}$ , hallándose localizada en un tramo canalizado del río empleando un barrage móvil, constituida por 6 compuertas metálicas activadas a motor; el ingreso del agua al desarenador se produce por medio de 3 canales en curva, con sus respectivas compuertas, teniendo delante de ellas dos juegos de rejillas para evitar el ingreso de material sólido en suspensión; a la salida del desarenador en la transición al canal de aducción, existe una mira y dos flotadores que regulan el paso del agua y a 10 m. del inicio del canal de

aducción se cuenta con un limnógrafo. El canal de aducción es de sección rectangular, revestida, tiene una capacidad de hasta 20 m<sup>3</sup>/s, una longitud aproximada de 5 Km. y una pendiente de 3/1000, adicionalmente a estas obras tiene un tramo en túnel de aproximadamente 6.5 Km. con piso y bóveda revestidos de concreto, la cual actualmente lleva las aguas hacia la Central Hidroeléctrica de Huampaní.

La Central Hidroeléctrica de Yanacoto dejó de funcionar en el año de 1960, pero sus estructuras siguen siendo aprovechadas, así el canal de aducción en su recorrido abastece de agua a pequeños propietarios por medio de tomas de concreto que cuentan con compuertas de fierro con sus respectivos mecanismos de izaje; ligeramente aguas abajo de la cámara de carga y sobre el canal de aducción de la Central Hidroeléctrica de Yanacoto, existe una compuerta que alimenta el canal de limpia de la cámara de carga, en el cual se ha construido un partidor ubicado 10 m. antes de cruzar la carretera Central, que da origen a un canal que sirve a los terrenos del Country Club El Bosque, así como también a las tierras de la comunidad de Yanacoto, dicho canal tiene una longitud aproximada de 4.4 Km..

De acuerdo al ATLAS de Electrolima, las características principales de la Central Hidroeléctrica de Yanacoto cuando estuvo funcionando fueron: tener un canal de aducción de sección rectangular de aproximadamente 5 Km. de largo con una capacidad de 15 a 20 m<sup>3</sup>/s, la caída era de 78 m., poseía una tubería forzada de 450 m. de longitud con un

diámetro de 1.5 m., otra tubería de 450 m. de longitud con un diámetro de 2.2 m. al principio y 1.9 m. al final, tenía 4 grupos de 1200 Kw. cada uno, en 1921 tuvo uno de 3125 Kw. y en 1925 uno de 9200 Kw..

La toma de esta Central Hidroeléctrica se encuentra a 888 m.s.n.m. y la misma central se encuentra a 830 m.s.n.m.

Su canal de demasías tenía una capacidad de 15 m<sup>3</sup>/s, hecho de concreto reforzado y de sección rectangular de 5 m. de ancho por 2 m. de profundidad, con una longitud de aproximadamente 600 m., desembocando en el río Rímac.

Actualmente se pueden observar la mayoría de estas obras pero debido al paso de los años y a la acción erosiva del agua, principalmente, las estructuras de concreto han sufrido ligeras modificaciones en sus dimensiones, esto puede observarse claramente en el canal de demasías el cual ya no es rectangular sino trapezoidal por la erosión sufrida en el fondo.

Desde el inicio de su construcción hasta la fecha han pasado aproximadamente 100 años y no se han encontrado testimonios de campo ni escritos de algún huayco significativo que haya afectado las instalaciones de la Central Hidroeléctrica de Yanacoto. Sin embargo debo manifestar que la empresa Electrolima no facilitó información sobre el mantenimiento y servicio de dicha central según ellos por que dejó de funcionar hace 31 años y los documentos se han ¡extraviado! o ¡no los encuentran!, de haber tenido dicha

información (escrita o gráfica) hubiese sabido por la referencia, si algún huayco importante dañó sus instalaciones.

### 2.3.3 COMUNIDAD DE YANACOTO N°5

Según el informe hecho por estudiantes de la Universidad Nacional Enrique Guzmán y Valle-La Cantuta en 1987, la comunidad de Yanacoto N° 5, surge el 4 de Julio de 1965, con el nombre de asociación de vivienda "José Gabriel Condorcanqui", conformada en su gran mayoría por trabajadores del Country Club El Bosque.

Antes de 1965 el terreno perteneció a las Empresas Eléctricas y llevaba el nombre de Campamento, en esta zona existen restos arqueológicos que datan de hace 2000 a 3000 años según los estudios hechos por los arqueólogos.

Por acuerdo de los pobladores el 4 de Junio de 1976, se designa como "Día de la Reconstrucción", esto consta en el acta de la comunidad. Dicho Día los trabajadores del Country Club El Bosque organizados formaron una Junta Directiva y como primer punto de agenda plantearon poner un nombre a su comunidad, hubieron muchas propuestas pero finalmente optaron por el propuesto por el señor Raúl Quispe que fue: "Comunidad de Yanacoto, Anexo N°5, de la Comunidad Campesina de San Antonio de Jicamarca", perteneciente al distrito de San Antonio de Jicamarca, provincia de Huarochirí.

Esta comunidad surge principalmente por la necesidad de vivienda de los trabajadores del Country Club El Bosque, los cuales al no tener un lugar donde vivir dentro del mismo

Club, debido a la construcción de Bungalows, solicitaron los terrenos aledaños, es así, que el Día de la Reconstrucción, estando realizando su asamblea acordaron dirigirse oficialmente al personero de la comunidad matriz, para que les adjudicara el actual terreno, posteriormente les fue aceptada su petición.

La comunidad de Yanacoto N° 5, empezó a surgir contando inicialmente con viviendas rústicas, no tenían agua, luz, ni escuelas, todo ello ha sido superado poco a poco pero en forma elemental; desde su creación tuvo problemas de límites de terrenos con la empresa Electrolima, lo cual fue solucionado con la ayuda del SINAMOS quienes pusieron fin al conflicto.

Con fecha 10 de Enero de 1978 dan la ubicación y ámbito jurídico territorial, otorgándoseles 200 Has., casi un año después el 28 de Febrero de 1979 adquieren el título en los Registros Públicos en la oficina de Lima.

Desde los inicios de la comunidad (1965) hasta la fecha han pasado 26 años sin que la población tenga experiencia vivida de algún gran huayco que haya significado un peligro o que produjera daños considerables, pero debido a su posición en zona de alto peligro y su crecimiento poblacional rápido, los cuales han ido ocupando áreas del único cauce de descarga activo en el ramal derecho, pues el ramal izquierdo fue sepultado por un huayco que según el Ing<sup>o</sup> Alberto Martínez Vargas (1991) se produjo por crisis climáticas, el mismo que no llegó a sobrepasar el montículo de

las antiguas ruinas de Yanacoto que divide a los dos ramales, que hizo necesario un estudio de riesgo para proponer alternativas de mitigación de desastres una de ellas basada en obras y diseños hidráulicos en el canal medio y delta del huayco de Yanacoto, desarrollado en esta tesis.

# CAPITULO 3

ASPECTOS GEOLOGICOS

Y

GEOMORFOLOGICOS



### 3.1 ASPECTOS GEOLOGICOS

Uno de los roles principales de la investigación geológica y geotécnica es el que corresponde a la investigación de los desastres naturales (inundaciones, huaycos, deslizamientos, aludes, sismos, etc.) que afectan el uso racional de los recursos naturales. Los efectos de estos fenómenos pueden ser atenuados solo en la medida que se tenga un conocimiento pleno e integral del origen, mecanismo y evolución, jugando el aspecto geológico un papel relevante en este conocimiento.

Igualmente los problemas propios de las tierras áridas, el uso del agua superficial y subterránea, la estabilidad de las construcciones (túneles, puentes, caminos, viviendas, represas, etc.), sólo se podrán resolver correctamente con el conocimiento geológico de los lugares donde se emplazan las obras.

En la quebrada de la subcuenca, que comprende a la comunidad de Yanacoto N°5, no existe una estructura geológica definida o algún elemento capaz de definir la existencia de la misma.

Las rocas existentes en su cauce son denominadas intrusivas básicas, según el estudio Martínez-1990 para PREDES y confirmado en la Tesis UNI-FIC de J.Ortiz 1992, con tamaños que varían de 0 a 3" (gravas, arena y finos) y de 3" a 1 m. de diámetro (boleos). Son mínimos los casos de diámetros mayores que 1 m., además entre las rocas predominantes se encuentran

las de diámetros menores a 3" que son en su mayoría son gravas angulosas.

Las variedades del intrusivo básico que predominan son: Gabrodiorita, Gabro, hay poca Granodiorita y Diorita. Según la ponencia del Ingeniero A. Martínez y del Bachiller UNI-FIC E. Santos (1990) : "La roca una alternativa en la mitigación de desastres naturales en Chosica" presentado en el CONIC de Piura; la mayoría de estas rocas poseen alteración superficial, además se manifiesta fracturas, las cuales se deben a su textura y a su composición mineralógica, es mínima la posibilidad de que las alteraciones se deban a la humedad pues la zona es árida y seca.

Las rocas en el macizo como en los depósitos aluvionales más antiguos tienen una coloración chocolate, esta coloración, que en términos geológicos se denomina pátina, es superficial y se debe a la humedad de la neblina que actúa en la zona, en cambio los depósitos aluvionales más recientes tienen una coloración gris negruzca por estar poco alteradas.

La causa más importante de la alteración de las rocas es la radiación solar, la cual fractura las rocas en bloques y gravas de fragmentos angulosos.

De acuerdo a la Tesis UNI-FIC de J. Ortiz 1992, no existe depósitos de arcilla, aunque a simple vista pareciese que sobre las terrazas antiguas halla presencia de este material, debido a su coloración rojo ferruginoso, pero esto se debe a la transformación que han sufrido las rocas a través del tiempo convirtiéndose en suelos limosos residuales, del

mismo modo en el lecho del cauce existe material muy fino que rellena las fracturas y diaclasas lo cual tampoco es arcilla.

La alteración superficial se presenta en mayor porcentaje en el cauce alto, en cambio en la zona de las ruinas arqueológicas y de la misma comunidad que corresponden al cauce medio, las rocas están muy alteradas, con bloques fracturados como diques dentro de una masa brechosa, como un "panizo" de falla, con minerales caolinizados, cloritizados, etc, la coloración de estas rocas es de color blanco a verdoso lo cual hace pensar que se trata de una alteración hidrotermal.

Otro aspecto importante de resaltar es el tectonismo local de reacomodamiento, lo cual se manifiesta mostrando en las rocas espejos de fallas entre las caras, siguiendo la dirección del diaclasamiento, este reacomodamiento se debería a la intrusión de la roca básica y/o una diferenciación magmática, lo cual se aclararía con una investigación geológica más profunda.

La roca intrusiva más antigua está conformada por bloques de granito a granodiorita, intruído por diques de andesita, así como por rocas básicas que van de Tonalita a Diorita, las cuales están muy alteradas, este conjunto forma una zona de aureola de alteración que muestra el contacto de las geoformas que se han regulado en el tiempo, como estos casos tenemos: el montículo de las antiguas ruinas de Yanacoto, la forma de "U" en la actual comunidad de Yanacoto.

Según la ponencia del Ing. A. Martínez y del Bachiller J. Martínez (1990): "Aspectos geotécnicos de los huaycos de Chosica" presentado en el CONIC de Piura, existen depósitos cuaternarios del tipo aluvional y talud de escombros ligados a crisis climáticas importantes que han rellenado y/o arrasado esta quebrada, los cuales son de material aluvional en gran porcentaje, estos depósitos forman las terrazas más antiguas, así como parte del cauce, precisamente sobre estos depósitos es que la comunidad de Yanacoto ha surgido, en la actualidad la población se está expandiendo sobre el cauce antiguo de la margen izquierda, el cual se encuentra sepultado (cauce medio) y sobre la margen derecha del actual cauce medio, el cual ha quedado definido y profundizado, localizado entre la comunidad y el montículo de las antiguas ruinas de Yanacoto.

A través del cauce de la quebrada se pueden encontrar obstáculos de roca intrusiva, los cuales han retenido los flujos de huaycos, estos al impactar y quedar obstruido su paso, han formado represamientos los cuales derivan en vórtices, confirmando esta conclusión después de analizar la ponencia del Ingeniero A. Martínez y del Bachiller J. Martínez (1988) : "Estudios geotécnicos en zona de desastres naturales, Quebrada de Pedregal" presentado en el CONIC de Huaraz , donde se presentan características semejantes; en zonas importantes se han formado estos vórtices, lo cual a su vez ha formado zonas de disipación de energía en el cauce, por retener volúmenes de huayco, estas

zonas poseen los mayores anchos y los mayores volúmenes de material aluvional, aparte del aporte de la margen derecha con material caído por acción de la gravedad, los cuales cubren la terraza del cauce principal.

Según la ponencia del Ing. A. Martínez (CISMID-1991): "Crisis climáticas y huaycos y prevención en Chosica" presentado en el 5º Simposio Nacional de Prevención de Desastres, en un principio los huaycos bajaban por ambas márgenes con suma facilidad, pero debido quizás al mayor huayco que haya bajado por el cauce, el ramal izquierdo quedó sepultado, lo que facilitó la formación del actual cauce que con la erosión de huaycos menores ha socavado su lecho quedando definido, esto se puede comprobar fácilmente por los restos de material aluvional tanto antiguo como reciente que se encuentran en las laderas de la comunidad de Yanacoto. (VER FIG. III-1).

Las rocas que se interponen al paso de los huaycos son modeladas de la misma forma en que fue modelada el montículo de las ruinas; según el estudio del Ingeniero A. Martínez (1990) : "Estudio geotécnico de Santa María Yanacoto-Chosica" hecho para PREDES, se atribuye que la obstrucción de este montículo al paso de un huayco produjo un represamiento que derivó en un vórtice que le dio la forma de "U" a la actual comunidad y que quedó rellena con material aluvional. (VER FIG. III-1).

Las características geológicas más importantes son:

1) Las rocas que predominan son las intrusivas básicas del tipo: Gabrodiorita, Gabro, Diorita, Granodiorita, etc., estas rocas en su mayoría están alteradas, ya sea por radiación solar en el cauce alto, o alteradas por proceso hidrotermal en el cauce medio inferior cercanas al montículo de las ruinas, así como en las laderas de la comunidad.

2) Los diámetros de los cantos y boleos predominantes en los cauces alto y medio son menores a las 12", de las cuales gran porcentaje son gravas. Son aislados los casos de diámetros mayores a 1 m..

3) La mayoría de las rocas del cauce principal se encuentran partidas en formas angulosas, lo cual se debe a su textura, mineralogía, donde las plagioclasas abundan y cuyo clivaje tiene influencia. Debido a la aridez de la zona, la fracturación y partición de las rocas es sumamente fácil, en gran parte debido a la radiación solar.

4) En las laderas del cauce principal se encuentran rocas que presentan macrofracturas, que es el inicio de la fracturación, lo cual se extiende hasta la microfractura en el clivaje de los minerales, todo esto da como resultado una grava angulosa, de las mismas características de la piedra partida utilizada en la construcción, sin necesidad de usar una chancadora (J. Ortiz - 1992).

5) La alteración hidrotermal se presenta en forma más intensa, llegando a una parcial caolinización, en cambio la alteración por radiación solar es superficial, dando a la

roca una pátina color chocolate, lo cual es característico de depósitos aluvionales antiguos, en cambio los depósitos aluvionales más recientes tienen una coloración gris negruzca por estar menos tiempo expuestos a la meteorización.

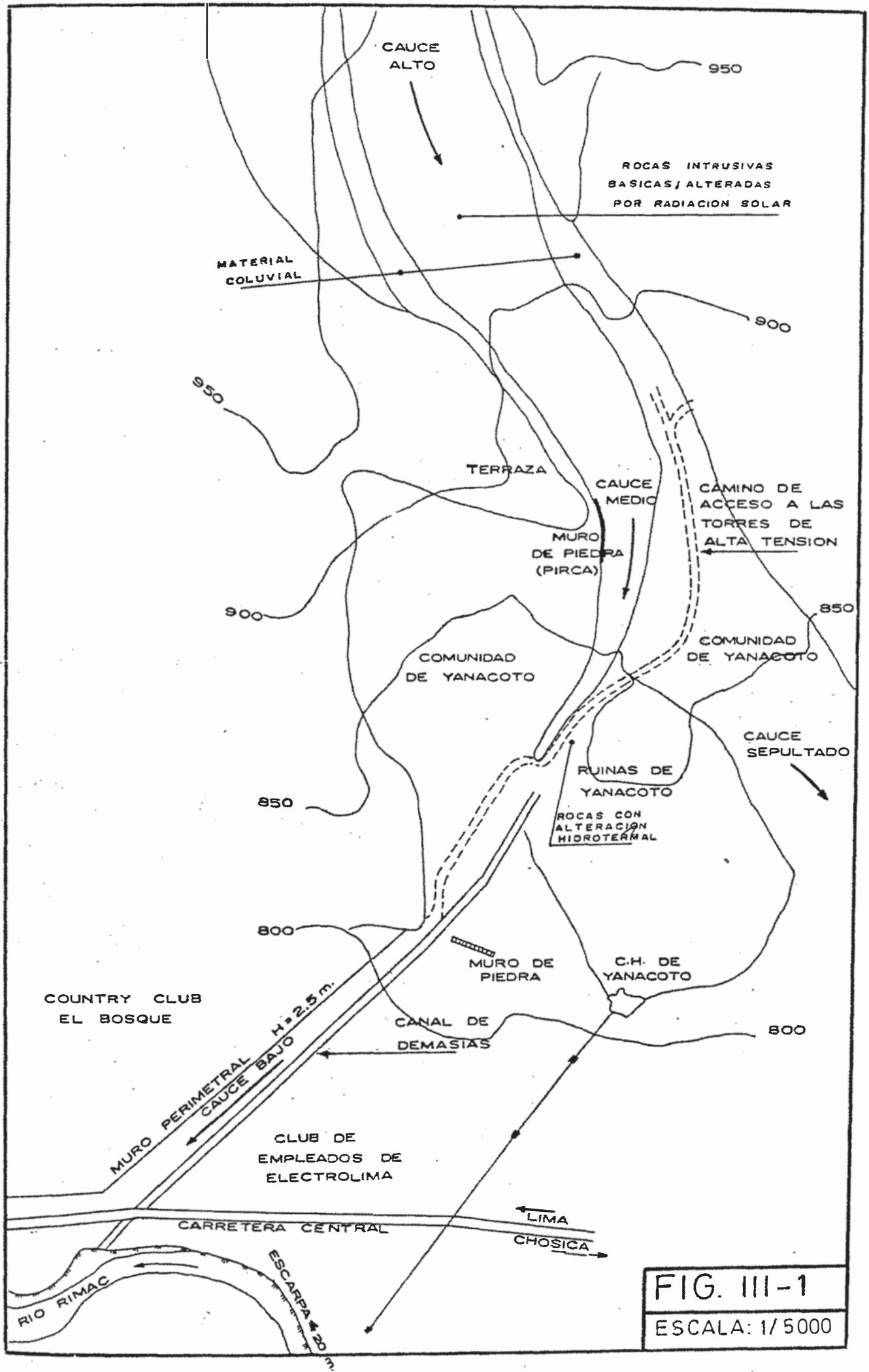
6) El manifestar que la alteración por radiación solar es superficial, se debe al buen aspecto y sonido metálico que poseen, las rocas así alteradas tienen aristas filudas con planos definidos de partición. Esta característica ha motivado a los pobladores para usarla en el pircado de sus viviendas, en la construcción de muros de defensa, cercos, cimientos de vivienda, pisos, escaleras, veredas, etc..

Los aspectos geológicas expuestos, tienen mucho que ver con la seguridad de la comunidad en caso de un huayco, por las razones siguientes: (VER FIG. III-1)

1) El cauce actual tiene como paso obligado la comunidad de Yanacoto N°5, teniendo este cauce su menor ancho precisamente al pasar por la comunidad, ya que el montículo de las antiguas ruinas de Yanacoto impide que el posible huayco se expanda y al chocar en él todo el volumen de lodo y piedras, estos rebotarían afectando seriamente las viviendas cercanas al cauce.

2) Los cauces alto y medio presentan anchos mayores a los del cauce que atraviesa la comunidad, de anchos que varían de 100 a 150 m. se reduce en la zona de la comunidad a 25 m. en un primer tramo y luego se va reduciendo hasta los 5 m. con muy poca profundidad, existiendo viviendas muy cercanas





**FIG. III-1**  
**ESCALA: 1/5000**



a este tramo, convirtiéndola en la zona más vulnerable al paso de un huayco.

3) A pesar de que las rocas que forman el montículo de las antiguas ruinas de Yanacoto se encuentran alteradas, se siguen comportando como un obstáculo al paso de un huayco, que al encontrarse con el montículo desviaría su curso hacia las viviendas cercanas a esta zona, por este motivo es necesario diseñar (capítulo VI) alguna obra hidráulica de regulación o control que disminuya este peligro.

4) De ocurrir un huayco tan grande como el que sepultó el cauce antiguo de la margen izquierda, este arrastraría todo el material aluvional retenido en el cauce alto y medio, los cuales quedaron allí depositados por huaycos menores, este material arrastrado incrementaría el volumen y la peligrosidad del huayco, por lo que también es conveniente proponer alguna obra de regulación o control en estos tramos.

5) Los trabajadores del PAIT, en años anteriores, construyeron un muro de pircado de piedras, el cual está localizado antes del montículo de las antiguas ruinas de Yanacoto y en la margen derecha frente al cauce antiguo que se encuentra sepultado; dicho muro ha sido construido sin criterio técnico de defensa ni mitigación, a la vez que es un obstáculo que disminuye el ancho del cauce y orienta al huayco hacia el montículo de las ruinas, originando los peligros anteriormente mencionados.

### 3.2 ASPECTOS GEOMORFOLOGICOS

La quebrada de la subcuenca de Yanacoto, presenta características muy diferentes a las demás quebradas de la zona de Chosica, llamese: Quirio, Pedregal, Corrales, etc. Las razones de esta diferencia son: (VER FIG. III-2)

1) El cauce es muy irregular, quebrado en forma de "S". En la parte superior su curso es desviado, al encontrarse con roca del intrusivo , que impide un descenso rápido de un huayco, esto origina que el flujo golpee ambos lados del cauce desviándolo de su curso original, de formarse algún represamiento en un tramo curvo originaría la formación de un vórtice.

2) De producirse algún huayco, sería común la erosión vertical en el cauce, debido a su fuerte pendiente, así como la erosión lateral en las laderas debido a la acumulación de material coluvial, principalmente en la margen derecha.

3) Cuando el huayco llega a una zona donde el cauce tiene menor pendiente a la vez que un mayor ancho se produce la disipación del material aluvional.

4) Los cauces alto y medio superior poseen anchos mayores que el cauce medio inferior y el cauce bajo, lo cual hace a estas últimas zonas más peligrosas y vulnerables, por encontrarse en ellas la mayor concentración de población, estas zonas son propensas al represamiento, inundación y cambio brusco de dirección del flujo aluvional.

5) Las zonas de la comunidad más propensas al desastre son:

- La del antiguo cauce de la margen izquierda, el cual está sepultado, siendo este material aluvional el más antiguo, en esta zona las viviendas están a mayor altura y el terreno posee mayor estabilidad.

- El cauce medio frente al montículo de las ruinas de Yanacoto, lugar donde el cauce llega a su menor tamaño, tanto en ancho como en profundidad, esta zona es propensa a la inundación, formación de vórtices y posterior avalancha del material aluvional hacia las viviendas que se encuentran muy cerca al cauce y a muy poca altura de él. Cabe mencionar que el peligro se incrementa debido a la construcción de un muro de piedras (PIRCA), en el cauce medio superior, el cual además de desviar el curso del huayco, reduce la sección de paso y dirige el flujo en dirección al montículo de las ruinas de Yanacoto, originando los peligros anteriormente mencionados.

De las dos zonas mencionadas la segunda es la más propensa al desastre por acción de un huayco.

6) El cauce natural inferior ha sido sustituido por el canal de demasías de la antigua Central Hidroeléctrica de Yanacoto, el cual puede ser usado o adecuado para la regulación del cauce, ya que su inicio empalma con el cauce natural frente al montículo de las ruinas; el cauce inferior está sobre el actual cono de deyección. Anteriormente el cono de deyección empezaba aproximadamente en lo que hoy es la cota 900 y abarcaba los dos ramales del cauce antiguo rodeando al

montículo de las ruinas de Yanacoto, cubriendo lo que actualmente son los terrenos del Country Club El Bosque y del club de empleados de Electrolima; el actual cono de deyección es una parte del antiguo, estando ubicado hacia la margen derecha, teniendo al canal de demasías como eje principal.

7) Según el Ing. A. Martínez (1991), el montículo de las antiguas ruinas de Yanacoto, no ha sido sobrepasado por un huayco al menos desde hace 3200 años a la fecha, puesto que en esa época sobre esta zona existía un templo sacerdotal y no se han encontrado evidencias de destrucción o material aluvional sobre esta zona; pero lo que si es evidente es que todo huayco regular ha impactado sobre el montículo, éste dividía al cauce principal en dos ramales, uno hacia la izquierda el cual se encuentra sepultado y otro hacia la derecha el cual ha sido definido y socavado por los huaycos más recientes.

8) Cualquier huayco que descienda en el futuro (después de 1990), por el cauce de la quebrada va a poner en serio peligro a la comunidad, puesto que las características de la geoforma del lugar así lo indican, por este motivo deben tomarse medidas que reduzcan el peligro de la zona, el cual en los últimos años se ha incrementado por las siguientes razones:

- Ocupación de la población del cauce antiguo sepultado y del cauce medio, reduciendo su ancho.

- La construcción de un muro de pircado hecho por los trabajadores del PAIT, el cual reduce la sección del cauce

medio y desvía al flujo hacia el montículo de las ruinas de Yanacoto, por lo que se deduce que al primer impacto del flujo en él, este se desvía y se dirige hacia el poblado.

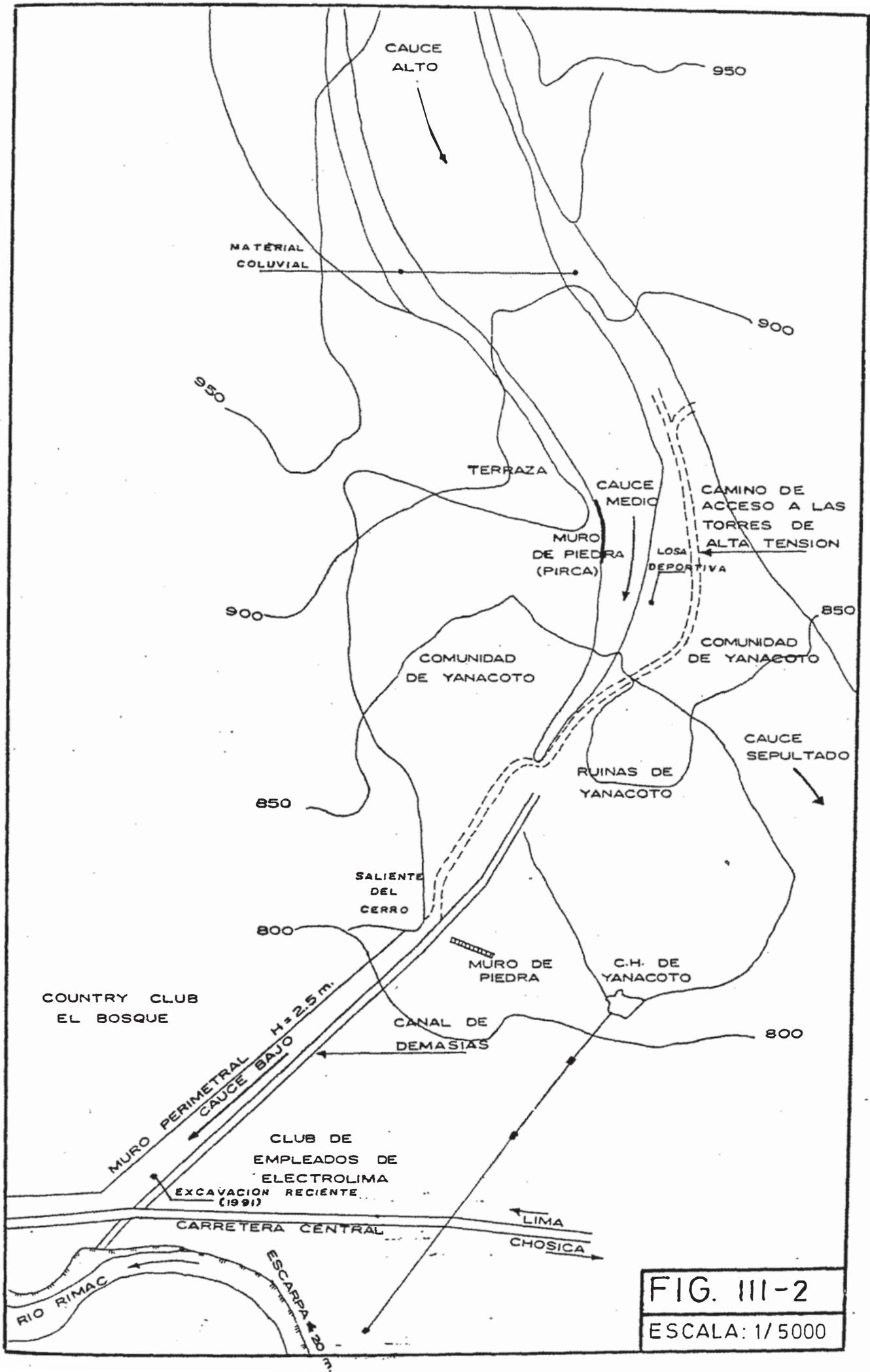
- La parte más angosta del cauce medio se encuentra obstruida y atravesada por un camino, el cual tiene las características de un badén, pero hecho sin ningún criterio adecuado.

- El canal de demasías que serviría para encauzar al posible huayco es de dimensiones pequeñas, 5 m. de ancho y 2 m. de profundidad, incapaz de conducir un pequeño huayco, menos de uno con las características del que sepultó el cauce antiguo.

- Se ha construido una losa deportiva frente al muro de piedra hecho por el PAIT (en fecha posterior al levantamiento topográfico), esta cancha se ubica en la dirección del descenso del huayco, al lado del montículo de las ruinas de Yanacoto; por su ubicación está expuesta a un sepultamiento.

- El club de empleados de Electrolima ha construido un muro de piedras para defenderse contra la acción de un huayco ( margen izquierda del cauce bajo ), pero lo han construido frente a la saliente de un cerro al inicio del cauce bajo, lo cual reduce la sección del cauce, con el peligro de que se forme un represamiento y sepulte las viviendas contiguas por inundación.

- El relieve del terreno, en la zona de ingreso a la comunidad de Yanacoto, ha sido modificado (en fecha posterior



**FIG. III-2**  
 ESCALA: 1/5000

al levantamiento topográfico) por la empresa Electrolima, efectuando ésta un movimiento de tierras entre el canal de demasías y el camino de ingreso a la comunidad, con el fin de marcar sus límites de propiedad, este cambio pone en peligro la estabilidad del terreno, ya que a escasos metros se encuentran escarpas de hasta 15 m., al pie del río Rímac, las cuales en caso de sufrir los efectos de una presión por inundación del huayco en la zona modificada, podrían derrumbarse, afectando seriamente la carretera Central que se encuentra en medio de ellas.

9) Al hablar del cauce bajo será necesario hacer mención del canal de demasías de la antigua Central Hidroeléctrica de Yanacoto, pues este canal ha desaparecido el cauce natural, estando dentro del actual cono de deyección, este canal así como el camino de acceso a la comunidad de Yanacoto que se encuentra a su lado y en forma paralela, pueden servir como una alternativa al tratamiento de un posible huayco, lo cual está relacionado con su volumen de descarga.

10) El actual cono de deyección tiene la tendencia de ir hacia el club de empleados de Electrolima, puesto que este recinto está construido sobre material aluvional el cual se encuentra a mayor altura que la carretera Central, a la vez puede observarse que pasando la carretera Central existen escarpas de más de 15 m. al pie del río Rímac, el cono de deyección también sobrepasa los límites del río Rímac.

# **CAPITULO 4**

## **CARACTERISTICAS DE LA SUBCUENCA**



#### 4.1 TOPOGRAFICAS

La topografía de la subcuenca de Santa María Yanacoto N° 5, es totalmente diferente a las demás cuencas receptoras de Chosica tales como: Quirio, Pedregal, Corrales, etc., su terreno es muy accidentado, con pendientes fuertes, sus laderas poseen una pendiente mayor de  $45^{\circ}$  en la mayoría de los casos.

La subcuenca de Santa María Yanacoto N° 5, llega a su mayor cota en los límites con Jicamarca por el Norte y Quirio por el Noreste, siendo las cotas de 1800 y 1635 m.s.n.m. respectivamente, la recepción de las lluvias se hace por medio de dos quebradas (VER FIG. IV-2) las cuales al unirse dan inicio al cauce alto del huayco, esta unión se realiza entre las cotas 1050 y 1100 m.s.n.m., en forma referencial esta unión con el cauce alto tiene forma de "Y", a partir del cauce alto el huayco comienza a encontrar obstáculos tales como la formada por roca ígnea que está intruída por otra más reciente, las cuales forman salientes que cruzan el cauce e interrumpen su curso normal, otro obstáculo son los depósitos de material aluvional que se encuentran en esta zona debido a la acción de pequeños huaycos los cuales no tuvieron la energía suficiente para llegar a la comunidad de Yanacoto N° 5, en cierta forma estos obstáculos han disipado la energía de huaycos regulares que de no haber tenido esta dificultad en su recorrido habrían ocasionado serios daños a esta comunidad; es importante mencionar que

mientras se produce la disipación de la energía del huayco, a la vez se produce la sedimentación y el represamiento del material aluvional, esto último genera en un comienzo pequeños remolinos que terminan en vórtices los cuales erosionan las laderas aumentando el ancho del cauce, puede observarse más de una marca de estos vórtices en el cauce alto.

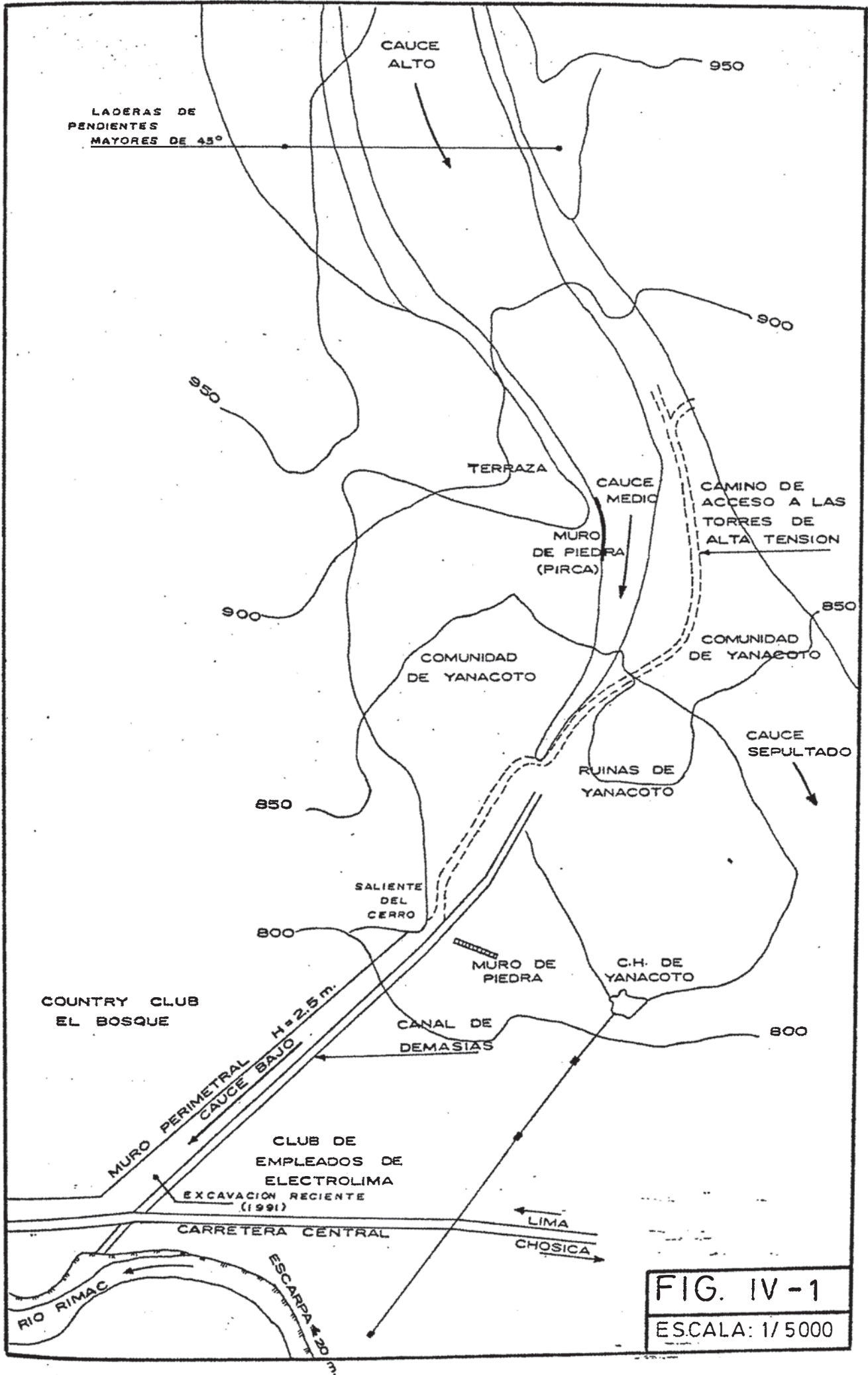
En el cauce medio la topografía nos presenta un montículo que interrumpe el paso de la masa aluvional, sobre dicho montículo antiguamente existía un templo sacerdotal (1200 a.C), el cual según los estudios geomorfológicos no ha sido dañado por ningún huayco es decir el montículo no ha sido sobrepasado por el flujo de un huayco, este montículo dividía al torrente en dos ramales, actualmente el ramal de la margen izquierda según el Ing<sup>o</sup> Alberto Martínez Vargas (1990) se haya sepultado por el mayor huayco caído en esta zona lo cual se debió a una crisis climática, pero el ramal de la margen derecha si se encuentra activo estando definido y socavado, este ramal presenta en su margen derecha gran densidad de pobladores, los cuales se encuentran en constante peligro por estar demasiado cerca al cauce; el montículo en mención según el mismo autor se produjo un represamiento que derivó en un vórtice y le dio la actual forma de "U" a la comunidad de Yanacoto N<sup>o</sup>5. (FIG. IV-1)

Es importante mencionar que el inicio del actual cauce medio era el inicio del antiguo cono de deyección el cual se dividía en dos ramales debido a la presencia del montículo de las ruinas de Yanacoto y se volvía a unir en la

parte baja ocupando las áreas de lo que hoy es el Country Club El Bosque y el club de empleados de Electrolima, pero al quedar el ramal izquierdo sepultado, el cono de deyección se redujo a la mitad aproximadamente, teniendo como eje central el canal de demasías de la antigua Central Hidroeléctrica de Yanacoto, en la prolongación del ramal derecho. (FIG. IV-1)

Al final del cauce medio la topografía natural ha sido alterada debido a la presencia de la antigua Central Hidroeléctrica de Yanacoto, la cual está al pie del montículo de las ruinas, en la margen izquierda del cauce medio, pero su canal de demasías se encuentra dentro del actual cono de deyección en la prolongación del cauce medio, este canal puede adecuarse para el encauzamiento del huayco dependiendo de su volumen de descarga; a la derecha del canal de demasías se concentra un gran número de viviendas de las cuales las que están en la parte baja se encuentran en peligro ante la venida de un gran huayco, ya que las dimensiones del canal no serían suficientes para recepcionar todo el volumen de descarga, además existe en esta misma margen la saliente de un cerro, la cual junto con un muro de piedras construido por la empresa Electrolima en la margen izquierda, disminuyen la sección del cauce, lo que provocaría un represamiento el cual sepultaría a las viviendas más cercanas; en cambio las que están en las partes altas no corren ningún peligro. (FIG. IV-1)

En el cauce bajo o actual cono de deyección la topografía es menos accidentada, teniendo como constante en la margen izquierda el club de los empleados de Electrolima, en



el centro el canal de demasías de la antigua Central Hidroeléctrica de Yanacoto y en la margen derecha el camino de acceso a la comunidad de Yanacoto N°5, el cual está limitado por el muro perimetral del Country Club El Bosque. Este cauce es cortado por la carretera Central 35 m. antes de desembocar en el río Rímac, pasando el canal de demasías por debajo de la carretera y teniendo un pequeño cambio de dirección hacia la izquierda en esta misma zona ; antes de desembocar en el río Rímac existen escarpas que van de los 15 a 20 m. de altura, estas escarpas poseen grietas de tensión que ante un fuerte movimiento sísmico pueden perder la estabilidad y derrumbarse hacia el río, además los aportes del canal de demasías han formado un meandro que desvía al río hacia la margen izquierda. (FIG. IV-1)

La posición alta de la subcuenca Santa María Yanacoto N° 5, vista desde la carretera Central nos hace pensar de una zona sin problemas por lo homogéneo del cono de deyección, siendo en realidad su topografía un reflejo de la geología y geomorfología local muy diferentes a las demás cuencas de la zona.

#### **4.1.1 AREA DE LA CUENCA Y SUBCUENCAS**

La cuenca de Santa María posee tres subcuencas, con una extensión total de 6.53 Km<sup>2</sup> (FIG. IV-2), estas son:

- Subcuenca Santa María Quirio, que es la de menor en tamaño y se encuentra colindante con la cuenca de Quirio, esta subcuenca tiene un área de: 1.18 Km<sup>2</sup>.






LEYENDA

--- Líneas Divisorias de Agua

..... Drenaje de la Subcuenca

SUBCUENCAS

-  S. M. Yanacoto ..... 1
-  S. M. Central ..... 2
-  S. M. Quirio ..... 3

AREAS (Km<sup>2</sup>)

Area 1 = 3.97 = 3.27 + 0.70

Area 2 = 1.38

Area 3 = 1.18

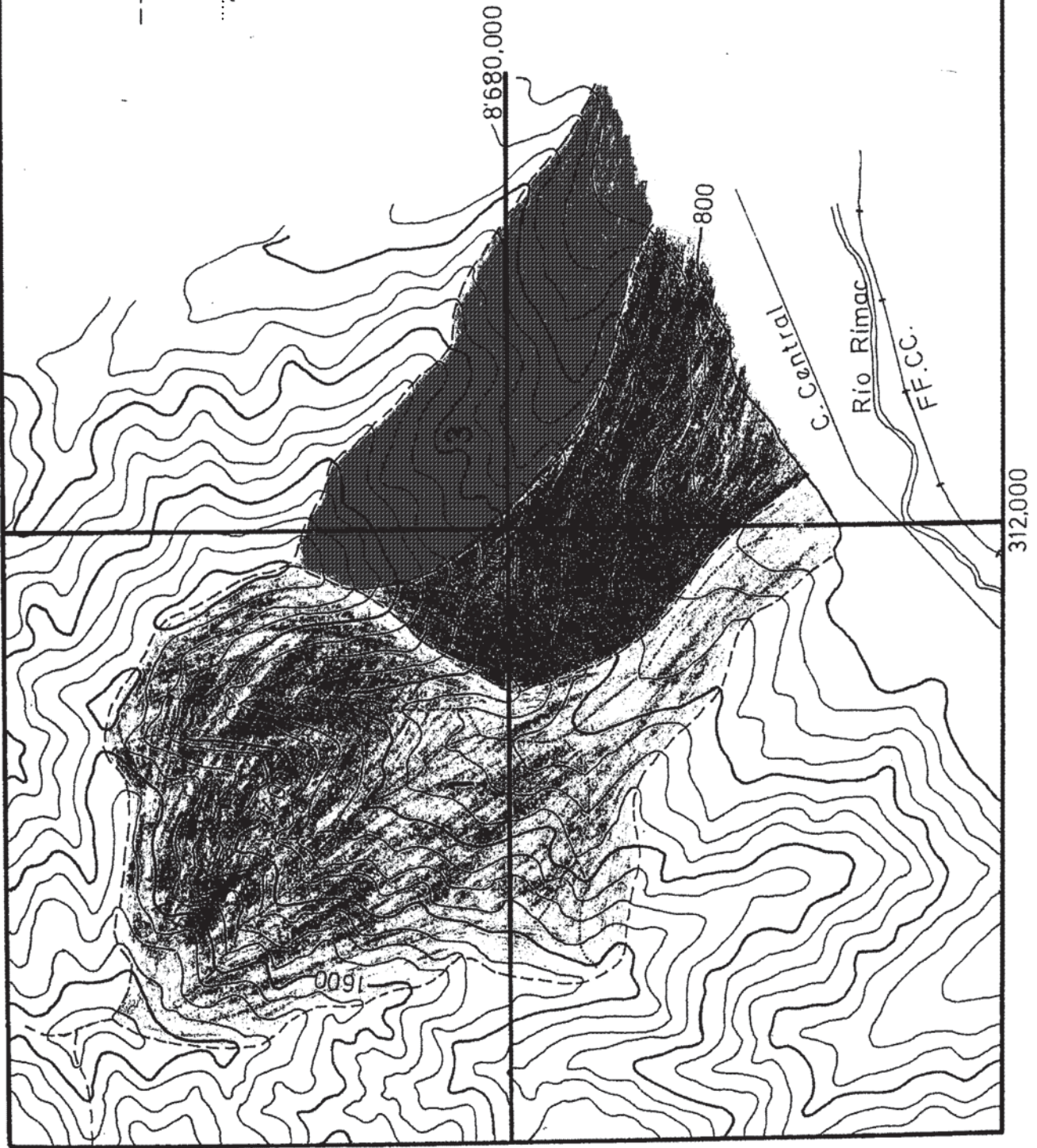


FIG. IV-2

ESCALA: 1/25,000

- Subcuenca Santa María Central, que tiene una extensión ligeramente mayor a la anterior y se encuentra en la parte media inferior, de toda la cuenca. Esta subcuenca tiene un área de: 1.38 Km<sup>2</sup>.

- Subcuenca Santa María Yanacoto, que es la de mayor extensión y es la que contiene a la comunidad de Yanacoto, esta subcuenca posee un área total de 3.97 Km<sup>2</sup>, de las cuales 3.27 Km<sup>2</sup> corresponden al área de recepción de lluvias o área efectiva y 0.7 Km<sup>2</sup> corresponden al área habitada por la comunidad incluyendo al cono de deyección.

#### 4.1.2 CARACTERISTICAS MAS IMPORTANTES DEL CAUCE DE LA SUBCUENCA

En base al plano topográfico a escala 1/500 y a las mediciones de campo, se han estimado los datos más importantes del cauce, los cuales voy a dividir en: cauce alto, cauce medio y cauce bajo.

**CAUCE ALTO.**- El cauce alto de la subcuenca Santa María Yanacoto se encuentra comprendido entre las cotas 870 y 1075 m.s.n.m. (FIG. IV-3), siendo sus características más importantes:

\* **LONGITUD:** de 1350 m. ( 800 m. de la cota 870 a 990, medidos en el plano topográfico a escala 1/500 y 550 m. de la cota 990 a 1075 medidos en el plano topográfico a escala 1/2000 proporcionado por PREDES).

# CUENCA DE YANACOTO

PERFIL LONGITUDINAL - CAUCE ALTO

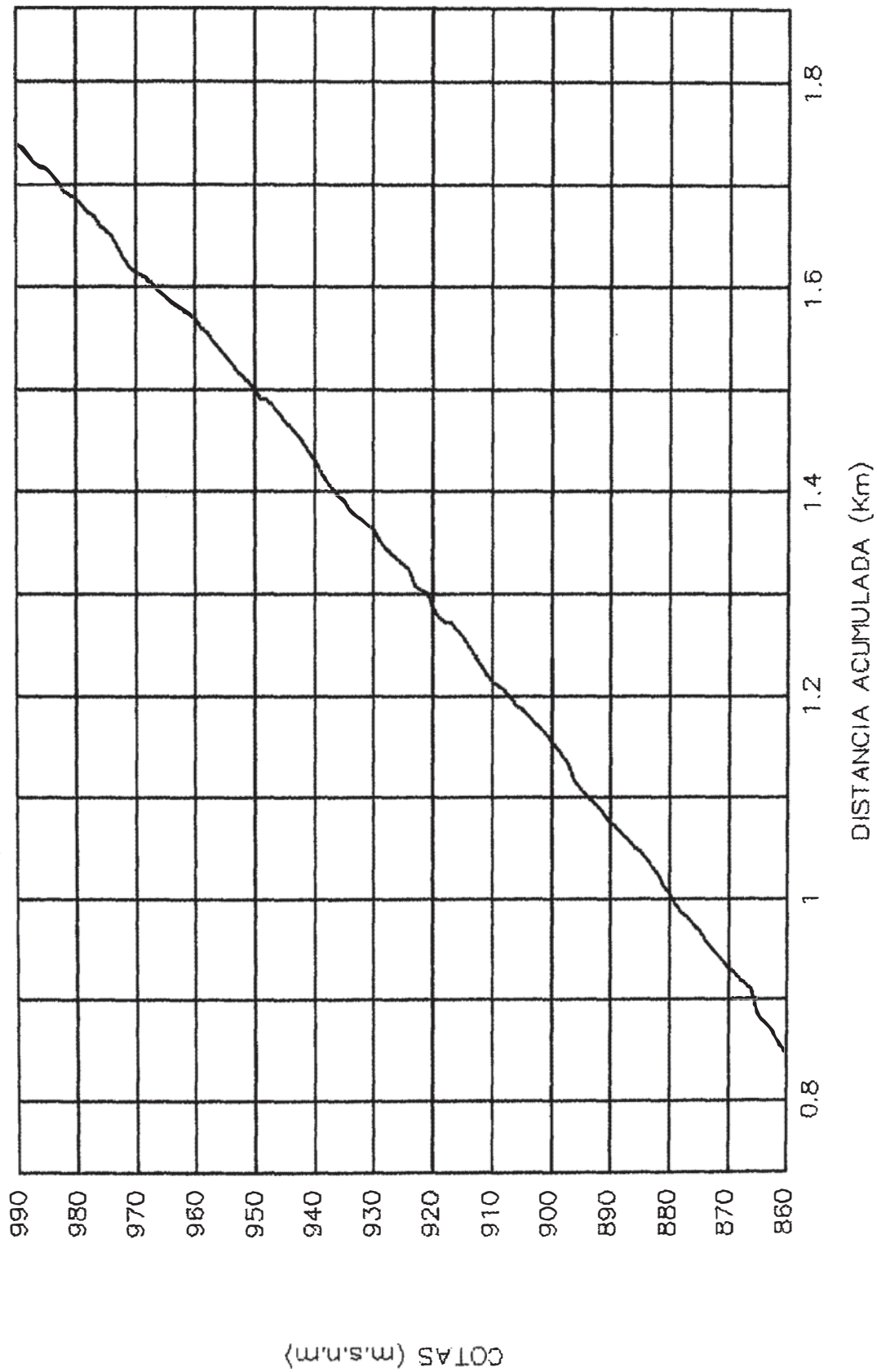


FIG. IV - 3



\* **ANCHO:** de acuerdo al plano topográfico a escala 1/500 se puede determinar:

- Ancho máximo: de 160 m. (comprende los límites del huayco más antiguo).

- Ancho mínimo: de 25 m. (es el correspondiente al huayco más reciente).

- Ancho promedio: de 90 m. (corresponde al promedio de 6 medidas del ancho).

\* **PENDIENTE:** de acuerdo al plano topográfico a escala 1/500 se puede determinar:

- Pendiente máxima: de 22.10 %

- Pendiente mínima: de 8.85 %

- Pendiente promedio: de 15.2 %

\* **ESPEORES O PROFUNDIDAD:** de acuerdo a las mediciones de campo se determinó:

- Espesor máximo: de 7 m. (corresponde al huayco más antiguo).

- Espesor mínimo: de 1 m. (corresponde al huayco más reciente).

- Espesor promedio: de 4 m.

**CAUCE MEDIO.**- El cauce medio de la subcuenca Santa María Yanacoto se encuentra comprendido entre las cotas 815 y 870 m.s.n.m. (FIG. IV-4), siendo sus características más importantes:

\* **LONGITUD:** de 410 m. (de acuerdo al plano topográfico a escala 1/500).

# CUENCA DE YANACOTO

PERFIL LONGITUDINAL - CAUCE MEDIO

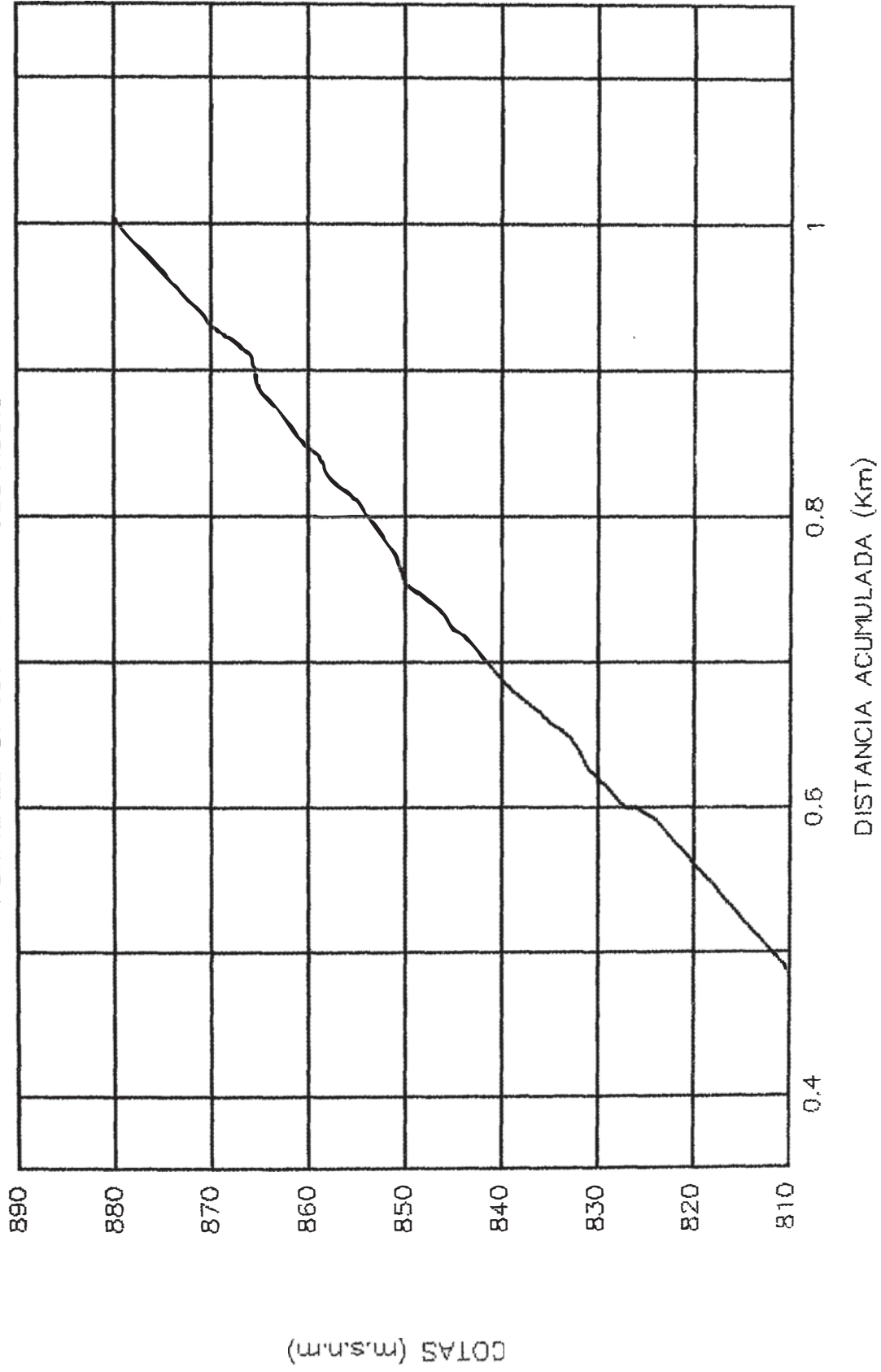


FIG. IV - 4

\* **ANCHO:** de acuerdo al plano topográfico a escala 1/500 se puede determinar:

- Ancho máximo: de 45 m. (entre las cotas 865 y 870)
- Ancho mínimo: de 5 m. (entre las cotas 830 y 835,

así como al inicio del canal de demasías)

- Ancho promedio: de 15 m.

\* **PENDIENTE:** de acuerdo al plano topográfico a escala 1/500 se puede determinar:

- Pendiente máxima: de 22.90 %
- Pendiente mínima: de 6.85 %
- Pendiente promedio: de 13.5 %

\* **ESPESORES O PROFUNDIDAD:** de acuerdo a las mediciones de campo se determinó:

- Espesor máximo: de 4 m.
- Espesor mínimo: de 1 m.
- Espesor promedio: de 2.5 a 3 m.

**CAUCE BAJO.-** El cauce bajo de la subcuenca Santa María Yanacoto se encuentra en el actual cono deyectivo y está comprendido entre la cota 815 y la desembocadura del canal de demasías en el río Rímac, aproximadamente en la cota 757, el río se encuentra a unos 15 m. hacia abajo, siendo esta altura la promedio de la escarpa existente (FIG. IV-5). Sus características son:

\* **LONGITUD:** de 525 m. (de acuerdo al plano topográfico a escala 1/500).

# CUENCA DE YANACOTO

PERFIL LONGITUDINAL - CAUCE BAJO

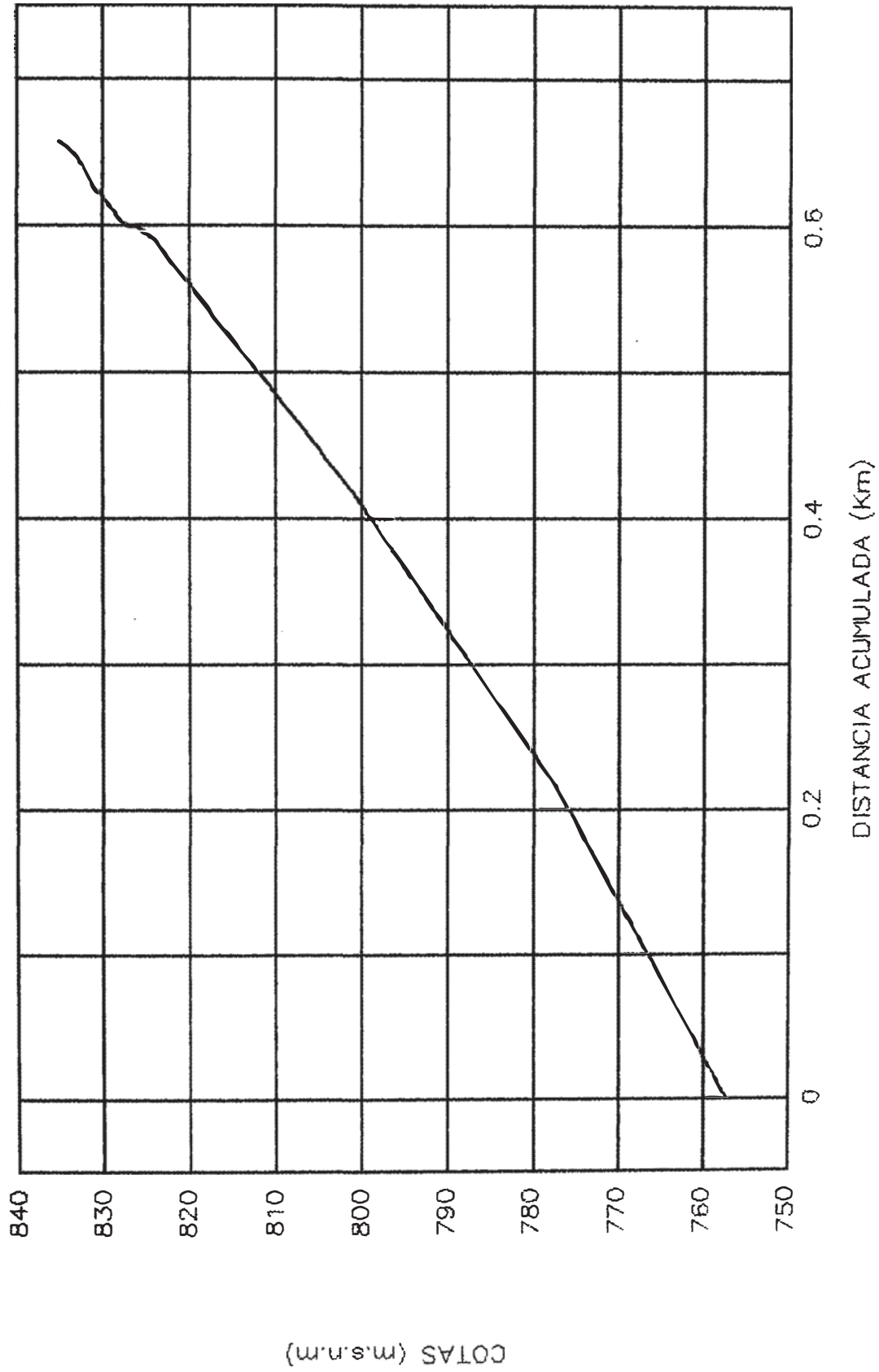


FIG. IV - 5

# CUENCA DE YANACOTO

PERFIL LONGITUDINAL - CAUCE PRINCIPAL

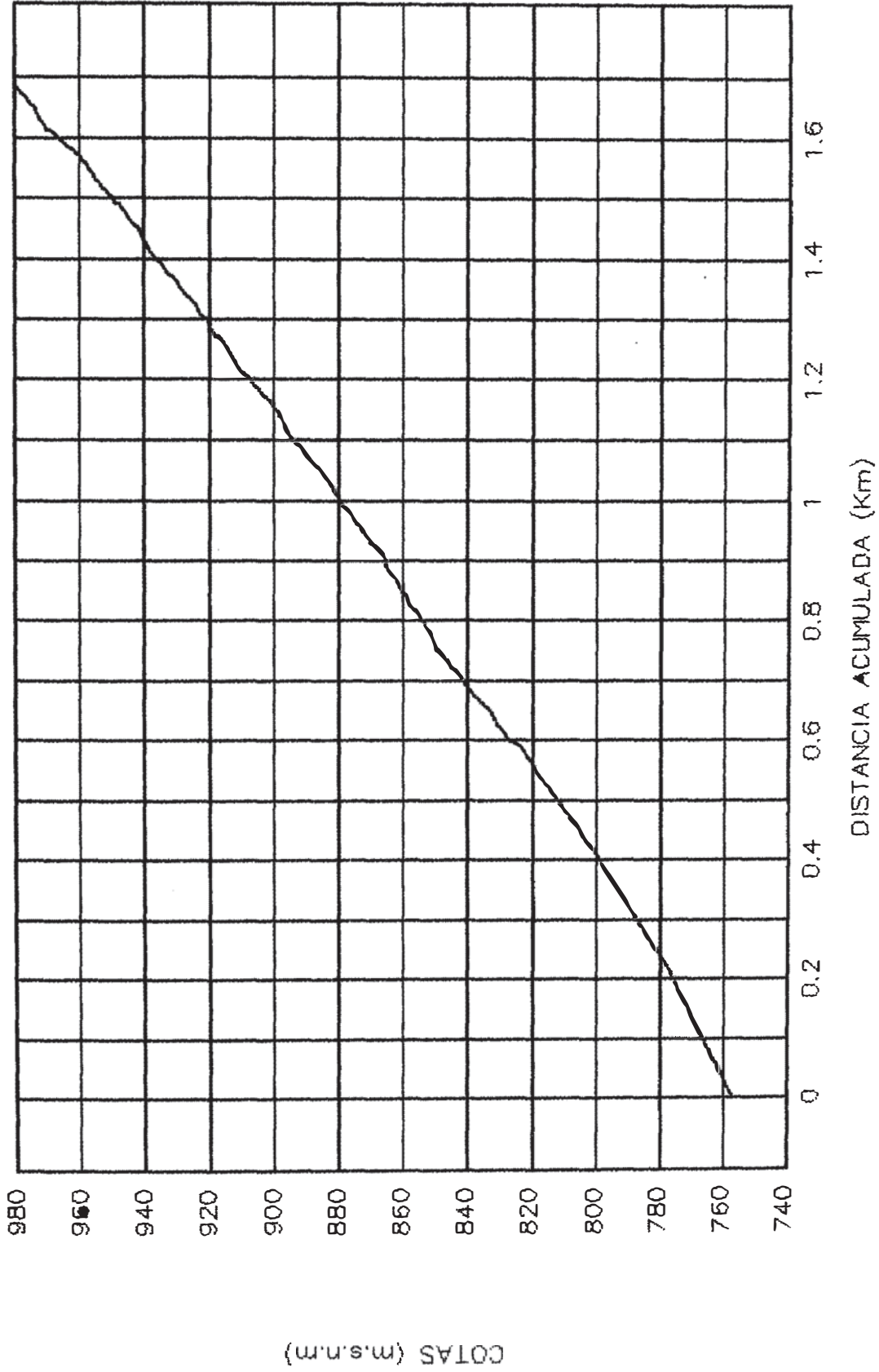


FIG. IV - 6

\* **ANCHO:** de acuerdo al plano topográfico a escala 1/500 se puede determinar:

- Ancho máximo: de 40 m. (comprende el canal de demasías y el camino de acceso a la comunidad de Yanacoto).

- Ancho mínimo: de 5 m. (comprende el canal de demasías de la antigua Central Hidroeléctrica de Yanacoto).

- Ancho promedio: de 25 m.

\* **PENDIENTE:** De acuerdo al plano topográfico a escala 1/500 se puede determinar:

- Pendiente máxima: de 11.75 %

- Pendiente mínima: de 9.25 %

- Pendiente promedio: de 11.00 %

\* **ESPEORES O PROFUNDIDAD:** La única profundidad del cauce bajo es la que tiene el canal de demasías de la antigua Central Hidroeléctrica de Yanacoto que es de 2 m. en promedio. El cauce desemboca al río Rímac a través de una escarpa de aprox. 15 a 20 m. de altura, quedando el delta erosionado por el río Rímac, por lo que el cauce lo denominamos cautivo.

#### 4.1.3 PENDIENTE DE LADERAS

Las laderas a considerar son las colindantes con las quebradas ó cauces principales dentro de la subcuenca Santa María Yanacoto; a simple vista puede afirmarse que todas las laderas tienen pendientes mayores a los 10°, con la ayuda de una brújula adecuada se pudo determinar con mayor exactitud las pendientes de las laderas en ambas márgenes, es así que en

la margen izquierda las pendientes varían de  $30^{\circ}$  a  $35^{\circ}$  y en la margen derecha éstas varían de  $20^{\circ}$  a  $25^{\circ}$ , llegando a  $45^{\circ}$  en los inicios del cauce alto a 1100 m.s.n.m. aproximadamente en los bordes de las laderas en roca intrusiva; en cotas mayores existen pendientes mayores a los  $45^{\circ}$ , las cuales son potencialmente inestables.

Comparando las pendientes de las laderas con las del cauce principal puede deducirse que las primeras son mayores en todos los tramos.

Al pie de las laderas de la margen derecha del cauce alto existen depósitos de material coluvial entre los cuales se encuentran rocas con un diámetro mayor a las 3" así como gravas arenosas, las primeras son potencialmente inestables ya que las rocas se encuentran sueltas y con pendientes cercanas a los  $40^{\circ}$ , que al ser movidas no se detienen hasta alcanzar un ángulo de reposo de  $34^{\circ}$  aproximadamente, este ángulo es el que poseen las gravas arenosas en su estado de reposo las cuales son más estables por existir mayor contacto y fricción entre sus partículas; por este motivo es muy importante no tocar o mover estos depósitos coluviales, los cuales caerían al cauce principal incrementando el peligro en caso de ocurrir un gran huayco, ya que serían arrastrados en dirección a la comunidad.

Las pendientes de las laderas de la margen izquierda del cauce alto son mayores y están principalmente sobre rocas del tipo Gabrodiorita, en cambio las de la margen derecha son menores y están principalmente sobre rocas Tonalíticas, la mayoría de ellas alteradas con tendencia a fracturarse en

forma angulosa; en ambas márgenes existe este tipo de alteración de rocas, por lo observado la alteración física primó más que la química, dando como resultado que los bloques angulosos sean reducidos a gravas y en otros casos sean apropiados para ser usados en el pircado de muros debido a su facilidad de manejo y a su disposición para poder superponerse una con otra, debido a sus caras planas y firmes, en mejor forma que cualquier otra roca de la zona de Chosica.

Dentro del mismo cauce principal existen laderas cuyas escarpas son casi verticales, las mismas que pueden desestabilizarse por erosión del pie, debido al paso del flujo de un huayco pequeño, o a la falta de cohesión del suelo por ser muy gravoso, estas escarpas poseen grietas de tensión que son una advertencia del poco equilibrio existente, en algunos sectores del cauce alto y medio se observan escarpas caídas, en todos estos casos las escarpas son menores a los 4 m.

TABLA IV-1										
CUADRO RESUMEN DE LAS CARACTERISTICAS TOPOGRAFICAS										
CAUCE	LONG. (m)	ANCHO (m)			PENDIENTE (%)			PROFUNDIDAD(m)		
		Máx.	Mín.	Prom.	Máx.	Mín.	Prom.	Máx.	Mín.	Prom.
ALTO	1350	160	25	90	22.1	8.85	15.2	7	1	4
MEDIO	410	45	5	15	22.9	6.85	13.5	4	1	2.5 -3
BAJO	525	40	5	25	11.8	9.25	11.0	20	2	-



#### 4.2 HIDROLOGICAS

La zona de la comunidad de Yanacoto N°5, posee un clima similar al que existe en toda Chosica, el cual podría denominarse intermedio, al tener una escasa precipitación los pobladores han subestimado el peligro estableciéndose en zonas muy cercanas a los cauces activos, pero desde la ocurrencia de los grandes huaycos en las zonas de Pedregal y Quirio en los años de 1987 y 1989, los nuevos pobladores han tomado conciencia y optan por establecerse en las partes altas fuera del alcance de algún huayco.

Bastaría que en la zona, especialmente en las partes altas, ocurra un corto pero intenso periodo de lluvias excepcionales, ya sea como efecto de un fenómeno regional o un fenómeno como de "El Niño" o en todo caso una alteración local, para que la subcuenca reciba el suficiente aporte de agua y se genere un huayco.

Es importante indicar que en la actualidad en esta zona no se cuenta con estaciones meteorológicas que registren las precipitaciones de la subcuenca, las más cercanas son las de Ñaña, Chosica, Santa Eulalia y Matucana, de las cuales se tiene registros medios mensuales, el de Chosica y Santa Eulalia tiene periodos de registro cortos, además la estación meteorológica de Chosica ha dejado de funcionar hace unos 35 años, por lo que se deben adecuar los datos de precipitación para un estudio detallado y estimar mediante la Hidrología la probable precipitación en la zona de la subcuenca Santa María Yanacoto N° 5. Algo que se observa en los registros de

precipitación es que los meses de lluvia se concentran principalmente en los meses de Enero, Febrero y Marzo, de estos datos puede deducirse que en las dos últimas décadas, los años de lluvias excepcionales entre Matucana y Chosica han sido: Febrero de 1967, Marzo de 1971, Febrero y Marzo de 1972, Marzo de 1975 y Marzo de 1983.

Los huaycos definitivamente están relacionados con la intensidad de la precipitación o tiempo de duración de la tormenta, que con el volumen total de descarga pluvial y así mismo con la persistencia de la lluvia en los días precedentes, esto se debe a que la condición inicial para que se genere un huayco es la saturación del suelo dentro de la subcuenca especialmente su parte alta.

De acuerdo a los grandes huaycos registrados en la zona de Chosica se puede saber en que años ocurrieron estos fenómenos y con que frecuencia, se cuenta con una información sobre huaycos desde mediados del siglo pasado, en los años 1863, 1891 y 1894 se presentaron grandes avenidas en el río Rímac, así como actividad en las quebradas de Chosica. En el presente siglo tenemos una estadística más exacta, las lluvias y huaycos que más castigaron a Chosica se dan en los años 1909, 1915, 1925-26, 1936, 1939, 1967, 1971-72, 1975, 1983, 1987 y 1989, en estas fechas se activaron las quebradas tributarias.

#### 4.2.1 CALCULO DEL CAUDAL MAXIMO Y MINIMO PROBABLE PARA EL DIMENSIONAMIENTO DEL CAUCE

El cálculo de los caudales máximos y mínimos es un paso previo al dimensionamiento del cauce, es decir, a encontrar la sección transversal ideal para transportar el flujo aluvional, a través de un cauce canalizado, el cual se recomienda que tenga forma rectangular.

Para estimar estos dos parámetros, existen varios métodos, pero los más recomendables a emplear son:

- a) Los métodos hidrológicos, es decir aplicando los procedimientos y fórmulas de la hidrología.
- b) Método ideado por el Ing<sup>o</sup> Alberto Martínez Vargas, basado en la observación in-situ.

A continuación explicaré cada uno de estos métodos, haciendo los cálculos respectivos para encontrar la descarga máxima y mínima de un posible huayco, para luego hacer el dimensionamiento del cauce.

##### a) METODOS HIDROLOGICOS

a.1) **Fórmula de Manning.**- Uno de los métodos hidrológicos que puede emplearse para darnos un tope límite, es usar la fórmula de Manning, a pesar de que dicha fórmula es válida para agua y fluidos permanentes y uniformes. Los huaycos distan mucho de comportarse como fluidos uniformes y permanentes, a la vez que no tiene las características de fluido que tiene el agua; la densidad del flujo aluvional, su capacidad de arrastre y su poder erosivo son mayores a la del

agua, pero estas características van variando a lo largo de su recorrido debido a que en un principio el huayco contiene poca agua en relación con su volumen, pero conforme va avanzando, se va quedando el material sólido en el camino, a consecuencia de esto el volumen del agua aumenta pero disminuyen su densidad, capacidad de arrastre y su poder erosivo a tal grado que puede compararse con el agua, la fórmula de Manning  $Q = A \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2} / n$ , además relaciona el área de la sección, la pendiente del tramo en estudio, la rugosidad del cauce y nos permite obtener la velocidad del flujo, por lo tanto dicha fórmula puede usarse para estimar un probable caudal del huayco en las zonas inferiores del cauce principal.

Los datos requeridos para aplicar la fórmula de Manning, son fáciles de obtener a partir del estudio topográfico (área de la sección transversal, radio hidráulico, pendiente); el valor del coeficiente de rugosidad se obtiene de tablas o cuadros que se encuentran en los libros de hidrología; así tenemos que para canales naturales o cauces naturales de las características de la quebrada de Yanacoto, el libro de hidrología de Linsley propone un valor de 0.048 el cual es un promedio de varias experiencias ( $n = 0.048$ ).

Para aplicar la fórmula de Manning y obtener el caudal en  $m^3/s$  y la velocidad en  $m/s$ , es necesario que:

- El valor del área de la sección transversal esté en metros cuadrados.
- El valor del radio hidráulico esté en metros.

- El valor de la pendiente y el coeficiente de rugosidad del terreno sean adimensionales.

De acuerdo a la topografía, la sección transversal más crítica (para el cálculo del caudal máximo), se encuentra al inicio del cauce medio, antes del muro de piedra construido por los trabajadores del PAIT, en la cual la altura de la terraza es el límite alcanzado por el huayco más grande que haya pasado por la zona (FIG. IV-7), (Sección 46, Progresiva 0+914), el cual ocurrió hace más de 3200 años debido a una crisis climática, según el Ing<sup>o</sup> Alberto Martínez V. (1991).

Dicha sección posee un área aproximada de 145 m<sup>2</sup>, la pendiente promedio de la zona es de 0.14 (14%) y el coeficiente de rugosidad del terreno es de 0.048; si considero una variación de profundidad de 2.0 m. a 2.5 m.

TABLA IV-2

A= b x t =145 m <sup>2</sup>		S= 0.14	n= 0.048	
t(m)	b(m)	R(m)	Q(m <sup>3</sup> /s)	V(m/s)
2.0	72.5	1.89	1727	11.9
2.5	58.0	2.30	1969	13.6

Se observa que las velocidades obtenidas son muy altas (gran poder erosivo), la velocidad máxima para el encauzamiento de un huayco evitando la erosión en roca del lugar, según la ponencia: "Rescate de Tecnología para el diseño del encauzamiento del cauce del huayco" hecha por el Ing. A. Martínez V. (1990 a) es de 8 m/s como máximo, por lo

# CUENCA DE YANACOTO

SECCION 46 (0+914)

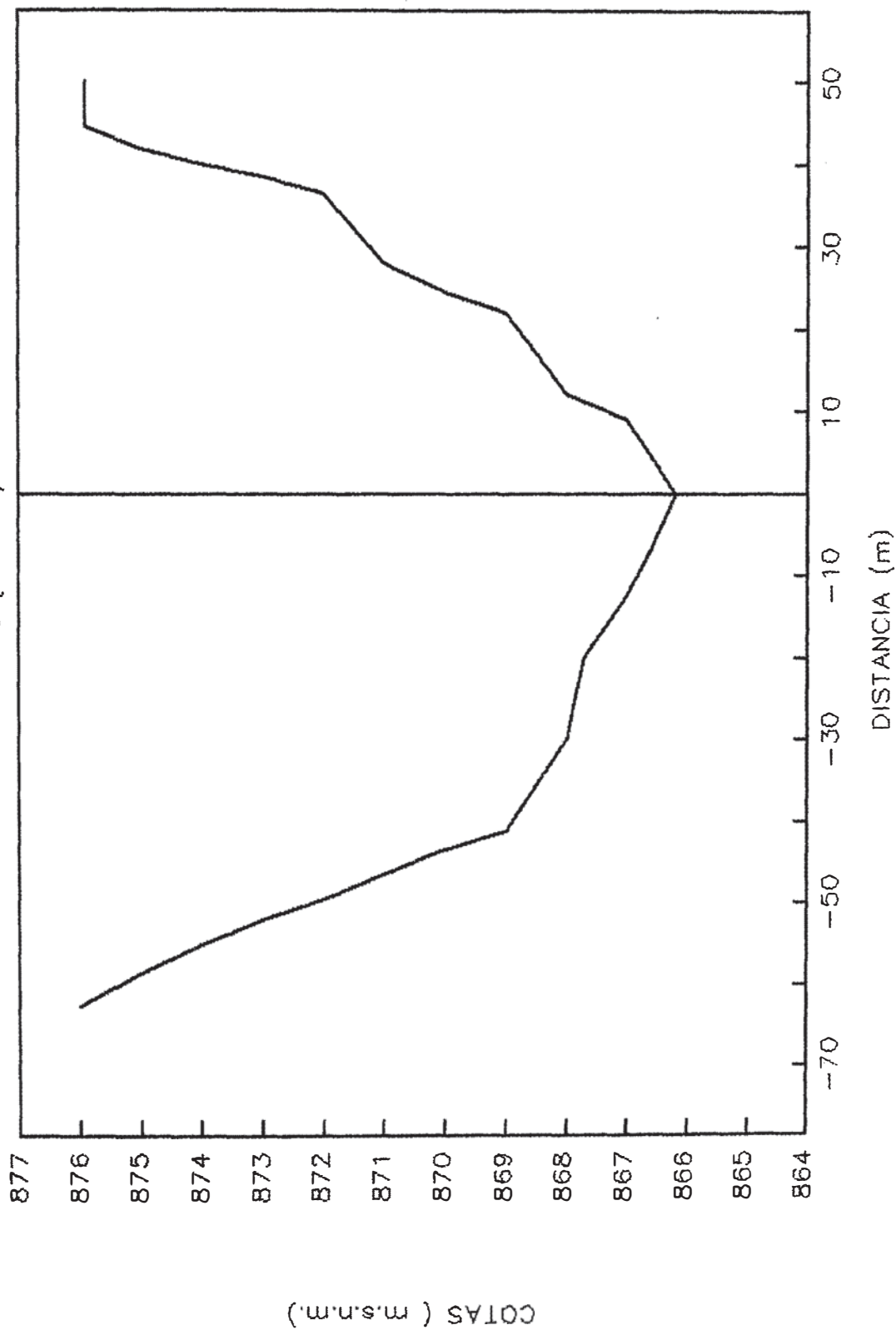


FIG. IV-7

que es recomendable bajar la pendiente hasta alcanzar una velocidad menor a 8 m/s.

Con los mismos datos del área y del coeficiente de rugosidad, tenemos:

TABLA IV-3

t(m)	b(m)	R(m)	S	Q(m <sup>3</sup> /s)	V(m/s)	Aceptable
1.5	96.7	1.45	0.07	1024	7.06	(si)
1.5	97.0	1.45	0.08	1095	7.55	(si)
2.0	72.5	1.89	0.08	1306	9.00	(no)
2.0	72.5	1.89	0.07	1222	8.42	(no)
2.0	72.5	1.89	0.06	1131	7.80	(si)
2.0	72.5	1.89	0.05	1033	7.12	(si)
2.5	58.0	2.30	0.06	1289	8.90	(no)
2.5	58.0	2.30	0.05	1177	8.12	(no)
2.5	58.0	2.30	0.04	1053	7.26	(si)
3.0	48.3	2.67	0.05	1300	8.97	(no)
3.0	48.3	2.67	0.04	1163	8.02	(no)

Según lo calculado, las posibilidades más aceptables son todas aquellas que presentan velocidades menores a 8 m/s, pero el inconveniente que se presenta es el ancho de la sección, los cuales son mayores a los de los cauces medio y bajo, lo que implicaría un gran movimiento de tierras así como la eliminación de algunas viviendas, si es que se encuentran dentro del ancho calculado.

Si bien es cierto que las velocidades seleccionadas están por debajo de los 8 m/s, es necesario recordar que la densidad del huayco es mayor que la del agua, sin embargo el esfuerzo cortante desarrollado en los contornos aumenta al estar directamente relacionado con la densidad mencionada y por lo tanto se puede considerar que las velocidades límites

para evitar la erosión del agua son también válidas para el huayco.

Debemos tener en cuenta, que las secciones encontradas anteriormente son para un huayco con las características de una crisis climática; para un huayco regular, las dimensiones serían menores.

Si consideramos la caída de un huayco común, es decir uno producido sin la presencia de una crisis climática, podría considerarse sus parámetros como el 50% de un huayco producido por crisis climáticas, luego tendríamos:

TABLA IV-4

A= b x t =70 m <sup>2</sup>		S= 0.14		n= 0.048	
t(m)	b(m)	R(m)	Q(m <sup>3</sup> /s)	V(m/s)	
2.0	35.0	1.79	804	11.50	
2.5	28.0	2.12	901	12.86	

Las velocidades obtenidas son altas y tienen gran poder erosivo (mayores de 8m/s), por lo tanto tendrá que regularse la pendiente, luego:

TABLA IV-5

t(m)	b(m)	R(m)	S	Q(m <sup>3</sup> /s)	V(m/s)	Aceptable
1.5	46.7	1.41	0.09	550	7.86	(si)
1.5	46.7	1.41	0.08	519	7.41	(si)
1.5	46.7	1.41	0.07	485	6.93	(si)
2.0	35.0	1.79	0.08	608	8.67	(no)
2.0	35.0	1.79	0.07	569	8.13	(no)
2.0	35.0	1.79	0.06	527	7.52	(si)
2.0	35.0	1.79	0.05	481	6.87	(si)
2.5	28.0	2.12	0.07	637	9.10	(no)
2.5	28.0	2.12	0.06	590	8.42	(no)
2.5	28.0	2.12	0.05	538	7.67	(si)



Según lo calculado, las posibilidades más aceptables son todas aquellas que poseen velocidades menores a 8 m/s, siendo los principales problemas en el cauce medio y bajo, el movimiento de tierras , la eliminación de algunas viviendas que se encuentran dentro del ancho calculado y la incorporación en el cauce bajo de una sección que trabaje simultáneamente con el canal de demasías.

**a.2) Relación Precipitación Escorrentía.**- El método aplicado anteriormente no toma en cuenta las condiciones climáticas de la zona, la hidrología se basa principalmente en el estudio de estas condiciones para estimar una probable precipitación o avenida; lamentablemente no existen registros continuos de las condiciones climáticas de la zona de la cuenca Santa María, además los que existen son de zonas cercanas y no de la propia cuenca.

Por lo tanto se hace necesario aplicar la estadística en la hidrología y un análisis regional para estimar los datos que nos hacen falta.

El objetivo básico de la aplicación de la estadística en la hidrología, es el análisis de la información hidrológica, en forma de muestras a fin de inferir las características con que debe ser esperado en el futuro el fenómeno que se estudia.

Existe en muchos la idea de que la estadística es usada sólo cuando no es posible dar una solución exacta a un problema hidrológico. En esta interpretación la solución

exacta es una solución determinística del problema. Sin embargo se puede demostrar que la solución determinística constituye una solución particular de la solución estadística o probabilística.

Los problemas de hidrología más comunes, presentan por lo general los siguientes casos:

1) Cuencas con suficiente información hidrológica. Este es el caso más optimista donde se puede aplicar todo tipo de metodologías existentes.

2) Cuencas con escasa información hidrológica. En este caso se pueden desarrollar modelos que relacionen las precipitaciones con las descargas mediante el uso de la regresión simple o múltiple, lineal o no lineal.

3) Cuencas sin información hidrológica. Este es el caso más crítico y el más común, el cual puede resolverse mediante un análisis regional.

Conviene recordar aquí, que las técnicas probabilísticas se aplican a la información hidrológica sólo después que ésta ha sido sometida a un tratamiento previo en que se atiende: el relleno de la información, el análisis de consistencia y la extensión del registro.

Es así que la hidrología tratará de determinar las precipitaciones promedio máximas diarias anuales en la cuenca Santa María, que se podrán presentar para diferentes periodos de retorno, con el objeto de que sirvan para evaluar los volúmenes de los huaycos que estas lluvias podrían ocasionar y

así plantear las medidas correctivas para prevenir el peligro y mitigar los daños.

Para determinar las precipitaciones máximas diarias anuales en la cuenca Santa María se necesitaría de una estación meteorológica en la zona la cual registre estos valores, pero lamentablemente esta no existe y se tiene que recurrir a las estaciones meteorológicas más cercanas, las cuales en promedio representen características similares a la cuenca en estudio y que además cuenten con un largo periodo de registro (más de 20 años).

De todas las estaciones meteorológicas ubicadas en la cuenca del río Rímac, existen cuatro que podremos considerar para hacer una evaluación de la precipitación en la zona de Santa María, ellas son: Ñaña, Chosica, Santa Eulalia y Matucana, lamentablemente la estación de Chosica dejó de operar hace mucho y no podríamos contar con sus registros de precipitación necesarias para el estudio.

El área de recepción de lluvias de la subcuenca Santa María Yanacoto N° 5 se encuentra a una altura promedio de 1250 a 1350 m.s.n.m., y las cotas de las estaciones meteorológicas antes mencionadas son:

TABLA IV-6

ESTACION	COTA
Obs. climatológico de Ñaña	550 m.s.n.m.
Obs. climatológico de Chosica	850 m.s.n.m.
Obs. pluviométrico de S. Eulalia	1250 m.s.n.m.
Obs. climatológico de Matucana	2350 m.s.n.m.

El promedio de las cotas de estas estaciones, incluyendo a la de Chosica o no, dan como resultado la cota promedio del área de recepción de lluvias de la subcuenca Santa María Yanacoto N<sup>o</sup> 5, además todas estas estaciones así como la misma cuenca Santa María se encuentran dentro de la cuenca del río Rímac, estando todas alineadas con dicho río.

Las informaciones que se obtuvieron de estas estaciones fueron las medias mensuales de las cuatro, y las máximas diarias anuales de tres de ellas exceptuando la de Chosica.

Para estimar la precipitación en la zona de estudio, hubiese sido recomendable aplicar el método del polígono de Thiessen, pero tal como se observa en plano de ubicación de las estaciones meteorológicas (FIG. IV-8), las estaciones se encuentran alineadas, al pie del río Rímac, casi en línea recta, por lo que resulta difícil formar los polígonos o triángulos necesarios para aplicar el método antes mencionado, por lo que una solución sería determinar promedios de máximas precipitaciones diarias anuales de las estaciones de Ñaña, Santa Eulalia y Matucana, y otra sería sólo considerar los datos de la estación de Santa Eulalia la cual se encuentra a una cota similar a la del área de recepción de lluvias de la subcuenca Santa María Yanacoto; analizaré ambos casos y les aplicaré los métodos hidrológicos necesarios para estimar las precipitaciones máximas, para diferentes periodos de retorno.

A continuación mostraré los registros de precipitación, tanto las medias mensuales de las cuatro estaciones mencionadas, así como las máximas diarias anuales de tres de ellas exceptuando a la de Chosica, por estar fuera de operación hace mucho tiempo, también presentaré un cuadro resumen de las precipitaciones medias mensuales de las cuatro estaciones hecho por JICA en 1988, los datos son:

**OBSERVATORIO CLIMATOLOGICO DE NAÑA**

TIPO: CLIMATOLOGICO ORDINARIO

PROPIETARIO: SENAMHI

LATITUD SUR: 11° 59'

LONGITUD OESTE: 76° 50'

ALTITUD: 550 m.s.n.m.

Dpto. : Lima

Prov. : Lima

Dist. : Lurigancho

PERIODO DE REGISTRO: 1964-84

## PRECIPITACION MEDIA MENSUAL. Unidad: mm

Años	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL ANUAL
1964	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.6
1965	0.0	0.6	0.7	0.0	0.8	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0	0.0	0.7	3.6
1966	2.9	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	1.5	1.5	2.0	8.7
1967	5.0	6.1	24.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	35.2
1968	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-	--
1969	4.5	0.0	0.0	0.0	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	0.0	-	--
1970	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1971	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	--
1972	-	-	-	-	-	-	-	0.0	-	0.0	0.0	-	--
1973	-	-	-	0.0	-	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	--
1974	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	1.4
1975	0.8	0.0	7.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.7
1976	8.0	2.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	10.8
1977	1.6	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	0.0	2.9
1978	0.0	0.0	1.5	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.7
1979	0.0	0.0	7.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.0
1980	-	-	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	--
1981	-	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	-	-	0.0	--
1982	0.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	--
1983	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	-	0.0	0.0	-	-	--
1984	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-	-	-	--

FUENTE: DNERN 75 - JICA 88

**OBSERVATORIO CLIMATOLOGICO DE CHOSICA**

TIPO: CLIMATOLOGICO ORDINARIO

PROPIETARIO: SENAMHI

LATITUD SUR: 11° 57'

LONGITUD OESTE: 76° 42'

ALTITUD: 850 m.s.n.m.

Dpto. : Lima

Prov. : Lima

Dist. : Lurigancho

PERIODO DE REGISTRO: 1947-55

**PRECIPITACION MEDIA MENSUAL.**

Unidad: mm

Años	E	F	M	A	M	J	J	A	S	D	N	D	TOTAL ANUAL
1947	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0	2.4	--
1948	3.7	3.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	10.4
1949	5.0	1.3	9.6	1.2	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	17.7
1950	1.3	6.2	1.4	3.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	5.5	18.5
1951	6.0	0.0	11.5	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	2.2	0.0	1.5	21.4
1952	4.4	11.3	3.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.9	2.5	23.4
1953	4.5	2.7	0.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	0.2	0.0	9.1
1954	7.0	7.3	7.8	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	25.0
1955	27.2	6.6	19.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	--

FUENTE: ONERN 75

**OBSERVATORIO PLUVIOMETRICO DE SANTA EULALIA**

TIPO: PLUVIOMETRICO

PROPIETARIO: SENAMHI

LATITUD SUR: 11° 54'

LONGITUD OESTE: 76° 40'

ALTITUD: 1050 m.s.n.m.

Dpto. : Lima

Prov. : Huarochiri

Dist. : Matucana

PERIODO DE REGISTRO: 1965-72

## PRECIPITACION MEDIA MENSUAL.

Unidad: mm

Años	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL ANUAL
1965	-	-	-	0.8	1.7	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	0.6	2.2	--
1966	29.2	1.0	43.4	0.0	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	22.6	0.0	0.0	97.7
1967	32.5	98.8	73.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	-	0.2	--
1968	-	-	-	-	1.1	-	-	-	-	-	-	-	--
1969	11.6	12.2	16.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.9	14.6	56.3
1970	93.1	5.9	31.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.8	1.5	1.5	0.0	144.0
1971	0.0	15.4	41.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.6	63.9
1972	14.5	31.8	110.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.3	162.7

FUENTE: ONERN 75



## OBSERVATORIO CLIMATOLOGICO DE MATUCANA

TIPO: CLIMATOLOGICO ORDINARIO

PROPIETARIO: SENAMHI

LATITUD SUR: 11° 50'

LONGITUD OESTE: 76° 24'

ALTITUD: 2350 m.s.n.m.

Dpto. : Lima

Prov. : Huarochiri

Dist. : Matucana

PERIODO DE REGISTRO: 1964-85

## PRECIPITACION MEDIA MENSUAL.

Unidad: mm

Años	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL ANUAL
1964	-	64.6	57.6	61.1	5.1	0.0	0.0	0.0	0.0	4.6	6.0	33.2	--
1965	55.4	83.1	69.5	12.6	0.5	0.0	0.0	0.0	3.8	13.7	6.7	25.3	270.6
1966	60.1	38.7	52.5	22.3	0.2	0.0	0.0	0.0	5.8	19.1	12.7	37.6	249.0
1967	77.3	147.7	97.1	17.2	3.7	0.0	0.9	3.4	2.1	15.2	4.3	10.2	379.1
1968	26.4	24.9	33.3	11.2	8.9	0.0	0.0	1.2	1.7	7.3	6.3	22.3	143.5
1969	11.4	54.6	70.8	26.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	18.1	24.1	55.2	261.4
1970	106.9	8.9	35.4	29.1	9.1	0.0	0.0	0.0	21.8	14.5	5.4	53.8	284.9
1971	57.4	72.6	116.0	27.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.6	1.2	42.9	324.1
1972	106.2	63.5	144.8	13.8	0.0	0.0	0.0	-	-	-	-	-	--
1973	82.3	80.8	58.7	5.7	0.0	0.0	0.0	0.0	33.9	8.3	7.5	56.9	334.1
1974	45.3	76.4	75.8	9.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.6	4.6	21.3	233.8
1975	33.4	59.0	118.3	8.9	6.2	0.8	0.0	0.0	1.3	7.0	12.4	40.1	287.4
1976	70.3	73.4	58.1	0.5	0.5	0.9	0.0	0.0	0.8	0.0	0.0	26.2	230.7
1977	32.9	69.5	37.8	2.7	5.9	0.0	0.0	0.0	2.5	0.6	28.7	26.2	206.8
1978	29.1	29.8	21.0	5.4	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	0.0	7.8	12.6	107.2
1979	15.1	43.2	65.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.2	0.9	--	--
1980	18.0	8.3	21.0	18.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.1	0.0	13.7	93.9
1981	62.0	43.4	72.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.2	1.5	33.9	217.8
1982	28.2	25.3	29.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.3	0.9	93.7
1983	9.5	62.0	169.2	25.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	32.7	299.3
1984	34.1	196.8	86.5	10.5	1.0	1.8	0.0	0.0	0.0	20.5	29.2	73.4	453.8
1985	17.9	55.7	67.7	8.7	2.2	0.0	0.0	1.6	2.7	1.7	0.0	--	--

FUENTE: ONERN 75 - JICA 88

**RESUMEN DE LOS REGISTROS MEDIOS MENSUALES DE LLUVIAS**

---

ESTACION	PERIODO DE REGISTRO	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL ANUAL
ANA	1964-84	1.5	0.7	1.7	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.3	4.7
CHOSICA	1948-54	4.6	4.6	4.9	0.9	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.4	2.0	18.0
S. EULAL.	1969-72	29.8	16.3	50.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.7	0.5	0.6	6.9	106.8
MATUCANA	1964-85	44.6	64.8	93.7	14.3	2.0	0.2	0.0	0.1	3.5	7.8	7.4	33.8	272.2

---

FUENTE: JICA 1988

DIA DE MAXIMA LLUVIA

Unidad: mm

ESTACIONES: NAÑA - SANTA EULALIA - MATUCANA

## P R E C I P I T A C I O N E S

AÑO	NAÑA	SANTA EULALIA	MATUCANA	PROMEDIO
1964	0.6 (DIC 26)	5.4 (FEB 25)	15.9 (DIC 27)	7.3
1965	0.6 (MAY 18)	1.2 (DIC 12)	14.9 (ENE 08)	5.6
1966	2.0 (DIC 15)	26.0 (ENE 30)	11.9 (ENE 28)	13.3
1967	3.6 (MAR 18)	29.8 (FEB 07)	16.7 (MAR 19)	16.7
1968	0.0	0.5 (MAY 16)	12.8 (FEB 02)	4.4
1969	3.0 (ENE 26)	10.6 (MAR 10)	12.0 (FEB 12)	8.5
1970	0.0	30.8 (ENE 14)	31.7 (ENE 15)	20.8
1971	0.0 *	14.5 (MAR 27)	23.3 (FEB 22)	12.6
1972	0.5 *	20.0 (MAR 12)	18.1 (MAR 05)	12.9
1973	1.0 *	19.2 (ENE 09)	25.2 (FEB 10)	15.1
1974	0.8 (DIC 23)	6.0 (MAR 11)	11.9 (FEB 19)	6.2
1975	4.5 (MAR 10)	14.5 (MAR 01)	10.8 (MAR 23)	9.9
1976	8.0 (ENE 30)	30.0 (FEB 02)	15.8 (ENE 30)	17.9
1977	1.6 (ENE 01)	8.0 (MAR 19)	35.2 (FEB 18)	14.9
1978	1.5 (MAR 22)	6.8 (MAR 06)	7.8 (NOV 23)	5.4
1979	2.9 (MAR 05)	10.0 (MAR 08)	12.3 (FEB 18)	8.4
1980	0.0 *	10.0 (MAR 15)	8.8 (ABR 03)	6.3
1981	1.0 *	10.0 (FEB 02)	12.5 (FEB 12)	7.8
1982	1.6 *	5.6 (DIC 11)	9.5 (NOV 17)	5.6
1983	2.6 *	8.0 (MAR 12)	25.0 (FEB 22)	11.9
1984	4.1 *	10.5 (FEB 19)	21.5 (MAR 07)	12.0
1985	4.5 *	0.3 *	19.8 (NOV 17)	8.2

\* Datos completados

FUENTE: JICA 88

a.2.1) Primeramente trabajaré con los promedios de las tres estaciones meteorológicas que registran precipitaciones máximas diarias anuales, ellas son: Ñaña, Santa Eulalia y Matucana.

TABLA IV-7

-----  
 PROMEDIO MAXIMO DIARIO ANUAL DE 1 DIA DE LLUVIA.      Unidad: mm

ESTACIONES: ÑAÑA - SANTA EULALIA - MATUCANA  
 -----

AÑO	PRECIPITACION PROMEDIO
1964	7.3
1965	5.6
1966	13.3
1967	16.7
1968	4.4
1969	8.5
1970	20.8
1971	12.6
1972	12.9
1973	15.1
1974	6.2
1975	9.9
1976	17.9
1977	14.9
1978	5.4
1979	8.4
1980	6.3
1981	7.8
1982	5.6
1983	11.9
1984	12.0
1985	8.2

-----

Teniendo este registro (22 años), se pueden estimar las precipitaciones máximas para diferentes periodos de retorno, aplicando diversos métodos de la hidrología, los cuales pueden ser: Gumbell, Log-Pearson Tipo III, Curva de probabilidades (estadístico).

## a.2.1.1) METODO DE GUMBELL

El método de Gumbell está dado por la expresión:

$$P = 1 - e^{-e^{-y}} \quad (\text{IV-1})$$

Donde: P = Probabilidad de que un valor "x" sea igualado o excedido.

y = Variable reducida

e = Base del sistema Neperiano

además: y = Función lineal (evento hidrológico)

$$y = a(X - X_f)$$

donde: X<sub>f</sub> = Moda de la distribución

a = Parámetro de dispersión

para una muestra de tamaño finito Gumbell encontró que:

$$X_f = \bar{X} - \sigma_x \cdot \bar{Y}_n / \sigma_n$$

$$a = \sigma_n / \sigma_x$$

donde:  $\left[ \begin{array}{l} \bar{Y}_n = \text{Valor medio esperado de la variable reducida} \\ \sigma_n = \text{Desviación estándar de la variable reducida} \end{array} \right.$

además, estas dos últimas variables, son funciones sólo del tamaño de la muestra.

TABLA IV-8

Tamaño de la muestra (n)	20	30	40	50	100	200
$\bar{Y}_n$	0.52	0.54	0.54	0.55	0.56	0.57
$\sigma_n$	1.06	1.11	1.14	1.16	1.21	1.24

Simplificando tenemos:

$$X = \bar{X} + \left[ \frac{y - \bar{Y}_n}{\sigma_n} \right] \cdot \sigma_x$$

$$K = \left[ \frac{y - \bar{Y}_n}{\sigma_n} \right]$$

$$X = \bar{X} + K \cdot \sigma_x$$

(IV-2)

Con la ecuación IV-2 es posible hallar las precipitaciones máximas diarias anuales con largos periodos de retorno (100, 500, 1000 años). Esta ecuación es la ecuación de una línea recta en papel probabilístico de Gumbell. Precisamente para comprobar que el modelo de Gumbell es el apropiado para el problema en estudio, consiste en graficar la recta y plotear los puntos de la muestra (FIG. IV-9), deberá cumplirse que todos los puntos caen alineados cerca de la recta.

$$\text{De: } P = 1 - e^{-e^{-y}}$$

$$\text{se tiene: } y = -\text{Log}(-\text{Log}(1 - P))$$

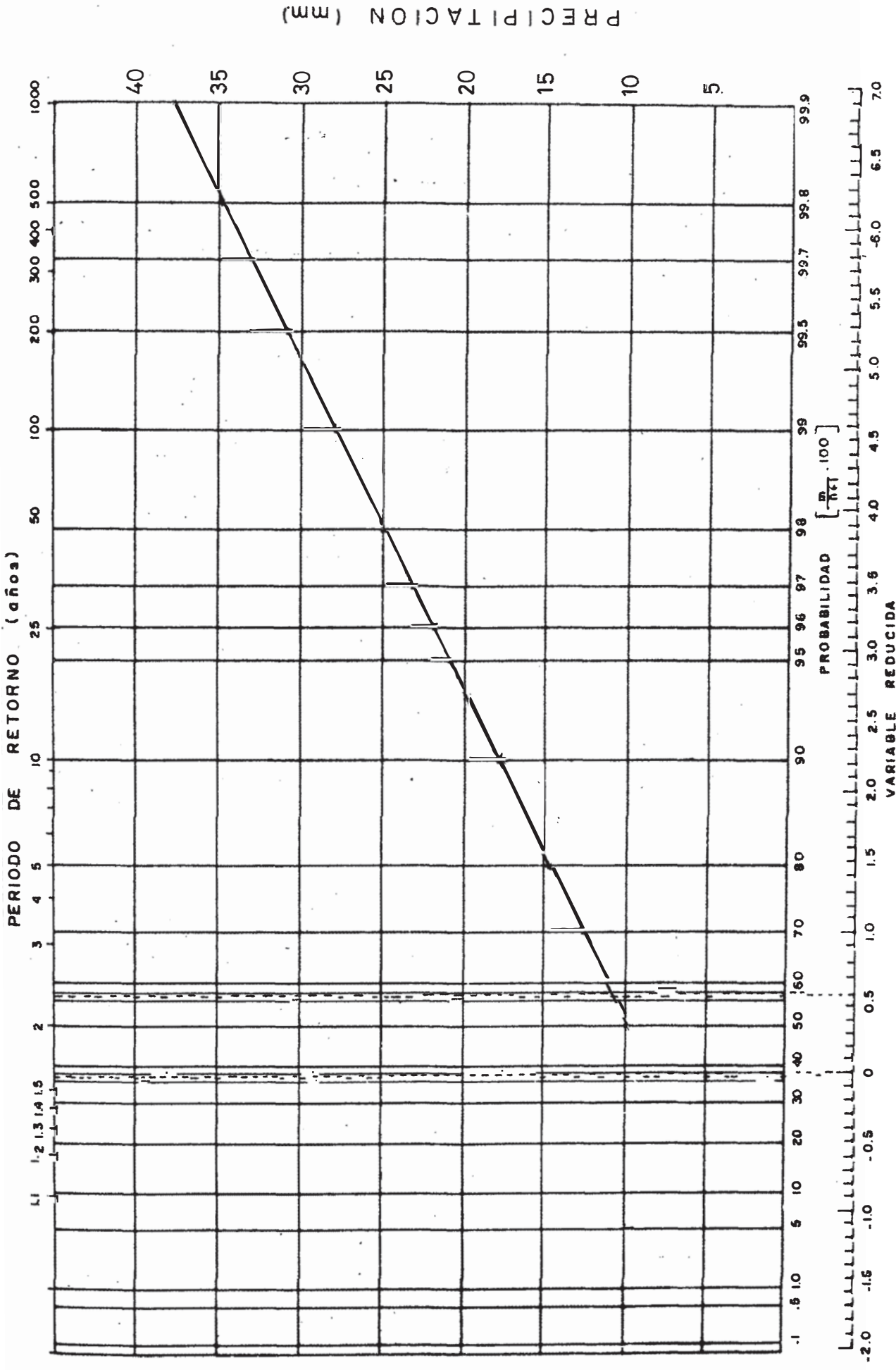
$$\text{además: } P = 1/T$$

$$\text{donde: } T = \text{Periodo de Retorno}$$

De los datos promedio mostrados tenemos:

$$n = 22 \quad \bar{Y}_n = 0.524 \quad \sigma_n = 1.07$$

$$\bar{X} = 10.532 \quad \sigma_x = 4.5824$$



PAPEL DE PROBABILIDAD DE GUMBEL FIG IV - 9

TABLA IV-9

Periodo de Retorno (T)	P=1/T	y	K	PRECIPITACION
				$X = \bar{X} + K \cdot \sigma_x$
2	0.500	0.37	-0.15	9.86
5	0.200	1.50	0.91	14.71
10	0.100	2.25	1.61	17.93
15	0.067	2.67	2.01	19.74
20	0.050	2.97	2.29	21.01
25	0.040	3.20	2.50	21.99
50	0.020	3.90	3.16	25.00
100	0.010	4.60	3.81	27.99
200	0.005	5.30	4.46	30.97
500	0.002	6.21	5.32	34.90
1000	0.001	6.91	5.97	37.87

#### a.2.1.2) METODO LOG PEARSON TIPO III

Para el uso de este método se convierten los valores de la serie a sus logaritmos y se hallan los siguientes parámetros:

$$\text{Media: } \overline{\text{Log}(x)} = \Sigma \text{Log}(x) / n$$

$$\text{Desviación Estándar: } \sigma_{\text{Log}x} = \sqrt{\frac{\Sigma (\text{Log}(x) - \overline{\text{Log}(x)})^2}{(n - 1)}}$$

$$\text{Coef. de Asimetría: } A_g = \frac{n \Sigma (\text{Log}(x) - \overline{\text{Log}(x)})^3}{(n - 1)(n - 2)(\sigma_{\text{Log}x})^3}$$

El valor de "x" para cualquier nivel de probabilidad se puede calcular a partir de:

$$\text{Log}(x) = \overline{\text{Log}(x)} + K \cdot \sigma_{\text{Log}x}$$

Los valores de K se toman según la TABLA IV-10



El método consiste en plotear los puntos (P%,Log(x)) y trazar la línea que los une (recta o curva), en papel de probabilidad Log Normal. Se prolonga esta línea para encontrar la precipitación con periodo de retorno grande.

Esto se efectúa del siguiente modo: con los datos de máximos promedios diarios anuales de las tres estaciones meteorológicas, procedemos a convertir los valores de precipitación (x) a sus logaritmos respectivos (Log(x)), para luego con estos valores (TABLA IV-11) encontrar la Media, la Desviación Estándar y el Coeficiente de Asimetría de la serie, luego encontramos el valor de K en la TABLA IV-10 de acuerdo al valor que resulte tener  $A_g$  y hallamos diversos valores de Log(x) a partir de la ecuación  $\text{Log}(x) = \text{Log}(x)_{\text{prom}} + \sigma_x \cdot K$ , con sus respectivos periodos de retorno (T= 2, 5, 10, 25, 50, 100 años) luego en un papel de probabilidad Log-Normal graficamos P% ( $P\% = 1/T \times 100$ ) versus Log(x), esta línea prolongada nos da el valor del Logaritmo de las precipitaciones deseadas para periodos de retorno largos (FIG. IV-10), para tener el valor de la precipitación, sólo basta calcular la exponencial (EXP) de el valor de Log(x).

$$\text{EXP}(\text{LOG}x) = X = \text{PRECIPITACION BUSCADA}$$

TABLA IV - 10

Coeficiente de asimetría	Período de retorno, años							
	1,0101	1,2500	2	5	10	25	50	100
	Nivel de probabilidad, porcentaje							
Ag	99	80	50	20	10	4	2	1
3,0	-0,667	-0,636	-0,396	0,420	1,180	2,278	3,152	4,051
2,8	-0,714	-0,666	-0,384	0,460	1,210	2,275	3,114	3,973
2,6	-0,769	-0,696	-0,368	0,499	1,238	2,267	3,071	3,889
2,4	-0,832	-0,725	-0,351	0,537	1,262	2,256	3,023	3,800
2,2	-0,905	-0,752	-0,330	0,574	1,284	2,240	2,970	3,705
2,0	-0,990	-0,777	-0,307	0,609	1,302	2,219	2,912	3,605
1,8	-1,087	-0,799	-0,282	0,643	1,318	2,193	2,848	3,499
1,6	-1,197	-0,817	-0,254	0,675	1,329	2,163	2,780	3,388
1,4	-1,318	-0,832	-0,225	0,705	1,337	2,128	2,706	3,271
1,2	-1,449	-0,844	-0,195	0,732	1,340	2,087	2,626	3,149
1,0	-1,588	-0,852	-0,164	0,758	1,340	2,043	2,542	3,022
0,8	-1,733	-0,856	-0,132	0,780	1,336	1,993	2,453	2,891
0,6	-1,880	-0,857	-0,099	0,800	1,328	1,939	2,359	2,755
0,4	-2,029	-0,855	-0,066	0,816	1,317	1,880	2,261	2,615
0,2	-2,178	-0,850	-0,033	0,830	1,301	1,818	2,159	2,472
0	-2,326	-0,842	0	0,842	1,282	1,751	2,054	2,326
-0,2	-2,472	-0,830	0,033	0,850	1,258	1,680	1,945	2,178
-0,4	-2,615	-0,816	0,066	0,855	1,231	1,606	1,834	2,029
-0,6	-2,755	-0,800	0,099	0,857	1,200	1,528	1,720	1,880
-0,8	-2,891	-0,780	0,132	0,856	1,166	1,448	1,606	1,733
-1,0	-3,022	-0,758	0,164	0,852	1,128	1,366	1,492	1,588
-1,2	-3,149	-0,732	0,195	0,844	1,086	1,282	1,379	1,449
-1,4	-3,271	-0,705	0,225	0,832	1,041	1,198	1,270	1,318
-1,6	-3,388	-0,675	0,254	0,817	0,994	1,116	1,166	1,197
-1,8	-3,499	-0,643	0,282	0,799	0,945	1,035	1,069	1,087
-2,0	-3,605	-0,609	0,307	0,777	0,895	0,959	0,980	0,990
-2,2	-3,705	-0,574	0,330	0,752	0,844	0,888	0,900	0,905
-2,4	-3,800	-0,537	0,351	0,725	0,795	0,823	0,830	0,832
-2,6	-3,889	-0,499	0,368	0,696	0,747	0,764	0,768	0,769
-2,8	-3,973	-0,460	0,384	0,666	0,702	0,712	0,714	0,714
-3,0	-4,051	-0,420	0,396	0,636	0,660	0,666	0,666	0,667

TABLA IV-11

AÑO	PREC. (X) (mm)	LOG(X)
1964	7.3	1.987
1965	5.6	1.722
1966	13.3	2.587
1967	16.7	2.815
1968	4.4	1.481
1969	8.5	2.140
1970	20.8	3.034
1971	12.6	2.533
1972	12.9	2.557
1973	15.1	2.715
1974	6.2	1.824
1975	9.9	2.292
1976	17.9	2.884
1977	14.9	2.701
1978	5.4	1.686
1979	8.4	2.128
1980	6.3	1.840
1981	7.8	2.054
1982	5.6	1.723
1983	11.9	2.477
1984	12.0	2.484
1985	8.2	2.104

$$\Sigma = 49.768$$

De acuerdo a las fórmulas planteadas, tenemos:

$$\overline{\text{LOG}(x)} = 2.2622$$

$$\sigma_{\text{Log}x} = 0.4429$$

$$A_g = -0.01890$$

De acuerdo al gráfico en papel Log-Normal, encontramos los siguientes valores de precipitación, para los respectivos periodos de retorno (FIG. IV-10).



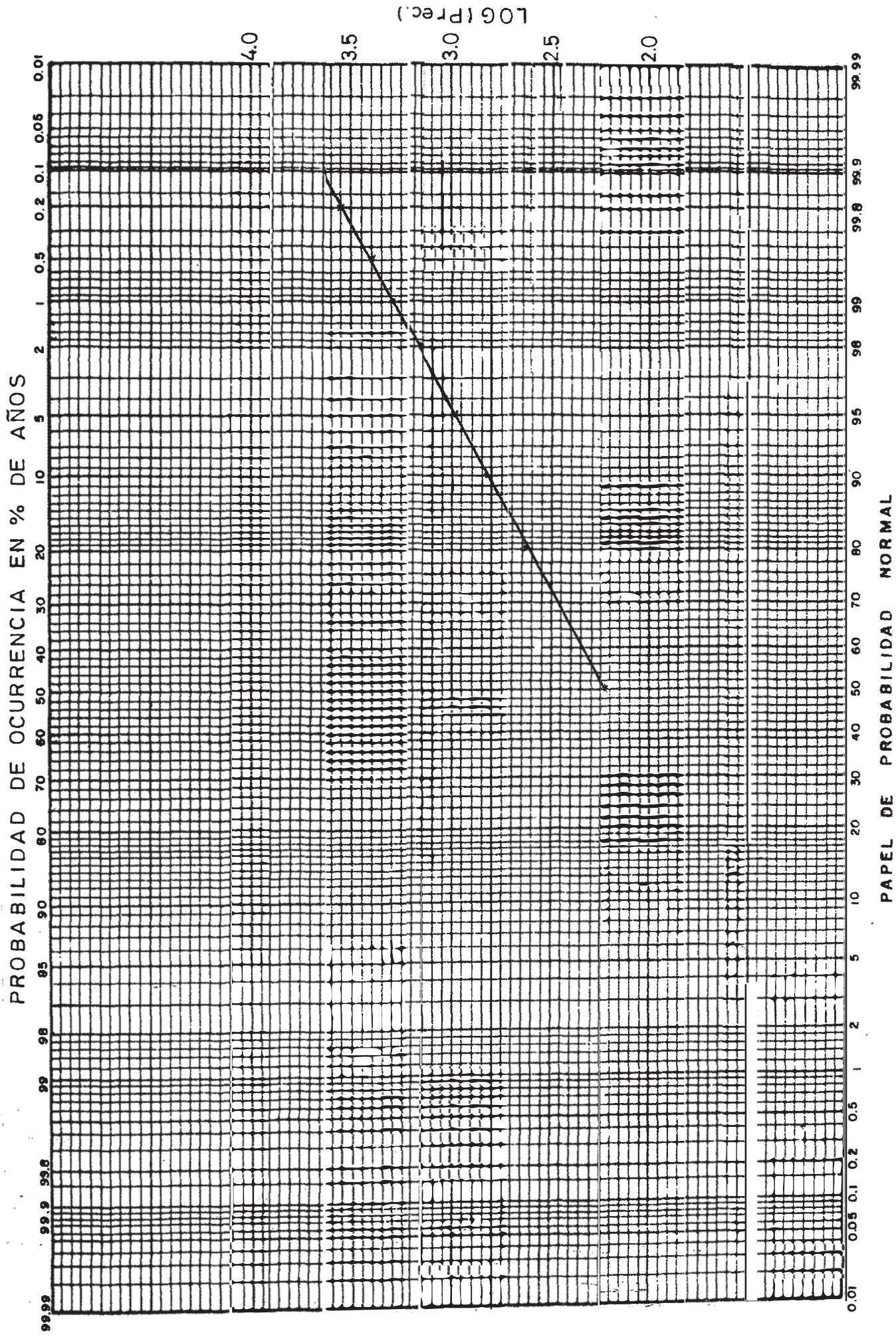


FIG. IV-10

PAPEL DE PROBABILIDAD NORMAL

TABLA IV-12

Periodo de Retorno (T)	Prob. ( % )	K	Log(X)	Precipitación (mm) (X)
2	50.0	0.004	2.264	9.62
5	20.0	0.844	2.636	13.96
10	10.0	1.280	2.829	16.94
15	6.7	1.497	2.925	18.63
20	5.0	1.621	2.980	19.69
25	4.0	1.745	3.035	20.81
50	2.0	2.045	3.168	23.76
100	1.0	2.314	3.287	26.75
200	0.5	2.569	3.400	29.96
500	0.2	2.908	3.550	34.81
1000	0.1	3.111	3.640	38.09

#### a.2.1.3) METODO DE LA CURVA DE PROBABILIDADES

El método consiste en tener un periodo de registro disponible (más de 20 años). Luego tabular los cálculos de acuerdo a la TABLA IV-13 , donde:

$N$  = Número de datos = 22

$M$  = Orden de magnitud decreciente

$T$  = Periodo de retorno

$P\%$  = Probabilidad de ocurrencia

$Y_{prom}$  = Precipitación promedio de los 22 datos

TABLA IV-13

ANO	M	PRECIPITACION (mm) Y	T=(N+1)/M	P%=M/(N+1)x100	Yprom	(Y-Yprom)	(Y-Yprom) <sup>2</sup>	(Y-Yprom) <sup>3</sup>
1970	1	20.80	23.00	4.35	10.53	10.27	105.47	1083.21
1976	2	17.90	11.50	8.70	10.53	7.37	54.32	400.32
1967	3	16.70	7.67	13.04	10.53	6.17	38.07	234.89
1973	4	15.10	5.75	17.39	10.53	4.57	20.88	95.44
1977	5	14.90	4.60	21.74	10.53	4.37	19.10	83.45
1966	6	13.30	3.83	26.09	10.53	2.77	7.67	21.25
1972	7	12.90	3.29	30.43	10.53	2.37	5.62	13.31
1971	8	12.60	2.88	34.78	10.53	2.07	4.28	8.87
1984	9	12.00	2.56	39.13	10.53	1.47	2.16	3.18
1983	10	11.90	2.30	43.48	10.53	1.37	1.88	2.57
1975	11	9.90	2.09	47.83	10.53	-0.63	0.40	-0.25
1969	12	8.50	1.92	52.17	10.53	-2.03	4.12	-8.37
1979	13	8.40	1.77	56.52	10.53	-2.13	4.54	-9.66
1985	14	8.20	1.64	60.87	10.53	-2.33	5.43	-12.65
1981	15	7.80	1.53	65.22	10.53	-2.73	7.45	-20.35
1964	16	7.30	1.44	69.57	10.53	-3.23	10.43	-33.70
1980	17	6.30	1.35	73.91	10.53	-4.23	17.89	-75.69
1974	18	6.20	1.28	78.26	10.53	-4.33	18.75	-81.18
1982	19	5.60	1.21	82.61	10.53	-4.93	24.30	-119.82
1965	20	5.60	1.15	86.96	10.53	-4.93	24.30	-119.82
1978	21	5.40	1.10	91.30	10.53	-5.13	26.32	-135.01
1968	22	4.40	1.05	95.65	10.53	-6.13	37.58	-230.35
					Σ	0.04	440.97	1099.65

Con los cálculos mostrados en la TABLA IV-13 , calculamos la Desviación estándar y el Coeficiente de Asimetría Cs, empleando las siguientes ecuaciones:

$$\sigma_Y = \sqrt{\frac{\sum(Y - \bar{Y})^2}{N - 1}} = \sqrt{\frac{440.97}{22 - 1}} = 4.5824$$

$$Cs = \frac{\sum(Y - \bar{Y})^3}{(N - 1)(\sigma_Y)^3} = \frac{1099.65}{(22 - 1)(4.5824)^3} = 0.544$$



Con el valor del coeficiente de Asimetría  $C_s$  obtenemos los valores de frecuencia teóricos ( $K$ ), basados en la ley Logaritmo-Probabilidad a ser utilizados por la expresión  $y' = Y_{prom} + K \cdot \sigma_y$  dado por V.T. Chow "The Log. Probability law and its Engineering application" ASCE-Vol.80, Nov 1954. Estos valores de  $K$  son obtenidos de una TABLA de Theoretical Log-Probability Frequency Factors V.T. Chow. (TABLA IV-16).

Con los valores de  $K$  para cada probabilidad de ocurrencia determinamos las correspondientes precipitaciones.

TABLA IV-14

$C_s$	P%	$K$	$\sigma_y \cdot K$	PRECIPITACION $y'$
0.544	99.0	-1.949	-8.931	1.599
0.544	95.0	-1.477	-6.768	3.762
0.544	80.0	-0.856	-3.923	6.607
0.544	50.0	-0.094	-0.431	10.099
0.544	20.0	0.796	3.648	14.178
0.544	5.0	1.779	8.152	18.682
0.544	1.0	2.731	12.515	23.045
0.544	0.1	3.955	18.123	28.653
0.544	0.01	5.083	23.292	33.822

Pasamos luego a trazar la curva de probabilidad (FIG. IV-11) con los valores  $y'$  que indica las precipitaciones diarias en mm y con P% que indica la probabilidad de ocurrencia en % de años.

TABLA IV-16

Table 8-I-1. Frequency Factors for Lognormal Distribution

C <sub>r</sub>	Probability at mean	Probability in per cent equal to or greater than the given variate									Corresponding C <sub>r</sub>
		99 —	95 —	80 —	50 —	20 +	5 +	1 +	0.1 +	0.01 +	
0	50.0	2.33	1.65	0.84	0	0.84	1.64	2.33	3.09	3.72	0
0.1	49.3	2.25	1.62	0.85	0.02	0.84	1.67	2.40	3.22	3.95	0.033
0.2	48.7	2.18	1.59	0.85	0.04	0.83	1.70	2.47	3.39	4.18	0.067
0.3	48.0	2.11	1.56	0.85	0.06	0.82	1.72	2.55	3.56	4.42	0.100
0.4	47.3	2.04	1.53	0.85	0.07	0.81	1.75	2.62	3.72	4.70	0.136
0.5	46.7	1.98	1.49	0.86	0.09	0.80	1.77	2.70	3.88	4.96	0.166
0.6	46.1	1.91	1.46	0.85	0.10	0.79	1.79	2.77	4.05	5.24	0.197
0.7	45.5	1.85	1.43	0.85	0.11	0.78	1.81	2.84	4.21	5.52	0.230
0.8	44.9	1.79	1.40	0.84	0.13	0.77	1.82	2.90	4.37	5.81	0.262
0.9	44.2	1.74	1.37	0.84	0.14	0.76	1.84	2.97	4.55	6.11	0.292
1.0	43.7	1.68	1.34	0.84	0.15	0.75	1.85	3.03	4.72	6.40	0.324
1.1	43.2	1.63	1.31	0.83	0.16	0.73	1.86	3.09	4.87	6.71	0.351
1.2	42.7	1.58	1.29	0.82	0.17	0.72	1.87	3.15	5.04	7.02	0.381
1.3	42.2	1.54	1.26	0.82	0.18	0.71	1.88	3.21	5.19	7.31	0.409
1.4	41.7	1.49	1.23	0.81	0.19	0.69	1.88	3.26	5.35	7.62	0.436
1.5	41.3	1.45	1.21	0.81	0.20	0.68	1.89	3.31	5.51	7.92	0.462
1.6	40.8	1.41	1.18	0.80	0.21	0.67	1.89	3.36	5.66	8.26	0.490
1.7	40.4	1.38	1.16	0.79	0.22	0.65	1.89	3.40	5.80	8.58	0.517
1.8	40.0	1.34	1.14	0.78	0.22	0.64	1.89	3.44	5.96	8.88	0.544
1.9	39.6	1.31	1.12	0.78	0.23	0.63	1.89	3.48	6.10	9.20	0.570
2.0	39.2	1.28	1.10	0.77	0.24	0.61	1.89	3.52	6.25	9.51	0.596
2.1	38.8	1.25	1.08	0.76	0.24	0.60	1.89	3.55	6.39	9.79	0.620
2.2	38.4	1.22	1.06	0.76	0.25	0.59	1.89	3.59	6.51	10.12	0.643
2.3	38.1	1.20	1.04	0.75	0.25	0.58	1.88	3.62	6.65	10.43	0.667
2.4	37.7	1.17	1.02	0.74	0.26	0.57	1.88	3.65	6.77	10.72	0.691
2.5	37.4	1.15	1.00	0.74	0.26	0.56	1.88	3.67	6.90	10.95	0.713
2.6	37.1	1.12	0.99	0.73	0.26	0.55	1.87	3.70	7.02	11.25	0.734
2.7	36.8	1.10	0.97	0.72	0.27	0.54	1.87	3.72	7.13	11.55	0.755
2.8	36.6	1.08	0.96	0.72	0.27	0.53	1.86	3.74	7.25	11.80	0.776
2.9	36.3	1.06	0.95	0.71	0.27	0.52	1.86	3.76	7.36	12.10	0.796
3.0	36.0	1.04	0.93	0.71	0.28	0.51	1.85	3.78	7.47	12.36	0.818
3.2	35.5	1.01	0.90	0.69	0.28	0.49	1.84	3.81	7.65	12.85	0.857
3.4	35.1	0.98	0.88	0.68	0.29	0.47	1.83	3.84	7.84	13.36	0.895
3.6	34.7	0.95	0.86	0.67	0.29	0.46	1.81	3.87	8.00	13.83	0.930
3.8	34.2	0.92	0.84	0.66	0.29	0.44	1.80	3.89	8.16	14.23	0.966
4.0	33.9	0.90	0.82	0.65	0.29	0.42	1.78	3.91	8.30	14.70	1.000
4.5	33.0	0.84	0.78	0.63	0.30	0.39	1.75	3.93	8.60	15.62	1.081
5.0	32.3	0.80	0.74	0.62	0.30	0.37	1.71	3.95	8.86	16.45	1.155



La curva obtenida al unir todos los puntos no da una línea recta, lo cual quiere decir que se debe calcular un nuevo coeficiente de asimetría corregido  $Cs'$ .

$$Cs' = Cs(1+8.5/N) = 0.544(1+8.5/22) = 0.754$$

Con este nuevo coeficiente de asimetría se obtiene nuevamente los valores de frecuencia teóricos  $K'$ , basados en la ley Logaritmo-Probabilidad a usarse en la expresión  $y'' = Y_{prom} + \sigma_y \cdot K'$ , para diversos porcentajes de probabilidad de ocurrencia.

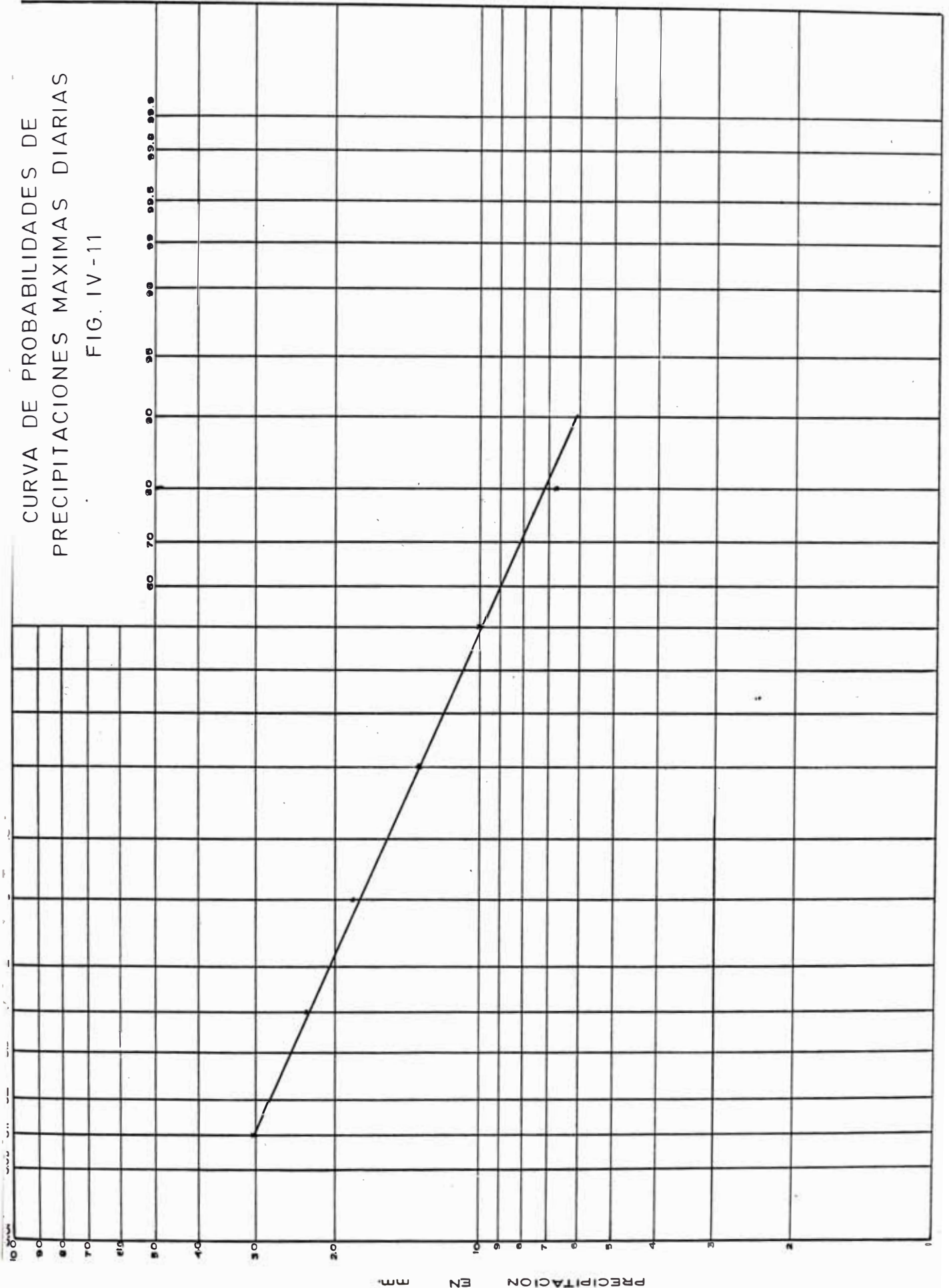
TABLA IV-15

$Cs'$	P%	$K'$	$\sigma_y \cdot K'$	PRECIPITACION $y''$
0.754	99.0	-1.818	-8.331	2.199
0.754	95.0	-1.414	-6.480	4.050
0.754	80.0	-0.845	-3.872	6.658
0.754	50.0	-0.121	-0.554	9.976
0.754	20.0	0.775	3.551	14.081
0.754	5.0	1.815	8.317	18.847
0.754	1.0	2.872	13.161	23.691
0.754	0.1	4.296	19.686	30.216
0.754	0.01	5.677	26.014	36.544

PROBABILIDAD DE OCURRENCIA EN % DE ANOS

CURVA DE PROBABILIDADES DE  
PRECIPITACIONES MAXIMAS DIARIAS

FIG. IV-11



a.2.2) Con los datos de precipitación máxima diaria anual de la estación meteorológica de Santa Eulalia.

-----  
 TABLA IV-17  
 -----

DIA DE MAXIMA LLUVIA                      Unidad: mm

ESTACION:    SANTA EULALIA

AÑO	PRECIPITACION
1964	5.4 (FEB 25)
1965	1.2 (DIC 12)
1966	26.0 (ENE 30)
1967	29.8 (FEB 07)
1968	0.5 (MAY 16)
1969	10.6 (MAR 10)
1970	30.8 (ENE 14)
1971	14.5 (MAR 27)
1972	20.0 (MAR 12)
1973	19.2 (ENE 09)
1974	6.0 (MAR 11)
1975	14.5 (MAR 01)
1976	30.0 (FEB 02)
1977	8.0 (MAR 19)
1978	6.8 (MAR 06)
1979	10.0 (MAR 08)
1980	10.0 (MAR 15)
1981	10.0 (FEB 02)
1982	5.6 (DIC 11)
1983	8.0 (MAR 12)
1984	10.5 (FEB 19)
1985	0.3 *

\* Dato completado

Fuente: JICA 88

Se desarrolla en forma análoga los métodos de Gumbell, Log-Pearson Tipo III y el de la Curva de Probabilidades.

## a.2.2.1) METODO DE GUMBELL

Desarrollando, se tiene:

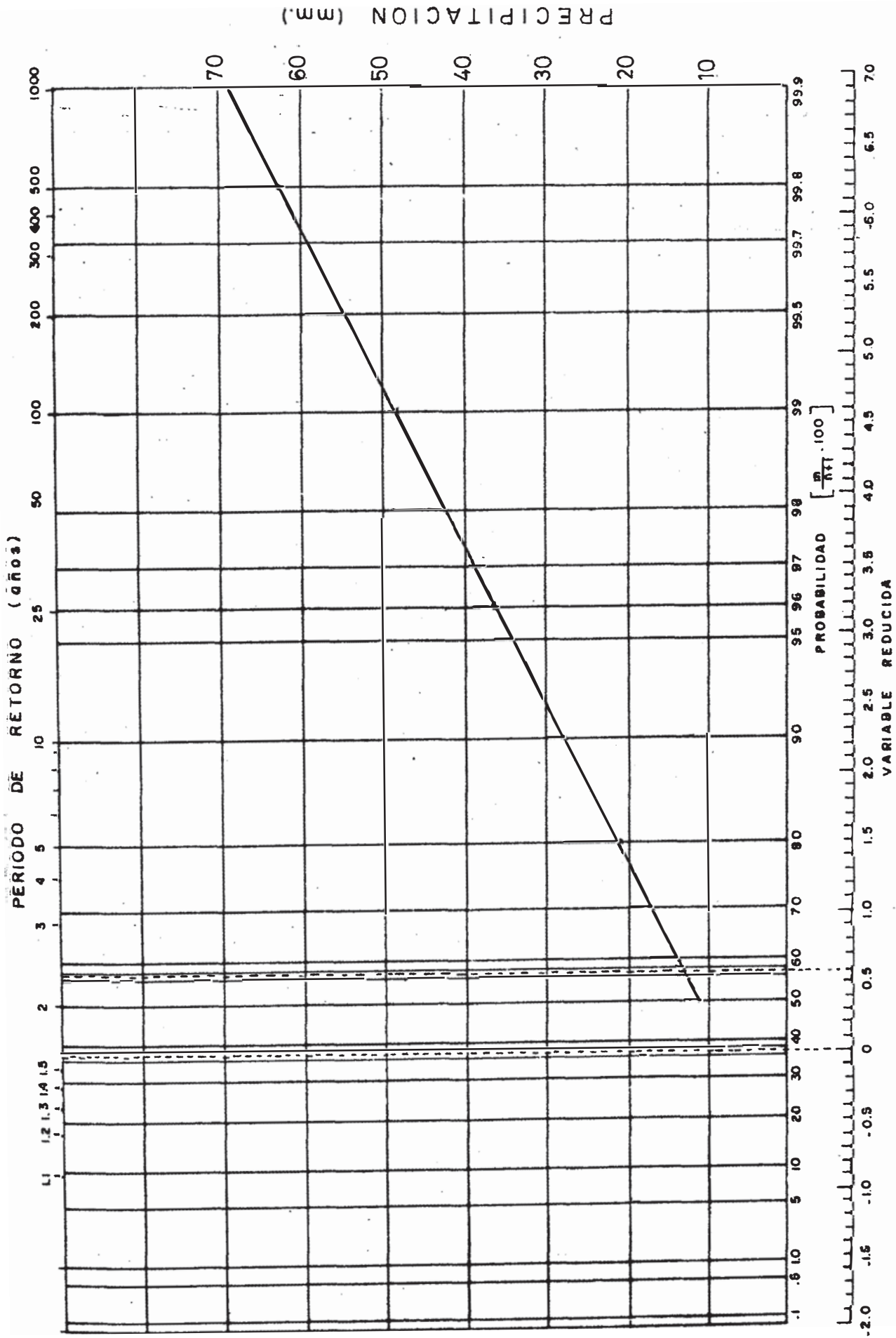
$$n = 22 \quad \bar{Y}_n = 0.524 \quad \sigma_n = 1.07$$

$$\bar{X} = 12.623 \quad \sigma_x = 9.491$$

TABLA IV-18

Periodo de Retorno (T)	P=1/T	Y	K	PRECIPITACION
				$X = \bar{X} + K \cdot \sigma_x$
2	0.500	0.37	-0.15	11.23
5	0.200	1.50	0.91	21.28
10	0.100	2.25	1.61	27.94
15	0.067	2.67	2.01	31.69
20	0.050	2.97	2.29	34.32
25	0.040	3.20	2.50	36.35
50	0.020	3.90	3.16	42.59
100	0.010	4.60	3.81	48.78
200	0.005	5.30	4.46	54.95
500	0.002	6.21	5.32	63.09
1000	0.001	6.91	5.97	69.24

Luego graficamos la ecuación  $X = X_{prom} + \sigma_x \cdot K$ , en papel probabilístico de Gumbel (FIG. IV-12), obteniendo las precipitaciones para diversos periodos de retorno.



PAPEL DE PROBABILIDAD DE GUMBEL

FIG. IV-12

## a.2.2.2) METODO LOG PEARSON TIPO III

TABLA IV-19

AÑO	PRECIP. (X) (mm)	LOG(X)
1964	5.40	1.686
1965	1.20	0.182
1966	26.00	3.258
1967	29.80	3.395
1968	0.50	-0.693
1969	10.60	2.361
1970	30.80	3.428
1971	14.50	2.674
1972	20.00	2.996
1973	19.20	2.955
1974	6.00	1.792
1975	14.50	2.674
1976	30.00	3.401
1977	8.00	2.079
1978	6.80	1.917
1979	10.00	2.303
1980	10.00	2.303
1981	10.00	2.303
1982	5.60	1.723
1983	8.00	2.079
1984	10.50	2.351
1985	0.30	-1.204
		$\Sigma = 45.962$

Desarrollando, se tiene:

$$\overline{\text{LOG}(X)} = 2.0892$$

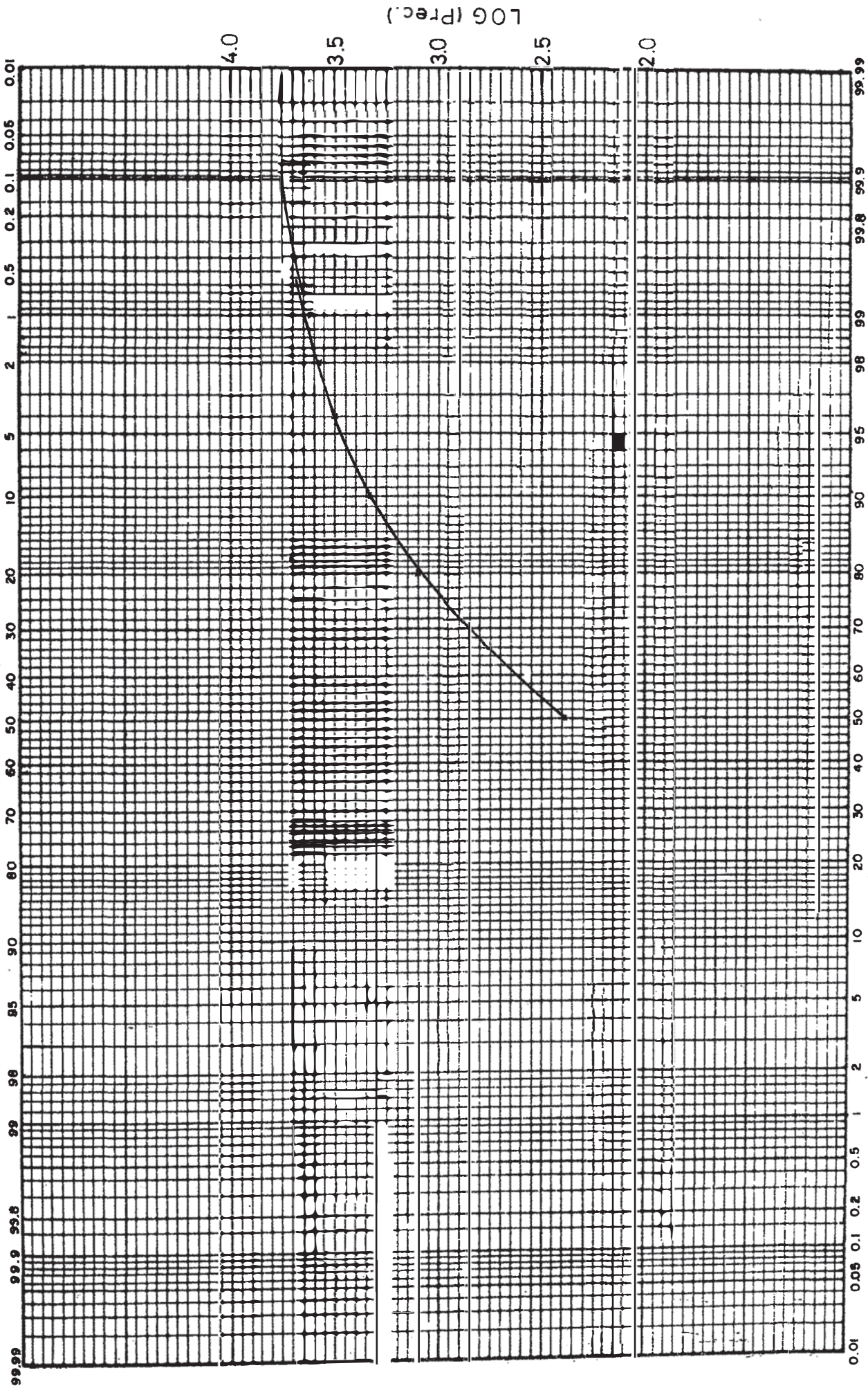
$$\sigma_{\text{Logx}} = 1.2297$$

$$A_g = -1.5210$$

Con estos valores y con la TABLA IV-10, graficamos en papel de probabilidad Log-Normal, la curva respectiva, obteniendo luego las precipitaciones buscadas para periodos de retorno grandes (FIG. IV-13).



PROBABILIDAD DE OCURRENCIA EN % DE AÑOS



PAPEL DE PROBABILIDAD NORMAL

FIG. IV-13

TABLA IV-20

Periodo de Retorno (T)	Prob. ( % )	K	Log(X)	Precipitación (X)
2	50.0	0.243	2.388	10.89
5	20.0	0.823	3.101	22.22
10	10.0	1.013	3.334	28.06
15	6.7	1.082	3.420	30.57
20	5.0	1.123	3.470	32.14
25	4.0	1.148	3.501	33.16
50	2.0	1.207	3.574	35.64
100	1.0	1.245	3.620	37.33
200	0.5	1.302	3.690	40.04
500	0.2	1.338	3.735	41.89
1000	0.1	1.359	3.760	42.95

## a.2.2.3) METODO DE LA CURVA DE PROBABILIDADES

TABLA IV-21

ANO	M	PRECIPITACION (mm) Y	$T=(N+1)/M$	$P\% = M/(N+1) \times 100$	$Y_{prom}$	$(Y - Y_{prom})$	$(Y - Y_{prom})^2$	$(Y - Y_{prom})^3$
1970	1	30.80	23.00	4.35	12.62	18.18	330.51	6008.72
1976	2	30.00	11.50	8.70	12.62	17.38	302.06	5249.88
1967	3	29.80	7.67	13.04	12.62	17.18	295.15	5070.72
1966	4	26.00	5.75	17.39	12.62	13.38	179.02	2395.35
1972	5	20.00	4.60	21.74	12.62	7.38	54.46	401.95
1973	6	19.20	3.83	26.09	12.62	6.58	43.30	284.89
1975	7	14.50	3.29	30.43	12.62	1.88	3.53	6.64
1971	8	14.50	2.88	34.78	12.62	1.88	3.53	6.64
1969	9	10.60	2.56	39.13	12.62	-2.02	4.08	-8.24
1984	10	10.50	2.30	43.48	12.62	-2.12	4.49	-9.53
1979	11	10.00	2.09	47.83	12.62	-2.62	6.86	-17.98
1981	12	10.00	1.92	52.17	12.62	-2.62	6.86	-17.98
1980	13	10.00	1.77	56.52	12.62	-2.62	6.86	-17.98
1983	14	8.00	1.64	60.87	12.62	-4.62	21.34	-98.61
1977	15	8.00	1.53	65.22	12.62	-4.62	21.34	-98.61
1978	16	6.80	1.44	69.57	12.62	-5.82	33.87	-197.14
1974	17	6.00	1.35	73.91	12.62	-6.62	43.82	-290.12
1982	18	5.60	1.28	78.26	12.62	-7.02	49.28	-345.95
1964	19	5.40	1.21	82.61	12.62	-7.22	52.13	-376.37
1965	20	1.20	1.15	86.96	12.62	-11.42	130.42	-1489.36
1968	21	0.50	1.10	91.30	12.62	-12.12	146.89	-1780.36
1985	22	0.30	1.05	95.65	12.62	-12.32	151.78	-1869.96
					$\Sigma$	0.06	1891.64	12806.59



Con los cálculos mostrados en la TABLA IV-21, calculamos la Desviación estándar y el Coeficiente de Asimetría  $C_s$ , en forma análoga al caso anterior:

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{1891.64}{22 - 1}} = 9.491$$

$$C_s = \frac{12806.59}{(22 - 1)(9.491)^3} = 0.713$$

En forma análoga que el caso anterior correspondiente a este método, con la ayuda de la TABLA que nos da los valores de  $K$  (TABLA IV-16), para  $y' = Y_{\text{prom}} + \sigma_y \cdot K$ , calculamos las correspondientes precipitaciones.

-----  
TABLA IV-22  
-----

Cs	P%	K	$\sigma_y \cdot K$	PRECIPITACION $y'$
0.713	99.0	-1.842	-17.482	-4.862
0.713	95.0	-1.426	-13.534	-0.914
0.713	80.0	-0.849	-8.058	4.562
0.713	50.0	-0.113	-1.072	11.548
0.713	20.0	0.779	7.393	20.013
0.713	5.0	1.811	17.188	29.808
0.713	1.0	2.848	27.030	39.650
0.713	0.1	4.231	40.156	52.776
0.713	0.01	5.558	52.751	65.371

-----

Pasamos luego a trazar la curva de probabilidad con los valores  $y'$  que indica las precipitaciones diarias en mm y con P% que indica la probabilidad de ocurrencia en % de años.

La curva obtenida al unir todos los puntos no da una línea recta, lo cual quiere decir que se debe calcular un nuevo coeficiente de asimetría corregido  $Cs'$ .

$$Cs' = Cs(1 + 8.5/N) = 0.713(1 + 8.5/22) = 0.988$$

Con este nuevo coeficiente de asimetría se obtiene nuevamente los valores de frecuencia teóricos  $K'$ , basados en la ley Logaritmo-Probabilidad a usarse en la expresión  $y'' = Y_{prom} + \sigma_y.K'$ , para diversos porcentajes de probabilidad de ocurrencia (TABLA IV-23), luego trazamos la curva de probabilidades (FIG. IV-14).

-----  
 TABLA IV-23  
 -----

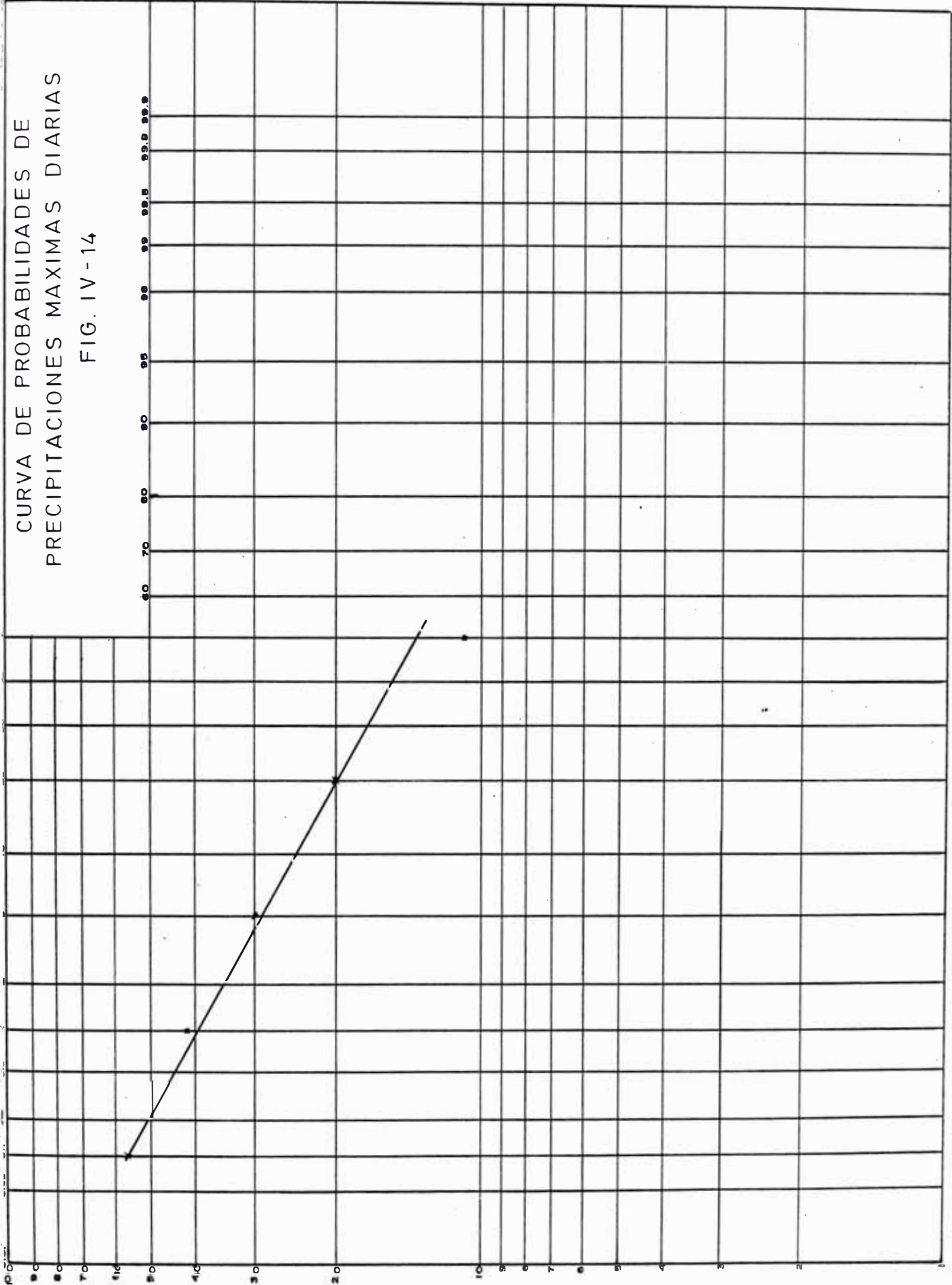
$Cs'$	P%	$K'$	$\sigma_y.K'$	PRECIPITACION $y''$
0.988	99.0	-1.687	-16.011	-3.391
0.988	95.0	-1.344	-12.756	-0.136
0.988	80.0	-0.840	-7.972	4.648
0.988	50.0	-0.149	-1.414	11.206
0.988	20.0	0.751	7.128	19.748
0.988	5.0	1.849	17.549	30.169
0.988	1.0	3.023	28.691	41.311
0.988	0.1	4.700	44.608	57.228
0.988	0.01	6.365	60.410	73.030

-----

PROBABILIDAD DE OCURRENCIA EN % DE ANOS

CURVA DE PROBABILIDADES DE  
PRECIPITACIONES MAXIMAS DIARIAS

FIG. IV-14



## a.2.3) RESUMEN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

Cuadro resumen de las precipitaciones máximas diarias anuales, para distintos periodos de retorno, correspondientes a la zona de la cuenca Santa María, encontradas en base al promedio de los datos similares de las estaciones de Ñaña, Santa Eulalia y Matucana.

TABLA IV-24

PRECIPITACION MAXIMA DIARIA ANUAL				Unidad: mm
P R E C I P I T A C I O N				
PERIODO DE RETORNO (AÑOS)	GUMBEL	LOG-PEARSON TIPO III	Estadístico	
2	9.86	9.62	9.90	
5	14.71	13.96	14.08	
10	17.93	16.94	16.55	
15	19.74	18.63	17.60	
20	21.01	19.69	18.37	
25	21.99	20.81	18.90	
50	25.00	23.76	20.67	
100	27.99	26.75	23.33	
200	30.97	29.96	25.67	
500	34.90	34.81	28.33	
1000	37.87	38.09	30.20	

Cuadro resumen de las precipitaciones máximas diarias anuales, para distintos periodos de retorno, correspondientes a la zona de la cuenca Santa María, encontradas en base a datos similares correspondientes a la estación meteorológica de Santa Eulalia.

-----  
 TABLA IV-25  
 -----

PRECIPITACION MAXIMA DIARIA ANUAL      Unidad: mm  
 -----

P R E C I P I T A C I O N  
 -----

PERIODO DE RETORNO (AÑOS)	GUMBEL	LOG-PEARSON TIPO III	Estadístico
2	11.23	10.89	14.00
5	21.28	22.22	19.50
10	27.94	28.06	24.33
15	31.69	30.57	27.30
20	34.32	32.14	29.00
25	36.35	33.16	31.00
50	42.59	35.64	34.55
100	48.78	37.33	39.31
200	54.95	40.04	44.12
500	63.09	41.89	50.50
1000	69.24	42.95	57.23

-----

**b) METODO PRACTICO DEL ING. A. MARTINEZ VARGAS**

El método del Ing<sup>o</sup> Alberto Martínez Vargas consiste en considerar los rastros dejados por los huaycos anteriores en el cauce principal y relacionarlo con las dimensiones de este (largo, ancho y espesor), para así hallar un volumen de descarga, en este caso tenemos hasta tres posibilidades de caudales ya que conocemos las dimensiones máximas, mínimas y la promedio del cauce principal con los que obtendría un caudal máximo, uno mínimo y uno promedio.

Teniendo en cuenta que la dimensión máxima corresponde al huayco más antiguo y la dimensión mínima al más reciente, podemos establecer una relación entre el volumen de descarga y el periodo de retorno, en otras palabras el máximo volumen sería estimado para un periodo de retorno largo o a largo plazo y el mínimo volumen sería estimado para un periodo de retorno corto o a corto plazo, en consecuencia el volumen promedio sería estimado a mediano plazo.

Para establecer estos periodos de retorno se considera la arqueología, historia y las evidencias marcadas en la zona, de esta forma:

- Para un periodo de retorno largo, se considerara que desde hace 3200 años a la fecha, no ha ocurrido un huayco mayor al que sepultó la margen izquierda y que según el Ing<sup>o</sup> Alberto Martínez Vargas se produjo debido a crisis climáticas, expuesto en "Crisis Climáticas y Huaycos y Prevención en Chosica" presentado en el 5<sup>to</sup> Simposio Nacional de Prevención de Desastres en el CISMID en 1991, en éste trabajo considera

un periodo de retorno largo de  $1000 \pm 10$  años los cuales están proyectados al año 2000 es decir que se espera una o dos crisis climáticas en los próximos 20 años.

- Para el periodo a corto plazo, tendría que considerarse que la población establecida en la zona tiene solo 25 años y en ese tiempo no ha experimentado un huayco significativo que ponga en peligro a la población, por lo tanto para los próximos 5 años tendría que preverse una acción inmediata ya que los huaycos pequeños ocurridos en la zona han ido acumulando material aluvional en las partes altas, por lo que el peligro no se descarta, además debe tenerse en cuenta que el cauce único definido, atraviesa la comunidad, y ésta se encuentra completamente desprotegida en su margen derecha.

- Para el periodo a mediano plazo podría considerarse como mínimo un tiempo de 100 años, que es el tiempo aproximado de antigüedad de la Central Hidroeléctrica de Yanacoto, pero este tiempo sería muy corto si tenemos en cuenta que los ingenieros que construyeron la Central también tuvieron que prever un periodo de retorno similar, por lo tanto 200 años sería un tiempo de retorno promedio o a mediano plazo.

De acuerdo a las características del terreno, el cauce alto es el que posee las mayores dimensiones, por lo tanto tomaré sus características para el cálculo de los volúmenes probables de descarga.

Considerando:

Para el volumen máximo, a largo plazo:	Longitud= 1350 m.
	Ancho= 160 m.
	Espesor= 7 m.
Para el volumen mínimo, a corto plazo:	Longitud= 1350 m.
	Ancho= 25 m.
	Espesor= 1 m.
Para el volumen promedio, a mediano plazo:	Longitud= 1350 m.
	Ancho= 90 m.
	Espesor= 4 m.

El producto de estas tres dimensiones nos da un volumen probable, pero debemos tener en cuenta el factor erosivo de las cárcavas y cauces principalmente, los cuales, según el Ing<sup>o</sup> Alberto Martínez Vargas pueden reducir hasta en un 25% el posible volumen de descarga, por lo tanto sólo el 75% será el volumen a considerar para las evaluaciones que se hagan. Con esta consideración, los volúmenes serían:

$$\text{Volumen máximo} = 0.75 \times 1350 \times 160 \times 7 = 1134000 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen mínimo} = 0.75 \times 1350 \times 25 \times 1 = 25312.5 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen promedio} = 0.75 \times 1350 \times 90 \times 4 = 364500 \text{ m}^3$$

Teniendo las experiencias de los huaycos caídos en 1987 y 1989 en Pedregal y Quirio, las cuales son quebradas que pertenecen a cuencas cercanas a la de Santa María, en las cuales el tiempo promedio de duración de las lluvias fue de 1



hora, el Ing. Martínez Vargas toma este dato para el cálculo de los caudales. De esta forma los caudales obtenidos son:

$$\text{Caudal máximo} = 1134000/3600 = 315 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Caudal mínimo} = 25312.5/3600 = 7 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Caudal promedio} = 364500/3600 = 102 \text{ m}^3/\text{s}$$

TABLA IV-26		
Periodo de Retorno		Descargas (m <sup>3</sup> /s)
A Largo Plazo	1000 años	315
A Corto Plazo	5 años	7
A Mediano Plazo	200 años	102

#### 4.2.1.1 DETERMINACION DE LOS CAUDALES MAXIMOS Y MINIMOS

Para los dos métodos expuestos, tenemos:

##### a) Método Hidrológico

a.1) Considerando la fórmula de Manning y recordando que se tomó como parámetro una crisis climática, obtuvimos:

Para una gran crisis climática:

$$Q_{i\text{máx}} = 1131 \text{ m}^3/\text{s} \quad V = 7.80 \text{ m/s} \quad s = 6\%$$

$$Q_{i\text{mín}} = 1024 \text{ m}^3/\text{s} \quad V = 7.06 \text{ m/s} \quad s = 7\%$$

Para una moderada crisis climática:

$$Q_{i\text{máx}} = 550 \text{ m}^3/\text{s} \quad V = 7.86 \text{ m/s} \quad s = 9\%$$

$$Q_{i\text{mín}} = 481 \text{ m}^3/\text{s} \quad V = 6.87 \text{ m/s} \quad s = 5\%$$

a.2) Considerando la relación de precipitación y escorrentía se obtuvieron distintos valores de precipitación probable para distintos periodos de retorno, con los cuales se hallaron los probables valores de caudales de descarga.

Existen varios métodos para el cálculo de las avenidas, según V.T. Chow (1962), existen 116 fórmulas registradas, las cuales varían por el número de variables que incorporan, ya que son de uso regional y requieren el uso de coeficientes. El más empleado es el método racional, que será el método que se empleará en este estudio.

Para calcular la descarga máxima de diseño por el método racional, se emplea la siguiente fórmula, que transferida al sistema métrico, se expresa del siguiente modo:

$$Q = CIA/360 \quad (IV-3)$$

Donde: Q= Caudal máximo de escorrentía en m<sup>3</sup>/s

C= Coeficiente de escorrentía

I= Intensidad máxima de la lluvia para un periodo de duración igual al tiempo de concentración y para la frecuencia deseada en el diseño, en mm/h

A= Area de la cuenca, en Has.

El método de la fórmula racional, permite hacer estimaciones de los caudales máximos de escorrentía, usando las intensidades máximas de precipitación. Básicamente, se formula que el caudal máximo de escorrentía es directamente proporcional a la intensidad máxima de la lluvia para un periodo de duración igual al tiempo de concentración y al área de la cuenca. El tiempo de concentración, representa el tiempo que demora una partícula de agua para trasladarse del punto más remoto de la cuenca hasta el punto de desagüe. Cuando haya transcurrido este tiempo toda la cuenca estará contribuyendo a formar el caudal de la escorrentía que tendrá en consecuencia un valor máximo.

En la concepción de la fórmula racional se aceptan dos hipótesis importantes: que la precipitación ocurra con una intensidad uniforme durante un tiempo igual o mayor que el tiempo de concentración y que la intensidad de la precipitación es uniforme sobre toda el área de la cuenca.

Estas premisas no son exactamente válidas, por lo que uso del método racional se debe limitar a áreas pequeñas. El área límite de aplicación depende mucho de la pendiente, de la naturaleza de la superficie, de la forma de la cuenca y de la precisión exigida. La fórmula debe usarse con cautela para áreas mayores de 50 Has. y probablemente nunca para áreas mayores de 500 Has. (área de recepción de lluvias de la subcuenca Santa María Yanacoto= 327 Has.).

El valor de "C" varía según las características físicas y topográficas de la cuenca y según el tipo de cubierta vegetal.

La frecuencia de "I" se escoge teniendo en cuenta la finalidad de la estructura que se va a proyectar y los riesgos que implicaría una posible falla de dicha estructura.

El tiempo de concentración, se hallará usando fórmulas empíricas (no existen registros meteorológicos o hidrológicos), éstas fórmulas estarán en función de la pendiente y longitud de la cuenca, ésta última medida por su cauce principal desde el punto en que se desea conocer la descarga máxima y su punto más alejado.

Una fórmula de éste tipo fue desarrollada por el investigador Kirpich y se expresa de la siguiente forma:

$$T_c = 0.00013 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}} \quad (\text{IV-4})$$

Donde:  $T_c$  = Tiempo de concentración, en horas.

$L$  = Longitud del cauce más largo de la cuenca,  
en pies.

$S$  = Pendiente de la cuenca.

Del plano a curvas de nivel a escala 1/5000 (PLANO N° ), se procedió a determinar la pendiente de la cuenca y la longitud del cauce más largo de la cuenca, obteniéndose los siguientes resultados:

$$L = 3600 \text{ m.} = 12000 \text{ pies}$$

$$S = 0.25$$

$$T_c = 0.00013 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}} = 0.00013 \frac{12000^{0.77}}{0.25^{0.385}}$$

$$T_c = 0.31 \text{ horas}$$

El valor del Tiempo de concentración obtenido, no es realista, ya que los diferentes huaycos que han caído por la zona de Chosica, han tenido una duración promedio de una hora, por lo tanto, para asumir los valores de la intensidad de lluvia, vamos a considerar que la duración de las lluvias máximas para los diferentes periodos de retorno, obtenidos anteriormente, es de una hora (1 hora), considerando lo dicho anteriormente y teniendo en cuenta las experiencias de los huaycos de Quirio y Pedregal (1987-1989).

Por lo tanto el valor de la intensidad máxima de precipitación, será numéricamente igual al valor de la precipitación máxima, para cada periodo de retorno.

$$I \text{ (mm/h)} = \frac{\text{Prec. (mm)}}{\text{Tiempo (hrs)}}$$

Las características de la subcuenca Santa María Yanacoto, son:

C= 0.90 (tomado del libro de Hidrología de Wendor Chereque, TABLA 4.1, página 62)

A= 3.27 Km<sup>2</sup> =327 Has. (área de recepción de lluvias)

Primero calcularé las descargas máximas, considerando las precipitaciones obtenidas en base a los promedios máximos diarios anuales de las estaciones de Ñaña, Santa Eulalia y Matucana (TABLA IV-27); luego haré lo mismo considerando las precipitaciones obtenidas en base a las máximas diarias anuales de la estación de Santa Eulalia (TABLA IV-28).

$$Q = \frac{C \times I \times A}{360} = \frac{0.90 \times I \times 327}{360}$$

Los valores de "I" son tomados de las TABLAS IV-24 y IV-25, son numéricamente iguales a los valores de precipitación.

TABLA IV-27

Periodo de Retorno (Años)	Descargas Máximas (m <sup>3</sup> /s)		
	Gumbell	Log-Pearson III	Estadístico
2	8.1	7.9	8.1
5	12.0	11.4	11.5
10	14.7	13.8	13.5
15	16.1	15.2	14.4
20	17.2	16.1	15.0
25	18.0	17.0	15.5
50	20.4	19.4	16.9
100	22.9	21.9	19.1
200	25.3	24.5	21.0
500	28.5	28.5	23.2
1000	31.0	31.1	24.7

TABLA IV-28

Periodo de Retorno (Años)	Descargas Máximas (m <sup>3</sup> /s)		
	Gumbell	Log-Pearson III	Estadístico
2	9.2	8.9	11.4
5	17.4	18.2	15.9
10	22.8	22.9	19.9
15	25.9	25.0	22.3
20	28.1	26.3	23.7
25	29.7	27.1	25.3
50	34.8	29.1	28.2
100	39.9	30.5	32.1
200	44.9	32.7	36.1
500	51.6	34.2	41.3
1000	56.6	35.1	46.8

## b) Método Práctico

Según este método, aplicado por el Ing. Alberto Martínez Vargas, se obtiene:

Caudal máximo: 315 m<sup>3</sup>/s

Caudal mínimo: 7 m<sup>3</sup>/s

**CUADRO RESUMEN DE LAS DESCARGAS MAXIMAS OBTENIDAS EN BASE A  
DIFERENTES METODOS**

TABLA IV-29					
CUADRO RESUMEN DE LAS DESCARGAS MAXIMAS A CORTO, MEDIANO Y LARGO PLAZO					
Periodo de Retorno (Años)	Descargas Máximas (m <sup>3</sup> /s)				
	METODOS EMPLEADOS				
	Manning	Gumbell	Log-Pearson Tipo III	Curva de Probabil.	Práctico (A.M.V.)
5		12.0* 17.4**	11.4* 13.8**	11.5* 15.9**	7.0
200	550	25.3* 44.9**	24.5* 32.7**	21.0* 36.1**	102.0
1000	1131	31.0* 56.6**	31.1* 35.1**	24.7* 46.8**	315.0

\* Valores obtenidos considerando el promedio de lluvias máximas diarias anuales de las estaciones meteorológicas de Ñaña, Santa Eulalia y Matucana.

\*\* Valores obtenidos considerando las lluvias máximas diarias anuales de la estación meteorológica de Santa Eulalia.



#### 4.2.2 DIMENSIONAMIENTO DEL CAUCE

Para el dimensionamiento del cauce del huayco en esta quebrada se consideran los siguientes aspectos:

- Secciones del cauce definidas por el paso del material aluvional durante los huaycos pasados.
- Análisis hidráulico de las diferentes alternativas planteadas a lo largo de los últimos años.

Uno de los problemas que implica definir la sección del cauce dentro del cono de deyección y/o área habitada, es que dicho dimensionamiento afecta e involucra viviendas construidas y establecidas en dicho lugar desde hace un buen tiempo, cuyos moradores son los primeros en oponerse a la construcción de obras para el tratamiento del huayco.

Las alternativas son vistas desde un punto de vista técnico, en un plano topográfico a escala 1/500, frente a las alternativas de carácter socio económico.

Tomada la decisión de inmediato debe procederse a la limpieza y regulación del cauce, en base a las dimensiones consideradas, teniendo en cuenta que el ancho de la sección es la que más problemas ocasiona, ya que por lo general afecta a más de una vivienda.

El ancho debe estar limitado por alturas no mayores de 3.0 m., debido a las dificultades del movimiento de tierras que por su alto costo son imposibles de ejecutar a corto plazo.

Antes de llegar a dimensionar el cauce debe tenerse en cuenta que las fórmulas a emplearse no son una simple aplicación de las que existen para el agua limpia, libre de grandes sedimentos, sino que pueden ser utilizadas teniendo en cuenta ciertas consideraciones.

Si partimos de la ecuación de continuidad del gasto, expresada como:  $Q = V \times A$ , tenemos:

$Q$  = Caudal máximo de avenida del huayco

$V$  = Velocidad de flujo del huayco, la cual no es una velocidad cualquiera, tratándose de un huayco de flujo turbulento de composición diferente al flujo del agua; se asume que la velocidad debe ser la que inicie un proceso de erosión y que la roca por emplear pueda resistirla o cualquier otro material que se use.

Es por eso que consideramos el inicio de la velocidad crítica la que produce el fenómeno de cavitación y a la velocidad de diseño una función de la crítica.

$A$  = Sección, cuyas dimensiones ( $h \times b$ ) pueden tener varias alternativas según convengan y limitados por las condiciones topográficas locales.

Existen otras fórmulas más elaboradas como la de Manning, que consideran otras propiedades como la rugosidad que está en función del material usado. Del mismo modo se

acostumbra usar valores según la práctica, como los de Schoklitsch (1961) cuando dice:

"Para evitar sedimentación la velocidad máxima no debe superar los 3 m/s, por que se produciría la separación del agua de las materias que debe arrastrar. Para evitar el desgaste del conducto por roca el agua fluvial no debe exceder a una velocidad de 4 a 6 m/s."

Pero en ningún estudio, metodología y/o análisis se da explicación teórica de estos valores asumidos de velocidades.

#### 4.2.2.1 DEDUCCION TEORICA DE LA VELOCIDAD DEL HUAYCO

La ecuación de Bernoulli fue aplicada por Scheidegger (1961) para estudiar la cavitación, expresada como:

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\rho g} + Z_1 = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\rho g} + Z_2 \quad (\text{IV-5})$$

La ecuación anterior es válida para flujos laminares, sin embargo cuando se desprecia la energía de disipación debido a la turbulencia de una burbuja en fricción, el primer miembro de la ecuación representa a la presión atmosférica al inicio del movimiento y el segundo donde se produce la cavitación.

Es decir:

$V_2 = V_c =$  Velocidad crítica

$P_2 = P_v =$  Presión de vapor de agua

$Z_2 = Z_1$  (Si la energía de disipación es despreciable)

$$p = 101.84 \text{ Kg-seg}^2/\text{m}^4$$

Reemplazando en IV-5, tenemos:

$$\frac{V_c^2}{2g} = \frac{\text{Patm.} - P_v}{\rho g}$$

$$\text{de donde: } V_c = \sqrt{\frac{2(\text{Patm.} - P_v)}{\rho}} \quad (\text{IV-6})$$

la cual es la velocidad crítica de cavitación.

Usando los valores respectivos, en la Tabla C, pag. 468 del libro de hidráulica de Streeter (1963).

si  $\text{Patm.} = 1.0077 \times 10^4 \text{ Kg/m}^2$ , tenemos:

Para  $0.0 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $P_v = 0.0056 \times 10^4$ , en IV-6:  $V_c = 14.0 \text{ m/s}$

Para  $21.1 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $P_v = 0.0253 \times 10^4$ , en IV-6:  $V_c = 13.9 \text{ m/s}$

Por otra parte, velocidades calculadas y discutidas por Hjulstrom en el año 1935 encuentran que la  $V_c = 14.3 \text{ m/s}$  para  $\text{Patm.} = 760 \text{ mm de Hg}$  a  $0 \text{ }^\circ\text{C}$ .

En forma similar Barmca en los años 1953-56 considera que en flujo laminar la máxima velocidad es cuando se da la condición de  $V_c = 2V_1$ , es decir  $V_1 = V_c/2$ , si reemplazamos este valor en IV-5, tendremos:

$$V_c = 2 \sqrt{\frac{1}{3} \cdot \frac{2(\text{Patm.} - P_v)}{\rho}} \quad (\text{IV-7})$$

Reemplazando valores obtenemos:

$V_c = 16.1 \text{ m/s}$ , la cual es un 15% mayor que las calculadas con la ecuación IV-6, entonces:

$$V_1 = V_c/2 = 16.1/2 = 8.05 \text{ m/s}$$

Luego, se define una velocidad de diseño del encauzamiento, usando roca que cumpla con  $V < 8 \text{ m/s}$ .

Esta deducción la podemos complementar con el trabajo del Ing. Alberto Martínez V. titulado "Rescate de Tecnología para el Encauzamiento del Huayco" (1990).

#### 4.2.2.2 DETERMINACION DE LA SECCION DEL CAUCE

Este paso es muy importante, porque tendrá que definirse el área de la sección transversal a usarse, en las diversas obras hidráulicas propuestas para el tratamiento del huayco, esta sección debe ser elegida tomando en cuenta diversos datos como: estudios teórico-práctico, referencias, eventos históricos, referidos a la zona en estudio, por tal motivo lo justo es hacer que todos estos datos sean analizados bajo un solo criterio, para luego sacar las conclusiones debidas; a continuación presentaré un cuadro (TABLA IV-30) en

el cual someto todos los datos a un mismo análisis, para luego definir el área de la sección transversal.

El cuadro en mención ha sido hecho en base a los siguientes criterios:

- Se han considerado varias velocidades para el análisis, partiendo del hecho de que tienen que ser menores que 8 m/s, por ser la velocidad estimada para el inicio de la erosión de la roca.

- El tiempo de duración de la tormenta ha sido considerado de una (1) hora, debido a que las lluvias ocurridas en la zona de Chosica tienen esta característica, al menos hasta el año 1989.

- El caudal instantáneo se ha calculado por medio de la fórmula racional ( $Q = CIA/360$ ).

- El volumen de descarga instantáneo, se obtiene multiplicando el caudal instantáneo por el tiempo de duración de la tormenta ( $Vd = Qi \times t$ ).

- Se considera que el volumen de sólidos es el 70% del volumen probable de descarga del huayco, debido a apreciaciones de Mecánica de Suelos hechas en la zona del cauce principal de la subcuenca, en la cual se obtuvo que la masa del suelo tiene un 10% de vacíos (ver CAP VI), por lo cual como mínimo se necesita un porcentaje igual de agua por unidad de volumen para saturar al suelo, el considerar en este caso un 30% de agua es más que suficiente para asegurar la caída de un huayco.

- El volumen a largo plazo es 20% mayor que el volumen de sólidos, debido a que para el futuro se considera que el volumen de sólidos depositado en el cauce principal va a aumentar a consecuencia de la caída de huaycos pequeños que poco a poco aumentarían este volumen, pero ante la ocurrencia de un gran huayco todo este material sería arrasado.

- El caudal máximo se ha calculado dividiendo el volumen a largo plazo entre el tiempo de duración de la tormenta ( $Q_{\text{máx}} = V_{\text{lp}}/t$ ).

- La pendiente de regulación será similar a la del canal de demasías.

- el "factor de seguridad" para el cálculo del caudal de diseño empleado es de 2.0

También debemos tener en cuenta que algunas quebradas activas de la zona de Chosica, han sido estudiadas con un propósito similar por Ingenieros que asesoran a PREDES, (Ings. A. Martínez, C. Ponce, T. Allende) obteniéndose secciones del cauce (TABLA IV-31) que ya han sido puestos a prueba obteniéndose hasta el momento resultados satisfactorios. Dichas quebradas son: Pedregal, Quirio y Corrales.



TABLA IV-31

Quebrada	Area Has.	t h	Volumen $\times 10^3$ (m <sup>3</sup> )			Caudales m <sup>3</sup> /s			CAUCE	
			Vd Descarga	Vs Sólido	Vlp Largo Plazo	Qi	Qmáx	Qd	V m/s	A (m <sup>2</sup> ) h x b
Pedregal	1020	1	750	525	630	208	175	350	7	50=2x25
Quirio	1040	1	1127	789	947	313	263	525	7	75=2.5x30
Corrales	140	1	566	396	475	157	132	263	7	37.5=2.5x15

Teniendo en cuenta todos estos datos (TABLA IV-30 y TABLA IV-31), determino la sección del cauce para el huayco de la subcuenca Yanacoto N<sup>o</sup>5, de la siguiente forma:

a) **El caudal de diseño será de 420 m<sup>3</sup>/s**, valor que se encuentra comprendido entre los valores arrojados por medio de la Hidrología (95 m<sup>3</sup>/s) y el método práctico del Ing. A. Martínez Vargas (630 m<sup>3</sup>/s), los cuales son el rango de variación más probable ante la ocurrencia de un gran huayco

Dicho caudal es ligeramente mayor que el obtenido tomando en cuenta la mitad del volumen de sólidos existentes en el cauce alto (600  $\times 10^3$  m<sup>3</sup>), estos volúmenes han sido calculados por el tesista UNI-FIC J. Ortiz (1992), el cual ha estudiado los materiales sólidos del cauce principal de la subcuenca Santa María Yanacoto N<sup>o</sup>5.

Debe tenerse en cuenta que para otras quebradas activas se han obtenido caudales de diseño, tanto en base a su

área de recepción de lluvias como a sus secciones transversales, las cuales también deben compararse con nuestro caso.

b) La velocidad de diseño adoptada para el tratamiento del huayco es de 7m/s, la cual no permite la erosión ni la sedimentación.

c) En consecuencia el área de la sección será la que se obtiene dividiendo el caudal máximo de diseño entre la velocidad de diseño, es decir:  $A = Q/V = 420/7 = 60 \text{ m}^2$

Por lo tanto el área de la sección transversal que deben tener las obras hidráulicas para el tratamiento del huayco es de  $60 \text{ m}^2$ , dicha área puede ser dividida en varias opciones (TABLA IV-32), si se considera una profundidad del cauce de 3.0 m entonces el ancho de la sección será de 20.0 m, si se considera una profundidad de 2.50 m, el ancho de la sección será de 24.0 m, también si se considera una profundidad de 2.0 m el ancho será de 30.0 m, de no ser posible estas opciones puede optarse por otra alternativa, de tal forma que al final resulte en total el área de diseño, y al mismo tiempo se vean perjudicadas el menor número de viviendas en el cauce medio.

TABLA IV-32

DETERMINACION DE LA SECCION DEL CAUCE A LARGO PLAZO (1000 AÑOS)  
DE LA SUBCUENCA SANTA MARIA YANACOTO N° 5

Quebrada	Area Has.	t h	Volumen $\times 10^3$ (m <sup>3</sup> )			Caudales m <sup>3</sup> /s			SECCION	
			Vd Descarga	Vs Sólido	Vlp Largo Plazo	Qi	Qmáx	Qd	V m/s	A (m <sup>2</sup> ) h x b
Santa María Yanacoto N° 5	327	1	900	630	756	250	210	420	7	60 = 3 x 20 60 = 2.5 x 24 60 = 2 x 30

# **CAPITULO 5**

**CONDICIONES HIDRAULICAS**

### 5.1 CREACION, EFECTOS Y CARACTERISTICAS DEL HUAYCO

Se denomina huayco a las avenidas intempestivas de agua y lodo cargadas de sólidos, de diferentes tamaños y tipos de rocas, provenientes de las nacientes de los cursos de agua (quebradas), las cuales se producen debido a una fuerte precipitación pluvial de corto periodo. Los sólidos de diferentes tamaños que arrastra, son a la vez materiales de recientes huaycos caídos y detenidos en el cauce principal ante la presencia de suaves pendientes y amplios cauces.

Estos fenómenos tienen dos modalidades , en cuanto a la frecuencia de su ocurrencia y se les denomina como **periódicos** y **ocasionales**; los primeros se producen generalmente en los meses de Enero, Febrero y Marzo, que es la temporada de lluvias y los segundos muy eventualmente, estando relacionados a precipitaciones excepcionales como la de los años 1981-82-83 (Fenómeno de El Niño).

Después de la caída de un huayco y observar sus efectos destructivos, uno se pregunta como se inició este fenómeno y porqué se producen anualmente, existen respuestas muy variadas, algunas de ellas son:

- Se producen debido a la ocurrencia de precipitaciones pluviales abundantes que al entrar en contacto con grandes masas de materiales sueltos, en las vertientes y lechos de las quebradas, las cuales se encuentran en terrenos áridos con fuertes pendientes, producen la saturación de los materiales alterados sueltos, de diferentes cuaternarios de

las laderas, produciéndose la remoción en masa tanto por gravedad como por acción hidráulica, estos materiales descienden hasta ocupar el lecho de la quebrada para luego continuar brusca y destructoramente hacia los niveles inferiores.

- Se producen debido a las condiciones topográficas, geológicas, climáticas, que se presentan en la cuenca, en los cuales existe una gran actividad geodinámica y un proceso geomorfológico bastante acelerado y violento.

- Quizás la respuesta más controvertida es aquella que afirma que los huaycos peruanos se producen por acción de la mano del hombre y no por la naturaleza, debido al abandono en que se encuentran las tierras que antes fueron cultivadas por los campesinos de la sierra, esto hace que cada año ocurran huaycos más grandes en la vertiente occidental; de ser así, se diferenciaría de otros desastres como los terremotos, huracanes e incluso de las inundaciones en los cuales el hombre no interviene en su creación; así pues aparte de la vulnerabilidad que presentan los pueblos y viviendas ubicados en los valles o quebradas, con respecto a los huaycos que pueden sepultarlos, existe este elemento adicional mediante el cual los hombres contribuyen a convertir las lluvias que la naturaleza provee, en huaycos.

Otras razones de su origen son:

- Se producen debido a la presencia de laderas altamente fracturadas por acción del intemperismo y del hombre.

- Ausencia de lluvias torrenciales por un periodo más o menos largo seguido de un periodo de lluvias torrenciales intensas.

- Ausencia de un sistema de drenaje conveniente.

Los efectos de estos fenómenos se derivan en situaciones de riesgo tanto para la zona afectada como para los poblados aledaños; en su trayecto por la quebrada produce erosión de laderas, estancamientos y desbordes; en la zona de descarga de estas quebradas al río Rímac se producen los efectos más destructores como: erosión, represamientos y acumulación de materiales, que producen inundaciones y desviaciones del cauce del río, afectando considerablemente a la carretera Central, a los centros poblados así como también a los centros de esparcimiento de la zona.

Las principales características del huayco son:

- Según la historia los meses críticos para la ocurrencia de este fenómeno son: Enero, Febrero y Marzo, siendo los dos últimos los más peligrosos para huaycos importantes.

- Es posible advertir el huayco con una anticipación de 15 días de seguimiento y 24 horas antes del evento (Martínez - 1991).

- Según la historia, todos los huaycos ocurridos en Chosica, se han producido después del mediodía y antes de las 7 de la noche, es decir, no hay noticias de huaycos en la mañana ni en la noche.

- Están compuestos de agua y sólidos extraídos de las laderas o del mismo cauce principal.

- Su densidad, su capacidad de arrastre, su poder erosivo son mucho mayores a la del agua, pero varían a lo largo de su recorrido, de grandes valores al inicio, a valores similares al agua común al final de su recorrido.

- La cantidad de agua al inicio del huayco es pequeña comparada con la que resulta en los tramos finales, en los cuales la mayor parte del material sólido ha quedado en el camino.

- Si el huayco atraviesa zonas de poca pendiente tenderá a depositar el material sólido en función al tamaño que tengan.

- El material sólido ha ser arrastrado por el huayco, tiene un diámetro máximo de 1.00 m. pero de éste tipo existe un porcentaje muy pequeño, según la Tesis UNI-FIC de Javier Ortiz R. - 1992, en un 70% predominan las gravas con diámetros menores a 3" y en un 30% las rocas con diámetros entre 3" y 1.0 m., éstas se encuentran a lo largo de todo el cauce principal, y son fácilmente erosionables ante la presencia del agua, por lo expuesto, esta quebrada en su tramo final posee rocas completamente diferentes a las existentes en Pedregal y Quirio donde si existen grandes boleos de hasta más de 1.5 m. de diámetro, pero no se descarta la presencia de este tipo de rocas en las partes altas del cauce de drenaje de la subcuenca Santa María Yanacoto N°5.



## 5.2 ZONAS DE EROSION DE FONDO Y LATERAL

Esta quebrada ofrece muy poca defensa contra la erosión, pues sus suelos ante la ausencia de cubierta vegetal, ceden fácilmente por erosión y licuefacción ante la presencia del agua.

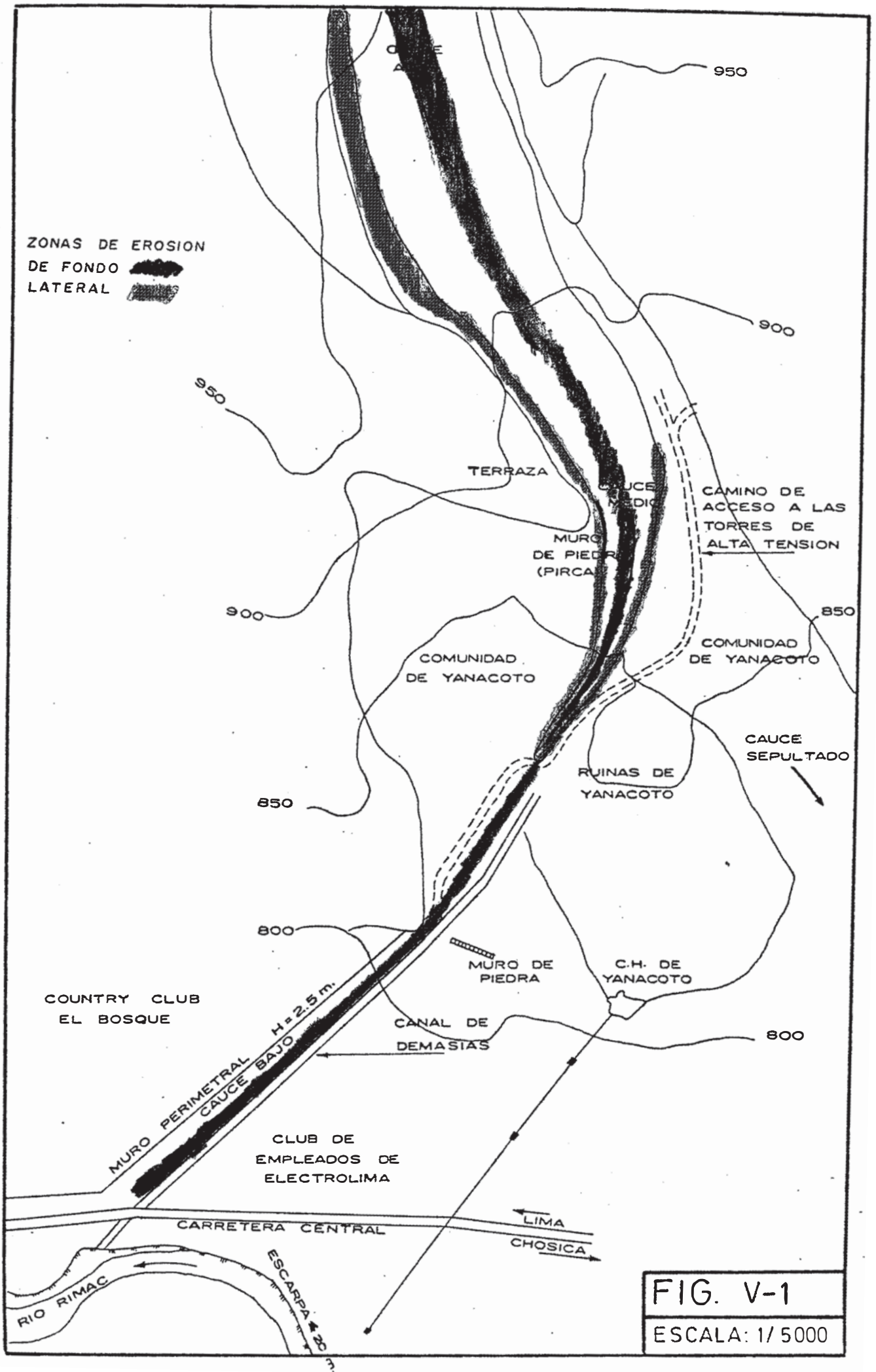
La erosión de fondo y lateral se produce debido a dos factores fundamentales que son: la gran velocidad de descenso del huayco y la pendiente de su cauce, la magnitud de la erosión depende en cierta forma del ancho del cauce, a menor ancho mayor erosión y a mayor ancho menor erosión.

La velocidad crítica es de 8 m/s, a mayor velocidad se produce la erosión de la roca; la pendiente crítica es de 9 a 10%, a mayor pendiente es muy factible la erosión de fondo.

La erosión lateral se presenta cuando en las laderas existe material coluvial, los cuales se encuentran depositados en forma suelta, sin presentar entre sus partes una fuerte cohesión, por lo que son fácilmente arrastrados; si el ancho del cauce es pequeño entonces también existirá erosión lateral.

Dentro del cauce principal de la subcuenca Santa María Yanacoto N°5, las zonas más propensas a la erosión en caso de un gran huayco son:

En el cauce alto: Todo el cauce alto está expuesto a la erosión de fondo, ya que las pendientes de cualquier tramo superan a la pendiente crítica. La erosión lateral se manifestaría principalmente en toda la margen derecha, debido a la acumulación de material coluvial en esta zona.



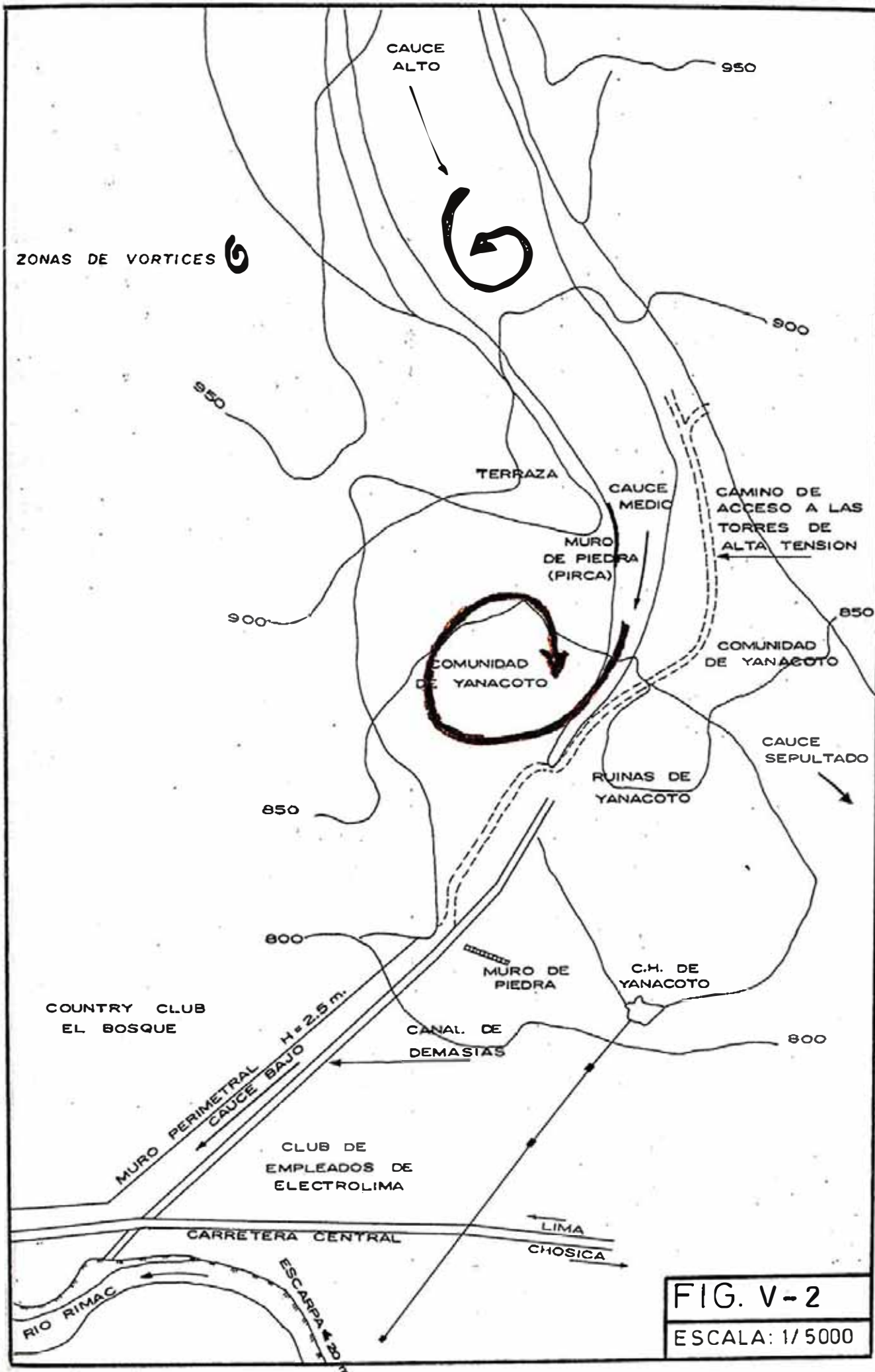
Martínez, J., 1988); si la energía acumulada es grande entonces provocará avalanchas e inundación de las zonas más cercanas, si este fenómeno se presenta cerca a una zona habitada los daños serían cuantiosos, tanto en lo humano como en lo material, si se presenta en una zona deshabitada entonces causará una fuerte erosión incrementando el ancho de la sección y posteriormente acumulará gran cantidad de material sólido (boleos y gravas), en cierta forma esto contribuye a la disipación de la energía de un posterior huayco.

Dentro del cauce principal de la subcuenca Santa María Yanacoto N°5, las zonas más propensas a la formación de vórtices en caso de un gran huayco son:

En el cauce alto: A la altura de la cota 900, lugar donde el cauce alto hace un pequeño quiebre hacia la izquierda.

En el cauce medio: Pasando el muro de piedras construido por el PAIT, frente al montículo de las ruinas de Yanacoto. En esta zona el huayco más antiguo y grande (1200 a.C aprox.) formó un gran vórtice que le dio la actual forma de "U" a la comunidad.

En el cauce bajo: Debido a lo recto de su recorrido no existe la posibilidad de que se forme un vórtice en esta zona.



#### 5.4 ZONAS DE SEDIMENTACION

La sedimentación del material sólido se produce debido a la poca energía de descenso del huayco, lo cual trae como consecuencia que la velocidad de descenso sea menor que la crítica, además una pendiente menor que la crítica también contribuye a la sedimentación.

En caso de un gran huayco la sedimentación del material sólido se producirá a lo largo de todo su recorrido, pero será más notorio cuando la pendiente disminuya y el ancho del cauce aumente conforme avanza el huayco.

Dentro del cauce principal de la subcuenca Santa María Yanacoto N°5, las zonas más propensas a la sedimentación en caso de un gran huayco son:

En el cauce alto: La sedimentación en esta zona solo se manifestaría en las zonas de los vórtices, por poseer los mayores anchos, ya que la pendiente del terreno es mayor que la pendiente crítica.

En el cauce medio: La sedimentación en esta zona se produciría si ocurriese algún vórtice, especialmente frente al montículo de las ruinas de Yanacoto, ya que la pendiente promedio supera a la pendiente crítica.

En el cauce bajo: La pendiente del canal de demasías y del camino de acceso a la comunidad son ligeramente mayores a la pendiente crítica, por lo que la posibilidad de sedimentación estaría referida al ancho de este tramo.



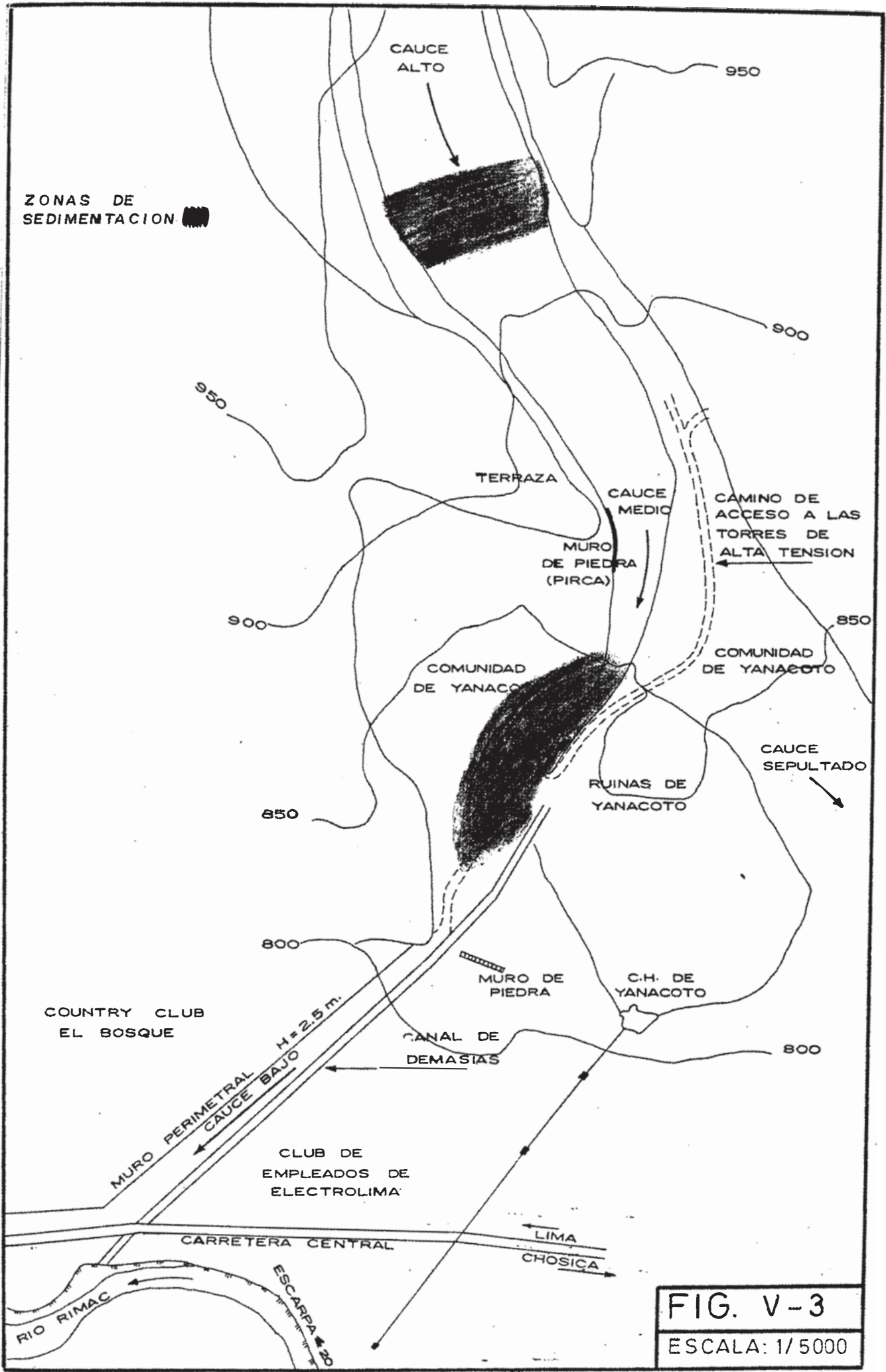


FIG. V-3  
 ESCALA: 1/5000

# CAPITULO 6

OBRAS HIDRAULICAS  
PARA EL TRATAMIENTO  
DEL HUAYCO

### 6.1 EN EL CAUCE ALTO Y MEDIO CON TECNOLOGIA PROPIA

Con esta Tesis se quiere dejar información sobre el tratamiento de huaycos, acondicionándola a una tecnología propia, para lo cual dos aspectos son considerados, uno de observación y otro el teórico que llamamos el Geomorfológico y el Hidrodinámico.

La experiencia y observación en el cauce de los ríos que fluyen sobre superficies rocosas, tal como sucede en nuestros andes, nos muestran que los procesos geomorfológicos de erosión son permanentes, un ejemplo de marmitas (erosión en rocas debido a remolinos con sedimento y/o vórtices del flujo de un río) referido por el Ing. Alberto Martínez Vargas (1990) lo tenemos en el Puente de Piedra de Lima, el canal empedrado de la margen izquierda después de más de 380 años, muestra oquedades en los bloques de granito usado para la protección al paso del flujo de avenidas torrentosas del río Rímac; fenómenos similares se producen en la naturaleza, por procesos geomorfológicos en donde existe un salto, caída, catarata, rápida, donde actúa como parte del fluido el limo, la arena, la grava y los boleos, además se da el fenómeno de cavitación por ser flujos super-críticos a altas velocidades.

Lo dicho anteriormente nos permite diseñar el cauce y usar rocas, al limitar y controlar la velocidad para que sea menor que la velocidad al inicio de la crítica y así evitar que la roca sea destruida.



En cuanto a la hidrodinámica, el fenómeno de la cavitación produce corrosión, por lo general esto se observa en las paletas de las turbinas de una hidroeléctrica cuando el fluido está en condiciones de movimiento rápido y turbulento, lo cual produce burbujas de aire debido a la brusca evaporación del agua; cuando la presión desciende por debajo de la tensión de su vapor estas oquedades llenas de aire constituyen un contorno de igual presión que al chocar con cualquier material impactan y erosionan.

Si se considera que la masa fluida del huayco que se encuentra en movimiento rápido y turbulento produce burbujas y además contiene limos, arenas, gravas y boleas, podemos admitir que la erosión de la roca corresponde al inicio de la cavitación.

Con este criterio el diseño se hace mucho más fácil, ya que la velocidad crítica la hemos definido al igual que la velocidad de diseño (CAP IV).

Las alternativas de tratamiento del huayco con tecnología propia, son destinadas a reducir el riesgo de futuros desastres en la zona y áreas críticas previamente localizadas, mediante la reducción progresiva de la vulnerabilidad.

La reducción de riesgo o mitigación del peligro consiste en desarrollar medidas para controlar, regular, reducir y finalmente para evitar se desarrollen nuevos huaycos.

Requiere trabajos de corto, mediano y largo plazo, de gran magnitud que el gobierno debería accionar y apoyar en equipo y financiación y si éste falta por insensibilidad social, en su mayoría éstos son posibles de llevarse a cabo mediante el trabajo comunal de la misma población organizada proporcionándoles una tecnología propia y dirección técnica adecuada y permanente. Las necesidades de materiales y por lo tanto de gastos de capital son mínimos si se aprovechan los recursos disponibles en sus obras y construcciones, aunque el trabajo sería bastante fuerte y requeriría del sacrificio de los pobladores durante varios años.

Las medidas correctivas sugeridas son aquellas que tienen por finalidad controlar la erosión hídrica que forman las cárcavas, disminuir la energía cinética del agua que provoca la erosión del cauce y erosión lateral.

El cauce superior se desarrolla principalmente sobre roca Gabrodiorita, en menor cantidad Tonalita, esporádicamente Granodiorita, pedazos de epidota y cuarzo lechoso, y a pesar de no seguir un lineamiento rectilíneo ni estar regulado, tiene secciones definidas por el paso de huaycos anteriores, estas secciones naturales (FOTO N°1, 2 y 3) deberán mantenerse con las recomendaciones siguientes:

- Eliminación de rocas del cauce, de diámetros mayores a 1.0 m., mediante voladura o picapedreo y considerar una sección mínima para el cauce de 75 m<sup>2</sup>, la cual es la sección promedio al inicio del cauce medio.

- Al efectuar la limpieza del cauce alto, deberá construirse o adecuarse la superficie del terreno a una forma de andenes, las cuales tendrán la función de disipar la energía, de preferencia por la parte central del cauce, debido a que los últimos huaycos han pasado por esta zona (FOTO N°2).

- Calzadura de rocas inestables ubicadas en las laderas y protección de los pies de taludes de depósitos coluviales (FOTO N°1) empleando pircas de altura no mayor de 3 m.

- La protección de los pies de talud laterales se hará con todo el material proveniente de la limpieza del cauce y de la eliminación de rocas inestables.

- Será preciso determinar las rocas que estuvieran conteniendo depósitos coluviales a fin de reforzarlas para evitar que la inestabilidad de éstas, produzca la caída de depósitos.

En el cauce superior no es indispensable la construcción de una obra hidráulica de regulación o encauzamiento, sino que es necesario obras de disipación de energía como los andenes antes mencionados, éstos a su vez servirán para retener las rocas de mayor tamaño.

En el cauce medio el panorama es diferente, debido a que en sus márgenes se encuentra concentrada la comunidad de Yanacoto N° 5, en esta sentido se hace necesario la construcción de obras hidráulicas (objetivo de la Tesis) que

eviten los daños a la comunidad, para determinar las características de estas obras, tendré que basarme en los datos obtenidos en el Capítulo IV de la presente Tesis, tanto los datos topográficos como los hidrológicos son indispensables para un buen diseño.

En dicho capítulo se determinó que:

- El caudal máximo de diseño es de  $420 \text{ m}^3/\text{s}$
- La velocidad de diseño es de  $7 \text{ m/s}$
- El área de la sección transversal de las obras hidráulicas de encauzamiento es de  $60 \text{ m}^2$ .
- La pendiente natural promedio en el cauce medio es de  $13.5\%$  y en el cauce bajo de  $11.0\%$
- La pendiente de regulación, en las obras hidráulicas a construirse será similar a la del canal de demasías de la antigua C. H. de Yanacoto.

El cauce medio natural posee en su inicio una sección aproximada de  $75 \text{ m}^2$ , pero conforme nos acercamos al cono de deyección, esta sección disminuye, por lo que de ocurrir un huayco con características de crisis climática, su gran energía y velocidad le permitiría llegar fácilmente a la zona poblada, especialmente en la margen derecha del cauce medio, pero al encontrar una sección de paso reducida y obstrucción en su recorrido por parte del montículo de las ruinas de Yanacoto, tendería a salirse de su curso normal, no

sin antes provocar un vórtice el cual deriva en una posterior avalancha e inundación sobre las viviendas más cercanas, por lo que lo ideal en este caso es hacer que el huayco pase rápidamente y sin obstrucción por esta zona, evitando que se produzca los problemas mencionados.

Por lo expuesto anteriormente la obra hidráulica ideal en esta zona (FOTO N°4) es una **rápida**, la cual sería de sección rectangular y construida íntegramente con roca de la misma zona, ya que la roca es el material más resistente al paso de los huaycos.

Unos metros antes del inicio de la rápida, debe protegerse ambos márgenes del cauce medio en su tramo inicial (FOTO N°5 y 6), considerando que las escarpas naturales y el muro de piedras construido por el PAIT, no serían lo suficientemente fuertes para resistir la presión de un gran huayco, el cual deberá desviar su curso ligeramente hacia la derecha para empalmar con la obra hidráulica mencionada, esta protección o **muro de contención** puede estar hecha de piedras unidas con mortero cemento y arena gruesa o de concreto armado de alto grado de resistencia, con una buena cimentación.

Al inicio de la rápida (FOTO N°6) deberá construirse una **presa vertedero** que regule el caudal de entrada, esta obra de arte hidráulica puede estar hecha del mismo material con que fueron hechas los muros antes mencionados.

Partimos de que la roca es la alternativa para este propósito, pues este material predomina, es el causante de los daños, su uso tiene una rica tradición histórica, resulta económico ya que solo se requiere de mano de obra con una tecnología artesanal que cada vez debe perfeccionarse.

La pendiente promedio en esta zona es del orden de 13.5% (7.7°), la cual es mayor que el ángulo natural de sedimentación de los flujos de lodos (9% aprox.), entonces por lo menos la pendiente de la **rápida** tiene que ser de 18% (10.2°), o en todo caso la máxima permisible por la topografía, para que el flujo pase rápidamente sin permitir la fácil sedimentación del material sólido.

Esta obra hidráulica, tendrá que empalmar mediante una **transición** con un canal de sección compuesta, en la zona del cruce del camino de acceso a la comunidad con el cauce medio natural (FOTO N°7, 8 y 9), la cual puede estar construida del mismo modo que la obras anteriores.

El **canal de sección compuesta** estará formado por el canal de demasías de la antigua Central Hidroeléctrica de Yanacoto ( $h \times b = 2 \times 5$ ), la cual a la vez estará ligada a otro canal, este canal estará ubicado en la margen derecha del canal de demasías (FOTO N°10 y 11), y deben proseguir su recorrido hasta antes de llegar a la carretera Central.

Antes de proceder a construir las obras propuestas se deberá tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Ubicar y conocer las características del túnel que atraviesa el cauce medio por debajo del terreno, pues su posición puede limitar el tratamiento y regulación del cauce, además es necesario conocer su seguridad ante el paso de un huayco.

- Desalojar y reubicar las viviendas que se encuentran dentro del ancho calculado para la sección del cauce (FOTO N°7), así como, eliminar el muro de piedra construido por el PAIT (FOTO N°5), ya que ha sido construido sin ningún criterio técnico y constituye mayor peligro para la Comunidad de Yanacoto N°5.

- Solicitar autorización a las Empresas Eléctricas para la adecuación y uso de todas las instalaciones de la Central Hidroeléctrica de Yanacoto en desuso y abandonada, a cambio de la prevención y control de su área de recreación del club de empleados, quienes se beneficiarían con el proyecto.

- Dar instrucciones de prevención y seguridad a la Comunidad de Yanacoto, por ser altamente peligrosa su ubicación y estar expuestos a un riesgo que aumenta día a día, aún con las limpiezas y correcciones, encauzamientos y defensas, sólo se logran la prevención dentro de un riesgo fríamente calculado, a pesar de la poca actividad del huayco en los últimos 100 años.

## 6.2 EN EL CAUCE BAJO CON TECNOLOGIA PROPIA E INCORPORANDO EL CANAL DE DEMASIAS DE LA ANTIGUA CENTRAL HIDROELECTRICA DE YANACOTO

Al inicio del cauce bajo (cota 815), se produce un estrangulamiento de la sección transversal, debido a un muro de piedras construido por Electrolima (FOTO N°12 y 14) y a la saliente de un cerro (FOTO N°15) al frente de dicho muro, los cuales se encuentran en forma perpendicular a la dirección del cauce bajo, dicha característica debe modificarse, de tal modo que no obstruya el paso del canal de sección compuesta y permita que esta obra continúe hasta antes de llegar a la carretera Central (FOTO N°16, 17 18 y 19). Esta modificación en la característica del terreno implica la eliminación de la saliente del cerro, la cual puede hacerse por voladura y picapedreo.

En el cono de deyección existen postes de madera que conducen cables de electricidad (FOTO N°16 y 17), los cuales deben ser reubicados acercándolos hacia el muro perimetral del Country Club El Bosque, ya que la construcción del canal de sección compuesta podría afectarlos.

Al llegar a la carretera Central surge otro problema, ya que el canal de demasías desemboca en el río Rímac pasando por debajo de la carretera (FOTO N°21 y 22), cosa que no podría hacerse con la otra parte del canal, por que debe tenerse en cuenta que existen escarpas de hasta 20 m



de altura al pie del río, las cuales poseen grietas de tensión muy notorias que pueden derrumbarse, si se efectuasen movimientos de tierra bruscos cerca a esta zona.

Al verse afectada la carretera Central, la solución le correspondería al Ministerio de Transportes y Comunicaciones, ya que no está permitido efectuar obras que afecten o modifiquen las características actuales de una carretera sin el consentimiento de este sector; pero como sugerencia les puedo mencionar que la alternativa más factible es construir un badén antes de llegar a la carretera, el cual no permitirá que esta sea destruida totalmente.

Dicho badén se ubicará en la margen derecha del canal de demasias, tendrá su superficie empedrada al igual que las anteriores obras, al construirla deberá protegerse el muro perimetral del Country Club El Bosque para evitar la socavación de su cimiento.

### 6.3 DISEÑO DE OBRAS HIDRAULICAS DE LA ALTERNATIVA PROPUESTA

A lo largo del cauce principal, específicamente en el cauce medio y bajo, se plantean obras para el encauzamiento del huayco, estas obras en orden sucesivo y descendente son:

- 1) Muros de contención
- 2) Presa vertedero
- 3) Rápida
- 4) Transición
- 5) Canal de sección compuesta
- 6) Badén

Antes de proceder a construir estas obras, se deben conocer las características del flujo aluvional y de los muros de encauzamiento, principalmente sus pesos por unidad de volumen.

Estos valores servirán para analizar la resistencia y estabilidad de las obras a construirse.

#### CALCULO DEL PESO POR UNIDAD DE VOLUMEN DEL HUAYCO

Para el cálculo de este parámetro deben conocerse las características de los materiales sólidos del cauce principal de la subcuenca Santa María Yanacoto N°5. Según los estudios de la Tesis UNI-FIC de J. Ortiz-1992, los materiales sólidos del cauce así como de sus márgenes tienen las siguientes características:

. TABLA VI-1

		Vs+Vv	Vs	Vv	$e\% = \frac{Vv}{Vs} 100$	$n\% = \frac{Vv}{Vt} 100$
MUESTRA 1 Cauce Principal	Grava	352.40	344.70	7.7	2.23	2.19
	Arena	107.14	105.74	1.4	1.32	1.31
MUESTRA 2 Margen Izquierda	Grava	344.40	339.50	4.9	1.44	1.42
	Arena	109.04	104.74	4.3	4.11	3.94
MUESTRA 3 Margen Derecha	Grava	340.30	337.60	2.7	0.80	0.79
	Arena	107.41	103.81	3.6	3.47	3.35

Donde: Vs = Volumen de sólidos  
Vv = Volumen de vacíos  
Vt = Volumen total = Vs + Vv  
e% = Relación de vacíos  
n% = Porosidad

A todos estos suelos falta añadirles las rocas de diámetros mayores de 3" ( $\phi > 3''$ ), en el caso del huayco, nos interesa saber en que porcentaje se encuentran los boleos, grava y la arena, así como conocer sus volúmenes de vacíos en relación a una unidad de volumen; según la misma Tesis:

MUESTRA 1  $\left[ \begin{array}{l} \% \text{ Boleos} = 30\% \\ \% \text{ Grava} = 50\% \\ \% \text{ Arena} = 20\% \end{array} \right.$

Peso específico volumétrico de la MUESTRA 1:

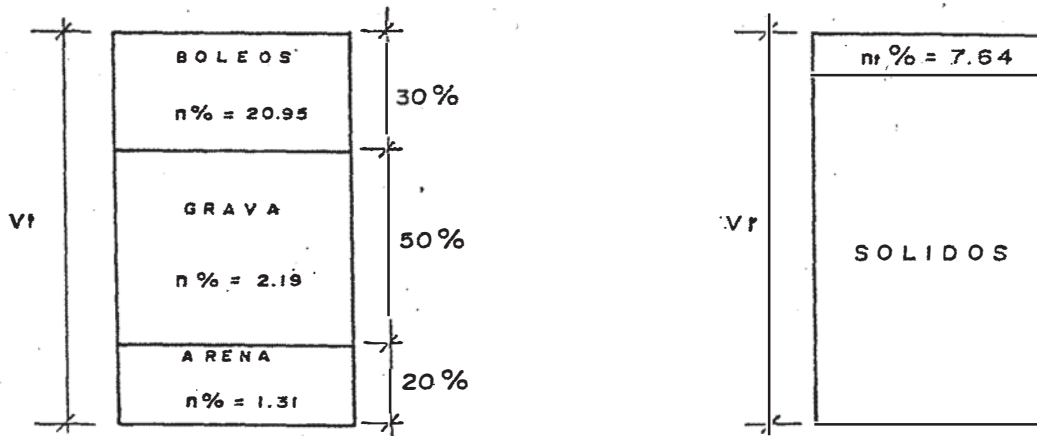
$$\gamma_s = 2.816 \text{ T/m}^3$$

De acuerdo a la TABLA VI-1, la Porosidad para cada elemento es:

Boleos:  $n\% = 20.95\%$  (ensayo aparte)  
 Grava:  $n\% = 2.19\%$   
 Arena:  $n\% = 1.31\%$

$$n_{\text{total}}\% = 0.2095(30) + 0.0219(50) + 0.0131(20)$$

$$n_{\text{total}}\% = 7.64\%$$



La porosidad de un suelo puede variar, pues depende de la estructura del suelo y sus procesos de transformación en el tiempo.

El cambio de volumen debido a la relación de vacíos de un lugar, bajo la acción de cargas conduce a un cambio en el volumen total del suelo y esto se reconoce como una cantidad variada que causa inconveniente en el cálculo experimental de la porosidad ( $n = V_v/V_t$ ).

Por esta razón en Mecánica de Suelos práctica, está cuestionada la expresión de la porosidad.

Recientemente se considera como una cantidad constante a la relación de vacíos o porosidad relativa y es

tomada a partir de un diagrama unitario como un volumen unitario expresado como:

$$e = (\text{Vol. de vacíos del suelo}) / (\text{Vol. de los sólidos})$$

La relación de vacíos (e) y la porosidad (n) están relacionados mediante la siguiente fórmula:

$$e = n / (1 - n)$$

entonces con  $n = 0.0764$  tenemos:

$$e\% = 8.30 < 10\%$$

Esto quiere decir que con 10% de agua en una unidad de volumen, el suelo se satura y dependería del volumen total de descarga y la características del terreno para que el huayco comience a desplazarse, si tenemos en cuenta el análisis hecho en el Capítulo IV - (TABLA IV-30), en el cual se considera un valor de 30% de agua para el descenso del huayco, observamos que este valor es colocado adrede, para asegurar el descenso de un huayco.

Por lo tanto:

$$\gamma_{\text{Huayco}} = \frac{(\gamma_w)(V_w) + (\gamma_s)(V_s)}{V_w + V_s}$$

donde:  $\gamma_w$  = peso específico del agua =  $1 \text{ T/m}^3$   
 $\gamma_s$  = peso específico del suelo =  $2.816 \text{ T/m}^3$   
 $V_w$  = % de agua por unidad de volumen = 10% a 30%  
 $V_s$  = % de sólidos por unidad de volumen = 90% a 70%

$$2.27 \text{ T/m}^3 < \gamma_{\text{Huayco}} < 2.63 \text{ T/m}^3$$

## CALCULO DEL PESO POR UNIDAD DE VOLUMEN DE LOS MUROS DE ENCAUZAMIENTO

Se han propuesto muros de roca asentados con mortero de cemento y arena gruesa, entonces lo esencial es conocer las proporciones de los materiales por unidad de volumen, además de sus características físicas.

El mortero es una masa plástica que sirve para la unión de las piezas de construcción (piedras, ladrillos, bloques, etc.), está compuesta por aglomerantes, es decir: cal, cemento o yeso y de los áridos de granulación determinada, que por lo general es una variedad de arena, otro elemento indispensable es el agua.

Es importante determinar si la arena de la zona es la apropiada para ser usada en la fabricación de morteros, según los estudios de la Tesis UNI-FIC de J. Ortiz - 1992, que corresponden a la zona en estudio, la arena fue sometida a un análisis bajo las normas ASTM, siendo algunas de sus exigencias: que la arena debe tener un módulo de finura no menor de 2.3 ni mayor de 3.1, no debe contener ingredientes dañinos como: limos, arcilla, carbón, etc., principalmente no debe contener más de un 2% de partículas arcillosas.

Efectuados los análisis se determinó que la arena puede usarse siempre y cuando se le de un tratamiento previo de eliminación de partículas finas, lo cual se haría con un simple tamizado in-situ, de preferencia debe usarse la arena que se encuentra en las márgenes del cauce (MUESTRA 2 y 3).

En cuanto a la calidad de agua a usarse para la preparación del mortero, puedo decir que se puede utilizar bajo un análisis preliminar toda agua limpia, de lluvia, de río, de pozo, de manantial o de corriente de la cañería, se exceptúan las aguas minerales. Si se desea utilizar otra clase de agua debe demostrarse mediante un análisis que es la adecuada.

La fuente de agua para la comunidad de Yanacoto N° 5 es la que fluye por el canal que va hacia la Central Hidroeléctrica de Huampaní, la cual atraviesa a la comunidad a una altura de 825 m.s.n.m. aproximadamente, esta agua según estudios hechos en la tesis de Ortiz -1992, puede utilizarse para la fabricación de mortero y concreto sin efectuarle ningún tratamiento previo.

El mortero tendría una proporción de cemento/arena de: 1/5, y la cantidad de agua puede variar de acuerdo a la trabajabilidad del mortero, el cual se busca sea una masa casi seca, que permita colocar una roca sin que el espesor del mortero sufra cambios muy notorios.

Para un primer tanteo puede considerarse una relación agua/cemento de 0.45 ( $a/c = 0.45$ ).

Lo cual indica que en una unidad de volumen las proporciones serían aproximadamente las siguientes:

Cemento ( $V_c$ ) = 0.16%  
Arena ( $V_a$ ) = 0.78%  
Agua ( $V_w$ ) = 0.07%

Los pesos específicos de estos materiales, son los siguientes:

$$\gamma_c = 3.1 \text{ T/m}^3 \quad \text{Valor promedio según normas ASTM}$$

$$\gamma_a = 2.7 \text{ T/m}^3 \quad \text{Según Tesis UNI-FIC de J. Ortiz-1992}$$

$$\gamma_w = 1.0 \text{ T/m}^3 \quad \text{Valor experimental}$$

Por lo tanto, en una unidad de volumen:

$$\gamma_{\text{mortero}} = \frac{(\gamma_c)(V_c) + (\gamma_a)(V_a) + (\gamma_w)(V_w)}{V_c + V_a + V_w}$$

$$\text{mort} = \frac{(3.1)(0.16) + (2.7)(0.78) + (1.0)(0.07)}{0.16 + 0.78 + 0.07} = 2.67 \text{ T/m}^3$$

Si la roca a usarse tiene un peso específico de  $2.8 \text{ T/m}^3$ , entonces el muro en conjunto tendrá un peso por unidad de volumen, cuyo valor varíe entre  $2.67$  y  $2.8 \text{ T/m}^3$

$$2.67 \text{ T/m}^3 < \gamma_{\text{muro}} < 2.8 \text{ T/m}^3$$



## ESPECIFICACIONES PARA LA CONSTRUCCION DE MUROS

### A) DE LA PROPORCION DE LOS MATERIALES

De acuerdo a las proporciones de los materiales por unidad de volumen, se tiene:

Para un metro cúbico ( $1 \text{ m}^3$ ):

Cemento	=	0.160	$\text{m}^3$
Arena	=	0.780	$\text{m}^3$
Agua	=	0.070	$\text{m}^3$

Como se piensa aprovechar la mano de obra existente en la zona, debe darse estas proporciones en unidades más prácticas, de modo tal que cualquier trabajador pueda entenderlas y aplicarlas.

Para la cantidad de cemento a emplearse por  $\text{m}^3$  de mezcla, lo más práctico es expresarlo en bolsas del mismo material (bolsas de cemento).

Para la cantidad de arena a emplearse por  $\text{m}^3$  de mezcla, lo más práctico es expresarlo en términos de "latas", las cuales son las que se emplean comunmente en la construcción civil (latas de aceite o kerosene), estas latas tienen una capacidad aproximada de  $0.02 \text{ m}^3$  ó  $0.68 \text{ pie}^3$ . Antes de utilizar la arena debe habersele humedecido, con la finalidad de que no absorva el agua empleada en la mezcla.

Para la cantidad de agua a emplearse por  $\text{m}^3$  de mezcla, lo más práctico es expresarlo en términos de "latas", del mismo modo que para la arena.

Finalmente, en 1 m<sup>3</sup> de mezcla se tiene:

Cemento	=	0.16 m <sup>3</sup>	=	5.5 bolsas
Arena	=	0.78 m <sup>3</sup>	=	39 latas
Agua	=	0.07 m <sup>3</sup>	=	3.5 latas

La cantidad de agua puede variar, de acuerdo a la trabajabilidad del mortero.

Si se quiere una cantidad de mezcla más pequeña, puede emplearse la siguiente proporción:

Cemento	=	1.5 bolsas (una bolsa y media)
Arena	=	11 latas
Agua	=	1 lata (medida variable)

#### **B) DE LAS ROCAS A EMPLEARSE**

Las rocas a seleccionarse deben ser homogéneas y compactas, limpia de materias orgánicas, debe tener fuerza adhesiva y un porcentaje de absorción menor al 3% de su peso; las rocas más grandes deben ser empleadas para las cimentaciones, debe buscarse que estas sobresalgan hacia la superficie en forma de dientes, para que al ser unidas con las de la parte superior se forme un enlace que de mayor rigidez al muro; antes de proceder a construir los muros, las rocas a utilizarse deben estar saturadas para que no absorban el agua del mortero.

### C) DE LA SUPERFICIE DEL TERRENO

Antes de colocar la primera piedra, debe darse un tratamiento previo al terreno, el cual al ser cortado tal como mandan los diseños debe ser humedecido y compactado, esto con la finalidad de que en el futuro no se produzcan asentamientos o expansiones indeseables.

### D) DE LAS JUNTAS DE CONTRACCION

Al construirse los muros debe preverse las juntas de contracción verticales, se recomienda que sean cada 6 m. y de 2" de ancho, para prevenir se produzcan grietas y/o deformaciones causadas por asentamientos imprevistos del terreno o por variación de temperatura.

Al construirse las superficies de las obras, también debe tenerse en cuenta este aspecto, en este caso las juntas se harán por paños de 24 m<sup>2</sup> (6m x 4 m) en todo el perímetro, excepto los bordes que hacen contacto con las paredes laterales, estas juntas serán de 1" de espesor y se rellenarán con arena y grava.

A continuación se verá cada una de las obras propuestas, especificando su zona de construcción y sus dimensiones geométricas.

### 1) Diseño de los Muros de Contención

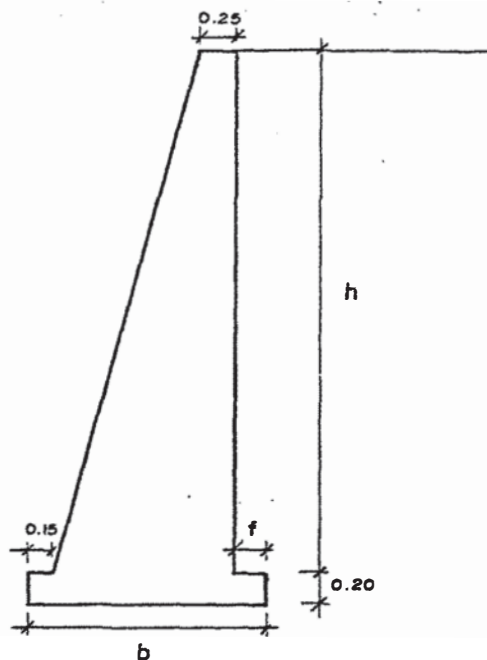
Estas defensas deberán estar ubicadas a ambos márgenes del inicio del cauce medio, con la finalidad de proteger las escarpas naturales de la margen izquierda y las viviendas ubicadas en la margen derecha, al cumplir esta finalidad indirectamente estará orientando al flujo aluvional hacia la presa vertedero, para su posterior paso a la rápida; para tal efecto debe darse a estas defensas una orientación y ubicación adecuada, para facilitar el ingreso del huayco a la rápida.

De acuerdo al plano topográfico a escala 1/500 (Plano N° 04), dichas defensas deben estar desde la cota 870 hasta la presa vertedero en la margen izquierda, y desde la cota 868 hasta la presa vertedero en la margen derecha, siguiendo el alineamiento y dirección que se muestra en dicho Plano.

Estas defensas o muros de contención, deberán cumplir con los requisitos de resistencia y estabilidad, serán construidas con roca del lugar, las cuales estarán asentadas y fraguadas con mortero de cemento y arena gruesa, siguiendo las especificaciones de construcción enunciadas anteriormente.

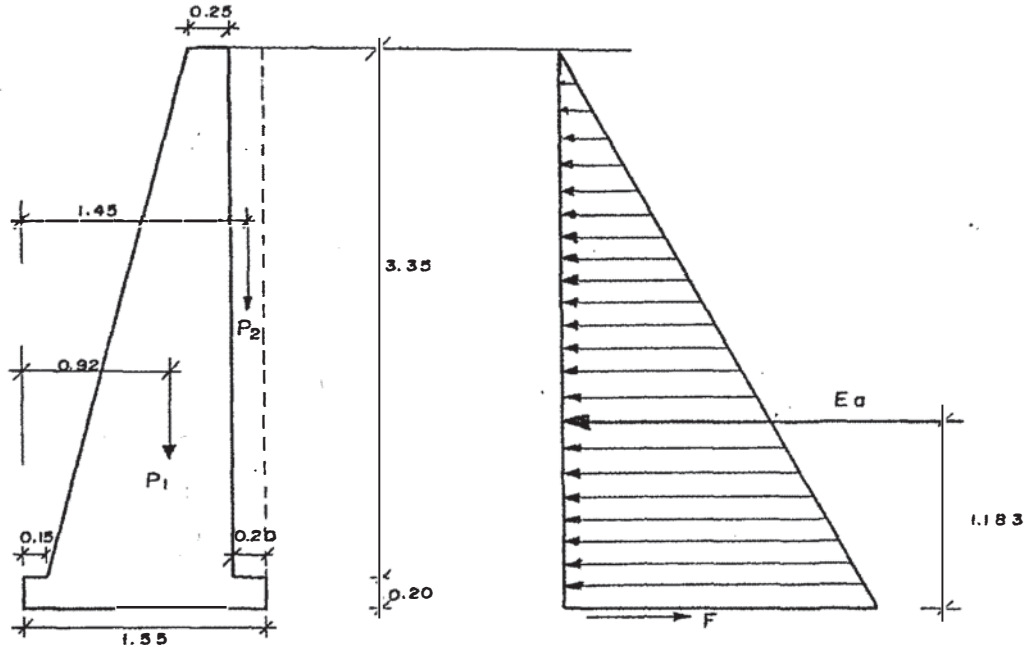
Deberá cumplirse que el caudal a recepcionarse entre los muros de contención deberá ser mayor al caudal máximo de diseño, con la finalidad de que el flujo se mantenga encauzado y se dirija sin causar daños en las márgenes, en su recorrido hacia la presa vertedero; la sección de diseño es de  $60 \text{ m}^2$ , de acuerdo a la alineación de los muros (Plano N° 04), vemos que el ancho en este tramo es mayor que el considerado para la rápida (20 m), y además las escarpas en promedio tienen una altura de 3 m, lo cual hace a la sección transversal mayor que la sección de diseño, en tal sentido se considerará una altura máxima de 3 m para los muros de contención.

Los muros deberán tener una buena cimentación, de preferencia con las rocas más grandes ( $\phi > 30 \text{ cm}$ ) y a una profundidad que permita su estabilidad, la sección transversal a optar será como se muestra en el siguiente esquema:



h(m)	f(m)	b(m)	Vol $\text{m}^3/\text{m}$
2.45	0.18	1.15	1.541
2.75	0.18	1.25	1.859
3.05	0.20	1.40	2.263
3.35	0.20	1.55	2.739

Comprobación de su estabilidad:



Siendo:

$E_a$  = Empuje activo

$P_1$  = Peso propio del muro de contención

$P_2$  = Peso propio del suelo sobre el talón del muro

$F$  = Fuerza de fricción del suelo con el muro

Haciendo un análisis por cada metro de longitud

$$a) E_a = (K_a)(\gamma_s)(Ht)^2/2$$

donde:  $K_a$  = Coef. de empuje activo =  $Tg^2(45-\phi/2)$

$\phi = 40^\circ$  = ángulo de fricción interna en grados, para tierra seca con presencia de grava y arena gruesa

$\gamma_s = 2.8 \text{ T/m}^3$  = Peso específico del suelo (Valor Prom.)

$Ht = 3.55 \text{ m.}$  = Altura total del muro

$$\text{entonces: } E_a = 3.87 \text{ T}$$

$$b) P_1 = (\gamma_{\text{muro}})(\text{Vol})$$

donde:  $\gamma_{\text{muro}} = 2.7 \text{ T/m}^3$   
 $\text{Vol} = 2.739 \text{ m}^3$

$$\text{entonces: } P_1 = 7.4 \text{ T}$$

$$c) P2 = (\gamma_s)(h)(f)$$

donde:  $h = 3.35 \text{ m}$  (ver figura)  
 $f = 0.20 \text{ m}$  (ver figura)

$$\text{entonces: } P2 = 1.9 \text{ T}$$

$$d) F = (\mu)(N)$$

donde:  $\mu = 0.7 =$  Coefic. de fricción en la base del muro, está  
 en función del ángulo de fricción interna ( $\phi$ )  
 $N = P1 + P2 =$  Reacción normal del suelo

$$\text{entonces: } F = 6.51 \text{ T}$$

Finalmente:

i) Factor de Seguridad al deslizamiento  $> 1.25$

$$\text{F.S.D.} = F/Ea = 6.51/3.89 = 1.68 > 1.25 \quad \text{OK!}$$

ii) Factor de seguridad al volteo  $> 1.5$

$$\text{F.S.V.} = ((P1)(0.92)+(P2)(1.45))/((Ea)(1.183))$$

$$\text{F.S.V.} = 9.563/4.58 = 2.09 > 1.5 \quad \text{OK!}$$

## 2) Diseño de la presa vertedero

Esta obra deberá contener al flujo aluvional para permitir el paso de un caudal menor hacia la rápida, por lo tanto esta presa vertedero debe ser grande y resistente, deberá estar entre las obras de defensa hechas al inicio del cauce medio y la rápida procurando que se encuentre confinada entre estas dos obras.

Su construcción se hará aprovechando las rocas del lugar, las cuales se unirán entre si por medio de un mortero de cemento y arena gruesa, empleando las técnicas de construcción del caso anterior, en la cimentación deberán estar rocas de mayor tamaño ( $\phi > 30$  cm), debe ser de pared gruesa para asegurar una mayor estabilidad y resistencia.

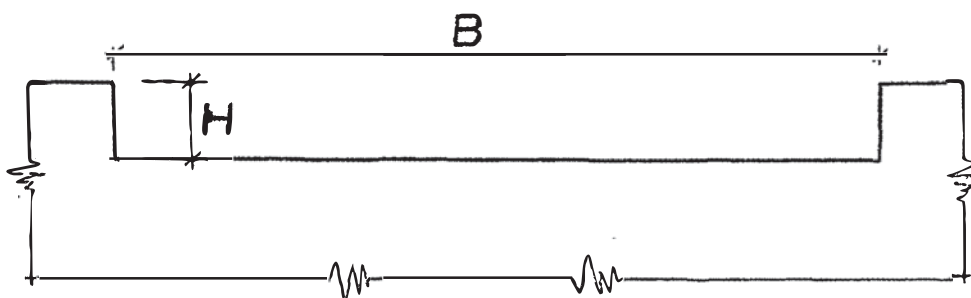
Existen varias fórmulas para estimar el caudal de entrada a través de una presa vertedero, pero hay dos que son las más confiables, siendo estas:

$$i) \quad Q = m \cdot B \cdot H^{1.5} \quad (VI-1)$$

donde:  $Q$  = caudal de entrada  
 $m$  = factor experimental  
 $B$  = ancho  
 $H$  = altura de la cresta

$$ii) \quad q = 1.67 H^{1.5} \quad (VI-2)$$

donde:  $q$  = caudal de entrada por unidad de ancho  
 $H$  = altura de la cresta





Cabe mencionar que la ecuación VI-1 es exclusiva para presas usadas como vertederos, mientras que la ecuación VI-2 es usada para calcular caudales unitarios en vertederos de aforo de pared gruesa, la cual puede transformarse en:

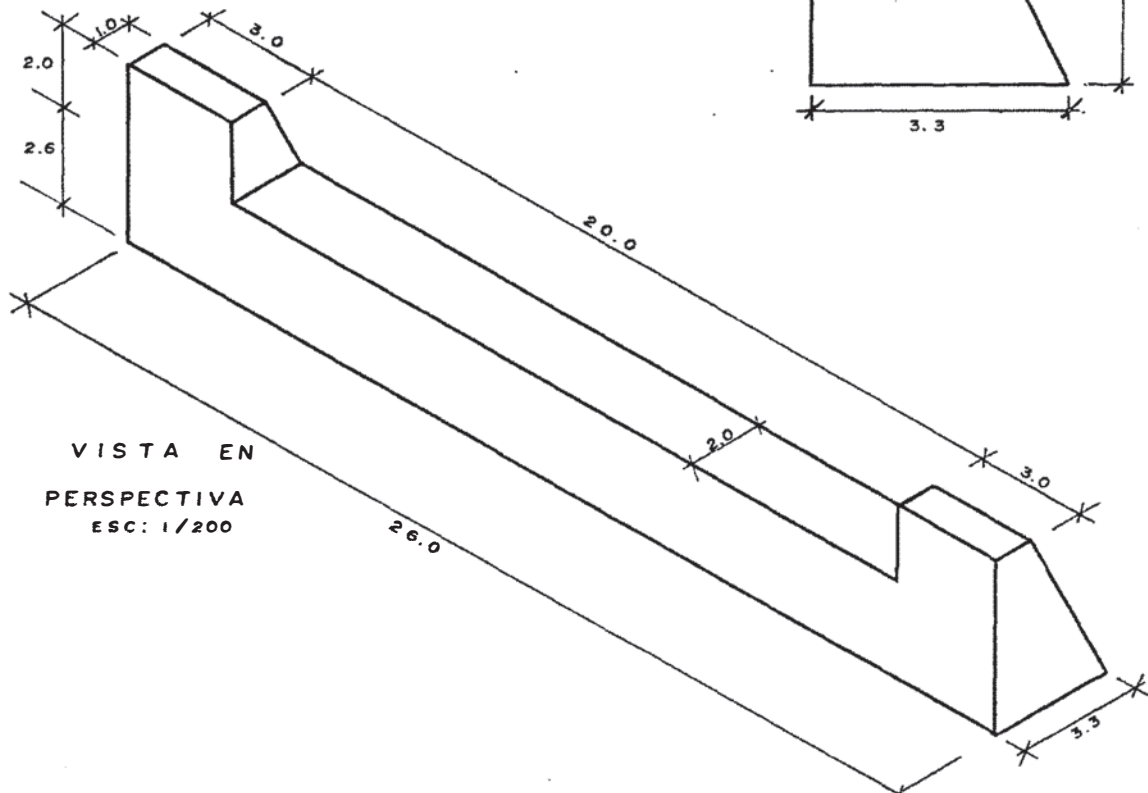
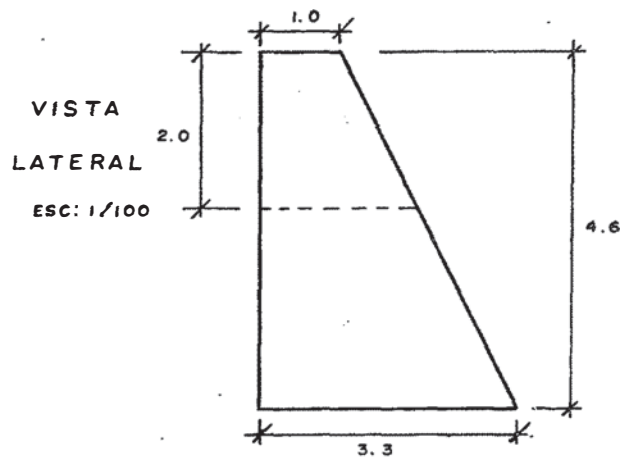
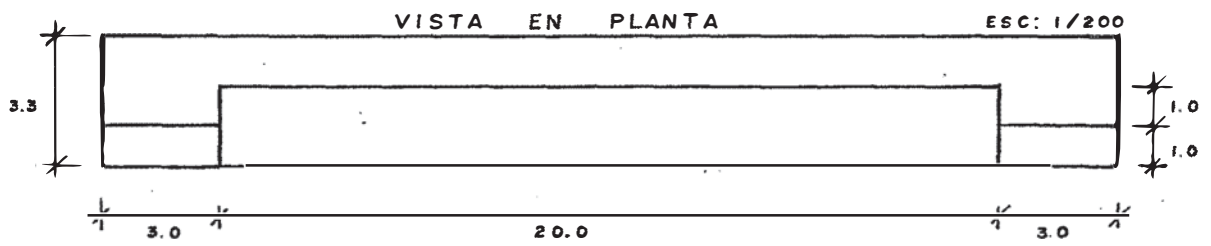
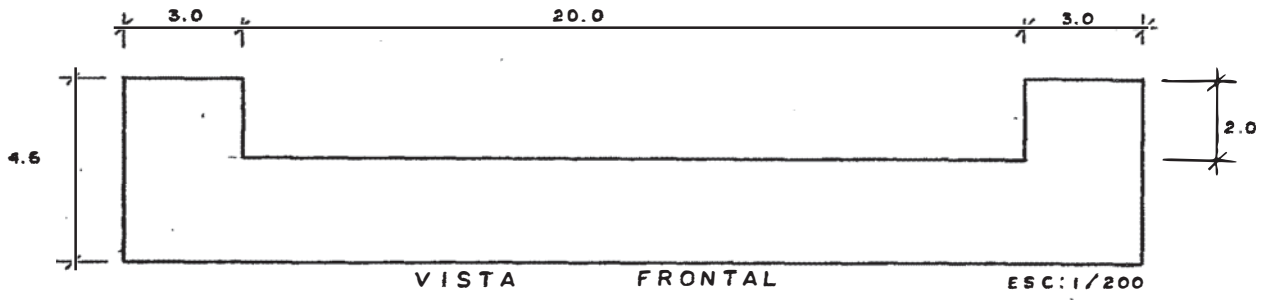
$$Q = 1.67 B.H^{1.5} \quad (VI-3)$$

donde:  $Q = q.B$

La ecuación VI-3 será la utilizada por ser conocidas todas sus variables.

Esta presa estará expuesta a una fuerte presión e impacto, por lo que resulta más probable que sea destruida antes que sea volteada o deslizada, ya que se encontrará confinada entre los muros de defensa y las paredes laterales y fondo de la rápida, pero para lograr una buena resistencia se debe buscar una forma geométrica ideal, siendo el ancho de su sección transversal un factor importante para su resistencia.

Un modelo alternativo sería el mostrado a continuación:



Considerando estas dimensiones y aplicando la fórmula VI-3, tenemos:

$$Q = 1.67 B.H^{1.5}$$

$$Q = 1.67 (20)(2)^{1.5}$$

$$Q = 94.5 \text{ m}^3/\text{s}$$

El libro "Mecánica de los Fluidos e Hidráulica" de la colección Schaum, manifiesta que: "debido al rozamiento el caudal real es del 90 al 92% del valor dado por la fórmula."

Por lo tanto el caudal real será:

$$Q_r = 0.92 \times 94.5 = 86.9 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_r = 87 \text{ m}^3/\text{s}$$

Recordando que son fórmulas para agua, por lo cual, el caudal hallado es solo referencial y solo nos da una idea del posible caudal de entrada de un flujo aluvional.

### 3) Diseño de la rápida

La sección transversal ideal para la rápida será la rectangular ( $h \times b = 3 \times 20$ ), y tanto las paredes laterales y el fondo de la misma serán construidas predominantemente con roca del lugar, utilizando como material cementante para la unión de las rocas un mortero de cemento y arena gruesa, aplicando las especificaciones de construcción enunciadas.

b.1) Paredes laterales.- Se excavará, si fuera necesario, considerando los límites determinados para la sección ( $3m \times 20m$ ), hasta encontrar el ángulo de reposo del material existente.

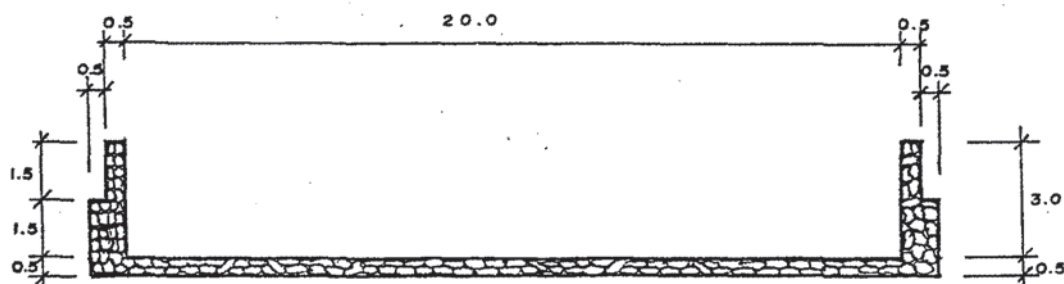
Si la pared quedase sin apoyo en su parte externa, deberán construirse terraplenes debidamente compactados, llenando el vacío existente, pero procurando que no exista un contacto vertical, sino una sección natural en caso de que la pared sea destruida, estos terraplenes de ser posible serán hechos con el material de corte que resulte de la excavación para el acondicionamiento de la sección buscada.

Las paredes laterales estarán construidas en toda su longitud y altura por muros de 0.50 m de lado como mínimo, asentados y fraguados con mortero de cemento y arena gruesa del mismo modo que las obras anteriores, estas paredes deberán ofrecer una buena estabilidad.

b.2) Fondo de la rápida.- Efectuado el movimiento de tierras, dándole la pendiente máxima permisible por el terreno

en toda su longitud (15.4 %), y compactando debidamente la superficie, se procederá a adoquinar todo el fondo de la rápida, del mismo modo que se plantea para las paredes laterales, dándole un espesor de 0.50 m, esto debido a la fuerte pendiente erosiva en este tramo.

Debido a la cercanía de las viviendas en la margen derecha se procuró que la construcción de la rápida no afecte demasiado a estas, haciendo el recorrido de la rápida en forma curva, reforzando convenientemente este tramo, tal como se observa en el plano topográfico (Plano N<sup>o</sup> 04).



SECCION TRANSVERSAL

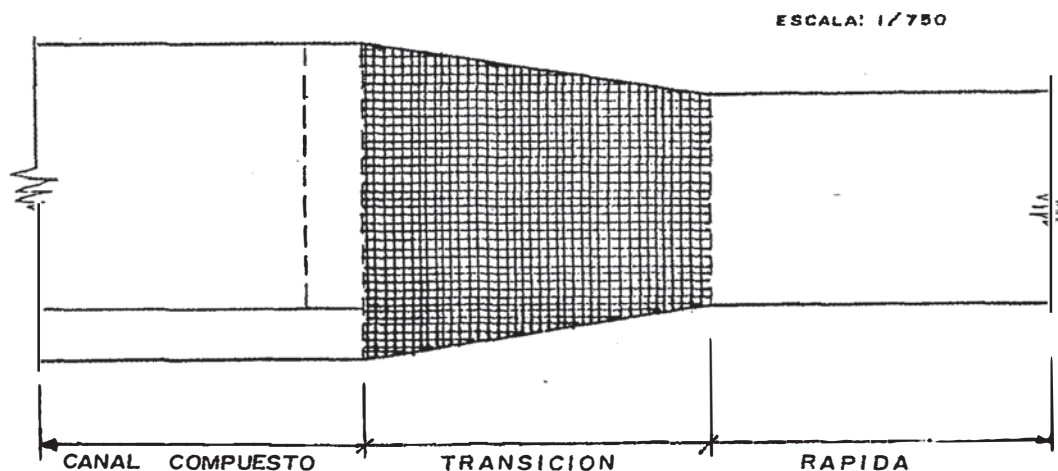
ESCALA: 1/200

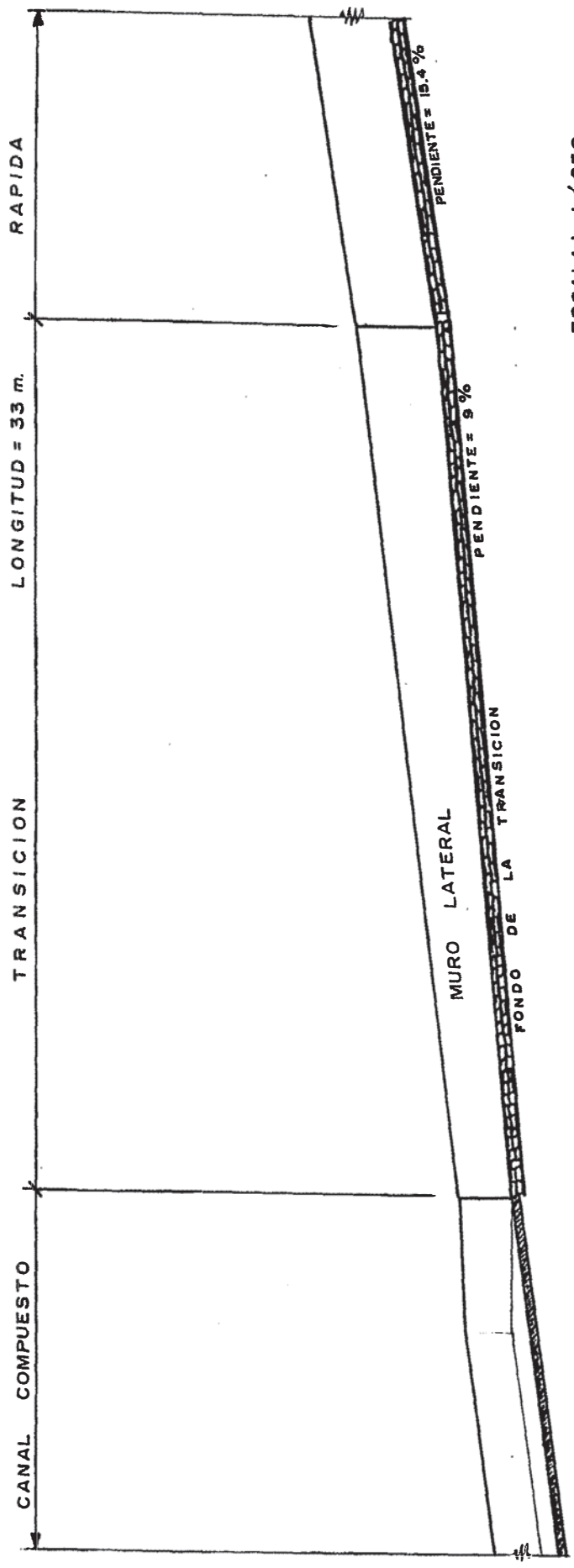
El diseño cumple con las condiciones de estabilidad.

#### 4) Diseño de la Transición

La transición será la unión de la rápida con el canal de sección compuesta, dicho en otras palabras, empalmar las paredes laterales de la rápida con las paredes laterales del canal de sección compuesta y empalmar el fondo de la rápida con el fondo del canal de sección compuesta, todo esto de la manera más simple, procurando que el empalme guarde simetría y permita el fácil acceso del flujo aluvional de una obra hidráulica a otra.

Su construcción será en base de las mismas consideraciones tomadas para la construcción de la rápida, su longitud será de 33 m aproximadamente, su pendiente será del orden del 9%.





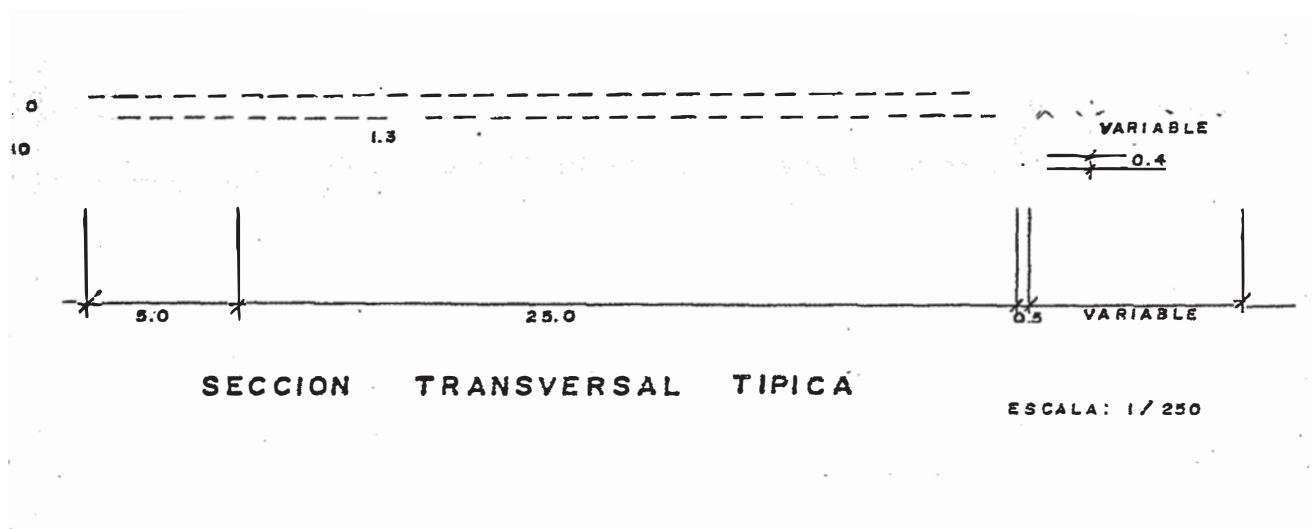
ESCALA: 1 / 250

### 5) Diseño del canal de sección compuesta

El actual canal de demasías posee una sección promedio de 10 m<sup>2</sup> (2 x 5), la cual no es suficiente para evacuar el caudal de descarga estimado, por lo que se hace necesario la construcción de otro canal adicional en su margen derecha con el fin de conseguir una sección similar a la de la rápida y permitir el paso del huayco sin obstrucción alguna.

La zona del depósito natural de tierra y rocas es el lugar que corresponde a la ejecución de esta obra, por lo que se pueden aprovechar estos materiales para construir las paredes y el fondo de dicho canal.

A continuación un esquema de como sería el canal de sección compuesta:



El método constructivo será el mismo utilizado para las obras anteriores.

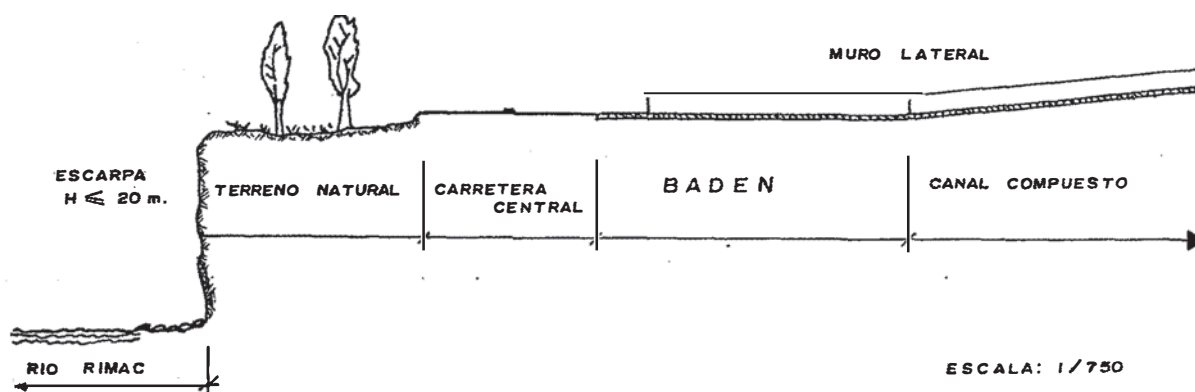
El diseño cumple con las condiciones de estabilidad.



### 6) Diseño del Badén

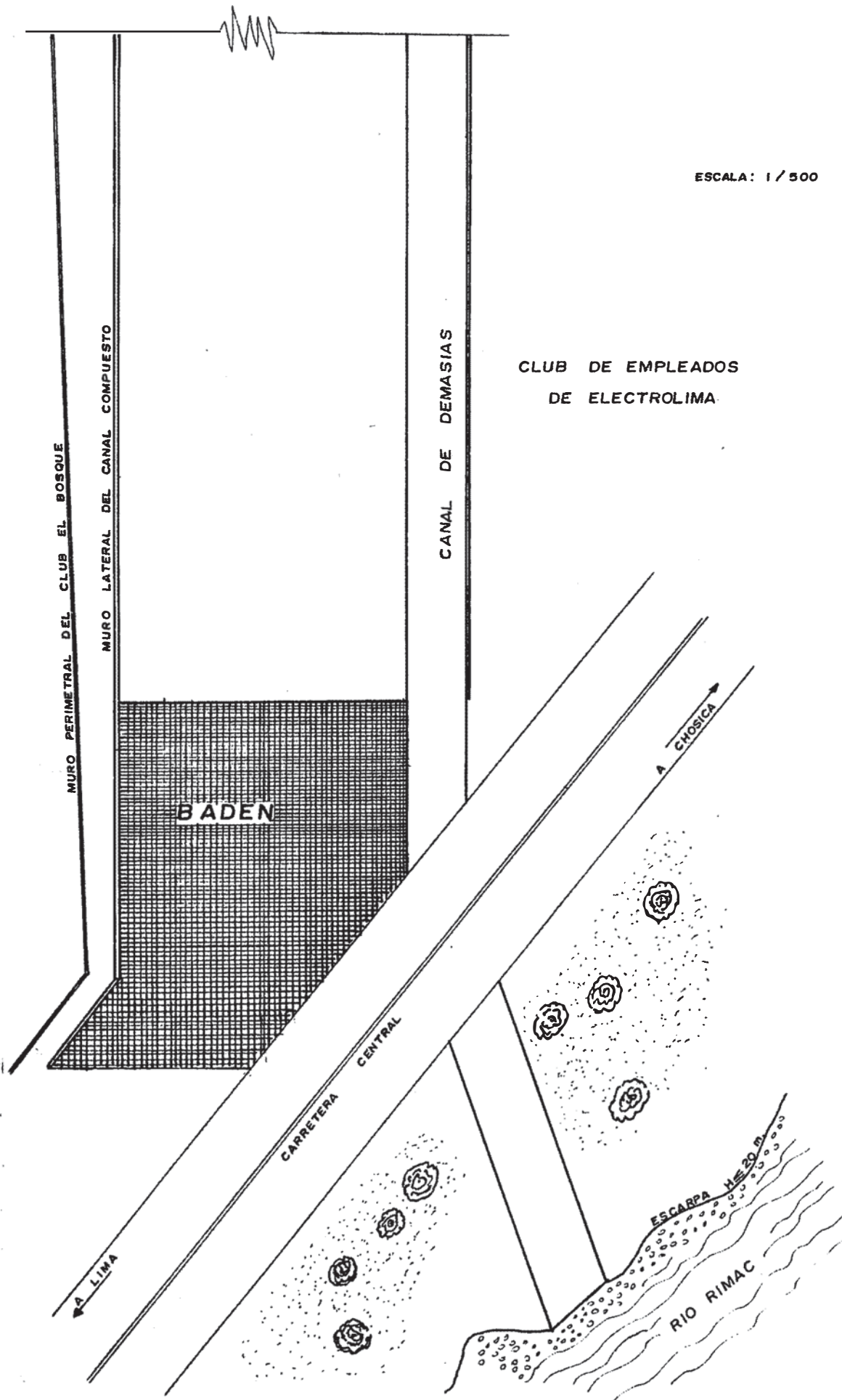
Esta obra empezará desde unos 30 m. antes de llegar a la carretera Central, a esta distancia el fondo del canal de sección compuesta tiene una cota similar al de la carretera, por tal motivo esta ubicación es la ideal para su inicio, el ancho de su sección será la misma que el canal compuesto, es decir el muro de la margen derecha del canal compuesto mantendrá su alineación por lo menos hasta pasar el muro perimetral del Club El Bosque, con la finalidad de proteger los cimientos de este, al ser su superficie casi horizontal, permitirá que el flujo aluvional disminuya ligeramente su velocidad de descenso y pase sobre la carretera sin ocasionar daños considerables.

La superficie de esta obra así como el muro lateral, serán empedradas empleando las mismas técnicas anteriores.



ESCALA: 1 / 500

CLUB DE EMPLEADOS  
DE ELECTROLIMA.



# CAPITULO 7

## DOCUMENTACION GRAFICA

**FOTOGRAFIAS**  
**DEL**  
**CAUCE PRINCIPAL**





Foto N°1.- Vista del material coluvial que se encuentra en la ladera de la margen derecha del cauce alto. Este material puede emplearse en las distintas obras para el tratamiento del huayco. Al fondo se observa el inicio del cauce alto.



Foto N°2.- Vista panorámica del cauce alto, tomada en sentido opuesto al descenso del huayco, se observa una gran cantidad de material sólido suelto dentro del cauce principal, todo este material sería arrasado por un huayco con características de crisis climática, se deben eliminar los boleos de diámetros mayores a 1.0 m. y efectuar la limpieza del actual cauce socavado, con la finalidad de construir andenes de disipación de energía.





Foto N°3.- Vista del tramo final del cauce alto, tomado desde la parte alta de la margen izquierda (camino de acceso a las torres de alta tensión). Al centro a la derecha se observa la terraza que dejó el huayco más grande y antiguo que ha bajado por la quebrada.



Foto N°4.- Vista panorámica del cauce medio y alto, las viviendas cercanas al cauce medio están expuestas al peligro ante el paso de un gran huayco, al centro puede observarse el muro de rocas (pirca) construido por el PAIF, con la intención de desviar al huayco, pero está construido sin una buena cimentación, lo que lo hace presa fácil de la erosión. Esta zona es el inicio de las obras hidráulicas de encauzamiento.





Foto N°5.- Vista de la parte final del muro de piedras construido por el PAIT, con la finalidad de proteger las viviendas que se encuentran en la margen derecha pero fue construido sin una buena cimentación y orienta al flujo aluvional hacia el montículo de las ruinas de Yanacoto, lo cual podría provocar un vórtice. Este muro tiene que ser nuevamente construido, pero tomando en cuenta todas las precauciones para que resista la presión del huayco.



Foto N°6.- Vista del cauce medio, tomada en sentido opuesto al descenso del huayco, en la margen izquierda existen escarpas de 2 a 3 m. de altura, las cuales tienen que ser protegidas por muros de piedra unidas con mortero cemento-arena o muros de concreto armado de alta resistencia. La zona es ideal para el inicio de la rápida, que tendrá una presa vertedero como reguladora del caudal.





Foto N°7.- Vista del tramo final del cauce medio natural, el cual al llegar al camino con asistencia de badén, pierde sus dimensiones de ancho y profundidad. Las viviendas se encuentran demasiado cerca, por lo que se verán afectadas con la construcción de la rápida. Esta zona sería el tramo final de dicha obra, la cual tendría que empalmar mediante una transición con el canal de desasias de la antigua C. H. de Yanacoto y otro canal ligado a este con el fin de mantener la sección de descarga.

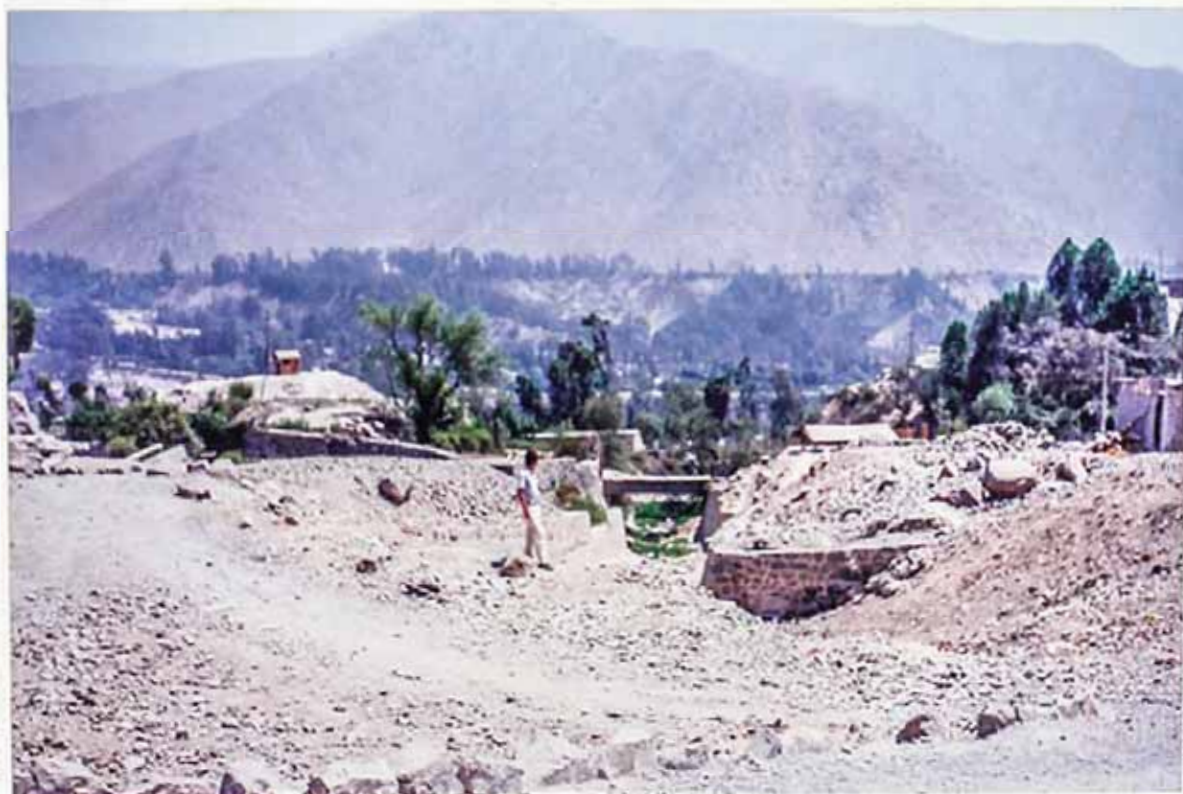


Foto N°8.- Vista del inicio del canal de desasias, tomada de la parte final del cauce medio natural. Esta zona necesita del diseño de una transición para que el flujo aluvional empalme con el canal de desasias y otro canal ligado a la derecha de este (ambos forman el canal de sección compuesta), con la finalidad de mantener la sección de descarga.





Foto N°9.- Vista panorámica del inicio del canal de desahío, tomada en sentido opuesto al flujo del agua. El cauce medio natural se encuentra entre las viviendas (arriba a la izquierda) y el montículo de las ruinas de Yanacoto (arriba a la derecha). En la margen derecha del canal de desahío debe construirse otro canal con el fin de formar un canal compuesto, que permita seguir evacuando el flujo aluvional.



Foto N°10.- Vista panorámica del canal de desahío, en el tramo final del cauce medio, tomada en sentido opuesto al flujo del agua. En su margen derecha debe construirse el otro canal. Se observa la abundante vegetación dentro de canal, más adelante se encuentra el muro de piedras de electrociza (izquierda) y la saliente del cerro (derecha).





Foto N°11.- Vista del trazo final del cauce medio, tomada en sentido opuesto al flujo del agua. Se observa que se presenta un depósito de tierra y roca suelta en la margen derecha del canal, lugar donde debe construirse el otro canal, utilizando los recursos naturales como material de construcción.



Foto N°12.- Vista del muro de piedras construido por Electrolima, tomada en dirección del flujo del agua, a la derecha del canal se encuentra la saliente del cerro (no se ve). La zona es crítica debido a este estrangulamiento, por lo que es necesario cortar dicha saliente, para permitir que el canal de sección compuesta continúe su recorrido hacia el cauce bajo.





Foto N°13.- Vista del canal de demasías, tomada entre la saliente del cerro y el muro de piedras de Electrolima, en sentido opuesto al flujo del agua. Las rocas que se observan así como el material que resulte del corte del cerro, pueden utilizarse para la construcción del canal de sección compuesta, después de haber sido adecuadamente trabajadas.



Foto N°14.- Vista del muro de rocas construido por Electrolima, tomada desde la saliente del cerro, el canal de demasías se encuentra en medio de estos.



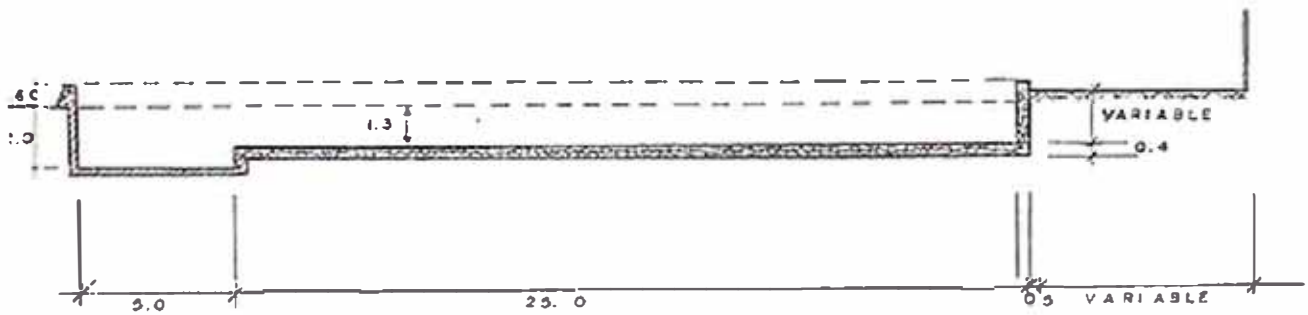
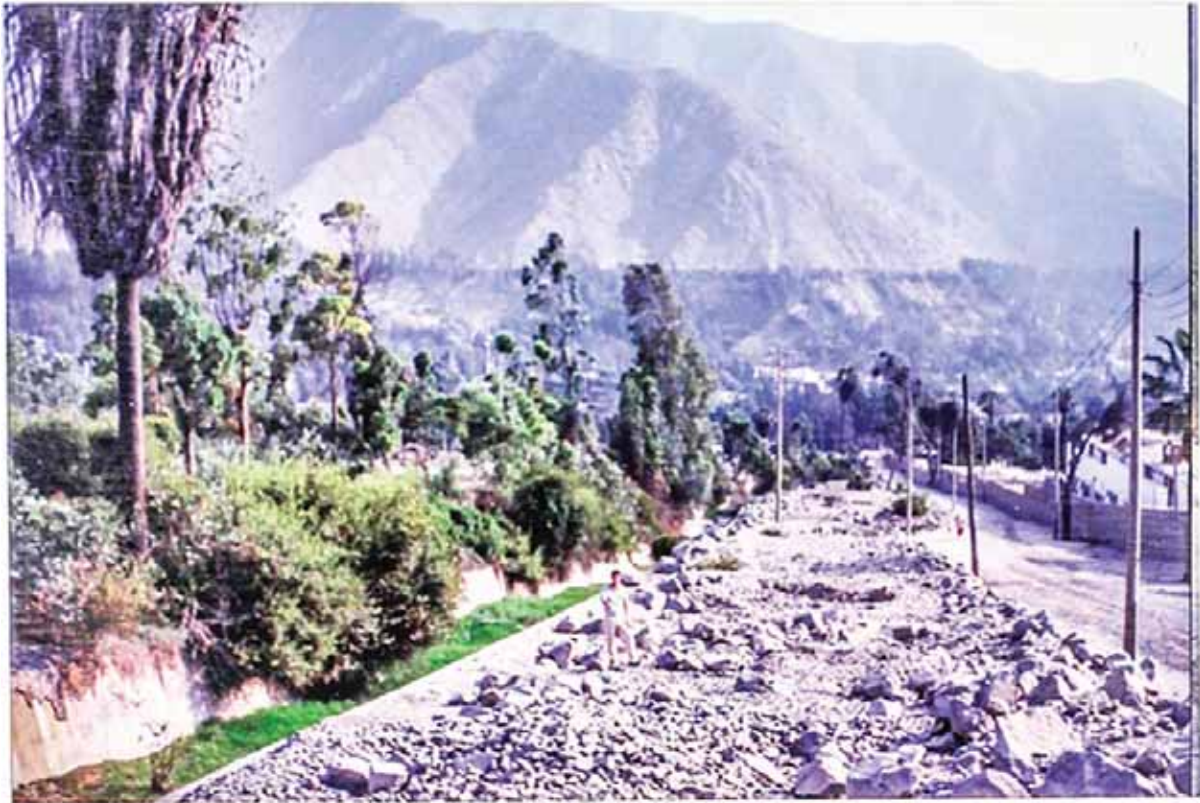


Foto N°15.- Vista de la saliente del cerro al inicio del cauce bajo, la cual junto con el muro de piedras de Electrolima disminuyen la sección de paso, esta es la parte que debe ser eliminada empleando la voladura y el picapedree.



Foto N°16.- Vista del canal de drenajes en el tramo del cauce bajo, tomada en dirección del flujo del agua. A la derecha del canal se observa un depósito natural de tierra y rocas, que pueden ser aprovechados para la construcción del canal de sección compuesta, a la derecha de este depósito está el actual camino de acceso a la comunidad de Yanacoto así como el muro perimetral del Country Club El Bosque.





SECCION TRANSVERSAL TIPICA

ESCALA: 1/250

Foto N°17.- Vista panorámica del cauce bajo, tomada desde su inicio. Se observa que este tramo es constante en cuanto a su recorrido, a la izquierda el club de empleados de Electrolina, luego el canal de desasias de la antigua Central Hidroeléctrica de Yanacoto, posteriormente el depósito natural de tierra y rocas, lugar donde será construido el canal adicional aprovechando estos mismos materiales, luego a la derecha el camino de acceso a la comunidad de Yanacoto RPS junto con el muro perimetral del Country Club El Rosque.





Foto N°18.- Vista del canal de desahues, dentro del cauce bajo, en dirección del flujo del agua. A la derecha se sigue presentando el depósito natural de tierra y rocas, que serán los materiales de construcción del canal de sección compuesta. El canal de desahues se encuentra erosionado debido al paso del agua por su parte central.



Foto N°19.- Vista del camino de acceso a la comunidad de Yanacoto N°5, tomada al inicio del muestreo. El movimiento de tierras hecha en su inicio, no se había efectuado cuando se realizó el levantamiento topográfico (Esc 90 - Ene 91), actualmente constituye un peligro pues sería una zona de represamiento de efectos no estimados, por lo que debe aprovecharse para iniciar y completar la excavación de la sección compuesta, obra sugerida para el tratamiento del huayco.





Foto N°20.- Vista del canal de demasías tomada desde la carretera Central en dirección oeste al flujo del agua. El obstáculo que se encuentra en la parte superior del canal, es un sequeño canal de riego, que se encuentra a escasos metros de la carretera, pero representa un obstáculo a salvar, por lo que debe considerarse el diseño de una obra hidráulica para vencer este obstáculo.



Foto N°21.- Vista del canal de demasías antes de desembocar al río Rimac, claramente se observa que pasa por debajo de la carretera Central, lugar donde presenta un ligero cambio de dirección hacia la izquierda, pero manteniendo sus direcciones. Este conducto, no sería suficiente para el paso de un gran huayco, ni sería posible hacer que todo el canal de sección compuesta pase por debajo de la carretera, debido a las escarpas existentes al pie del río, las cuales llegan hasta los 20 m presentando grietas de tensión, por lo que se recomienda la construcción de un badén o puente antes de llegar a la carretera y antes del canal de riego (foto anterior) para salvar este obstáculo.



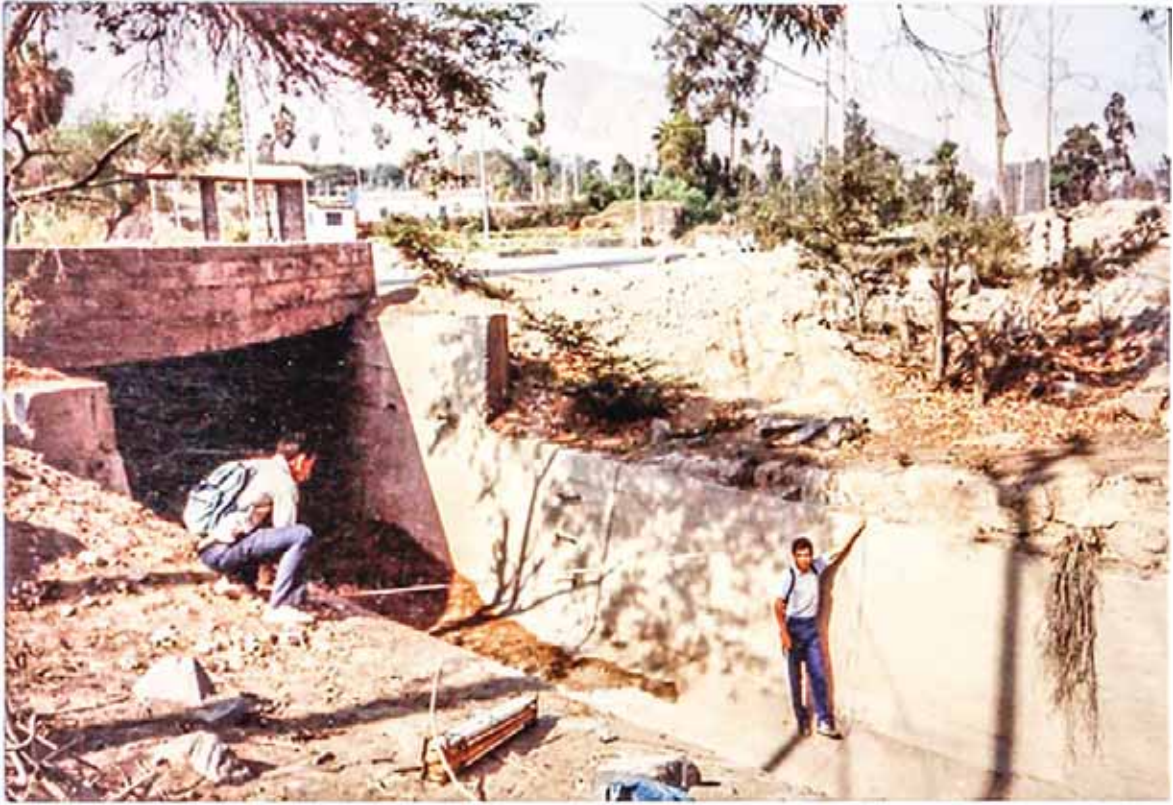


Foto N°22.- Se están tomando las dimensiones del canal de desasias, unos metros antes de su desembocadura al río Ríasc. Se observa que el canal pasa por debajo de la carretera Central. Arriba a la izquierda de la foto se ve la entrada al club de empleados de Electrolima.

### SECCION TYPICA DEL CANAL DE LA ANTIGUA CENTRAL HIDROELECTRICA DE YANACOTO

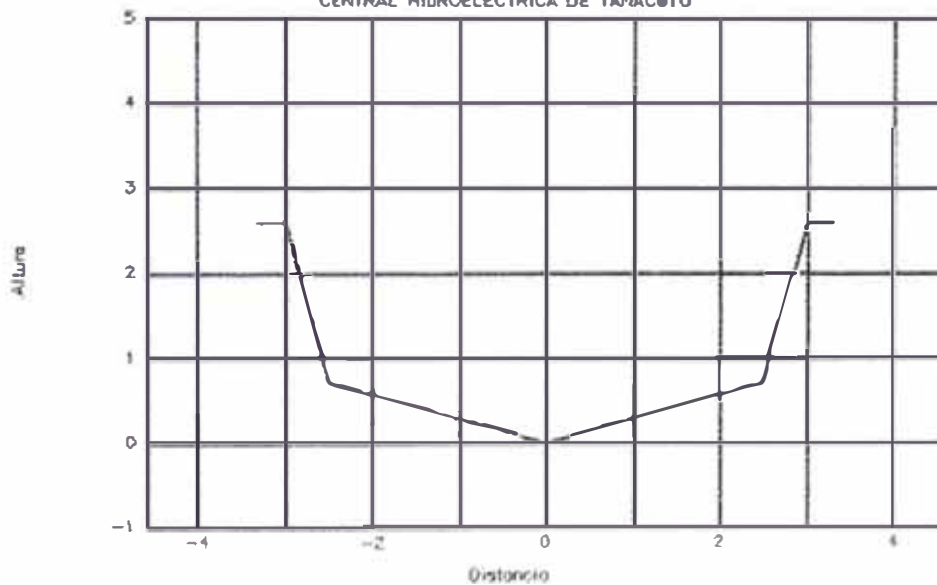






Foto N°23.- Deseembocadura del canal de desasias de la antigua Central Hidroeléctrica de Yanacoto al río Rimac, vista desde la carretera Central. Se observa que dentro del canal la vegetación es mínima, existe acumulación de basura y la erosión de fondo es notoria. Este tramo requiere limpieza y adecuación.



Foto N°24.- Deseembocadura del canal de desasias de la antigua Central Hidroeléctrica de Yanacoto al río Rimac, zona en la que se han formado escarpas que varían de 15 a 20 m. de altura, los pequeños aportes de este canal al río han hecho que se forme un meandro que desvía al río hacia su margen izquierda.

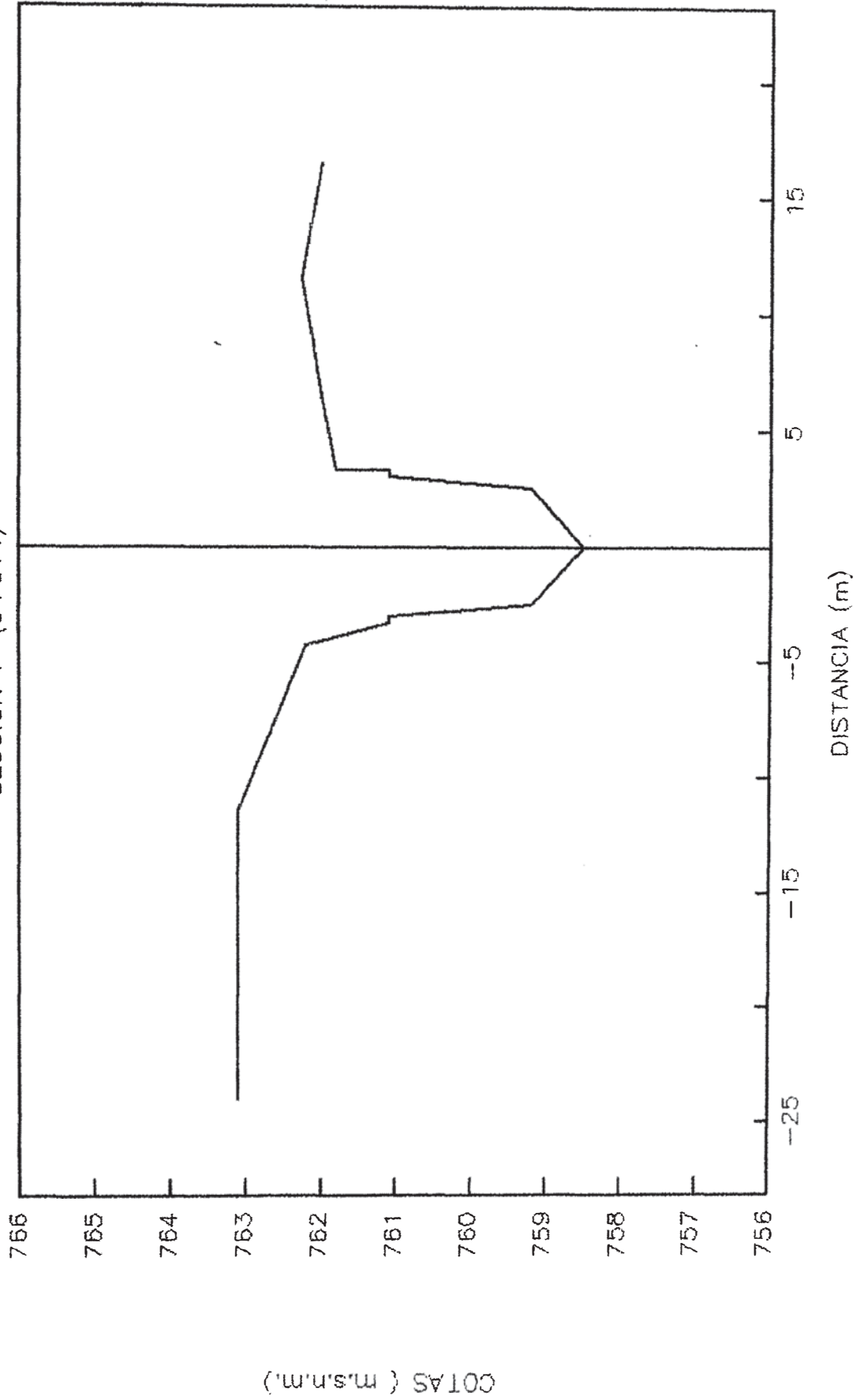
**SECCIONES TRANSVERSALES**

**DEL**

**CAUCE PRINCIPAL**

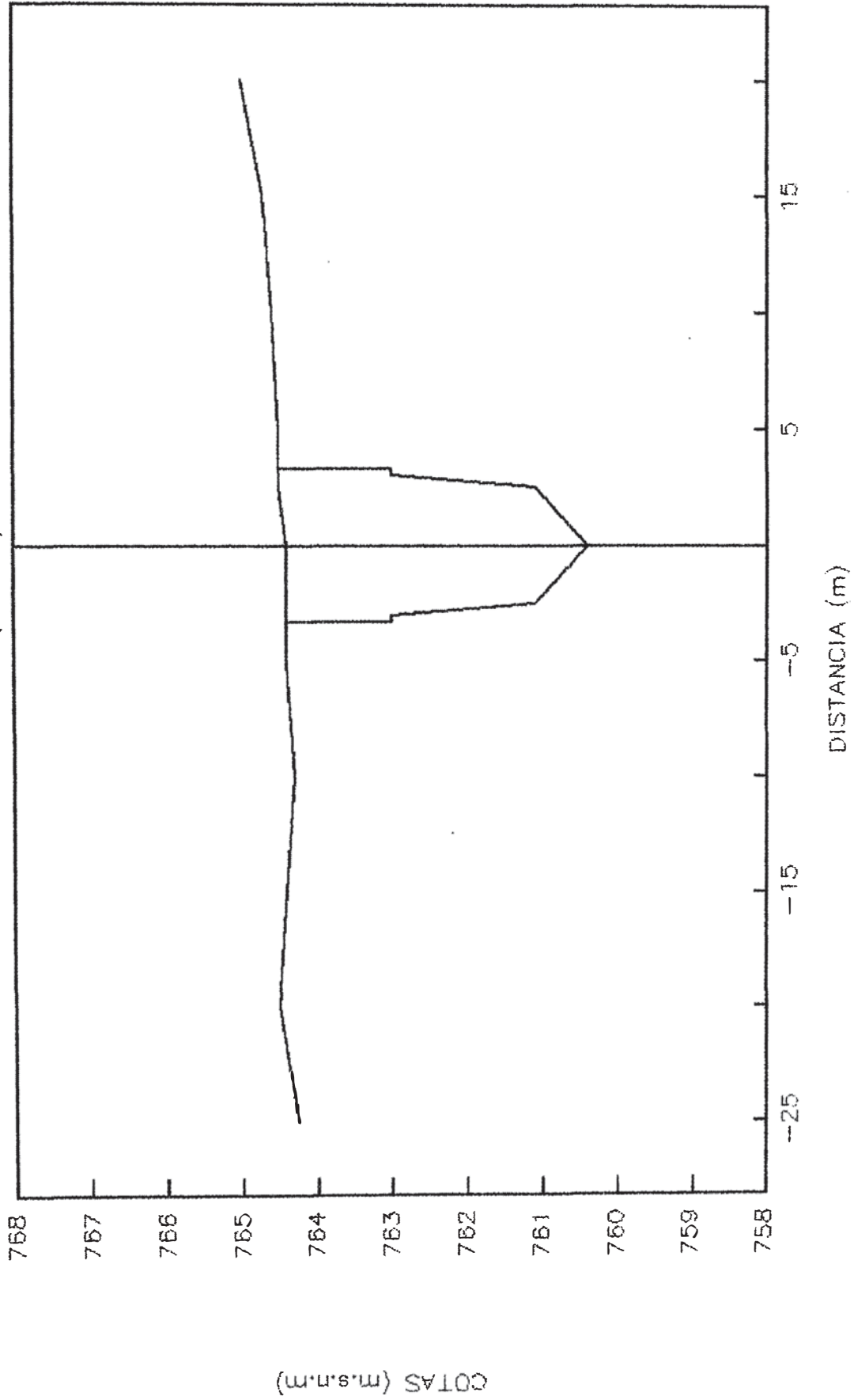
# CUENCA DE YANACOTO

SECCION 1 (0+014)



# CUENCA DE YANACOTO

SECCION 2 (0+034)

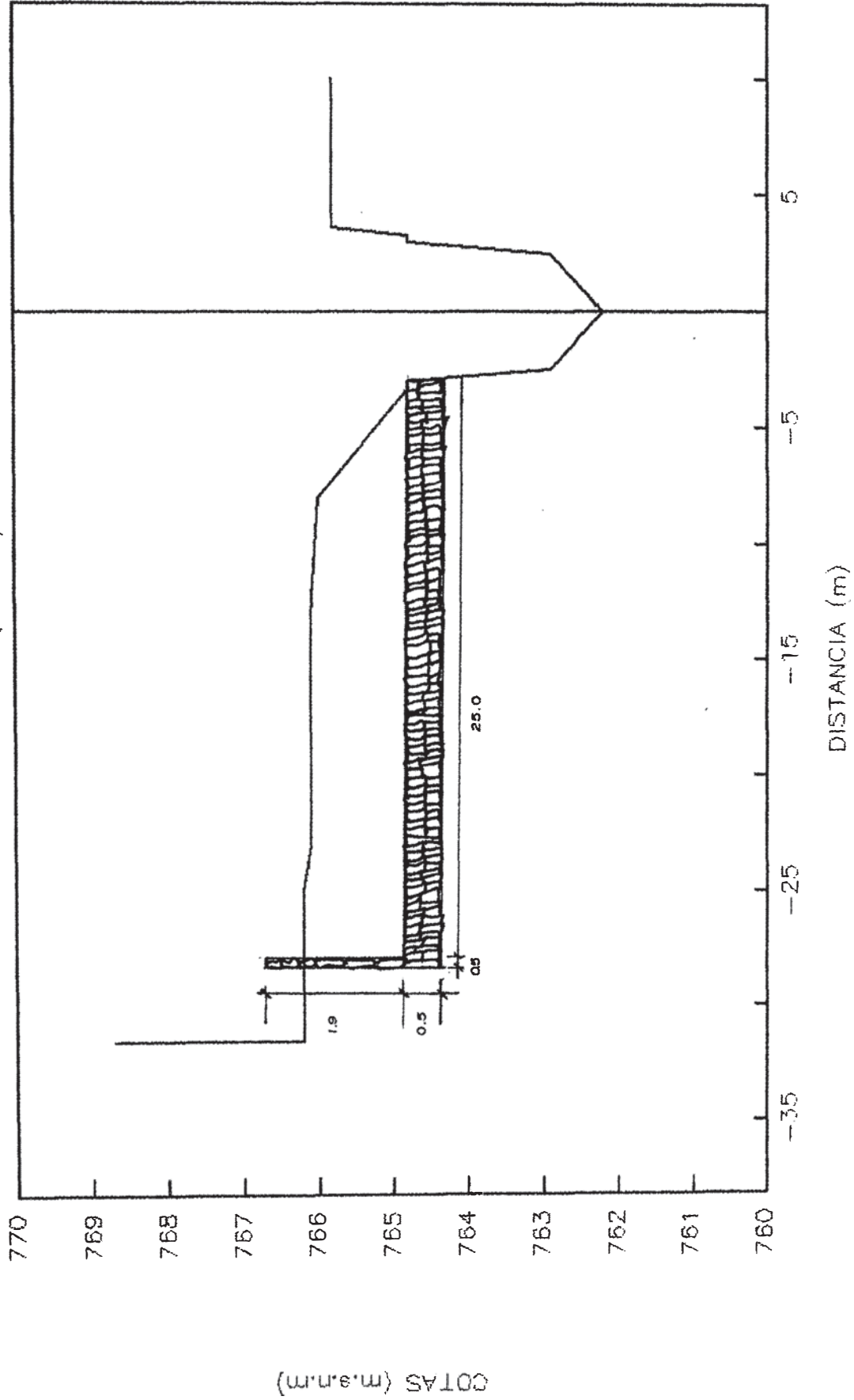


COTAS (m.s.n.m.)



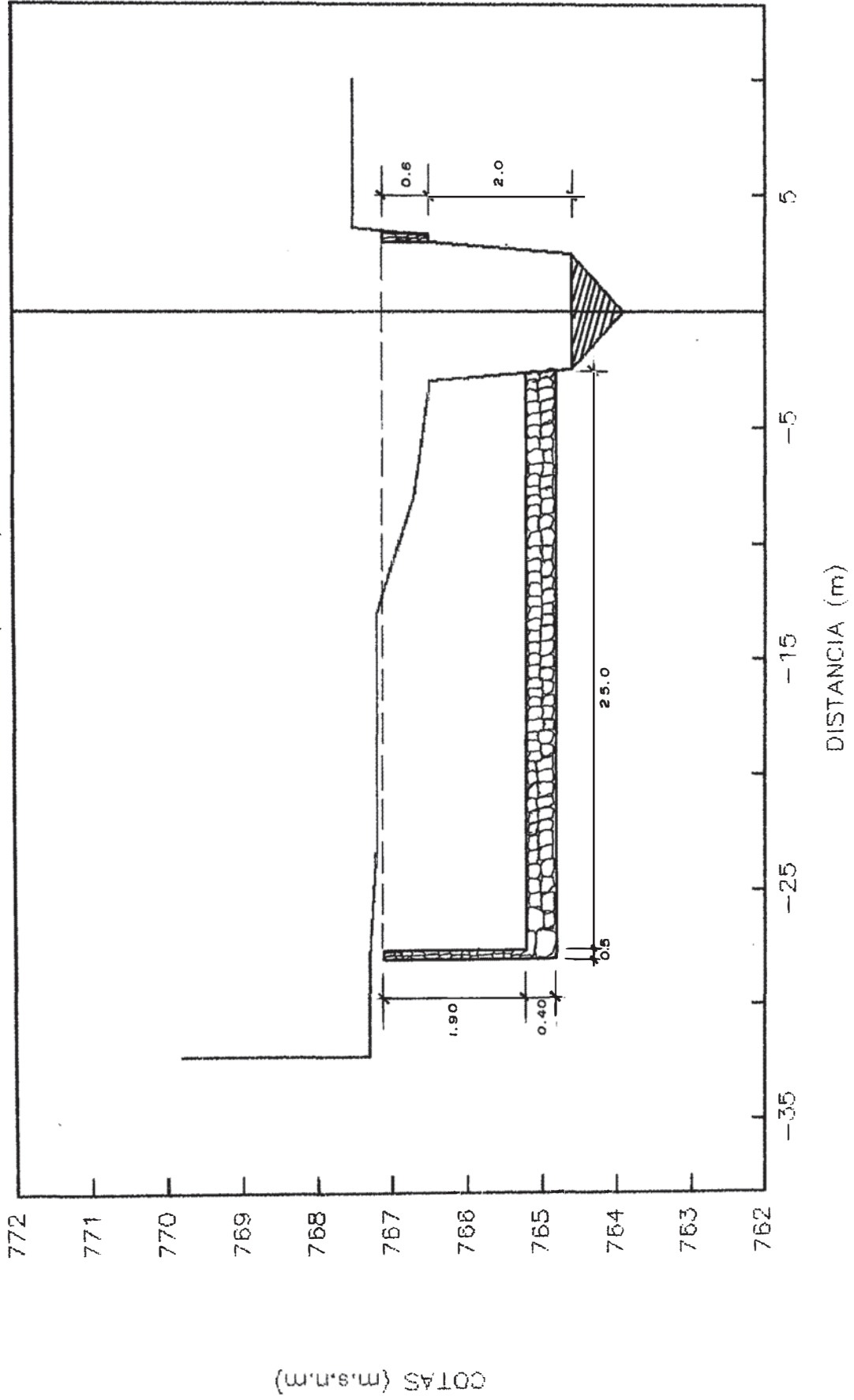
# CUENCA DE YANACOTO

SECCION 3 (0+054)



# CUENCA DE YANACOTO

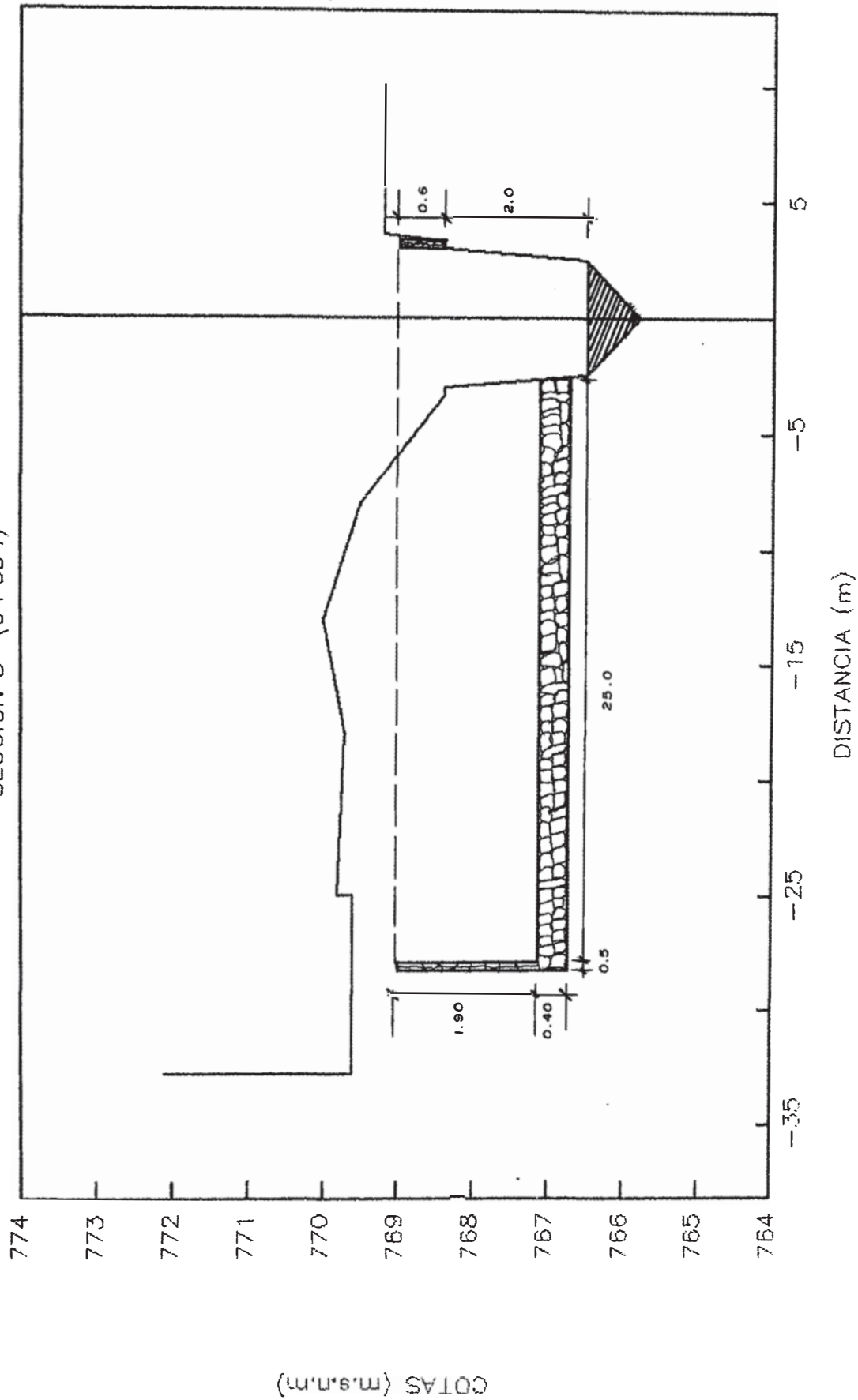
SECCION 4 (0+074)



COTAS (m.s.n.m.)

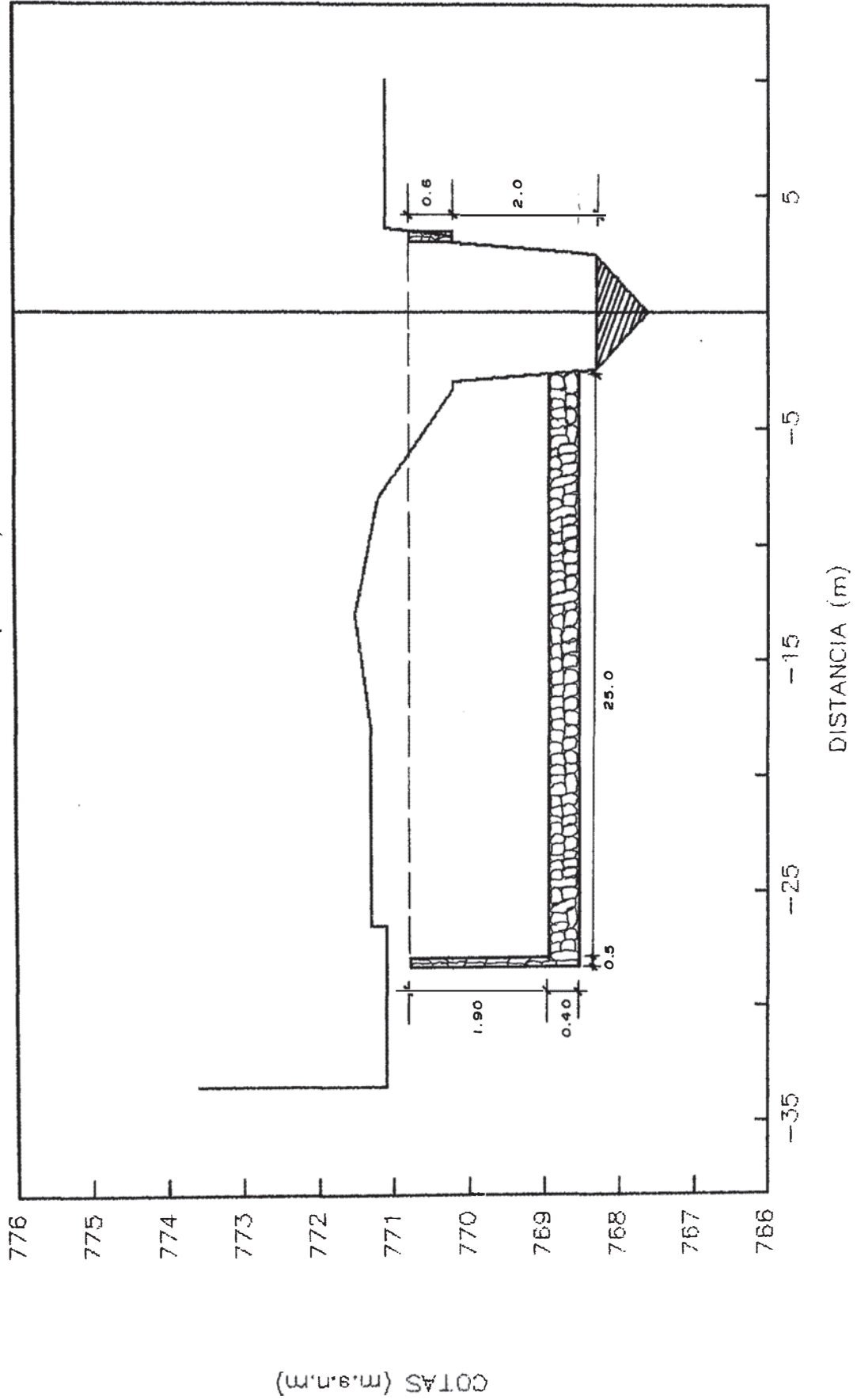
# CUENCA DE YANACOTO

SECCION 5 (D+094)



# CUENCA DE YANACOTO

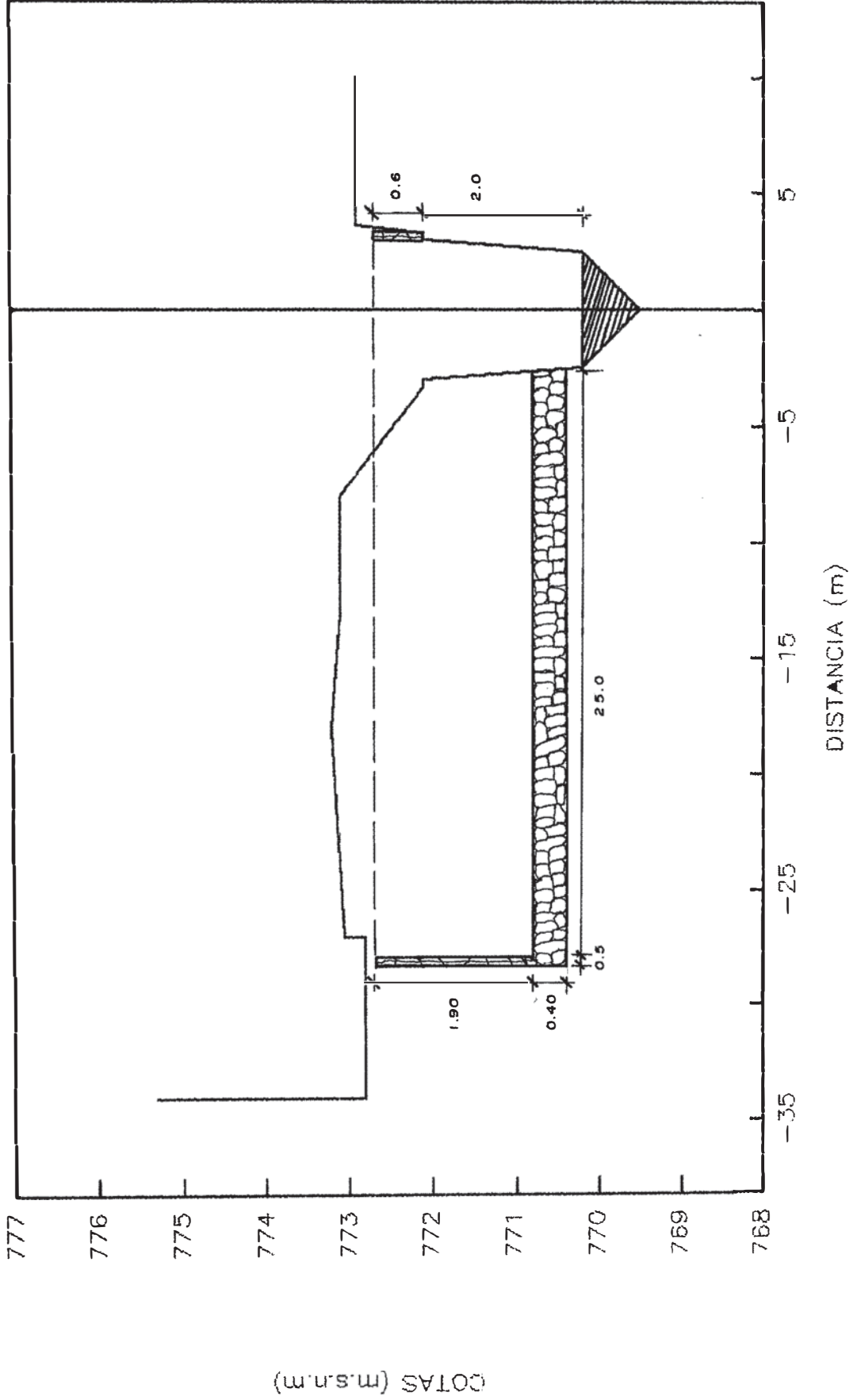
SECCION 6 (D+114)





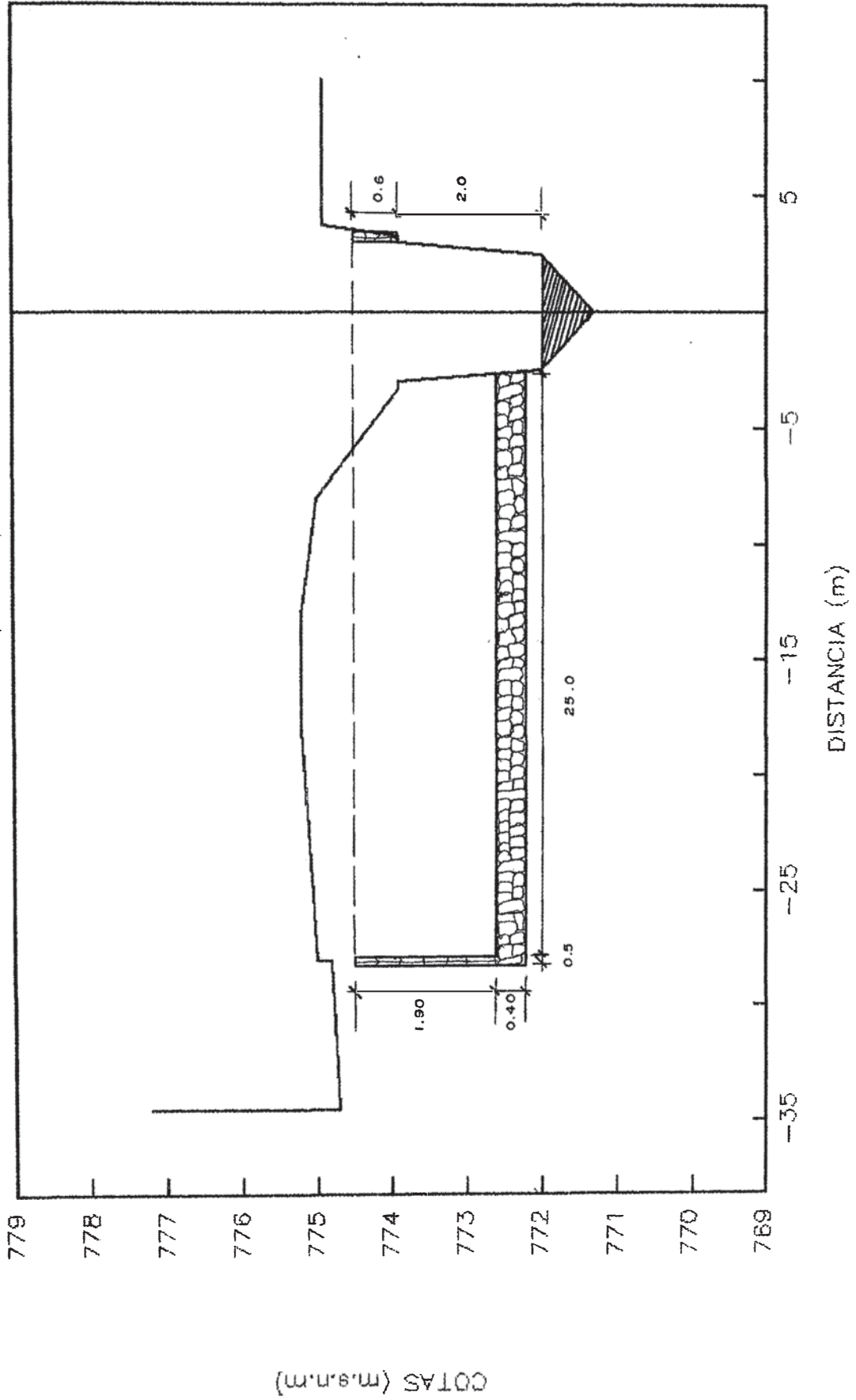
# CUENCA DE YANACOTO

SECCION 7 (D+134)



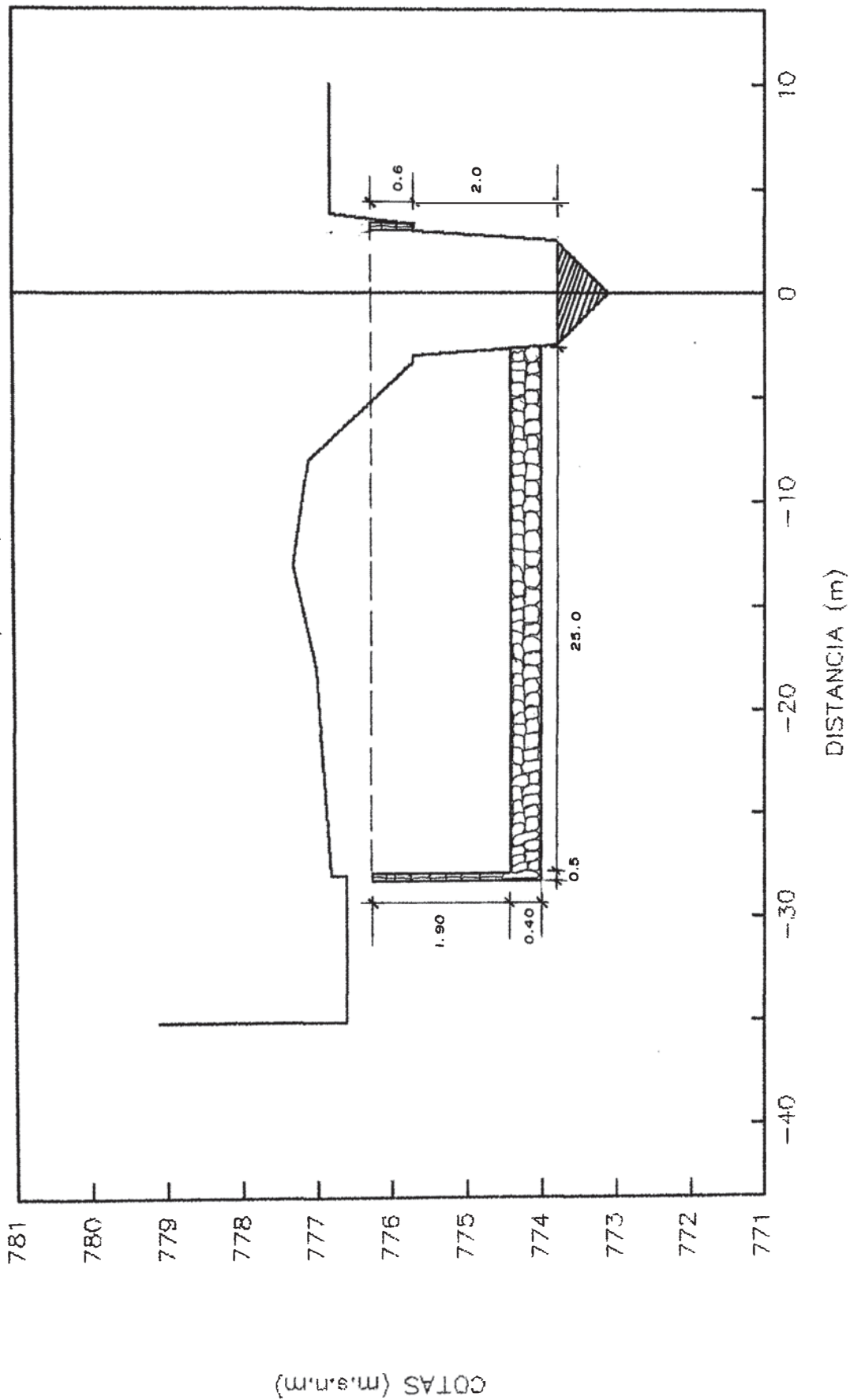
# CUENCA DE YANACOTO

SECCION B (0+154)



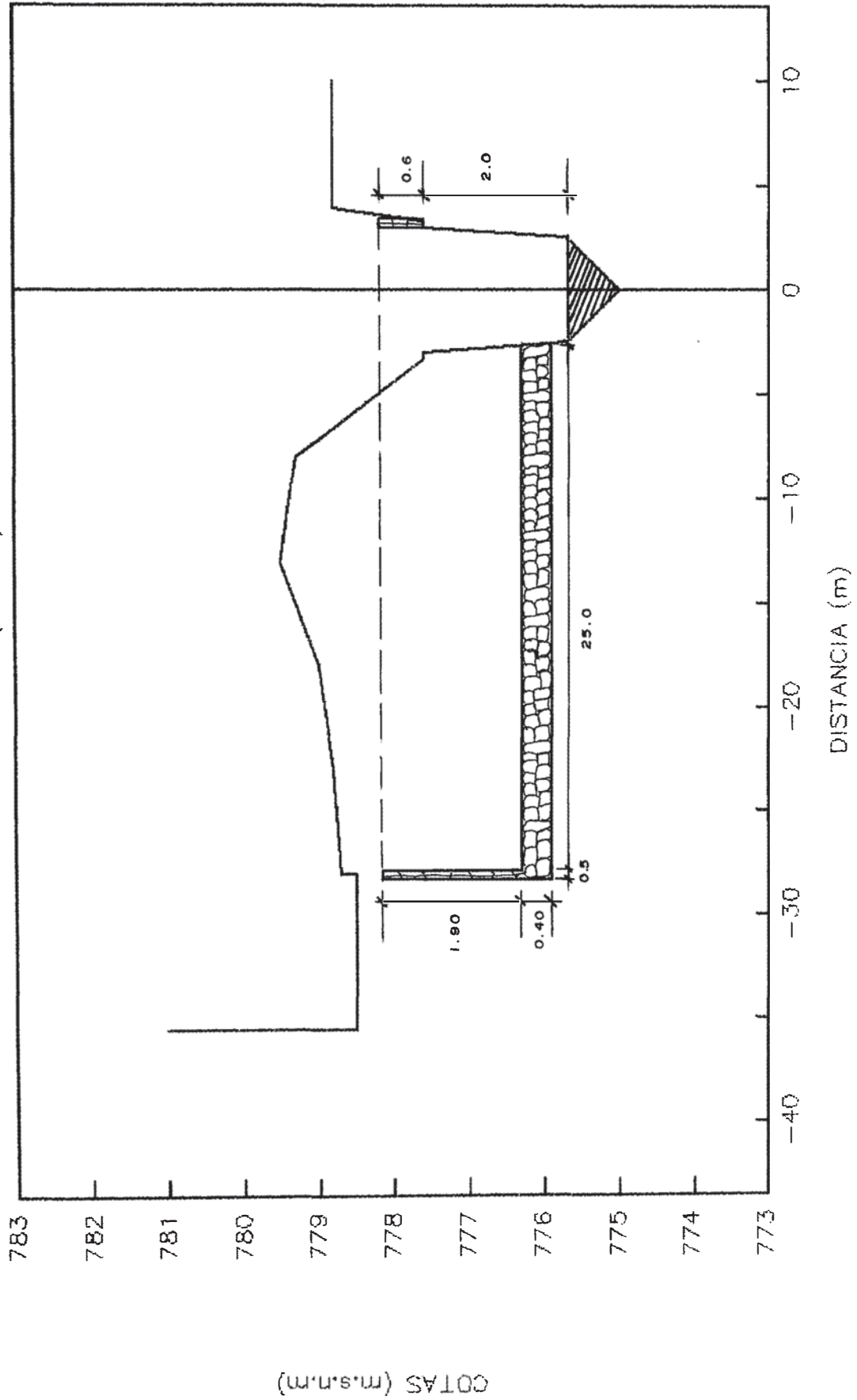
# CUENCA DE YANACOTO

SECCION 9 (D+174)



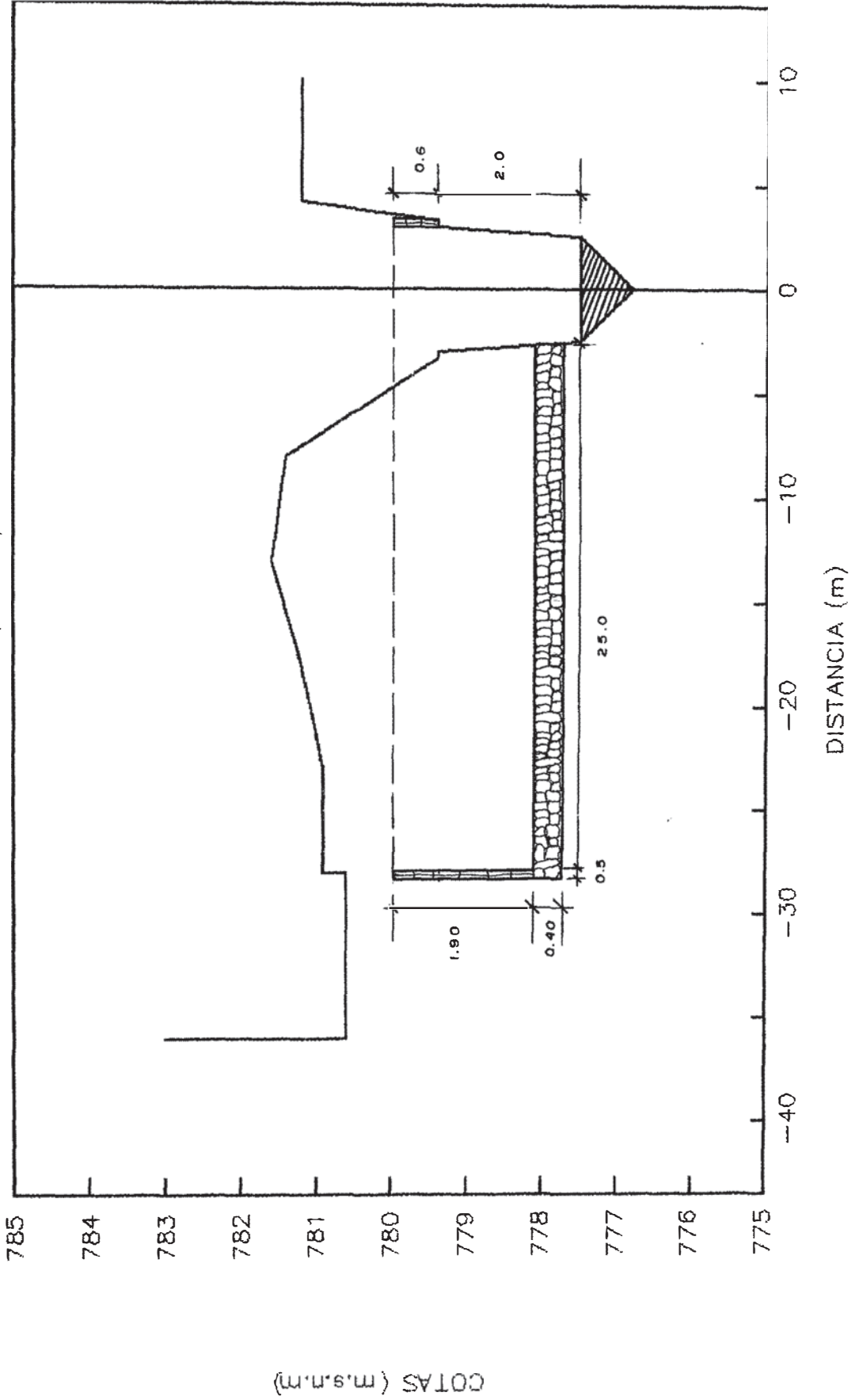
# CUENCA DE YANACOTO

SECCION 10 (D+194)



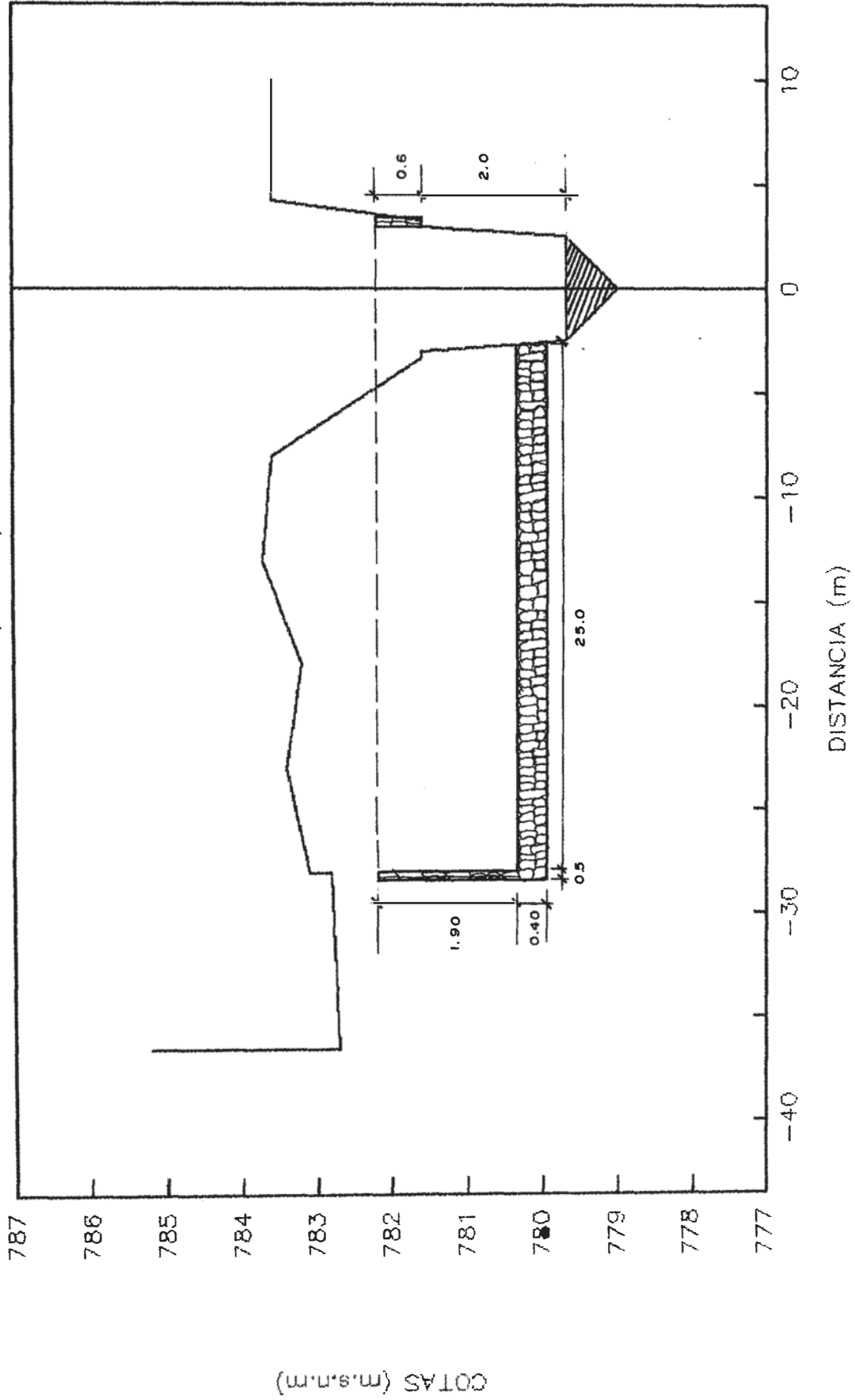
# CUENCA DE YANACOTO

SECCION 11 (D+214)



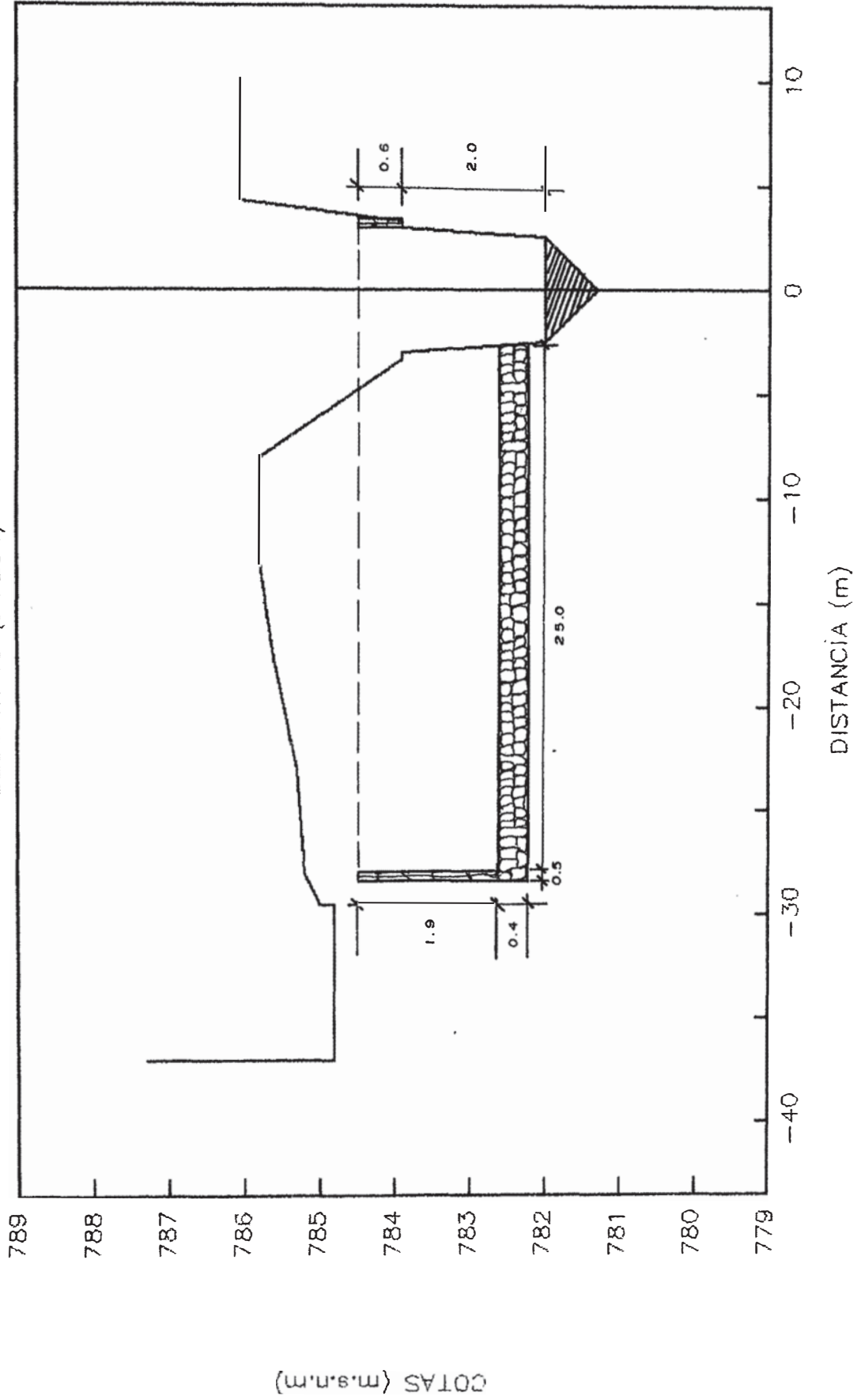
# CUENCA DE YANACOTO

SECCION 12 (D+234)



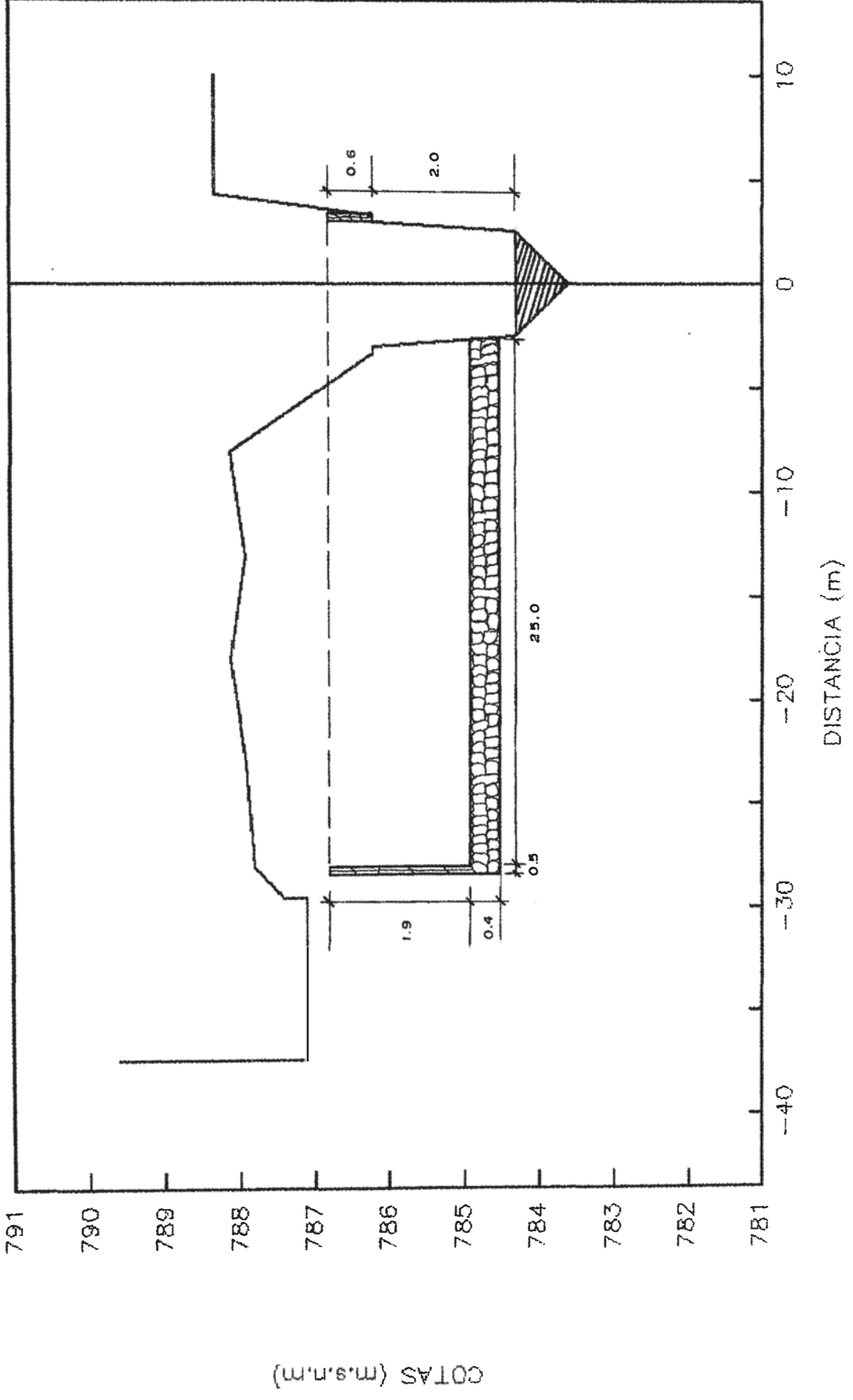
# CUENCA DE YANACOTO

SECCION 13 (D+254)



# CUENCA DE YANACOTO

SECCION 14 (D+274)

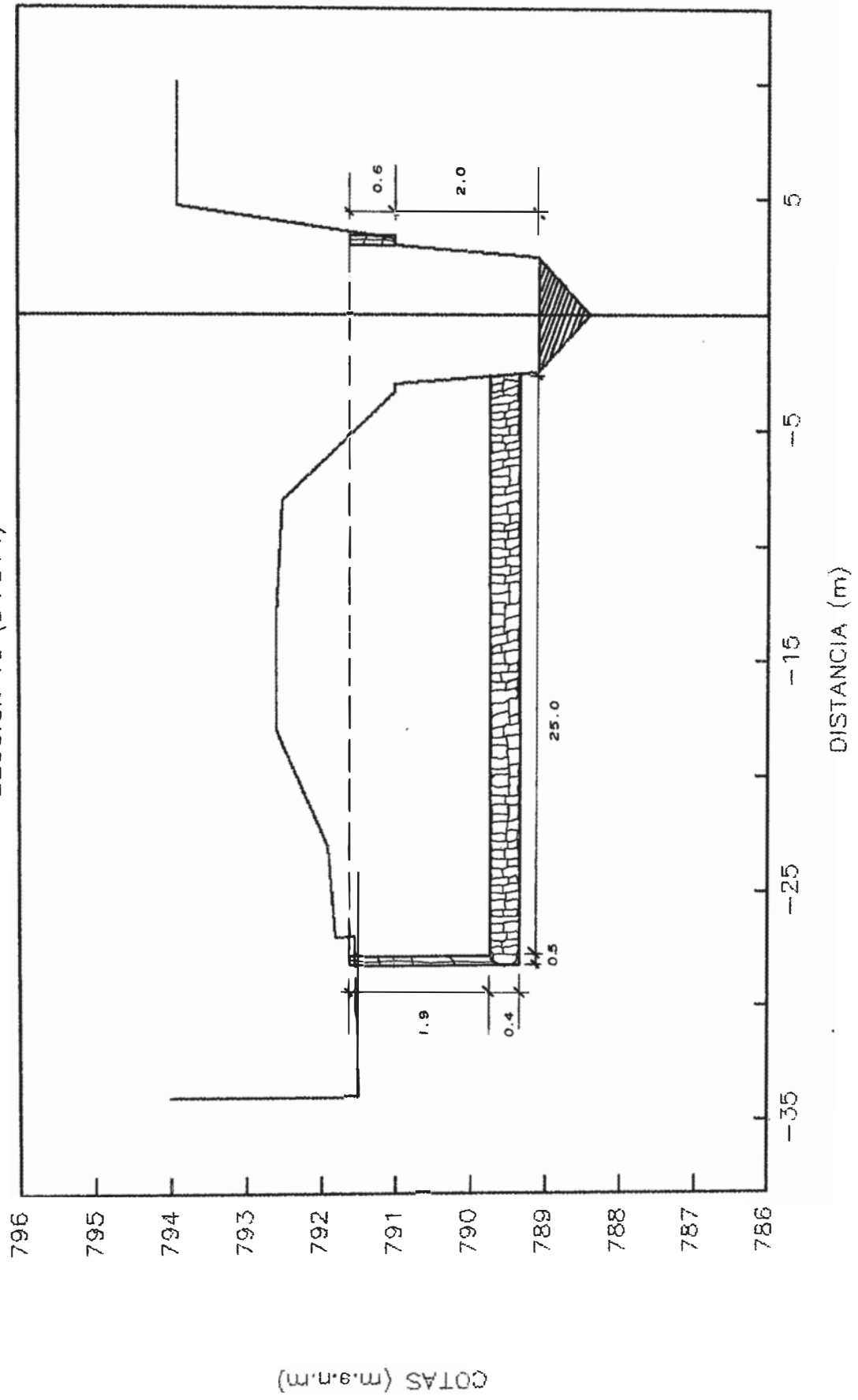






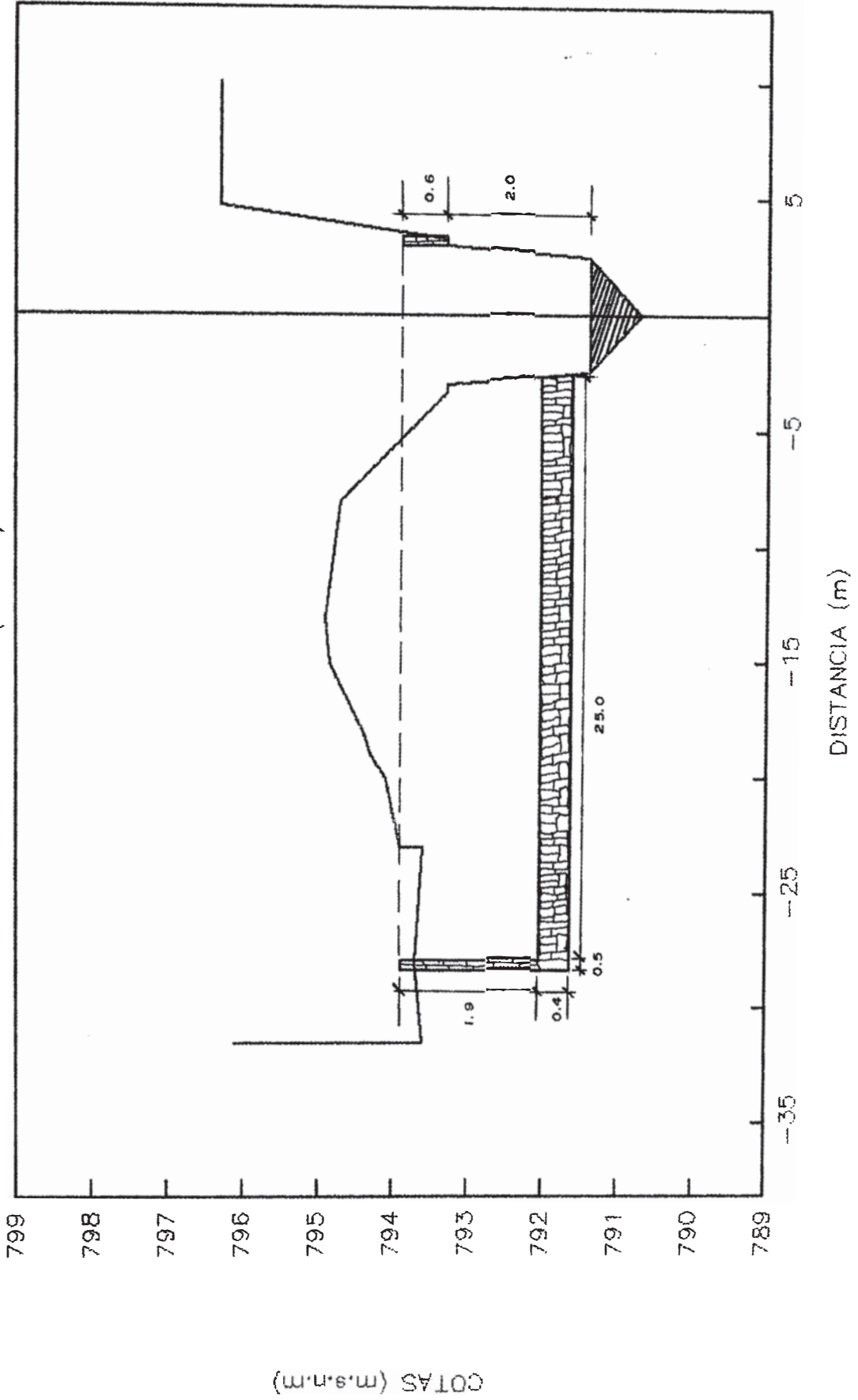
# CUENCA DE YANACOTO

SECCION 16 (0+314)



# CUENCA DE YANACOTO

SECCION 17 (D+334)

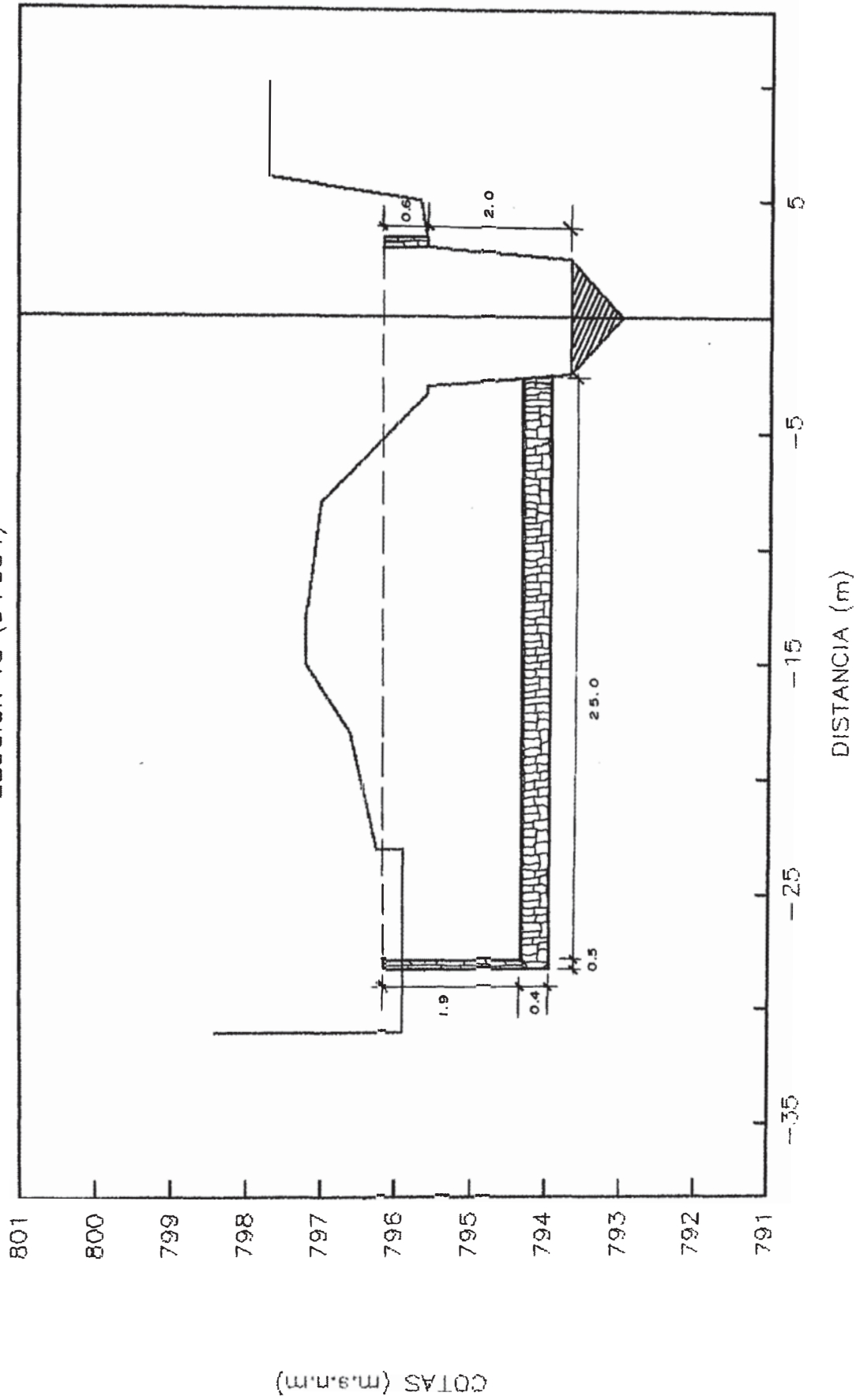


COTAS (m.s.n.m.)

DISTANCIA (m)

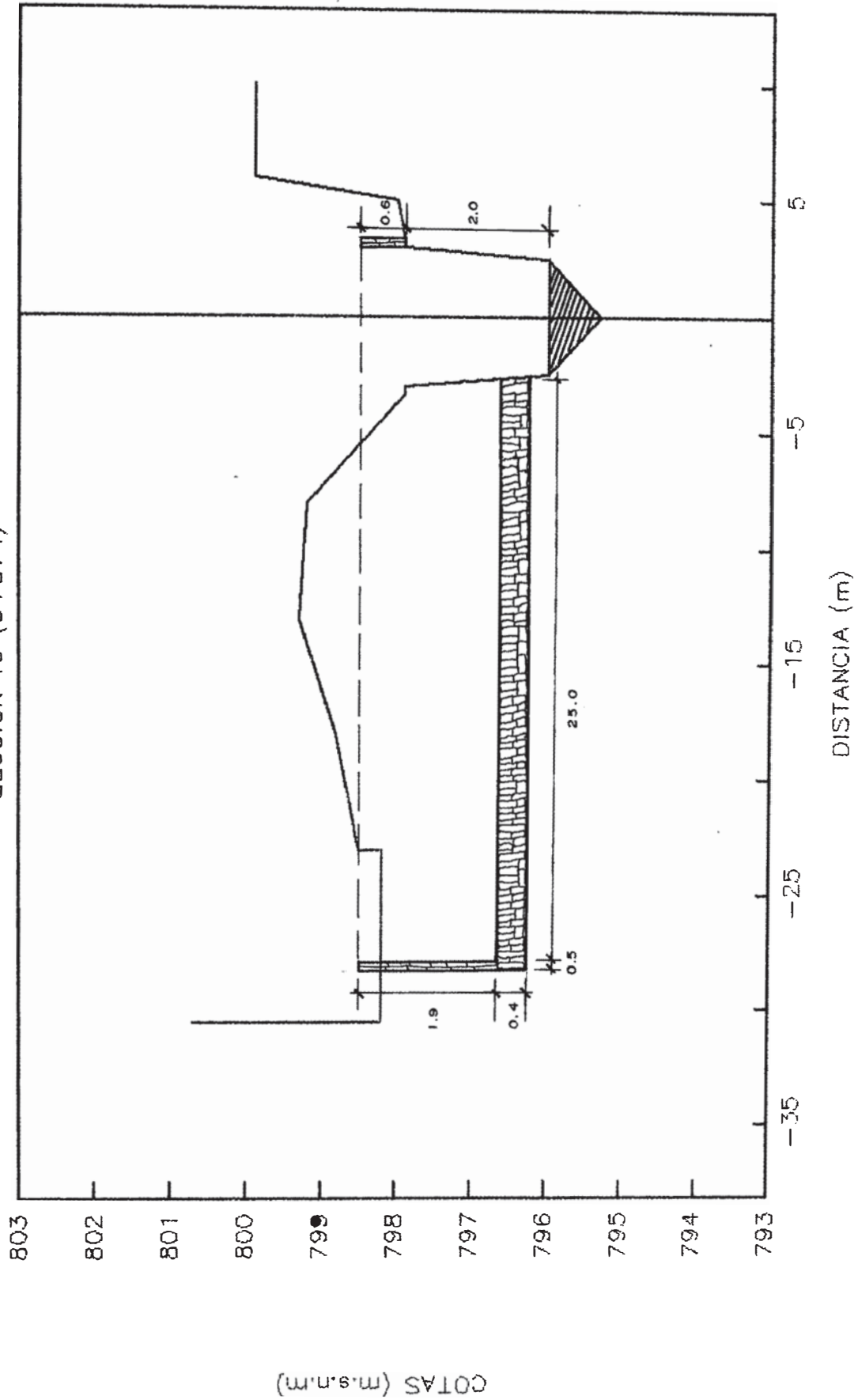
# CUENCA DE YANACOTO

SECCION 18 (D+354)



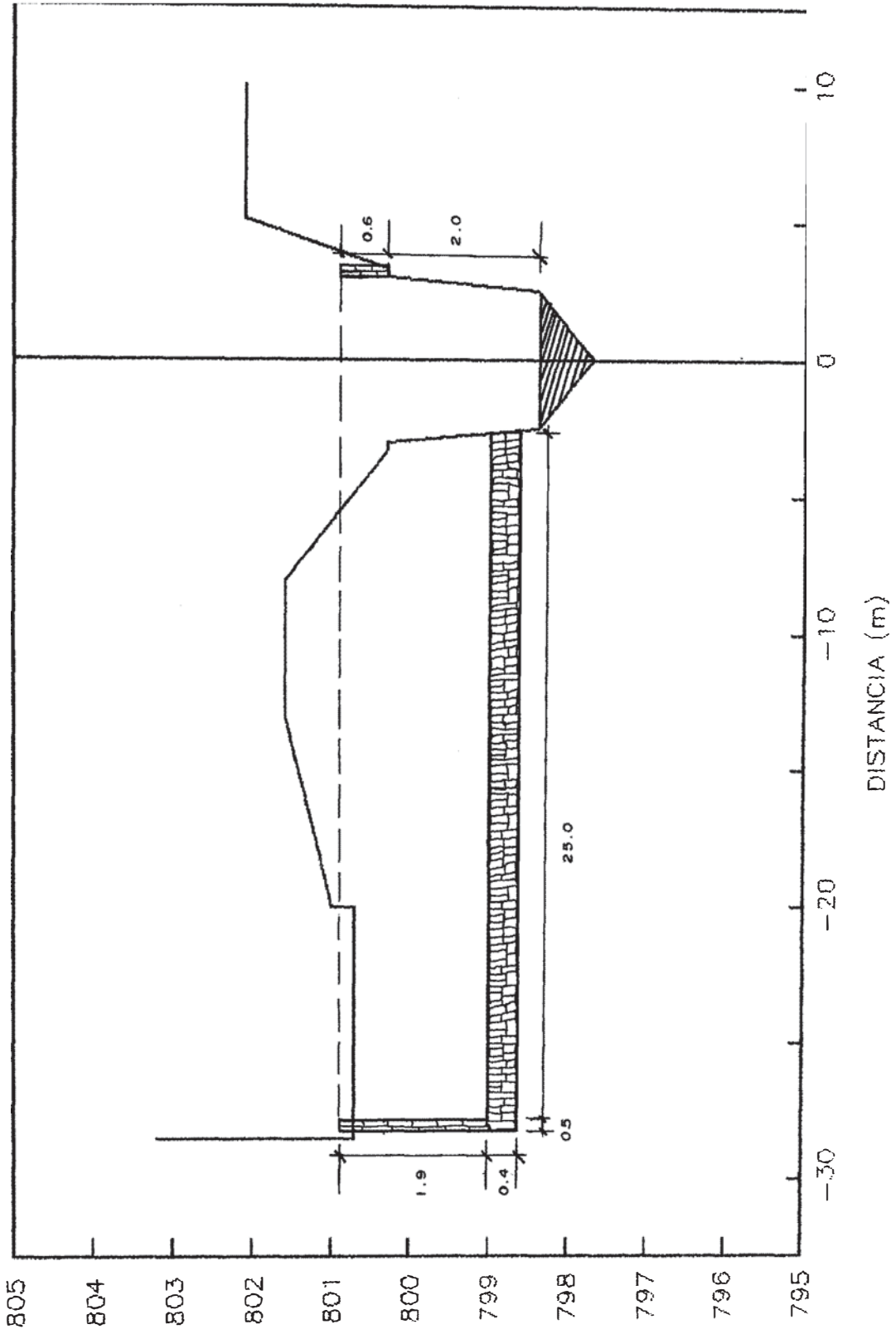
# CUENCA DE YANACOTO

SECCION 19 (D+374)



# CUENCA DE YANACOTO

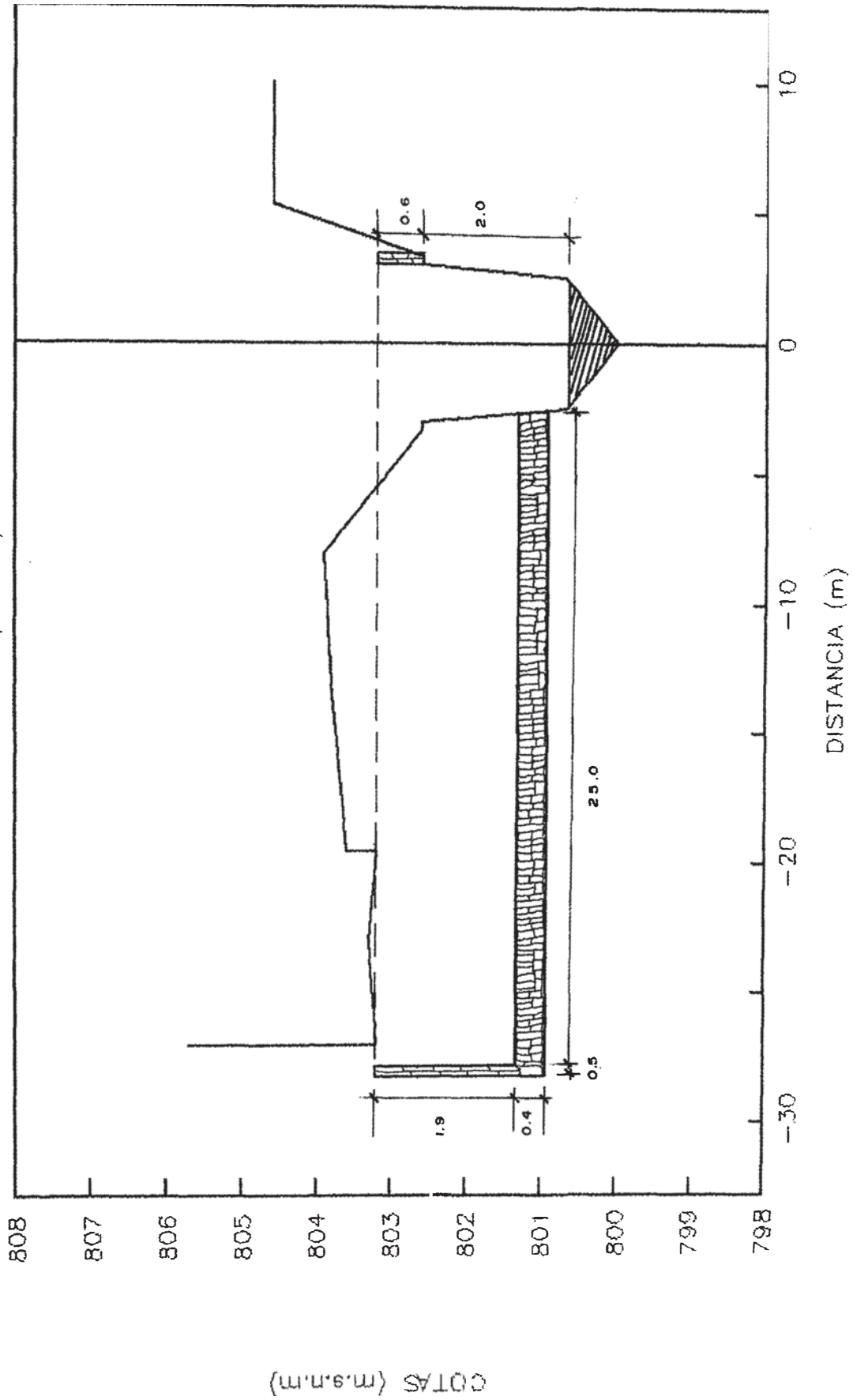
SECCION 20 (D+394)





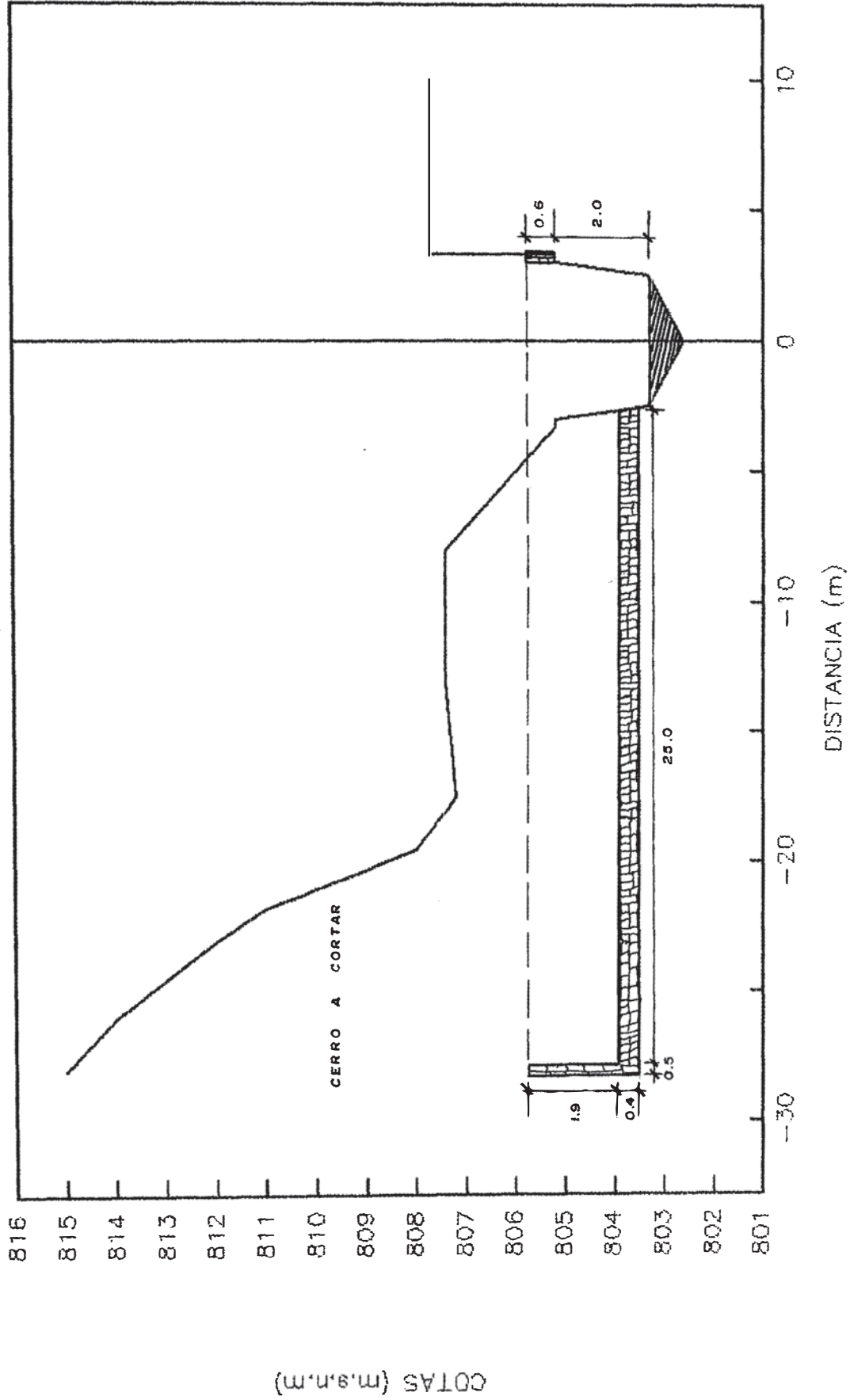
# CUENCA DE YANACOTO

SECCION 21 (D+414)



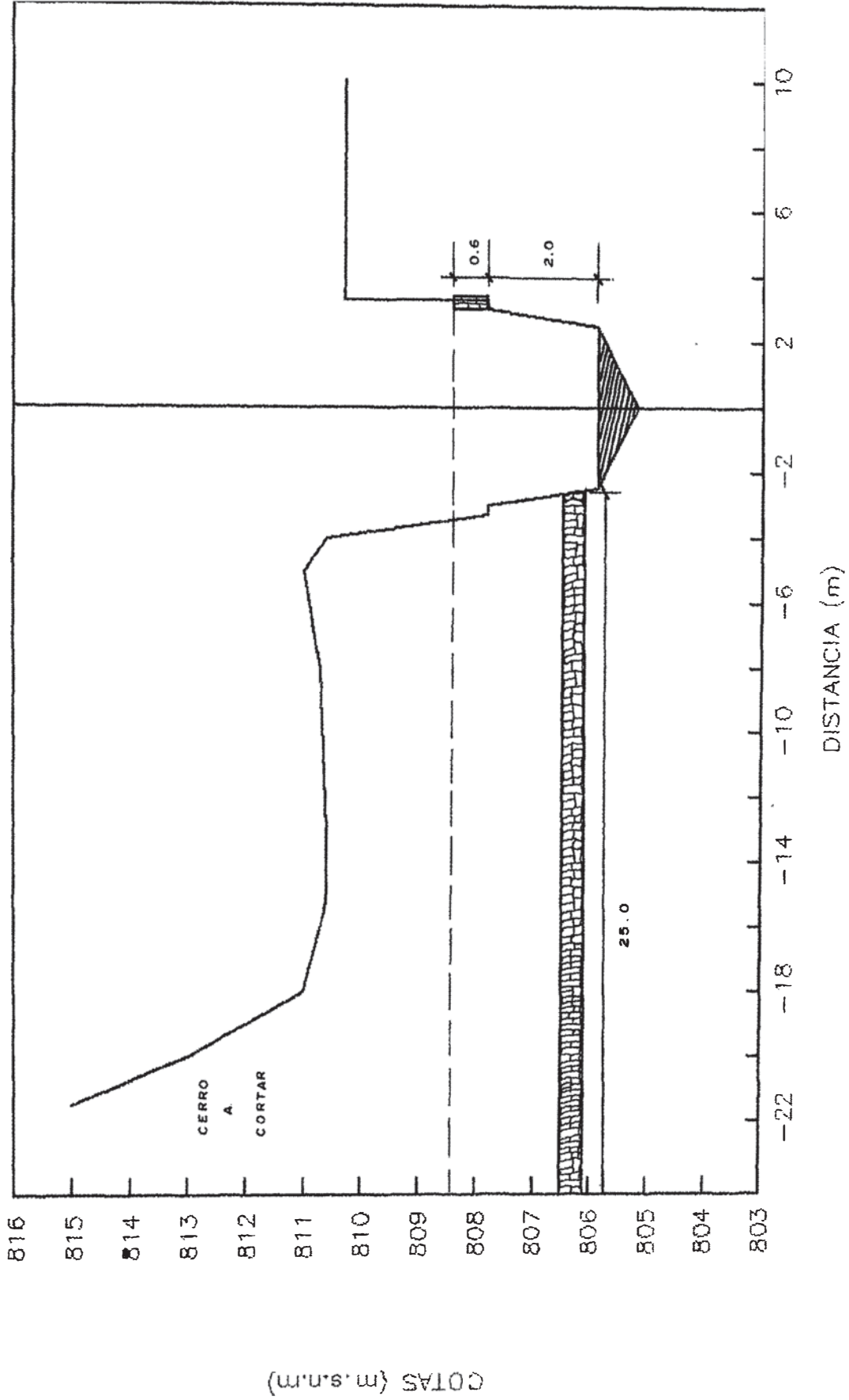
# CUENCA DE YANACOTO

SECCION 22 (0+434)



# CUENCA DE YANACOTO

SECCION 23 (0+454)

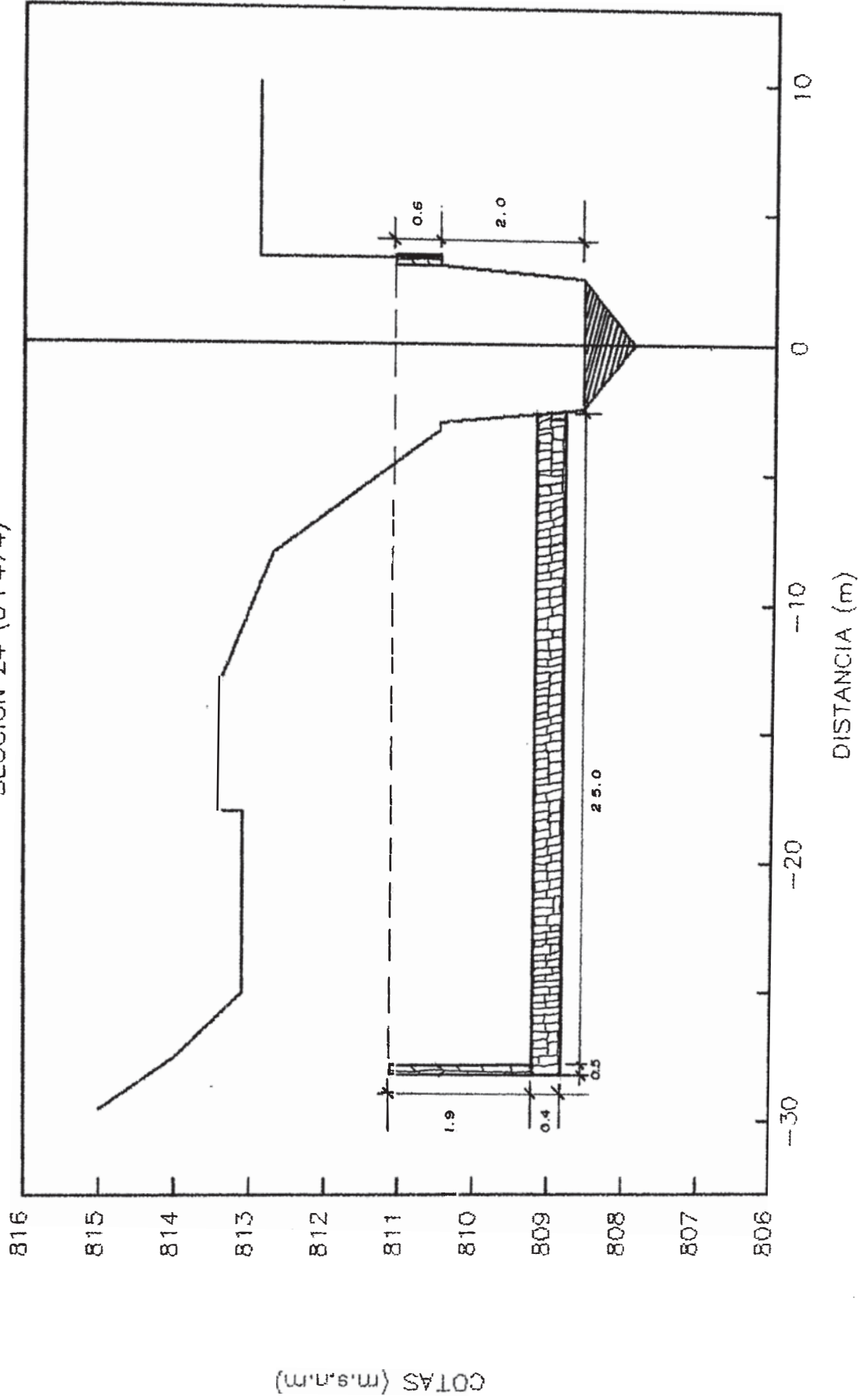


COTAS (m.s.n.m.)

DISTANCIA (m)

# CUENCA DE YANACOTO

SECCION 24 (D+474)

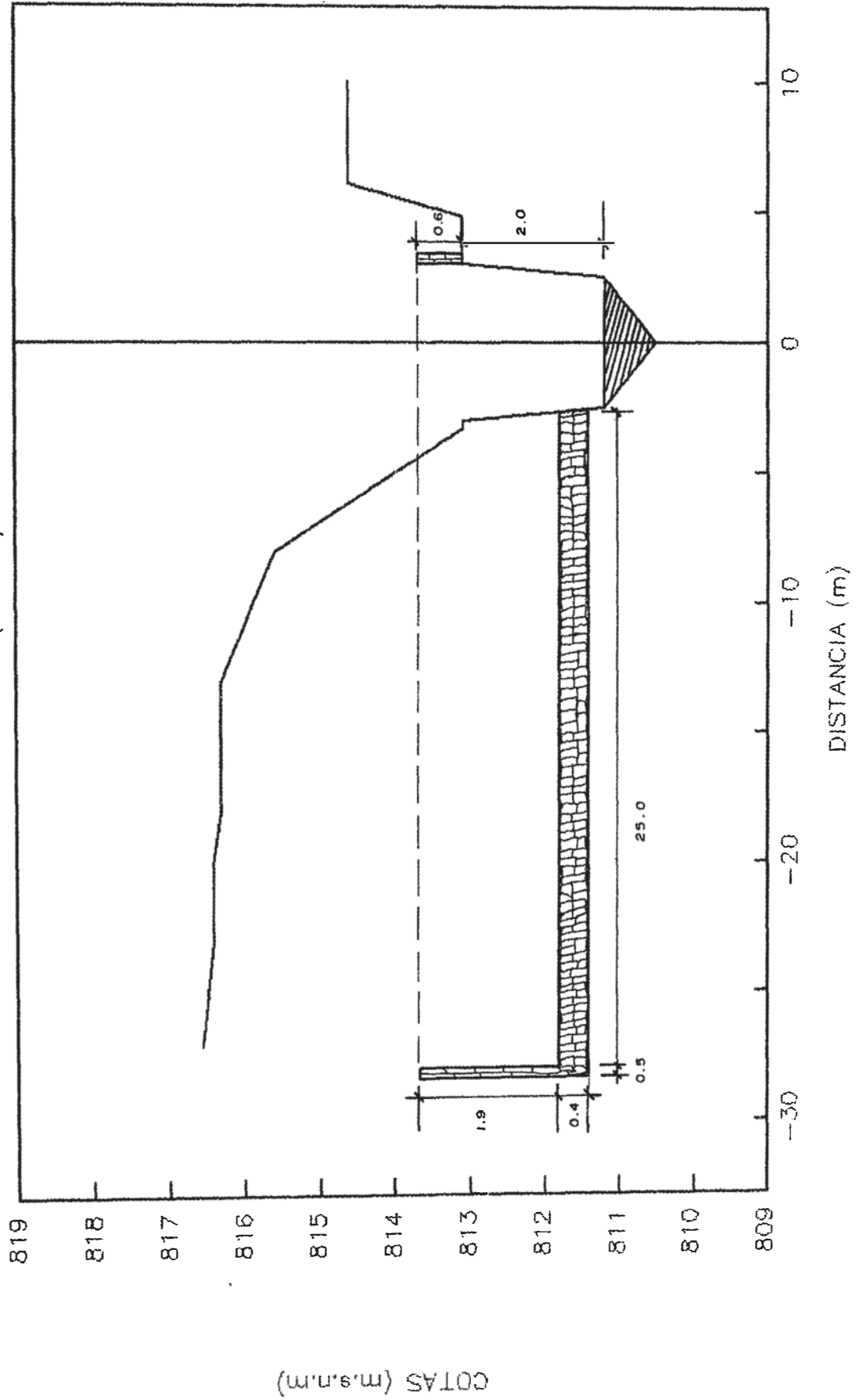


COTAS (m.s.n.m.)

DISTANCIA (m)

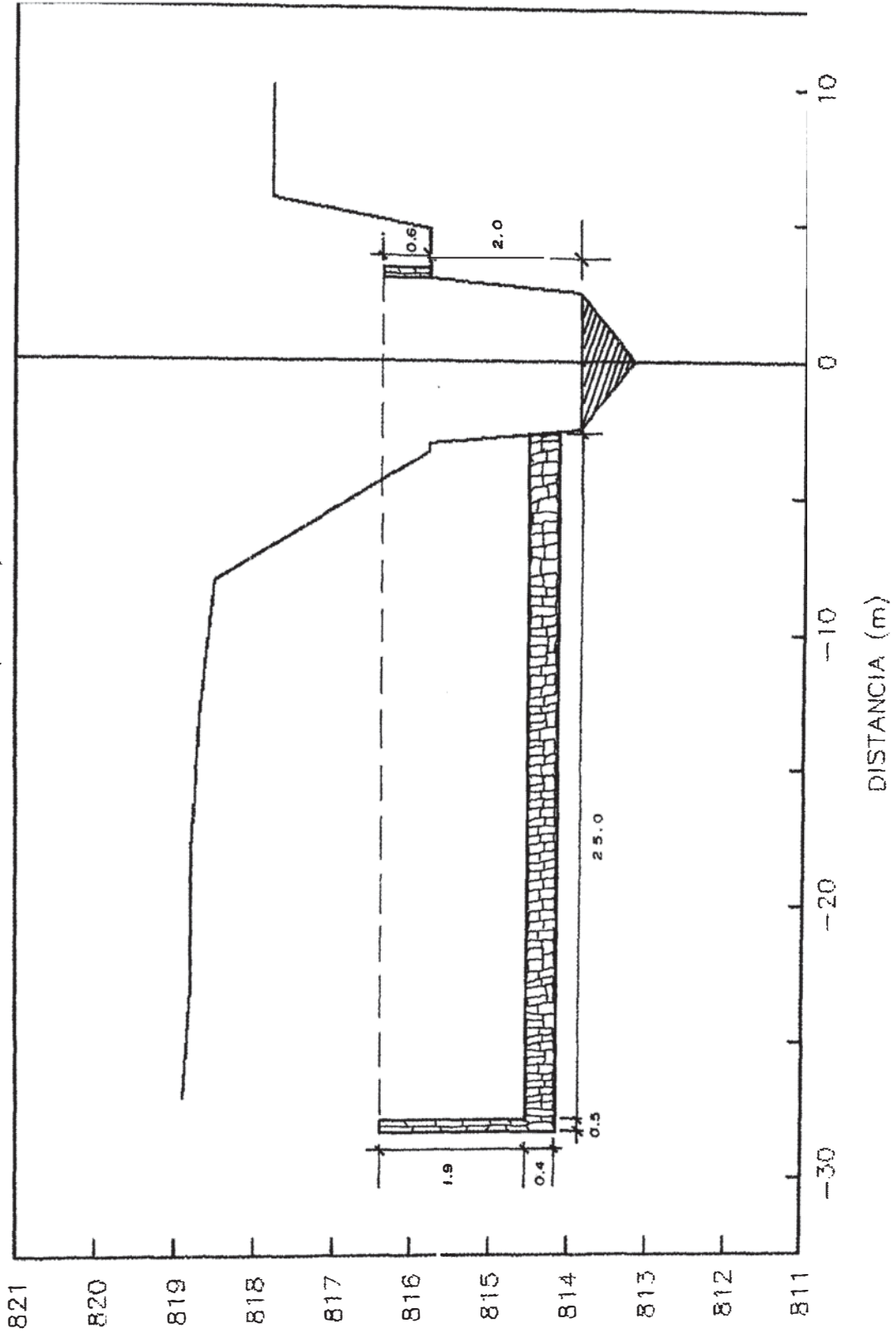
# CUENCA DE YANACOTO

SECCION 25 (D+494)



# CUENCA DE YANACOTO

SECCION 26 (D+514)



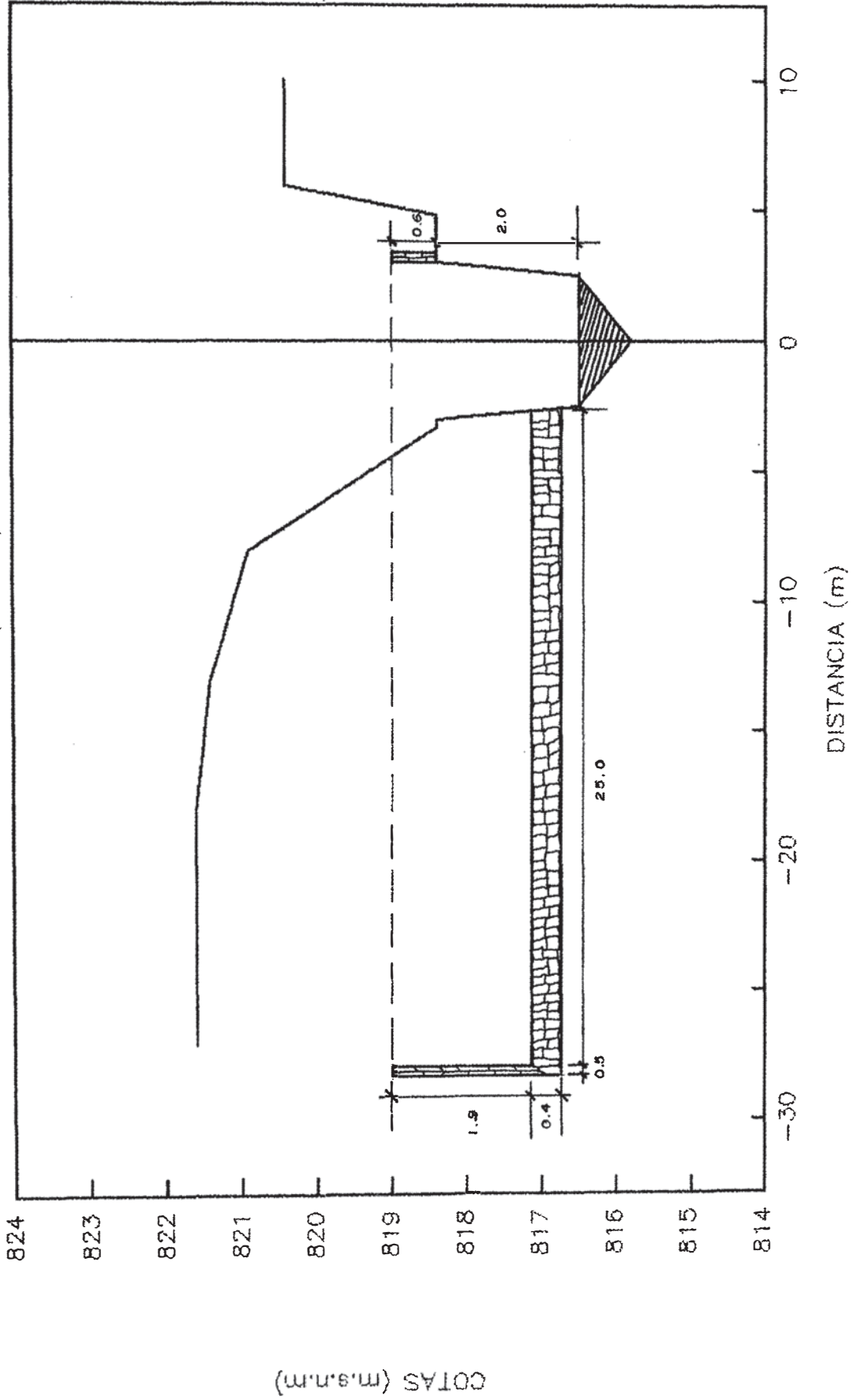
COTAS (m.s.n.m.)

DISTANCIA (m)



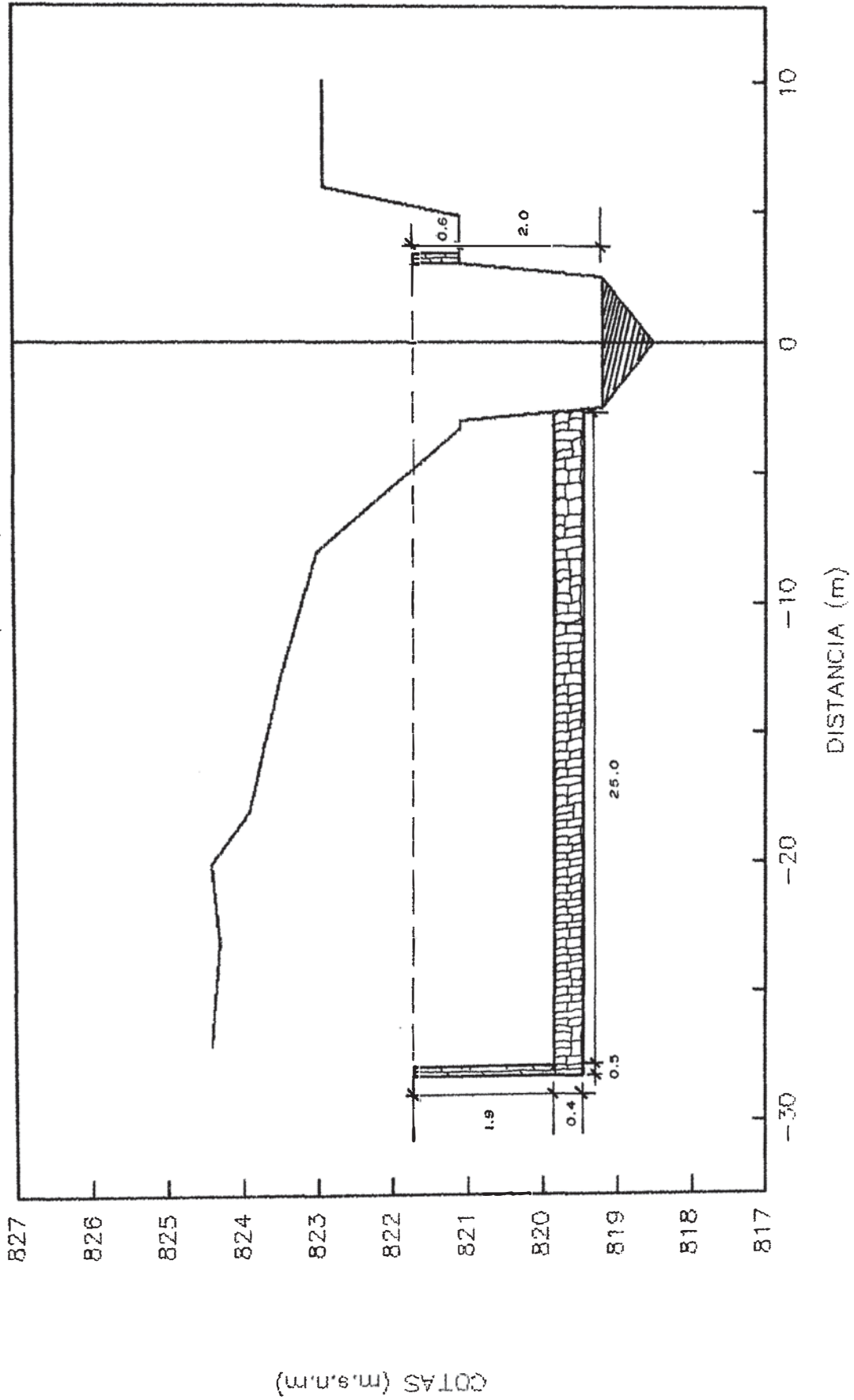
# CUENCA DE YANACOTO

SECCION 27 (0+534)



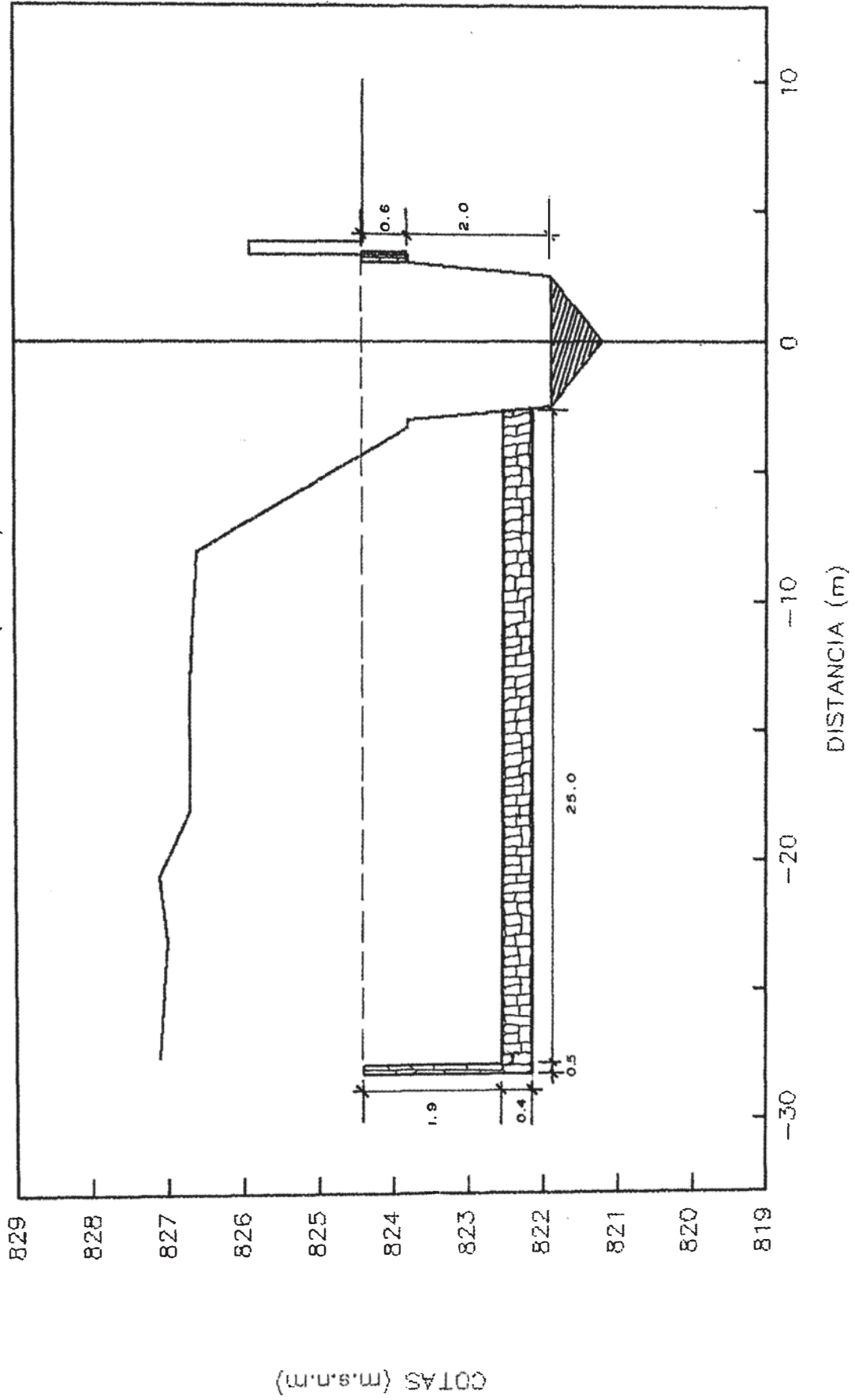
# CUENCA DE YANACOTO

SECCION 28 (D+554)



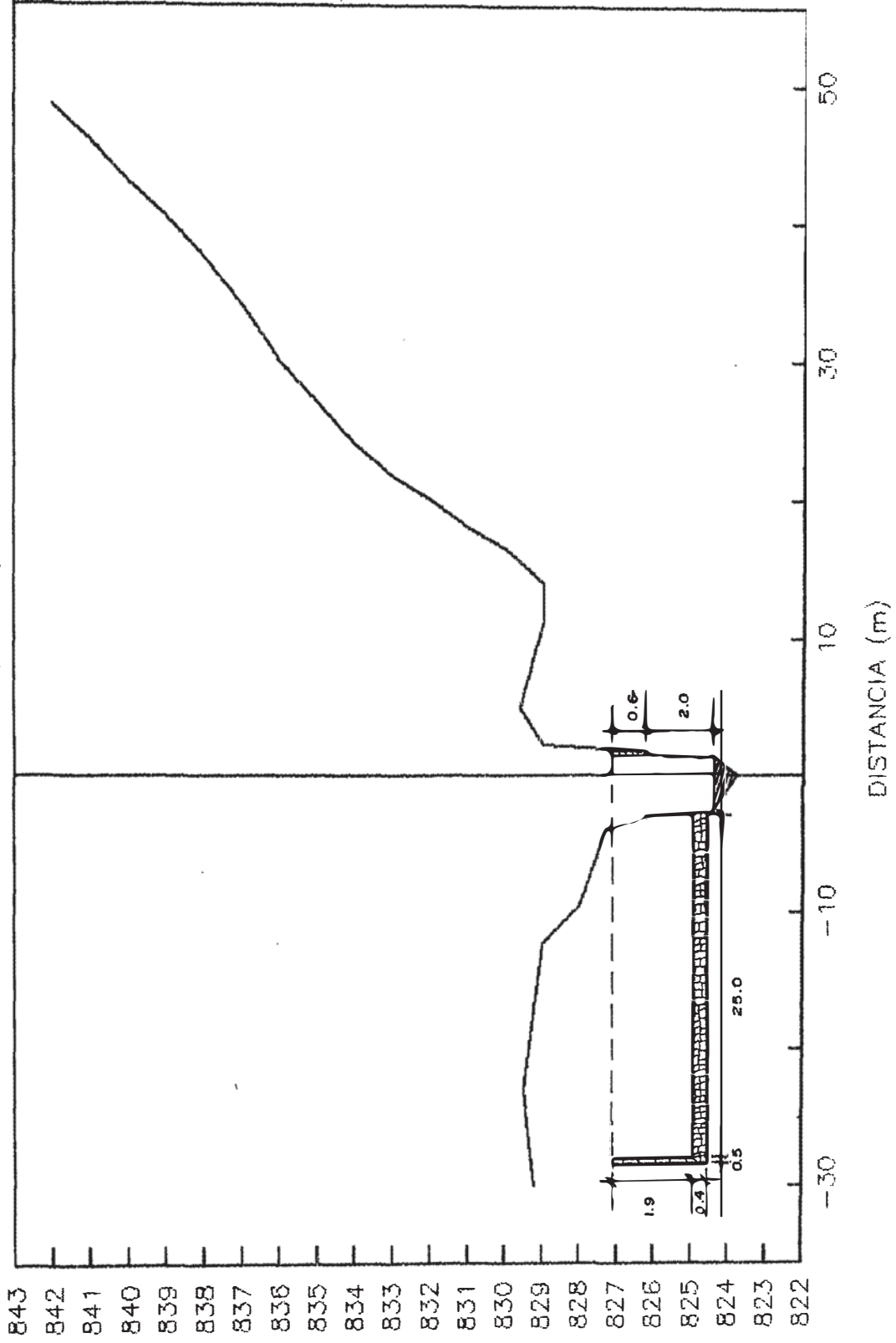
# CUENCA DE YANACOTO

SECCION 29 (D+574)



# CUENCA DE YANACOTO

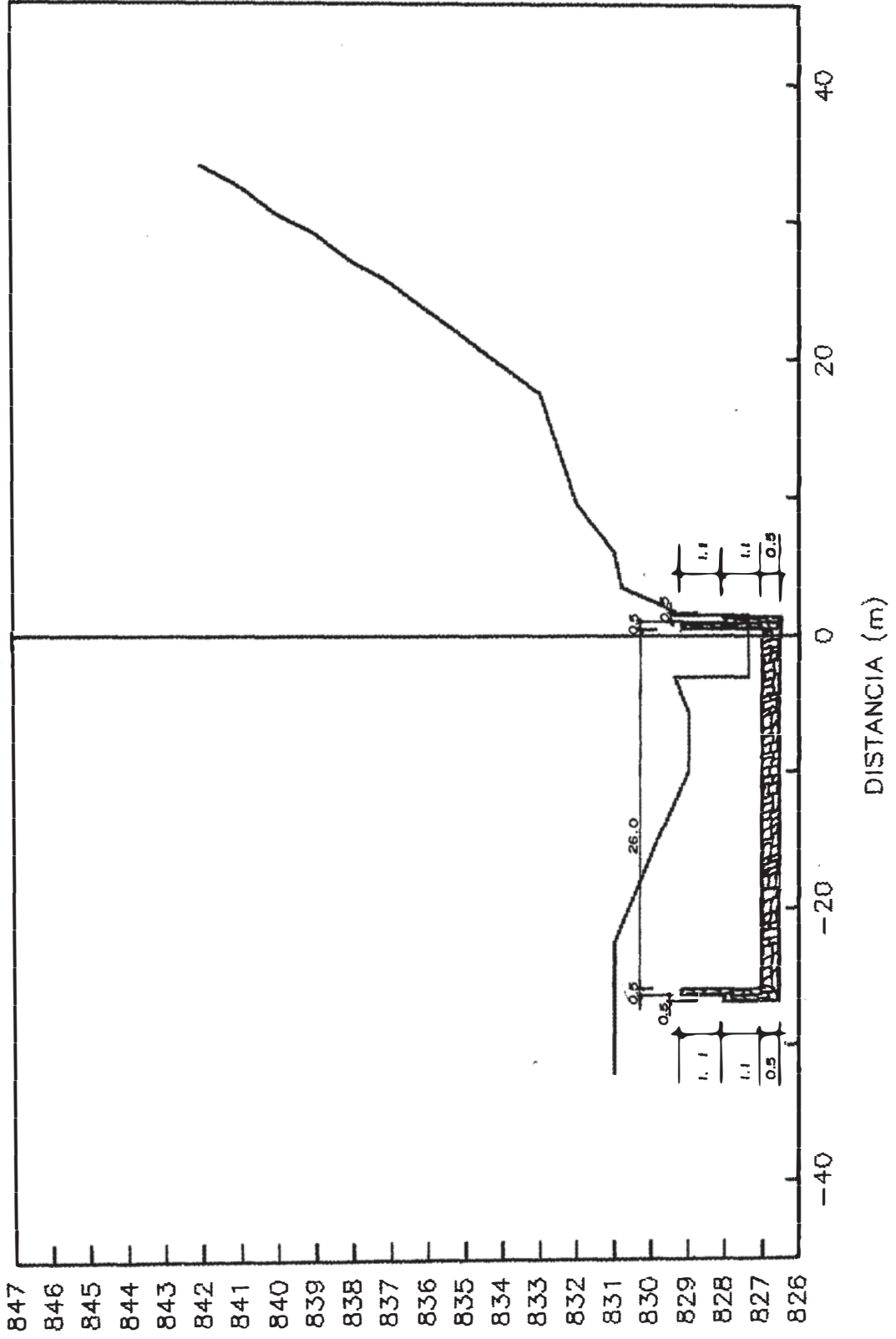
SECCION 30 (0+594)



COTAS ( m.a.n.m.)

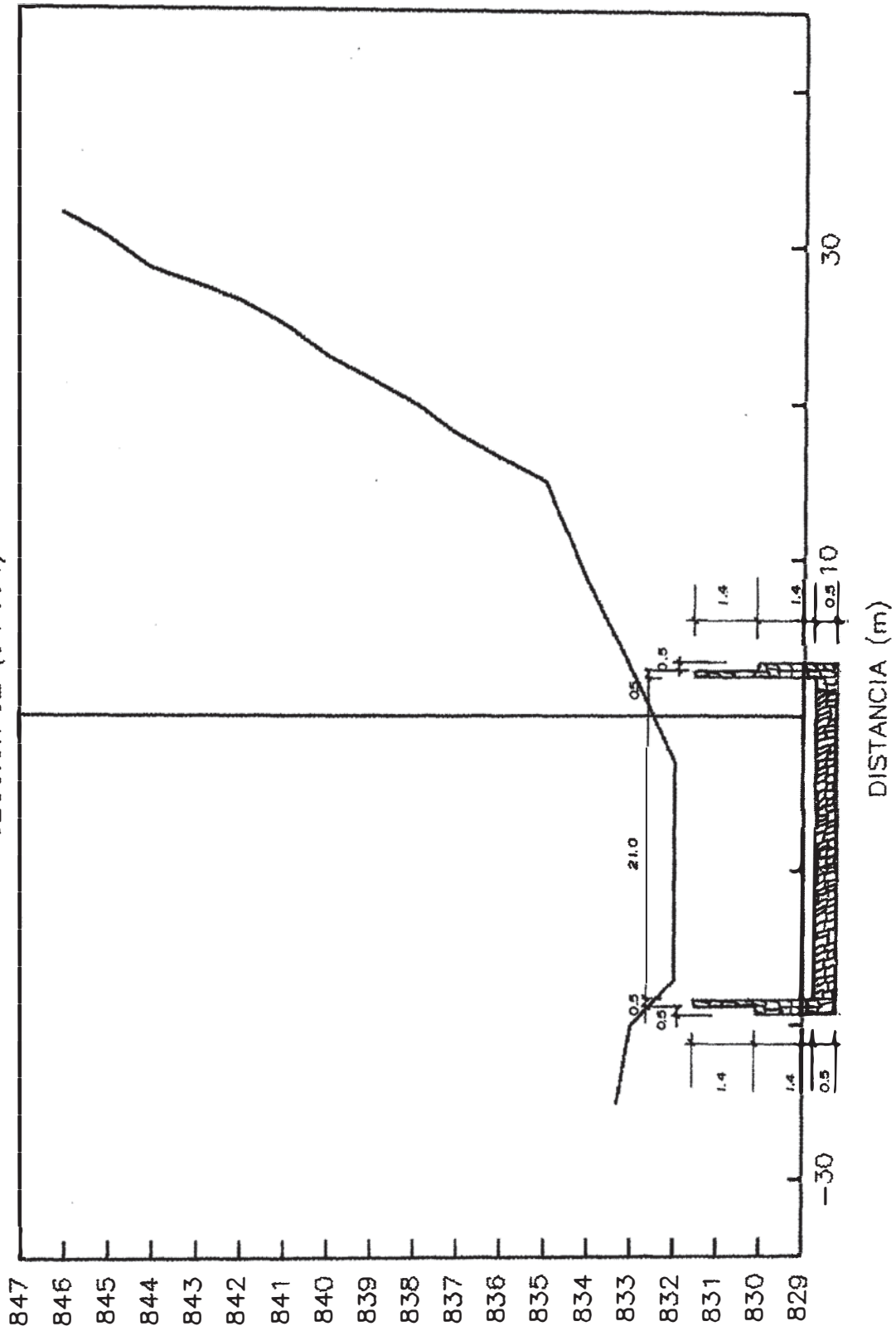
# CUENCA DE YANACOTO

SECCION 31 (D+614)



# CUENCA DE YANACOTO

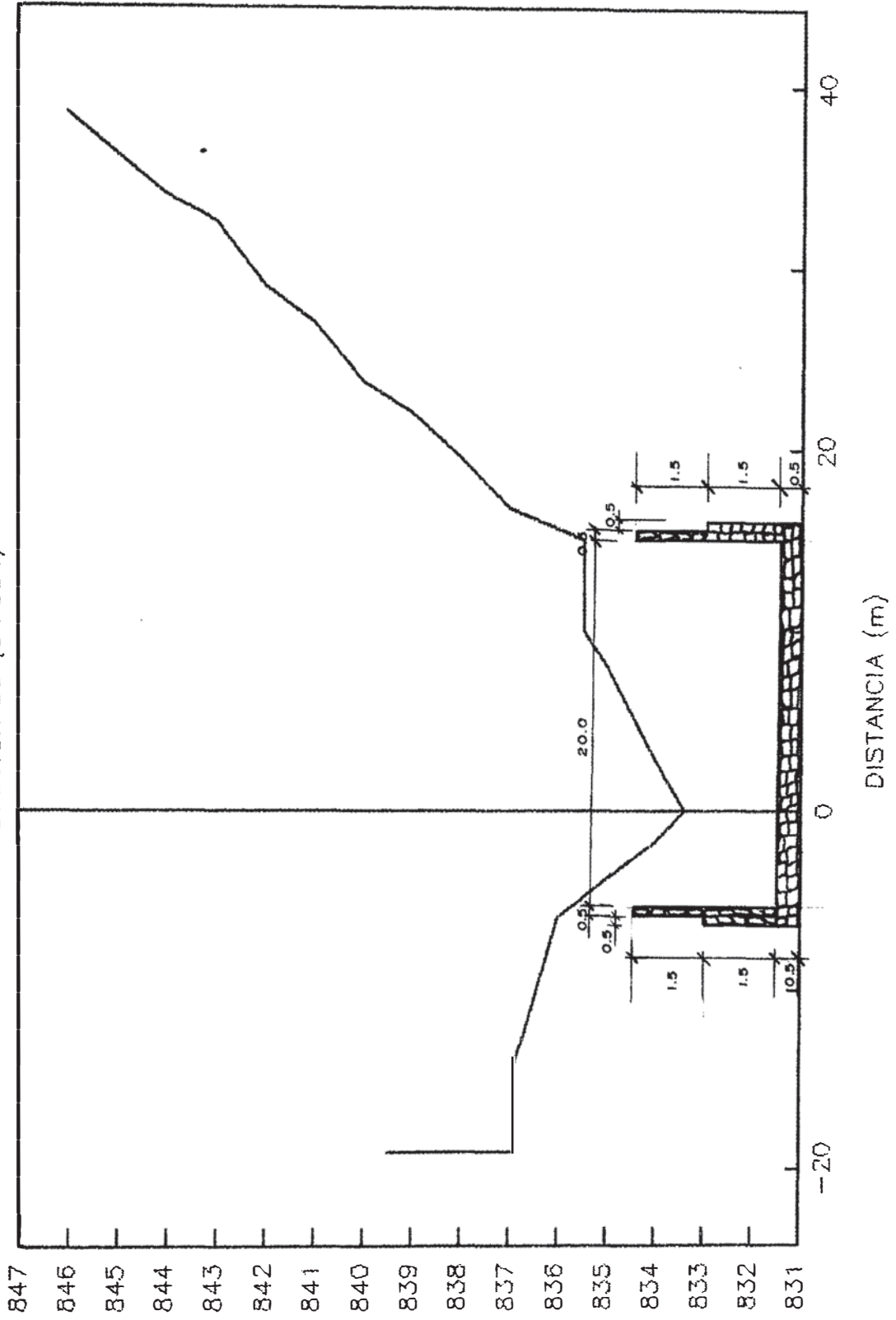
SECCION 32 (D+634)



COTAS ( m.s.n.m.)

# CUENCA DE YANACOTO

SECCION 33 (0+654)



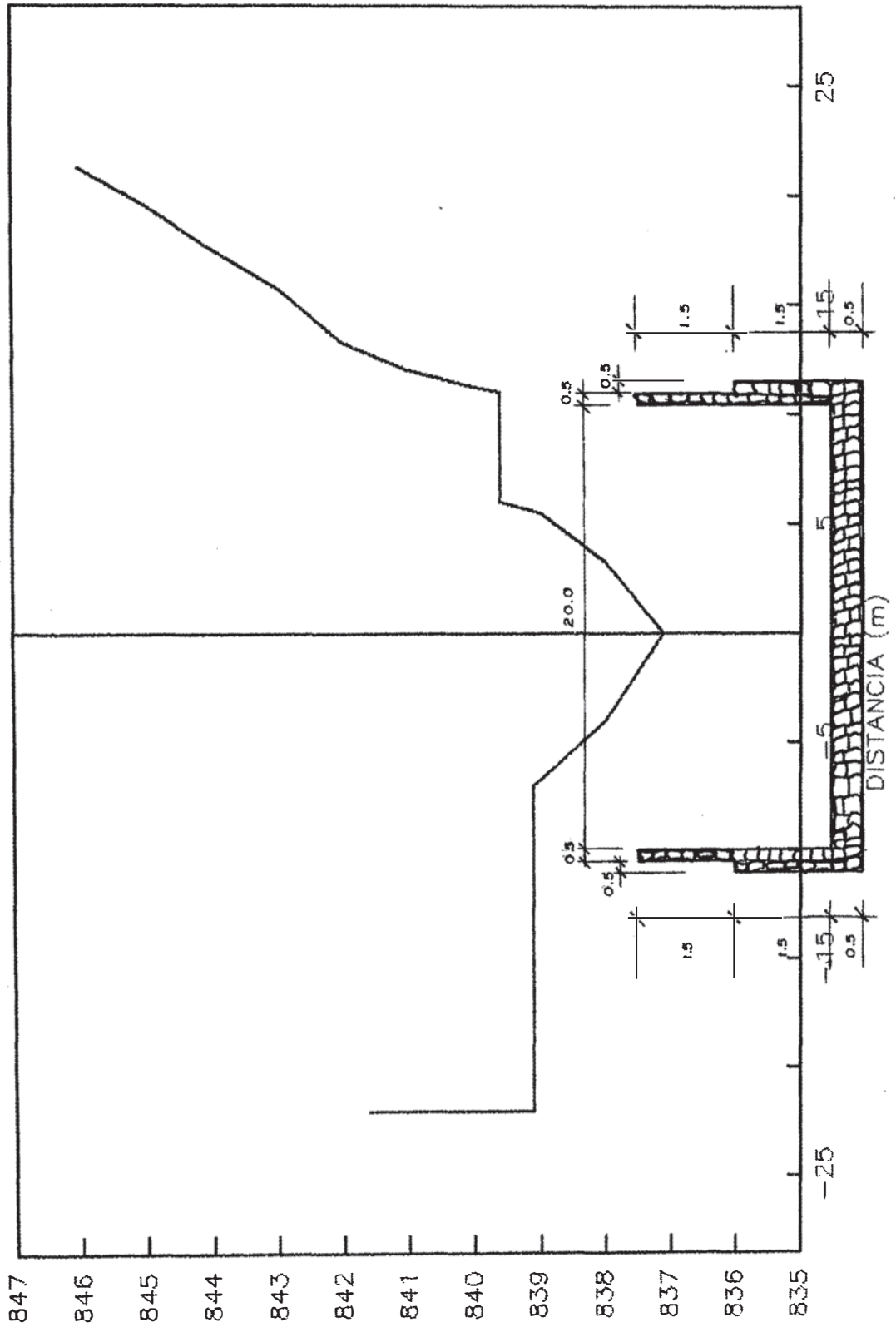
COTAS (m.s.n.m.)

DISTANCIA (m)



# CUENCA DE YANACOTO

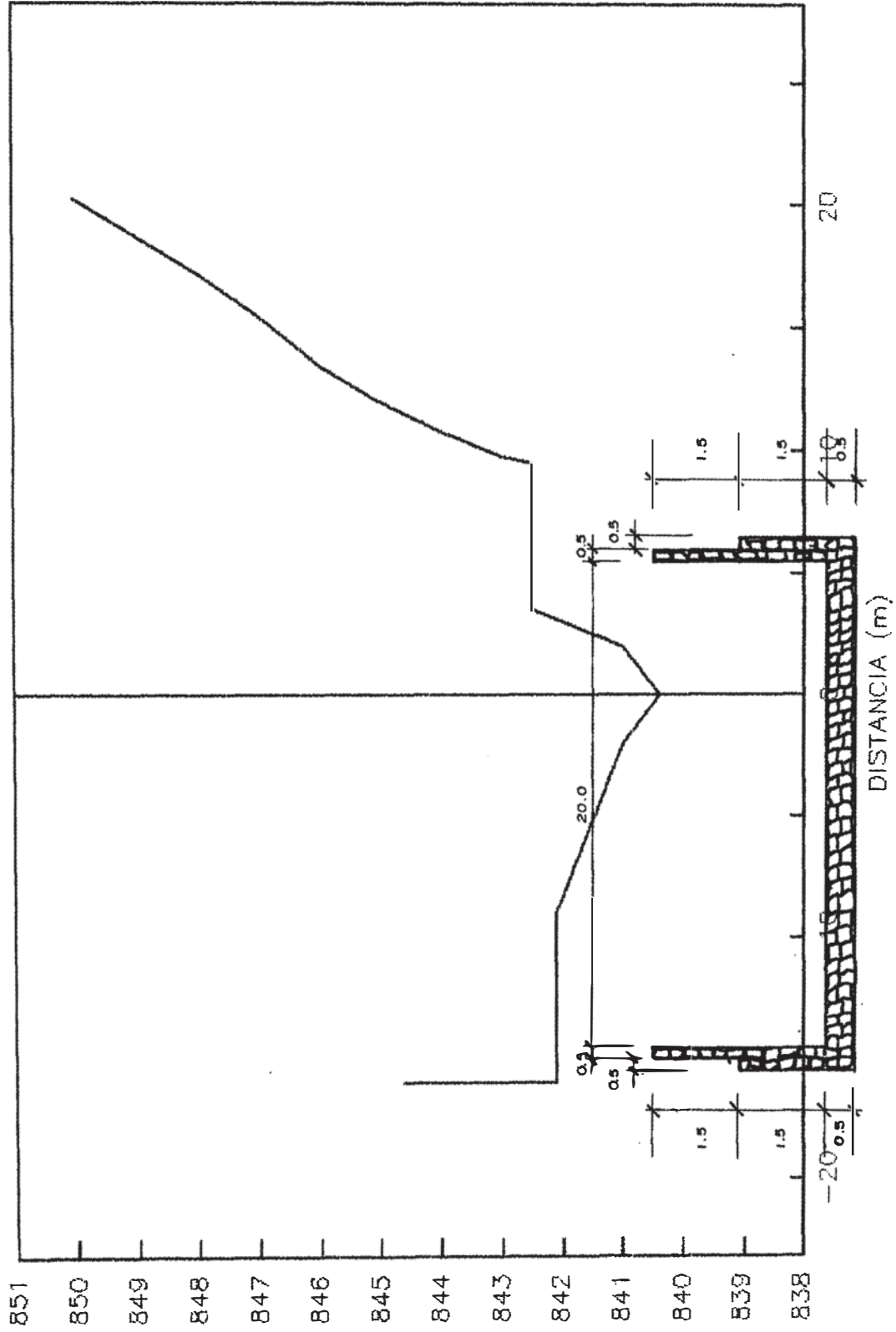
SECCION 34 (0+674)



COTAS ( m.s.n.m.)

# CUENCA DE YANACOTO

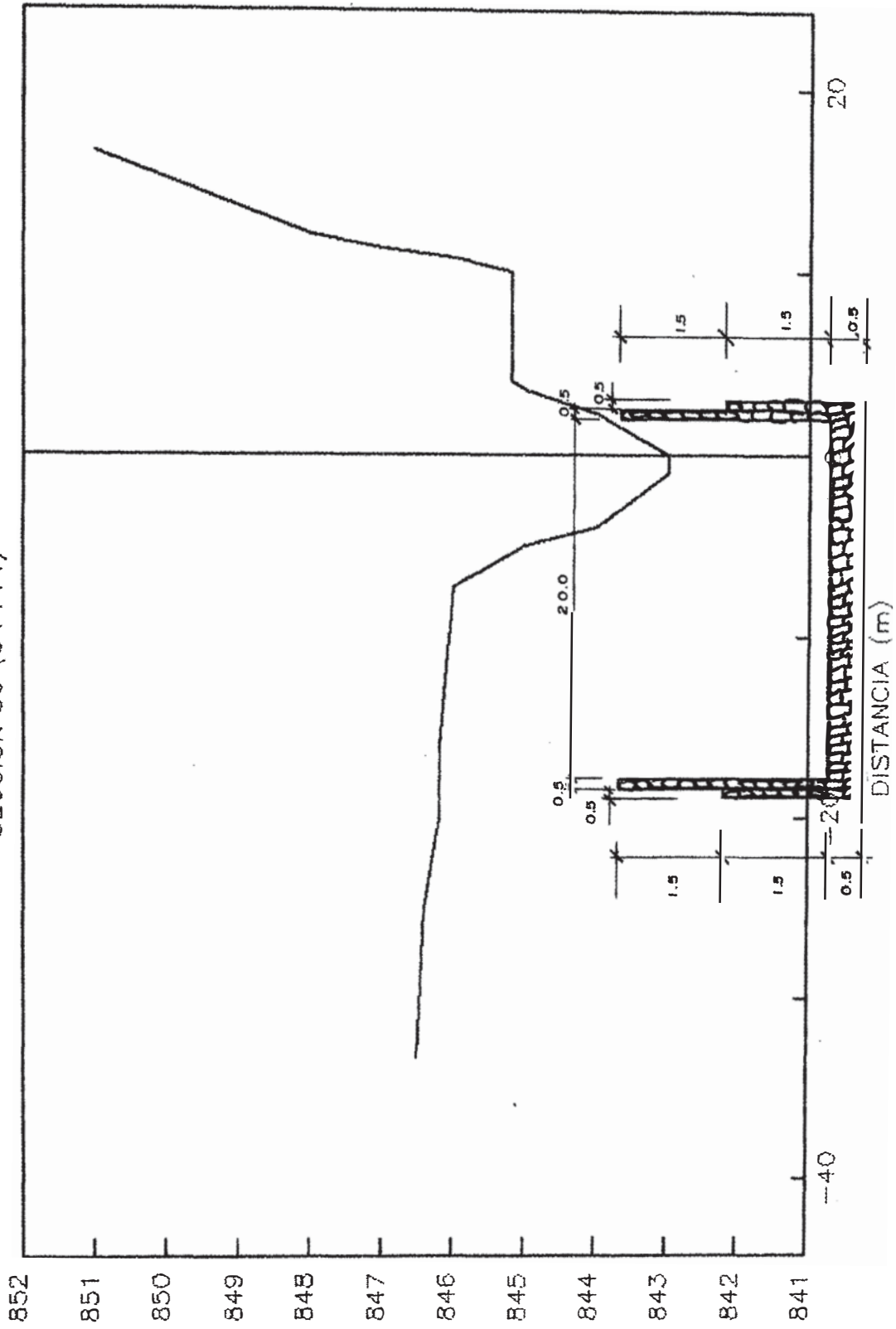
SECCION 35 (0+694)



COTAS ( m.s.n.m.)

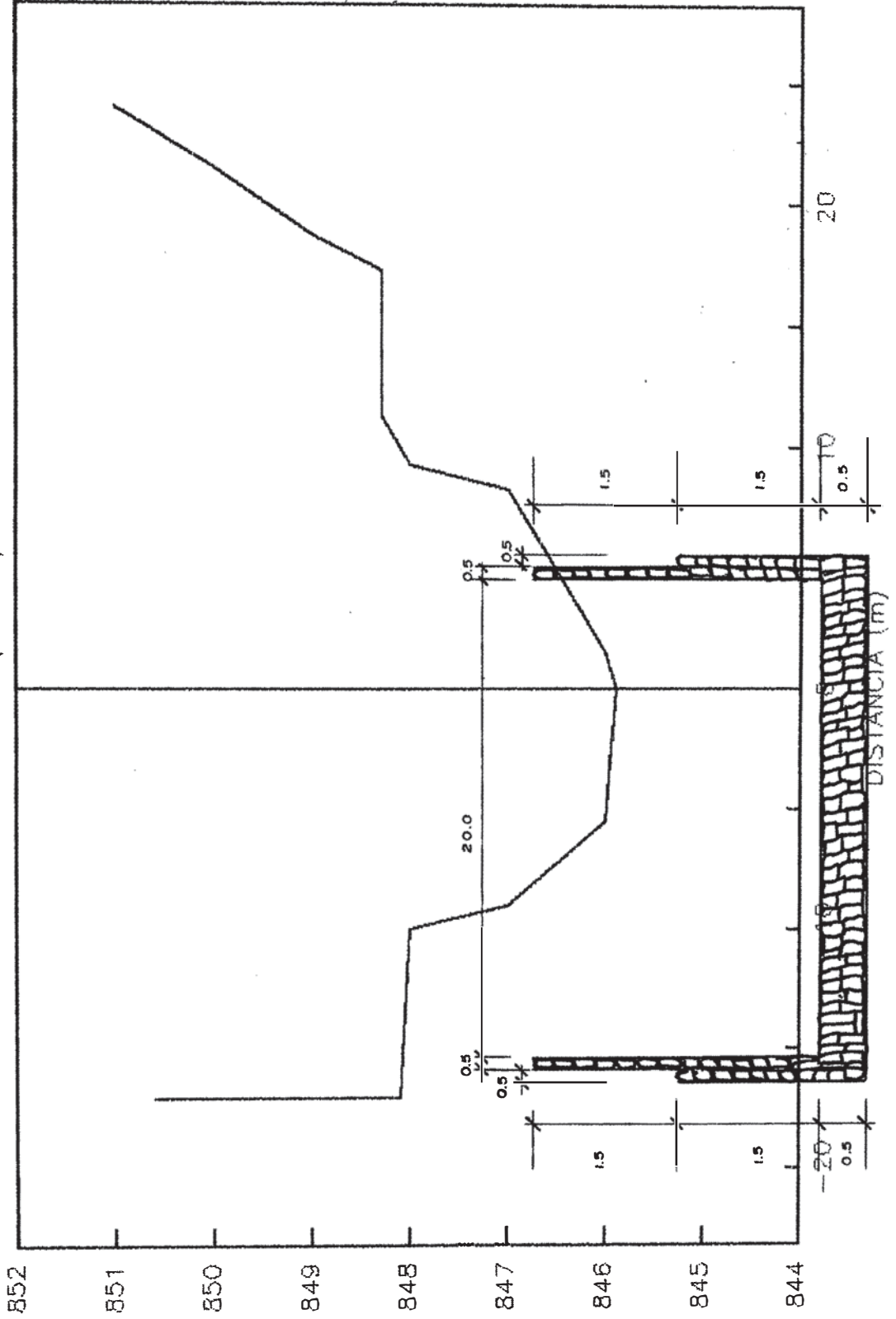
# CUENCA DE YANACOTO

SECCION 36 (D+714)



# CUENCA DE YANACOTO

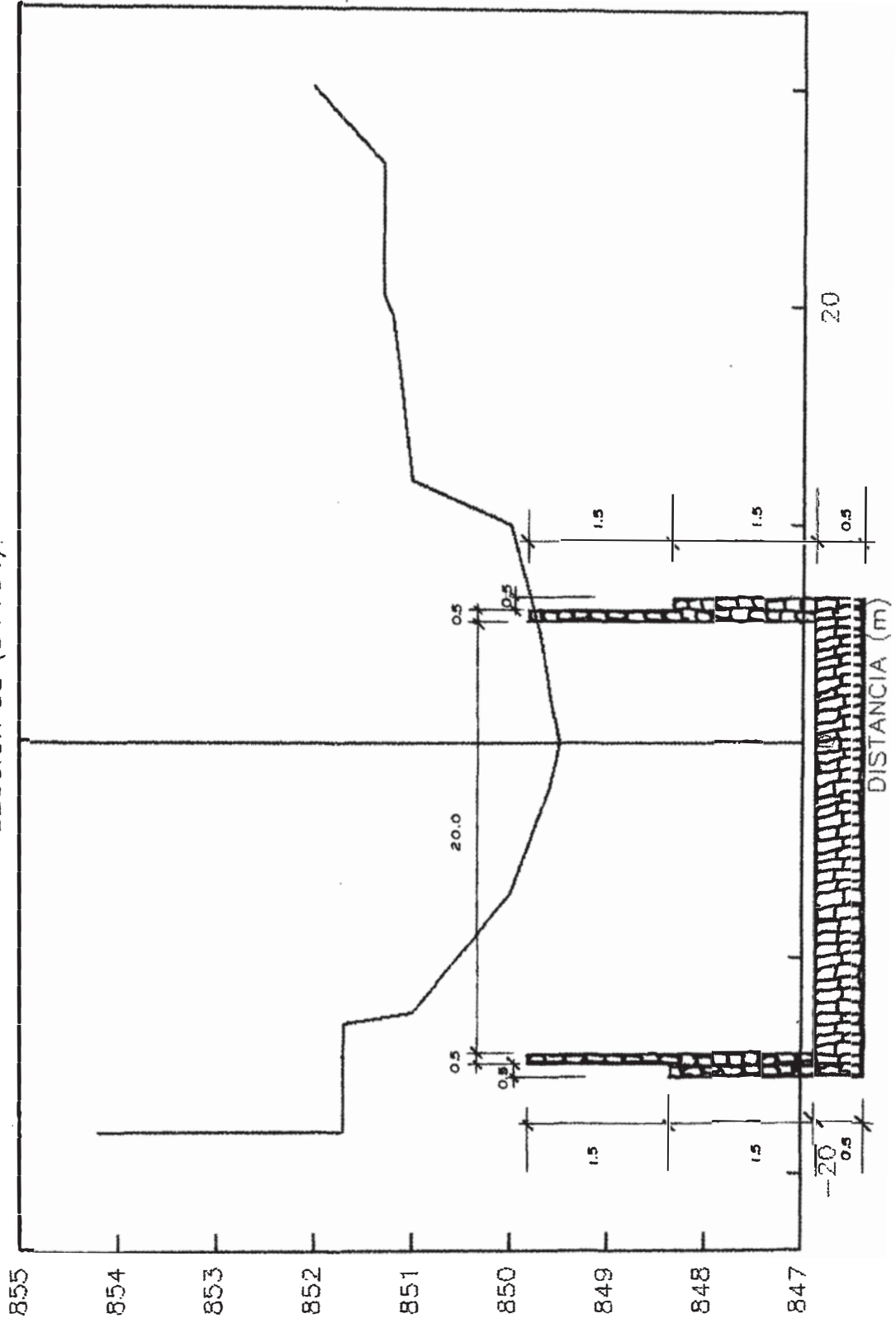
SECCION 37 (D+734)



COTAS ( m.s.n.m.)

# CUENCA DE YANACOTO

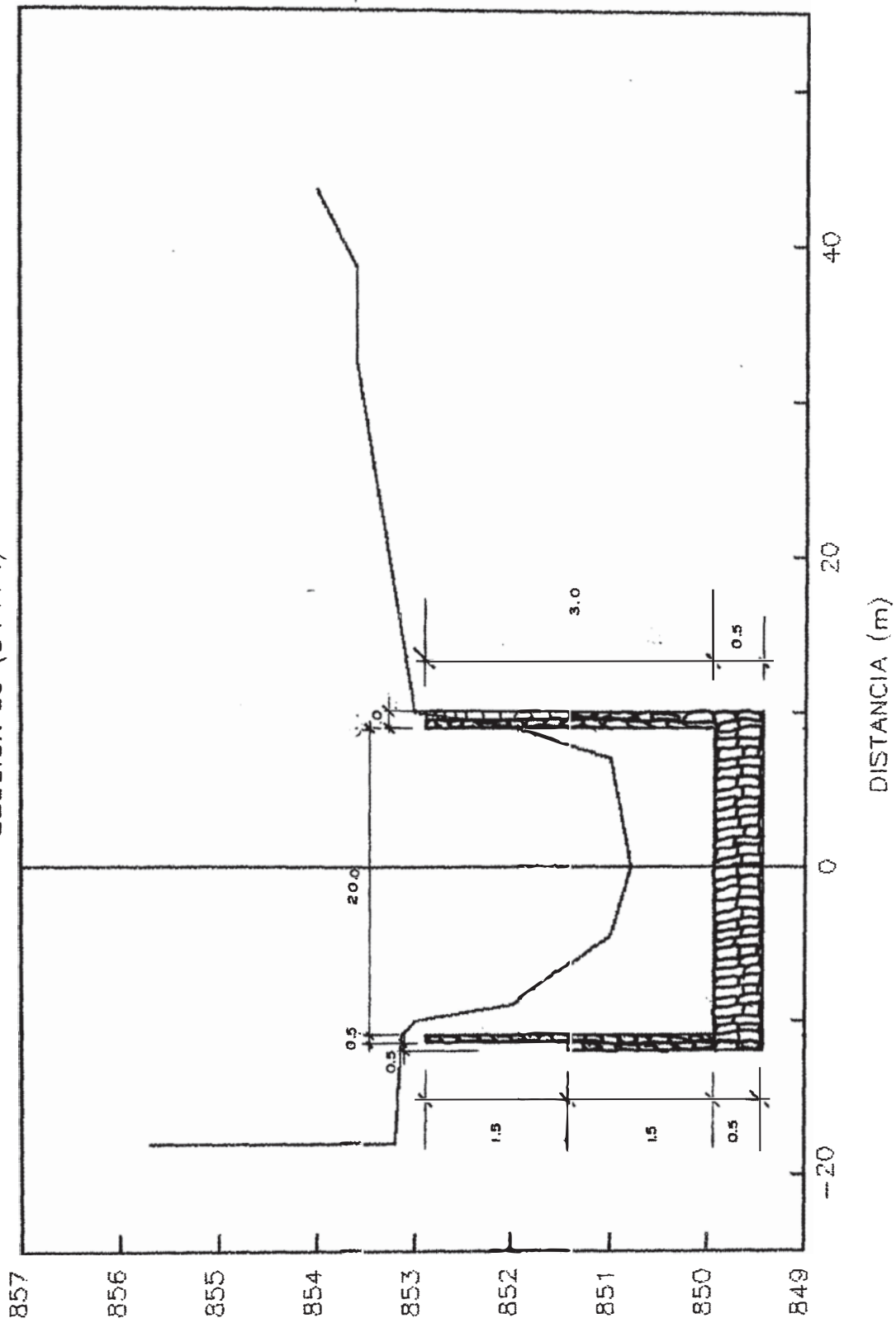
SECCION 38 (0+754)



COTAS ( m.s.n.m.)

# CUENCA DE YANACOTO

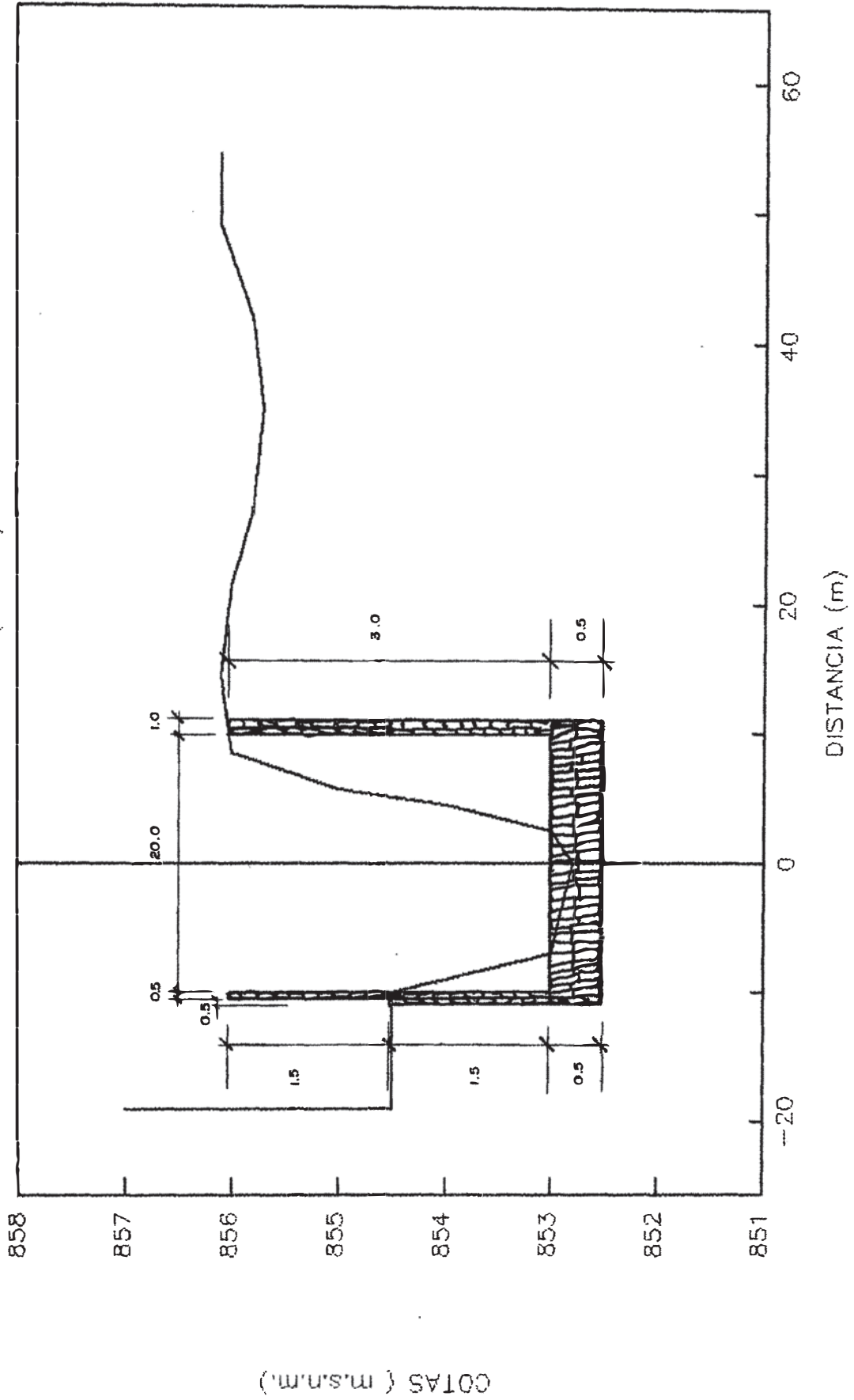
SECCION 39 (0+774)



COTAS ( m.s.n.m.)

# CUENCA DE YANACOTO

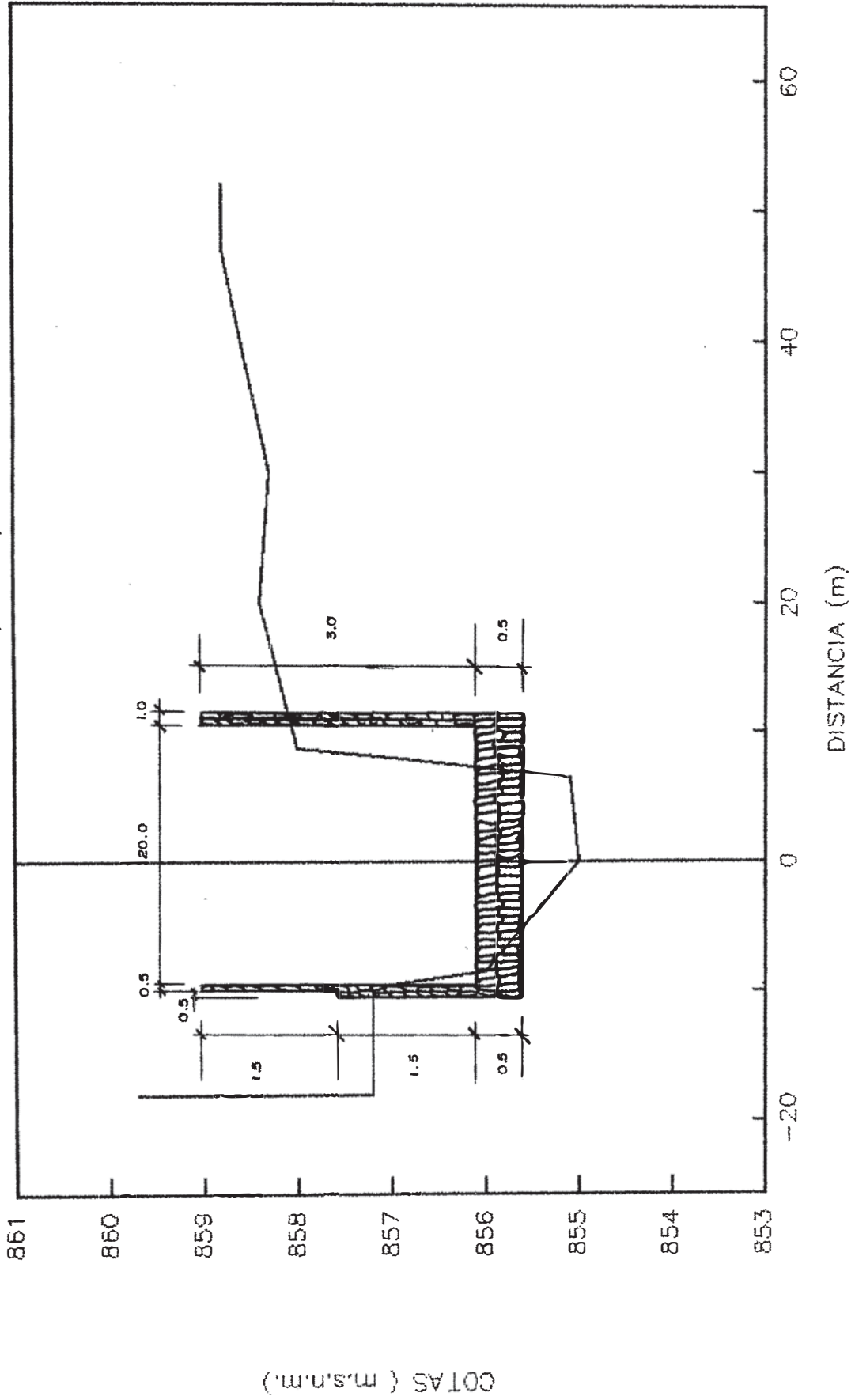
SECCION 40 (0+794)





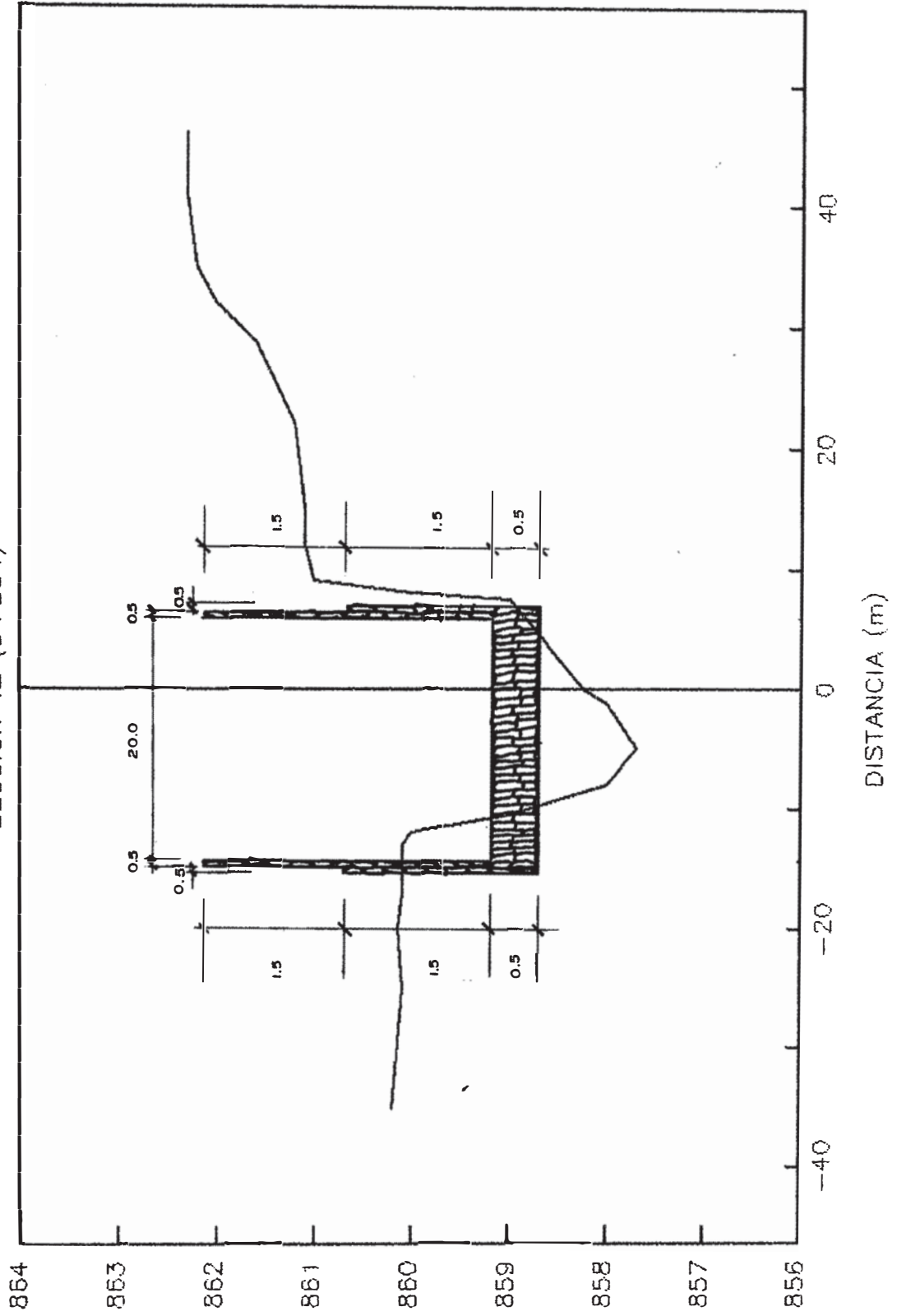
# CUENCA DE YANACOTO

SECCION 41 (0+B14)



# CUENCA DE YANACOTO

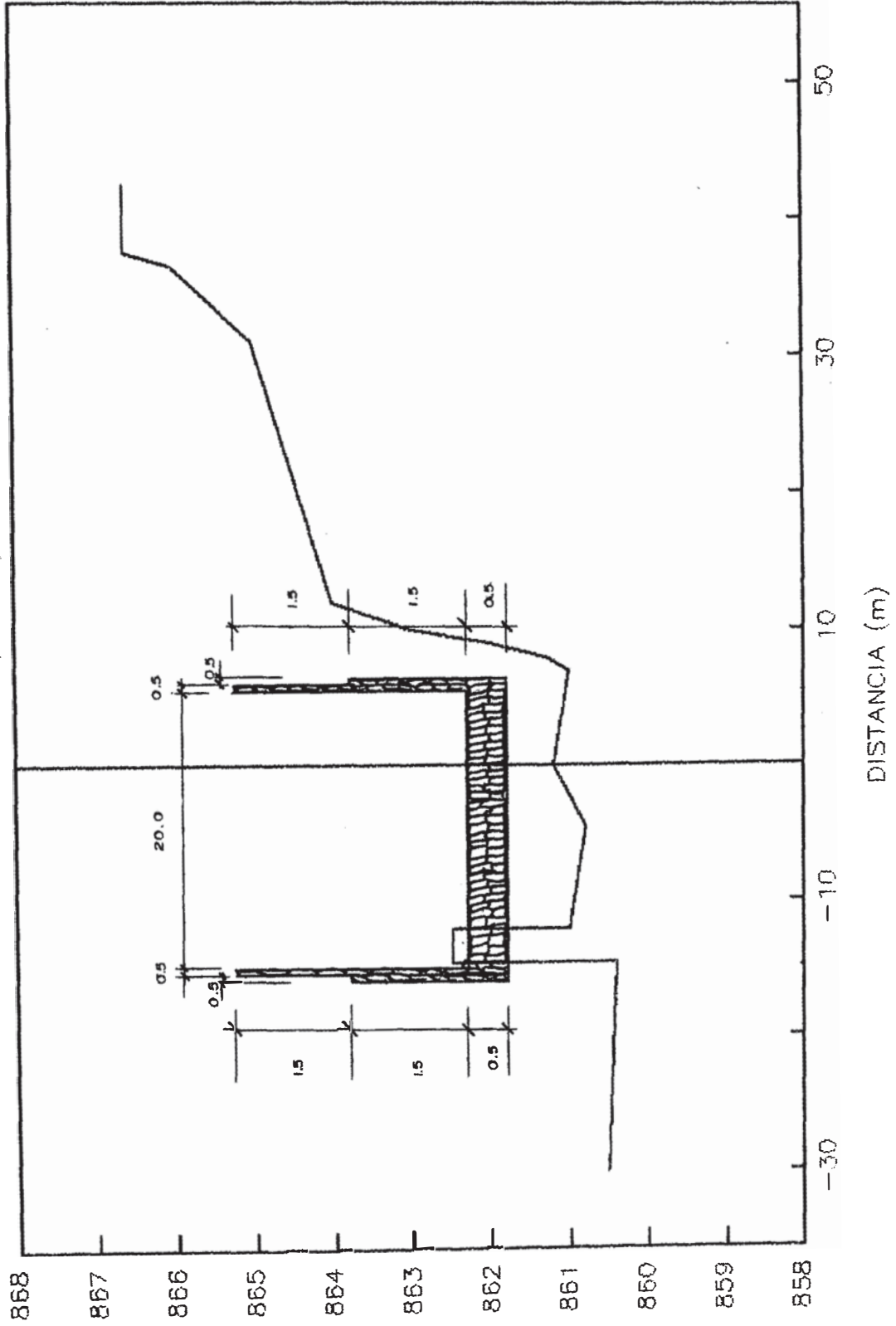
SECCION 42 (D+834)



COTAS ( m.s.n.m.)

# CUENCA DE YANACOTO

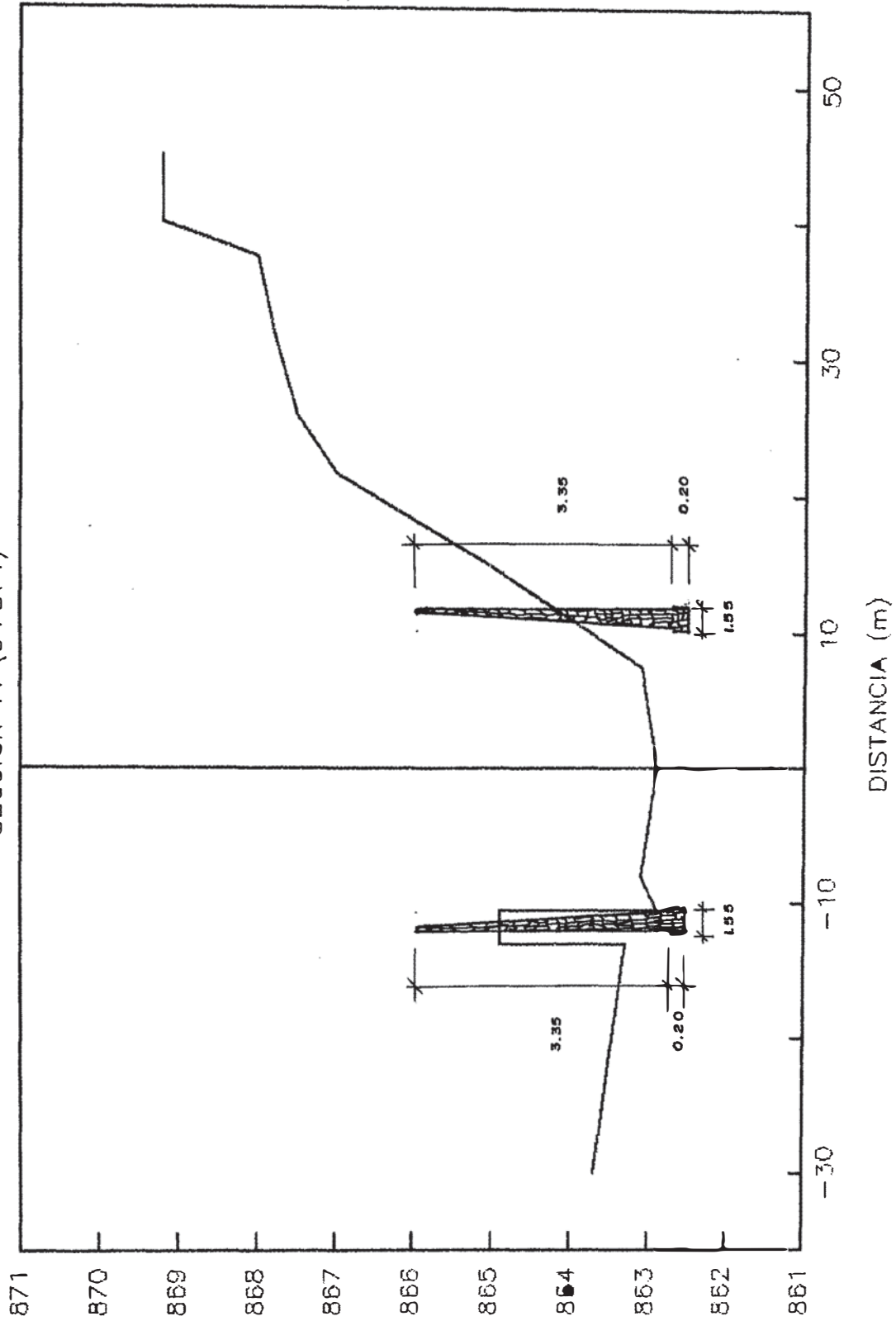
SECCION 43 (D+854)



COTAS ( m.s.n.m.)

# CUENCA DE YANACOTO

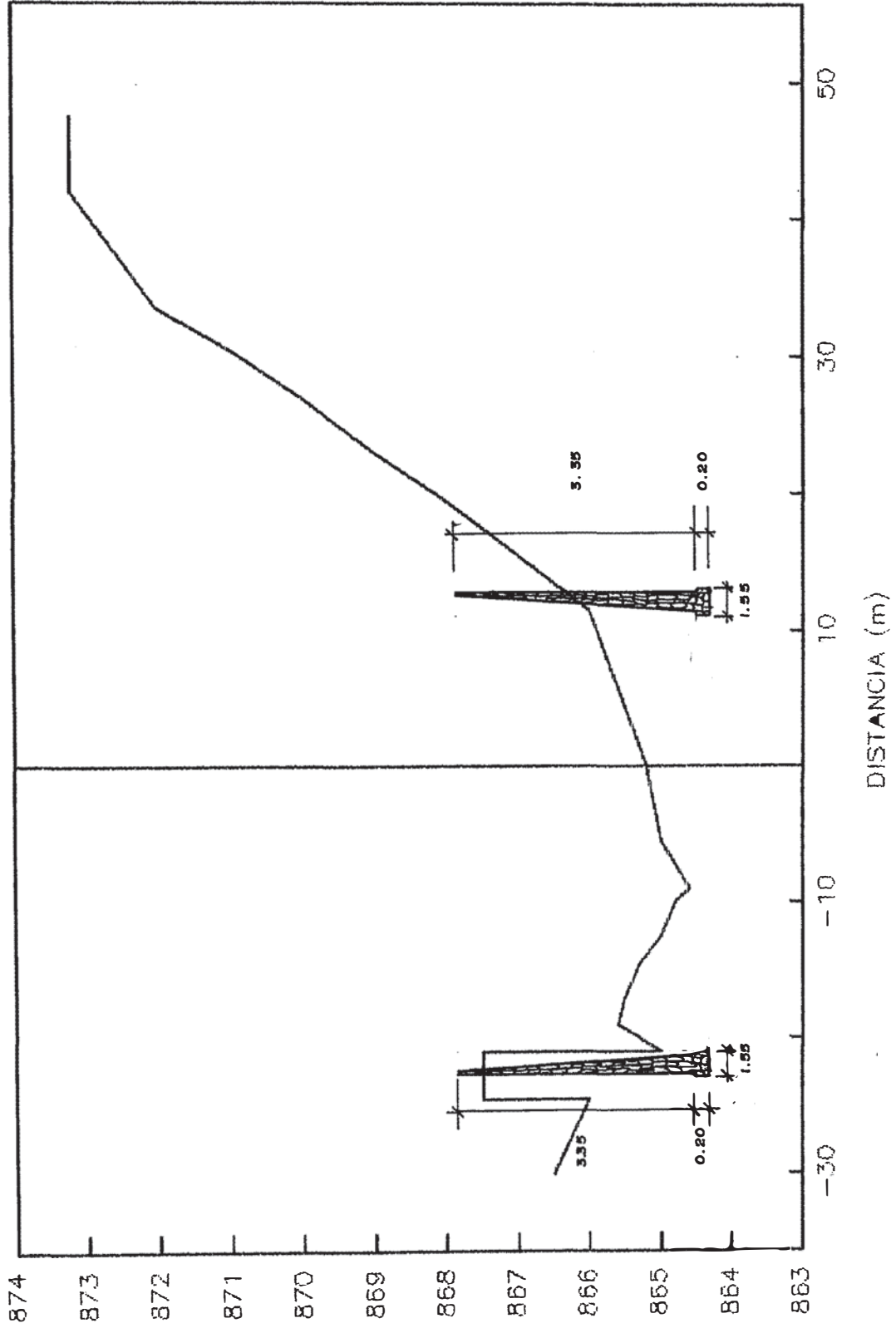
SECCION 44 (0+874)



COTAS ( m.s.n.m.)

# CUENCA DE YANACOTO

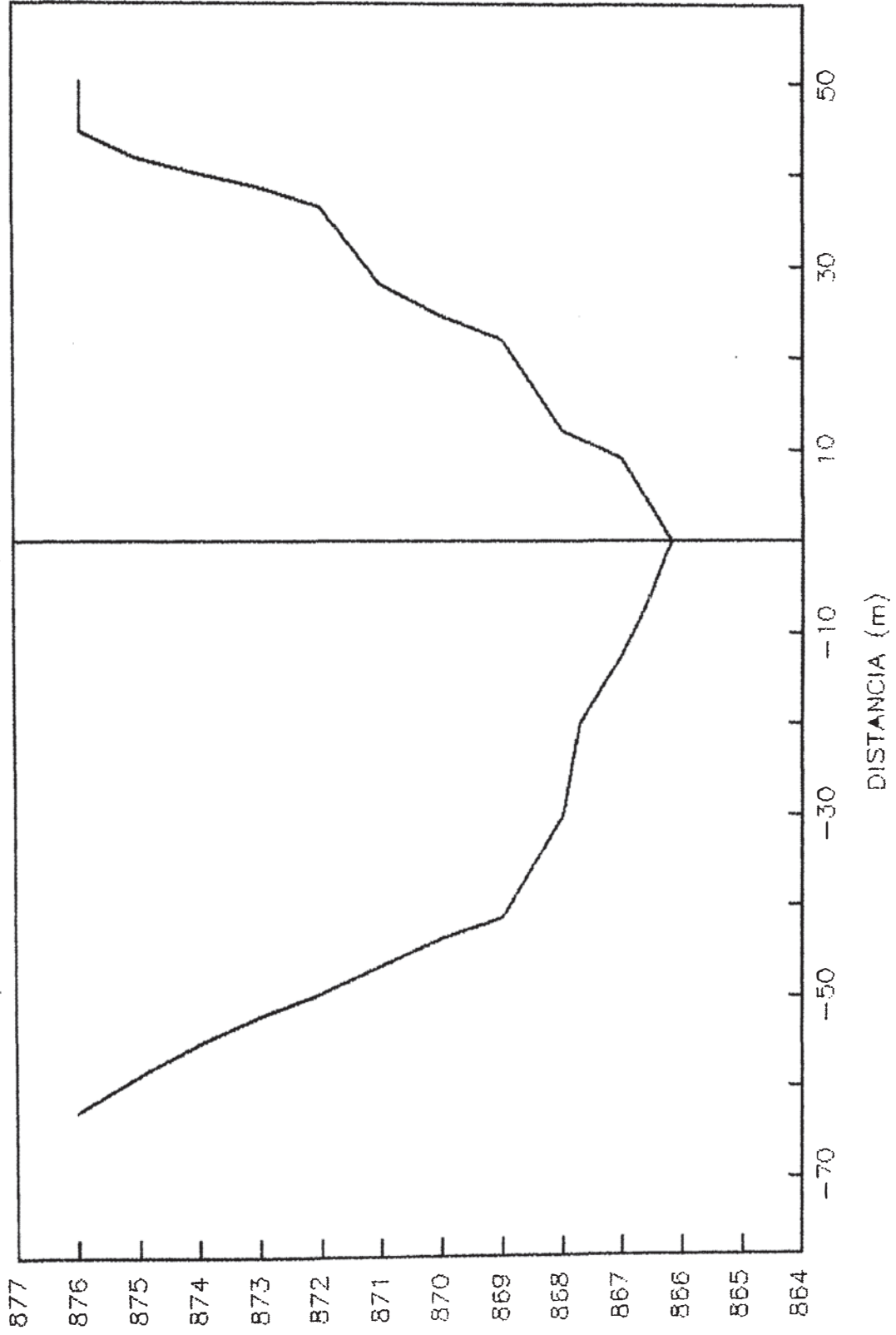
SECCION 45 (0+894)



COTAS ( m.s.n.m.)

# CUENCA DE YANACOTO

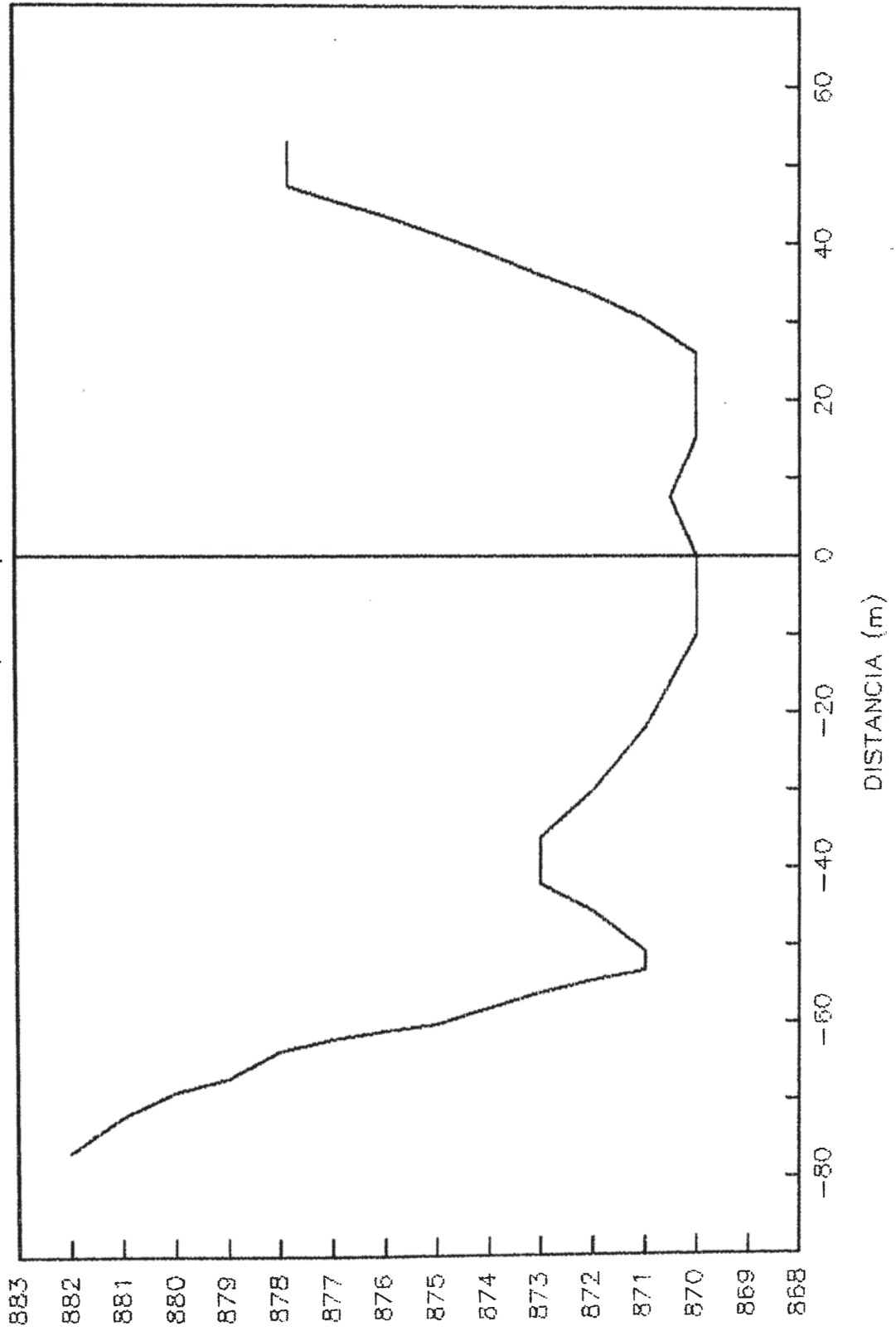
SECCION 46 (0+914)



COIAS ( m.s.n.m.)

# CUENCA DE YANACOTO

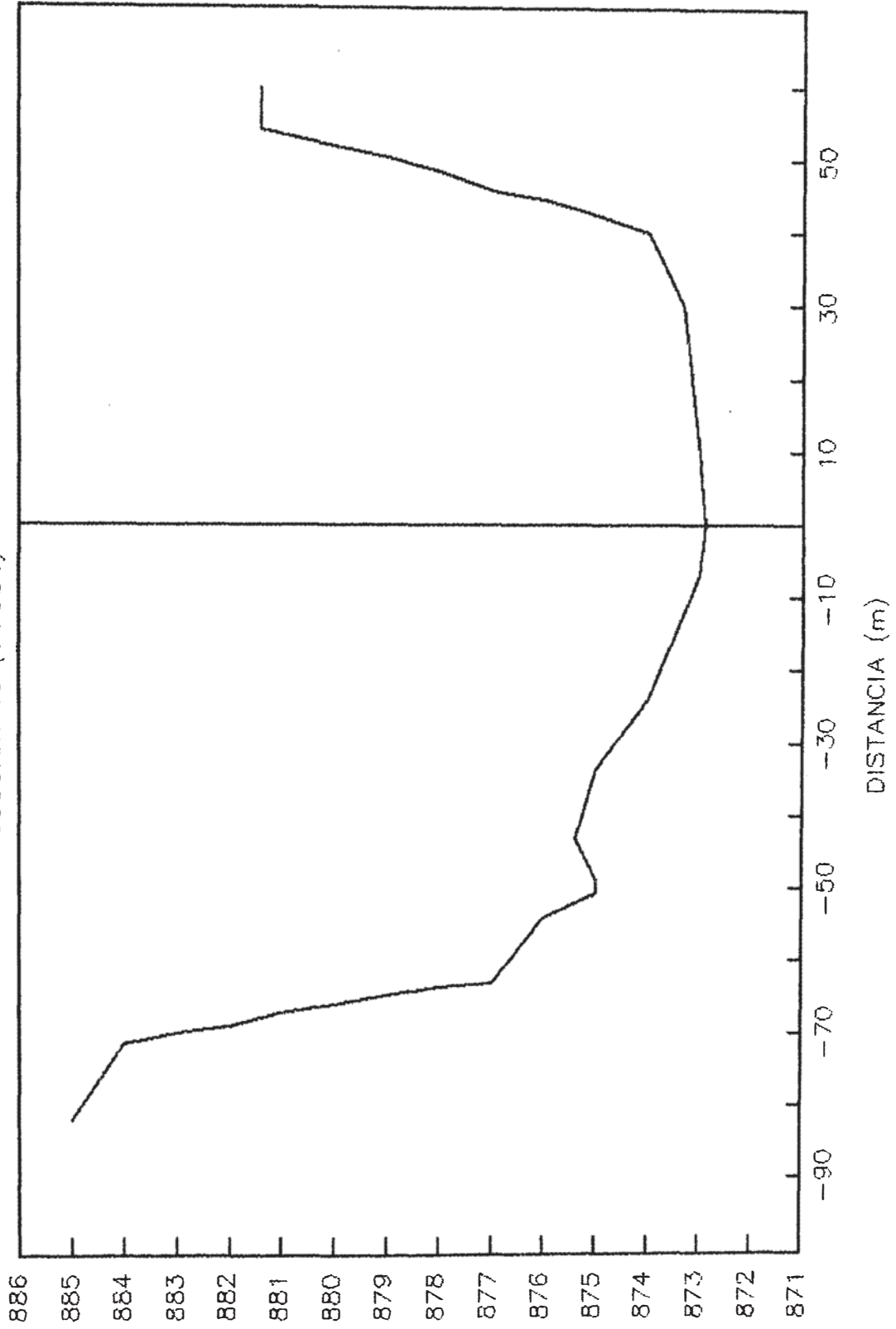
SECCION 47 (D+934)





# CUENCA DE YANACOTO

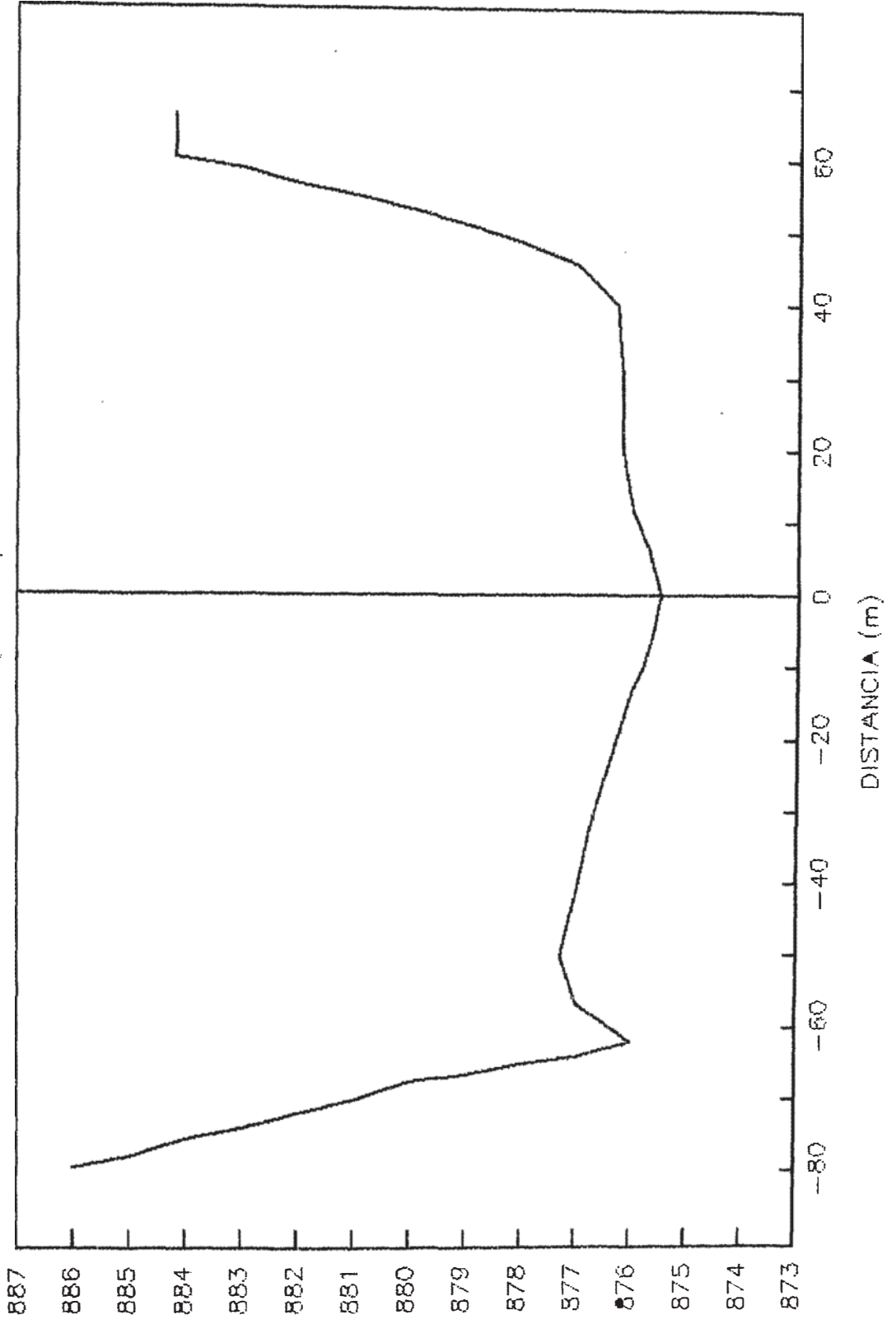
SECCION 48 (D+954)



COTAS ( m.s.n.m.)

# CUENCA DE YANACOTO

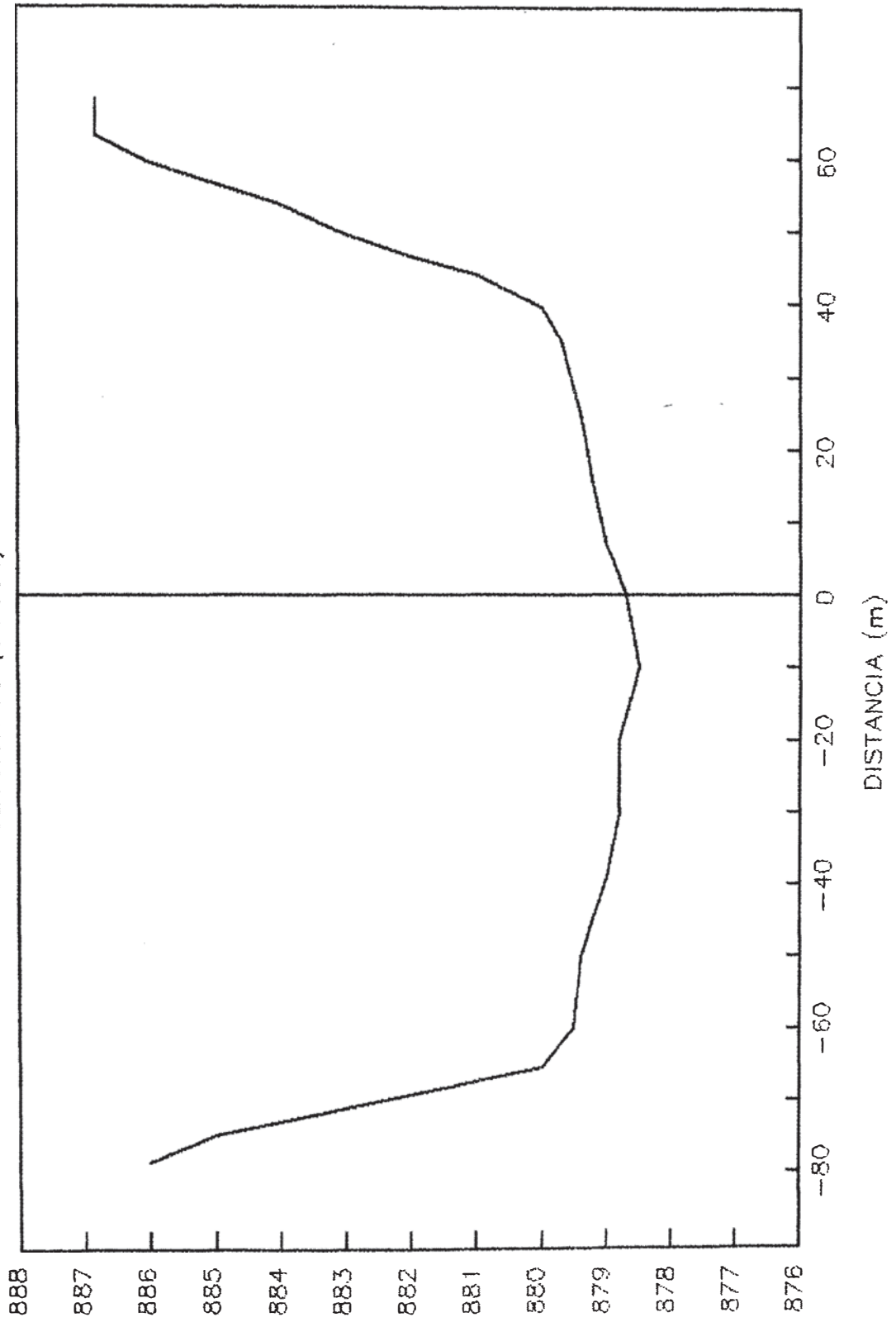
SECCION 49 (0+974)



COTAS (m.s.n.m.)

# CUENCA DE YANACOTO

SECCION 50 (0+994)



COTAS (m.a.n.m.)

# **CAPITULO 8**

**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### 8.1 CONCLUSIONES

1.- La comunidad de Yanacoto N° 5, se encuentra atravesada por el actual cauce principal de la subcuenca Santa María Yanacoto, por lo que el peligro ante la ocurrencia de algún huayco es inminente, principalmente para los que habitan en las cercanías del cauce medio.

2.- Por lo menos desde la desaparición de los antiguos pobladores pre-incas que habitaron en esta zona, no ocurre un huayco con características de crisis climáticas (3200 años a la fecha), el cual sepultó toda la zona pero no sobrepasó el montículo de las ruinas de Yanacoto, pero si han caído huaycos regulares, los cuales han formado, arrasado, socavado y sepultado parte del actual cauce medio.

3.- Durante el tiempo de vida de la actual comunidad de Yanacoto N° 5 (25 años) han ocurrido pequeños huaycos, principalmente en los meses de verano, los mismos que debido a su poca energía no llegaron a comprometer la seguridad de la población, pero el material sólido desplazado se ha ido acumulando en las cercanías de la comunidad incrementando el peligro en caso de ocurrir un huayco con características de crisis climáticas.

4.- Las rocas existentes en el cauce principal, son intrusivas básicas, con tamaños que varían de 3" a 1 m. de diámetro, son raros los casos de rocas mayores de 1 m, no se descarta que existan rocas de este tamaño en zonas superiores; entre las rocas predominantes sólo el 30% es mayor de 3" y el resto son gravas angulosas que bien podrían ser aprovechadas para distintos usos constructivos como: concreto armado, afirmado, etc., no existe depósitos de arcilla y la vegetación es casi nula en todo el cauce principal así como en las laderas colindantes.

5.- Las rocas de diámetros mayores a 3" tienen las aristas filudas y planos definidos de partición, esta característica ha hecho que los pobladores la usen en la construcción de muros de defensa (pircas), cercos, cimientos de vivienda, pisos, escaleras, etc., con la realización de esta Tesis se demuestra que también puede usarse para la construcción de obras hidráulicas de regulación y encauzamiento.

6.- La cuenca Santa María tiene una extensión total de 6.53 Km<sup>2</sup>, de los cuales 3.97 Km<sup>2</sup> corresponden a la subcuenca Santa María Yanacoto N<sup>o</sup> 5 y de los cuales 3.27 Km<sup>2</sup> corresponden al área efectiva o área de recepción de lluvias.

7.- La pendiente natural que existe actualmente es del orden del 14% en promedio, llegando a casos de pendientes

mayores de 20%, lo que hace presagiar que el flujo aluvional puede adquirir velocidades mayores a la normal que unida a la gran sección transversal en el cauce alto, incrementaría el volumen de descarga, siempre y cuando se trate de un gran huayco; en caso de huaycos pequeños la gran sección transversal contribuiría a la disipación de su energía.

8.- La comunidad de Yanacoto N<sup>o</sup> 5, posee un clima similar al que existe en Chosica, que por la escasa precipitación, puede denominarse intermedia, esto ha hecho que los pobladores subestimen el peligro, estableciéndose en los cauces de las quebradas activas, pero desde la ocurrencia de los grandes huaycos en Pedregal y Quirio, los nuevos pobladores han tomado conciencia y optan por establecerse en las partes altas fuera del alcance del huayco.

9.- Bastaría que en la zona, especialmente en el área de recepción de lluvias, ocurra un corto pero intenso periodo de lluvias excepcionales, ya sea como efecto de un fenómeno regional o un fenómeno como el de "El Niño", o en todo caso una alteración local, para que la subcuenca reciba el suficiente aporte de agua y se genere un huayco, ya que estos están relacionados con la intensidad de precipitación o tiempo de duración de la tormenta, que con el volumen total de descarga pluvial y asimismo con la persistencia de la lluvia en los días precedentes, esto se debe a que la condición inicial para que se genere un huayco es la saturación de los



materiales sueltos en las vertientes y lechos de las quebradas, produciéndose la remoción en masa tanto por gravedad como por acción hidráulica, estos materiales descienden hasta ocupar el lecho de la quebrada para luego continuar brusca y destructoramente hacia los niveles inferiores.

10.- Pueden existir muchas modalidades para determinar un posible volumen de descarga de un huayco, pero ninguno de ellos es exacto, pero al menos nos dan una idea de su magnitud o de lo que pueda ocurrir, es el criterio del ingeniero lo que primará finalmente, en base a su observación y a experiencias anteriores.

11.- El huayco es un fluido no Newtoniano, por lo tanto no cumple con las leyes y fórmulas planteadas para el agua natural y limpia, pero por ser un fluido, posee la característica de tener la forma del recipiente que los contenga, siempre y cuando éste tenga la capacidad necesaria, en este caso los recipientes son las obras hidráulicas construidas (rápida y el canal compuesto), los cuales conducirán al flujo aluvional sin problema, si su volumen, es menor a la capacidad de estas obras.

12.- Una medida de prevención contra huaycos es el diseño del encauzamiento que se define considerando una velocidad que sea menor que 8 m/s.

13.- La roca en la zona de Chosica, es el único material a la mano, disponible, de bajo costo y de mejor comportamiento en el tratamiento, encauzamiento de los huaycos, que los materiales de construcción convencional; sólo el conocimiento de lo que significa la roca como elemento de alta y comprobada resistencia a la erosión frente a los huaycos, que cualquier otro material convencional, debería ser condición para ser usada en las diferentes obras preventivas de tratamientos.

14.- Considero que la información básica desarrollada es la adecuada y suficiente, que permite plantear recomendaciones e iniciar tratamientos a corto plazo y concretar las de mediano y largo plazo. Los resultados difieren por su nivel, de otras a nivel de diagnóstico, por falta de una tecnología adecuada que responda a las condiciones y realidad de los huaycos de la zona de Chosica, por la carencia de observación de primera mano, desconocimiento de la problemática del fenómeno y su impacto social.

15.- Ha quedado demostrado que una de las formas positivas de investigar el fenómeno de los huaycos es comprender su origen, comportamiento, evolución, efectos y daños que causan cuando se presentan. Por lo general no se sabe ni se conocen las condiciones geotécnicas locales sin las cuales es casi imposible tomar medidas de prevención y/o

plantear alternativas para soluciones realistas, frente a las limitaciones y peligros que siempre significan los huaycos para los asentamientos humanos que se emplazan en áreas críticas, principalmente dentro del cono de deyección.

16.- Si un huayco encuentra obstruido su paso, por más pequeño que sea, puede causar mucho más daño que un gran huayco que encuentra su cauce limpio y regulado; entonces la medida de emergencia formulada por el Ing. A. Martínez Vargas de efectuar la limpieza de los cauces inmediatamente después de un huayco o antes de la temporada de lluvias es aceptable, por lo que es necesario un mantenimiento periódico.

17.- La solución planteada a través de las obras hidráulicas está hecha bajo un criterio técnico antes que social, por lo cual, algunas propiedades particulares se ven afectadas por la construcción de dichas obras, pero si pensamos que con estas obras el riesgo al que está expuesta la comunidad ante la caída de algún huayco disminuye notoriamente, bien valdrá la pena construirlas antes que lamentar la muerte de algún poblador.

## 8.2 RECOMENDACIONES

1.- Que las autoridades municipales, Defensa Civil o pobladores organizados no sigan permitiendo que los nuevos pobladores invadan cauces del huayco en quebradas activas, por que se iniciaría un nuevo problema de tratamiento de huaycos.

2.- Que no se permita la construcción de ninguna estructura de vivienda cerca de las márgenes del cauce medio, por que es la zona más vulnerable al paso de un huayco.

3.- Que los dirigentes de la comunidad de Yanacoto Nº 5, entablen un diálogo amigable con la empresa Electrolima, a fin de superar diferencias en cuanto al límite territorial y juntos colaborar en la ejecución de las obras de tratamiento del huayco, que al final beneficiará a ambas partes.

4.- Que la empresa Electrolima, no siga efectuando movimientos de tierras en el cauce bajo, precisamente antes de llegar a la carretera Central, por que hay que tener en cuenta que a escasos metros se encuentran escarpas al pie del río Rímac de hasta 20 m de altura, las cuales pueden iniciar una erosión por cárcavas regresiva y formar una verdadera depresión con la destrucción de áreas laterales en caso de existir una sobrepresión a consecuencia del volumen depositado por un posible huayco en la zona actualmente modificada.

5.- Después de la caída de algún huayco, se debe proceder de inmediato a la limpieza del cauce.

6.- Es necesario desarrollar una tecnología de Ingeniería Civil propia en el caso de los huaycos, rescatando tecnología de la experiencia de nuestros antepasados Pre-Incas, en el uso de la roca y su control de erosión, estabilidad de taludes, huaycos e inundaciones.

7.- Se debe especializar a los pobladores de estas zonas en los trabajos con roca, lo cual requiere de otra realidad socio-política y de mística comunitaria, pero existen razones que apoyan este proyecto por los resultados geotécnicos básicos obtenidos, de producirse este cambio, habrá más impulso por rescatar la tecnología milenaria acerca de la roca.

8.- Que en adelante, todos los proyectos de investigación referidos a temas afines con este, que se realicen con apoyo nacional o internacional, incorporen una tecnología autóctona, empleando nuestros recursos naturales predominantes y asesorados por profesionales con experiencia comprobada en este campo.

9.- Se debe buscar un acercamiento entre las partes afectadas ante la caída de algún huayco, estas son: la propia comunidad de Yanacoto N°5, el Country Club El Bosque y el Club

de empleados de Electrolima, ya que debido al criterio técnico de las obras hidráulicas, todas estas partes tendrán que colaborar para su construcción, cediendo mínimas partes de sus propiedades para efectuar los trabajos.

10.- Que el Colegio de Ingenieros del Perú, Capítulo de ingeniería Civil, divulgue y reconozca los esfuerzos y aportes de sus colegiados que han contribuido en la problemática de huaycos, en los últimos tiempos, de este modo estar presente y participar en la Década Internacional de los Desastres Naturales.

# CAPITULO 9

## BIBLIOGRAFIA



## BIBLIOGRAFIA DEL CAPITULO II:

**1.- Antunez de Mayolo, Santiago**

1930 "La Génesis de las Centrales Hidroeléctricas"

Biblioteca de ELECTROLIMA

**2.- Electrolima**

"Atlas de Electrolima"

Biblioteca de ELECTROLIMA

**3.- Guerrero, Daniel (Estudiante de Arqueología-PUC)**

1990 Entrevista (Comunicación personal)

**4.- Martínez Vargas, Alberto**

1990 "Geotecnia de la Subcuenca Sta. M. Yanacoto-Chosica"

Biblioteca de PREDES

**5.- Martínez Vargas, Alberto**

1990 "La Roca una Alternativa en la Mitigación de  
Desastres Naturales, Huaycos- Chosica"

VIII CONIC, Piura-Perú

**6.- Martínez Vargas, Alberto**

1991 "Crisis Climáticas y Huaycos y Prevención en  
Chosica"

CISMID

**7.- ONERN**

1975 "Inventario y Evaluación de los Recursos Naturales de  
la zona del Proyecto Marcapomacocha" Volumen I  
Biblioteca de la ONERN

**8.- Regal Alberto**

1970 "Los Trabajos Hidráulicos del Inca en el Antiguo  
Perú"  
Biblioteca Central UNI - Sala Perú

**9.- Rostworowski, M.**

1978 "Señoríos Indígenas de Lima y Canta"

**10.- Universidad Nacional Enrique Guzmán y Valle - La  
Cantuta**

1987 "Monografía del Pueblo Joven de Yanacoto"  
Biblioteca de PREDES

**BIBLIOGRAFIA DEL CAPITULO III:****1.- Martínez, A. - Martínez, J.**

1988 "Estudio Geotécnico en Zona de Desastres Naturales,  
Quebrada de Pedregal"

VII CONIC, Huaraz-Perú

**2.- Martínez Vargas, Alberto**

1990 "Geotécnica de la Subcuenca Sta. M. Yanacoto-Chosica"

Biblioteca de PREDES

**3.- Martínez, A. - Santos, R.**

1990 "La Roca una Alternativa en la Mitigación de  
Desastres Naturales-Huaycos de Chosica"

VIII CONIC, Piura-Perú

**4.- Martínez, A. - Martínez, J.**

1990 "Aspectos Geotécnicos de los Huaycos de Chosica"

VIII CONIC, Piura-Perú

**5.- Martínez Vargas, Alberto**

1991 "Crisis Climáticas y Huaycos y Prevención en Chosica"

CISMID

**6.- Ortiz Rodríguez, Javier**

1992 "Estudio de Factibilidad de una Cantera en la  
Comunidad de Yanacoto-Chosica"

Tesis UNI-FIC

**BIBLIOGRAFIA DEL CAPITULO IV:****1.- Chereque Morán, Wendor**

1989 "Hidrología para Estudiantes de Ingeniería Civil"  
CONCYTEC

**2.- JICA**

1988 "Final Report of Master Plan Study on the Disaster"  
Prevention Project in the Rímac River Basin.  
Volumen 1, 2, 3 y 4. Tokio-Japón  
Biblioteca de PREDES

**3.- Linsley - Kohler - Paulhus**

1978 "Hidrología para Ingenieros"  
2DA edición, Editorial: Mc Graw-Hill Latinoamericana S.A.

**4.- Martínez Vargas, Alberto**

1990 "Geotécnia de la Subcuenca Sta. M. Yanacoto-Chosica"  
Biblioteca de PREDES

**5.- Martínez Vargas, Alberto**

1990 "Rescate de Tecnología para el Diseño del  
Encauzamiento del Cauce del Huayco"

VIII CONIC Piura-Perú

**6.- Martínez, A. - Ponce, C. - Allende, T.**

1990 "Estudio Geotécnico de la Quebrada de Quirio, Pueblo  
Joven de Nicolás de Piérola"

Biblioteca de PREDES

**7.- Martínez Vargas, Alberto**

1991 "Crisis Climáticas y Huaycos y Prevención en Chosica"  
CISMID

**8.- O'Connor, H. - Vasquez, O.**

1987 "Investigación de los Huaycos de Chosica, Efectos y  
Medidas de Mitigación"

VI CONIC, Cajamarca-Perú

**9.- ONERN**

1975 "Inventario y Evaluación de los Recursos Naturales de  
la zona del Proyecto Marcapomacocha" Volumen II

Biblioteca de la ONERN

**10.- PREDES**

1985 "Huaycos e Inundaciones en el Valle del Rímac"

Biblioteca de PREDES

**BIBLIOGRAFIA DEL CAPITULO V:****1.- Martínez A. - Martínez J.**

1988 "Ingeniería Geotécnica en zonas de Desastres Naturales, Quebrada de Pedregal-Chosica"  
VII CONIC Huaraz-Perú

**2.- Martínez Vargas, Alberto**

1991 "Crisis Climáticas y Huaycos y Prevención en Chosica"  
CISMID

**3.- PREDES**

1985 "Huaycos e Inundaciones en el valle del Rímac"  
Biblioteca de PREDES

**BIBLIOGRAFIA DEL CAPITULO VI****1.- Martínez Vargas, Alberto**

1990 "Geotécnia de la Subcuenca Sta. M. Yanacoto-Chosica"  
Biblioteca de PREDES

**2.- Martínez Vargas, Alberto**

1991 "Geotécnia para Ingenieros - Mecánica de Suelos"  
Facultad de Ingeniería - UPSMP

**3.- Rivera Feijóo, Julio**

1986 "Boletín Técnico Nº5 de la División de Construcción  
Civil"

COSAPI