

2



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

ACATLAN

"ESTUDIOS DEFINITIVOS Y DISEÑO GEOTECNICO  
E HIDRAULICO DE LA PRESA DE ALMACENAMIENTO  
'PALOGORDO' UBICADA EN EL MUNICIPIO DE  
TEJUPILCO, ESTADO DE MEXICO".

288066

**TESIS PROFESIONAL**  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
**INGENIERO CIVIL**  
P R E S E N T A :  
**ALDANA RUEDA CARLOS**



ASESOR: ING. FRANCISCO ANZURES ROSAS



ENERO DE 2001



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

*A MIS QUERIDOS PADRES :*

LEON ALDANA MELCHOR

Gracias por ser un ejemplo de rectitud, autoridad, respeto, superación, bondad y liderazgo. Espero no defraudarte nunca.

JOSEFINA RUEDA CRUZ.

Gracias por forjarme el carácter, por los cuidados y el amor que siempre nos ofreces sin condición.

Gracias a los dos, porque todo tiene un principio, y si ustedes no me hubieran dado la oportunidad de una formación académica, nada en mi vida hubiera sido igual.

*A MI ESPOSA Y MI PEQUEÑA HIJA :*

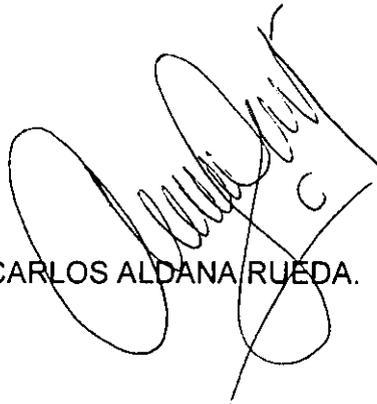
Con todo mi amor a mis dos princesas, MARTHA Y KARLA MARIANA la razón de mi esfuerzo diario y motivación para seguir adelante...

A MIS HERMANOS :

LETICIA, GUSTAVO Y MARIA,

Tantos días vividos en común, tantas alegrías y tristezas compartidas. Los quiero mucho, sigan superándose.

CARLOS ALDANA RUEDA.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Carlos Aldana Rueda', written over a faint rectangular stamp or box.

**"ESTUDIOS DEFINITIVOS Y DISEÑO GEOTÉCNICO E HIDRÁULICO DE LA  
PRESA DE ALMACENAMIENTO 'PALO GORDO' UBICADA EN EL MUNICIPIO  
DE TEJUPILCO, ESTADO DE MÉXICO"**

**ÍNDICE**

	<b>PÁG.</b>
<b>INTRODUCCIÓN.</b>	<b>7</b>
<b>1.0 GENERALIDADES.</b>	<b>9</b>
<b>2.0 ESTUDIO HIDROLÓGICO.</b>	<b>10</b>
2.1 OBJETIVO DEL ESTUDIO.	10
2.2 UBICACIÓN DEL SITIO DEL PROYECTO.	10
2.3 CARACTERÍSTICAS TOPOGRÁFICAS Y FISIOGRÁFICAS DEL PROYECTO.	10
2.4 RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN HIDROMÉTRICA Y CLIMATOLÓGICA.	14
2.5 DETERMINACIÓN DE LA AVENIDA DE DISEÑO.	29
2.6 ANÁLISIS DE FUNCIONAMIENTO DE VASO.	33
2.7 TRÁNSITO DE AVENIDAS POR EL VASO.	43
<b>3.0 ESTUDIO DE BANCOS DE MATERIALES.</b>	<b>53</b>
3.1 GEOLOGÍA DE LA REGIÓN, VASO Y BOQUILLA.	53
3.2 EXPLORACIONES EN LA BOQUILLA.	54
3.3 LOCALIZACIÓN DE BANCOS DE MATERIALES.	55
3.4 EXPLORACIÓN Y MUESTREO.	57
3.5 RESULTADOS DE PRUEBAS ÍNDICE Y CARACTERÍSTICAS DE LOS BANCOS DEFINITIVOS.	60
3.6 PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS MATERIALES.	69
3.7 PARÁMETROS PARA EL DISEÑO DE LA SECCIÓN DE LA CORTINA.	73

## ÍNDICE DE FIGURAS, TABLAS Y ANEXOS.

	PÁG.
<b>• ESTUDIO HIDROLÓGICO.</b>	
FIGURA No. 2-1	11
FIGURA No. 2-2	13
FIGURA No. 2-3	36
FIGURA No. 2-4	36
FIGURA No. 2-5	44
FIGURA No. 2-6	45
FIGURA No. 2-7	46
TABLA No. 2-1	15
TABLA No. 2-2	16
TABLA No. 2-3	20
TABLA No. 2-3A	21
TABLA No. 2-4	22
TABLA No. 2-4A	23
TABLA No. 2-5	24
TABLA No. 2-6	25
TABLA No. 2-7	26
TABLA No. 2-8	26
TABLA No. 2-9	28
TABLA No. 2-10	31
TABLA No. 2-11	34
TABLA No. 2-12	37
TABLA No. 2-13	40
TABLA No. 2-14A	48
LONGITUD DE VERTEDOR =	8.00 m.
PERIODO DE RETORNO =	500 años.

	<b>PÁG.</b>
<b>4.0 DISEÑO GEOTÉCNICO DE LA CORTINA.</b>	<b>97</b>
4.1 SECCIÓN PROPUESTA.	98
4.2 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LA CORTINA.	100
4.3 REVISIÓN POR TUBIFICACIÓN.	113
4.4 ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS EN LA CORTINA.	119
<b>5.0 DISEÑO HIDRAULICO DEL VERTEDOR DE EXCEDENCIAS Y OBRA DE TOMA.</b>	<b>135</b>
5.1 CÁLCULO DEL PERFIL DEL CIMACIO.	136
5.2 CÁLCULO DEL PERFIL HIDRAULICO EN LA OBRA DE EXCEDENCIAS.	136
5.3 DISEÑO DE LA OBRA DE TOMA.	140
<b>6.0 IMPACTO AMBIENTAL.</b>	<b>159</b>
6.1 DATOS GENERALES.	159
6.2 ETAPA DE SELECCIÓN DEL SITIO.	161
6.3 ASPECTOS GENERALES DEL MEDIO NATURAL Y SOCIO ECONÓMICO.	166
6.4 NORMAS Y REGULACIONES SOBRE USO DEL SUELO.	173
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.</b>	<b>175</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>183</b>

		PÁG.
TABLA No. 2-14B	TRÁNSITO DE AVENIDAS POR VASO.	49
	LONGITUD DE VERTEDEDOR = 10.00 m.	
	PERIODO DE RETORNO = 500 años.	
TABLA No. 2-14C	TRÁNSITO DE AVENIDAS POR VASO.	50
	LONGITUD DE VERTEDEDOR = 8.00 m.	
	PERIODO DE RETORNO = 1,000 años.	
TABLA No. 2-14D	TRÁNSITO DE AVENIDAS POR VASO.	51
	LONGITUD DE VERTEDEDOR = 10.00 m.	
	PERIODO DE RETORNO = 1,000 años.	
TABLA No. 2-15	CURVA DE GASTO PARA DIFERENTES ANCHOS DE VERTEDEDOR.	52

• **ESTUDIO DE BANCO DE MATERIALES.**

TABLA No. 3-1	RESUMEN DE CARACTERÍSTICAS ÍNDICE ( MATERIAL IMPERMEABLE ).	63
TABLA No. 3-2	RESUMEN DE CARACTERÍSTICAS ÍNDICE ( MATERIAL PERMEABLE ).	67
TABLA No. 3-3	RESUMEN DE PROPIEDADES DE RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE.	71
ANEXO No. 3-1	PERFILES ESTRATIGRÁFICOS.	74
ANEXO No. 3-2	GRÁFICAS GRANULOMÉTRICAS.	81
ANEXO No. 3-3	RESULTADOS DE PRUEBAS TRIAXIALES.	88
ANEXO No. 3-4	GRÁFICAS DE CONSOLIDACIÓN.	93

• **DISEÑO GEOTÉCNICO DE LA CORTINA.**

FIGURA No. 4-1	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD POR EL MÉTODO DE <i>BISHOP MODIFICADO</i> .	101
FIGURA No. 4-2	LÍNEA SUPERIOR DE FLUJO ( TEORÍA DE <i>VAN ITERSON</i> ).	105
FIGURA No. 4-3	PRESA PALO GORDO. LÍNEA SUPERIOR DE FLUJO AL NIVEL DE LA OBRA DE TOMA.	108
FIGURA No. 4-4	ANÁLISIS DEL TALUD AGUAS ABAJO.	111
FIGURA No. 4-5	ANÁLISIS DEL TALUD AGUAS ARRIBA.	112
FIGURA No. 4-6	PRESA PALO GORDO. LÍNEA SUPERIOR DE FLUJO AL N.A.M.E.	115
FIGURA No. 4-7	RED DE FLUJO A PRESA LLENA.	116

TABLA No. 4-1	CÁLCULO DE LAS COORDENADAS DE LA LÍNEA SUPERIOR DE FLUJO ( NIVEL OBRA DE TOMA ).	107
TABLA No. 4-2	RESUMEN DEL ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LA PRESA PALO GORDO ( FACTORES DE SEGURIDAD OBTENIDOS ).	109
TABLA No. 4-3	CÁLCULO DE LAS COORDENADAS DE LA LÍNEA SUPERIOR DE FLUJO ( N.A.M.E. ).	114
TABLA No. 4-4	CÁLCULO DE CARGAS POR UNIDAD DE ÁREA A DIFERENTES NIVELES DE LA CORTINA.	124
TABLA No. 4-5	CÁLCULO DE CARGAS ADICIONALES POR UNIDAD DE ÁREA A DIFERENTES NIVELES DE LA CORTINA.	125
TABLA No. 4-6	ESFUERZOS PRODUCIDOS POR CARGAS UNIFORMEMENTE REPARTIDAS.	126
TABLA No. 4-7	CÁLCULO DE ASENTAMIENTOS.	128
ANEXO No. 4-1	CORRIDAS TIPO DEL PROGRAMA DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD.	130

• **DISEÑO HIDRÁULICO DEL VERTEDOR DE EXCEDENCIAS Y OBRA DE TOMA.**

FIGURA No. 5-1	DIAGRAMA DEL MODELO HIDRÁULICO DEL VERTEDOR.	137
FIGURA No. 5-2	PERFIL DE FLUJO EN LA OBRA DE EXCEDENCIAS.	139
ANEXO Nº. 5-1	CÁLCULO DE TIRANTES EN EL VERTEDOR DE EXCEDENCIAS.	145
ANEXO Nº. 5-2	PLANO GENERAL DEL PROYECTO.	158'

## INTRODUCCIÓN.

Dentro del ámbito de la Ingeniería de Presas, un almacenamiento pequeño no debe considerarse como un proyecto de grande irrigación en pequeña escala. Es cierto que los componentes principales tales como, el vaso, la cortina, el vertedor de excedencias y la obra de toma son semejantes, pero el planteamiento de un diseño apropiado conlleva a dar soluciones a problemas particulares, que en ocasiones por la magnitud de la inversión en este tipo de obras, no se justifican estudios excelentemente detallados y mucho menos con la ayuda de especialistas de las diferentes ramas que intervienen en la elaboración de los estudios básicos y el diseño de la obra de almacenamiento, salvo casos muy particulares.

Sin embargo, la falla de una cortina pequeña ubicada en las inmediaciones de una zona habitada, sea cual sea el motivo de dicha falla ( inestabilidad, deformación excesiva, desbordamiento, tubificación en la cortina o cimentación, etc.), puede resultar de consecuencias catastróficas desde el punto de vista humano y económico. Por lo anterior, resulta de carácter necesario e indispensable, que el proyecto de una presa de almacenamiento pequeño, contemple, dentro de sus limitaciones, todos aquellos aspectos técnicos aplicables a su diseño y construcción.

Como puede percibirse, es fundamental en este tipo proyectos, la preparación técnica del ingeniero proyectista, ya que durante el desarrollo de las actividades correspondientes, debe manejar con habilidad áreas como la topografía, hidrología, hidráulica, mecánica de suelos, y estructuras, y además tener buenos conocimientos de geología, probabilidad y estadística, métodos de construcción y evaluación de proyectos.

Todos estos campos pertenecen a la ingeniería civil y tradicionalmente se imparten a nivel universitario, sin embargo, la manifiesta tendencia a la especialización del ingeniero, ha desvirtuado el objetivo principal de esta carrera y hoy en día se requiere de diferentes especialistas para resolver los problemas de cada una las áreas involucradas.

Por lo anterior y por la limitación presupuestal que normalmente tienen este tipo de proyectos, se puede decir, que por más detallada que sea la información básica recabada a nivel de gran visión, será insuficiente para los fines específicos de este tipo de obra.

En el presente trabajo, se exponen de manera breve, los estudios básicos realizados para el diseño de la Presa 'Palo Gordo' correspondientes a:

- **HIDROLOGÍA:**

Para cuantificar el escurrimiento de la cuenca, el gasto máximo y volumen de avenidas.

- **GEOTÉCNIA:**

Para determinar las características geológicas del sitio de la boquilla y el vaso; la búsqueda y selección de materiales para la construcción de la cortina y estructuras complementarias; y el diseño de la cortina y su respectivo análisis de seguridad contra inestabilidad, tubificación y asentamientos.

- **HIDRÁULICA:**

Para elaborar el diseño geométrico que permita el control del gasto excedente a la capacidad de operación y en consecuencia un buen funcionamiento hidráulico de la obra.

- **INGENIERÍA AMBIENTAL:**

Para determinar un informe preventivo de los impactos ecológicos que se generarán por la construcción de la presa 'Palo Gordo', y sus formas de mitigación.

Es muy importante mencionar que el presente trabajo **no** es una exposición de las diferentes teorías en el diseño geotécnico e hidráulico de presas, sino que en él sólo se han desglosado en cuatro capítulos los aspectos teóricos particulares que se consideraron más relevantes en el desarrollo del proyecto en estudio, desechando en muchos de los casos la descripción de las diferentes variantes teóricas que pueden ser empleadas en cada uno de los casos, por cuestión de brevedad en el desarrollo del mismo, lo cual no implica, que sean de menor importancia técnica, ni mucho menos que no se hayan considerado en el análisis para la elección del procedimiento de cálculo más apropiado para nuestro caso en particular.

Es necesario puntualizar el enfoque principal del presente escrito, consistente en la presentación de una aplicación sencilla y práctica de los conocimientos obtenidos a nivel licenciatura de la carrera de ingeniería civil, al diseño de una presa de tierra, que sin duda alguna es una de las obras civiles más importantes dentro del campo de la ingeniería. Y especialmente, enfatizar en todas las aportaciones técnicas de la Mecánica de suelos que han contribuido al mejor conocimiento del comportamiento de los suelos y en consecuencia de mejores logros dentro de la ingeniería de presas.

## 1.0 GENERALIDADES.

El Gobierno del Estado de México, encomendó a la Secretaría de Desarrollo Agropecuario (S.E.D.A.G.R.O.) atender las necesidades de vital importancia en la zona sur del Estado dentro del ámbito del sector agropecuario, por lo que esta Secretaría, tiene como uno de sus objetivos, desarrollar la infraestructura de irrigación de la zona, tendiente a mejorar las condiciones socioeconómicas de sus habitantes. Dentro de este desarrollo, se tiene conceptualizado construir una presa de almacenamiento sobre el arroyo Puerta Vieja, a 2.5 km. del poblado de Palo Gordo, en el Municipio de Tejupilco de Hidalgo, Estado de México.

El objetivo fundamental de la realización del proyecto de almacenamiento, es de dotar de infraestructura hidráulica adecuada a los habitantes de los poblados de Palo Gordo, Cuadrilla Vieja, Sesteadero de Abajo y Sesteadero de Arriba, para que puedan desarrollar las actividades económicas, primordialmente actividades agropecuarias, con mayor eficiencia sobre los cultivos de temporal.

El objetivo principal de la construcción de la presa es aprovechar los escurrimientos superficiales del arroyo Puerta Vieja, para generar el almacenamiento. La obra proyectada que se construirá, es una presa de tierra de sección homogénea con una capacidad útil de 600,000 metros cúbicos, que se destinará a los siguientes usos: RIEGO, ABREVADERO DE GANADO Y USOS DOMÉSTICOS.

Con la construcción de la presa de almacenamiento se tendrá capacidad para riego con una extensión de 200 hectáreas y suministro de agua para uso doméstico, abrevar ganado vacuno, caprino, porcino y aves de corral.

Los beneficios económicos que se obtendrán, consisten en una fuente de empleo temporal durante la etapa de construcción de la presa y, al concluir la construcción, en un aumento de la producción agrícola y pecuaria del orden de 100.00 % sobre la producción actual. Estos beneficios se distribuirán en las familias que integran los poblados anteriormente descritos.

## **2.0 ESTUDIO HIDROLÓGICO.**

### **2.1 OBJETIVO DEL ESTUDIO.**

El objetivo particular del estudio hidrológico, consiste en realizar un análisis para determinar si existe disponibilidad de abastecimiento de agua adecuado de la fuente natural en estudio, el arroyo "Puerta Vieja", para la construcción de una estructura de almacenamiento y a su vez, realizar el diseño adecuado de su estructura reguladora de volúmenes excedentes.

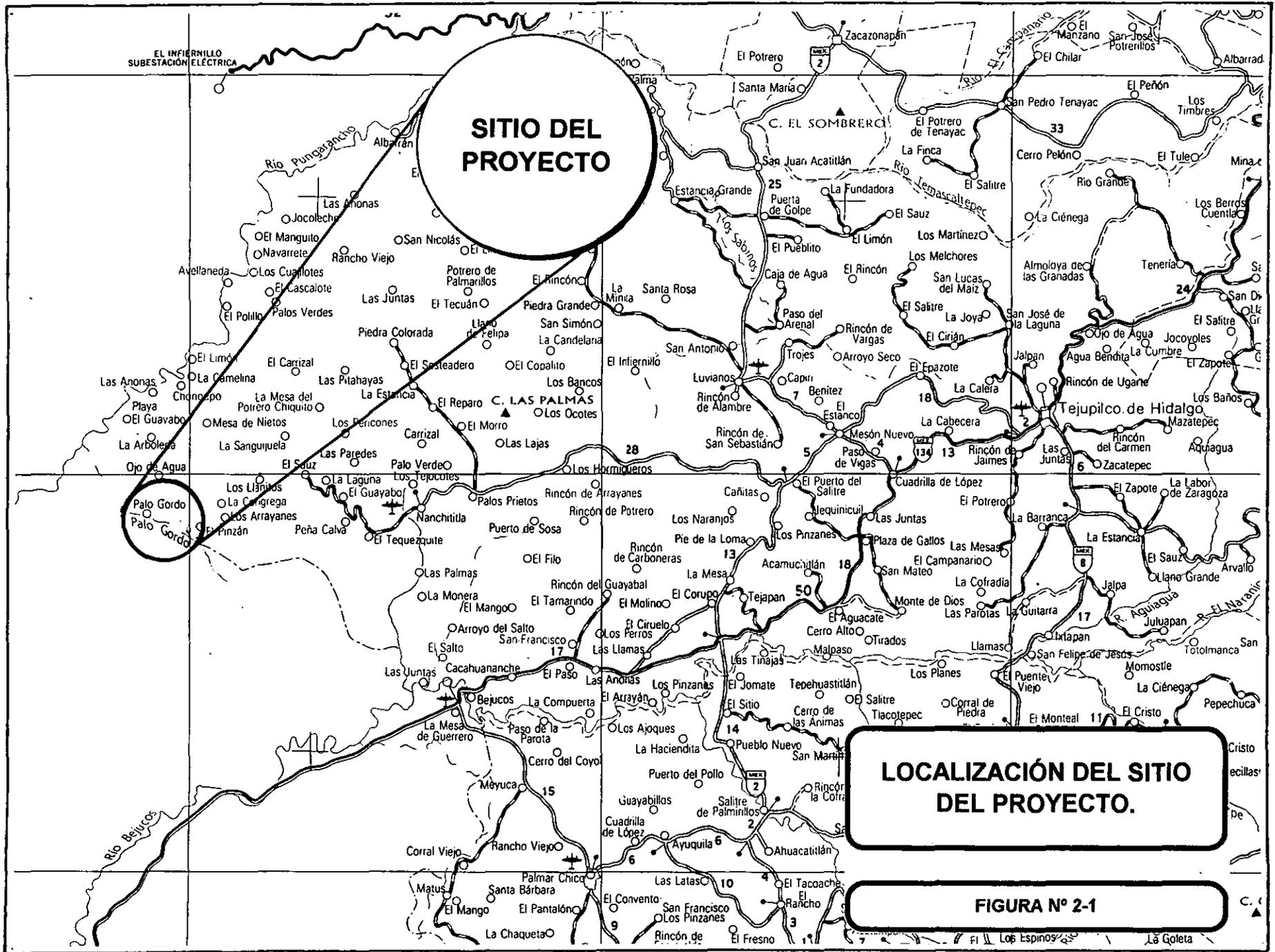
### **2.2 UBICACIÓN DEL SITIO DEL PROYECTO.**

La zona en estudio se localiza a 102 Km. de la ciudad de Toluca, partiendo por la carretera federal No. 134 Toluca - Ciudad Altamirano - Zihuatanejo (camino pavimentado); a 13 km. adelante del pueblo de Tejupilco de Hidalgo, en la localidad de Cuadrilla de López, se toma la desviación hacia la derecha con dirección a Luvianos; a 4 km., al llegar a la localidad de Mesón Nuevo, punto donde termina el camino pavimentado, se toma la desviación a la izquierda, rumbo a Cañadas de Nanchititla, que se localiza a 33 km. sobre terracería, pasando esta población, a 18 km. sobre brecha, se llega al sitio del proyecto, en la localidad de Palo Gordo ( Ver FIGURA No. 2-1 LOCALIZACIÓN DEL SITIO DEL PROYECTO. ).

Desde el punto de vista hidrológico, el sitio del proyecto se localiza en la región hidrológica No 18, denominada Cuenca del Medio y Bajo Balsas. Geográficamente la boquilla de la presa se ubica en las coordenadas: 100° 34' 17" de Longitud Oeste y de Latitud Norte 18° 51' 30".

### **2.3 CARACTERÍSTICAS TOPOGRÁFICAS Y FISIOGRÁFICAS DEL PROYECTO.**

En este capítulo se describen los procedimientos seguidos para el análisis de la topografía del sitio del proyecto y la obtención de las principales características fisiográficas de la cuenca del Arroyo en estudio.



Dentro de éstas características mencionaremos, tanto las que condicionan el volumen del escurrimiento ( área de la cuenca y tipo de suelo existente ), como las que condicionan la velocidad de respuesta del escurrimiento de la cuenca ante una precipitación ( pendiente del cauce principal y número de orden de corrientes en la cuenca en estudio ).

### 2.3.1 DELIMITACIÓN DE LA CUENCA.

Para la delimitación de la cuenca, se localizó el sitio del proyecto en la carta topográfica denominada **BEJUCOS**, con clave **E14A55** escala 1:50,000 editada por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (I.N.E.G.I.) y en base a esa topografía se determinó la línea del parteaguas que limita la cuenca del Arroyo "Puerta Vieja" ( Ver **FIGURA No. 2-2 CUENCA DEL ARROYO "PUERTA VIEJA"**. ).

El área de la cuenca (  $A_c$  ) se obtuvo mediante el uso de un planímetro obteniéndose un área de  $A_c = 4.801 \text{ Km}^2$ ; y se determinó que la cuenca en estudio es de tipo exorreica desde el punto de vista de que su salida se encuentra en los límites de la cuenca; así como de que se trata de una cuenca de magnitud pequeña.

### 2.3.2 PERFIL DEL CAUCE PRINCIPAL.

El perfil del cauce principal se determinó utilizando el plano antes mencionado y con ayuda de un longímetro se determinó la longitud total (  $L$  ) de éste obteniéndose una longitud de  $L = 3.460 \text{ Km}$ .

También se determinó mediante un análisis visual de las corrientes tributarias existentes, que la corriente principal es de un número de orden igual a cuatro (4), es decir, un valor considerado como alto, por lo que es de esperarse una rápida respuesta de escurrimiento en la cuenca ante una precipitación pluvial.

Desde el punto de vista de la ingeniería hidrológica, el cauce principal se clasificó como una corriente de tipo intermitente y topográficamente como un arroyo de transición.

### 2.3.3 PENDIENTE DEL CAUCE PRINCIPAL.

Para calcular la pendiente del cauce principal, existe el criterio de la "recta equivalente", en el cual la pendiente promedio del cauce principal es igual a la pendiente de una línea recta que apoyada en el extremo de aguas abajo del perfil hace que se tengan áreas iguales entre el perfil del cauce arriba y abajo de dicha recta.

También dicha pendiente puede ser estimada como un valor medio igual al desnivel entre el punto de inicio y el punto final del tramo estudiado del cauce principal, dividido entre la longitud media del mismo vista en planta ( $S_m = \Delta H / L_m$ ).

ESCALA 1:50,000



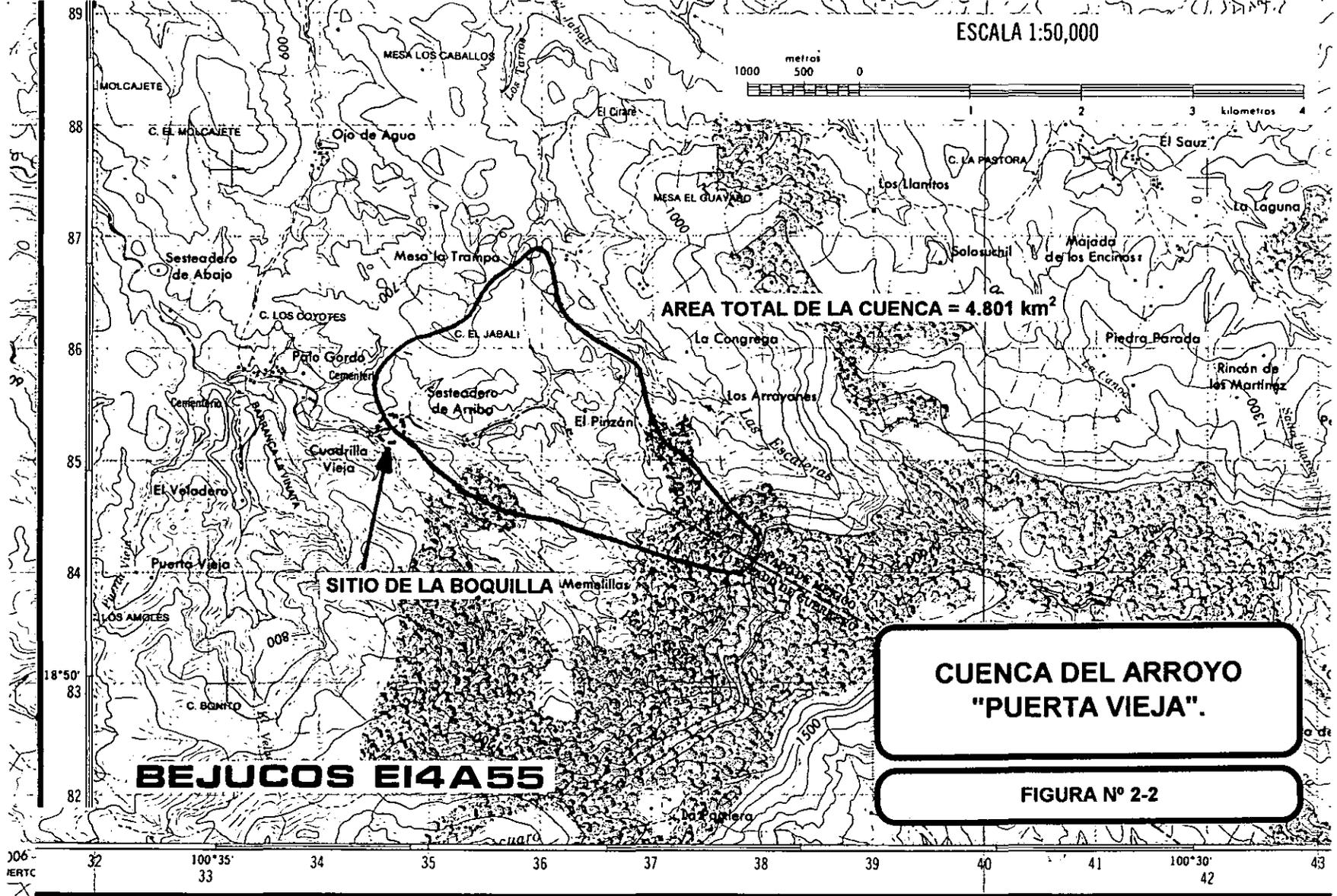
AREA TOTAL DE LA CUENCA = 4.801 km<sup>2</sup>

CUENCA DEL ARROYO  
"PUERTA VIEJA".

FIGURA N° 2-2

BEJUCOS E14A55

SITIO DE LA BOQUILLA Memellillas



106 32 100°35' 33 34 35 36 37 38 39 40 100°30' 42 43  
NERTC

En virtud de que la pendiente del cauce principal es uno de los indicadores más importantes del grado de respuesta de escurrimiento sobre una cuenca ante una tormenta; y conociendo de antemano que dicho parámetro generalmente varía a lo largo del cauce, se consideró que los métodos para su estimación antes descritos no resultan lo suficientemente aproximados para su evaluación, por lo que esta pendiente se calculó aplicando la fórmula de Taylor - Schwarz para longitudes de tramos diferentes y utilizando el perfil determinado anteriormente de la carta topográfica ya mencionada, la fórmula referida es la siguiente:

$$S = [ L / ( ( L_1 / ( ( S_1 )^{0.5} ) ) + ( L_2 / ( ( S_2 )^{0.5} ) ) + ( L_3 / ( ( S_3 )^{0.5} ) ) + \dots + ( L_i / ( ( S_i )^{0.5} ) ) ) ]^2$$

Donde :

L = Longitud del cauce principal, en [ m. ].

L<sub>i</sub> = Longitud del tramo i, en [ m.].

S<sub>i</sub> = Pendiente del tramo i.

La aplicación de esta fórmula se muestra en la **TABLA No. 2-1 CÁLCULO DE LA PENDIENTE DEL CAUCE DEL ARROYO "PUERTA VIEJA", POR EL MÉTODO DE TAYLOR - SCHWARZ**, obteniendo un resultado de **S= 9.198 %**. En los cálculos subsecuentes en que se requiera de este parámetro, se ha utilizado el valor obtenido mediante este método.

### 2.3.4 NÚMERO DE ESCURRIMIENTO.

Mediante el apoyo de las cartas de Uso del Suelo y Edafología escala 1:250,000 editadas por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (I.N.E.G.I.), se determinó el Número de Escurrimiento ( N ), el cual es un parámetro hidrológico de la cuenca que indica el potencial para producir escurrimientos cuando los suelos no están congelados, de manera que un valor alto genera grandes escurrimientos y viceversa.

Este número involucra para su definición términos como: uso del terreno, tratamiento o práctica, y por otra parte condición hidrológica. Para este caso en particular el número de escurrimiento tiene un valor de **N = 59.001**, en la **TABLA No. 2-2 CÁLCULO DEL NÚMERO DE ESCURRIMIENTO ( N )**, se muestra el procedimiento de cálculo.

### 2.4 RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN HIDROMÉTRICA Y CLIMATOLÓGICA.

La cuenca aportadora del Arroyo Puerta Vieja, no cuenta con estación hidrométrica, por lo que los escurrimientos se generaron mediante el apoyo de la información de lluvias mensuales registradas por las estaciones cercanas a la zona de proyecto.

TABLA No.2-1

**CÁLCULO DE LA PENDIENTE DEL CAUCE DEL ARROYO 'PUERTA VIEJA', POR EL MÉTODO DE TAYLOR - SCHWARZ.**

ELEVACIÓN m	DISTANCIA m	DIFERENCIA DE ELEVACION m	DIFERENCIA DE DISTANCIA m	PENDIENTE ( S ) m/m	$\frac{Li}{(Si)^{0.5}}$
1,320.0	0.0				
1,300.0	25.0	20.0	25.0	0.8000	27.9508
1,200.0	175.0	100.0	150.0	0.6667	183.7117
1,100.0	375.0	100.0	200.0	0.5000	282.8427
1,000.0	425.0	100.0	50.0	2.0000	35.3553
900.0	725.0	100.0	300.0	0.3333	519.6152
880.0	775.0	20.0	50.0	0.4000	79.0569
860.0	925.0	20.0	150.0	0.1333	410.7919
840.0	1,000.0	20.0	75.0	0.2667	145.2369
820.0	1,150.0	20.0	150.0	0.1333	410.7919
800.0	1,175.0	20.0	25.0	0.8000	27.9508
780.0	1,250.0	20.0	75.0	0.2667	145.2369
760.0	1,350.0	20.0	100.0	0.2000	223.6068
740.0	1,500.0	20.0	150.0	0.1333	410.7919
720.0	1,650.0	20.0	150.0	0.1333	410.7919
700.0	1,760.0	20.0	110.0	0.1818	257.9729
620.0	3,460.0	80.0	1,700.0	0.0471	7,836.6128
					11,408.3175

PENDIENTE DEL CAUCE	0.091983302
PENDIENTE EN %	9.1983%

TABLA No. 2-2

**CÁLCULO DEL NÚMERO DE ESCURRIMIENTO ( N ).**

USO DE SUELO Y VEGETACIÓN	ÁREA DE LA CUENCA km <sup>2</sup>	% DEL ÁREA
Selva baja caducifolia	1.92	40.0%
Bosque de Encino	2.64	55.0%
Bosque de Pino - Encino	0.24	5.0%
<b>ÁREA TOTAL:</b>	<b>4.80</b>	<b>100.0%</b>

**EDAFOLOGÍA**

TIPO DE SUELO	ÁREA km <sup>2</sup>	%	TIPO DE SUELO	NÚMERO DE ESCURRIMIENTO	Np
Selva baja caducifolia Regosol eutríco ( Re )	1.92	100.0%	B	60	60.0
Bosque de Encino Regosol eutríco	1.056	40.0%	B	52	20.8
Feozem eutríco	1.585	60.0%	C	62	37.2
					<b>58.0</b>
Bosque de Pino - Encino Acrisol ortico	0.24	100.0%	C	62	62.0
<b>NÚMERO DE ESCURRIMIENTO:</b>					
<b><math>N = ( 0.4 \cdot 60 ) + ( 0.55 \cdot 58 ) + ( 0.05 \cdot 62 ) =</math></b>				<b>59.0</b>	

Las estaciones climatológicas consideradas para la determinación de los escurrimientos fueron localizadas con apoyo del boletín hidrológico No. 49 de la región hidrológica No. 18 ( parcial ), cuenca del Medio y Bajo Balsas, siendo estas:

- La estación climatológica BEJUCOS, cuyo periodo de observación es de 1963 - 1984.
- La estación climatológica de PALMAR CHICO, con un período de observación de 1963 - 1984.

Es importante mencionar, que para la realización de este tipo de análisis es necesario contar con un mínimo de 20 años de registro, para considerarlos como representativos de las condiciones en la cuenca.

En particular, la estación climatológica PALMAR CHICO fue considerada como la estación base para llevar acabo los análisis necesarios para el dimensionamiento de la presa de almacenamiento en cuestión, la forma de aplicación de estos registros se muestra más adelante.

#### **2.4.1 ANÁLISIS Y GENERACIÓN DE LA INFORMACIÓN HIDROLÓGICA.**

La información básica utilizada de volúmenes de escurrimiento anual, mensual y gastos máximos anuales, son series cronológicas en las cuales es posible determinar sus principales parámetros estadísticos como son, la media, la desviación estándar y el coeficiente de correlación entre otros, y de los cuales se puede observar si existen tendencias marcadas o variaciones en la distribución de resultados. Estas anomalías son producidas por la pérdida de homogeneidad y la inconsistencia de los datos obtenidos.

##### **2.4.1.1 ESCURRIMIENTO.**

Teniendo el inconveniente de que no existe estación hidrométrica en el sitio de estudio, es necesario estimar o inferir el régimen hidrológico del Arroyo en el sitio de proyecto.

Existen diferentes criterios para estimar los volúmenes escurridos en el sitio de una corriente, clasificándose en dos grupos:

- ( 1 ) Los métodos que se basan en el transporte de la información hidrométrica de una estación de aforos cercana.
- ( 2 ) Los métodos que se basan en la información climatológica disponible.

En este caso en particular, se aplicó el segundo método, considerando la información registrada en la estación climatológica Palmar Chico, para el periodo 1963 - 1984.

Este método es el propuesto por el Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos de Norteamérica ( S.C.S. ), en el cual el aspecto fundamental es la determinación del coeficiente de escurrimiento (  $C_e$  ).

Según el método mencionado, el coeficiente de escurrimiento (  $C_e$  ) depende de tres factores principales, que son:

- **PRECIPITACIÓN:**

Se hace intervenir en los cálculos, la precipitación total de cada año.

- **TIPO DE SUELO:**

Los suelos se clasifican en tres tipos diferentes:

A) Suelos muy permeables, como arenas y loes poco compactos.

B) suelos medianamente permeables, como arenas y loes medianamente compactos.

C) Suelos impermeables, como limos, loes y arcillas.

- **USO DEL SUELO ( O CUBIERTA ):**

Dentro de los usos se clasifican los cultivos, pastizales, bosques, áreas incultas, áreas desnudas, zonas edificadas, caminos, pradera permanente, etc.

La expresión para calcular el coeficiente de escurrimiento en la que se basa este método, es la siguiente:

$$C_e = [ K ( P - 250 ) / 2000 ] + [ ( K - 0.15 ) / 1.5 ]$$

Donde:

$C_e$  = Coeficiente de escurrimiento anual.

$P$  = Precipitación anual, en [ mm. ].

$K$  = Parámetro adimensional que depende del tipo y uso del suelo.

Una vez conocido el coeficiente de escurrimiento (  $C_e$  ), se multiplica por el área de la cuenca, y este producto por cada una de las alturas de precipitación mensual, para obtener los volúmenes de escurrimiento mensual en cada uno de los años de registro.

Los resultados obtenidos se muestran en las tablas :

**TABLA No. 2-3            CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO.**

**TABLA No. 2-3A        VALORES DE K.**

**TABLA No. 2-4        REGISTRO DE LLUVIA MEDIA MENSUAL.**

**TABLA No. 2-4A        VOLÚMENES DE ESCURRIMIENTO MENSUAL.**

Cabe hacer la aclaración de la existencia de las estaciones climatológicas El Organal, Churumuco e Ixtapilla cercanas al sitio del proyecto, pero debido a que sus registros de datos de escurrimiento se encuentran muy incompletos, se optó por realizar el análisis correspondiente con los datos de la estación climatológica Palmar Chico y posteriormente revisar con los datos registrados en la climatológica Bejucos, llegando a la conclusión de que era indistinto utilizar una u otra estación, adoptándose finalmente los datos registrados en la estación climatológica Palmar Chico.

#### **2.4.1.2 PRECIPITACIÓN.**

En la cuenca del Arroyo "Puerta Vieja", tampoco existe estación climatológica, pero cercana a ella, como ya se mencionó, se encuentran las estaciones climatológicas El Organal, Churumuco, Ixtapilla, Bejucos y Palmar Chico.

Para el análisis de la lluvia se considero el registro de lluvias máximas en 24 horas registrado en las estaciones climatológicas de Bejucos cuyo periodo de registro es de 31 años ( 1953 - 1983 ) y Palmar Chico con periodo de observación de 22 años ( 1963 - 1984 ), ambos registros se muestran en las tablas:

**TABLA No. 2-5            PALMAR CHICO: PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS.**

**TABLA No. 2-6            BEJUCOS: PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS.**

A los registros de lluvias máximas en 24 horas señalados en las **TABLAS No. 2-5 y 2-6**, se les aplicaron diferentes funciones de distribución de probabilidad, con el fin de determinar cual de las funciones aplicadas presenta un mejor ajuste con respecto a los datos de la población muestral.

La función que presenta mejor ajuste a los datos de la población muestral de la estación climatológica Palmar Chico es la función de Gumbel y para los datos de la estación climatológica de Bejucos es el limite superior de la función de Nash como se puede observar en las siguientes tablas, donde se muestran los resultados obtenidos mediante la aplicación de las funciones de distribución de probabilidad mencionadas.

**TABLA No. 2-7            BEJUCOS: DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDADES  
( PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS ).**

**TABLA No. 2-8            PALMAR CHICO: DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDADES  
( PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS ).**

TABLA No. 2-3

**CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO ( Ce )**

$$Ce = ( k ( P - 250 ) / 2000 ) + ( K - 0.15 ) / 1.5$$

Ce = Coeficiente de escurrimiento anual; [ adimensional ].

P = Precipitación anual; [ mm.].

K = Parámetro que depende del tipo y uso de suelo; [ adimensional ].

EDAFOLOGÍA	%	CLAVE
Regosol eutrico ( Re )	80	B
Feozen haplico ( Hh )	15	C
Acrisol ortico ( Ao )	5	C

**USO DE SUELO**

Selva baja caducifolia ( Bc )	40
Bosque de Encino ( Q )	55
Bosque de Pino - Encino ( Pq )	5

**CALCULO DE K :**

Selva baja caducifolia ( Bc ).-	0.26 * 0.40 =	<b>0.104</b>
Bosque de Encino ( Q ).-	0.26 * 0.55 =	<b>0.143</b>
Bosque de Pino - Encino ( Pq ).-	0.30 * 0.05 =	<b>0.015</b>

<b>K = 0.262</b>
------------------

**VALORES OBTENIDOS DEL COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO ( Ce ).**

AÑO	Ce	AÑO	Ce
1963	0.233	1974	0.168
1964	0.281	1975	0.166
1965	0.254	1976	0.201
1966	0.191	1977	0.187
1967	0.231	1978	0.181
1968	0.267	1979	0.176
1969	0.159	1980	0.198
1970	0.201	1981	0.243
1971	0.148	1982	0.221
1972	0.148	1983	0.187
1973	0.192	1984	0.207

TABLA No. 2-3A

**VALORES DE K.**

USO O CUBIERTA DEL SUELO	TIPO DE SUELO			
	A	B	C	
Barbecho, áreas incultas y desnudas.	0.26	0.28	0.30	
<b>CULTIVOS:</b>				
En hilera.	0.24	0.27	0.30	
Legumbres o rotación de pradera.	0.24	0.27	0.30	
Granos pequeños.	0.24	0.27	0.30	
<b>PASTIZAL :</b>				
% De suelo cubierto o pastoreo.				
Más del 75%.	( Poco ).	0.14	0.20	0.28
Del 50 al 75%.	( Regular ).	0.20	0.24	0.30
Menos del 50%.	( Excesivo ).	0.24	0.28	0.30
<b>BOSQUE :</b>				
Cubierto más del 75%.	0.07	0.16	0.24	
Cubierto del 50 al 75%.	0.12	0.22	0.26	
Cubierto del 25 al 50%.	0.17	0.26	0.28	
Cubierto menos del 25%.	0.22	0.28	0.30	
Cascos y zonas con edificaciones.	0.26	0.29	0.32	
Caminos, incluyendo derecho de vía.	0.27	0.3	0.33	
Pradera permanente.	0.18	0.24	0.30	

PROYECTO: PRESA PALO GORDO, TEJUPILCO, ESTADO DE MÉXICO.

TABLA No. 2-4 REGISTRO DE LLUVIA MEDIA MENSUAL ( PERIODO: 1963 - 1984 )

ESTACIÓN: PALMAR CHICO

AÑO	ÁREA km <sup>2</sup>	Ce ANUAL	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL ANUAL	MEDIA ANUAL
1963	4.80	0.233	0.00	0.00	12.90	0.00	59.20	136.20	389.20	376.20	287.80	193.10	2.50	0.00	1457.10	121.43
1964	4.80	0.281	0.00	0.00	0.00	20.00	30.10	419.20	408.80	230.60	533.00	79.90	95.40	5.80	1822.80	151.90
1965	4.80	0.254	8.00	13.80	0.00	5.20	12.80	133.30	545.60	388.40	302.70	204.10	3.10	1.50	1618.50	134.88
1966	4.80	0.191	0.50	0.00	12.00	17.80	38.70	186.10	277.00	294.20	213.00	96.70	0.00	0.00	1136.00	94.67
1967	4.80	0.231	96.60	0.00	10.30	4.20	53.50	385.00	215.70	363.00	312.10	0.00	0.00	2.80	1443.20	120.27
1968	4.80	0.267	0.00	7.40	12.30	0.00	58.40	315.20	411.20	256.10	383.00	221.40	51.30	0.00	1716.30	143.03
1969	4.80	0.159	13.50	0.00	33.30	0.00	7.90	93.80	405.00	0.00	247.50	91.20	0.00	0.00	892.20	74.35
1970	4.80	0.201	0.00	0.00	0.00	0.00	52.00	460.00	319.00	265.70	0.00	118.50	0.00	0.00	1215.20	101.27
1971	4.80	0.148	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	141.70	456.70	0.00	0.00	211.00	1.50	2.00	813.10	67.76
1972	4.80	0.148	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	212.30	259.70	203.50	108.70	22.10	5.20	811.50	67.63
1973	4.80	0.192	0.00	0.00	0.00	27.80	14.30	192.10	236.60	217.90	306.40	131.60	20.90	0.00	1147.60	95.63
1974	4.80	0.168	0.00	5.40	0.00	0.00	24.70	220.40	345.00	262.30	82.10	26.00	0.00	0.00	965.90	80.49
1975	4.80	0.166	3.40	0.00	0.00	0.00	56.60	85.90	171.10	336.00	255.10	35.60	0.00	0.00	943.70	78.64
1976	4.80	0.201	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	56.40	259.30	270.40	388.10	233.70	2.80	5.50	1216.20	101.35
1977	4.80	0.187	0.00	0.00	0.00	2.00	85.30	189.50	305.50	232.50	257.00	36.00	0.00	0.00	1107.80	92.32
1978	4.80	0.181	3.00	3.20	0.00	0.00	6.90	231.30	272.00	255.60	236.00	35.10	0.00	20.10	1063.20	88.60
1979	4.80	0.176	0.00	1.50	0.00	8.20	18.70	171.60	223.90	352.60	199.80	23.20	0.00	25.80	1025.30	85.44
1980	4.80	0.198	127.50	0.00	0.00	17.70	14.50	197.50	175.00	287.20	294.50	49.10	28.30	0.00	1191.30	99.28
1981	4.80	0.243	37.20	0.00	0.00	56.50	0.00	295.50	313.00	351.50	251.00	233.60	0.00	0.00	1538.30	128.19
1982	4.80	0.221	0.00	0.00	0.00	0.00	8.50	382.40	418.20	236.60	323.00	0.00	0.00	0.00	1368.70	114.06
1983	4.80	0.187	0.00	1.50	0.00	11.80	25.50	307.20	276.20	216.60	245.00	11.50	11.20	0.00	1106.50	92.21
1984	4.80	0.207	0.00	0.00	21.80	0.00	0.00	269.80	252.00	372.60	297.10	42.90	6.50	0.00	1262.70	105.23
MEDIA			13.17	1.49	4.66	7.78	25.81	221.37	313.10	264.80	255.35	99.22	11.16	3.12	1221.05	101.75
DESV			33.40	3.38	8.93	13.66	24.96	121.75	98.45	102.03	118.83	82.14	22.79	6.76	282.98	23.58

PROYECTO: PRESA PALO GORDO, TEJUPILCO, ESTADO DE MÉXICO.

TABLA No. 2- 4A VOLUMENES DE ESCURRIMIENTO MENSUAL EN MILES DE M<sup>3</sup>

ESTACIÓN: PALMAR CHICO

AÑO	ÁREA km <sup>2</sup>	Ce ANUAL	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL ANUAL	MEDIA ANUAL
1963	4.80	0.233	0.00	0.00	14.43	0.00	66.22	152.36	435.37	420.83	321.94	216.01	2.80	0.00	1629.96	135.83
1964	4.80	0.281	0.00	0.00	0.00	26.98	40.61	565.53	551.60	311.10	719.06	107.79	128.70	7.82	2459.19	204.93
1965	4.80	0.254	9.76	16.83	0.00	6.34	15.61	162.55	665.33	473.64	369.13	248.89	3.78	1.83	1973.69	164.47
1966	4.80	0.191	0.46	0.00	11.00	16.32	35.49	170.65	254.01	269.78	195.32	88.67	0.00	0.00	1041.70	86.81
1967	4.80	0.231	107.13	0.00	11.42	4.66	59.33	426.98	239.22	402.58	346.13	0.00	0.00	3.11	1600.56	133.38
1968	4.80	0.267	0.00	9.49	15.77	0.00	74.86	404.04	527.10	328.29	490.96	283.81	65.76	0.00	2200.08	183.34
1969	4.80	0.159	10.31	0.00	25.42	0.00	6.03	71.60	309.16	0.00	188.93	69.62	0.00	0.00	681.07	56.76
1970	4.80	0.201	0.00	0.00	0.00	0.00	50.18	443.90	307.84	256.40	0.00	114.35	0.00	0.00	1172.67	97.72
1971	4.80	0.148	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14	100.68	324.51	0.00	0.00	149.93	1.07	1.42	577.75	48.15
1972	4.80	0.148	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	150.85	184.53	144.60	77.24	15.70	3.69	576.61	48.05
1973	4.80	0.192	0.00	0.00	0.00	25.63	13.18	177.08	218.10	200.86	282.44	121.31	19.27	0.00	1057.87	88.16
1974	4.80	0.168	0.00	4.36	0.00	0.00	19.92	177.77	278.27	211.56	66.22	20.97	0.00	0.00	779.07	64.92
1975	4.80	0.166	2.71	0.00	0.00	0.00	45.11	68.46	136.36	267.78	203.31	28.37	0.00	0.00	752.10	62.68
1976	4.80	0.201	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	54.43	250.22	260.94	374.52	225.52	2.70	5.31	1173.64	97.80
1977	4.80	0.187	0.00	0.00	0.00	1.80	76.58	170.13	274.27	208.74	230.73	32.32	0.00	0.00	994.57	82.88
1978	4.80	0.181	2.61	2.78	0.00	0.00	6.00	201.00	236.36	222.11	205.08	30.50	0.00	17.47	923.91	76.99
1979	4.80	0.176	0.00	1.27	0.00	6.93	15.80	145.00	189.19	297.94	168.83	19.60	0.00	21.80	866.36	72.20
1980	4.80	0.198	121.20	0.00	0.00	16.83	13.78	187.74	166.35	273.01	279.95	46.67	26.90	0.00	1132.43	94.37
1981	4.80	0.243	43.40	0.00	0.00	65.92	0.00	344.74	365.16	410.08	292.83	272.53	0.00	0.00	1794.66	149.56
1982	4.80	0.221	0.00	0.00	0.00	0.00	9.02	405.73	443.72	251.04	342.71	0.00	0.00	0.00	1452.22	121.02
1983	4.80	0.187	0.00	1.35	0.00	10.59	22.89	275.80	247.97	194.46	219.96	10.32	10.06	0.00	993.40	82.78
1984	4.80	0.207	0.00	0.00	21.66	0.00	0.00	268.13	250.44	370.29	295.26	42.63	6.46	0.00	1254.87	104.57
MEDIA			13.53	1.64	4.53	8.27	25.94	226.10	310.06	264.36	260.81	100.32	12.87	2.84	1231.29	102.61
DESV			33.98	4.05	8.08	15.43	25.78	147.90	137.08	117.58	157.77	92.88	29.89	5.86	519.84	43.32

PROYECTO: PRESA "PALO GORDO", TEJUPILCO, ESTADO DE MÉXICO.

TABLA No. 2-5 PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS, ORDENADA EN FORMA DECRECIENTE, PERIODO DE RETORNO EN AÑOS Y PROBABILIDAD DE NO EXCEDENCIA.

ESTACIÓN: PALMAR CHICO.

AÑO	LLUVIA [ mm. ]	ORDEN	LLUVIA [ mm. ]	PERIODO DE RETORNO [ Años ]	PROBABILIDAD DE NO EXCEDENCIA
1963	70.0	1	99.0	23.0000	0.956522
1964	77.5	2	85.5	11.5000	0.913043
1965	85.5	3	82.5	7.6667	0.869565
1966	61.5	4	80.8	5.7500	0.826087
1967	53.2	5	77.5	4.6000	0.782609
1968	80.8	6	72.4	3.8333	0.739130
1969	72.4	7	71.5	3.2857	0.695652
1970	82.5	8	70.0	2.8750	0.652174
1971	65.5	9	70.0	2.5556	0.608696
1972	51.4	10	68.5	2.3000	0.565217
1973	60.7	11	68.3	2.0909	0.521739
1974	53.3	12	68.0	1.9167	0.478261
1975	68.5	13	65.5	1.7692	0.434783
1976	68.3	14	61.5	1.6429	0.391304
1977	70.0	15	61.3	1.5333	0.347826
1978	55.5	16	60.7	1.4375	0.304348
1979	99.0	17	59.2	1.3529	0.260870
1980	71.5	18	55.5	1.2778	0.217391
1981	59.2	19	53.3	1.2105	0.173913
1982	68.0	20	53.2	1.1500	0.130435
1983	32.0	21	51.4	1.0952	0.086957
1984	61.3	22	32.0	1.0455	0.043478

PROYECTO: PRESA "PALO GORDO", TEJUPILCO ESTADO DE MÉXICO.

TABLA No. 2-6 PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS, ORDENADA EN FORMA DECRECIENTE, PERIODO DE RETORNO EN AÑOS Y PROBABILIDAD DE NO EXCEDENCIA.

ESTACIÓN: BEJUCOS

AÑO	LLUVIA mm	ORDEN	LLUVIA mm	PERIODO DE RETORNO ( Años )	PROBABILIDAD DE NO EXCEDENCIA
1953	57.5	1	93.1	32.0000	0.968750
1954	57.9	2	90.9	16.0000	0.937500
1955	52.6	3	89.2	10.6667	0.906250
1956	61.0	4	88.0	8.0000	0.875000
1957	67.0	5	80.0	6.4000	0.843750
1958	51.0	6	70.7	5.3333	0.812500
1959	50.0	7	69.0	4.5714	0.781250
1960	88.0	8	67.5	4.0000	0.750000
1961	61.0	9	67.0	3.5556	0.718750
1962	50.8	10	63.0	3.2000	0.687500
1963	63.0	11	62.5	2.9091	0.656250
1964	80.0	12	62.0	2.6667	0.625000
1965	62.0	13	61.0	2.4615	0.593750
1966	62.5	14	61.0	2.2857	0.562500
1967	93.1	15	60.0	2.1333	0.531250
1968	90.9	16	57.9	2.0000	0.500000
1969	60.0	17	57.5	1.8824	0.468750
1970	49.5	18	57.0	1.7778	0.437500
1971	67.5	19	56.5	1.6842	0.406250
1972	89.2	20	53.5	1.6000	0.375000
1973	57.0	21	52.6	1.5238	0.343750
1974	52.0	22	52.0	1.4545	0.312500
1975	40.0	23	51.0	1.3913	0.281250
1976	69.0	24	50.8	1.3333	0.250000
1977	56.5	25	50.0	1.2800	0.218750
1978	44.0	26	49.5	1.2308	0.187500
1979	53.5	27	47.0	1.1852	0.156250
1980	47.0	28	47.0	1.1429	0.125000
1981	70.7	29	44.0	1.1034	0.093750
1982	40.0	30	40.0	1.0667	0.062500
1983	47.0	31	40.0	1.0323	0.031250

PROYECTO: **PRESA "PALO GORDO", TEJUPILCO ESTADO DE MÉXICO.**

TABLA No. 2-7 PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS, PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO, SEGÚN DIFERENTES CRITERIOS DE DISTRIBUCIÓN DE PROBADILIDADES.

ESTACIÓN: **BEJUCOS.** ( PERIODO DE OBSERVACIÓN DE 1953 - 1984 ).

PERIODO DE RETORNO [ Años ]	FULLER	NASH	LEBEDIEV	FOSTER	GUMBEL	LOGARITMICA PERSON III
2	56.8	58.9	60.1	58.6	63.0	58.7
5	72.0	73.1	74.7	72.0	74.8	71.7
10	83.5	82.6	83.8	80.1	83.6	79.8
20	95.0	91.7	92.0	88.3	92.5	88.3
50	110.2	103.4	102.3	98.3	104.3	99.6
100	121.8	112.2	109.5	105.4	113.1	107.9
500	148.5	132.5	125.1	120.9	133.8	127.9
1000	160.0	141.3	131.2	127.7	142.7	136.8
10000	198.2	170.3	152.0	148.2	172.2	168.9

PROYECTO: **PRESA "PALO GORDO", TEJUPILCO ESTADO DE MÉXICO.**

TABLA No. 2-8 PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS, PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO, SEGÚN DIFERENTES CRITERIOS DE DISTRIBUCIÓN DE PROBADILIDADES.

ESTACION: **PALMAR CHICO.** ( PERIODO DE OBSERVACIÓN DE 1963-1984 ).

PERIODO DE RETORNO [ Años ]	FULLER	NASH	LEBEDIEV	FOSTER	GUMBEL	LOGARITMICA PERSON III
2	63.1	64.9	66.4	67.1	68.9	68.3
5	77.4	78.66	80.9	78.6	80.5	79.2
10	88.2	87.78	89.7	84.5	89.3	83.6
20	99.0	96.52	97.4	89.2	98.0	86.8
50	113.3	107.84	107.0	94.9	109.6	89.2
100	124.2	116.32	113.5	98.2	118.3	90.6
500	149.3	135.91	126.9	105.7	138.6	93.9
1000	160.1	144.33	132.1	108.2	147.4	95.7
10000	196.0	172.31	149.7	116.9	176.4	103.3

### 2.4.1.3 EVAPORACIÓN.

La TABLA No. 2-9 REGISTROS DE EVAPORACIÓN, muestra los valores registrados para la evaporación en la estación climatológica Palmar Chico, para el periodo comprendido de 1963 - 1983, y cuyo valor medio anual es de 139.16 mm en el periodo analizado.

### 2.4.1.4 AZOLVES.

Para el cálculo de los azolves existen diferentes métodos como los propuestos por el U.S.B.R., N.A.M.B.A. y el propuesto por Owen y Branson cuyas expresiones matemáticas son las siguientes:

- **MÉTODO DEL U.S.B.R.**

$$As = 1421.80 (Ac)^{-0.229} \quad \dots\dots\dots (1)$$

- **MÉTODO DE N.A.M.B.A.**

$$As = 0.292 (P) + 0.474 (H) - 0.118 (F) + 2.452 \quad \dots\dots\dots (2)$$

- **MÉTODO DE OWEN Y BRANSON.**

$$As = 19465 (H/L) + 4.29 (Ps)^{-604.8} \quad \dots\dots\dots (3)$$

Donde :

As = Aporte de sedimentos, en [ m<sup>3</sup>/Km<sup>2</sup> - año ].

Ac = Área de la cuenca, en [ Km<sup>2</sup> ].

P = Precipitación media anual, en [ mm. ].

H = Desnivel máximo de cotas en la cuenca, en [ m. ].

F = Relación entre las áreas de suelo desnudo y la cubierta con vegetación.

P<sub>s</sub> = Porcentaje del suelo desnudo en la cuenca, en [ % ].

L = Longitud del cauce principal, en [ m. ].

De la aplicación del método propuesto por el U.S.B.R. se determinó que para el sitio de proyecto se tiene un volumen de azolves de **0.250 millones de m<sup>3</sup>**.

TABLA No. 2-9

**REGISTROS DE EVAPORACIÓN.**

<b>MES</b>	<b>EVAPORACIÓN ( mm.)</b>	<b>LLUVIA ( mm.)</b>
1	119.81	13.17
2	138.22	1.49
3	198.16	4.66
4	218.66	7.78
5	192.59	25.81
6	158.33	221.37
7	111.66	313.11
8	134.76	264.81
9	102.86	255.35
10	97.24	99.22
11	93.05	11.16
12	104.63	3.12

## 2.5 DETERMINACIÓN DE LA AVENIDA DE DISEÑO.

### 2.5.1 TIEMPO DE CONCENTRACIÓN (Tc).

Para el cálculo del tiempo de concentración ( Tc ) se analizaron los métodos de Rowe, Kirpich, Chow y el del Servicio de Conservación de Suelos (S.C.S.) adoptándose un valor de **Tc = 0.432 horas**, calculado por el método de Kirpich. Las expresiones matemáticas utilizadas por estos métodos, se muestran a continuación.

- **MÉTODO DE ROWE.**

$$T_c = ( 0.86 * L^2 / s )^{0.385}$$

- **MÉTODO DE KIRPICH.**

$$T_c = 0.000325 ( L / ( s^{0.6} ) )^{0.77}$$

- **MÉTODO DE CHOW.**

$$T_c = 0.00505 ( L / ( s^{0.5} ) )^{0.64}$$

Donde:

Tc = Tiempo de concentración, expresado en [ horas ].

L = Longitud del cauce principal, en [ km. ].

s = Pendiente del cauce principal, calculado como  $\Delta H / L$ , en milésimas.

- **MÉTODO DEL S.C.S.**

$$T_c = ( L^{1.16} ) / ( 3085 * \Delta H )^{0.38}$$

Donde:

Tc = Tiempo de concentración, expresado en [ horas ].

L = Longitud del cauce principal, en [ km. ].

$\Delta H$  = Desnivel máximo, en metros.

### 2.5.2 LLUVIA DE DISEÑO.

Para el cálculo de la lluvia de diseño, la cual estará asociada a una duración igual al de tiempo de concentración, se aplicó el modelo propuesto por Emil Kuishling y C.E. Gransky cuyas expresiones matemáticas son las siguientes:

$$H_p = K T^{(1-e)} / (1-e) \quad \dots\dots(4)$$

$$I_p = K / (1-e) T^e \quad \dots\dots(5)$$

Donde :

- Hp = Altura de precipitación, en [ mm.].
- K = Constante que depende de la altura de precipitación en 24 horas y del Tc.
- e = Factor de intensidad de lluvia, esta en función del Tc, en este caso particular e = 0.80
- T = Duración de la tormenta, en [ horas ].
- Ip = Intensidad de lluvia, en [ mm/hora ].

Para el cálculo del parámetro K, se despeja de la expresión (4), con los datos de la precipitación máxima en 24 horas calculada por el método de Gumbel y ajustada por el factor de Hershfield y considerando T = 24 horas.

Una vez calculado y considerando T = Tc = 0.432 horas, se calcula la altura de precipitación Hp, aplicando la expresión (4), la lluvia así calculada, estará asociada al tiempo de concentración Tc, repitiendo este procedimiento para cada periodo de retorno.

En la **TABLA No. 2-10 CÁLCULO DE LLUVIA ASOCIADA AL TIEMPO DE CONCENTRACIÓN**, se muestran los resultados obtenidos mediante la aplicación de las expresiones ( 4 ) y ( 5 ).

### 2.5.3 AVENIDA DE DISEÑO.

Para determinar el gasto de diseño se analizaron los métodos que a continuación se describen brevemente, con la finalidad de elegir aquel que de acuerdo con las características de la cuenca nos de resultados más reales, estos métodos y sus expresiones matemáticas son los siguientes:

- **MÉTODO DE CHOW.**

Se basa en el concepto del hidrograma unitario y del hidrograma sintético y es aplicable a una cuenca pequeña ( 250 a 500 Km<sup>2</sup> ) en la cual el escurrimiento es sensible a lluvias intensas y donde predominan las características físicas de la cuenca. La expresión aplicada es la siguiente:

$$Q_{m\acute{a}x} = AXYZ$$

Donde:

- Qmáx = Gasto máximo, expresado en [ m<sup>3</sup>/seg.].
- A = Área de la cuenca, expresada en [ km<sup>2</sup> ].
- X = Relación entre la lluvia en exceso y la duración de la tormenta.
- Y = Factor climático, es constante e igual a 0.278.
- Z = factor de reducción del pico.

TABLA 2-10

<p style="text-align: center;"><b>RESUMEN DE LLUVIA DE DISEÑO</b></p> <p style="text-align: center;"><b>PRESA 'PALO GORDO', TEJUPILCO ESTADO DE MÉXICO.</b></p> <p style="text-align: center;"><b>CÁLCULO DE LLUVIA ASOCIADA AL TIEMPO DE CONCENTRACIÓN</b></p>					
<p style="text-align: center;">PERIODO DE RETORNO ( años )</p>	<p style="text-align: center;">Hp ( mm )</p>	<p style="text-align: center;">K</p>	<p style="text-align: center;">Hp tc</p>	<p style="text-align: center;">Xe</p>	<p style="text-align: center;">lp</p>
2	76.479	8.101	33.722	0.014	84.305
5	89.668	9.498	39.537	0.099	98.843
10	99.649	10.555	43.938	0.403	109.846
20	109.631	11.612	48.340	0.897	120.849
50	122.181	12.942	53.873	1.768	134.683
100	132.789	14.065	58.551	2.706	146.377
500	155.959	16.520	68.767	5.334	171.918
1000	165.931	17.576	73.164	6.687	182.910
10000	199.073	21.086	87.777	12.026	219.443

- **MÉTODO DE LA FORMULA RACIONAL.**

Considera que el gasto máximo se alcanza cuando la precipitación se mantiene con una intensidad constante durante un tiempo igual al tiempo de concentración, la fórmula correspondiente es:

$$Q_{\text{máx}} = 0.278 CIA$$

Donde:

- $Q_{\text{máx}}$  = Gasto máximo, expresado en [ m<sup>3</sup>/seg.].
- $A$  = Área de la cuenca, expresada en [ km<sup>2</sup> ].
- $i$  = Intensidad de lluvia, en [ mm/hora ].
- $C$  = Coeficiente de escurrimiento, igual a la relación entre la lluvia en exceso y la correspondiente a la duración de la tormenta.

- **MÉTODO DEL HIDROGRAMA UNITARIO TRIANGULAR.**

Parte del conocimiento de la magnitud y distribución de la tormenta sobre la cuenca en estudio, ya sea la máxima registrada o la asociada a un periodo de retorno. En caso de no disponerse de datos pluviográficos se supondrá un tipo de ecuación como la recomendada por Kuishling y Gransky.

$$Q_{\text{máx}} = 0.556 (X_e \cdot A / n T_p)$$

Donde:

- $Q_{\text{máx}}$  = Gasto máximo, expresado en [ m<sup>3</sup>/seg.].
- $A$  = Área de la cuenca, expresada en [ km<sup>2</sup> ].
- $X_e$  = Intensidad de lluvia, en [ mm/hora ].
- $n$  = Parámetro, igual a 2.
- $T_p$  = Tiempo pico, en horas, igual a 1.1  $T_c$ .

- **MÉTODO DE GREGORY - ARNOLD.**

Estos autores establecieron un modelo matemático en el que intervienen factores que influyen en la magnitud del gasto máximo y volumen de la creciente. Entre estos factores se tienen las características físicas de la cuenca y del cauce de la corriente y su geometría. En el aspecto climatológico, la magnitud e intensidad de la precipitación y las condiciones previas de humedad en la cuenca, su expresión es la siguiente:

$$Q_{\text{máx}} = [ \delta / 7.2 \cdot ( 3.6^{4\theta_g} ) ] / [ 1000^{2\theta_g} \cdot ( P / L )^{4\theta_g} \cdot ( T_c^{4\theta_g} \cdot ( CAIp )^{4\theta_g} \cdot F^{8\theta_g} \cdot Sp^{1.5\theta_g} ]$$

Donde:

- $Q_{\text{máx}}$  = Gasto máximo, expresado en [ m<sup>3</sup>/seg.].
- $A$  = Área de la cuenca, expresada en [ km<sup>2</sup> ].

- $\delta$  = Parámetro, se considera igual a 2.
- P = Parámetro, depende de la geometría de la cuenca y su forma de concentrar los escurrimientos.
- L = Longitud del cauce principal, en [ km. ].
- Tc = Tiempo de concentración en [ horas ].
- F = Parámetro que varía con la forma y condiciones físicas del cauce.
- Ip = Intensidad de lluvia, en [ mm/hora ].
- Sp = Pendiente del cauce principal, expresada en [ milésimas ].
- e = Factor de intensidad de lluvia, está en función de Tc.
- g =  $(4-e)^{-1}$

• **MÉTODO DE I - PAI - WU.**

Se base en el modelo lineal propuesto por Nash, que considera el simil de una cuenca con un sistema de "n" vasos lineales iguales, del mismo coeficiente o constante de almacenaje, colocados en serie, la fórmula correspondiente es la siguiente.

$$Q_{\text{máx}} = [ AXe ] / [ 3.6T_p * f(n, t_p) ]$$

Donde:

- Q<sub>máx</sub> = Gasto máximo, expresado en [ m<sup>3</sup>/seg.].
- A = Área de la cuenca, expresada en [ km<sup>2</sup> ].
- n = Parámetro, igual a 2.
- T<sub>p</sub> = Tiempo pico, en [ horas ].
- T<sub>p</sub> =  $0.93 A^{1.085} * L^{-1.233} * S^{-0.668}$
- K =  $0.73 A^{0.937} * L^{-1.474} * S^{-1.473}$
- L = Longitud del cauce, en [ km. ].
- S = Pendiente del cauce principal, calculada por el método de Taylor - Schwarz, expresada en [ % ].
- f(n, t<sub>p</sub>) =  $(n-1)^n * e^{1-n} / n!$
- n =  $4T_p / K$

En la **TABLA No. 2-11 CÁLCULO DE LA AVENIDA DE DISEÑO**, se muestran los gastos obtenidos para la cuenca del Arroyo "Puerta Vieja", mediante la aplicación de estos métodos.

**2.6 ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO DE VASO.**

En función de la capacidad de azolves, determinada en el inciso 2.4.1.4 y la curva de elevaciones - áreas - capacidades del sitio, mostradas en las siguientes figuras, se realizó la simulación analítica del funcionamiento de vaso mediante un programa de computadora.:

TABLA 2-11

<p style="text-align: center;"><b>GASTO DE DISEÑO PARA LA CUENCA</b></p> <p style="text-align: center;"><b>PRESA 'PALO GORDO', TEJUPILCO ESTADO DE MÉXICO.</b></p> <p style="text-align: center;"><b>CÁLCULO DE LA AVENIDA DE DISEÑO.</b></p>					
<p style="text-align: center;">PERIODO DE RETORNO ( años )</p>	<p style="text-align: center;">CHOW ( m<sup>3</sup> / seg )</p>	<p style="text-align: center;">G. ARNOLD ( m<sup>3</sup> / seg )</p>	<p style="text-align: center;">F.R. ( m<sup>3</sup> / seg )</p>	<p style="text-align: center;">H.U.T. ( m<sup>3</sup> / seg )</p>	<p style="text-align: center;">I-PAI-WU ( m<sup>3</sup> / seg )</p>
2	0.03	0.02	0.10	0.05	0.20
5	0.20	0.10	0.40	0.30	1.50
10	1.00	0.40	1.30	1.30	6.00
20	2.00	1.20	3.00	3.00	14.00
50	4.00	3.00	6.00	6.00	27.00
100	6.00	5.00	9.00	9.00	41.00
500	13.00	11.00	18.00	18.00	81.00
1000	16.00	15.00	22.00	22.00	101.00
10000	28.00	31.00	40.00	40.00	182.00

**FIGURA No. 2-3**

**CURVA ELEVACIONES - ÁREAS.**

**FIGURA No. 2-4**

**CURVA ELEVACIONES CAPACIDADES.**

La ecuación fundamental para la simulación de funcionamiento de vaso, es la de la continuidad, entonces:

$$E - S = \Delta V$$

Donde:

E = Volumen de entradas al vaso durante el intervalo  $\Delta t$ .

S = Volumen de salidas del vaso durante el intervalo  $\Delta t$ .

$\Delta V$  = Variación del volumen almacenado en el vaso durante el intervalo  $\Delta t$ .

Para realizar el análisis de funcionamiento de vaso, se supuso que el nivel mínimo de operación corresponde a la capacidad de azolves, que es de 0.250 Mm<sup>3</sup>, y que el vaso se encontraba lleno en su capacidad útil. El periodo para la simulación fue de 22 años, de 1963 a 1984.

Se utilizaron como ENTRADAS al vaso los siguientes datos:

- Los escurrimientos propios de la cuenca generados mediante la información de precipitación mensual registrada en la estación climatológica Palmar Chico.
- Los volúmenes por lluvia directa sobre el vaso.
- La transferencia de otras cuencas no existen en este caso particular.

Las SALIDAS de agua consideradas fueron:

- La evaporación neta de la superficie del vaso, considerada igual a la diferencia de la precipitación.
- La evaporación media medida durante el periodo de observación.
- La demanda de riego y el volumen derramado.

### **2.6.1 DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD ÚTIL ( $C_u$ ).**

En función de los resultados sobre funcionamiento de vaso que se describieron en el inciso anterior, se puede concluir que la capacidad útil del vaso es de  $C_u = 1.12 \text{ Mm}^3$ , los resultados se presentan en las tablas:

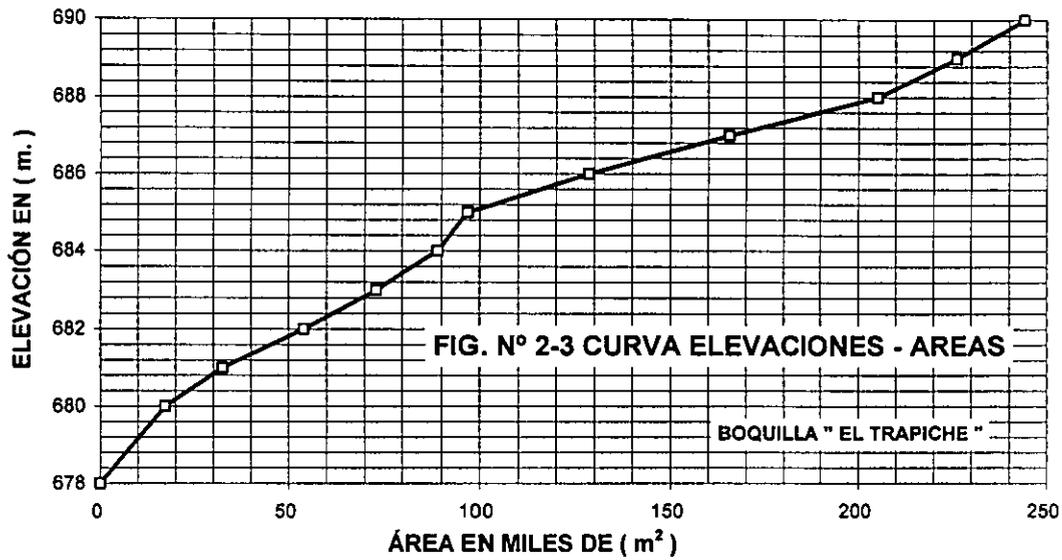
**TABLA No. 2-12**

**FUNCIONAMIENTO DEL VASO: PALO GORDO.**

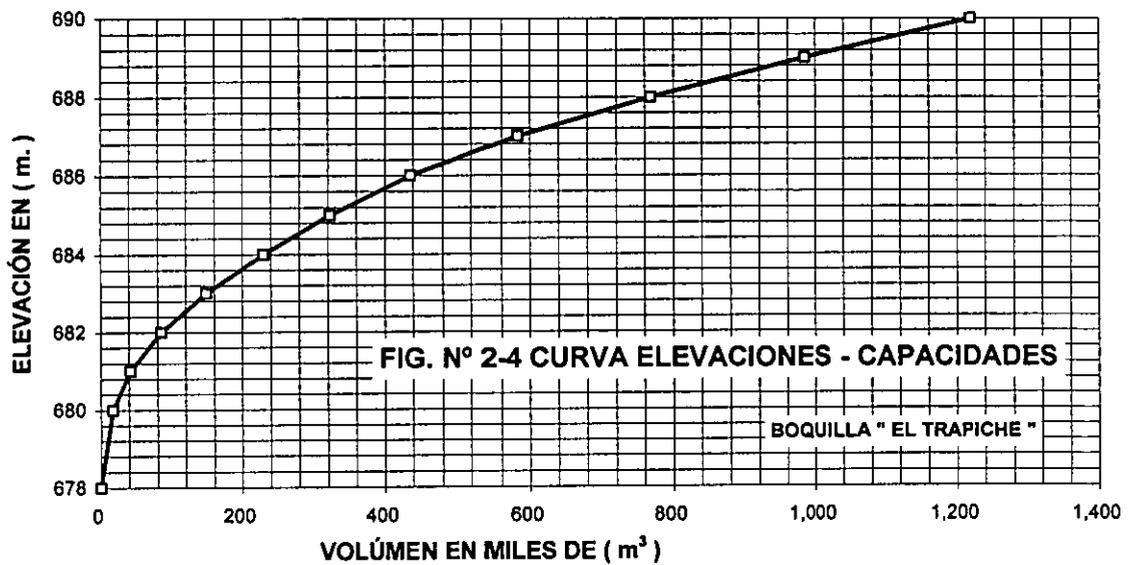
**TABLA No. 2-13**

**RESULTADOS DEL FUNCIONAMIENTO DE VASO EN EL SITIO PALO GORDO CONSIDERANDO CAPACIDAD ÚTIL CONSTANTE Y DEMANDA DE RIEGO VARIABLE.**

PRESA " PALO GORDO ", MUNICIPIO DE TEJUPILCO, ESTADO DE MÉXICO.



PRESA " PALO GORDO ", MUNICIPIO DE TEJUPILCO, ESTADO DE MÉXICO.



**T A B L A N° 2-12**  
**FUNCIONAMIENTO DEL VASO.**  
**PRESA "PALO GORDO".**  
**TEJUPILCO ESTADO DE MÉXICO.**

**DATOS DE ENTRADA, MENSUALES**

	MES	EVAPORACIÓN	LLUVIA	DEMANDA
	1	119.810	13.168	0.127
	2	138.220	1.491	0.127
	3	198.160	4.664	0.127
	4	218.660	7.782	0.004
PERIODO DE ANÁLISIS :	5	192.590	25.809	0.004
	6	158.330	221.368	0.004
CAPACIDAD DE AZOLVES :	7	111.660	313.105	0.004
	8	134.760	264.805	0.004
CAPACIDAD ÚTIL DE RIEGO =	9	102.860	255.350	0.004
	10	97.240	99.223	0.127
ELEVACIÓN INICIAL DEL VASO =	11	93.050	11.164	0.127
	12	104.630	3.123	0.127

MES	ENTRADA [ Mm³ / mes ]	SALIDA [ Mm³ / mes ]	EVAP - N [ Mm³ / mes ]	EXCESO [ Mm³ ]	DÉFICIT [ Mm³ ]	VOLUMEN [ Mm³ ]	ELEVACIÓN [ m ]	DERRAME [ Mm³ ]
1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1270	0.2500	684.0880	0.0000
2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1270	0.2500	684.0883	0.0000
3	14.4300	0.1270	0.0177	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	13.6853
4	0.0000	0.0040	0.0461	0.0000	0.0000	0.7999	688.1151	0.0000
5	66.2200	0.0040	0.0350	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	66.1309
6	152.3600	0.0040	-0.0138	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	152.3698
7	435.3700	0.0040	-0.0440	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	435.4100
8	420.8300	0.0040	-0.0284	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	420.8544
9	321.9400	0.0040	-0.0333	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	321.9693
10	216.0100	0.1270	-0.0004	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	215.8834
11	2.8000	0.1270	0.0179	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	2.6551
12	0.0000	0.1270	0.0222	0.0000	0.0000	0.7008	687.4538	0.0000
13	0.0000	0.1270	0.0203	0.0000	0.0000	0.5535	686.4054	0.0000
14	0.0000	0.1270	0.0217	0.0000	0.0000	0.4049	685.5607	0.0000
15	0.0000	0.1270	0.0233	0.0000	0.0000	0.2545	684.1148	0.0000
16	26.9800	0.0040	0.0194	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	26.3611
17	40.8100	0.0040	0.0364	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	40.5696
18	565.5300	0.0040	-0.0138	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	565.5398
19	551.5000	0.0040	-0.0440	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	551.5401
20	311.1000	0.0040	-0.0284	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	311.1244
21	719.0600	0.0040	-0.0333	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	719.0893
22	107.7900	0.1270	-0.0004	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	107.6634
23	128.7000	0.1270	0.0179	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	128.5551
24	7.8200	0.1270	0.0222	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	7.8708
25	9.7600	0.1270	0.0233	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	9.6097
26	16.8300	0.1270	0.0299	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	16.6731
27	0.0000	0.1270	0.0423	0.0000	0.0000	0.6807	687.2951	0.0000
28	6.3400	0.0040	0.0393	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	6.1274
29	15.6100	0.0040	0.0364	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	15.5696
30	182.5500	0.0040	-0.0138	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	182.5598
31	665.3300	0.0040	-0.0440	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	665.3700
32	473.6400	0.0040	-0.0284	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	473.6645
33	369.1300	0.0040	-0.0333	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	369.1593
34	248.8900	0.1270	-0.0004	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	248.7634
35	3.7600	0.1270	0.0179	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	3.6351
36	1.8300	0.1270	0.0222	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	1.6808
37	0.4600	0.1270	0.0233	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	0.3097
38	0.0000	0.1270	0.0299	0.0000	0.0000	0.6931	687.3931	0.0000
39	11.0000	0.1270	0.0365	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	10.8796
40	16.3200	0.0040	0.0461	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	16.2699
41	35.4900	0.0040	0.0364	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	35.4496
42	170.6500	0.0040	-0.0138	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	170.6598
43	254.0100	0.0040	-0.0440	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	254.0500
44	269.7800	0.0040	-0.0284	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	269.8044
45	195.3200	0.0040	-0.0333	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	195.3493
46	88.6700	0.1270	-0.0004	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	88.5434
47	0.0000	0.1270	0.0179	0.0000	0.0000	0.7051	687.4877	0.0000
48	0.0000	0.1270	0.0194	0.0000	0.0000	0.5587	686.4239	0.0000
49	107.1300	0.1270	0.0170	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	106.6947
50	0.0000	0.1270	0.0299	0.0000	0.0000	0.6931	687.3931	0.0000
51	11.4200	0.1270	0.0365	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	11.0996
52	4.6600	0.0040	0.0461	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	4.6099
53	59.3300	0.0040	0.0364	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	59.2896

MES	ENTRADA [Mm <sup>3</sup> /mes]	SALIDA [Mm <sup>3</sup> /mes]	EVAP - N [Mm <sup>3</sup> /mes]	EXCESO [Mm <sup>3</sup> ]	DÉFICIT [Mm <sup>3</sup> ]	VOLUMEN [Mm <sup>3</sup> ]	ELEVACIÓN [m]	DERRAME [Mm <sup>3</sup> ]
54	426.9800	0.0040	-0.0138	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	426.9898
55	239.2200	0.0040	-0.0440	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	239.2600
56	402.5800	0.0040	-0.0284	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	402.6044
57	346.1300	0.0040	-0.0333	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	346.1593
58	0.0000	0.1270	-0.0004	0.0000	0.0000	0.7234	687.6324	0.0000
59	0.0000	0.1270	0.0160	0.0000	0.0000	0.5804	686.5036	0.0000
60	3.1100	0.1270	0.0168	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	2.6967
61	0.0000	0.1270	0.0233	0.0000	0.0000	0.6997	687.4450	0.0000
62	9.4900	0.1270	0.0260	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	9.1867
63	15.7700	0.1270	0.0423	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	15.6007
64	0.0000	0.0040	0.0461	0.0000	0.0000	0.7999	688.1151	0.0000
65	74.8600	0.0040	0.0350	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	74.7709
66	404.0400	0.0040	-0.0138	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	404.0498
67	527.1000	0.0040	-0.0440	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	527.1400
68	328.2900	0.0040	-0.0284	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	328.3144
69	490.9600	0.0040	-0.0333	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	490.9893
70	283.8100	0.1270	-0.0004	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	283.6834
71	65.7600	0.1270	0.0179	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	65.6151
72	0.0000	0.1270	0.0222	0.0000	0.0000	0.7008	687.4538	0.0000
73	10.3100	0.1270	0.0203	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	10.0135
74	0.0000	0.1270	0.0299	0.0000	0.0000	0.6931	687.3931	0.0000
75	25.4200	0.1270	0.0365	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	25.0996
76	0.0000	0.0040	0.0461	0.0000	0.0000	0.7999	688.1151	0.0000
77	6.0300	0.0040	0.0350	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	5.9409
78	71.6000	0.0040	-0.0138	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	71.6098
79	309.1600	0.0040	-0.0440	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	309.2000
80	0.0000	0.0040	-0.0284	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	0.0244
81	188.9300	0.0040	-0.0333	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	188.9593
82	69.6200	0.1270	-0.0004	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	69.4934
83	0.0000	0.1270	0.0179	0.0000	0.0000	0.7051	687.4877	0.0000
84	0.0000	0.1270	0.0194	0.0000	0.0000	0.5587	686.4239	0.0000
85	0.0000	0.1270	0.0170	0.0000	0.0000	0.4147	685.6832	0.0000
86	0.0000	0.1270	0.0169	0.0000	0.0000	0.2706	684.2106	0.0000
87	0.0000	0.0027	0.0181	0.0000	0.1243	0.2500	684.0883	0.0000
88	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0040	0.2500	684.0883	0.0000
89	50.1800	0.0040	0.0152	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	49.5608
90	443.9000	0.0040	-0.0138	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	443.9098
91	307.8400	0.0040	-0.0440	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	307.8800
92	256.4000	0.0040	-0.0284	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	256.4244
93	0.0000	0.0040	-0.0333	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	0.0293
94	114.3500	0.1270	-0.0004	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	114.2234
95	0.0000	0.1270	0.0179	0.0000	0.0000	0.7051	687.4877	0.0000
96	0.0000	0.1270	0.0194	0.0000	0.0000	0.5587	686.4239	0.0000
97	0.0000	0.1270	0.0170	0.0000	0.0000	0.4147	685.6832	0.0000
98	0.0000	0.1270	0.0169	0.0000	0.0000	0.2706	684.2106	0.0000
99	0.0000	0.0027	0.0181	0.0000	0.1243	0.2500	684.0883	0.0000
100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.2500	684.0883	0.0000
101	0.1400	0.0040	0.0152	0.0000	0.0000	0.3708	685.1344	0.0000
102	100.6800	0.0040	-0.0070	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	100.2038
103	324.5100	0.0040	-0.0440	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	324.5500
104	0.0000	0.0040	-0.0284	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	0.0244
105	0.0000	0.0040	-0.0333	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	0.0293
106	149.9300	0.1270	-0.0004	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	149.8034
107	1.0700	0.1270	0.0179	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	0.9251
108	1.4200	0.1270	0.0222	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	1.2708
109	0.0000	0.1270	0.0233	0.0000	0.0000	0.6997	687.4450	0.0000
110	0.0000	0.1270	0.0260	0.0000	0.0000	0.5467	686.3811	0.0000
111	0.0000	0.1270	0.0303	0.0000	0.0000	0.3894	685.3672	0.0000
112	0.0000	0.0040	0.0246	0.0000	0.0000	0.3608	685.0101	0.0000
113	0.0000	0.0040	0.0182	0.0000	0.0000	0.3386	684.7331	0.0000
114	0.0000	0.0040	-0.0065	0.0000	0.0000	0.3411	684.7643	0.0000
115	150.8500	0.0040	-0.0209	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	150.3580
116	184.5300	0.0040	-0.0284	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	184.5544
117	144.6000	0.0040	-0.0333	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	144.6293
118	77.2400	0.1270	-0.0004	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	77.1134
119	15.7000	0.1270	0.0179	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	15.5551
120	3.6900	0.1270	0.0222	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	3.5408
121	0.0000	0.1270	0.0233	0.0000	0.0000	0.6997	687.4450	0.0000
122	0.0000	0.1270	0.0260	0.0000	0.0000	0.5467	686.3811	0.0000
123	0.0000	0.1270	-0.0303	0.0000	0.0000	0.3894	685.3672	0.0000

MES	ENTRADA [ Mm <sup>3</sup> / mes ]	SALIDA [ Mm <sup>3</sup> / mes ]	EVAP - N [ Mm <sup>3</sup> / mes ]	EXCESO [ Mm <sup>3</sup> ]	DÉFICIT [ Mm <sup>3</sup> ]	VOLUMEN [ Mm <sup>3</sup> ]	ELEVACIÓN [ m ]	DERRAME [ Mm <sup>3</sup> ]
124	25.6300	0.0040	0.0246	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077.	25.1408
125	13.1800	0.0040	0.0364	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077.	13.1396
126	177.0800	0.0040	-0.0138	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077.	177.0898
127	218.1000	0.0040	-0.0440	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077.	218.1400
128	200.8600	0.0040	-0.0284	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077.	200.8844
129	282.4400	0.0040	-0.0333	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077.	282.4693
130	121.3100	0.1270	-0.0004	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077.	121.1834
131	19.2700	0.1270	0.0179	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077.	19.1251
132	0.0000	0.1270	0.0222	0.0000	0.0000	0.7008	687.4538	0.0000
133	0.0000	0.1270	0.0203	0.0000	0.0000	0.5535	686.4052	0.0000
134	4.3800	0.1270	0.0217	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	3.9149
135	0.0000	0.1270	0.0423	0.0000	0.0000	0.6807	687.2951	0.0000
136	0.0000	0.0040	0.0383	0.0000	0.0000	0.6374	686.9536	0.0000
137	19.9200	0.0040	0.0295	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	19.6739
...	...	...	...	...	...	...	...	...
228	0.0000	0.1270	0.0184	0.0000	0.0000	0.5587	686.4239	0.0000
229	0.0000	0.1270	0.0170	0.0000	0.0000	0.4147	685.6832	0.0000
230	0.0000	0.1270	0.0169	0.0000	0.0000	0.2208	684.2106	0.0000
231	0.0000	0.0027	0.0181	0.0000	0.1243	0.2500	684.0883	0.0000
232	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0040	0.2500	684.0883	0.0000
233	9.0200	0.0040	0.0152	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	8.4008
234	405.7300	0.0040	-0.0138	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	405.7398
235	443.7200	0.0040	-0.0440	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	443.7600
236	251.0400	0.0040	-0.0284	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	251.0644
237	342.7100	0.0040	-0.0333	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	342.4393
238	0.0000	0.1270	-0.0004	0.0000	0.0000	0.7234	687.8324	0.0000
239	0.0000	0.1270	0.0160	0.0000	0.0000	0.5804	686.5036	0.0000
240	0.0000	0.1270	0.0168	0.0000	0.0000	0.4387	685.9586	0.0000
241	0.0000	0.1270	0.0138	0.0000	0.0000	0.2959	684.3583	0.0000
242	1.3500	0.1270	0.0131	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	0.8558
243	0.0000	0.1270	0.0423	0.0000	0.0000	0.6807	687.2951	0.0000
244	10.5900	0.0040	0.0393	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	10.3774
245	22.8900	0.0040	0.0364	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	22.8496
246	275.8000	0.0040	-0.0138	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	275.8098
247	247.9700	0.0040	-0.0440	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	248.0100
248	194.4600	0.0040	-0.0284	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	194.4844
249	219.9600	0.0040	-0.0333	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	219.9893
250	10.3200	0.1270	-0.0004	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	10.1934
251	10.0600	0.1270	0.0179	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	9.9151
252	0.0000	0.1270	0.0222	0.0000	0.0000	0.7008	687.4538	0.0000
253	0.0000	0.1270	0.0203	0.0000	0.0000	0.5535	686.4054	0.0000
254	0.0000	0.1270	0.0217	0.0000	0.0000	0.4049	685.5607	0.0000
255	21.6600	0.1270	0.0233	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	21.0645
256	0.0000	0.0040	0.0481	0.0000	0.0000	0.7899	688.1151	0.0000
257	0.0000	0.0040	0.0350	0.0000	0.0000	0.7609	687.9280	0.0000
258	268.1300	0.0040	-0.0128	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	268.0497
259	250.4400	0.0040	-0.0440	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	250.4800
260	370.2900	0.0040	-0.0284	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	370.3144
261	295.2600	0.0040	-0.0333	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	295.2893
262	42.6300	0.1270	-0.0004	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	42.5034
263	6.4600	0.1270	0.0179	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	6.3151
264	0.0000	0.1270	0.0222	0.0000	0.0000	0.7008	687.4538	0.0000

**VOLUMEN DE ENTRADAS = 27,088.28 Mm<sup>3</sup>**  
**VOLUMEN SUMINISTRADO = 16.62093 Mm<sup>3</sup>**  
**VOLUMEN EVAPORADO = 1.199056 Mm<sup>3</sup>**  
**VOLUMEN DERRAMADO = 27,070.1 Mm<sup>3</sup>**  
**ELEVACIÓN PROMEDIO = 637.623 m.**  
**GASTO PROMEDIO UTILIZABLE = 2.414324 m<sup>3</sup>/seg.**  
**CAPACIDAD MÍNIMA = 0.250 Mm<sup>3</sup>**  
**CAPACIDAD ÚTIL DE RIEGO = 0.600 Mm<sup>3</sup>**  
**MESES CON DÉFICIT DE RIEGO = 4.167 %**  
**MESES CON RIEGO NULO = 2.652 %**  
**VOLUMEN DE RIEGO SUMINISTRADO = 95.541 %**  
**ESCURRIMIENTO APROVECHADO = 6.098922 %**  
**ESCURRIMIENTO EVAPORADO = 4.426475 %**  
**ESCURRIMIENTO DERRAMADO = 99.933 %**

**TABLA Nº 2-13**  
**FUNCIONAMIENTO DEL VASO.**  
**PRESA "PALO GORDO".**  
**TEJUPILCO ESTADO DE MÉXICO.**

**DATOS DE ENTRADA, MENSUALES**

	MES	EVAPORACIÓN	LLUVIA	DEMANDA
	1	119.810	13.168	0.078
	2	138.220	1.491	0.078
	3	198.160	4.664	0.078
	4	218.660	7.782	0.002
PERIODO DE ANÁLISIS :	5	192.590	25.809	0.002
	6	158.330	221.368	0.002
CAPACIDAD DE AZOLVES :	7	111.660	313.105	0.002
	8	134.760	264.805	0.002
CAPACIDAD ÚTIL DE RIEGO (CTE) =	9	102.860	255.350	0.002
	10	97.240	99.223	0.078
ELEVACIÓN INICIAL DEL VASO =	11	93.050	11.164	0.078
	12	104.630	3.123	0.078

MES	ENTRADA [ Mm <sup>3</sup> /mes ]	SALIDA [ Mm <sup>3</sup> /mes ]	EVAP - N [ Mm <sup>3</sup> /mes ]	EXCESO [ Mm <sup>3</sup> ]	DÉFICIT [ Mm <sup>3</sup> ]	VOLUMEN [ Mm <sup>3</sup> ]	ELEVACIÓN [ m ]	DERRAME [ Mm <sup>3</sup> ]
1	0.0000	0.0780	0.0233	0.0000	0.0000	0.7487	687.8318	0.0000
2	0.0000	0.0767	0.0274	0.0000	0.0000	0.8433	688.9985	0.0000
3	0.0144	0.0780	0.0345	0.0000	0.0000	0.5452	686.3758	0.0000
4	0.0000	0.0020	0.0330	0.0000	0.0000	0.5102	686.2509	0.0000
5	0.0662	0.0020	0.0246	0.0000	0.0000	0.5499	688.3923	0.0000
6	0.1524	0.0020	-0.0099	0.0000	0.0000	0.7101	687.5274	0.0000
7	0.4354	0.0020	-0.0388	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	0.3323
8	0.4208	0.0020	-0.0284	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	0.4472
9	0.3219	0.0020	-0.0333	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	0.3533
10	0.2160	0.0780	-0.0004	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	0.1384
11	0.0028	0.0780	0.0779	0.0000	0.0000	0.7569	687.8966	0.0000
12	0.0000	0.0780	0.0205	0.0000	0.0000	0.6584	687.1188	0.0000
13	0.0000	0.0780	0.0194	0.0000	0.0000	0.5610	686.4322	0.0000
...	...	...	...	...	...	...	...	...
244	0.0108	0.0020	0.0200	0.0000	0.0000	0.2772	684.2483	0.0000
245	0.0229	0.0020	0.0157	0.0000	0.0000	0.2824	684.2790	0.0000
246	0.2758	0.0020	-0.0080	0.0000	0.0000	0.5622	686.4363	0.0000
247	0.2480	0.0020	-0.0323	0.0000	0.0000	0.8405	688.2711	0.0000
248	0.1945	0.0020	-0.0282	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	0.2112
249	0.2200	0.0020	-0.0333	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	0.2513
250	0.0103	0.0780	-0.0040	0.0000	0.0000	0.7828	688.0491	0.0000
251	0.0101	0.0780	0.0170	0.0000	0.0000	0.6979	687.4305	0.0000
252	0.0000	0.0780	0.0193	0.0000	0.0000	0.6006	686.6625	0.0000
253	0.0000	0.0780	0.0181	0.0000	0.0000	0.5045	686.2305	0.0000
254	0.0000	0.0780	0.0200	0.0000	0.0000	0.4065	685.5818	0.0000
255	0.0217	0.0780	0.0234	0.0000	0.0000	0.3268	684.5847	0.0000
256	0.0000	0.0020	0.0210	0.0000	0.0000	0.3037	684.4043	0.0000
257	0.0000	0.0020	0.0161	0.0000	0.0000	0.2856	684.2979	0.0000
258	0.2681	0.0020	-0.0060	0.0000	0.0000	0.5577	686.4208	0.0000
259	0.2504	0.0020	-0.0321	0.0000	0.0000	0.8383	688.2627	0.0000
260	0.3703	0.0020	-0.0282	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	0.3848
261	0.2953	0.0020	-0.0333	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	0.3266
262	0.0426	0.0780	-0.0004	0.0000	0.0000	0.8151	688.1733	0.0000
263	0.0065	0.0780	0.0174	0.0000	0.0000	0.7261	687.3500	0.0000
264	0.0000	0.0780	0.0189	0.0000	0.0000	0.6282	686.8809	0.0000

VOLUMEN DE ENTRADAS =	26.90198 Mm <sup>3</sup>
VOLUMEN SUMINISTRADO =	10.56000 Mm <sup>3</sup>
VOLUMEN EVAPORADO =	1.066254 Mm <sup>3</sup>
VOLUMEN DERRAMADO =	15.5 Mm <sup>3</sup>
ELEVACIÓN PROMEDIO =	686.804 m.
GASTO PROMEDIO UTILIZABLE =	1.543209E-02 m <sup>3</sup> /seg.
CAPACIDAD MÍNIMA =	0.250 Mm <sup>3</sup>
CAPACIDAD ÚTIL DE RIEGO =	0.600 Mm <sup>3</sup>
MESES CON DÉFICIT DE RIEGO =	- %
MESES CON RIEGO NULO =	- %
VOLUMEN DE RIEGO SUMINISTRADO =	100.000 %
ESCURRIMIENTO APROVECHADO =	39.263590 %
ESCURRIMIENTO EVAPORADO =	3.963477 %
ESCURRIMIENTO DERRAMADO =	67.607 %

**T A B L A N° 2-13**  
**FUNCIONAMIENTO DEL VASO.**  
**PRESA "PALO GORDO".**  
**TEJUPILCO ESTADO DE MÉXICO.**

**DATOS DE ENTRADA, MENSUALES**

	MES	EVAPORACIÓN	LLUVIA	DEMANDA
	1	119.810	13.168	0.097
	2	138.220	1.491	0.097
	3	198.160	4.664	0.097
	4	218.660	7.782	0.003
PERIODO DE ANÁLISIS :	5	192.590	25.809	0.003
	6	158.330	221.368	0.003
CAPACIDAD DE AZOLVES :	7	111.660	313.105	0.003
	8	134.760	264.805	0.003
CAPACIDAD ÚTIL DE RIEGO (CTE) = 0.60 Mm³	9	102.860	255.350	0.003
	10	97.240	99.223	0.097
ELEVACIÓN INICIAL DEL VASO = 688.3077 m.	11	93.050	11.164	0.097
	12	104.630	3.123	0.097

MES	ENTRADA [Mm³/mes]	SALIDA [Mm³/mes]	EVAP - N [Mm³/mes]	EXCESO [Mm³]	DÉFICIT [Mm³]	VOLUMEN [Mm³]	ELEVACIÓN [m]	DERRAME [Mm³]
1	0.0000	0.0970	0.0233	0.0000	0.0000	0.7297	687.6818	0.0000
2	0.0000	0.0970	0.0269	0.0000	0.0000	0.6058	686.7039	0.0000
3	0.0144	0.0970	0.0330	0.0000	0.0000	0.4903	686.1796	0.0000
4	0.0000	0.0030	0.0301	0.0000	0.0000	0.4572	686.0615	0.0000
5	0.0682	0.0030	0.0224	0.0000	0.0000	0.4980	686.2073	0.0000
6	0.1524	0.0030	-0.0091	0.0000	0.0000	0.6565	687.1040	0.0000
7	0.4354	0.0030	-0.0365	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	0.2754
8	0.4208	0.0030	-0.0284	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	0.4482
9	0.3219	0.0030	-0.0333	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	0.3523
10	0.2160	0.0970	-0.0004	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	0.1194
11	0.0028	0.0970	0.0179	0.0000	0.0000	0.7379	687.7466	0.0000
12	0.0000	0.0970	0.0201	0.0000	0.0000	0.6208	686.8220	0.0000
13	0.0000	0.0970	0.0185	0.0000	0.0000	0.5053	686.2331	0.0000
...								
▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼
244	0.0106	0.0000	0.0106	0.0000	0.0030	0.2500	684.0883	0.0000
245	0.0229	0.0030	0.0152	0.0000	0.0000	0.2548	684.1156	0.0000
246	0.2758	0.0030	-0.0058	0.0000	0.0000	0.5332	686.3330	0.0000
247	0.2480	0.0030	-0.0309	0.0000	0.0000	0.8091	688.1503	0.0000
248	0.1945	0.0030	-0.0275	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	0.1781
249	0.2200	0.0030	-0.0333	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	0.2503
250	0.0103	0.0970	-0.0004	0.0000	0.0000	0.7638	687.9507	0.0000
251	0.0101	0.0970	0.0167	0.0000	0.0000	0.6601	687.1328	0.0000
252	0.0000	0.0970	0.0185	0.0000	0.0000	0.5447	686.3738	0.0000
253	0.0000	0.0970	0.0167	0.0000	0.0000	0.4310	685.8878	0.0000
254	0.0000	0.0970	0.0174	0.0000	0.0000	0.3166	684.4799	0.0000
255	0.0217	0.0693	0.0189	0.0000	0.0277	0.2500	684.0883	0.0000
256	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0030	0.2500	684.0883	0.0000
257	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0030	0.2500	684.0883	0.0000
258	0.2681	0.0030	-0.0058	0.0000	0.0000	0.5209	686.2889	0.0000
259	0.2504	0.0030	-0.0303	0.0000	0.0000	0.7986	688.1100	0.0000
260	0.3703	0.0030	-0.0273	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	0.3432
261	0.2953	0.0030	-0.0333	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	0.3256
262	0.0426	0.0970	-0.0004	0.0000	0.0000	0.7961	688.1003	0.0000
263	0.0065	0.0970	0.0171	0.0000	0.0000	0.6884	687.3556	0.0000
264	0.0000	0.0970	0.0191	0.0000	0.0000	0.5723	686.4726	0.0000

VOLUMEN DE ENTRADAS =	26.90198 Mm³
VOLUMEN SUMINISTRADO =	12.79161 Mm³
VOLUMEN EVAPORADO =	0.632713 Mm³
VOLUMEN DERRAMADO =	13.8 Mm³
ELEVACIÓN PROMEDIO =	686.431 m.
GASTO PROMEDIO UTILIZABLE =	1.869332E-02 m³/seg.
CAPACIDAD MÍNIMA =	0.250 Mm³
CAPACIDAD ÚTIL DE RIEGO =	0.600 Mm³
MESES CON DÉFICIT DE RIEGO =	10.985 %
MESES CON RIEGO NULO =	6.439 %
VOLUMEN DE RIEGO SUMINISTRADO =	96.906 %
ESCURRIMIENTO APROVECHADO =	47.548960 %
ESCURRIMIENTO EVAPORADO =	2.351920 %
ESCURRIMIENTO DERRAMADO =	51.131 %

**T A B L A N° 2-13**  
**FUNCIONAMIENTO DEL VASO.**  
**PRESA "PALO GORDO".**  
**TEJUPILCO ESTADO DE MÉXICO.**

**DATOS DE ENTRADA, MENSUALES**

	MES	EVAPORACIÓN	LLUVIA	DEMANDA
	1	119.810	13.168	0.117
	2	138.220	1.491	0.117
	3	198.160	4.664	0.117
	4	218.660	7.782	0.003
PERIODO DE ANÁLISIS :	5	192.590	25.809	0.003
	6	158.330	221.368	0.003
CAPACIDAD DE AZOLVES :	7	111.660	313.105	0.003
	8	134.760	264.805	0.003
CAPACIDAD ÚTIL DE RIEGO (CTE) =	9	102.860	255.350	0.003
	10	97.240	99.223	0.117
ELEVACIÓN INICIAL DEL VASO =	11	93.050	11.184	0.117
	12	104.630	3.123	0.117

MES	ENTRADA [ Mm <sup>3</sup> / mes ]	SALIDA [ Mm <sup>3</sup> / mes ]	EVAP - N [ Mm <sup>3</sup> / mes ]	EXCESO [ Mm <sup>3</sup> ]	DÉFICIT [ Mm <sup>3</sup> ]	VOLUMEN [ Mm <sup>3</sup> ]	ELEVACIÓN [ m ]	DERRAME [ Mm <sup>3</sup> ]
1	0.0000	0.1170	0.0233	0.0000	0.0000	0.7097	687.5239	0.0000
2	0.0000	0.1170	0.0283	0.0000	0.0000	0.5664	686.4515	0.0000
3	0.0144	0.1170	0.0313	0.0000	0.0000	0.4326	685.9070	0.0000
4	0.0000	0.0030	0.0270	0.0000	0.0000	0.4026	685.5321	0.0000
5	0.0662	0.0030	0.0200	0.0000	0.0000	0.4458	688.0206	0.0000
6	0.1524	0.0030	-0.0083	0.0000	0.0000	0.6034	686.6848	0.0000
7	0.4354	0.0030	-0.0342	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	0.2200
8	0.4208	0.0030	-0.0284	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	0.4462
9	0.3219	0.0030	-0.0333	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	0.3523
10	0.2160	0.1170	-0.0004	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	0.0994
11	0.0028	0.1170	0.0179	0.0000	0.0000	0.7179	687.5888	0.0000
12	0.0000	0.1170	0.0197	0.0000	0.0000	0.5812	686.5095	0.0000
13	0.0000	0.1170	0.0176	0.0000	0.0000	0.4468	686.0235	0.0000
...	...	...	...	...	...	...	...	...
244	0.0106	0.0000	0.0106	0.0000	0.0030	0.2500	684.0883	0.0000
245	0.0229	0.0030	0.0152	0.0000	0.0000	0.2546	684.1156	0.0000
246	0.2758	0.0030	-0.0058	0.0000	0.0000	0.5332	686.3330	0.0000
247	0.2480	0.0030	-0.0309	0.0000	0.0000	0.8091	688.1503	0.0000
248	0.1945	0.0030	-0.0275	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	0.1781
249	0.2200	0.0030	-0.0333	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	0.2503
250	0.0103	0.1170	-0.0040	0.0000	0.0000	0.7438	687.7928	0.0000
251	0.0101	0.1170	0.0163	0.0000	0.0000	0.6205	686.8196	0.0000
252	0.0000	0.1170	0.0176	0.0000	0.0000	0.4859	686.1638	0.0000
253	0.0000	0.1170	0.0151	0.0000	0.0000	0.3538	684.9223	0.0000
254	0.0000	0.0891	0.0146	0.0000	0.0279	0.2500	684.0883	0.0000
255	0.0217	0.0040	0.0177	0.0000	0.1130	0.2500	684.0883	0.0000
256	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0030	0.2500	684.0883	0.0000
257	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0030	0.2500	684.0883	0.0000
258	0.2681	0.0030	-0.0058	0.0000	0.0000	0.5209	686.2889	0.0000
259	0.2504	0.0030	-0.0303	0.0000	0.0000	0.7986	688.1100	0.0000
260	0.3703	0.0030	-0.0273	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	0.3432
261	0.2953	0.0030	-0.0333	0.0000	0.0000	0.8500	688.3077	0.3256
262	0.0426	0.1170	-0.0004	0.0000	0.0000	0.7761	688.0233	0.0000
263	0.0065	0.1170	0.0169	0.0000	0.0000	0.6487	687.0420	0.0000
264	0.0000	0.1170	0.0182	0.0000	0.0000	0.5134	686.2623	0.0000

**VOLUMEN DE ENTRADAS = 26.90198 Mm<sup>3</sup>**  
**VOLUMEN SUMINISTRADO = 13.88992 Mm<sup>3</sup>**  
**VOLUMEN EVAPORADO = 0.249707 Mm<sup>3</sup>**  
**VOLUMEN DERRAMADO = 13.098910 Mm<sup>3</sup>**  
**ELEVACIÓN PROMEDIO = 686.2171 m.**  
**GASTO PROMEDIO UTILIZABLE = 2.029835 E-02 m<sup>3</sup>/seg.**  
**CAPACIDAD MÍNIMA = 0.250 Mm<sup>3</sup>**  
**CAPACIDAD ÚTIL DE RIEGO = 0.600 Mm<sup>3</sup>**  
**MESES CON DÉFICIT DE RIEGO = 20.455 %**  
**MESES CON RIEGO NULO = 12.879 %**  
**VOLUMEN DE RIEGO SUMINISTRADO = 87.689 %**  
**ESCURRIMIENTO APROVECHADO = 51.631670 %**  
**ESCURRIMIENTO EVAPORADO = 0.928210 %**  
**ESCURRIMIENTO DERRAMADO = 48.691 %**

## 2.6.2 DETERMINACIÓN DEL HIDROGRAMA DE DISEÑO.

En función del gasto obtenido para un periodo de retorno de 500 y 1000 años se construyó el hidrograma de diseño que será transitado por el vaso ver figuras:

**FIGURA No. 2-5            HIDROGRAMA UNITARIO PARA 500 Y 1000 AÑOS.**

**FIGURA No. 2-6            HIDROGRAMA DE ENTRADAS Y SALIDAS  
( Tr = 500 AÑOS ).**

**FIGURA No. 2-7            HIDROGRAMA DE ENTRADAS Y SALIDAS  
( Tr = 1000 AÑOS ).**

## 2.7 TRANSITO DE AVENIDAS POR EL VASO.

El tránsito de avenidas en vasos, es un procedimiento que sirve para determinar el hidrograma de salida de una presa, conociendo el hidrograma de entrada. Algunas de sus principales aplicaciones son:

- Conocer la evolución de los niveles en el vaso de los gastos de salida por obra de excedencias, para poder diseñar la política de operación de compuertas del vertedor.
- Dimensionar la obra de excedencias.
- Fijar el Nivel de Aguas Máximo Extraordinario ( N.A.M.E. ), y las dimensiones de las obras de desvío y ataguías.

La ecuación fundamental para el tránsito de avenidas, es la ecuación de continuidad, y se expresa:

$$I - O = \delta V / \delta t$$

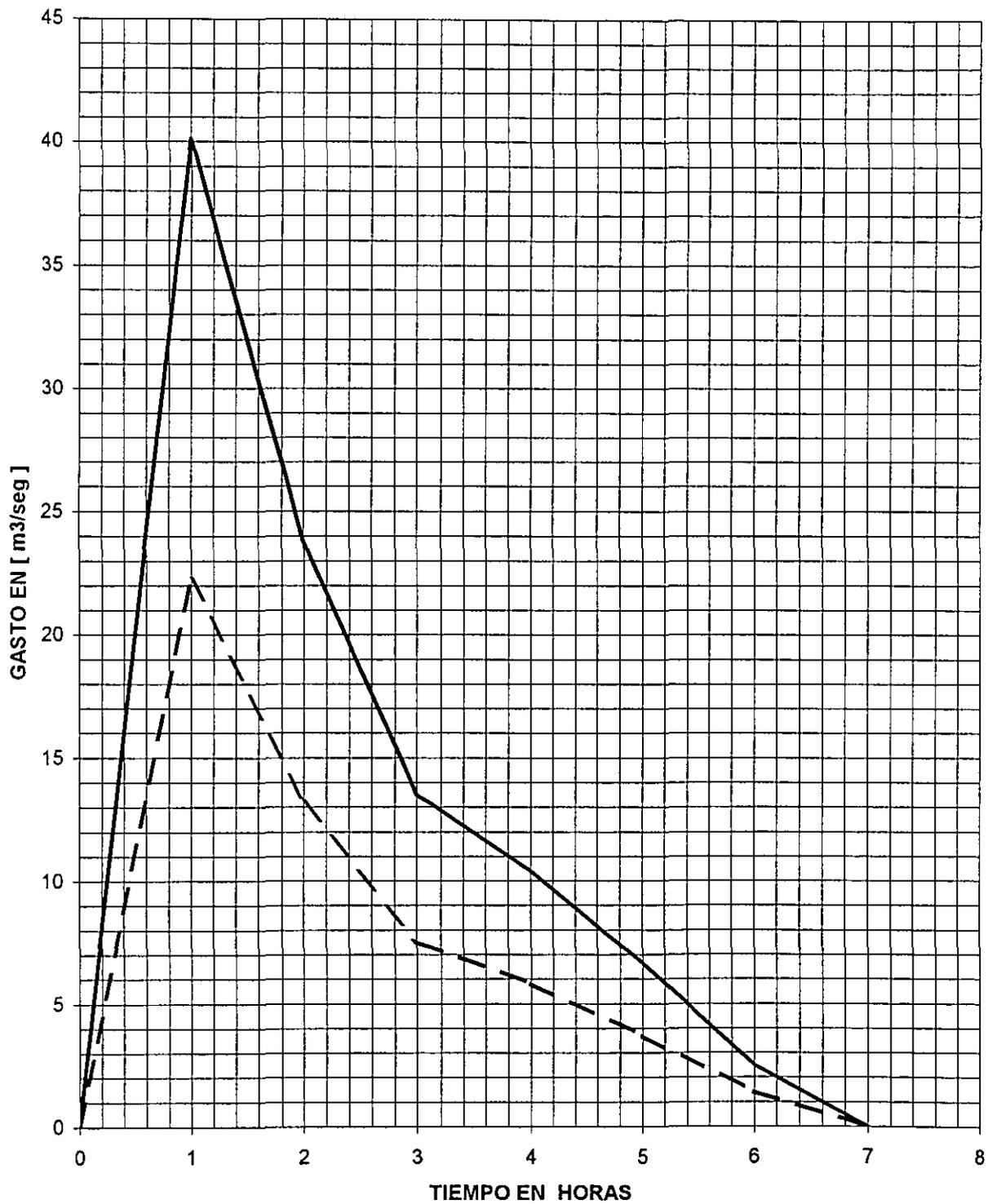
Donde:

I        = Gasto de entradas al vaso, en [ m<sup>3</sup> ].

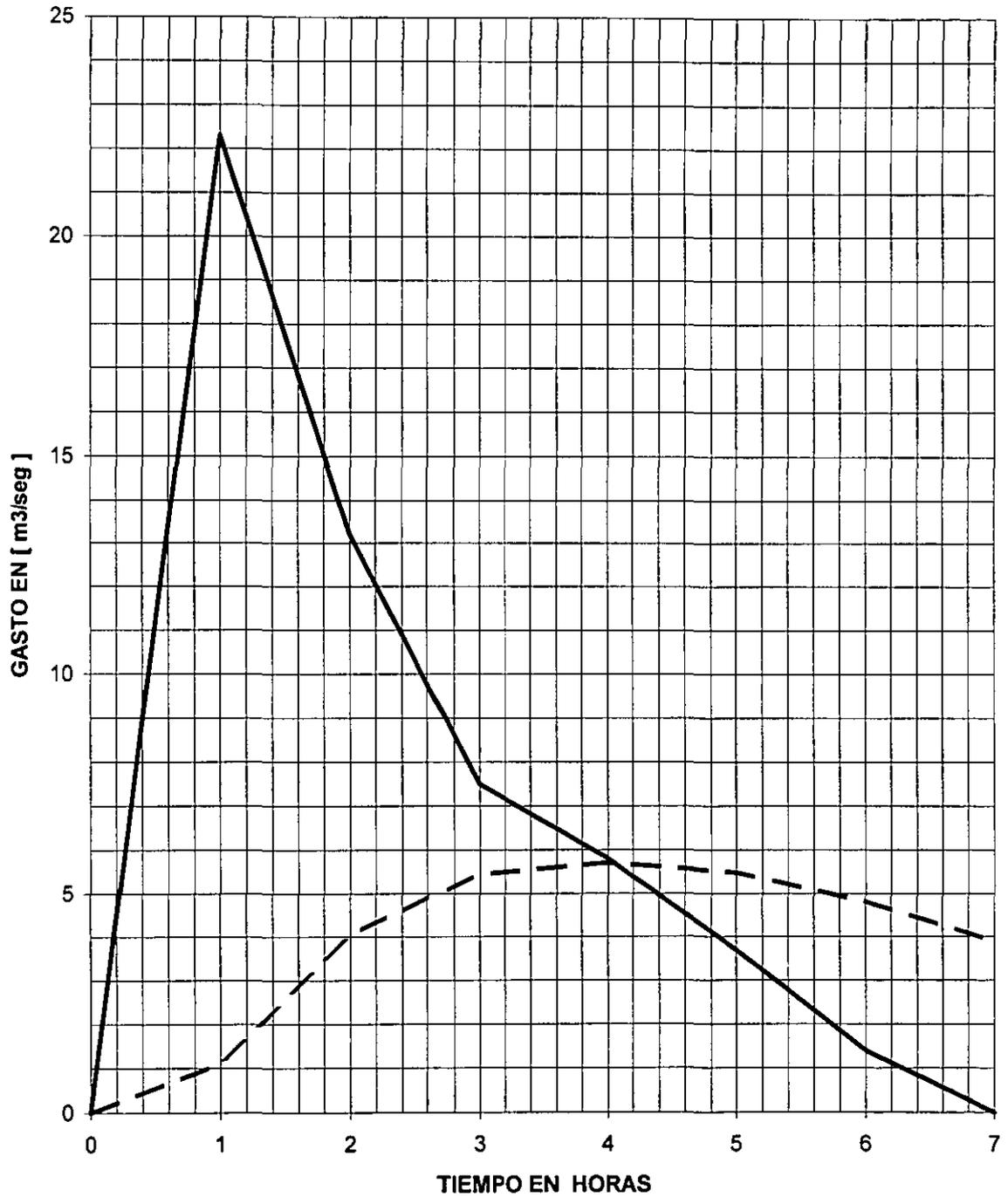
O        = Gasto de salidas del vaso, en [ m<sup>3</sup> ].

$\delta V / \delta t$  = Variación del volumen almacenado en el tiempo, en [ m<sup>3</sup> ].

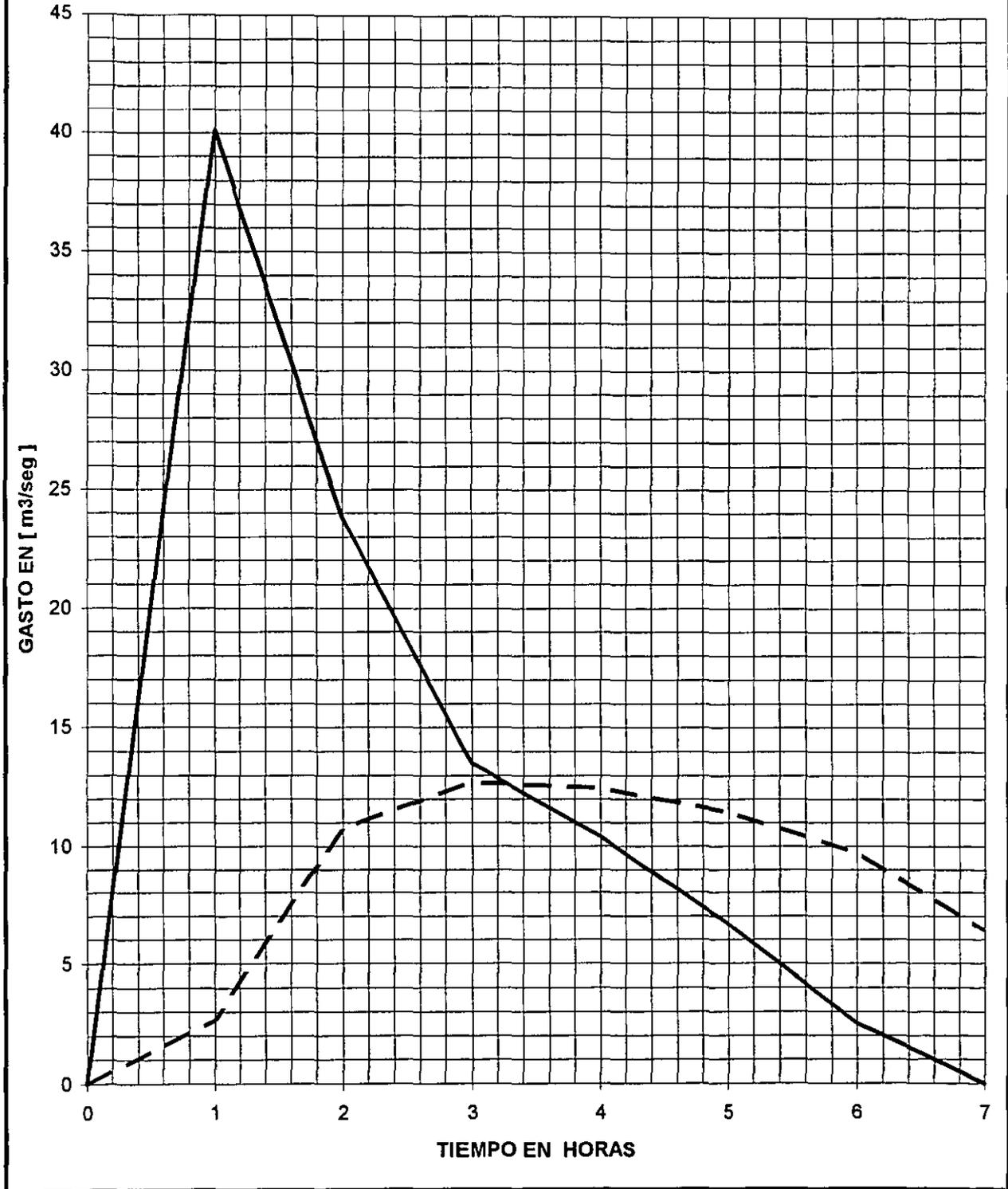
HIDROGRAMA UNITARIO PARA 500 Y 1,000 AÑOS



HIDROGRAMA DE ENTRADAS Y SALIDAS  
(Tr = 500 AÑOS)



HIDROGRAMA DE ENTRADAS Y SALIDAS  
(Tr = 1000 AÑOS)



Una vez determinada la capacidad útil y la capacidad de azolves de la presa, con objeto de determinar la capacidad de regulación, se realizó el tránsito de avenidas por el vaso bajo las siguientes hipótesis :

- La elevación de la cresta del vertedor corresponde al N.A.M.O.
- Al inicio del tránsito el nivel en el agua corresponde al N.A.M.O.
- Para la relación elevaciones - descargas por el vertedor se utilizó la ecuación siguiente :

$$Q = c L ( H - H_o )^{3/2}$$

Donde :

Q = gasto de descarga, en [ m<sup>3</sup>/seg.].

c = coeficiente de descarga.

L = longitud de la cresta del vertedor, en [ m.].

H = elevación del agua, en [ m.].

H<sub>o</sub> = elevación de la cresta del vertedor, en [ m.].

Se realizó el tránsito de avenidas para diferentes longitudes del vertedor, los resultados obtenidos se muestran en las cuatro **TABLAS No. 2-14 TRÁNSITO DE AVENIDAS POR VASO.**

Así mismo se graficaron las curvas de gasto para diferentes anchos del vertedor, los resultados se observan en la **TABLA No. 2-15 CURVA DE GASTO PARA DIFERENTES ANCHOS DE VERTEDOR.**

TABLA No.2-14A

**TRÁNSITO DE AVENIDAS POR VASO**

**PRESA : "PALO GORDO", TEJUPILCO ESTADO DE MÉXICO.**

Longitud del vertedor, en metros.	<b>8.00</b>
Elevación inicial, M.S.N.M.	<b>688.30</b>
Capacidad inicial, en millones de m <sup>3</sup> .	<b>0.85</b>
Número de escurrimiento	<b>59.00</b>
PERIODO DE RETORNO, en años	<b>500</b>

**TRANSITO DE AVENIDAS POR VASO**

<b>TIEMPO [ horas ]</b>	<b>ALMACENAMIENTO [ Mm<sup>3</sup> ]</b>	<b>ELEVACIÓN [ m. ]</b>	<b>Q. ENTRADA [ m<sup>3</sup> / seg ]</b>	<b>Q. SALIDA [ m<sup>3</sup> / seg ]</b>
0	0.822	688.300	0.00	0.00
1	0.862	688.474	22.30	1.10
2	0.916	688.703	13.20	4.05
3	0.935	688.782	7.50	5.45
4	0.939	688.797	5.80	5.71
5	0.936	688.784	3.70	5.48
6	0.926	688.746	1.40	4.81
7	0.913	688.693	0.00	3.90

ALMACENAMIENTO MÁXIMO, [ Millones de m <sup>3</sup> ].	<b>0.939</b>
ELEVACIÓN MÁXIMA, [ m. ]	<b>688.797</b>
GASTO POR EL VERTEDOR, [ m <sup>3</sup> / seg. ]	<b>5.708</b>

TABLA No.2-14B

**TRÁNSITO DE AVENIDAS POR VASO**

**PRESA : "PALO GORDO", TEJUPILCO ESTADO DE MÉXICO.**

Longitud del vertedor, en metros.	10.00
Elevación inicial, M.S.N.M.	688.30
Capacidad inicial, en millones de m <sup>3</sup> .	0.85
Número de escurrimiento	59.00
PERIODO DE RETORNO, en años	500

TIEMPO [ horas ]	ALMACENAMIENTO [ Mm <sup>3</sup> ]	ELEVACIÓN [ m. ]	Q. ENTRADA [ m <sup>3</sup> / seg ]	Q. SALIDA [ m <sup>3</sup> / seg ]
0	0.822	688.300	0.00	0.00
1	0.861	688.472	22.30	1.36
2	0.913	688.694	13.20	4.88
3	0.930	688.760	7.50	6.31
4	0.931	688.763	5.80	6.39
5	0.925	688.742	3.70	5.93
6	0.915	688.700	1.70	4.99
7	0.901	688.645	0.00	3.98

ALMACENAMIENTO MÁXIMO, [ Millones de m <sup>3</sup> . ]	0.931
ELEVACIÓN MÁXIMA, [ m. ]	688.765
GASTO POR EL VERTEDOR, [ m <sup>3</sup> / seg. ]	6.426

TABLA No.2-14C

**TRÁNSITO DE AVENIDAS POR VASO**

**PRESA : "PALO GORDO", TEJUPILCO ESTADO DE MÉXICO.**

Longitud del vertedor, en metros.	8.00
Elevación inicial, M.S.N.M.	688.30
Capacidad inicial, en millones de m <sup>3</sup> .	0.85
Número de escurrimiento	59.00
PERIODO DE RETORNO, en años	1,000

TIEMPO [ horas ]	ALMACENAMIENTO [ Mm <sup>3</sup> ]	ELEVACIÓN [ m. ]	Q. ENTRADA [ m <sup>3</sup> / seg ]	Q. SALIDA [ m <sup>3</sup> / seg ]
0	0.823	688.300	0.00	0.00
1	0.892	688.609	40.13	2.63
2	0.982	689.041	23.80	10.76
3	1.006	689.121	13.50	12.72
4	1.004	689.112	10.40	12.48
5	0.991	689.071	6.66	11.45
6	0.969	688.996	2.50	9.70
7	0.945	688.834	0.00	6.41

ALMACENAMIENTO MÁXIMO, [ Millones de m <sup>3</sup> ].	1.006
ELEVACIÓN MÁXIMA, [ m. ]	689.122
GASTO POR EL VERTEDOR, [ m <sup>3</sup> / seg. ]	12.749

TABLA No.2-14D

**TRÁNSITO DE AVENIDAS POR VASO**

**PRESA : "PALO GORDO", TEJUPILCO ESTADO DE MÉXICO.**

Longitud del vertedor, en metros.	10.00
Elevación inicial, M.S.N.M.	688.30
Capacidad inicial, en millones de m <sup>3</sup> .	0.85
Número de escurrimiento	59.00
PERIODO DE RETORNO, en años	1,000

TIEMPO [ horas ]	ALMACENAMIENTO [ Mm <sup>3</sup> ]	ELEVACIÓN [ m. ]	Q. ENTRADA [ m <sup>3</sup> / seg ]	Q. SALIDA [ m <sup>3</sup> / seg ]
0	0.822	688.300	0.00	0.00
1	0.891	688.606	40.13	3.25
2	0.976	689.023	23.80	12.90
3	0.993	689.078	13.50	14.52
4	0.985	689.051	10.40	13.74
5	0.969	688.995	6.66	12.10
6	0.948	688.857	2.50	8.56
7	0.927	688.749	0.00	6.09

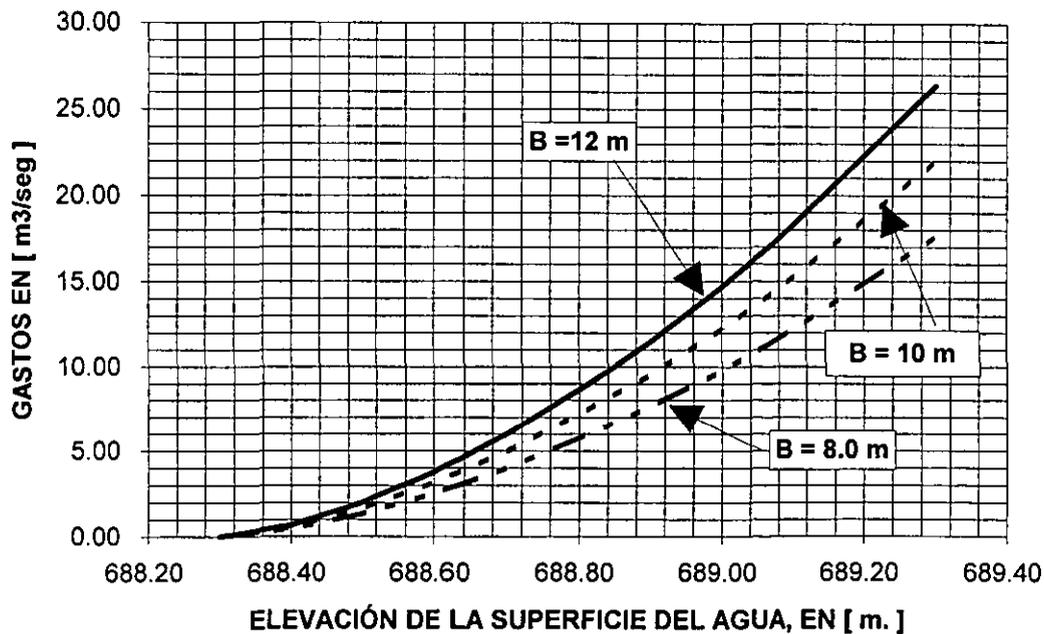
ALMACENAMIENTO MÁXIMO, [ Millones de m <sup>3</sup> ..].	0.993
ELEVACIÓN MÁXIMA, [ m. ]	689.078
GASTO POR EL VERTEDOR, [ m <sup>3</sup> / seg. ]	14.524

TABLA No.2-15

**PRESA : "PALO GORDO". TEJUPILCO ESTADO DE MÉXICO.  
CURVAS DE GASTOS DEL VERTEDOR**

ELEV. [ m. ]	He [ m. ]	He/Ho	C/Co	C'o	ELEV [ m. ]	LONGITUD [ m. ]		
						8	10	12
688.30	0.00	0.000	0.000	0.000	688.30	0.00	0.00	0.00
688.40	0.10	0.100	0.810	1.782	688.40	0.45	0.56	0.68
688.50	0.20	0.200	0.850	1.870	688.50	1.34	1.67	2.01
688.60	0.30	0.300	0.870	1.914	688.60	2.52	3.15	3.77
688.70	0.40	0.400	0.900	1.980	688.70	4.01	5.01	6.01
688.80	0.50	0.500	0.925	2.035	688.80	5.76	7.19	8.63
688.90	0.60	0.600	0.935	2.057	688.90	7.65	9.56	11.47
689.00	0.70	0.700	0.950	2.090	689.00	9.79	12.24	14.69
689.10	0.80	0.800	0.965	2.123	689.10	12.15	15.19	18.23
689.20	0.90	0.900	0.990	2.178	689.20	14.88	18.60	22.32
689.30	1.00	1.000	1.000	2.200	689.30	17.60	22.00	26.40

**PRESA PALO GORDO. CURVAS DE GASTO PARA DIFERENTES  
ANCHOS DE VERTEDOR**



### **3.0 ESTUDIO DE BANCOS DE MATERIALES.**

El objetivo del presente estudio es determinar las propiedades Índice y mecánicas de los materiales que se utilizarán en la construcción de la cortina y las diferentes estructuras de la presa; la potencialidad de los bancos de préstamo con la calidad y en la cantidad necesaria para satisfacer las demandas del proyecto.

#### **3.1 GEOLOGÍA DE LA REGIÓN, VASO Y BOQUILLA.**

##### **3.1.1 GEOLOGÍA DE LA REGIÓN.**

Geológicamente el sitio del proyecto, se encuentra localizado dentro de la sub - provincia conocida como depresión del balsas, en la provincia geológica Sierra Madre del Sur.

Las rocas más antiguas de esta provincia son las metamórficas de triásico; litológicamente están clasificadas como gneises, esquistos, filitas y pizarras, que en conjunto forman un complejo metamórfico y que cubren una gran extensión del sur del Estado de México, aflorando desde Temascaltepec hasta los límites con el estado de Guerrero.

La sierra Madre del Sur, desde Colima hasta Oaxaca y las zonas contiguas del noroccidente de Guerrero, Michoacán y Estado de México, constituyen una región con alta complejidad estructural que presentan varios dominios tectónicos yuxtapuestos.

Las zonas correspondientes al noroccidente de Guerrero, occidente del Estado de México y sur de Michoacán conforman una región con afloramientos volcánico - sedimentarios del Jurásico y Cretácico, paralelamente metamorfeados que se encuentran cubiertos por las rocas volcánicas y sedimentarias continentales del Cenozoico.

En lo que respecta a la estratigrafía de la zona en estudio, se localizan rocas del terciario, en su gran mayoría rocas volcánicas ígneas extrusivas, intermedias, ácidas y básicas, las cuales cubren discordantemente tanto a las rocas sedimentarias del Cretácico como a las rocas metamórficas del Triásico. De este período afloran también rocas sedimentarias continentales, como areniscas y conglomerados, que en ocasiones yacen directamente sobre las rocas metamórficas y en otras los hacen sobre rocas ígneas extrusivas intermedias (rocas andesíticas).

El arroyo Palo Gordo abrió su cauce a través de diferentes capas de rocas ígneas extrusivas con colores café - rojizos y textura afanítica, separadas por pequeños espesores de arcillas - limosas, arenas y pequeños boleos no consolidados en la parte superficial (aluviones y suelos residuales).

### **3.1.2 GEOLOGÍA DE LA BOQUILLA.**

El sitio donde se proyecta la boquilla se le denomina "El Trapiche", tiene forma de "V" en forma asimétrica, con una tendencia de mayor pendiente en la margen izquierda. Ambas márgenes de la boquilla están cubiertas por un pequeño espesor de suelo residual y depósitos de talud, existiendo afloramientos de roca ígnea de textura, estructura y espesor variable, con tendencia a un color café - rojizo en bloques bien definidos con una textura afanítica y con un grado de intemperización notable que hacen que las rocas superficiales tiendan a romperse a ligeros contactos con ellas o que por si mismas existan desprendimientos de bloques.

### **3.1.3 GEOLOGÍA DE VASO.**

La Geología del Vaso esta constituido por rocas ígneas de origen andesítico del periodo mesozoico, tobas riolíticas sanas y compactas que afloran aguas arriba de la boquilla, cubierta parcialmente por aluviones y suelos residuales. Existen también derrames volcánicos del terciario superior formados por brechas basálticas fracturadas que sobreyacen por suelos residuales o que afloraran superficialmente; llegan a quedar sobre el cauce del arroyo, mismas que son arrastradas por la corriente hasta depositarlas aguas abajo, continuando este ciclo, hasta que los materiales rodados quedan establecidos generalmente en meandros o playones. Los materiales que existen en el cauce del arroyo se clasifican como Ruditas Fluviales.

## **3.2 EXPLORACIONES EN LA BOQUILLA.**

Los trabajos de exploración en la boquilla consistieron en la ejecución de cinco (5) POZOS A CIELO ABIERTO en el eje de la misma, los sondeos se ubican en el cadenamiento 0+010, 0+027 y 0+060 de la margen derecha; en la margen izquierda se encuentran localizados en el cadenamiento 0+020 y 0+040, tomando como cadenamiento 0+000 el centro del arroyo.

Las exploraciones se realizaron con herramienta manual como pico y pala.

Las profundidades de cada uno de los pozos a cielo abierto son las siguientes:

<b>No. PCA</b>	<b>PROFUNDIDAD ( m )</b>
PCA - 1	2.40
PCA - 2	1.00
PCA - 3	1.30
PCA - 4	3.40
PCA - 5	3.00

Los registros de exploración más representativos del sitio, se encuentran en el **ANEXO No 3-1. PERFILES ESTRATIGRAFICOS.**

Superficialmente no se observan fracturas o fallas geológicas que puedan afectar a la permeabilidad de la boquilla y el vaso, pero aún así es conveniente realizar un estudio geológico detallado para determinar si es o no necesario un tratamiento de la roca de cimentación.

### **3.3 LOCALIZACIÓN DE BANCOS DE MATERIALES.**

#### **3.3.1 POTENCIALIDAD DE LOS BANCOS.**

A nivel de anteproyecto, se ha considerado que en la construcción de la cortina de la presa "Palo Gordo", en el municipio de Tejupilco de Hidalgo, Estado de México, será de sección homogénea y que los requerimientos de los diferentes materiales para su construcción son los siguientes:

<b>MATERIAL</b>	<b>VOLUMEN</b>
IMPERMEABLE	30,945.99 m <sup>3</sup>
AGREGADOS PARA CONCRETO	493.13 m <sup>3</sup>
REVESTIMIENTO	638.28 m <sup>3</sup>
ENROCAMIENTO	1,949.05 m <sup>3</sup>

Se considera que los volúmenes de materiales a localizar son 1.5 veces los volúmenes requeridos, por lo que los volúmenes a estudiar son:

<b>MATERIAL</b>	<b>VOLUMEN</b>
IMPERMEABLE	46,418.98 m <sup>3</sup>
AGREGADOS PARA CONCRETO	739.69 m <sup>3</sup>
REVESTIMIENTO	957.42 m <sup>3</sup>
ENROCAMIENTO	2,923.57 m <sup>3</sup>

### 3.3.2 LOCALIZACIÓN PRELIMINAR DE BANCOS.

Se dio inicio a los trabajos relativos al presente estudio, con la recopilación de la información relativa a Fotografías Aéreas y Geología que se encuentran consignadas en las cartas geológicas editadas por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática ( I.N.E.G.I.).

Con apoyo en la información antes mencionada, se efectuaron reconocimientos en el sitio de la presa en un radio no mayor a 20 km., para identificar los sitios de interés en los que afloraba algún material de los requeridos por el proyecto, una vez ubicados , se realizaron exploraciones someras utilizando pico y pala o posteadora, para establecer el espesor aprovechable del banco. De esta manera se localizaron a nivel preliminar los bancos que a continuación se mencionan.

- **BANCOS DE MATERIAL IMPERMEABLE.**

Los bancos preliminares de material impermeable que se localizaron son los siguientes:

- I - 1 " Rancho Los Coyotes"
- I - 2 " El Panteón "
- I - 3 " La Laguna "
- I - 4 " El Bordo"

- **BANCO DE AGREGADOS DE CONCRETO.**

El banco de material para agregados de concreto que se localizó a nivel preliminar es el siguiente:

- AG - 1 " La Barranca "

- **BANCO DE MATERIALES PARA REVESTIMIENTO.**

El banco de materiales para revestimiento que se localizó a nivel preliminar es el siguiente:

- RE - 1 " La Barranca "

- **BANCOS DE MATERIAL PARA ENROCAMIENTO.**

Los bancos de material para enrocamiento que se localizaron a nivel preliminar, son los siguientes:

- R - 1 " La Barranca "
- R - 2 " El Km. 9+000 "
- R - 3 " El Cajón "

Es conveniente mencionar que durante los trabajos de localización de bancos de materiales a nivel preliminar, se observó que el material más abundante en la zona de estudio son arcillas - limoarenosas.

Aparecen diversas manifestaciones de este material en la vecindad de la boquilla, tanto aguas arriba de ésta, como aguas abajo, así como en los alrededores. Sin embargo, el material más difícil de localizar en estado sano fue el banco de roca, debido a la intemperización de la misma.

### **3.4 EXPLORACIÓN Y MUESTREO.**

#### **3.4.1 PROCEDIMIENTOS DE EXPLORACIÓN Y MUESTREO.**

Debido a que todos los bancos localizados en forma preliminar, presentaban claras evidencias de contener materiales de calidad adecuada para la construcción de la presa, se decidió estudiar solo aquellos bancos que además de tener la calidad y cantidad disponible para el proyecto se ubiquen lo más próximo al sitio del proyecto.

Se determinó que los materiales permeables ( agregados para concreto, material para revestimiento y material para enrocamiento), se pueden obtener del banco denominado "La Barranca", el cual posee un volumen considerable de aprovechamiento, por lo que se decidió explorar y muestrear dicho banco.

Los trabajos de exploración y muestreo de los bancos de materiales permeables e impermeables, consistieron en exploraciones a cielo abierto ( P.C.A. ) de dimensiones en planta de 2.0 x 1.50 m., llevados a una profundidad de 2.00 m. o menor en caso de que el estrato de material buscado sea de un espesor menor. Para ello se empleo equipo de excavación manual ( pico y pala ); y se labraron muestras integrales de pared, para el caso de los bancos de material impermeable.

#### **• BANCOS DE MATERIAL IMPERMEABLE.**

##### **BANCO I -1 " RANCHO LOS COYOTES".**

Los trabajos de exploración en este banco, consistieron en la ejecución de 3 pozos a cielo abierto. Las profundidades de cada una de las exploraciones son las siguientes:

<b>No. POZO</b>	<b>PROFUNDIDAD</b>
	<b>( m )</b>
PCA - 1	2.00
PCA - 2	2.25
PCA - 3	2.00

### **BANCO I -2 " EL PANTEÓN".**

Los trabajos de exploración en este banco, consistieron en la ejecución de 3 pozos a cielo abierto. Las profundidades de cada una de las exploraciones son las siguientes:

<b>No. POZO</b>	<b>PROFUNDIDAD</b>
	<b>( m )</b>
PCA - 1	2.00
PCA - 2	2.25
PCA - 3	2.00

### **BANCO I -3 " LA LAGUNA ".**

Los trabajos de exploración en este banco, consistieron en la ejecución de 3 pozos a cielo abierto. Las profundidades de cada una de las exploraciones son las siguientes:

<b>No. POZO</b>	<b>PROFUNDIDAD</b>
	<b>( m )</b>
PCA - 1	2.00
PCA - 2	0.60 (N.A.F.)
PCA - 3	0.50 (N.A.F.)

### **BANCO I -4 " EL BORDO ".**

Los trabajos de exploración en este banco, consistieron en la ejecución de 2 pozos a cielo abierto. Las profundidades de cada una de las exploraciones son las siguientes:

<b>No. POZO</b>	<b>PROFUNDIDAD</b>
	<b>( m )</b>
PCA - 1	1.00
PCA - 2	1.00

- **BANCO DE MATERIALES DE AGREGADOS PARA CONCRETO.**

**BANCO AG -1 " LA BARRANCA ".**

Los trabajos de exploración en este banco, consistieron en la ejecución de 4 pozos a cielo abierto. Las profundidades de cada una de las exploraciones son las siguientes:

<b>No. POZO</b>	<b>PROFUNDIDAD</b> <b>( m )</b>
PCA - 1	2.00
PCA - 2	2.00
PCA - 3	2.00
PCA - 4	2.00

- **BANCO DE MATERIAL PARA REVESTIMIENTO.**

**BANCO RE-1 "LA BARRANCA".**

Los trabajos de exploración en este banco, consistieron en la ejecución de 4 pozos a cielo abierto. Las profundidades de cada una de las exploraciones son las siguientes:

<b>No. POZO</b>	<b>PROFUNDIDAD</b> <b>( m )</b>
PCA - 1	2.00
PCA - 2	2.00
PCA - 3	2.00
PCA - 4	2.00

Los registros de exploración más representativos de cada uno de los materiales muestreados encontrados en el área aledaña al sitio del proyecto se presentan en el **ANEXO No. 3-1. PERFILES ESTRATIGRAFICOS.**

- **BANCOS DE MATERIAL PARA ENROCAMIENTO.**

**BANCO R - 1 " LA BARRANCA".**

Como se menciona anteriormente, el material que se encuentra en este banco es recomendable emplearlo en materiales para revestimiento, agregados para concreto y enrocamiento, dada las características del material y el volumen que se puede extraer del mismo para los fines del proyecto. Debido a que el material de

enrocamiento que se necesita para la construcción de la presa es factible de explotar de este banco, es necesario llevar a cabo la recolección mediante "pepena" del material en la longitud estudiada del cauce del río.

#### **3.4.2 REFERENCIACIÓN TOPOGRÁFICA DE BANCOS Y EXPLORACIONES.**

En cada uno de los bancos, se trazó un polígono cerrado, monumentando con secciones de concreto de 10 cm de diámetro y una altura de 50 cm. además del apoyo de secciones transversales para configurar topográficamente el área de cada banco.

#### **3.4.3 SELECCIÓN DE BANCOS PARA ESTUDIO DEFINITIVO.**

Una vez concluidos los trabajos de exploración, se procedió a definir los bancos a estudiarse en forma definitiva; es decir, aquellos cuyas muestras representativas del suelo se enviarían al laboratorio para llevar a cabo el programa de ensayos y obtener las características físicas, y mecánicas de los mismos, además de estimar superficie y volumen disponible.

### **3.5 RESULTADOS DE PRUEBAS ÍNDICE Y CARACTERÍSTICAS DE LOS BANCOS DEFINITIVOS.**

#### **3.5.1 BANCOS DE MATERIAL IMPERMEABLE.**

Se localizaron y estudiaron en forma definitiva 3 bancos de material impermeable, a los cuales se les denomina "LOS COYOTES", "EL PANTEÓN" Y "LA LAGUNA", estableciendo el banco "LOS COYOTES" como banco de material de reserva durante la etapa constructiva de la presa.

El programa de pruebas para determinar las propiedades índice de los bancos de material impermeable, consistió en la realización de las pruebas de laboratorio que a continuación se mencionan.

A cada una de las muestras integrales recuperadas durante los trabajos de exploración se les hicieron los siguientes ensayos:

- Contenido natural de agua (  $\omega\%$  ).
- Análisis granulométrico por mallas, vía seca.
- Límites de consistencia ( L.L. y L.P. ).
- Densidad de Sólidos ( Ss. ).
- Prueba de compactación Proctor S.R.H. (  $E_c = 7.5 \text{ kg-cm} / \text{cm}^3$  ).
- Consolidación unidimensional.
- Prueba Triaxial Rápida Saturada ( U.U. ).
- Prueba Triaxial Rápida Consolidada Saturada ( C.U. ).
- Prueba de Permeabilidad ( Carga variable ).

### 3.5.1.1 BANCO I-2 " EL PANTEÓN ".

- **LOCALIZACIÓN.**

Este banco se localiza aguas abajo del eje de la cortina, en la margen izquierda del Rfo, a una distancia de aproximadamente 1.20 km.

- **ACCESO.**

Para llegar a este banco, se parte hacia aguas abajo de la cortina, aproximadamente a 1.2 km. del lado izquierdo del río se localiza la planicie donde se encuentra el banco, en el terreno propiedad del Sr. Maurilio Tavera.

- **CARACTERÍSTICAS MEDIAS.**

De acuerdo con los resultados de las pruebas de laboratorio, este banco está constituido por arcilla de mediana plasticidad, cuyos valores son los siguientes:

- Humedad natural	19.12 %
- Porcentaje de finos	83.43 %
- Límite líquido	45.10 %
- Límite plástico	18.91 %
- Índice plástico	26.19 %
- Densidad de sólidos (S <sub>s</sub> )	2.792
- Peso volumétrico máximo Proctor S.R.H.	1,653 kg/m <sup>3</sup>
- Humedad óptima	20.12 %

- **EXTENSIÓN Y VOLÚMENES.**

Las características volumétricas y de extensión de este banco son:

- Superficie :	1.12 Ha.
- Espesor de despalme :	0.07 m.
- Espesor aprovechable :	1.95 m.
- Volumen de despalme :	784 m <sup>3</sup>
- Volumen aprovechable :	21,837.63 m <sup>3</sup>

### 3.5.1.2 BANCO I-3 " LA LAGUNA ".

- **LOCALIZACIÓN.**

Este banco se localiza a 8.0 km. de la cortina sobre el camino de acceso a Palo Gordo.

- **ACCESO.**

Para llegar a este banco, se parte de la cortina hacia el poblado de palo Gordo, y se toma el camino que conduce hacia el Sauz de Palo Gordo, después de un recorrido de aproximadamente 4.5 km. se llega a la desviación hacia Ojo de Agua, se toma el entronque a la izquierda y se recorren 1.2 km., a partir de este sitio el acceso actual al banco es a pie una distancia aproximada de 900 m.

- **CARACTERÍSTICAS MEDIAS.**

De acuerdo con los resultados de las pruebas de laboratorio, este banco está constituido por arcilla de alta plasticidad, cuyos valores son los siguientes:

- Humedad natural	33.75 %
- Porcentaje de finos	92.90 %
- Límite líquido	78.10 %
- Límite plástico	21.21 %
- Índice plástico	56.88 %
- Densidad de sólidos (Ss)	2.828
- Peso volumétrico máximo Proctor SRH	1,387.67 kg/m <sup>3</sup>
- Humedad óptima	20.00 %

Los resultados de cada una de las pruebas realizadas se presentan en el **TABLA No. 3-1 RESUMEN DE CARACTERÍSTICAS ÍNDICE ( MATERIAL IMPERMEABLE )**.

- **EXTENSIÓN Y VOLÚMENES.**

Las características volumétricas y de extensión de este banco son:

- Superficie :	1.05 Ha.
- Espesor de despalme :	0.06 m.
- Espesor aprovechable :	2.50 m.
- Volumen de despalme :	630 m <sup>3</sup>
- Volumen aprovechable :	26,250.00 m <sup>3</sup>

### **3.5.2 BANCO DE AGREGADOS PARA CONCRETO.**

#### **3.5.2.1 BANCO AG-1 "LA BARRANCA".**

Para el estudio del banco de agregados para concreto, se aplicaron pruebas de laboratorio para determinar características físicas y mecánicas de los mismos aplicando los siguientes ensayos de laboratorio:

**ESTUDIOS DEFINITIVOS Y DISEÑO GEOTÉCNICO E HIDRÁULICO DE LA PRESA 'PALO GORDO'  
UBICADA EN EL MUNICIPIO DE TEJUPILCO, ESTADO DE MÉXICO.**

**BANCOS DE MATERIAL IMPERMEABLE  
TABLA No. 3-1 RESUMEN DE CARACTERÍSTICAS ÍNDICE**

SONDEO No.	PROFUNDIDAD		HUMEDAD NATURAL [%]	GRANULOMETRÍA			PLASTICIDAD			PROCTOR		DENSIDAD DE SÓLIDOS [S <sub>s</sub> ]	CLASIFICACIÓN S.U.C.S.
	m DE:	m A:		GRAVA [%]	ARENA [%]	FINOS [%]	LÍMITE LÍQUIDO [%]	LÍMITE PLÁSTICO [%]	ÍNDICE PLÁSTICO [%]	PESO Vol. [kg/m <sup>3</sup> ]	HUMEDAD ÓPTIMA [%]		
<b>BANCO : " RANCHO DE LOS COYOTES ".</b>													
PCA-1	1.20	1.50	23.29	0.38	17.28	82.34	55.45	21.95	33.50			2.780	CH
	1.50	1.80	24.09	1.84	18.46	79.70	55.90	23.10	32.80	1693.00	19.30	2.748	CH
<b>PROMEDIO</b>	<b>1.35</b>	<b>1.65</b>	<b>23.69</b>	<b>1.11</b>	<b>17.87</b>	<b>81.02</b>	<b>55.68</b>	<b>22.53</b>	<b>33.15</b>	<b>1693.00</b>	<b>19.30</b>	<b>2.764</b>	<b>CH</b>
<b>BANCO : " EL PANTEÓN ".</b>													
PCA-1	0.40	0.70	19.17	0.00	14.40	85.59	49.30	19.41	29.89	1644.00	21.50	2.787	CL
	0.80	1.10	20.20	0.00	18.29	81.71	47.38	19.23	28.15			2.789	CL
PCA-2	0.50	0.80	15.63	0.00	18.32	81.68	51.27	19.81	31.46			2.798	CH
	1.60	1.90	15.52	0.00	16.00	84.00	51.00	20.30	30.70	1643.00	20.00	2.800	CH
PCA-3	0.40	0.70	23.24	0.00	12.60	87.40	35.84	17.73	18.11			2.790	CL
	1.70	2.00	20.97	1.08	18.73	80.19	35.82	17.00	18.82	1672.00	18.85	2.787	CL
<b>PROMEDIO</b>	<b>0.90</b>	<b>1.20</b>	<b>19.12</b>	<b>0.18</b>	<b>16.39</b>	<b>83.43</b>	<b>45.10</b>	<b>18.91</b>	<b>26.19</b>	<b>1653.00</b>	<b>20.12</b>	<b>2.792</b>	<b>CL</b>
<b>BANCO : " LA LAGUNA ".</b>													
PCA-1	1.40	1.70	34.23	0.93	9.08	89.99	78.39	21.15	57.24	1388.00	21.00	2.829	CH
PCA-2	0.30	0.50	33.50	1.08	4.83	94.09	77.90	21.00	56.90	1395.00	19.00	2.830	CH
PCA-3	0.40	0.70	33.52	0.00	5.37	94.63	78.00	21.49	56.51	1380.00	20.00	2.825	CH
<b>PROMEDIO</b>	<b>0.70</b>	<b>0.97</b>	<b>33.75</b>	<b>0.67</b>	<b>6.43</b>	<b>92.90</b>	<b>78.10</b>	<b>21.21</b>	<b>56.88</b>	<b>1387.67</b>	<b>20.00</b>	<b>2.828</b>	<b>CH</b>

- Análisis granulométrico por mallas, vía seca.
- Pérdida por lavado.
- Densidad y absorción.
- Contenido de materia orgánica.
- Intemperismo acelerado (por procedimiento de sulfato de sodio o sulfato de magnesio).
- Resistencia a la abrasión (Prueba de los Ángeles).
- Reacción álcali - agregado.
- Clasificación petrográfica.

• **LOCALIZACIÓN.**

Este banco se localiza aguas abajo del eje de la cortina, sobre el cauce del Río Palo Gordo.

• **ACCESO.**

El banco se localiza sobre el cauce del río Palo Gordo, a partir del eje de proyecto de la cortina, para los fines del proyecto se tiene una longitud aprovechable aproximada de 4.0 km. Este banco es muy extenso, pero debido a la calidad y cantidad del material que se localiza en el banco, se puede extraer material que queda comprendido en el cadenamamiento 0+200 al 0+500, localizado aguas abajo de la cortina.

• **CARACTERÍSTICAS MEDIAS.**

De acuerdo con los resultados de las pruebas de laboratorio, el material de este banco se clasifica como grava bien graduada (G.W.), de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S.).

Los resultados medios de las pruebas de laboratorio realizadas sobre las muestras de este banco, para juzgar su aptitud como posible banco de agregados para concreto son los siguientes:

-Análisis Granulométrico.

Grava: **66.00 %**

Arena: **34.00 %**

Finos: **0.00 %**

- Pérdida por lavado: **7.50 %**
- Densidad de grava: **2.47**
- Densidad de arena: **2.45**
- Absorción de grava: **6.76**
- Absorción de arena: **7.23**
- Peso volumétrico suelto: **1,692.00 kg./m<sup>3</sup>**
- Peso volumétrico compacto: **1,839.00 kg./m<sup>3</sup>**
- Contenido de materia orgánica: **Nulo.**

- Intemperismo acelerado (procedimiento de sulfato de magnesio A.S.T.M. C - 33): **8.87%**
  - Resistencia a la abrasión (Prueba de los Ángeles): **29.50 %**
  - Reacción álcali - agregado.
    - Sílice disuelta (Sc): **6.0\***
    - Reducción de Alcalinidad (Rc): **209.0\***
- No** presentan reacción con álcalis del cemento.
- NOTA:** \*(Resultados expresados en [ milimoles / litro ] )

- Clasificación petrográfica: **Rudita Fluvial.**
- Clasificación S.U.C.S. : **G.W.**

En cuanto a la actividad álcali - agregado, los resultados de las pruebas de laboratorio, realizadas en el Instituto Mexicano del Cemento y Concreto A.C. ( I.M.C.Y.C. ), indican que los agregados de este banco, por sus características son adecuados para ser utilizados en la fabricación de concretos.

• **EXTENSIÓN Y VOLÚMENES.**

Las características volumétricas y de extensión de este Banco, son las siguientes:

- Superficie : **3,443.00 m2**
- Espesor aprovechable : **2.00 m.**
- Volumen aprovechable : **6,887.00 m3**

De acuerdo con los resultados de laboratorio, los materiales del banco "La Barranca" cumplen con los requerimientos de calidad para ser utilizados como agregados en la fabricación de concretos.

Por su bajo contenido de materiales finos, no requieren de lavado enérgico para eliminar éstos, además la prueba de contenido de materia orgánica salió negativa.

**3.5.3 BANCO DE MATERIAL PARA REVESTIMIENTO.**

Como antes se mencionó, los bancos de material permeable, son los más escaso en el área del proyecto. Solo se localizó y estudio un banco de material, que se le denomina "La Barranca", pero de magnitud bastante considerable.

El programa de pruebas de laboratorio para este banco, desde el punto de vista de material para revestimiento, consistió en la realización de las siguientes pruebas:

- Análisis granulométrico por mallas, vía seca.
- Peso Volumétrico Suelto.

- Peso Volumétrico Compacto.
- Densidad de grava.
- Absorción de grava.
- Clasificación S.U.C.S.

### 3.5.3.1 BANCO RE-1 "LA BARRANCA".

- **LOCALIZACIÓN.**

Este banco se localiza aguas abajo del eje de la cortina, sobre el cauce del Río Palo Gordo.

- **ACCESO.**

El banco se localiza sobre el cauce del río Palo Gordo, a partir del eje de proyecto de la cortina, tiene una longitud aprovechable de aproximadamente 4.0 km. para los fines el proyecto, cubriendo el volumen necesario en una longitud de 200 m. aguas abajo del eje de la cortina de la presa.

- **CARACTERÍSTICAS MEDIAS.**

De acuerdo con los resultados de las pruebas de laboratorio, el material de este banco se clasifica como grava bien graduada ( G.W. ), de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos ( S.U.C.S. ).

Los porcentajes promedio de cada uno de los tamaños que integran la granulometría de este banco son los siguientes:

- Análisis granulométrico.

**66.00 % Grava**

**34.00 % Arena**

**00.00 % Finos**

- Peso Volumétrico Suelto: **1,692 kg./ m<sup>3</sup>**
- Peso Volumétrico Compacto: **1,839 kg./ m<sup>3</sup>**
- Densidad de grava: **2.47**
- Absorción de grava: **6.76 %**
- Clasificación S.U.C.S. **G.W.**

Los resultados de cada una de las pruebas realizadas, se presentan en la **TABLA No. 3-2 RESUMEN DE CARACTERÍSTICAS ÍNDICE ( MATERIAL PERMEABLE )..**

Las gráficas granulométricas más representativas se presentan en el **ANEXO No. 3-2 GRÁFICAS GRANULOMÉTRICAS.**

**ESTUDIOS DEFINITIVOS Y DISEÑO GEOTÉCNICO E HIDRÁULICO DE LA PRESA DE ALMACENAMIENTO  
'PALO GORDO' UBICADA EN EL MUNICIPIO DE TEJUPILCO, ESTADO DE MÉXICO.**

**BANCOS DE MATERIAL PERMEABLE  
TABLA No. 3-2 RESUMEN DE CARACTERISTICAS INDICE**

SONDEO No.	BANCO	Prof m.	MUESTRA TOTAL		GRAVA		Rel.  G / A	GRANULOMETRIA MUESTRA TOTAL			ARENA				GRAVA		ARENA		CLASIFICACIÓN  S.U.C.S.
			kg / m <sup>3</sup>		Ds.	%		GRAVA %	ARENA %	FINOS %	Ds.	%		M.F.	kg / m <sup>3</sup>		kg / m <sup>3</sup>		
			Compacto	Suelto								Abs.	p / l		Compacto	Suelto			
PCA - 1	"LA BARRANCA"	0.80	1888.00	1692.00	2.47	6.88	1.58	61.00	39.00	0.00	2.46	7.16	7.50	3.58	1594.00	1418.00	1594.00	1418.00	GW
PCA - 3	"LA BARRANCA"	0.80	1790.00	1692.00	2.46	6.83	2.44	71.00	29.00	0.00	2.44	7.30	7.50	3.48	1594.00	1398.00	1478.00	1154.00	GW
	PROMEDIO	0.80	1839.00	1692.00	2.47	6.76	2.00	66.00	34.00	0.00	2.45	7.23	7.50	3.53	1594.00	1408.00	1536.00	1286.00	GW

- **EXTENSIÓN Y VOLÚMENES.**

Las características volumétricas y de extensión de este Banco, son las siguientes:

- Superficie :	2,134.00 m <sup>2</sup>
- Espesor aprovechable :	2.00 m.
- Volumen aprovechable :	4,268.00 m <sup>3</sup>

### **3.5.4 BANCOS DE MATERIALES PARA ENROCAMIENTO.**

#### **3.5.4.1 BANCO R-1 " LA BARRANCA".**

- **LOCALIZACIÓN.**

Este banco se localiza aguas abajo del eje de la cortina, sobre el cauce del Río Palo Gordo.

- **ACCESO.**

El banco se localiza sobre el cauce del río Palo Gordo, a partir del eje de proyecto de la cortina se tiene una longitud aproximada de 4.0 km. de material aprovechable. El volumen necesario para la construcción del enrocamiento de la cortina, se puede obtener en una longitud de 750 metros.

- **CARACTERÍSTICAS.**

Este banco está constituido en la parte superior por boleos con un tamaño mayor de 3 pulgadas, siendo estos el tipo de material que será necesario utilizar en la construcción de la presa. Sus características petrográficas señalan:

La muestra está constituida por los fragmentos líticos y cristales que se mencionan a continuación.

-Toba lítica de color rojo pardo, bordes subangulosos, estructura compacta, presenta clastos de roca ígnea extrusiva y cristales de Feldespatos, así como Vidrio ácido.

-Toba cristalina de composición básica, de color gris pardo, bordes subangulosos, forma irregular, estructura compacta, cristales de Plagioclasas, Ferromagnesianos y Magnetita.

-Basalto de color gris oscuro, bordes subangulosos, forma irregular, estructura compacta, textura afanítica, presenta microcristales de Olivino y Augita y una ligera oxidación.

-Cuarzo blanco translucido, bordes angulosos y forma irregular.

-Feldespatos de color blanco, bordes angulosos y forma prismática.

-Plagioclasas de color blanco, bordes angulosos y forma prismática.

-Olivino de color verde, borde subredondeados, forma irregular.

-Augita de color negro, bordes angulosos y forma irregular.

-Semiopalo de color ámbar, bordes angulosos y forma irregular.

Los resultados en las pruebas de Intemperismo acelerado y abrasión son satisfactorios. Por lo anterior, se considera que este banco posee material con calidad adecuada para ser utilizado en la construcción de la presa.

#### • EXTENSIÓN Y VOLÚMENES.

Las características volumétricas y de extensión de este banco son las siguientes:

- Superficie :	10,575.53 m <sup>2</sup>
- Espesor aprovechable :	0.28 m.
- Volumen aprovechable :	2,961.15 m <sup>3</sup>

### 3.6 PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS MATERIALES.

#### 3.6.1 PROPIEDADES MECÁNICAS DEL MATERIAL IMPERMEABLE.

El programa de ensayos para obtener las propiedades mecánicas del material impermeable, incluyó ensayos triaxiales para determinar la resistencia al esfuerzo cortante; pruebas de permeabilidad y pruebas de consolidación unidimensional, para obtener los parámetros de deformabilidad de este material.

##### 3.6.1.1 SELECCIÓN DE MUESTRAS Y PROGRAMA DE ENSAYES.

En el programa de ensayos, para determinar las propiedades mecánicas del material impermeable, se incluyeron a las muestras del banco "EL PANTEÓN" "LA LAGUNA" y "LOS COYOTES", siendo este último asignado como banco de reserva durante la etapa de construcción.

La selección de muestras para el programa de ensayos, se fundamentó en los resultados de las pruebas índice, tomando en cuenta: el volumen disponible del banco, la plasticidad, el contenido de finos (material menor de 0.074 mm, malla No. 200), y el peso volumétrico máximo determinado en la Prueba Proctor S.R.H.

Tomando en cuenta lo anterior, se seleccionó una muestra con el límite líquido mayor, dos con los valores medios y una más con el valor más bajo.

##### 3.6.1.2 RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE.

Las pruebas triaxiales para obtener la resistencia al esfuerzo cortante del material impermeable, se realizaron en probetas remoldeadas de 3.56 cm. de diámetro, con 8 cm. de altura, las que se compactaron al 95 % de la prueba Proctor S.R.H. (energía de compactación (  $E_c$  ) = 7.5 kg.- cm./ cm<sup>3</sup>), con humedad correspondiente a la humedad óptima, y antes de su ensaye se saturaron. En los ensayos se utilizaron presiones de confinamiento de 0.5, 1.5, 2.0 y 3.0 kg./cm<sup>2</sup>.

Los ensayos triaxiales programados, fueron de dos tipos: Pruebas Triaxiales Rápidas no Consolidadas no Drenadas Saturadas (U.U.), para representar las "Condiciones Iniciales" de la cortina y Pruebas Triaxiales Rápidas Consolidadas no Drenadas Saturadas (C.U.), para representar las "Condiciones Finales" de la misma.

- **PRUEBAS TRIAXIALES RÁPIDAS SATURADAS (U.U.).**

En estos ensayos se obtuvieron los siguientes valores promedio:

Cohesión	$C = 6.05 \text{ ton./m}^2$
Ángulo de Fricción interna:	$\phi = 3.0^\circ$

Se obtuvieron fallas plásticas en la ruptura. La envolvente del Plano de MOHR se confunde con la recta.

- **PRUEBAS TRIAXIALES RÁPIDAS CONSOLIDADAS SATURADAS (C.U.).**

En estos ensayos se obtuvieron los siguientes valores promedio:

Cohesión	$C = 6.65 \text{ ton./m}^2$
Ángulo de Fricción Interna:	$\phi = 5.50^\circ$

En este caso, también se presentaron fallas plásticas en el rango de ensaye de la envolvente recta.

Los valores antes señalados, se presentan en forma resumida en la **TABLA No. 3-3. RESUMEN DE PROPIEDADES DE RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE.**

Los resultados más representativos de las pruebas triaxiales realizadas, con sus correspondientes curvas esfuerzo - deformación, se presentan en el **ANEXO No. 3-3 RESULTADOS DE PRUEBAS TRIAXIALES.**

Analizando los resultados obtenidos en estos ensayos puede observarse, que la variación de la resistencia al esfuerzo cortante no es significativa. Esto es un reflejo de la similitud de los bancos, lo cual se manifiesta en la homogeneidad de los resultados de las Pruebas Índice.

### **3.6.1.3 PERMEABILIDAD.**

Las pruebas de permeabilidad, como ya antes fue mencionado, fueron realizadas por el procedimiento de carga variable, con tubo piezométrico de  $0.125 \text{ cm}^2$  de área transversal. Las probetas fueron remoldeadas, compactadas al 95 % de la Prueba Proctor S.R.H. (energía de compactación ( $E_c$ ) =  $7.5 \text{ kg.-cm./ cm}^3$ ), con humedad correspondiente a la humedad óptima. Las dimensiones de las probetas fueron de 5 cm. de diámetro y 3 cm. de altura.

**ESTUDIOS DEFINITIVOS Y DISEÑO GEOTÉCNICO E HIDRÁULICO DE LA PRESA ' PALO GORDO '  
UBICADA EN EL MUNICIPIO DE TEJUPILCO, ESTADO DE MÉXICO.**

**BANCOS DE MATERIAL IMPERMEABLE**

**TABLA No. 3-3 RESUMEN DE PROPIEDADES DE RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE.**

NOMBRE DEL BANCO	POZO No.	PROFUNDIDAD		DENSIDAD DE SÓLIDOS S <sub>s</sub>	HUMEDAD		GRADO DE SATURACIÓN		PORCENTAJE DE COMPACTACIÓN		ÁNGULO DE FRICCIÓN [ ° ]	COHESIÓN C [ ton / m <sup>2</sup> ]	TIPO DE PRUEBA	
		{ m. } DE:	{ m. } A:		INICIAL [%]	FINAL [%]	INICIAL [%]	FINAL [%]	INICIAL [%]	FINAL [%]			T.R.S. (UU)	T.R.C.S. (CU)
"LOS COYOTES"	1	0.80	0.30	2.748	25.68		99.25		94.86		2.5	6.00	X	
"LA LAGUNA"	2	0.60	0.90	2.831	39.73		98.24		94.62		2.0	5.70	X	
				2.831	39.41	37.58	98.33	98.05	94.41	97.35				4.5
"EL PANTEÓN"	2	1.30	1.60	2.796	27.99		98.57		94.62		4.0	6.40	X	
				2.796	28.02	26.67	98.73	98.64	94.83	94.9				6.5

- **BANCO "EL PANTEÓN".**

Los resultados de las pruebas de permeabilidad en los materiales de este banco, son de:

$$k = 2.93 E^{-07} \text{ cm/seg.}$$

- **BANCO "LA LAGUNA".**

Los resultados de las pruebas de permeabilidad en los materiales de este banco, son de:

$$k = 8.976 E^{-08} \text{ cm / seg.}$$

#### **3.6.1.4 PARÁMETROS DE DEFORMABILIDAD.**

Los parámetros de deformabilidad del material impermeable para la construcción de la cortina, se obtuvieron a partir de pruebas de consolidación unidimensional. Estas pruebas se realizaron sobre especímenes remoldeados, de 2 cm. de espesor y sección transversal de 50 cm<sup>2</sup> compactados al 95 % de la Prueba Proctor S.R.H. y con contenido de agua correspondiente al de la humedad óptima. Las pruebas de consolidación se realizaron con dos variantes; la primera fue saturada el material antes de la aplicación de la carga o a la aplicación de la primera carga. La segunda variante fue efectuada la saturación al final de la carga. En todos los casos se inició la carga con una presión de 0.125 kg/cm<sup>2</sup>, con incrementos al 100% de la presión inicial, hasta llegar a 4.0 kg/cm<sup>2</sup>.

- **BANCO "EL PANTEÓN" y "LA LAGUNA".**

Las pruebas de consolidación, realizadas en los materiales de estos bancos, manifiestan una deformación normal y en todos los casos se presenta el fenómeno de consolidación desde el inicio de la prueba.

Las gráficas de cada una de las pruebas de consolidación más representativas realizadas, se presentan en el **ANEXO No. 3-4 GRÁFICAS DE CONSOLIDACIÓN.**

De acuerdo con los resultados de las pruebas de consolidación, se concluye la conveniencia de que a la cortina se le dé una contraflecha en la sección máxima, correspondiendo esta contraflecha al 3% de la altura máxima de la cortina. Esto es con el objeto de que la deformación por consolidación del material del corazón impermeable, no disminuya el bordo libre de la cortina. Lo anterior se desprende como una recomendación derivada del estudio de banco de materiales, que deberá de ser verificada en el diseño geotécnico de la cortina (Ver Capítulo 4.0).

### 3.7 PARÁMETROS PARA EL DISEÑO DE LA SECCIÓN DE LA CORTINA.

Los parámetros del material impermeable para el diseño de la sección de la cortina, se eligieron, tomando en cuenta los valores mas bajos, para que de esta manera se estén analizando características mas desfavorables a las que en realidad estará sujeta la presa. Las condiciones del peso volumétrico del suelo para el análisis de la cortina, que a continuación se mencionan, son los que la literatura especializada en diseño de cortinas flexibles recomienda para cada uno de los materiales.

- **MATERIAL IMPERMEABLE.**

<b>Condiciones Iniciales:</b>	Cohesión :	$C = 5.70 \text{ ton/m}^2$
	Ángulo de fricción interna :	$\phi = 2.0^\circ$
	Peso Volumétrico saturado :	$\gamma_{\text{sat}} = 1.854 \text{ ton/m}^3$
<b>Condiciones Finales:</b>	Cohesión :	$C = 6.40 \text{ ton/m}^2$
	Ángulo de fricción interna :	$\phi = 4.50^\circ$
	Peso Volumétrico saturado :	$\gamma_{\text{sat}} = 1.879 \text{ ton/m}^3$

- **MATERIAL PARA AGREGADOS DE CONCRETO.**

Peso Volumétrico seco :	$\gamma_s = 1,692 \text{ ton/m}^3$
Peso Volumétrico compacto :	$= 1,839 \text{ ton/m}^3$
% de absorción :	$\% = 6.76 \%$
Desgaste de los Ángeles	$\% = 29.5 \%$
Materia orgánica :	M.O.= Negativo
Sanidad :	$S = 8.87 \%$
Densidad :	$D = 2.47$

- **MATERIAL PARA REVESTIMIENTO.**

Peso Volumétrico seco :	$\gamma_s = 1,692 \text{ ton/m}^3$
Peso Volumétrico compacto :	$= 1,839 \text{ ton/m}^3$
% de absorción :	$\% = 6.76 \%$
Desgaste de los Ángeles :	$\% = 29.5 \%$
Materia orgánica :	M.O.= Negativo

- **MATERIAL DE ENROCAMIENTO**

Peso Volumétrico seco :	$\gamma_s = 1,692 \text{ ton/m}^3$
Peso Volumétrico compacto :	$= 1,839 \text{ ton/m}^3$
% de absorción :	$\% = 6.76 \%$
Desgaste de los Ángeles :	$\% = 29.5 \%$

**ANEXO No. 3-1 PERFILES  
ESTRATIGRÁFICOS.**

# PERFIL ESTRATIGRÁFICO

## POZO A CIELO ABIERTO

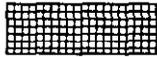
### SIMBOLOGIA:



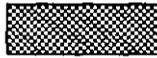
TIERRA VEGETAL



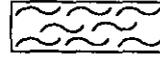
ARCILLA



FRAGMENTOS DE ROCA



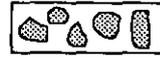
ROCA POCO ALTERADA



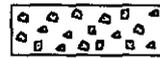
LIMO



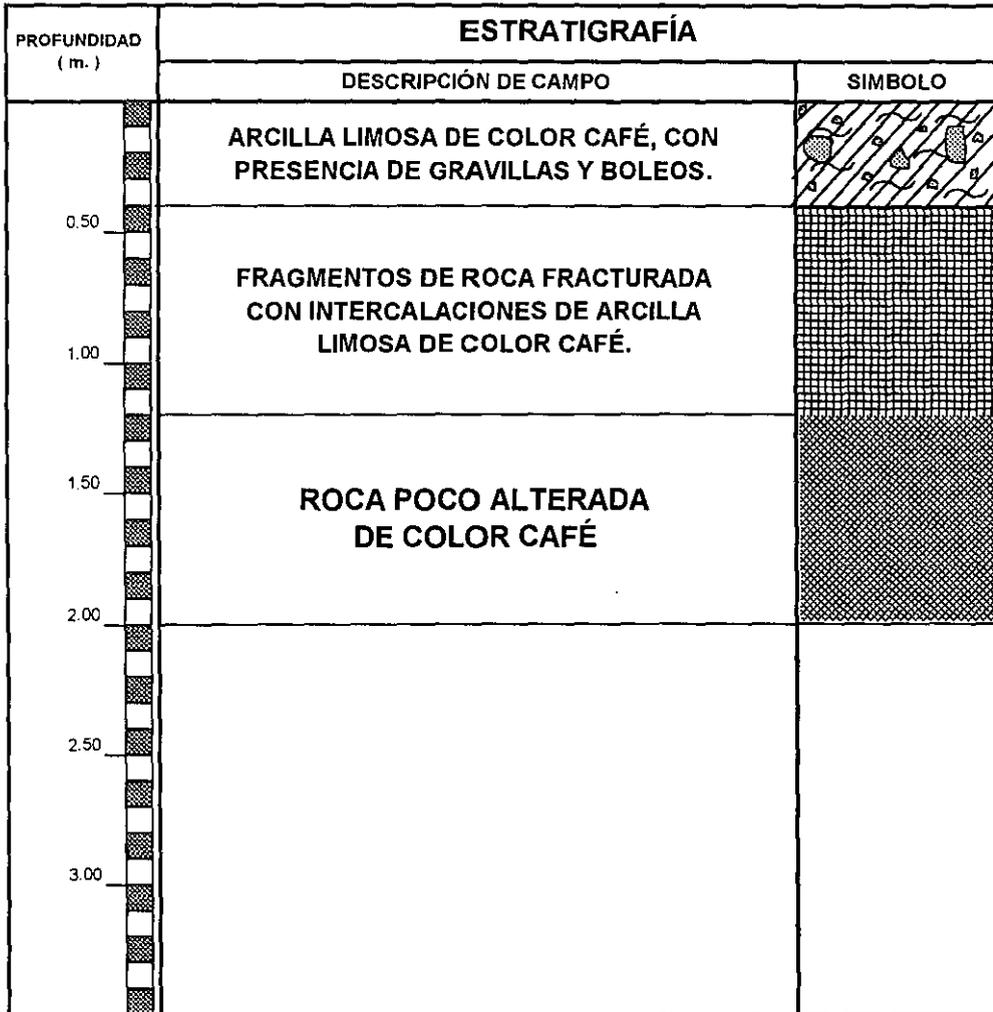
ARENA



BOLEOS



GRAVA



PROYECTO: PRESA PALO GORDO.

LOCALIZACION: MUNICIPIO DE TEJUPILCO, ESTADO DE MÉXICO.

Nº DE POZO A CIELO ABIERTO: PCA-2 BOQUILLA MARGEN DERECHA CAD. 0+027

PROF. N.A.F.: NO SE DETECTO EN LA PROFUNDIDAD EXPLORADA.

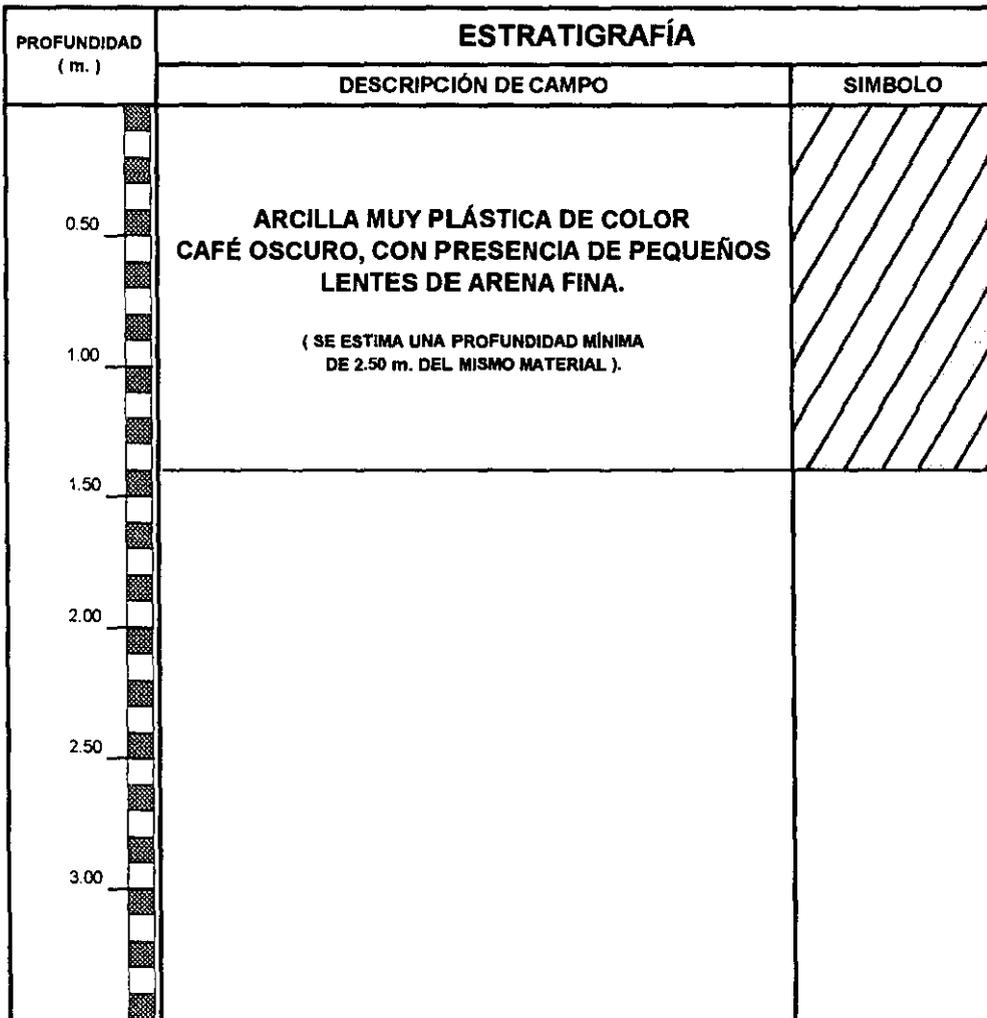


# PERFIL ESTRATIGRÁFICO

## POZO A CIELO ABIERTO

### SIMBOLOGIA:

<table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 30px; height: 20px; border: 1px solid black; background: repeating-linear-gradient(45deg, transparent, transparent 2px, black 2px, black 4px);"></td> <td>TIERRA VEGETAL</td> </tr> <tr> <td style="width: 30px; height: 20px; border: 1px solid black; background: repeating-linear-gradient(-45deg, transparent, transparent 2px, black 2px, black 4px);"></td> <td>ARCILLA</td> </tr> <tr> <td style="width: 30px; height: 20px; border: 1px solid black; background: repeating-linear-gradient(45deg, transparent, transparent 2px, black 2px, black 4px);"></td> <td>RELLENO</td> </tr> <tr> <td style="width: 30px; height: 20px; border: 1px solid black; background: repeating-linear-gradient(45deg, transparent, transparent 2px, black 2px, black 4px);"></td> <td>CONCRETO</td> </tr> </table>		TIERRA VEGETAL		ARCILLA		RELLENO		CONCRETO	<table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 30px; height: 20px; border: 1px solid black; background: repeating-linear-gradient(45deg, transparent, transparent 2px, black 2px, black 4px);"></td> <td>LIMO</td> </tr> <tr> <td style="width: 30px; height: 20px; border: 1px solid black; background-color: white;"></td> <td>ARENA</td> </tr> <tr> <td style="width: 30px; height: 20px; border: 1px solid black; background: repeating-linear-gradient(45deg, transparent, transparent 2px, black 2px, black 4px);"></td> <td>BOLEOS</td> </tr> <tr> <td style="width: 30px; height: 20px; border: 1px solid black; background: repeating-linear-gradient(45deg, transparent, transparent 2px, black 2px, black 4px);"></td> <td>GRAVA</td> </tr> </table>		LIMO		ARENA		BOLEOS		GRAVA
	TIERRA VEGETAL																
	ARCILLA																
	RELLENO																
	CONCRETO																
	LIMO																
	ARENA																
	BOLEOS																
	GRAVA																



PROYECTO:      PRESA PALO GORDO.

LOCALIZACION:    MUNICIPIO DE TEJUPILCO, ESTADO DE MÉXICO.

Nº DE POZO A CIELO ABIERTO:    PCA-2 BANCO DE MAT. IMPERMEABLE "RANCHO LOS COYOTES"

PROF. N.A.F.:      NO SE DETECTO EN LA PROFUNDIDAD EXPLORADA.

# PERFIL ESTRATIGRÁFICO

POZO A CIELO ABIERTO

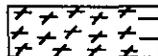
## SIMBOLOGIA:



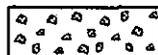
TIERRA VEGETAL



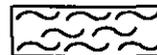
ARCILLA



RELLENO



CONCRETO



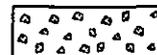
LIMO



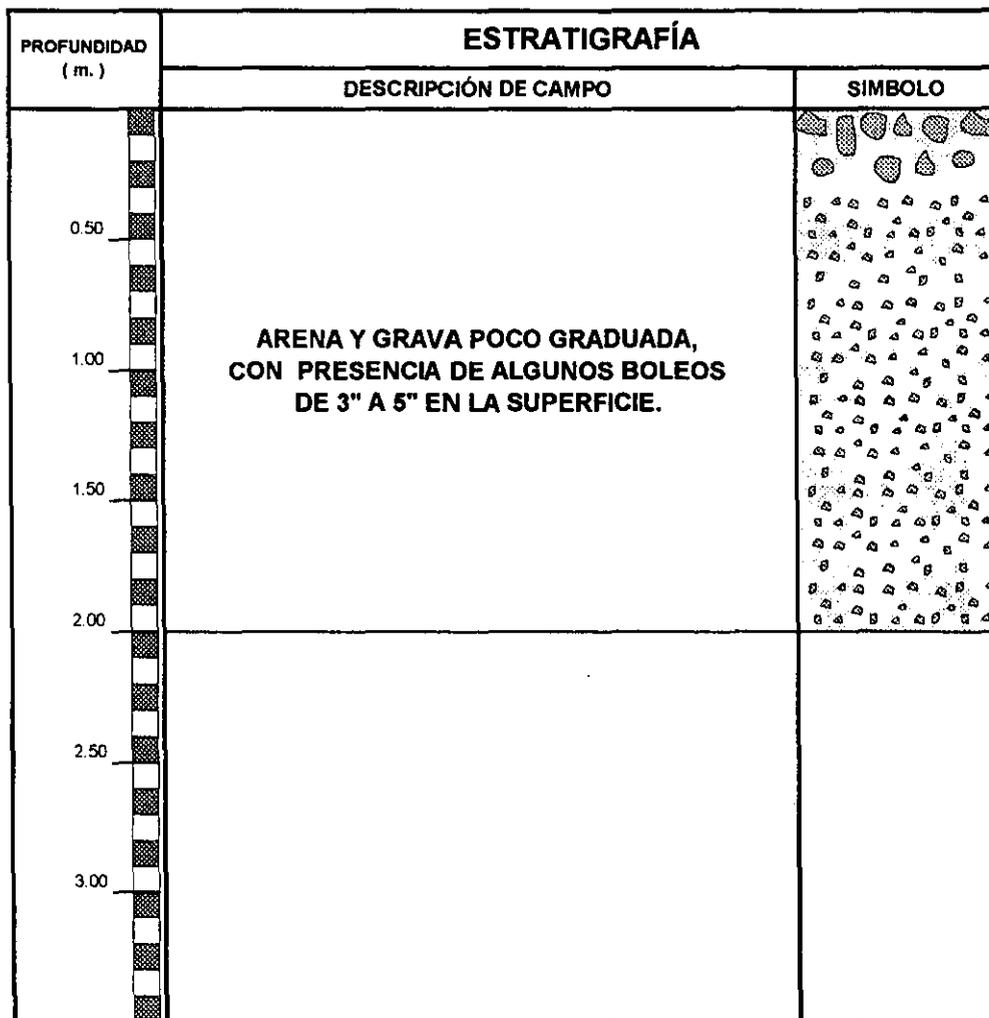
ARENA



BOLEOS



GRAVA



N.A.F

PROYECTO: PRESA PALO GORDO.

LOCALIZACION: MUNICIPIO DE TEJUPILCO, ESTADO DE MÉXICO.

Nº DE POZO A CIELO ABIERTO: PCA-1 BANCO DE AGREGADOS P/CONCRETO "LA BARRANCA"

PROF. N.A.F.: SE DETECTO SUPERFICIALMENTE.

# PERFIL ESTRATIGRÁFICO

## POZO A CIELO ABIERTO

### SIMBOLOGIA:

<table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 30px;"></td> <td>TIERRA VEGETAL</td> </tr> <tr> <td></td> <td>ARCILLA</td> </tr> <tr> <td></td> <td>RELLENO</td> </tr> <tr> <td></td> <td>CONCRETO</td> </tr> </table>		TIERRA VEGETAL		ARCILLA		RELLENO		CONCRETO	<table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 30px;"></td> <td>LIMO</td> </tr> <tr> <td></td> <td>ARENA</td> </tr> <tr> <td></td> <td>BOLEOS</td> </tr> <tr> <td></td> <td>GRAVA</td> </tr> </table>		LIMO		ARENA		BOLEOS		GRAVA
	TIERRA VEGETAL																
	ARCILLA																
	RELLENO																
	CONCRETO																
	LIMO																
	ARENA																
	BOLEOS																
	GRAVA																

PROFUNDIDAD ( m. )	ESTRATIGRAFÍA	
	DESCRIPCIÓN DE CAMPO	SIMBOLO
0.00		N.A.F.
0.50	<p style="font-weight: bold;">ARCILLA PLÁSTICA SATURADA, DE COLOR CAFÉ MUY OSCURO.</p>	
1.00		
1.50		
2.00		
2.50		

PROYECTO:      PRESA PALO GORDO.

LOCALIZACION :    MUNICIPIO DE TEJUPILCO, ESTADO DE MÉXICO.

Nº DE POZO A CIELO ABIERTO :    PCA-3 BANCO DE MAT. IMPERMEABLE "LA LAGUNA".

PROF. N.A.F. :      SE DETECTO UN TIRANTE DE AGUA DE 0.20 m. DE PROFUNDIDAD SOBRE N.T.N.

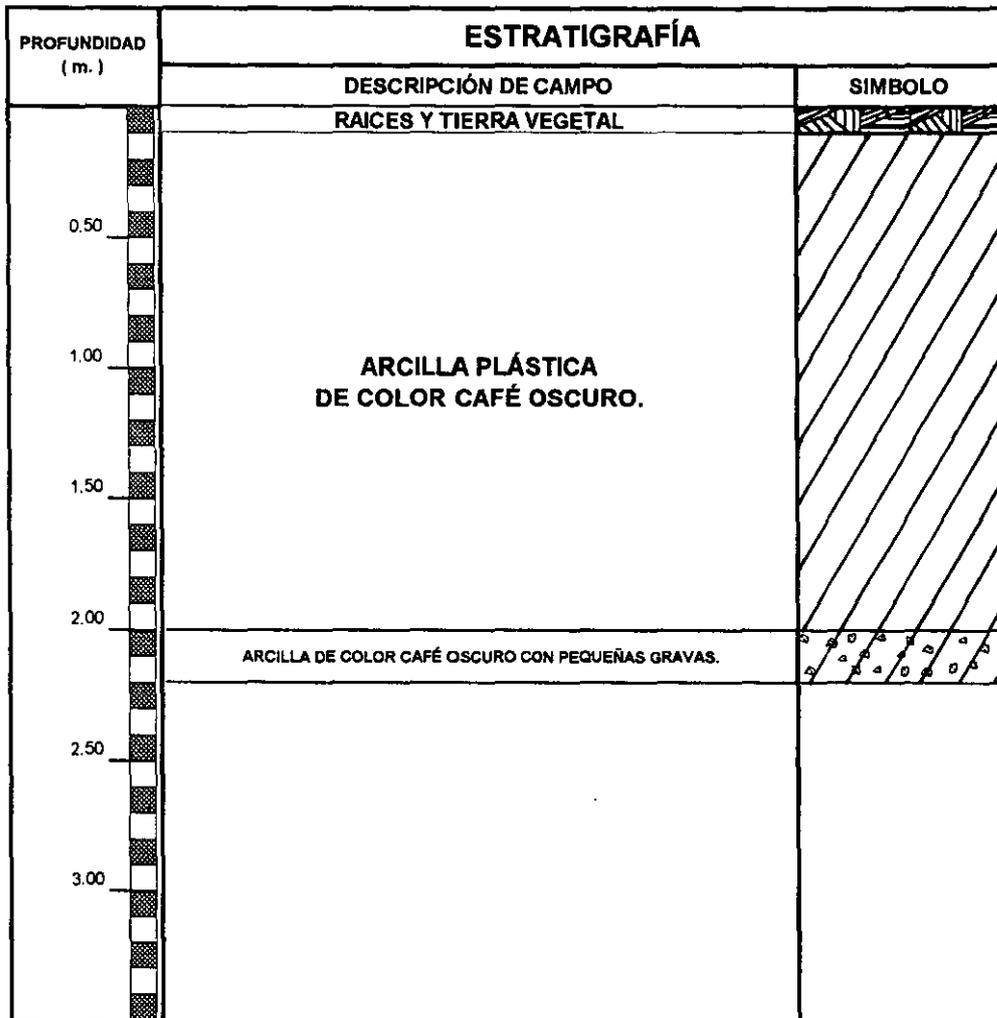
ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

# PERFIL ESTRATIGRÁFICO

## POZO A CIELO ABIERTO

### SIMBOLOGIA:

<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30px; height: 20px; border: 1px solid black;"></td> <td>TIERRA VEGETAL</td> </tr> <tr> <td style="width: 30px; height: 20px; border: 1px solid black;"></td> <td>ARCILLA</td> </tr> <tr> <td style="width: 30px; height: 20px; border: 1px solid black;"></td> <td>RELLENO</td> </tr> <tr> <td style="width: 30px; height: 20px; border: 1px solid black;"></td> <td>CONCRETO</td> </tr> </table>		TIERRA VEGETAL		ARCILLA		RELLENO		CONCRETO	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30px; height: 20px; border: 1px solid black;"></td> <td>LIMO</td> </tr> <tr> <td style="width: 30px; height: 20px; border: 1px solid black;"></td> <td>ARENA</td> </tr> <tr> <td style="width: 30px; height: 20px; border: 1px solid black;"></td> <td>BOLEOS</td> </tr> <tr> <td style="width: 30px; height: 20px; border: 1px solid black;"></td> <td>GRAVA</td> </tr> </table>		LIMO		ARENA		BOLEOS		GRAVA
	TIERRA VEGETAL																
	ARCILLA																
	RELLENO																
	CONCRETO																
	LIMO																
	ARENA																
	BOLEOS																
	GRAVA																



PROYECTO: PRESA PALO GORDO.

LOCALIZACION: MUNICIPIO DE TEJUPILCO, ESTADO DE MÉXICO.

Nº DE POZO A CIELO ABIERTO: PCA-2 BANCO DE MAT. IMPERMEABLE "EL PANTEÓN".

PROF. N.A.F.: NO SE DETECTO EN LA PROFUNDIDAD EXPLORADA.

**ANEXO No. 3-2 GRÁFICAS  
GRANULOMÉTRICAS.**

# GRÁFICA DE GRANULOMETRÍA

PROCEDENCIA : **PROYECTO PRESA 'PALO GORDO'**  
 BANCO : **MAT. IMPERMEABLE 'LOS COYOTES'**

PROFUNDIDAD : **1.20 - 1.50 m.**  
 N° POZO : **POZO - 01**

## Resultados del Laboratorio de Mecánica de Suelos

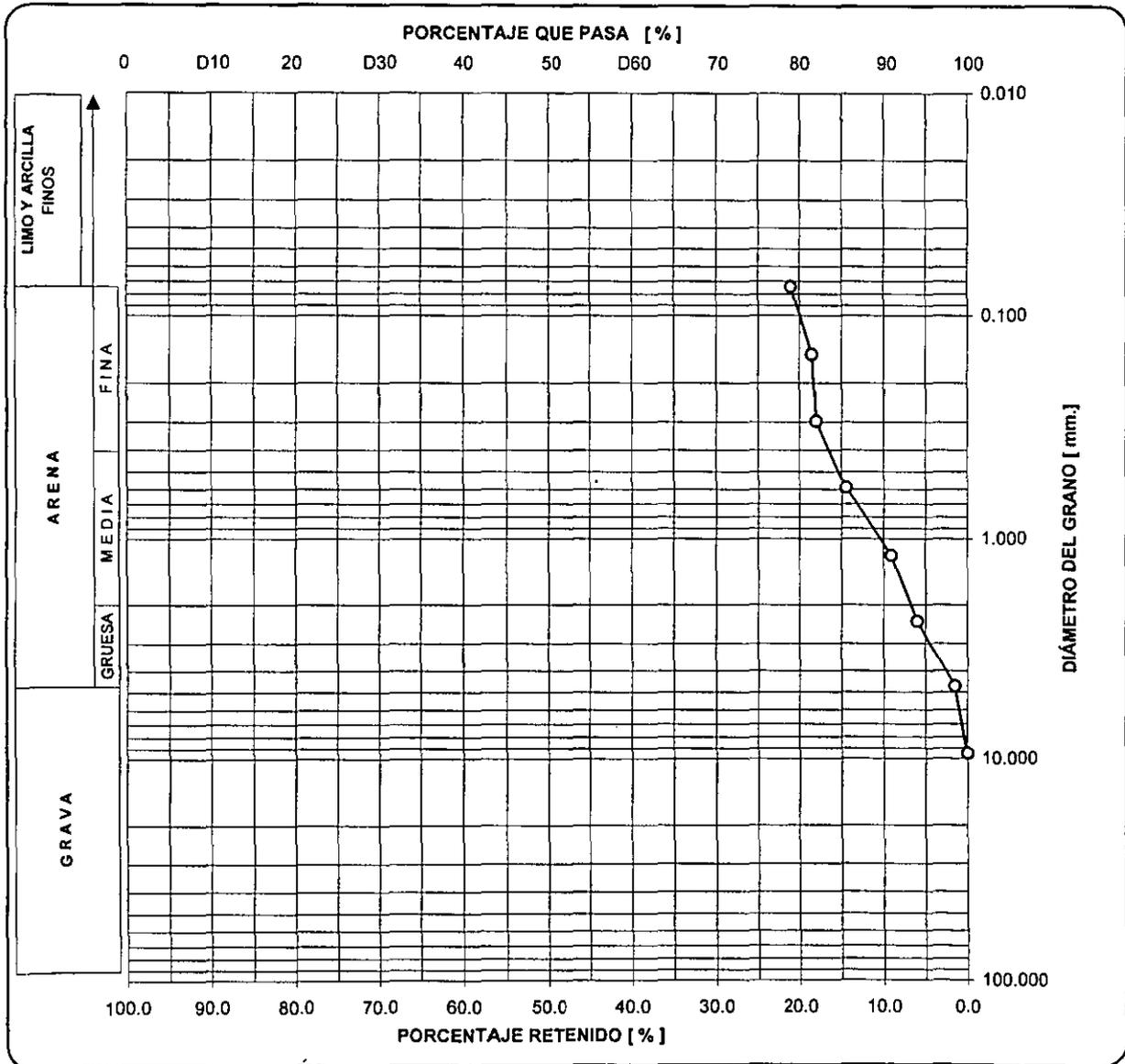
Retenido en la malla [%]	Diámetro del grano [mm]
21.0	0.074
18.5	0.149
18.0	0.297
14.5	0.590
9.0	1.190
6.0	2.380
1.5	4.690
0.0	9.500

### GRANULOMETRÍA DE LA MUESTRA.

% DE PARTICULAS DE GRAVA : **1.84**  
 % DE PARTICULAS DE ARENA : **18.46**  
 % DE PARTICULAS DE FINOS : **79.70**

#### OBSERVACIONES:

ARENA MEDIA A FINA CON PARTICULAS GRUESAS DE GRAVILLA AISLADAS.



# GRÁFICA DE GRANULOMETRÍA

PROCEDENCIA : **PROYECTO PRESA 'PALO GORDO'**  
 BANCO : **GRAVA - ARENA 'LA BARRANCA'**

PROFUNDIDAD : **0.80 m.**  
 Nº POZO : **P.C.A.- 01 ( CAD.0+100 )**

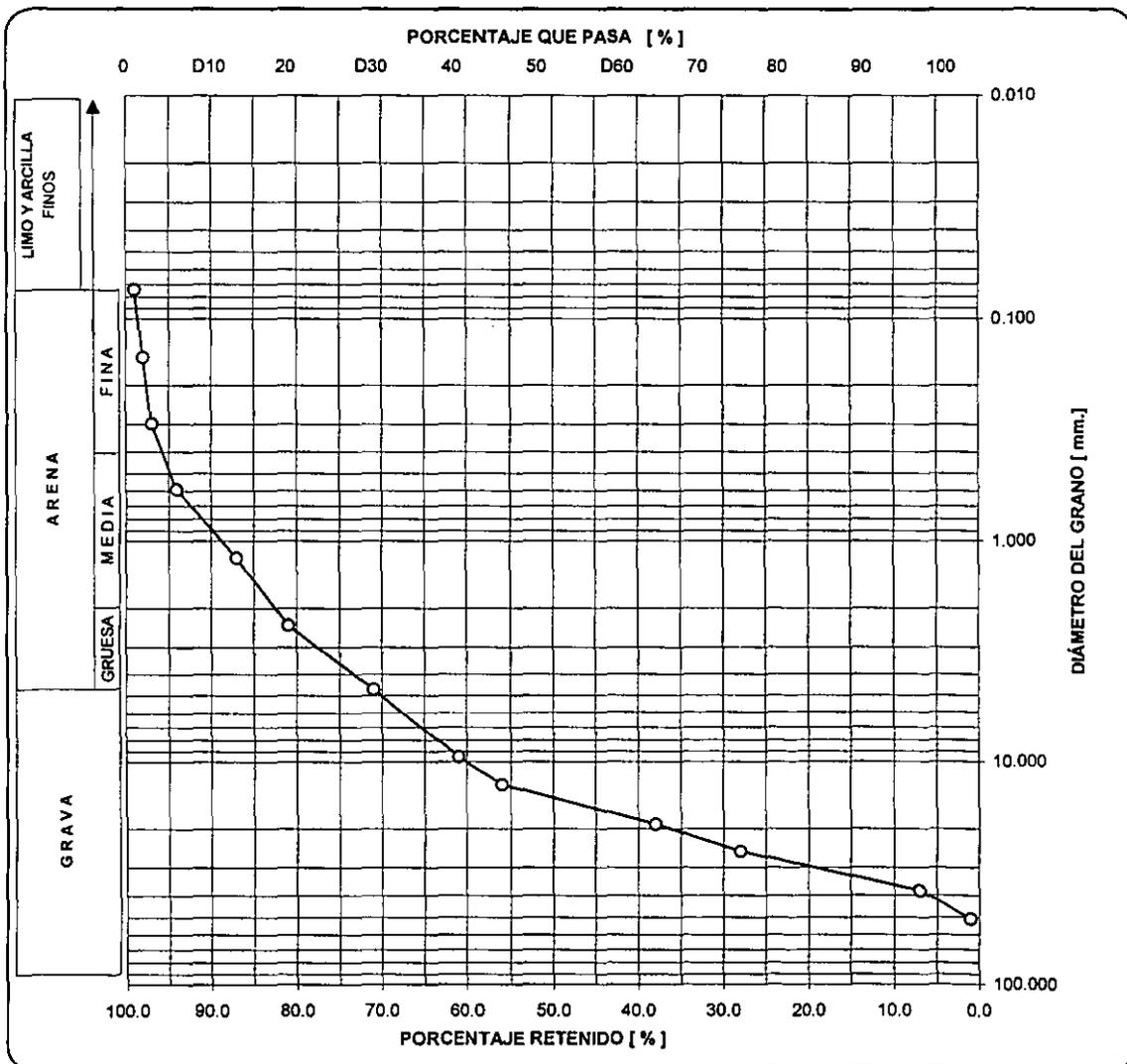
## Resultados del Laboratorio de Mecánica de Suelos

Retenido en la malla [%]	Diámetro del grano [ mm ]
99.0	0.074
98.0	0.149
97.0	0.297
94.0	0.590
87.0	1.190
81.0	2.380
71.0	4.690
61.0	9.500
56.0	12.700
38.0	19.100
28.0	25.400
7.0	38.100
1.0	50.800

### GRANULOMETRÍA DE LA MUESTRA.

% DE PARTICULAS DE GRAVA :  
 % DE PARTICULAS DE ARENA :  
 % DE PARTICULAS DE FINOS :

OBSERVACIONES:



# GRÁFICA DE GRANULOMETRÍA

PROCEDENCIA: **PROYECTO PRESA 'PALO GORDO'**  
 BANCO: **( GRAVA ) 'LA BARRANCA'**

PROFUNDIDAD: **0.80 m.**  
 N° POZO: **PCA - 01 ( CAD. 0+100 )**

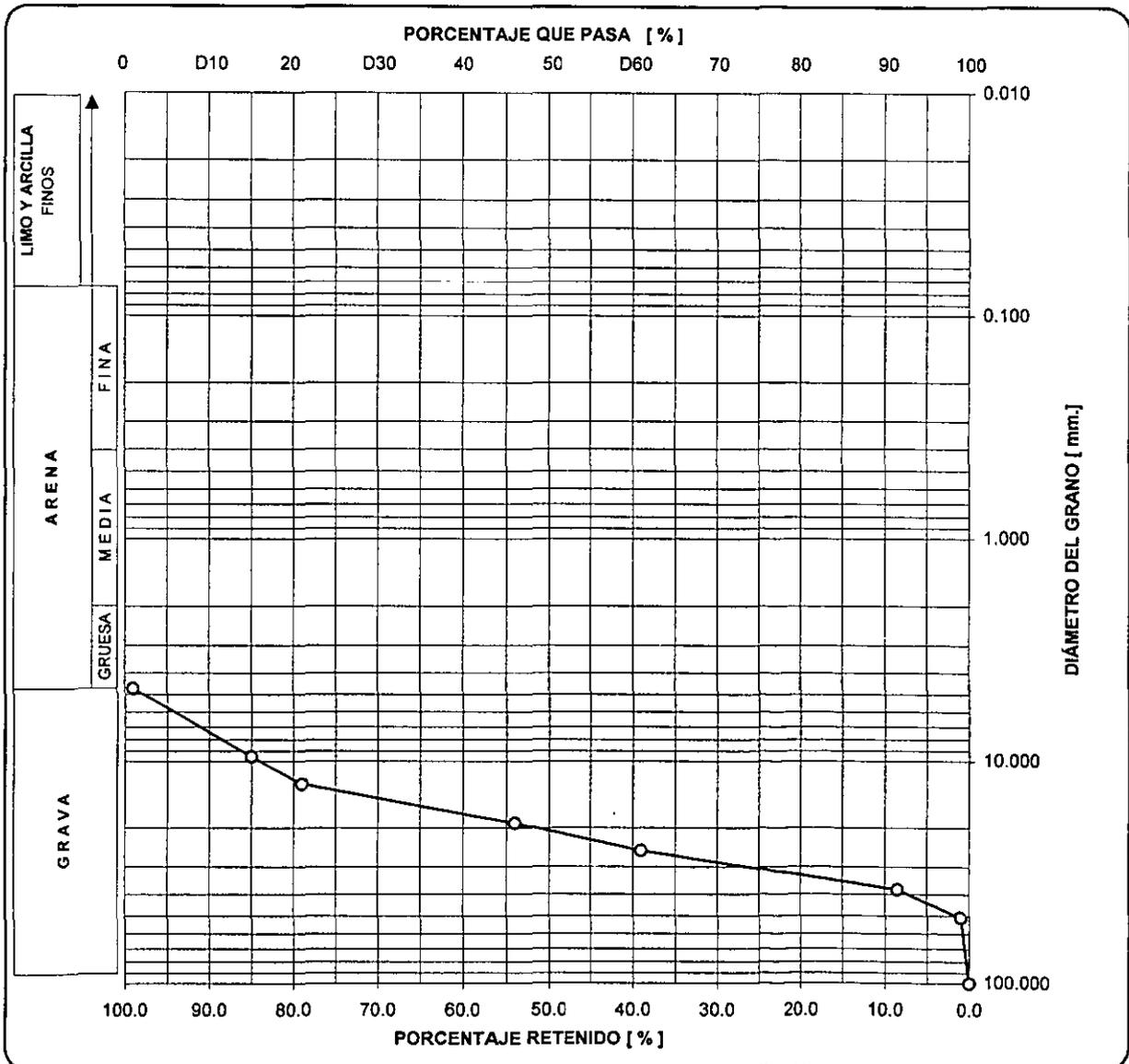
## Resultados del Laboratorio de Mecánica de Suelos

Retenido en la malla [%]	Diámetro del grano [ mm ]
99.0	4.690
85.0	9.500
79.0	12.700
54.0	19.100
39.0	25.400
8.5	38.100
1.0	50.80
0.0	100.00

### GRANULOMETRÍA DE LA MUESTRA.

% DE PARTICULAS DE GRAVA :  
 % DE PARTICULAS DE ARENA :  
 % DE PARTICULAS DE FINOS :

OBSERVACIONES:



# GRÁFICA DE GRANULOMETRÍA

PROCEDENCIA : **PROYECTO PRESA 'PALO GORDO'**  
 BANCO : **( ARENA ) ' LA BARRANCA '**

PROFUNDIDAD : **0.80 m.**  
 N° POZO : **PCA - 01 ( CAD 0+100 )**

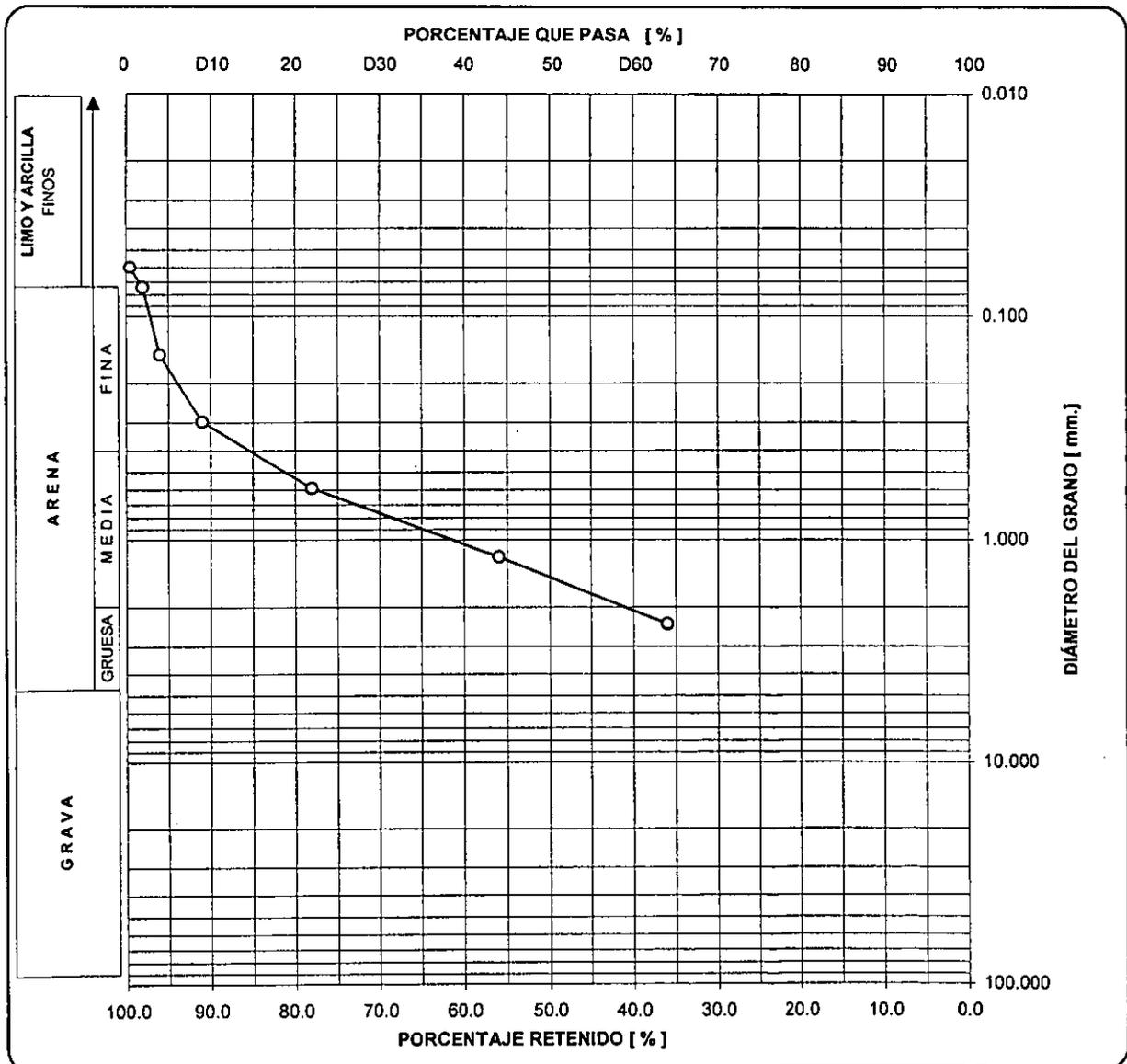
## Resultados del Laboratorio de Mecánica de Suelos

Retenido en la malla [%]	Diámetro del grano [ mm ]
99.5	0.060
98.0	0.074
96.0	0.149
91.0	0.297
78.0	0.590
56.0	1.190
36.0	2.380

### GRANULOMETRÍA DE LA MUESTRA.

% DE PARTICULAS DE GRAVA :  
 % DE PARTICULAS DE ARENA :  
 % DE PARTICULAS DE FINOS :

OBSERVACIONES:



# GRÁFICA DE GRANULOMETRÍA

PROCEDENCIA : **PROYECTO PRESA 'PALO GORDO'**  
 BANCO : **'LA LAGUNA'**

PROFUNDIDAD : **0.60 m.**  
 N° POZO : **P.C.A. 02**

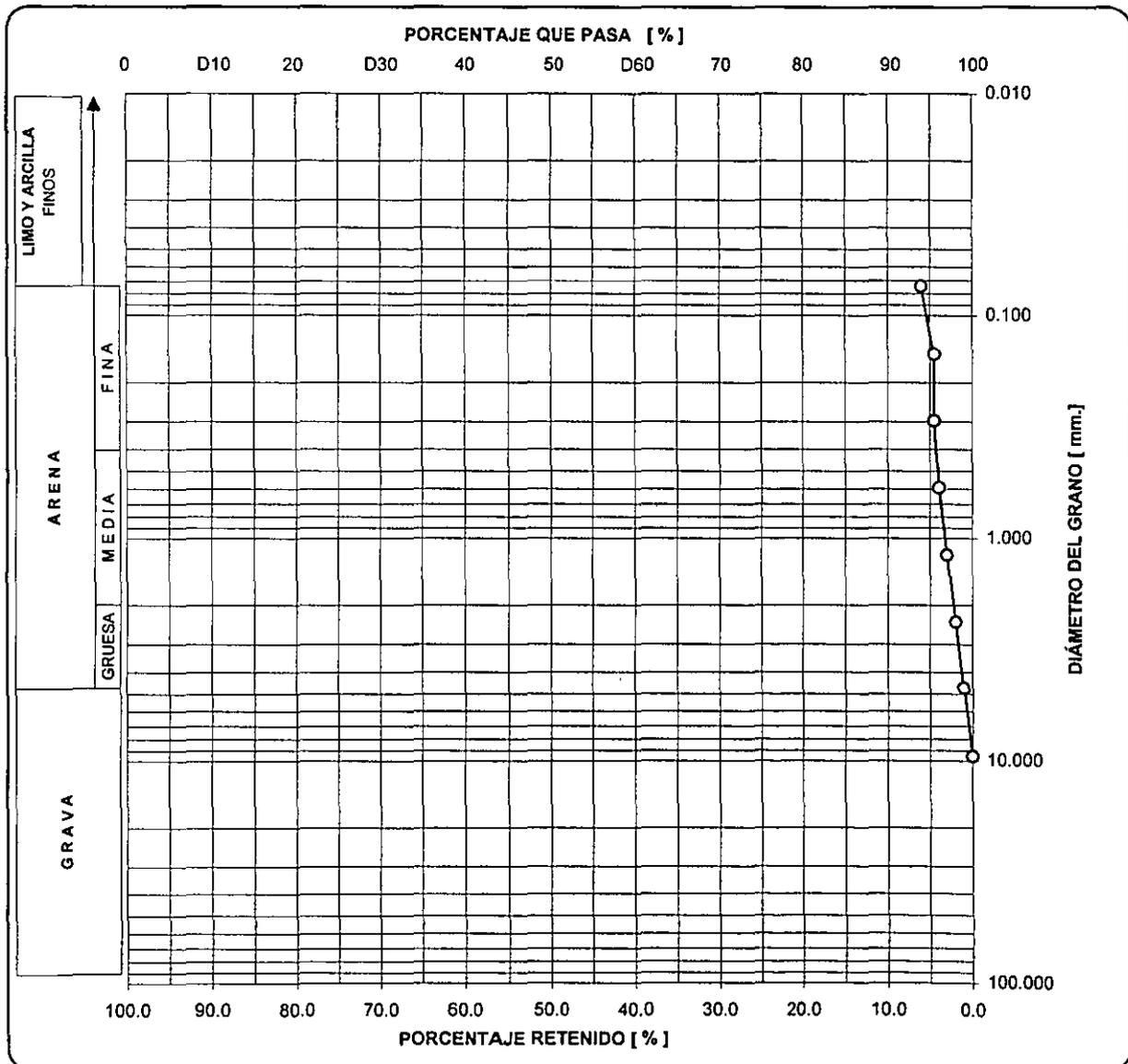
## Resultados del Laboratorio de Mecánica de Suelos

Retenido en la malla [%]	Diámetro del grano [mm]
6.0	0.074
4.5	0.149
4.5	0.297
4.0	0.590
3.0	1.190
2.0	2.380
1.0	4.69
0.0	9.50

### GRANULOMETRÍA DE LA MUESTRA.

% DE PARTICULAS DE GRAVA : **1.08**  
 % DE PARTICULAS DE ARENA : **4.83**  
 % DE PARTICULAS DE FINOS : **94.09**

**OBSERVACIONES:**  
 ARENA FINA Y MEDIA CON PRESENCIA DE GRUESAS Y GRAVILLAS AISLADAS.



# GRÁFICA DE GRANULOMETRÍA

PROCEDENCIA : **PROYECTO PRESA 'PALO GORDO'**  
 BANCO : **'EL PANTEÓN'**

PROFUNDIDAD : **0.40 - 0.70 m.**  
 N° POZO : **P.C.A. 03**

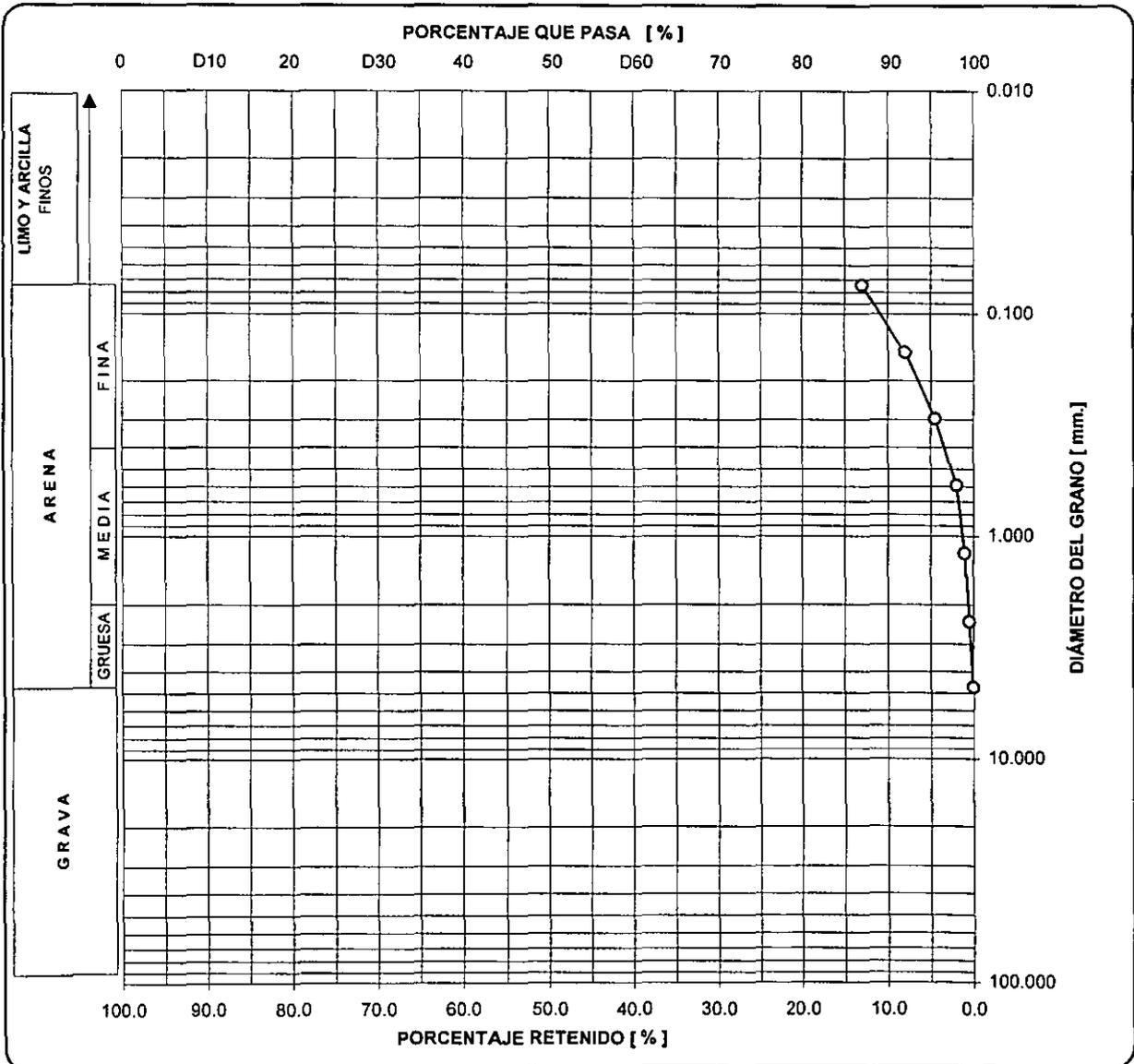
## Resultados del Laboratorio de Mecánica de Suelos

Retenido en la malla [%]	Diámetro del grano [mm]
13.0	0.074
8.0	0.149
4.5	0.297
2.0	0.590
1.0	1.190
0.5	2.380
0.0	4.690

### GRANULOMETRÍA DE LA MUESTRA.

% DE PARTICULAS DE GRAVA : -  
 % DE PARTICULAS DE ARENA : **12.60**  
 % DE PARTICULAS DE FINOS : **87.40**

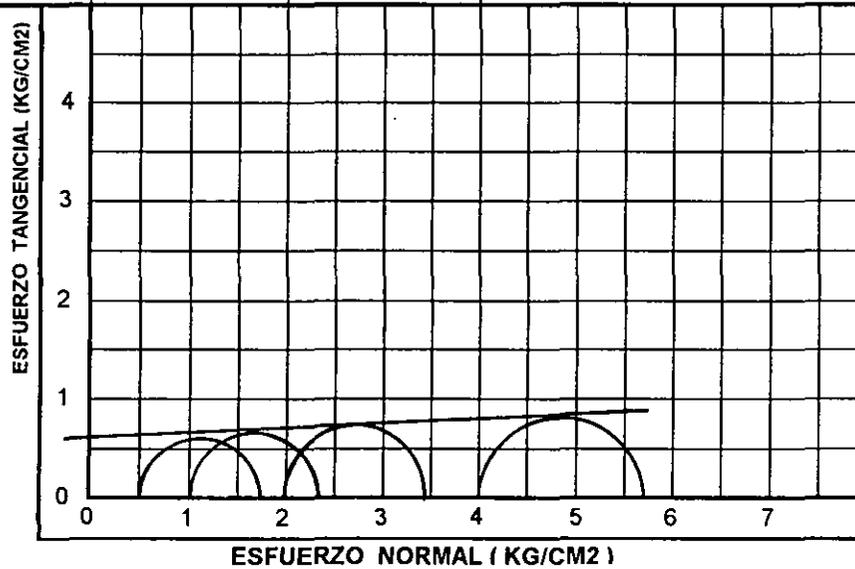
**OBSERVACIONES:**  
 ARENA FINA Y ARENA MEDIA.



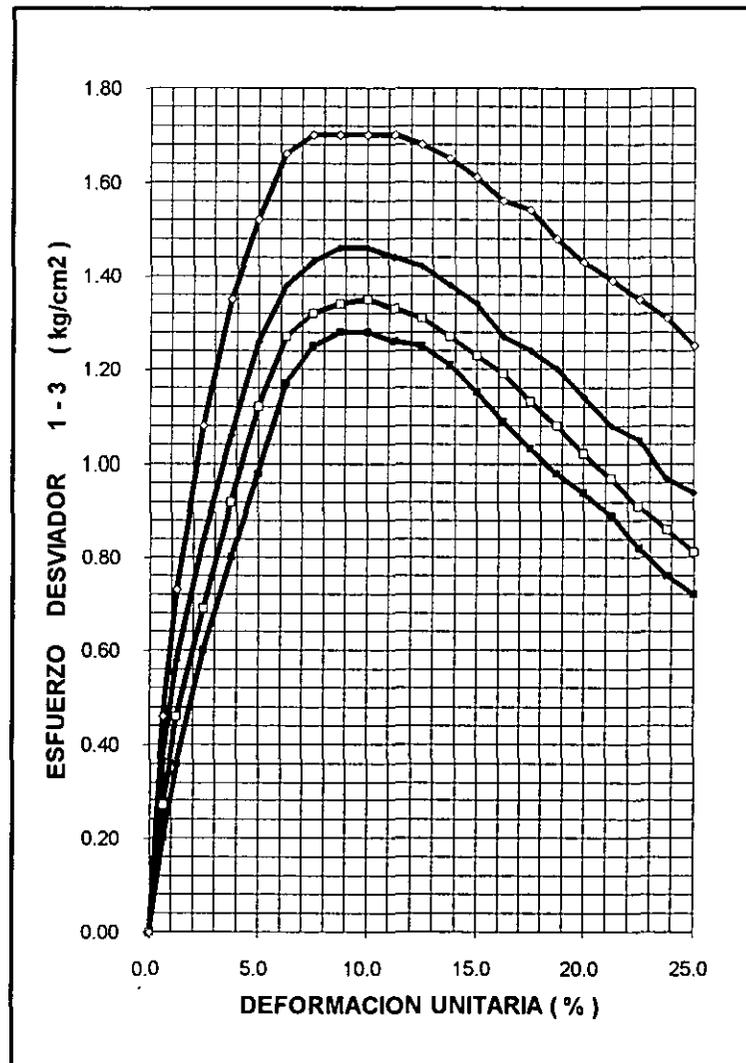
**ANEXO No. 3-3    RESULTADOS DE  
PRUEBAS TRIAXIALES.**

## ESTUDIO DE BANCOS DE MATERIALES ANEXO N°. 3-3

PRUEBA No.	wi %	wf %	ei	ef	Gi %	Gf %	$\sigma_3$ kg/cm <sup>2</sup>	$\sigma_1 - \sigma_3$ kg/cm <sup>2</sup>
1	25.66		0.709		99.47		0.50	1.28
2	25.70		0.712		99.17		1.00	1.35
3	25.66		0.712		99.11		2.00	1.46
4	25.68		0.711		99.23		4.00	1.70
PROM.	25.68	0.00	0.711	0.00	99.25	0.00		
PESOS VOLUMETRICOS					$\phi = 2.5^\circ$		$c = 6.0$ Ton/m <sup>2</sup>	
	INICIALES		FINALES		Tipo de prueba.  <b>UU</b>			
$\gamma$	1693	kg/m <sup>3</sup>		kg/m <sup>3</sup>				
$\gamma$	2019	kg/m <sup>3</sup>		kg/m <sup>3</sup>				
$\gamma$	2022	kg/m <sup>3</sup>		kg/m <sup>3</sup>				
%c	94.86%		Ss	2.748				



## COMPRESION TRIAXIAL

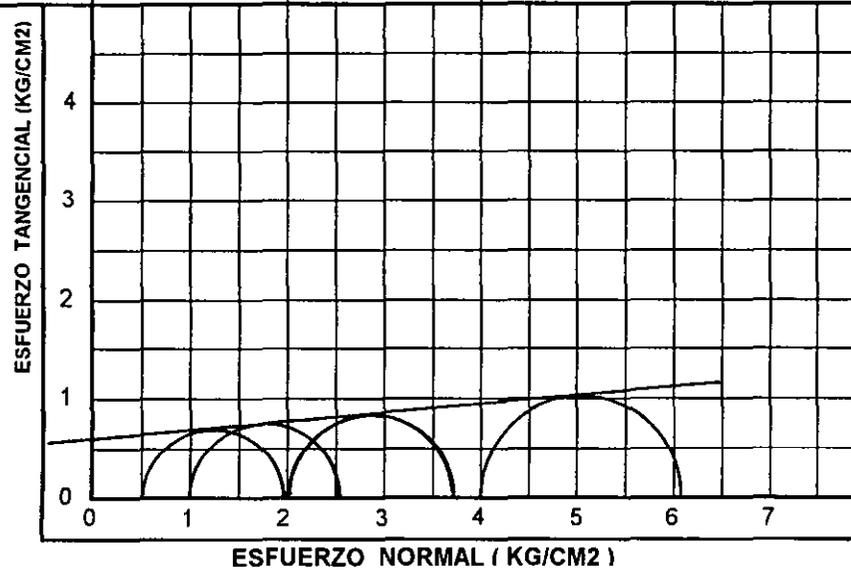


Procedencia: Banco de arcilla 'Rancho Coyotes', Presa Palo Gordo  
 Muestra No.: Uno (integral) Profundidad: 1.80 m  
 Observaciones: \_\_\_\_\_

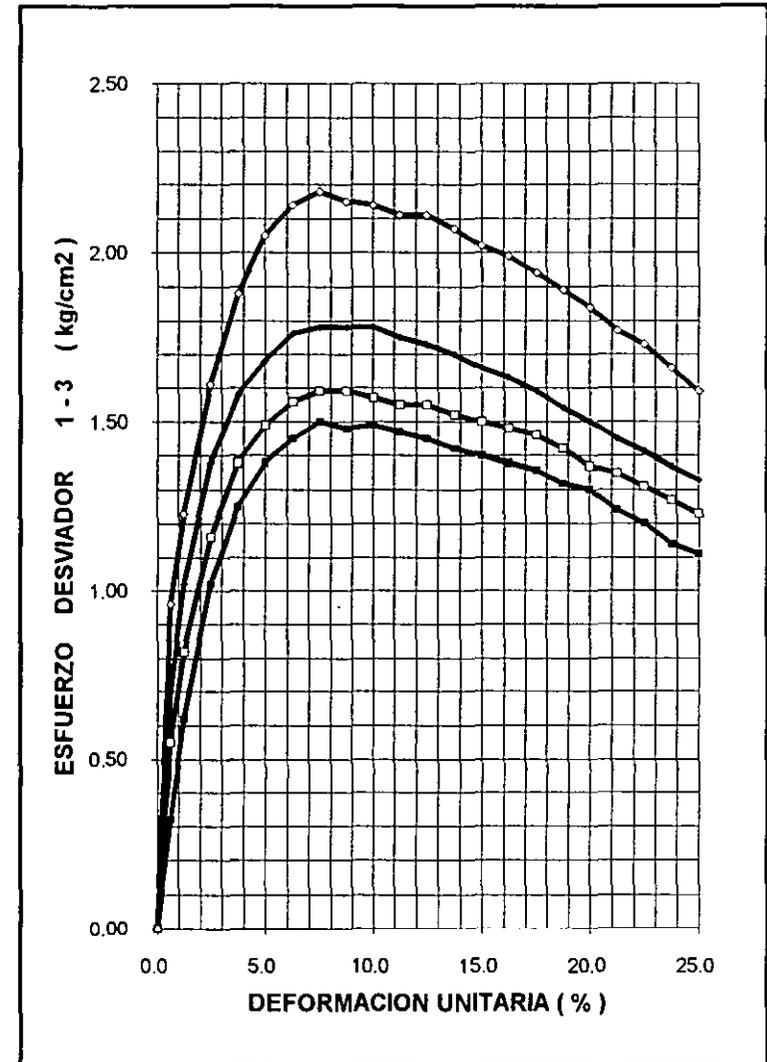
Sondeo: PCA1  
 Fecha: Agosto de 1994

## ESTUDIO DE BANCOS DE MATERIALES ANEXO N°. 3-3

PRUEBA No.	wi %	wf %	ei	ef	Gi %	Gf %	$\sigma_3$ kg/cm <sup>2</sup>	$\sigma_1 - \sigma_3$ kg/cm <sup>2</sup>
1	39.86	38.24	1.152	1.110	97.96	97.55	0.50	1.50
2	39.92	37.62	1.151	1.085	98.21	98.17	1.00	1.59
3	40.02	37.29	1.150	1.079	98.51	97.85	2.00	1.78
4	39.82	37.16	1.143	1.063	98.64	98.64	4.00	2.18
PROM.	39.91	37.58	1.149	1.084	98.33	98.05		
PESOS VOLUMETRICOS					$\phi = 4.5^\circ$		$c = 6.4 \text{ Ton/m}^2$	
	INICIALES		FINALES		Tipo de prueba:  <b>CU</b>			
$\gamma$ S	1317	kg/m <sup>3</sup>	1358	kg/m <sup>3</sup>				
$\gamma$ H	1843	kg/m <sup>3</sup>	1869	kg/m <sup>3</sup>				
$\gamma$ Sat	1852	kg/m <sup>3</sup>	1879	kg/m <sup>3</sup>				
%c	94.41%		97.35%		Ss =		2.831	



## COMPRESION TRIAXIAL



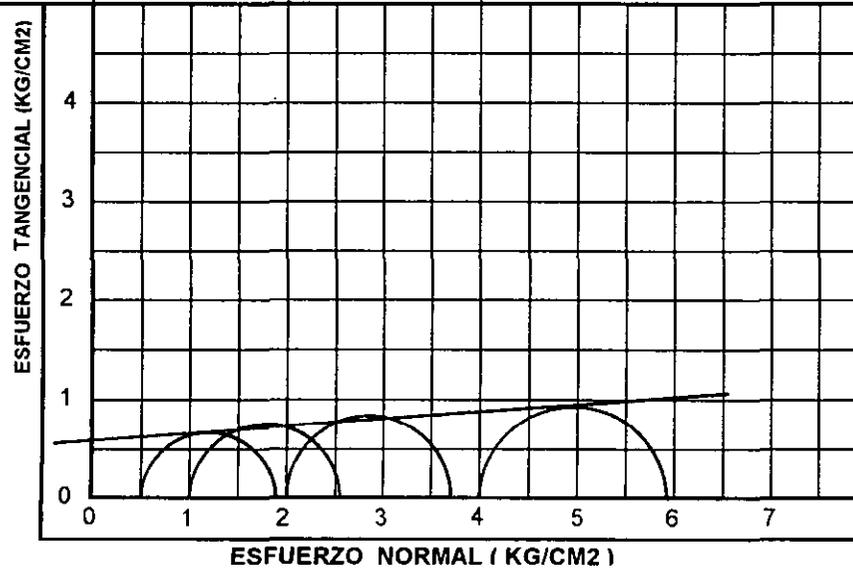
Procedencia: Banco de arcilla 'La Laguna', Presa Palo Gordo.  
 Muestra No.: Remoldeada Profundidad: 0.60 - 0.90 m  
 Observaciones: \_\_\_\_\_

Sondeo: PCA2  
 Fecha: Agosto de 1994

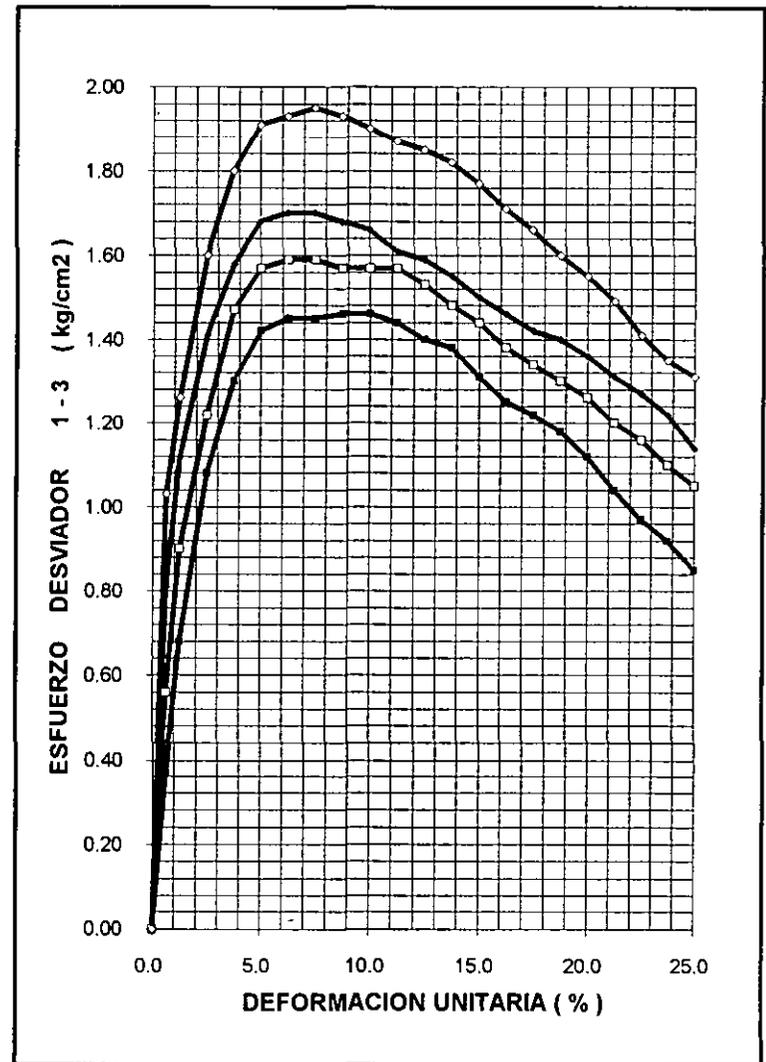
## ESTUDIO DE BANCOS DE MATERIALES ANEXO N°. 3-3

PRUEBA No.	wi %	wf %	ei	ef	Gi %	Gf %	$\sigma_3$ kg/cm <sup>2</sup>	$\sigma_1 - \sigma_3$ kg/cm <sup>2</sup>
1	28.02		0.794		98.72		0.50	1.46
2	28.00		0.794		98.64		1.00	1.59
3	27.98		0.795		98.47		2.00	1.71
4	27.97		0.795		98.45		4.00	1.94
PROM.	27.99		0.795		98.57			

PESOS VOLUMETRICOS				$\phi = 4.0^\circ$	$c = 6.4 \text{ Ton/m}^2$
	INICIALES		FINALES		
$\gamma_s$	1558	kg/m <sup>3</sup>		kg/m <sup>3</sup>	Tipo de prueba: <b>UU</b>
$\gamma_H$	1994	kg/m <sup>3</sup>		kg/m <sup>3</sup>	
$\gamma_{\text{Sat}}$	2000	kg/m <sup>3</sup>		kg/m <sup>3</sup>	
%c	94.62%				$S_s = 2.796$



## COMPRESION TRIAXIAL

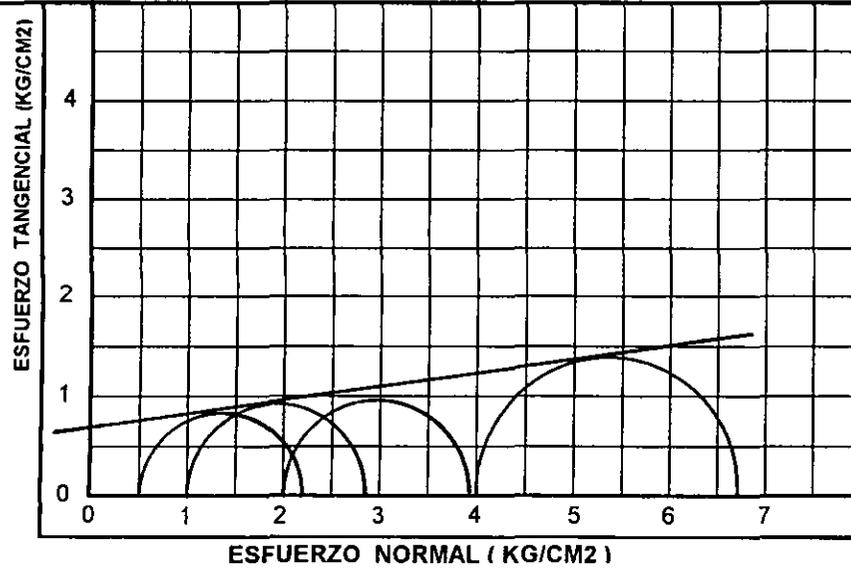


Procedencia: Banco de arcilla 'El Panteón', Presa Palo Gordo.  
 Muestra No.: Remoldeada Profundidad: 1.60 m  
 Observaciones: \_\_\_\_\_

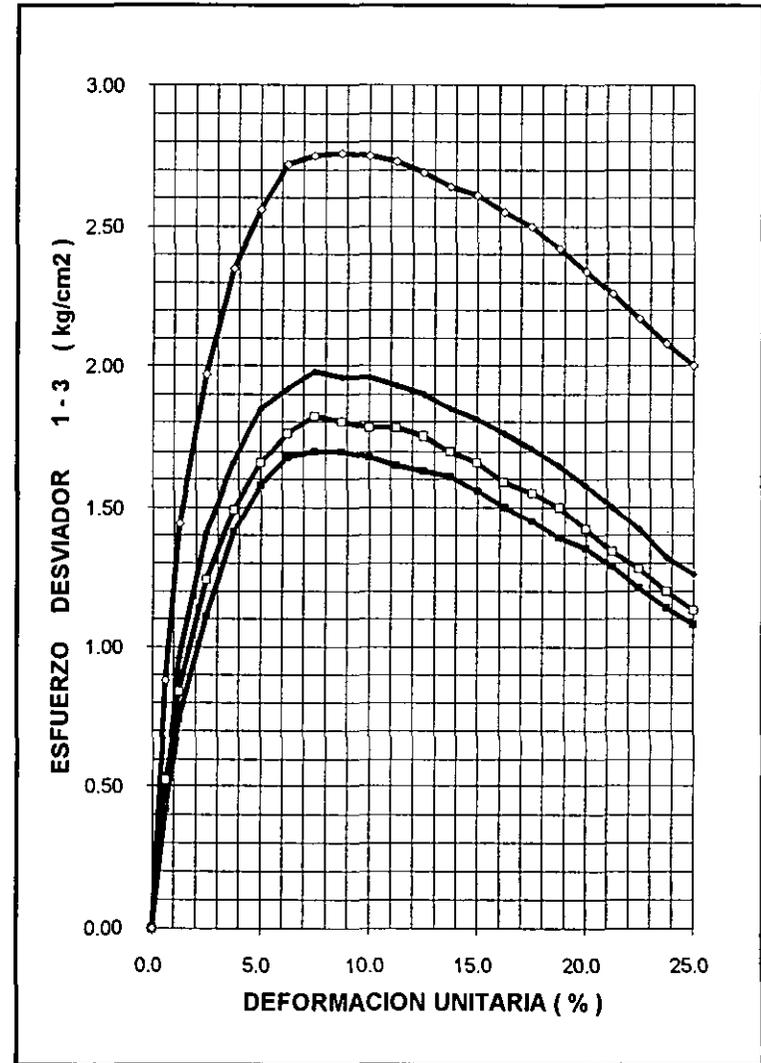
Sondeo: PCA2  
 Fecha: Agosto de 1994

## ESTUDIO DE BANCOS DE MATERIALES ANEXO N°. 3-3

PRUEBA No.	wi %	wf %	ei	ef	Gi %	Gf %	$\sigma_3$ kg/cm <sup>2</sup>	$\sigma_1 - \sigma_3$ kg/cm <sup>2</sup>	
1	27.96	27.12	0.793	0.770	98.64	98.40	0.500	1.70	
2	28.02	26.71	0.794	0.759	98.67	98.43	1.000	1.82	
3	28.02	26.50	0.794	0.754	98.72	98.28	2.000	1.98	
4	28.08	26.36	0.794	0.741	98.89	99.44	4.000	2.76	
PROM.	28.02	26.67	0.794	0.756	98.73	98.64			
PESOS VOLUMETRICOS					$\phi = 6.5^\circ$	$c = 6.9 \text{ Ton/m}^2$			
	INICIALES		FINALES						
$\gamma_s$	1558	kg/m <sup>3</sup>	1592	kg/m <sup>3</sup>	Tipo de prueba. <b>CU</b>				
$\gamma_H$	1995	kg/m <sup>3</sup>	2017	kg/m <sup>3</sup>					
$\gamma_{\text{Sat}}$	2001	kg/m <sup>3</sup>	2023	kg/m <sup>3</sup>					
%c	94.83%		96.90%		Ss=		2.796		



## COMPRESION TRIAXIAL



Procedencia: Banco de arcilla 'El Panteón', Presa Palo Gordo.  
 Muestra No.: Remoldeada Profundidad: 1.60 m  
 Observaciones: \_\_\_\_\_

Sondeo: PCA2  
 Fecha: Agosto de 1994

**ANEXO No. 3-4 GRÁFICAS DE  
CONSOLIDACIÓN.**

# CURVA DE COMPRESIBILIDAD

( MUESTRA REMOLDEADA )

PROYECTO:  
PRESA "PALO GORDO".

BANCO:  
"EL PANTEÓN".

TIPO DE MUESTRA:  
REMOLDEADA.

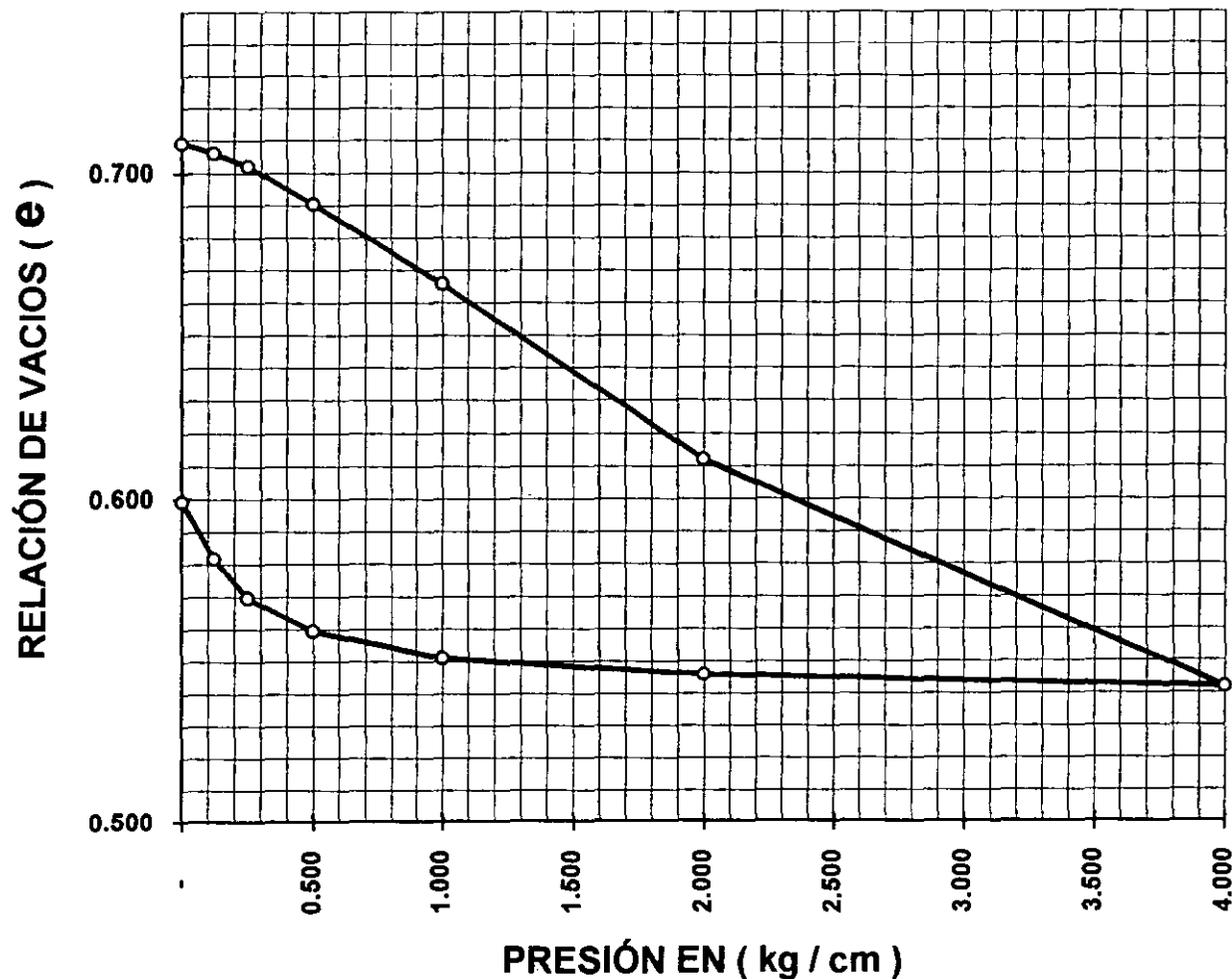
PROFUNDIDAD:  
1.30 m.

W INICIAL = 25.66 %  
W FINAL = 23.75 %

$e$  INICIAL = 0.709

$e$  FINAL = 0.598

SAT. INICIAL = 99.47 %  
SAT. FINAL = 100.00 %



# CURVA ESFUERZO - DEFORMACIÓN

MUESTRA REMOLDEADA

PROYECTO:  
PRESA "PALO GORDO".

BANCO:  
"EL PANTEÓN".

TIPO DE MUESTRA:  
REMOLDEADA.

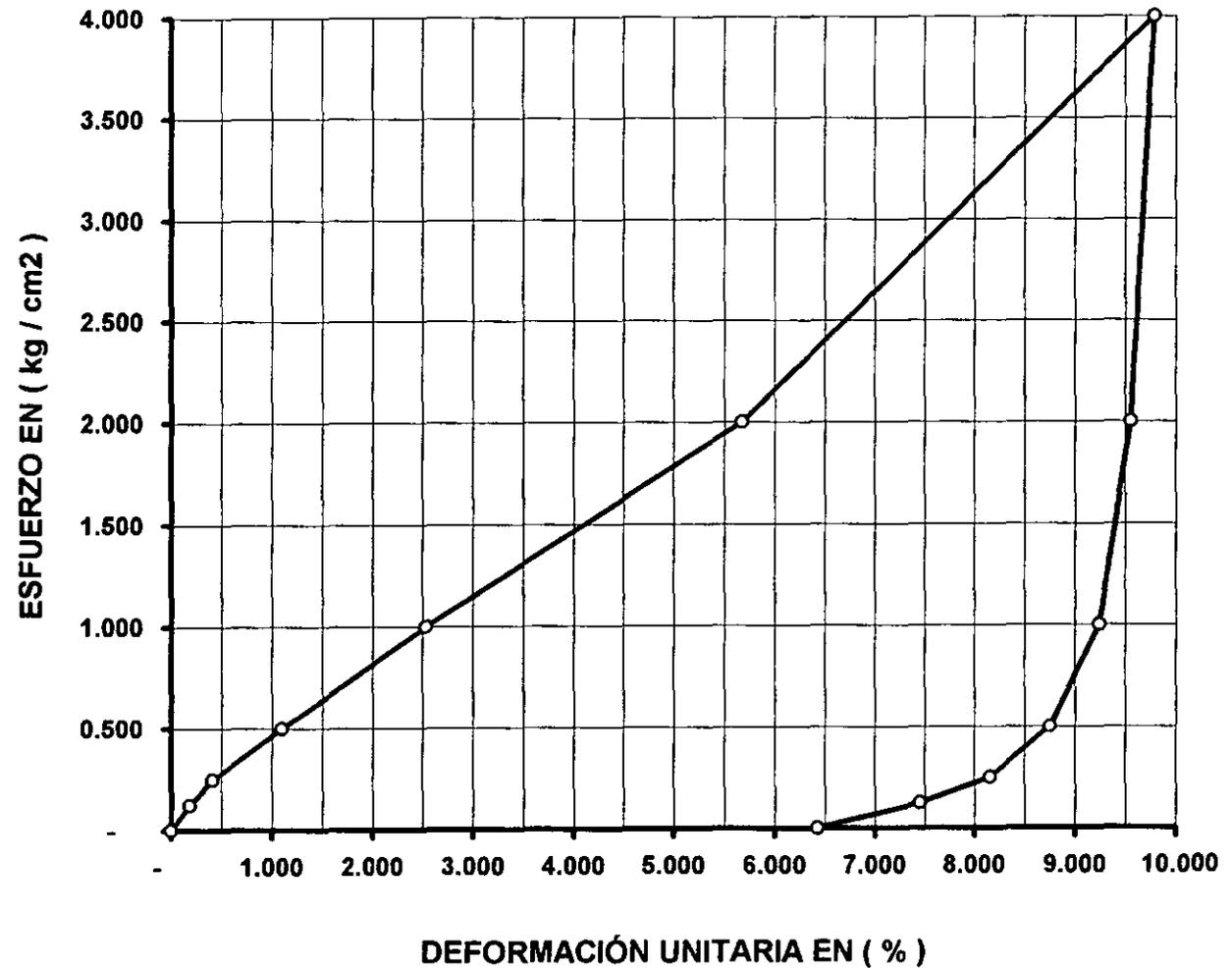
PROFUNDIDAD:  
1.30 m.

W INICIAL = 25.66 %  
W FINAL = 23.75 %

e INICIAL = 0.709

e FINAL = 0.598

SAT. INICIAL = 99.47 %  
SAT. FINAL = 100.00 %



# CURVAS DEFORMACIÓN - TIEMPO

PROYECTO:  
PRESA "PALO GORDO".  
BANCO:  
"EL PANTEÓN".

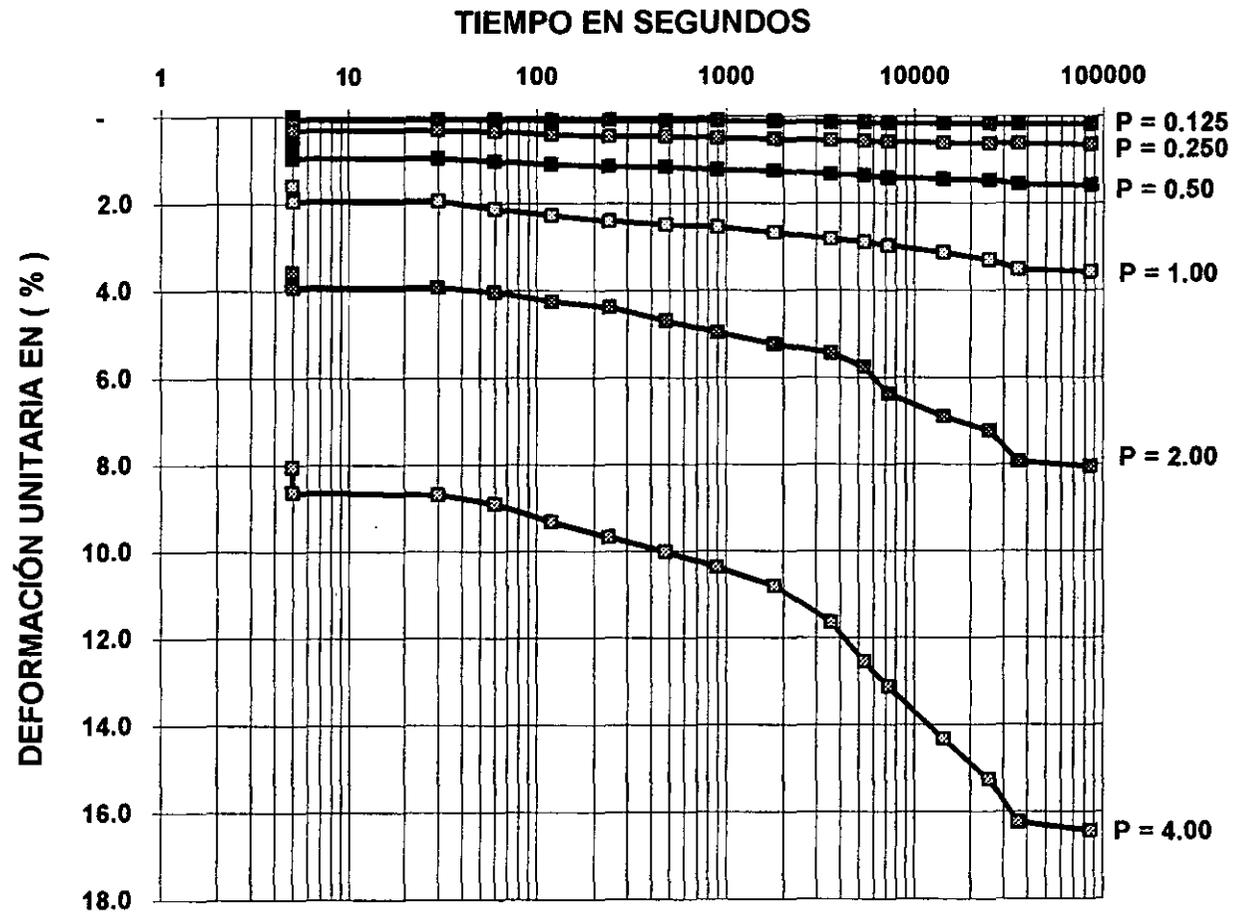
TIPO DE MUESTRA:  
REMOLDEADA.  
PROFUNDIDAD:  
1.30 m.

$W_{INICIAL} = 25.66 \%$   
 $W_{FINAL} = 23.75 \%$

$e_{INICIAL} = 0.709$

$e_{FINAL} = 0.598$

SAT. INICIAL = 99.47 %  
SAT. FINAL = 100.00 %



#### 4.0 DISEÑO GEOTÉCNICO DE LA CORTINA.

Del análisis y la observación de los resultados obtenidos en los estudios previos a la etapa de diseño del proyecto, se pueden resumir las siguientes características de interés para el diseño geotécnico de la presa, respecto al sitio elegido para su construcción :

- En cuanto al aspecto topográfico, del levantamiento del sitio, se observó que la morfología de la boquilla es asimétrica, en la margen izquierda se presentan pendientes mas o menos fuertes del orden del 34 al 44%; mientras que en la margen derecha la pendiente del terreno natural es más tendida, 20 al 24% .
- Del estudio hidrológico realizado se obtuvieron los niveles de operación del vaso de almacenamiento en base al análisis del funcionamiento del mismo:

El nivel de aguas máximas extraordinarias ( N.A.M.E. ) alcanzará la elevación 689.16 m.

El nivel mínimo de operación de la obra de toma ( N.O.T. ) queda restringido a la elevación 684.09 m., debido a la aportación de sedimentos ( azolves ) en la cuenca del arroyo "Puerta Vieja".

El nivel de aguas máximas de operación ( N.A.M.O. ) será igual a la cota 688.30 m., y corresponde al nivel de la cresta del vertedor de volúmenes excedentes en el almacenamiento.

- Respecto a las condiciones de disponibilidad de material de la calidad requerida para la construcción de la presa, el informe del estudio de bancos de materiales arrojó la conclusión de que en el lugar, se puede localizar gran cantidad de material impermeable en diferentes sitios cercanos al eje de la boquilla, así como la gran riqueza de tamaños de las partículas que se localizan a lo largo de todo el cauce del arroyo puerta vieja, los cuales pueden ser utilizados en forma muy versátil, desde agregados para concreto, material para revestimiento y hasta boleos de tamaños considerables aprovechables como material de enrocamiento.

El objetivo particular del presente capítulo, es la elaboración del diseño geotécnico para la construcción de la presa 'Palo Gordo', considerando todos los parámetros que han sido establecidos de los estudios preliminares y definitivos.

#### **4.1 SECCIÓN PROPUESTA.**

Una vez que se analizaron los factores más importantes que intervienen en el proyecto del diseño y construcción de la presa, tales como, características geológicas, topográficas e hidrológicas del sitio elegido, así como la disponibilidad y calidad de materiales para construcción en las zonas cercanas al lugar, se ratificó la decisión de que la cortina fuera construida de sección homogénea de material arcilloso y protegida en los taludes mediante un colchón de enrocamiento, con espesores de 0.50 m en el talud aguas arriba y 0.30 m en el talud de aguas abajo, y colocando una capa de material de revestimiento de 0.20 m. de espesor en la zona de la corona.

##### **4.1.1 ALTURA DE LA PRESA.**

Para determinar la altura máxima de la presa es necesario conocer la cota de la elevación máxima de la corona de la cortina la cual se obtiene sumando la cota de nivel máximo del agua del embalse ( N.A.M.E. ) más el bordo libre total ( N.A.M.E. + B.L.). Una vez conocida esta elevación, solo se resta el nivel del cauce del río para determinar la altura de la cortina, es decir:

$$H = ( \text{Elev. N.A.M.E.} + \text{B.L.} ) - ( \text{Elev. Cauce del río.} )$$

Donde:

H = Altura máxima de la cortina, en [ m.].

B.L. = Bordo libre total necesario para que en ningún momento el agua rebase la corona de la cortina, en [ m. ].

##### **• CÁLCULO DEL BORDO LIBRE TOTAL ( B.L. ).**

Entendiéndose por BORDO LIBRE TOTAL la diferencia de cotas que hay entre la corona de la presa y el nivel de agua en el vaso cuando el vertedor está trabajando a su máxima capacidad.

El Bordo libre total depende de la altura de la ola que se genere por efecto del viento sobre el almacenamiento más una elevación adicional necesaria para que nunca exista derrame sobre el nivel de la corona:

$$\text{B.L. ( TOTAL )} = \text{B.L. ( ALTURA DE LA OLA )} + \text{B.L. ( ADICIONAL )}$$

Para obtener el bordo libre adicional se utilizó la siguiente tabla:

<b>B.L. (ADICIONAL)</b>	<b>VELOCIDAD [ km. / hr. ]</b>		
	<b><u>100</u></b>	<b><u>115</u></b>	<b><u>130</u></b>
PROMEDIO	1.38	1.21	1.02
MÁXIMO	2.85	2.44	2.24
MÍNIMO	0.37	0.29	0.14

La altura de la ola ( h ) se puede calcular empleando la fórmula empírica propuesta por Wolf:

$$h = ( 0.005 V - 0.068 ) * ( F )^{0.5}$$

Donde:

h = altura máxima de la ola, en [ m. ].

V = Velocidad máxima del viento en la zona del embalse, en [ km. / hr. ] = **100 km./ hr.**

F = Fetch, en [ kilómetros ] = **1.5 km.**

Sustituyendo valores, se determinó en base al nivel de aguas máximas extraordinarias ( N.A.M.E. ) resultante del estudio hidrológico y considerando un bordo de libre mínimo de **B.L. = 1.34 m.**, la cota máxima de la corona de la cortina igual a **690.5 m.**, para una altura máxima de la cortina de **H = 13.1 m.**

#### **4.1.2 ANCHO DE CORONA.**

En el caso en particular de la presa "Palo Gordo", no se tiene contemplado el paso de vehículos por la corona de la misma, por lo que, para establecer la dimensión que deberá llevar la corona de la cortina se aplicó la siguiente expresión:

$$C = [ 1.1 ( H^{0.5} ) + 0.91 ]$$

Donde:

C = Ancho mínimo de la corona, en [ metros ].

H = Altura máxima de la cortina, en [ metros ].

En vista de que resultaba del orden de 4.90 m., se adoptó la especificación mínima de esta longitud en función de la altura total de la presa, resultando un ancho de corona igual a **C = 6.00 m.**,

#### 4.1.2 TALUDES.

Los taludes correspondientes tanto a aguas abajo como a aguas arriba, se propusieron de la siguiente manera, tanto para el material que formará el núcleo impermeable y a su vez la mayor parte del cuerpo de la cortina, como la protección a base de enrocamiento; se adoptó la relación mínima 2:1 de la distancia horizontal respecto a al vertical, obteniendo un valor de talud igual a  $k = 0.5$ , el cual se llevará hasta dos metros de profundidad de desplante respecto a nivel actual del cauce del río.

#### 4.2 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LA CORTINA.

##### 4.2.1 MÉTODO EMPLEADO.

Dentro de este capítulo, se presentan los resultados del análisis de estabilidad del tipo de cortina seleccionada ( sección homogénea ), mediante uno de los métodos más comúnmente empleados en la práctica de la Geotécnica para estimar la estabilidad de una superficie inclinada de suelo, dicho método es el método de Bishop Simplificado, mediante la ecuación que define las fuerzas que intervienen en los mecanismos de análisis para condiciones pseudoestáticas, teniendo de esta manera, una revisión de seguridad que incluye condiciones dinámicas.

Para esto, fue necesario definir por una parte, las características geométricas del talud así como las propiedades mecánicas del material con el que será construida la cortina de la presa, y por otra parte seleccionar el mecanismo de falla más adecuado para determinar la estabilidad de ambos taludes, tanto de aguas arriba como de aguas abajo.

Primeramente, se estableció que el mecanismo de falla que se analizará es del tipo traslacional; dicho análisis se efectuó en forma sistemática, haciendo variar la superficie de ruptura, hasta encontrar aquella que determine el menor factor de seguridad contra este tipo de falla, desarrollado con la siguiente expresión:

$$S = (\tau_f) / (FS) = (1 / FS * (\sigma_n - U) \tan \phi')$$

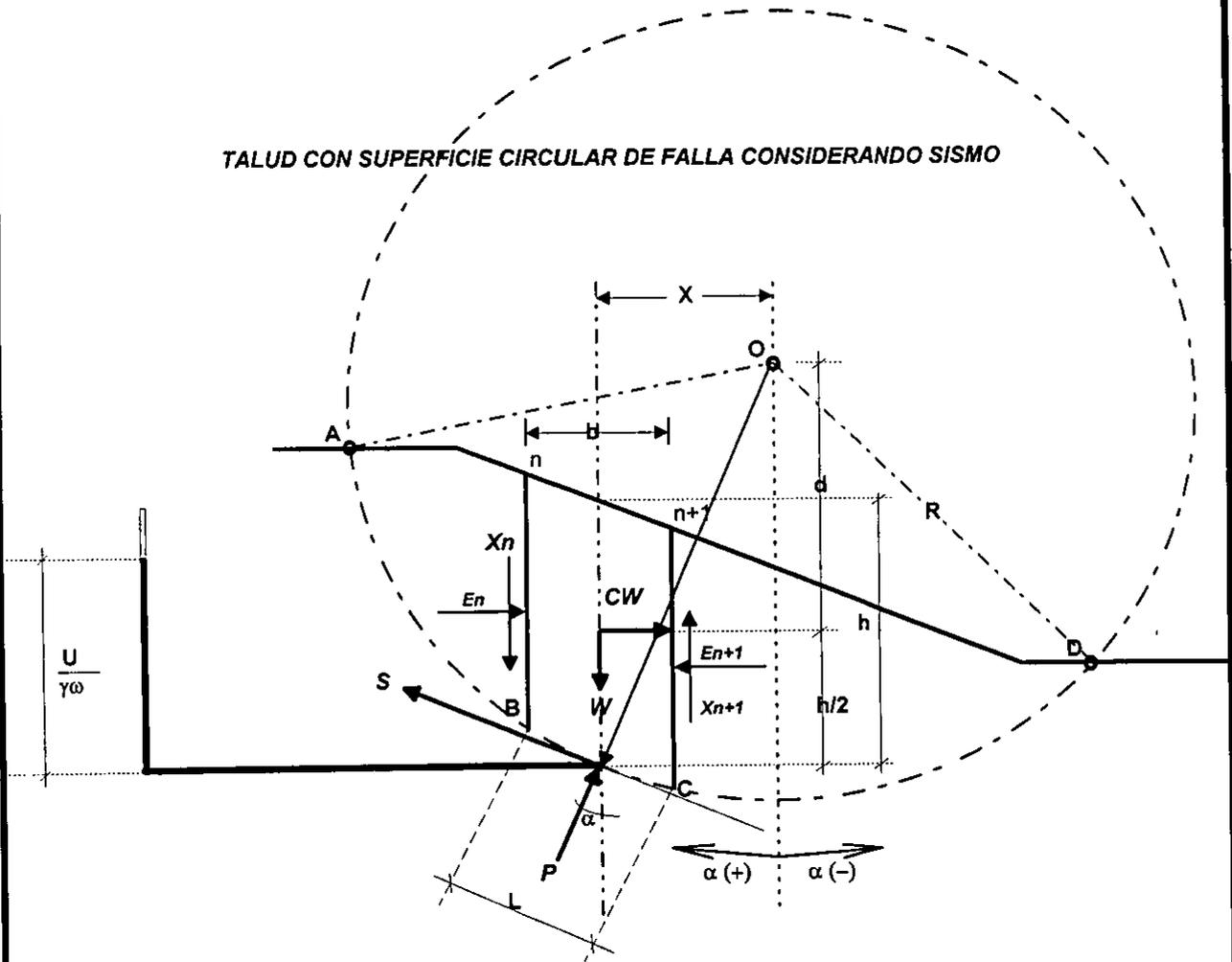
Donde: S = Esfuerzo cortante movilizado en la superficie potencial de falla, que es requerido para mantener el equilibrio, en [ ton. / m<sup>2</sup> ].

FS = Factor de seguridad entre el cual se dividen los parámetros de resistencia, para llevar el talud a un estado de colapso inminente, [ adimensional ].

Se consideró una superficie de falla cuya traza con el plano normal al papel es un arco de circunferencia, en la que el equilibrio de la masa de suelo esta en función de la igualdad de el momento que producen las fuerzas actuantes y el momento de las fuerzas resistentes, ( Ver FIGURA N° 4-1 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD POR EL MÉTODO DE BISHOP MODIFICADO ).

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD POR EL MÉTODO DE BISHOP MODIFICADO

TALUD CON SUPERFICIE CIRCULAR DE FALLA CONSIDERANDO SISMO



- $E_{n+1}, E_n$  = Resultante de las fuerzas horizontales en las secciones n y n+1.
- $X_{n+1}, X_n$  = Resultante de las fuerzas verticales cortantes.
- $W$  = Peso total de la dovela.
- $P$  = Fuerza normal que actúa en la base de la dovela.
- $S$  = Fuerza cortante que actúa en la base de la dovela.
- $h$  = Altura de la dovela.
- $b$  = Ancho de la dovela.
- $L$  = Longitud BC.
- $\alpha$  = Angulo entre BC y la horizontal.
- $X$  = Distancia horizontal del centro de la dovela al centro de rotación.

Finalmente queda expresado el factor de seguridad de la siguiente forma :

$$FS = (1 / (\sum W \sin \alpha + \sum KW (\cos \alpha - h/2 R) ) * \sum (C'b + (W-Ub) \tan \phi') * (\sec \alpha) / (1 + (\tan \phi' \tan \alpha) / FS))$$

Donde :

- C' = Cohesión efectiva, en [ ton. / m<sup>2</sup> ].
- U = Presión de poro, en [ ton. / m<sup>2</sup> ].
- φ' = Ángulo de fricción efectivo, en [ ° ].
- W = Peso total de la dovela, en [ ton. ].
- α = Ángulo que forma la proyección de la fuerza total normal que actúa en la base de la dovela, con respecto a la vertical, en [ ° ].
- K = Coeficiente sísmico, [ adimensional ].
- b = Ancho de la dovela, en [ metros ].
- R = Radio del círculo de falla, en [ metros ].
- h = Altura de la dovela, en [ metros ].

Como puede observarse, el factor de seguridad aparece en ambos términos de la ecuación, por lo que la solución requiere de un proceso de aproximaciones sucesivas, estimando un factor de seguridad inicial en el término de la izquierda y calculando el factor de seguridad en el términos derecho de la ecuación, repitiendo el proceso hasta lograr la igualdad en ambos factores.

El procedimiento se repite para cada uno de los círculos en la forma señalada y finalmente se define como factor de seguridad del talud, al mínimo valor obtenido de todos los círculos analizados.

#### 4.2.2 CONDICIONES DE ANÁLISIS.

Se adoptaron las siguientes condiciones de análisis que se siguen para grandes presas, a pesar de que nuestro caso en estudio está clasificado dentro de un pequeño almacenamiento.

#### TALUD DE AGUAS ARRIBA.

- **CONDICIONES INICIALES.**

Se consideró el nivel de agua del almacenamiento, a la elevación correspondiente al Nivel de Obra de Toma ( N.O.T.), el peso volumétrico del material impermeable se consideró húmedo, y el material permeable se consideró con peso volumétrico seco, de la línea superior de flujo correspondiente al N.O.T. hacia arriba y sumergido abajo de ésta. Adicionalmente se consideró la fuerza hidrostática que actúa sobre el área del paramento mojado del corazón impermeable.

- **CONDICIONES FINALES.**

VACIADO RÁPIDO: se consideró el nivel de agua del almacenamiento, a la elevación correspondiente al Nivel de Obra de Toma ( N.O.T.), el peso volumétrico del material impermeable se consideró húmedo arriba de la línea de saturación, y saturado por debajo de ésta. El material permeable se consideró con peso volumétrico seco, de la línea superior de flujo hacia arriba y sumergido abajo de ésta. Adicionalmente se consideró la fuerza de filtración, producto del vaciado rápido que actúa sobre el corazón impermeable.

En ambas condiciones, se hizo intervenir la acción de la fuerza sísmica para obtener un análisis de tipo dinámico, que nos garantizará una seguridad total del talud aguas arriba.

### **TALUD DE AGUAS ABAJO.**

- **CONDICIONES INICIALES.**

Se consideró el nivel de agua del almacenamiento, a la elevación correspondiente al Nivel de Obra de Toma ( N.O.T. ), el peso volumétrico del material impermeable se consideró húmedo, y el material permeable se consideró con peso volumétrico seco, de la línea superior de flujo correspondiente al N.O.T. hacia arriba y sumergido abajo de ésta. Adicionalmente se consideró la fuerza hidrostática que actúa sobre el área del paramento mojado del corazón impermeable, así como la fuerza sísmica.

- **CONDICIONES FINALES.**

Se desarrolló el análisis con fuerza sísmica y fuerza de filtración, tomando el peso volumétrico del material impermeable de la siguiente forma : saturado por debajo de la línea superior de corriente, y húmedo arriba de ésta; el material permeable se considera sumergido abajo de la línea de saturación y seco arriba de este nivel.

Para llevar a cabo la revisión de las condiciones de análisis, se consideraron las propiedades mecánicas del material impermeable para las condiciones iniciales y finales.

En ambos casos, se tomó el resultado más bajo obtenido de la prueba triaxial correspondiente, es decir, rápida saturada ( U.U. ) para CONDICIONES INICIALES y rápida consolidada ( C.U. ) para CONDICIONES FINALES. con el objeto de trabajar con un rango adicional de seguridad dentro del análisis, tomando la situación más desfavorable respecto a la resistencia al esfuerzo cortante.

Antes de proceder al desarrollo del análisis de estabilidad, fue necesario el cálculo de la línea superior de flujo para condiciones de llenado hasta el nivel de la obra de toma ( N.O.T. ), como ya se mencionó, para determinar las condiciones de frontera del flujo de agua como a continuación se desarrolla.

### 4.2.3 CÁLCULO DE LA LÍNEA SUPERIOR DE FLUJO A NIVEL DE LA OBRA DE TOMA ( N.O.T. ).

Siendo nuestro caso en estudio, una presa de tierra, se tiene una región en la que trazando su red de flujo, puede calcularse el gasto infiltrado y los gradientes hidráulicos, así como las presiones hidrodinámicas en cualquier punto.

El trazo de la red de flujo requiere de conocer sus fronteras, una de estas fronteras es la Línea Superior de Flujo ( L.S.F. ); tomando en cuenta que el régimen laminar sólo se presenta en el material arcilloso, que **exclusivamente para éste análisis lo denominaremos material poco permeable.**

Para el cálculo correspondiente, se tomó en consideración la teoría elaborada por **Van Iterson**, que considera las condiciones de entrada y salida del agua basadas en la ley de Darcy, debido a que el talud formado aguas abajo de la cortina ( 2 : 1 ), forma un ángulo menor a 30° con respecto a la horizontal.

Una vez seleccionado el método a emplear, se determinaron las líneas de frontera ( Ver **FIGURA No. 4-2 LÍNEA SUPERIOR DE FLUJO TEORÍA DE VAN ITERSON** ) y se procedió el análisis como a continuación se describe

- En el contacto entre el suelo poco permeable y el agua, se consideró una línea equipotencial.
- En el contacto entre el material poco permeable y la cimentación, considerada impermeable, se establece el límite de las líneas de flujo.
- Y finalmente, la línea superior de flujo, abajo de la cual se considera que el material está saturado, y que por lo tanto se puede establecer flujo a través de él. Por encima de esta línea se considera que el material está seco.

Se cálculo la distancia "a" mediante el uso de la siguiente ecuación:

$$a \cdot \sin \alpha \cdot \tan \alpha ( d - a \cdot \cos \alpha ) = ( h^2 - a^2 \cdot \sin^2 \alpha ) / 2$$

Despejando el valor de a :

$$a = ( d / \cos \alpha ) - ( ( d^2 / \cos^2 \alpha ) - ( h^2 / \sin^2 \alpha ) )^{0.5}$$

Donde podemos conocer los siguientes datos :

$$d = 55.53 \text{ m.}$$

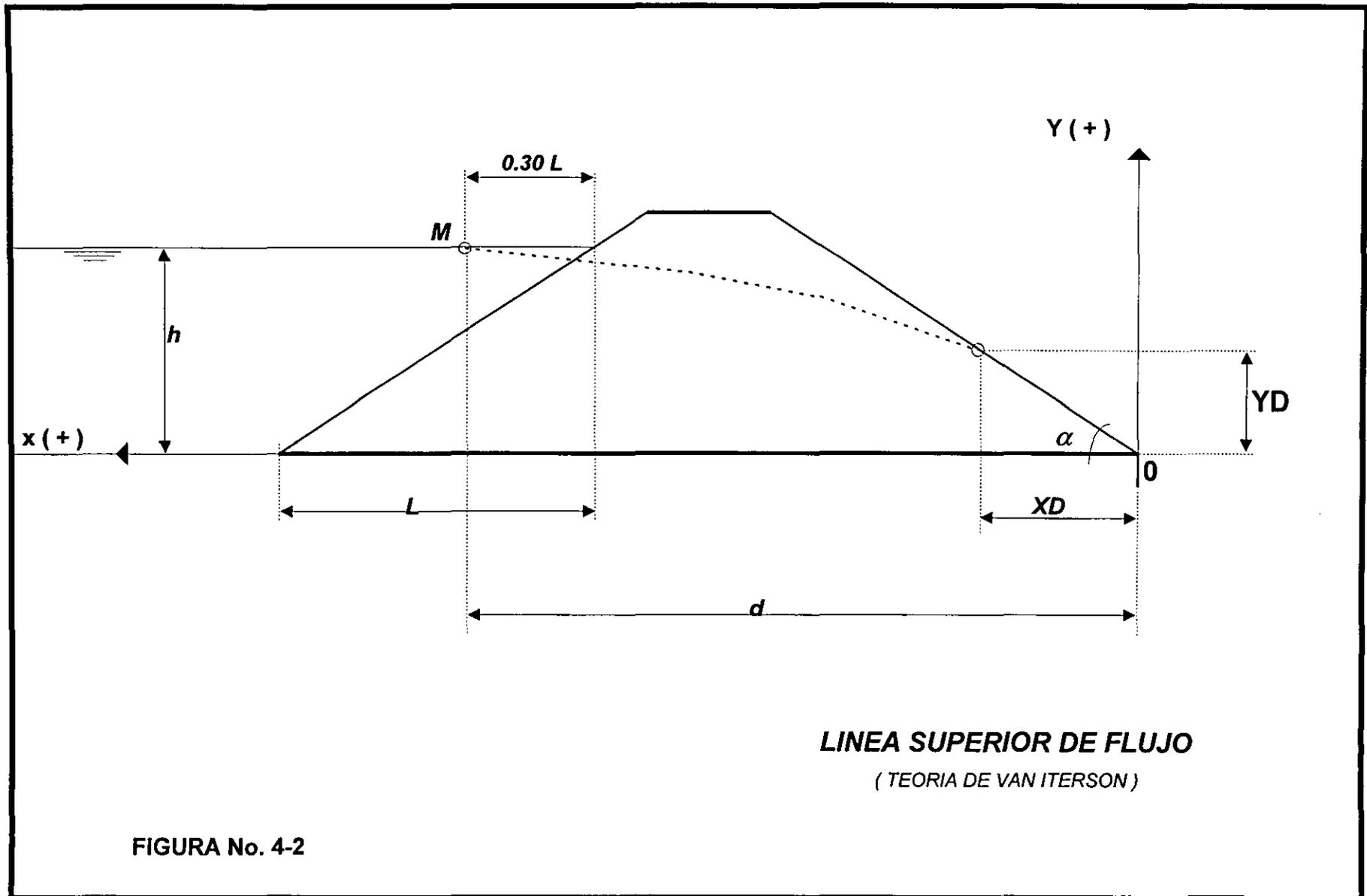
$$\text{Elevación N.O.T.} = 685.0 \text{ m.}$$

$$\text{Elevación del fondo del cauce río} = 677.4 \text{ m.}$$

$$h = \text{Elevación N.O.T.} - \text{Elev. Cauce Río}$$

$$h = 7.60 \text{ m.}$$

$$\alpha = 21.80^\circ$$



**LINEA SUPERIOR DE FLUJO**  
 (TEORIA DE VAN ITERSON)

FIGURA No. 4-2

Sustituyendo valores en la ecuación obtenemos:

$$a = 3.61 \text{ m.}$$

Establecido el valor de "a", se procede a calcular las coordenadas del punto de salida "D" de la línea superior de flujo, el cual es tangente al talud de aguas abajo:

$$XD = a \cdot \cos \alpha$$

$$XD = 3.352 \text{ m.}$$

$$YD = a \cdot \sin \alpha$$

$$YD = 1.341 \text{ m.}$$

Se calcula el resto de las coordenadas de la LSF mediante el empleo de la siguiente ecuación:

$$x = d - \left( \left( h^2 - y^2 \right) / 2 \right) / \left( a \cdot \sin \alpha \cdot \tan \alpha \right)$$

Los resultados obtenidos, se presentan en forma resumida en la **TABLA No. 4-1 CÁLCULO DE LAS COORDENADAS DE LA LÍNEA SUPERIOR DE FLUJO ( NIVEL OBRA DE TOMA )**.

El trazo de dicha línea se puede observar en la **FIGURA No. 4-3 LÍNEA SUPERIOR DE FLUJO AL NIVEL DE LA OBRA DE TOMA**.

#### **4.2.4 FACTORES DE SEGURIDAD OBTENIDOS.**

A continuación, en la **TABLA No. 4-2 RESUMEN DEL ANÁLISIS DE ESTABILIDAD**, se presenta una síntesis de resultados obtenidos para cada condición analizada. En dicha tabla se establece una comparación entre el factor de seguridad mínimo calculado contra el factor mínimo teórico estable, resultando en todos los casos satisfactoria a favor de la estabilidad. Así mismo, se presentan gráficamente algunos de los círculos analizados para cada talud de la presa en la **FIGURA N° 4-4 ANÁLISIS DEL TALUD AGUAS ABAJO**, y **FIGURA N° 4-5 ANÁLISIS DEL TALUD AGUAS ARRIBA**.

En el **ANEXO No. 4-1 CORRIDAS TIPO DEL PROGRAMA DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD**, se muestran algunas de las corridas representativas del programa de estabilidad, en las que se pueden observar los datos de entrada del programa y los resultados que presenta el mismo. ( No se anexan todos los círculos analizados para reducir el volumen del presente documento ).

TABLA N° 4-1

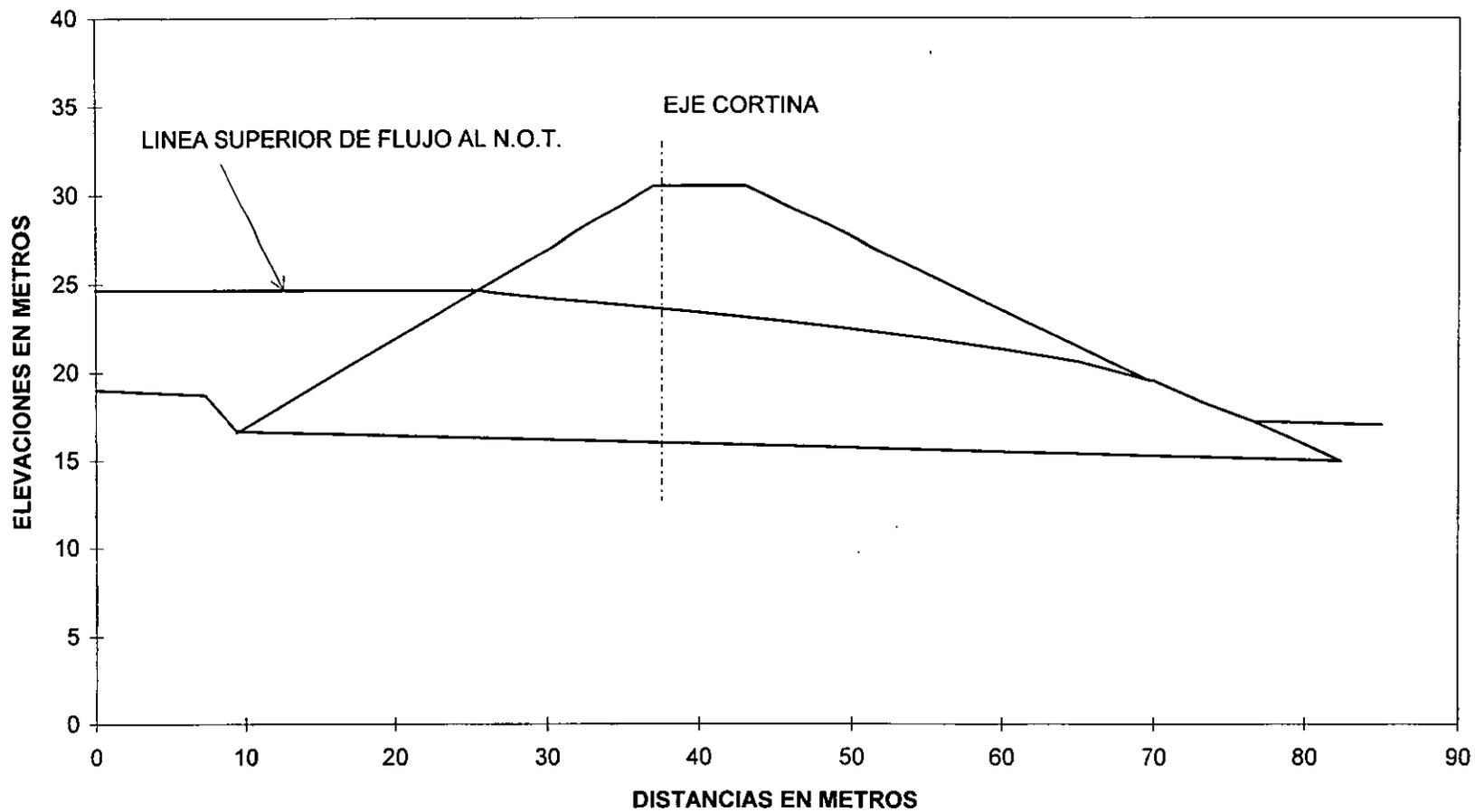
**CÁLCULO DE COORDENADAS DE LA LÍNEA SUPERIOR DE FLUJO.**  
NIVEL DE OBRA DE TOMA ( N.O.T.)

COORDENADAS	
EJE " X "	EJE " Y "
3.35	1.34
4.00	1.46
9.00	2.74
14.00	3.59
19.00	4.27
24.00	4.86
29.00	5.38
34.00	5.86
39.00	6.30
44.00	6.71
49.00	7.10
54.00	7.47
55.53	7.60

**NOTA :**

LAS COORDENADAS ANTERIORES, SE CALCULARON CONSIDERANDO COMO ORIGEN DE PARTIDA EL PUNTO DEL PIE DEL TALUD AGUAS ABAJO, Y EL MISMO SENTIDO DE LOS EJES INDICADOS EN LA FIGURA N° 4-2.

**FIGURA N° 4-3**  
**LINEA SUPERIOR DE FLUJO A NIVEL DE LA OBRA DE TOMA ( N.O.T.)**



**RESUMEN DEL ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LA PRESA PALO GORDO**  
**FACTORES DE SEGURIDAD OBTENIDOS**

TABLA No. 4-2

CIRCULO DE FALLA			TALUD	CONDICIÓN	ESTADO	FACTORES DE SEGURIDAD		
No.	COORDENADAS					RADIO	CALCULADO	TEÓRICO ESTABLE
	Xo m.	Yo m.						
<b>1</b>	26.00	42.00	17.00	Aguas arriba	Inicial	Estático	<b>2.55</b>	1.10
					Inicial	Sísmico	<b>2.35</b>	1.00
					Final	Estático	<b>2.50</b>	1.45
					Final	Sísmico	<b>2.49</b>	1.25
<b>2</b>	22.00	36.00	15.00	Aguas arriba	Inicial	Estático	<b>2.70</b>	1.10
					Inicial	Sísmico	<b>2.40</b>	1.00
					Final	Estático	<b>2.75</b>	1.45
					Final	Sísmico	<b>2.64</b>	1.25
<b>3</b>	34.00	42.00	20.00	Aguas arriba	Inicial	Estático	<b>2.30</b>	1.10
					Inicial	Sísmico	<b>1.60</b>	1.00
					Final	Estático	<b>2.10</b>	1.45
					Final	Sísmico	<b>1.70</b>	1.25
<b>4</b>	18.00	48.00	30.00	Aguas arriba	Inicial	Estático	<b>2.18</b>	1.10
					Inicial	Sísmico	<b>1.79</b>	1.00
					Final	Estático	<b>2.52</b>	1.45
					Final	Sísmico	<b>1.88</b>	1.25
<b>5</b>	30.00	37.00	18.00	Aguas arriba	Inicial	Estático	<b>2.36</b>	1.10
					Inicial	Sísmico	<b>1.35</b>	1.00
					Final	Estático	<b>2.48</b>	1.45
					Final	Sísmico	<b>1.42</b>	1.25

**RESUMEN DEL ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LA PRESA PALO GORDO**  
**FACTORES DE SEGURIDAD OBTENIDOS**

TABLA No. 4-2

CIRCULO DE FALLA				TALUD	CONDICIÓN	ESTADO	FACTORES DE SEGURIDAD	
No.	COORDENADAS		RADIO				CALCULADO	TEÓRICO ESTABLE
	Xo m.	Yo m.						
<b>1</b>	22.00	42.00	25.00	Aguas abajo	Inicial	Estático	<b>1.82</b>	1.25
					Inicial	Sísmico	<b>1.34</b>	1.15
					Final	Estático	<b>1.96</b>	1.45
					Final	Sísmico	<b>1.40</b>	1.30
<b>2</b>	30.00	38.00	18.00	Aguas abajo	Inicial	Estático	<b>2.01</b>	1.25
					Inicial	Sísmico	<b>1.15</b>	1.15
					Final	Estático	<b>2.11</b>	1.45
					Final	Sísmico	<b>1.50</b>	1.30
<b>3</b>	10.00	34.00	19.00	Aguas abajo	Inicial	Estático	<b>1.95</b>	1.25
					Inicial	Sísmico	<b>1.17</b>	1.15
					Final	Estático	<b>2.06</b>	1.45
					Final	Sísmico	<b>1.40</b>	1.30
<b>4</b>	26.00	39.00	18.00	Aguas abajo	Inicial	Estático	<b>1.97</b>	1.25
					Inicial	Sísmico	<b>1.75</b>	1.15
					Final	Estático	<b>1.86</b>	1.45
					Final	Sísmico	<b>1.45</b>	1.30
<b>5</b>	36.00	37.00	18.00	Aguas abajo	Inicial	Estático	<b>1.80</b>	1.25
					Inicial	Sísmico	<b>1.57</b>	1.15
					Final	Estático	<b>1.84</b>	1.45
					Final	Sísmico	<b>1.52</b>	1.30

# ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LA PRESA "PALO GORDO".

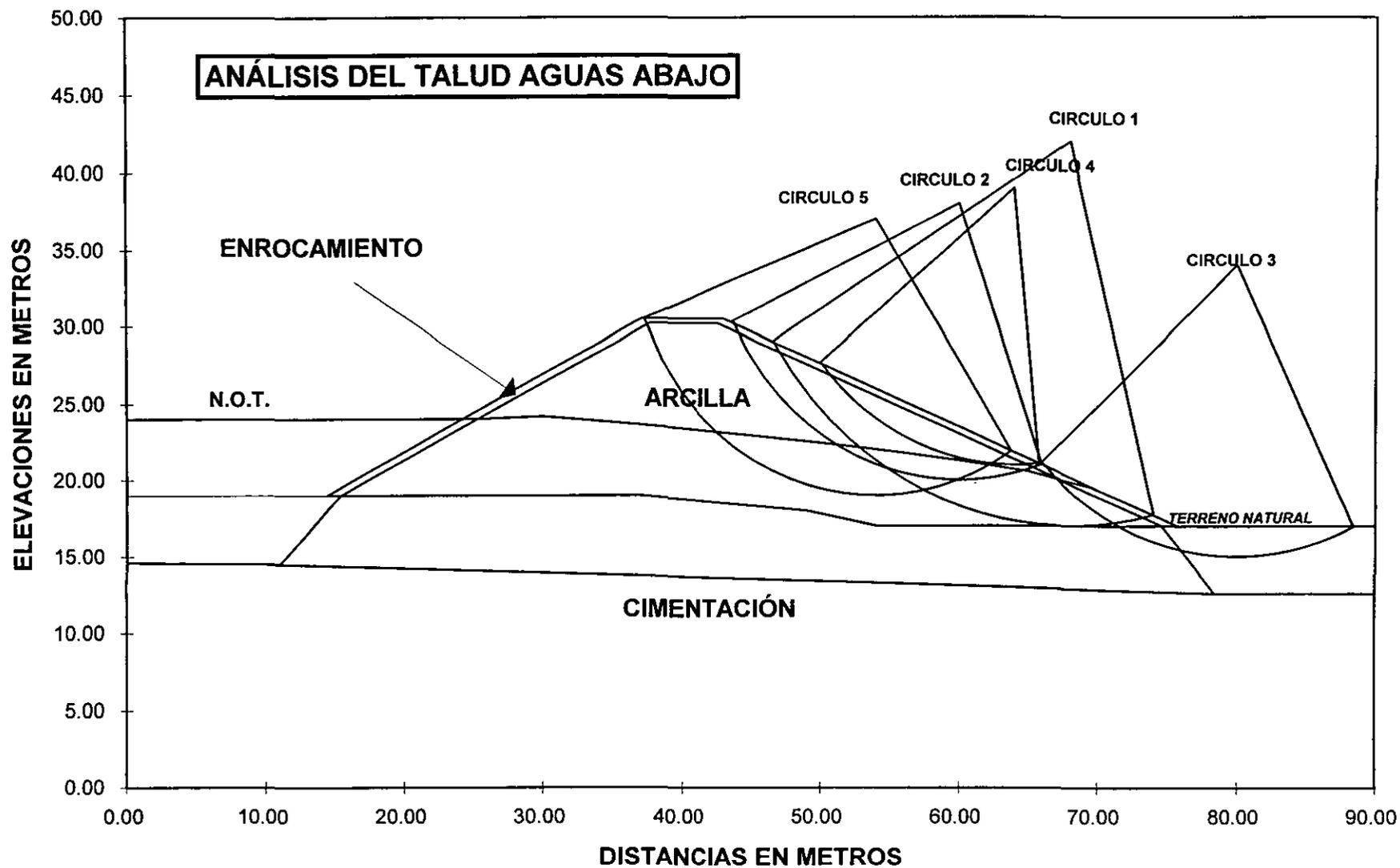


FIGURA N° 4-4

# ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LA PRESA "PALO GORDO".

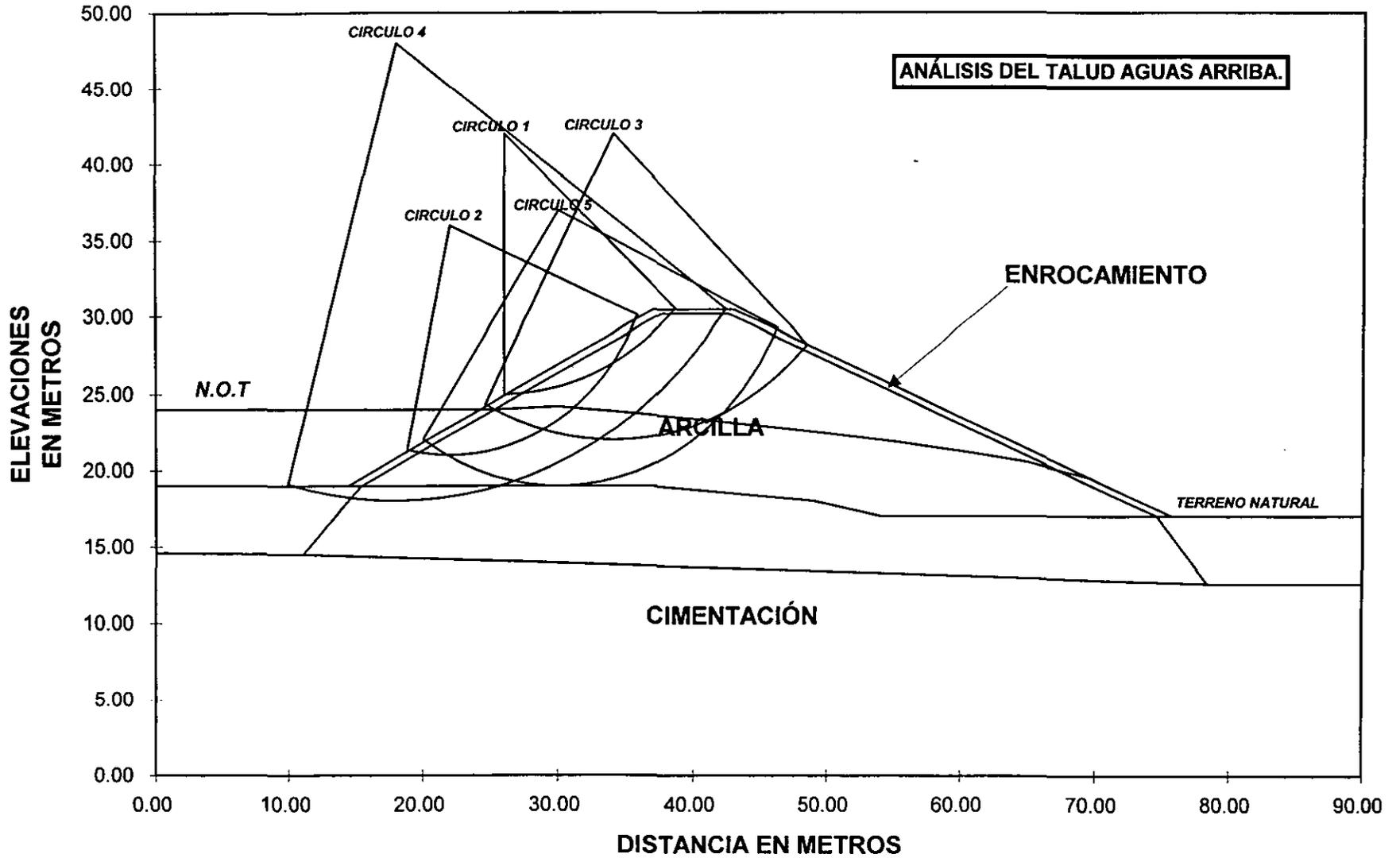


FIGURA Nº 4-5

### 4.3 REVISIÓN POR TUBIFICACIÓN.

Para la realización de este análisis, primeramente se realizó la representación gráfica del escurrimiento del agua en el interior de la masa de suelo que constituye el cuerpo impermeable de la cortina, mediante la construcción de la red de flujo correspondiente al Nivel de Aguas Máximas Extraordinarias, obviamente, fue necesario calcular la línea superior de flujo correspondiente a dicho nivel, procediendo de la misma forma que en la sección 4.2.3, se llegó a los resultados que se presentan en la **TABLA No. 4-3 CÁLCULO DE LAS COORDENADAS DE LA LÍNEA SUPERIOR DE FLUJO ( N.A.M.E.)** y en la **FIGURA 4-6 LÍNEA SUPERIOR DE FLUJO AL N.A.M.E.**

En este caso, el análisis de tubificación se realizó hasta el N.A.M.E., debido a que éste representa la mayor carga hidráulica y en consecuencia, la situación más crítica para que se presente el arrastre de partículas sólidas, es decir, las partículas de agua en el interior de la cortina, presentan un escurrimiento laminar debido a las bajas velocidades que se presentan con el escurrimiento, siendo las pérdidas de carga proporcionales a la velocidad del escurrimiento ( $v = k i = k h / L$ ), a mayor carga hidráulica, mayor velocidad del escurrimiento.

#### 4.3.1 GASTO DE FILTRACIÓN.

Una vez trazada la red de flujo ( ver **FIGURA 4-7 RED DE FLUJO A PRESA LLENA.** ), se determinó el gasto de filtración a través del cuerpo de la cortina, según la ley de Darcy:

$$Q = k \cdot H \cdot ( nt / nc )$$

Donde :

- Q = gasto total de filtración, en [ m<sup>3</sup> / seg. ].
- k = coeficiente de permeabilidad del material impermeable, en [m./seg. ].
- H = altura del nivel de agua hasta el N.A.M.E., en [ metros ].
- nt = número de tubos de corriente.
- nc = número de caídas de potencial.

De la red de flujo a presa llena tenemos :

- H = altura del nivel de agua hasta el N.A.M.E., en metros = 11.08 m.
- nt = número de tubos de corriente = 3.
- nc = número de caídas de potencial = 9.

y dado que  $k = 1.91384 \text{ E}^{-9} \text{ m. / seg.}$

Sustituyendo valores, obtenemos :

$$Q = 7.06845 \text{ E}^{-9} \text{ m}^3 / \text{seg.} = 0.611 \text{ lt. / día}$$

Cantidad que no afecta en nada al almacenamiento por ser un gasto muy pequeño.

TABLA N° 4-3

**CÁLCULO DE COORDENADAS DE LA LÍNEA SUPERIOR DE FLUJO.**  
NIVEL DE AGUAS MÁXIMAS EXTRAORDINARIAS ( N.A.M.E.)

COORDENADAS	
EJE " X "	EJE " Y "
6.20	3.10
9.20	4.35
12.20	5.31
15.20	6.12
18.20	6.84
21.20	7.49
24.20	8.08
27.20	8.64
30.20	9.16
33.20	9.65
36.20	10.12
39.20	10.57
42.71	11.07

**NOTA :**

LAS COORDENADAS ANTERIORES, SE CALCULARON CONSIDERANDO COMO ORIGEN DE PARTIDA EL PUNTO DEL PIE DEL TALUD AGUAS ABAJO, Y EL MISMO SENTIDO DE LOS EJES INDICADOS EN LA FIGURA N° 4-2.

**LINEA SUPERIOR DE FLUJO A NIVEL DE AGUAS MÁXIMAS ( N.A.M.E.)**

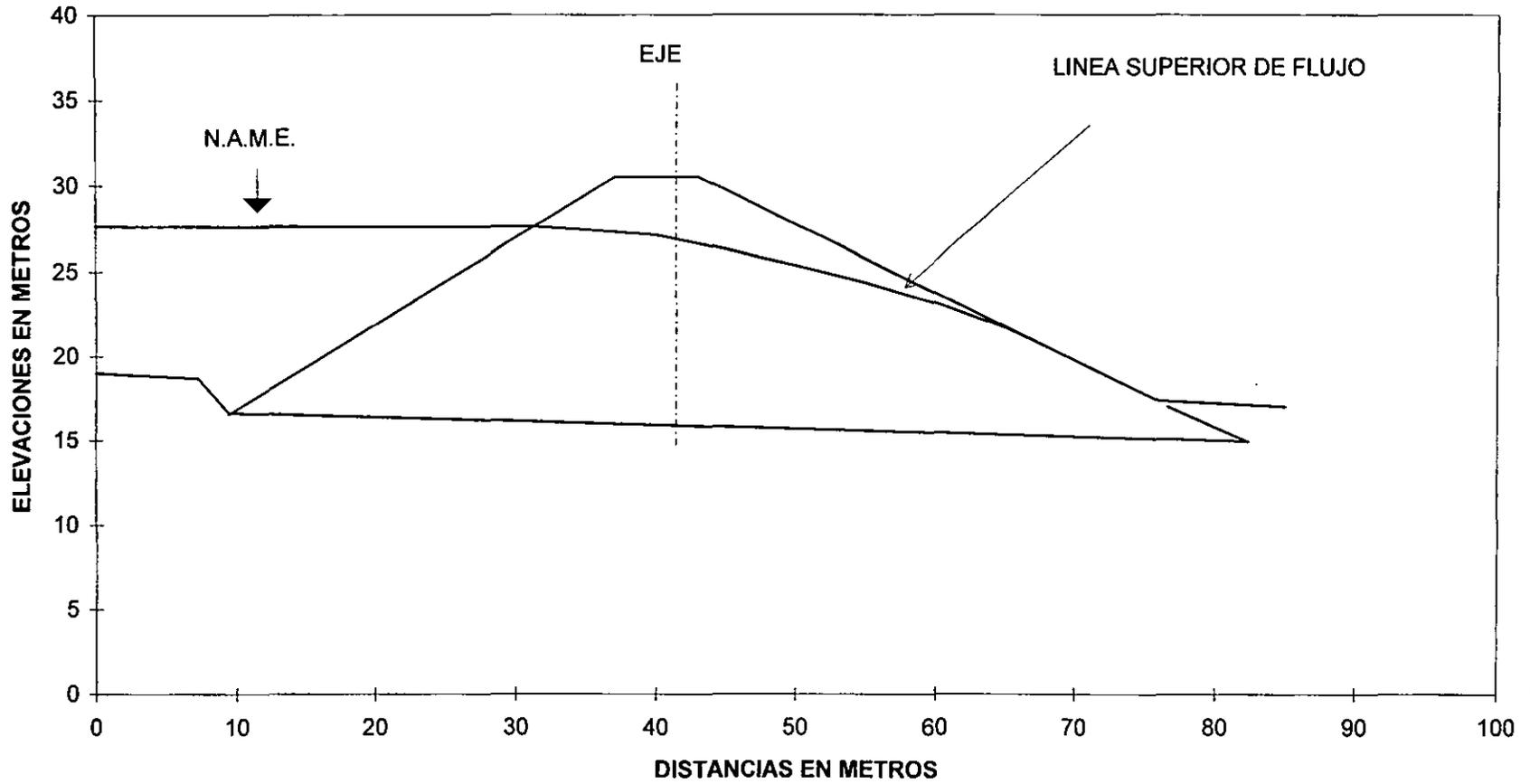
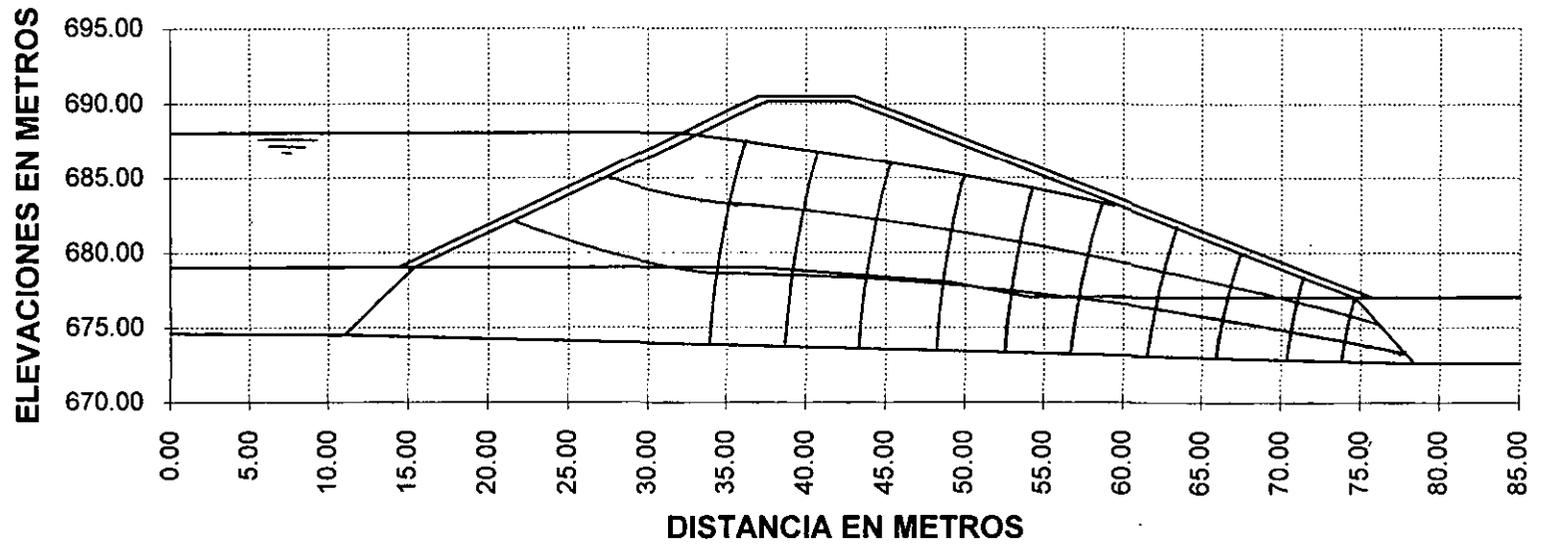


FIGURA Nº 4-7

RED DE FLUJO A PRESA LLENA



#### 4.3.2 FACTOR DE SEGURIDAD CONTRA TUBIFICACIÓN.

Dentro del concepto de tubificación, sabemos que se puede presentar filtración de agua a través del material impermeable del cuerpo de la cortina, por lo que la estabilidad de las partículas de este material en el talud aguas abajo, queda afectada por la intensidad de la velocidad de filtración.

Puesto que el proceso de erosión que se presenta en el fenómeno de tubificación, no está completamente definido por leyes de la mecánica y la hidráulica y se produce cuando se llega a alcanzar el valor de la carga crítica independientemente del tiempo; para contrarrestar este fenómeno, se toman las expresiones que la práctica y ensayos sobre modelos han generado.

Para evitar el arrastre del material sólido en la presa, se provocó una pérdida de carga, lo cual es necesario para mantener una velocidad de filtración menor a la crítica, evitando de esta manera el proceso de tubificación, dado que el arrastre del material es función tanto de la velocidad de filtración como de las características del material.

De la observación de nuestra red de flujo, se observa que el gradiente hidráulico es pequeño ( $i = 0.143$ ), además de que la longitud de filtración es relativamente larga ( $L = 55$  m).

La pérdida de carga se obtuvo haciendo que la trayectoria de las venas líquidas fueran lo más largas posibles, es decir, la trayectoria de las venas líquidas es lo suficientemente larga para mantener una velocidad menor que la crítica, por lo que el arrastre del material sólido muy difícilmente se presentará.

A pesar de la incertidumbre del comportamiento de el fenómeno de tubificación, la práctica ha generado una expresión empírica, con la cual puede efectuarse una revisión la seguridad contra este tipo de erosión:

$$F_{st} = (2 \cdot C) / (Ct + i)$$

Donde:

$F_{st}$  = factor de seguridad contra tubificación.

$C$  = cohesión del material impermeable, en  $[\text{ton.} / \text{m}^2] = 6.4 \text{ ton.} / \text{m}^2$ .

$Ct$  = componente tangencial del peso de una partícula de material con volumen unitario, en  $[\text{ton.}]$ .

$i$  = gradiente hidráulico =  $[\Delta h / Lc.]$

a su vez :  $\Delta h = H / nc$

Donde:

$H$  = carga total hidráulica correspondiente al N.A.M.E., en  $[\text{m.}] = 11.08$  m.

$nc$  = Número de caídas de potencial = 9.

$Lc$  = longitud total del cuadro de frontera analizado, en  $[\text{m.}] = 8.60$  m.

Sustituyendo valores :

$$i = 0.143$$

El valor de Ct se deduce de la siguiente manera:

Cuando el agua fluye a través de la masa de suelo, genera empujes hidrodinámicos sobre las partículas del suelo, en la dirección del flujo y tangente a las respectivas líneas de flujo, la magnitud de estos, depende principalmente del gradiente hidráulico prevaeciente. Por lo que considerando un cuadro de la red de flujo con un espesor unitario, la presión hidrodinámica vale:

$$Pd = \Delta h \gamma_w$$

Esta presión produce un empuje hidrodinámico que se calcula, multiplicando la presión obtenida por el área del cuadro analizado :

$$Ct = \Delta h \gamma_w * \Delta A$$

Para nuestro análisis, esta fuerza de filtración debemos de expresarla por unidad de volumen, por lo tanto se calcula de la siguiente forma:

$$Ct = (\Delta h \gamma_w * \Delta A) / (\Delta A * \Delta L)$$

Y simplificando la expresión :

$$Ct = \gamma_w * i$$

obteniendo, para un volumen unitario, la fuerza total que actuará en la dirección del flujo, en el centroide del volumen del cuadrado y tangente a la línea de flujo que pase por ese punto.

Sustituyendo valores :

$$Ct = ( 1.0 \text{ ton. / m}^2 ) ( 1 \text{ m}^3 ) ( 0.143 )$$

$$Ct = 0.143 \text{ ton.}$$

Finalmente, sustituyendo en la ecuación del factor de seguridad contra tubificación, tenemos:

$$F_{st} = ( 2 * C ) / ( Ct + i )$$

$$F_{st} = ( 2 * 6.4 ) / ( 0.143 + 0.143 )$$

$$F_{st} = 44.76$$

Como podemos observar, se cumple la condición mínima de seguridad ya que  $F_{st}$  es infinitamente mayor a 3, esto es lógico si analizamos el gasto de filtración obtenido de la red de flujo, el cual indica que diariamente el gasto infiltrado no excederá de un litro a través del cuerpo de la cortina.

Por otra parte, es posible evaluar el riesgo de tubificación desde otro enfoque, mediante la comparación del gradiente en la red de flujo, contra el valor crítico de este parámetro (  $i_c = 1$  ), ya que dicho valor crítico se presenta en el instante en que la tubificación comienza, de la siguiente manera:

$$i_c = \gamma'_m / \gamma_w = ( 1.56 - 1.00 ) / ( 1.00 )$$

$$i_c = \underline{0.56} < 1 \quad \underline{FS = 1.79}$$

Resultado que ratifica la seguridad de la estructura contra el fenómeno de tubificación, por lo que bastará con la colocación de un material de transición entre el enrocamiento y el material impermeable para evitar contaminación de dicho material.

#### 4.4 ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS EN LA CORTINA.

##### 4.4.1 TIPOS DE ASENTAMIENTOS.

Uno de los aspectos que tiene una importancia relevante durante el proyecto y diseño de una presa de sección homogénea, es el correspondiente a la estimación de los asentamientos que se pueden presentar como consecuencia de la compresibilidad de los materiales empleados en la formación del núcleo impermeable.

El método más utilizado en la valoración numérica de los asentamientos en la ingeniería de presas de tierra, es el empleo de la Teoría de Consolidación establecida por el Dr. Karl Terzagui.

Durante el proceso constructivo de una presa de sección homogénea, el material arcilloso del núcleo se coloca mediante equipos de compactación, por lo que, inicialmente, no se encuentran saturados. Después de que ha sido llenado el vaso de la presa, al cabo de un tiempo, el agua satura una zona del cuerpo de la cortina, limitada en la zona superior por la línea superior de flujo, por arriba de la cual queda una zona que no es saturada, y por lo tanto no puede aplicarse en este caso la teoría de Terzagui antes mencionada.

Este aspecto no es de gran importancia, ya que normalmente esta zona no saturada es de magnitud pequeña y no es significativa en el valor numérico del asentamiento total final del cuerpo de la presa.

##### • ASENTAMIENTOS EN EL NÚCLEO IMPERMEABLE.

Existen dos tipos de asentamientos que pueden presentarse en el núcleo impermeable arcilloso, los primeros en presentarse en el tiempo, son los asentamientos producidos por **saturación** del material arcillosos, y los segundos, son el resultado de la **consolidación** de los mismos materiales que constituyen el núcleo impermeable.

### **Asentamientos por saturación.**

Este tipo de asentamientos se produce repentinamente, colapsando parte del cuerpo de la cortina o presentando grietas a lo largo del eje de la misma. Este tipo de falla ocurre durante el primer llenado y es resultado de compactaciones muy deficientes durante la etapa constructiva, con porcentajes de humedad por debajo de la óptima establecida en la prueba patrón Proctor de comparación para el proyecto.

### **Asentamientos por consolidación.**

La presencia de materiales finos, compresibles, saturados o con un alto grado de saturación, en el núcleo de la cortina, producen asentamientos diferenciales que aumentan la probabilidad de riesgo de presencia de agrietamientos transversales al eje de la cortina en la condición final de presa llena.

A pesar de que este tipo de asentamientos generalmente es un proceso lento, la magnitud final de los asentamientos que se pueden producir, es en ocasiones excesiva comparada contra los asentamientos a los que puede adaptarse el terraplén sin agrietarse.

- **ASENTAMIENTOS EN LA CAPA DE ENROCAMIENTO.**

Los asentamientos en la capa de enrocamiento de protección en los taludes, son imposibles de estimar con los elementos teóricos que a la fecha posee la mecánica de suelos, ya que los asentamientos que se presentan son mucho mayores que los que se podrían estimar con base en cualquier experiencia registrada y ocurren en lapsos prolongados de tiempo después de la etapa constructiva.

- **ASENTAMIENTOS EN EL TERRENO DE CIMENTACIÓN.**

En nuestro caso particular el terreno de cimentación consiste en roca, por lo que se puede considerar que no existirán asentamientos en la cimentación de la presa, por lo que la probabilidad de riesgo de que exista un efecto perjudicial por esta parte es reducido.

## **4.4.2 ESTIMACIÓN DE ASENTAMIENTOS.**

### **4.4.2.1 POR SATURACIÓN.**

Como ya se mencionó, este fenómeno se presenta durante el primer llenado de la presa y siempre está asociado a un proceso deficiente de compactación de los materiales del terraplén, los cuales fueron colocados con un bajo peso volumétrico y un bajo contenido de agua en relación a sus condiciones óptimas establecidas en su prueba patrón de compactación.

El mecanismo de falla se presenta cuando la estructura "abierta" del suelo mal compactado se satura y rompe el equilibrio interno de fuerzas en que se encontraban las partículas de dicho suelo, debido a la desaparición de las fuerzas capilares ( presión intergranular ) que se desarrollan en la superficie de contacto entre partículas que contribúan a dicho equilibrio, provocando un reacomodo brusco de las partículas.

La magnitud de las fuerzas capilares depende del radio de los meniscos capilares, el cual depende a su vez del tamaño de las partículas y de la cantidad de agua disponible en el suelo; por lo que puede decirse, que las fuerzas capilares disminuyen a medida que el grado de saturación aumenta y que, para el mismo grado de saturación, las fuerzas capilares son mayores a medida que las partículas de suelo son más finas

La magnitud de los asentamientos que se originan al aumentar el grado de saturación de un suelo parcialmente saturado está vinculada a la magnitud de la carga a que está sometido el suelo, así como al espesor de la capa compresible, a su relación de vacíos y grado de saturación inicial.

Para un valor conocido de la relación de vacíos y grado de saturación, la relación entre la presión aplicada y el asentamiento, puede obtenerse en el laboratorio, sometiendo varios especímenes de suelo a diversas presiones en varias pruebas de consolidación, y midiendo la deformación que se produce en cada una de ellas al saturarlas. Finalmente se grafican deformaciones en porcentaje contra presión aplicada, y se calcula el módulo de compresibilidad (  $m_v$  ) mediante la siguiente expresión:

$$m_v = \lambda / ( p H )$$

Donde:

- $m_v$  = Módulo de compresibilidad, en [cm<sup>2</sup>/seg.].
- $\lambda$  = Deformación del espécimen de suelo, en [ mm. ].
- $p$  = Presión aplicada, en [ kg./cm<sup>2</sup> ].
- $H$  = Espesor del espécimen, en [ mm. ].

En nuestro caso en estudio, no se cuenta con este tipo de información de las pruebas de laboratorio realizadas, por lo que no es posible estimar un valor numérico de éste tipo de asentamiento.

Por lo anterior, podemos concluir, que si se toman estrictas medidas de control de calidad durante la etapa de compactación del terraplén impermeable, podemos descartar la aparición de asentamientos por saturación en el cuerpo de la cortina.

En general se ha observado que en presas de sección homogénea construidas con materiales compactados con una humedad igual a la óptima y un grado de compactación igual o mayor al 95% referido a la norma de la prueba Proctor SRH, ha sido satisfactorio, por lo que esta práctica se considera recomendable.

#### 4.4.2.2 POR CONSOLIDACIÓN.

Para la estimación de la magnitud y evolución de los asentamientos por consolidación que tendrán lugar en el cuerpo impermeable de la cortina, se supondrá que el incremento de presión aplicado a cada estrato analizado no es uniforme en todo el espesor del mismo. Así mismo, es primordial la evaluación en primera instancia de la transmisión de esfuerzos al interior del cuerpo de la cortina debido a peso propio para determinar el estado de esfuerzos inicial y posteriormente compararlo contra el final por esfuerzos adicionales tales como el empuje hidrostático debido a el llenado de la presa.

- **DISTRIBUCIÓN DE ESFUERZOS EN LA MASA DE SUELO.**

Para determinar el estado de esfuerzos inicial al que estará sujeto el cuerpo de la cortina, una vez terminada la etapa constructiva, se consideró que la única carga a la que estará sujeto el estrato compresible del núcleo arcilloso será el peso propio de la cortina, ya que la estructura del vertedor no está ubicada sobre la misma.

A su vez, se consideró que la carga por peso propio de los materiales que constituyen la cortina, se distribuye uniformemente por unidad de área de la geometría en planta. Por lo que se utilizó la teoría establecida por J. Boussinesq para calcular el esfuerzo normal vertical en los puntos de análisis de la cortina. Como incremento de presión ( $\Delta P$ ) sobre el estrato compresible, se consideró la presión del agua por efecto del llenado de la presa.

- **CÁLCULO DE ASENTAMIENTOS.**

Para la estimación del asentamiento total diferido por consolidación unidimensional primaria en condiciones de flujo de agua vertical, se utilizó la siguiente expresión establecida en la teoría de Terzagui:

$$\Delta H = [ (\Delta e) / (1 + e_0) ] \Delta z$$

Donde:

$\Delta H$  = Asentamiento Total Diferido por Consolidación Unidimensional Primaria en condiciones de flujo de agua vertical en el estrato compresible, en cm.

$\Delta e$  = Variación de la relación de vacíos bajo incremento de esfuerzo vertical  $\Delta P$  inducido a la profundidad  $z$  por la carga por la carga superficial. Esta variación se estimó a partir de una prueba de consolidación unidimensional realizada con una muestra representativa del material existente a la profundidad analizada.

$e_0$  = Relación de vacíos inicial del suelo analizado.

$\Delta z$  = Espesores de estratos elementales en los cuales los esfuerzos pueden considerarse uniformes.

De las pruebas de laboratorio realizadas, se tienen pruebas de consolidación efectuadas sobre muestras inalteradas representativas del núcleo de la cortina a diferentes profundidades y su respectiva curva de compresibilidad representativa del comportamiento del suelo a esa profundidad.

El procedimiento de cálculo fue el siguiente:

- 1) Se consideró la frontera superior del estrato compresible como origen de las  $z$ .
- 2) De la gráfica de compresibilidad entrando con el valor de la presión actual efectiva ( $P_o$ ) del suelo a esa profundidad, se obtiene el valor de la relación de vacíos inicial ( $e_o$ ).
- 3) Al valor de  $P_o$  se le suma el valor del incremento de presión ( $dP$ ), obtenido por el método de Boussinesq, que representa el nuevo esfuerzo efectivo que debe aceptar la fase sólida del suelo cuando éste se haya consolidado totalmente bajo la nueva condición de carga.
- 4) La ordenada del valor  $p = P_o + dP$  proporcionará el valor de la  $e$  final que, teóricamente alcanzará el suelo a la profundidad de que se trate.
- 5) Se determina  $\Delta e = e - e_o$  y se calcula ( $\Delta e / 1 + e_o$ )

Los resultados obtenidos de éste análisis se muestran en forma resumida en las tablas:

<b>TABLA No. 4-4</b>	<b>CÁLCULO DE CARGAS POR UNIDAD DE ÁREA A DIFERENTES NIVELES DE LA CORTINA.</b> (CONDICIÓN INICIAL : FIN DE LA CONSTRUCCIÓN DEL TERRAPLÉN DE ARCILLA.)
<b>TABLA No. 4-5</b>	<b>CÁLCULO DE CARGAS ADICIONALES POR UNIDAD DE ÁREA A DIFERENTES NIVELES DE LA CORTINA.</b> (CONDICIÓN FINAL : FIN DE LA CONSTRUCCIÓN DEL COLCHÓN DE ENROCAMIENTO.)
<b>TABLA No. 4-6</b>	<b>ESFUERZOS PRODUCIDOS POR CARGAS UNIFORMEMENTE REPARTIDAS.</b>
<b>TABLA No. 4-7</b>	<b>CÁLCULO DE ASENTAMIENTOS.</b>

**CÁLCULO DE CARGAS POR UNIDAD DE ÁREA A DIFERENTES NIVELES DE LA CORTINA.**  
( CONDICIÓN INICIAL: FIN DE LA CONSTRUCCIÓN DEL TERRAPLÉN DE ARCILLA ).

PESO VOL. DE LA ARCILLA = 1.60 ton / m<sup>3</sup>

**TABLA No. 4-4**

TRAMO ANALIZADO		LONGITUD ( L ) [ m. ]	No. DE CAPA	PROF. ( H ) [ m. ]	dz [ m. ]	BASE ( B ) [ m. ]	ÁREA ( A ) [ m <sup>2</sup> . ]	VOLUMEN ( V ) [ m <sup>3</sup> . ]	CARGA ( P ) [ ton. ]	CARGA ACUMUL. [ ton. ]	PRESIÓN EFECTIVA ( Po ) [ ton./ m <sup>2</sup> ]
SECCIÓN INICIAL	SECCIÓN FINAL										
0+014.00	0+064.00	50.0	1	0.50	0.50	8.00	3.50	175.00	280.00	280.00	0.70
0+014.00	0+064.00	50.0	2	1.00	0.50	10.00	4.50	225.00	360.00	640.00	1.28
0+014.00	0+064.00	50.0	3	1.50	0.50	12.00	5.50	275.00	440.00	1,080.00	1.80
0+014.00	0+064.00	50.0	4	2.00	0.50	14.00	6.50	325.00	520.00	1,600.00	2.29
0+014.00	0+064.00	50.0	5	2.50	0.50	16.00	7.50	375.00	600.00	2,200.00	2.75
0+014.00	0+064.00	50.0	6	3.00	0.50	18.00	8.50	425.00	680.00	2,880.00	3.20
0+014.00	0+064.00	50.0	7	3.50	0.50	20.00	9.50	475.00	760.00	3,640.00	3.64
0+014.00	0+064.00	50.0	8	4.00	0.50	22.00	10.50	525.00	840.00	4,480.00	4.07
0+014.00	0+064.00	50.0	9	4.50	0.50	24.00	11.50	575.00	920.00	5,400.00	4.50
0+014.00	0+064.00	50.0	10	5.00	0.50	26.00	12.50	625.00	1,000.00	6,400.00	4.92
0+014.00	0+064.00	50.0	11	5.50	0.50	28.00	13.50	675.00	1,080.00	7,480.00	5.34
0+014.00	0+064.00	50.0	12	6.00	0.50	30.00	14.50	725.00	1,160.00	8,640.00	5.76
0+014.00	0+064.00	50.0	13	6.50	0.50	32.00	15.50	775.00	1,240.00	9,880.00	6.18
0+014.00	0+064.00	50.0	14	7.00	0.50	34.00	16.50	825.00	1,320.00	11,200.00	6.59
0+014.00	0+064.00	50.0	15	7.50	0.50	36.00	17.50	875.00	1,400.00	12,600.00	7.00
0+014.00	0+064.00	50.0	16	8.00	0.50	38.00	18.50	925.00	1,480.00	14,080.00	7.41
0+014.00	0+064.00	50.0	17	8.50	0.50	40.00	19.50	975.00	1,560.00	15,640.00	7.82
0+014.00	0+064.00	50.0	18	9.00	0.50	42.00	20.50	1,025.00	1,640.00	17,280.00	8.23
0+014.00	0+064.00	50.0	19	9.50	0.50	44.00	21.50	1,075.00	1,720.00	19,000.00	8.64
0+014.00	0+064.00	50.0	20	10.00	0.50	46.00	22.50	1,125.00	1,800.00	20,800.00	9.04
0+014.00	0+064.00	50.0	21	10.50	0.50	48.00	23.50	1,175.00	1,880.00	22,680.00	9.45
0+014.00	0+064.00	50.0	22	11.00	0.50	50.00	24.50	1,225.00	1,960.00	24,640.00	9.86
0+014.00	0+064.00	50.0	23	11.50	0.50	52.00	25.50	1,275.00	2,040.00	26,680.00	10.26
0+014.00	0+064.00	50.0	24	12.00	0.50	54.00	26.50	1,325.00	2,120.00	28,800.00	10.67
0+014.00	0+064.00	50.0	25	12.50	0.50	56.00	27.50	1,375.00	2,200.00	31,000.00	11.07
0+014.00	0+064.00	50.0	26	13.00	0.50	58.00	28.50	1,425.00	2,280.00	33,280.00	11.48
0+014.00	0+064.00	50.0	27	13.50	0.50	60.00	29.50	1,475.00	2,360.00	35,640.00	11.88
0+014.00	0+064.00	50.0	28	14.00	0.50	62.00	30.50	1,525.00	2,440.00	38,080.00	12.28
0+014.00	0+064.00	50.0	29	14.50	0.50	64.00	31.50	1,575.00	2,520.00	40,600.00	12.69
0+014.00	0+064.00	50.0	30	15.00	0.50	66.00	32.50	1,625.00	2,600.00	43,200.00	13.09
0+014.00	0+064.00	50.0	31	15.50	0.50	68.00	33.50	1,675.00	2,680.00	45,880.00	13.49
<b>SUMAS =</b>							<b>573.50</b>	<b>28,675.00</b>	<b>45,880.00</b>		

**CÁLCULO DE CARGAS ADICIONALES POR UNIDAD DE ÁREA A DIFERENTES NIVELES DE LA CORTINA.  
( CONDICIÓN FINAL: FIN DE LA CONSTRUCCIÓN DEL COLCHÓN DE ENROCAMIENTO ).**

PESO VOL. DEL ENROCAMIENTO = 1.85 ton / m<sup>3</sup>  
 ESPESOR AGUAS ARRIBA = 0.50 m.  
 ESPESOR AGUAS ABAJO = 0.30 m.

**TABLA No. 4-5**

TRAMO ANALIZADO		LONGITUD ( L ) [ m. ]	No. DE CAPA	PROF. ( H ) [ m. ]	dz [ m. ]	BASE ( B ) [ m. ]	ÁREA ROCA ( A ) [ m <sup>2</sup> . ]	VOLUMEN ROCA ( V ) [ m <sup>3</sup> . ]	CARGA ADICIONAL ( P ) [ ton. ]	CARGA ADICIONAL ACUMULADA [ ton. ]	PRESIÓN NETA ( W ) [ ton./ m <sup>2</sup> ]
SECCIÓN INICIAL	SECCIÓN FINAL										
0+014.00	0+064.00	50.0	1	0.50	0.50	8.00	1.01	50.31	93.08	93.08	0.233
0+014.00	0+064.00	50.0	2	1.00	0.50	10.00	1.01	50.31	93.08	186.15	0.372
0+014.00	0+064.00	50.0	3	1.50	0.50	12.00	1.01	50.31	93.08	279.23	0.465
0+014.00	0+064.00	50.0	4	2.00	0.50	14.00	1.01	50.31	93.08	372.31	0.532
0+014.00	0+064.00	50.0	5	2.50	0.50	16.00	1.01	50.31	93.08	465.38	0.582
0+014.00	0+064.00	50.0	6	3.00	0.50	18.00	1.01	50.31	93.08	558.46	0.621
0+014.00	0+064.00	50.0	7	3.50	0.50	20.00	1.01	50.31	93.08	651.53	0.652
0+014.00	0+064.00	50.0	8	4.00	0.50	22.00	1.01	50.31	93.08	744.61	0.677
0+014.00	0+064.00	50.0	9	4.50	0.50	24.00	1.01	50.31	93.08	837.69	0.698
0+014.00	0+064.00	50.0	10	5.00	0.50	26.00	1.01	50.31	93.08	930.76	0.716
0+014.00	0+064.00	50.0	11	5.50	0.50	28.00	1.01	50.31	93.08	1,023.84	0.731
0+014.00	0+064.00	50.0	12	6.00	0.50	30.00	1.01	50.31	93.08	1,116.92	0.745
0+014.00	0+064.00	50.0	13	6.50	0.50	32.00	1.01	50.31	93.08	1,209.99	0.756
0+014.00	0+064.00	50.0	14	7.00	0.50	34.00	1.01	50.31	93.08	1,303.07	0.767
0+014.00	0+064.00	50.0	15	7.50	0.50	36.00	1.01	50.31	93.08	1,396.14	0.776
0+014.00	0+064.00	50.0	16	8.00	0.50	38.00	1.01	50.31	93.08	1,489.22	0.784
0+014.00	0+064.00	50.0	17	8.50	0.50	40.00	1.01	50.31	93.08	1,582.30	0.791
0+014.00	0+064.00	50.0	18	9.00	0.50	42.00	1.01	50.31	93.08	1,675.37	0.798
0+014.00	0+064.00	50.0	19	9.50	0.50	44.00	1.01	50.31	93.08	1,768.45	0.804
0+014.00	0+064.00	50.0	20	10.00	0.50	46.00	1.01	50.31	93.08	1,861.53	0.809
0+014.00	0+064.00	50.0	21	10.50	0.50	48.00	1.01	50.31	93.08	1,954.60	0.814
0+014.00	0+064.00	50.0	22	11.00	0.50	50.00	1.01	50.31	93.08	2,047.68	0.819
0+014.00	0+064.00	50.0	23	11.50	0.50	52.00	1.01	50.31	93.08	2,140.76	0.823
0+014.00	0+064.00	50.0	24	12.00	0.50	54.00	1.01	50.31	93.08	2,233.83	0.827
0+014.00	0+064.00	50.0	25	12.50	0.50	56.00	1.01	50.31	93.08	2,326.91	0.831
0+014.00	0+064.00	50.0	26	13.00	0.50	58.00	1.01	50.31	93.08	2,419.98	0.834
0+014.00	0+064.00	50.0	27	13.50	0.50	60.00	1.01	50.31	93.08	2,513.06	0.838
0+014.00	0+064.00	50.0	28	14.00	0.50	62.00	1.01	50.31	93.08	2,606.14	0.841
0+014.00	0+064.00	50.0	29	14.50	0.50	64.00	1.01	50.31	93.08	2,699.21	0.844
0+014.00	0+064.00	50.0	30	15.00	0.50	66.00	1.01	50.31	93.08	2,792.29	0.846
0+014.00	0+064.00	50.0	31	15.50	0.50	68.00	1.01	50.31	93.08	2,885.37	0.849
<b>SUMAS =</b>							<b>31.19</b>	<b>1,559.66</b>	<b>2,885.37</b>		

**TABLA No. 4-6 ESFUERZOS PRODUCIDOS POR CARGAS UNIFORMEMENTE REPARTIDAS**

**Solicitaciones:**

ESFUERZO EN EL PLANO ANALIZADO.

W= Presión neta uniformemente repartida en el área analizada en ( ton / m<sup>2</sup> ).

$$\sigma = N W W_o$$

N = Número de las partes en que se divide el área total de la cimentación, respecto al punto analizado.

z = Distancia correspondiente al plano en que se calcula el esfuerzo.

W<sub>o</sub> = Factor de influencia de la carga sobre el punto analizado.

PUNTO ANALIZADO	prof. z ( m )	CONDICION GEOMÉTRICA			FACTORES GEOMÉTRICOS		W <sub>o</sub>	W ( ton / m <sup>2</sup> )	σ ( ton / m <sup>2</sup> )
		Núm. de Divisiones N	X ( m )	Y ( m )	m = X / z	n = Y/z			
A	0.50	4.00	34.00	25.00	68.00	50.00	0.250	0.233	0.233
	1.00	4.00	34.00	25.00	34.00	25.00	0.250	0.372	0.372
	1.50	4.00	34.00	25.00	22.67	16.67	0.250	0.465	0.465
	2.00	4.00	34.00	25.00	17.00	12.50	0.250	0.532	0.532
	2.50	4.00	34.00	25.00	13.60	10.00	0.250	0.582	0.582
	3.00	4.00	34.00	25.00	11.33	8.33	0.250	0.621	0.621
	3.50	4.00	34.00	25.00	9.71	7.14	0.250	0.652	0.652
	4.00	4.00	34.00	25.00	8.50	6.25	0.250	0.677	0.677
	4.50	4.00	34.00	25.00	7.56	5.56	0.250	0.698	0.698
	5.00	4.00	34.00	25.00	6.80	5.00	0.250	0.716	0.716
	5.50	4.00	34.00	25.00	6.18	4.55	0.250	0.731	0.731
	6.00	4.00	34.00	25.00	5.67	4.17	0.250	0.745	0.745
	6.50	4.00	34.00	25.00	5.23	3.85	0.250	0.756	0.756
	7.00	4.00	34.00	25.00	4.86	3.57	0.250	0.767	0.767
	7.50	4.00	34.00	25.00	4.53	3.33	0.250	0.776	0.776
	8.00	4.00	34.00	25.00	4.25	3.13	0.250	0.784	0.784
	8.50	4.00	34.00	25.00	4.00	2.94	0.250	0.791	0.791
	9.00	4.00	34.00	25.00	3.78	2.78	0.250	0.798	0.798
	9.50	4.00	34.00	25.00	3.58	2.63	0.250	0.804	0.804
	10.00	4.00	34.00	25.00	3.40	2.50	0.250	0.809	0.809

## TABLA No. 4-6 ESFUERZOS PRODUCIDOS POR CARGAS UNIFORMEMENTE REPARTIDAS

**Solicitaciones:**

ESFUERZO EN EL PLANO ANALIZADO.

W= Presión neta uniformemente repartida en el área analizada en ( ton / m<sup>2</sup> ).

$$\sigma = N W W_o$$

N = Número de las partes en que se divide el área total de la cimentación, respecto al punto analizado.

z = Distancia correspondiente al plano en que se calcula el esfuerzo.

W<sub>o</sub> = Factor de influencia de la carga sobre el punto analizado.

PUNTO ANALIZADO	prof. z ( m )	CONDICION GEOMÉTRICA			FACTORES GEOMÉTRICOS		W <sub>o</sub>	W ( ton / m <sup>2</sup> )	σ ( ton / m <sup>2</sup> )
		Núm. de Divisiones N	X ( m )	Y ( m )	m = X / z	n = Y/z			
A	10.50	4.00	34.00	25.00	3.24	2.38	0.250	0.814	0.814
	11.00	4.00	34.00	25.00	3.09	2.27	0.240	0.819	0.786
	11.50	4.00	34.00	25.00	2.96	2.17	0.238	0.823	0.784
	12.00	4.00	34.00	25.00	2.83	2.08	0.237	0.827	0.784
	12.50	4.00	34.00	25.00	2.72	2.00	0.237	0.831	0.788
	13.00	4.00	34.00	25.00	2.62	1.92	0.237	0.834	0.791
	13.50	4.00	34.00	25.00	2.52	1.85	0.237	0.838	0.794
	14.00	4.00	34.00	25.00	2.43	1.79	0.233	0.841	0.784
	14.50	4.00	34.00	25.00	2.34	1.72	0.233	0.844	0.786
	15.00	4.00	34.00	25.00	2.27	1.67	0.225	0.846	0.762
	15.50	4.00	34.00	25.00	2.19	1.61	0.220	0.849	0.747

**TABLA No. 4-7 CÁLCULO DE ASENTAMIENTOS**

$\Delta H = [(e_i - e_f) / (1 + e_i)] (h) =$  Asentamiento total por consolidación unidimensional primaria con flujo vertical.

P = Esfuerzo efectivo que deberá tomar la fase sólida del suelo cuando éste se haya consolidado totalmente bajo la nueva condición de cargas exteriores.

$\sigma$  = Incremento de presión por solicitaciones de carga de las capas de enrocamiento, al estrato compresible analizado.

Po = Presión efectiva por peso propio de la arcilla, en ( ton / m<sup>2</sup> ).

PUNTO	PROFUNDIDAD ( m )	Po (acumulado)	$\sigma$ ( ton / m <sup>2</sup> )	P ( ton / m <sup>2</sup> )	ei —	ef —	ei - ef —	$\Delta H$ ( m. )
Centro	0.50	0.700	0.233	0.933	0.715	0.711	0.004	0.001
	1.00	1.280	0.372	1.652	0.706	0.705	0.001	0.000
	1.50	1.800	0.465	2.265	0.704	0.703	0.001	0.000
	2.00	2.286	0.532	2.818	0.703	0.700	0.003	0.001
	2.50	2.750	0.582	3.332	0.701	0.698	0.003	0.001
	3.00	3.200	0.621	3.821	0.699	0.696	0.003	0.001
	3.50	3.640	0.652	4.292	0.697	0.693	0.004	0.001
	4.00	4.073	0.677	4.750	0.694	0.691	0.003	0.001
	4.50	4.500	0.698	5.198	0.692	0.689	0.003	0.001
	5.00	4.923	0.716	5.639	0.690	0.687	0.003	0.001
	5.50	5.343	0.731	6.074	0.688	0.685	0.003	0.001
	6.00	5.760	0.745	6.505	0.686	0.683	0.003	0.001
	6.50	6.175	0.756	6.931	0.684	0.681	0.003	0.001
	7.00	6.588	0.767	7.355	0.682	0.679	0.003	0.001
	7.50	7.000	0.776	7.776	0.680	0.677	0.003	0.001
	8.00	7.411	0.784	8.194	0.678	0.675	0.003	0.001
	8.50	7.820	0.791	8.611	0.676	0.673	0.003	0.001
	9.00	8.229	0.798	9.026	0.675	0.671	0.004	0.001
	9.50	8.636	0.804	9.440	0.673	0.669	0.004	0.001
	10.00	9.043	0.809	9.853	0.671	0.667	0.004	0.001
	10.50	9.450	0.814	10.264	0.669	0.665	0.004	0.001
	11.00	9.856	0.786	10.642	0.667	0.663	0.004	0.001
	11.50	10.262	0.784	11.045	0.665	0.660	0.005	0.002
	12.00	10.667	0.784	11.451	0.662	0.658	0.004	0.001
	12.50	11.071	0.788	11.859	0.660	0.656	0.004	0.001
	13.00	11.476	0.791	12.267	0.658	0.654	0.004	0.001
	13.50	11.880	0.794	12.674	0.656	0.652	0.004	0.001

### TABLA No. 4-7 CÁLCULO DE ASENTAMIENTOS

$$\Delta H = [(e_i - e_f) / (1 + e_i)] (h) = \text{Asentamiento total por consolidación unidimensional primaria con flujo vertical.}$$

P = Esfuerzo efectivo que deberá tomar la fase sólida del suelo cuando éste se haya consolidado totalmente bajo la nueva condición de cargas exteriores.

$\sigma$  = Incremento de presión por solicitaciones de carga de las capas de enrocamiento, al estrato compresible analizado.

Po = Presión efectiva por peso propio de la arcilla, en ( ton / m<sup>2</sup> ).

PUNTO	PROFUNDIDAD ( m )	Po (acumulado)	$\sigma$ ( ton / m <sup>2</sup> )	P ( ton / m <sup>2</sup> )	ei —	ef —	ei - ef —	$\Delta H$ ( m. )
	14.00	12.284	0.784	13.067	0.654	0.649	0.005	0.002
	14.50	12.688	0.786	13.474	0.651	0.647	0.004	0.001
	15.00	13.091	0.762	13.852	0.649	0.645	0.004	0.001
	15.50	13.494	0.747	14.241	0.647	0.643	0.004	0.001
SUMAS =								
PROMEDIOS =			0.707	8.042		0.675	0.003	

$\Delta H$  = Asentamiento total por consolidación unidimensional primaria con flujo vertical en ( cm ) =

3.194

#### PARAMETROS DE COMPRESIBILIDAD.

<u>Coefficiente de Compresibilidad ( av ) =</u>	0.0049	cm <sup>2</sup> / kg	<u>Coefficiente de Consolidación ( Cv ) =</u>	1.20138E-06	cm <sup>2</sup> / min.
<u>Coefficiente de Variación Volumétrica ( mv ) =</u>	0.0029		<u>Tiempo del 95 % de la Consolidación en años ( t )</u>		
<u>K = Permeabilidad del suelo en ( cm / seg ) =</u>	3.5E-09		<u>t =</u>	1.79	<u>años</u>

**ANEXO No. 4-1    CORRIDAS TIPO DEL  
PROGRAMA DE ANÁLISIS  
DE ESTABILIDAD.**

## CI-NOT-ESTATICA-ABAJO

**PROYECTO:** PRESA "PALO GORDO", MUNICIPIO DE TEJUPILCO.  
**CONDICIÓN DE ANALISIS:** CONDICIONES INICIALES, CON AGUA HASTA EL NIVEL DE OBRA DE TOMA ( N.O.T.). Y EN ESTADO ESTÁTICO.

**TALUD ANALIZADO:** TALUD DE AGUAS ABAJO.

DATOS INICIALES:

NIVEL DE AGUA EN EL VASO: PESO VOL. AGUA = 1.00 ton/m<sup>3</sup>  
 ALTURA MÁX. = 24.09 m. FACTOR SÍSMICO = 0.00  
 COORD. EN "X" = DE 66.0 A 90.0

1) COORDENADAS DE LA SECCIÓN MÁXIMA DE LA CORTINA, INCLUYENDO TERRENO DE CIMENTACIÓN.

PUNTO	ORDENADA " X "	ORDENADA " Y "	PUNTO	ORDENADA " X "	ORDENADA " Y "
1	90.00	14.60	14	55.00	23.80
2	79.00	14.50	15	50.00	23.38
3	11.60	12.60	16	45.00	22.93
4	0.00	12.60	17	40.00	22.44
5	90.00	19.00	18	35.00	21.90
6	75.60	19.00	19	30.00	21.29
7	74.60	19.00	20	25.00	20.57
8	15.40	17.00	21	22.60	20.00
9	14.30	17.00	22	20.45	19.55
10	0.00	17.00	23	52.40	30.20
11	66.00	24.00	24	47.40	30.20
12	64.80	24.00	25	53.00	30.50
13	60.00	24.19	26	47.00	30.50

2) DEFINICIÓN DE ORIGEN - DESTINO DE LAS LÍNEAS DE LA SECCIÓN, Y ASIGNACIÓN DE NÚMERO DE SUELO.

LÍNEA	PT. IZQUIERDO	PT. DERECHO	Nº DE SUELO
1	4	3	1
2	3	2	1
3	2	1	1
4	3	8	2
5	8	21	2
6	21	20	2
7	20	19	2
8	19	18	2
9	18	17	2
10	17	16	2
11	16	15	2
12	15	14	2
13	14	13	2
14	13	12	2
15	12	7	2
16	7	2	2
17	21	24	3
18	24	23	3
19	23	12	3
20	12	11	4
21	10	9	7
22	9	8	7
23	9	22	4
24	22	21	4
25	22	26	5
26	26	25	5
27	25	11	5
28	11	6	4
29	7	6	6
30	6	5	6

## CI-NOT-ESTATICA-ABAJO

### 3) CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES DE LA CORTINA Y LA CIMENTACIÓN.

Nº SUELO	PESO VOL. [ ton / m <sup>3</sup> ]	COHESIÓN [ ton / m <sup>2</sup> ]	ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA [ $\phi$ ]	SATURADO
1	2.05	10.00	45.00	0
2	1.99	6.40	4.00	0
3	1.99	6.40	4.00	1
4	1.89	0.00	45.00	0
5	1.89	0.00	45.00	1
6	1.98	3.00	18.00	0
7	1.98	3.00	18.00	1

### 4) CARACTERÍSTICAS DEL CIRCULO DE FALLA PROPUESTO.

Nº DE CIRCULO	COORDENADAS DEL CENTRO		MAGNITUD DEL RADIO
	" X "	" Y "	[ m ]
( 5 ) CINCO	36.00	37.00	18.00

### 5) RESUMEN DEL ANALISIS DE ESTABILIDAD.

Nº DOVELA	PESO	ÁNGULO ( $\theta$ )	COHESION	ANCHO	PESO EFECTIVO
1	619.1	52.1	6.40	4.20	619.1
2	270.6	55.9	6.40	4.20	270.6
3	184	67.6	6.40	4.20	184
4	151.5	-62.1	6.40	4.20	151.5
5	187.7	-42.2	0.00	4.20	187.7
6	19.1	-32.3	0.00	0.40	19.1
7	54.4	-29.3	6.40	1.20	54.4
8	177.8	-20.4	6.40	3.90	177.8
9	168.8	-7.3	6.40	3.90	168.8
10	153.3	5.3	6.40	3.90	153.3
11	131	18.2	6.40	3.90	131
12	100.5	32.3	6.40	3.90	100.5
13	42.00	45.5	6.40	2.60	42
14	18.9	59.4	6.40	2.60	18.9
15	0.1	68.1	0.00	0.20	0.1

Nº DOVELA	ANG. FRICC. ( $\phi$ )	" X "
1	4.0	7.12
2	4.0	11.35
3	4.0	15.59
4	4.0	19.83
5	45.0	24.06
6	45.0	26.39
7	4.0	27.20
8	4.0	29.77
9	4.0	33.71
10	4.0	37.65
11	4.0	41.59
12	4.0	45.53
13	4.0	48.78
14	4.0	51.34
15	45.0	52.70

ITERACIÓN	F.S. INICIAL	F.S. CALCULADO
1	1.0000	5.1991
2	5.1991	1.4892
3	1.4892	2.0117
4	2.0117	1.7233
5	1.7233	1.8366
6	1.8366	1.7837
7	1.7837	1.8067
8	1.8067	1.7963
9	1.7963	1.8009

**FUERZA DE DESBALANCEO.**  
**Fd = 4.38**

**FACTOR DE SEGURIDAD OBTENIDO.**  
**F.S. = 1.8009**

## CI-NOT-SISMO-ABAJO

**PROYECTO:** PRESA "PALO GORDO", MUNICIPIO DE TEJUPILCO.  
**CONDICIÓN DE ANALISIS:** CONDICIONES INICIALES, CON AGUA HASTA EL NIVEL DE OBRA DE TOMA ( N.O.T. ). Y EN ESTADO DINÁMICO ( SISMO ).  
**TALUD ANALIZADO:** TALUD DE AGUAS ABAJO.

### DATOS INICIALES:

NIVEL DE AGUA EN EL VASO: PESO VOL. AGUA = 1.00 ton/m<sup>3</sup>  
 ALTURA MÁX. = 24.09 m. FACTOR SÍSMICO = 0.16  
 COORD. EN "X" = DE 66.0 A 90.0

### 1) COORDENADAS DE LA SECCIÓN MÁXIMA DE LA CORTINA, INCLUYENDO TERRENO DE CIMENTACIÓN.

PUNTO	ORDENADA " X "	ORDENADA " Y "	PUNTO	ORDENADA " X "	ORDENADA " Y "
1	90.00	14.60	14	55.00	23.80
2	79.00	14.50	15	50.00	23.38
3	11.60	12.60	16	45.00	22.93
4	0.00	12.60	17	40.00	22.44
5	90.00	19.00	18	35.00	21.90
6	75.60	19.00	19	30.00	21.29
7	74.60	19.00	20	25.00	20.57
8	15.40	17.00	21	22.60	20.00
9	14.30	17.00	22	20.45	19.55
10	0.00	17.00	23	52.40	30.20
11	66.00	24.00	24	47.40	30.20
12	64.80	24.00	25	53.00	30.50
13	60.00	24.19	26	47.00	30.50

### 2) DEFINICIÓN DE ORIGEN - DESTINO DE LAS LÍNEAS DE LA SECCIÓN, Y ASIGNACIÓN DE NÚMERO DE SUELO.

LÍNEA	PT. IZQUIERDO	PT. DERECHO	Nº DE SUELO
1	4	3	1
2	3	2	1
3	2	1	1
4	3	8	2
5	8	21	2
6	21	20	2
7	20	19	2
8	19	18	2
9	18	17	2
10	17	16	2
11	16	15	2
12	15	14	2
13	14	13	2
14	13	12	2
15	12	7	2
16	7	2	2
17	21	24	3
18	24	23	3
19	23	12	3
20	12	11	4
21	10	9	7
22	9	8	7
23	9	22	4
24	22	21	4
25	22	26	5
26	26	25	5
27	25	11	5
28	11	6	4
29	7	6	6
30	6	5	6

**CI-NOT-SISMO-ABAJO**

**3) CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES DE LA CORTINA Y LA CIMENTACIÓN.**

Nº SUELO	PESO VOL. [ ton / m3 ]	COHESIÓN [ ton / m2 ]	ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA [ $\phi$ ]	SATURADO
1	2.05	10.00	45.00	0
2	1.99	6.40	4.00	0
3	1.99	6.40	4.00	1
4	1.89	0.00	45.00	0
5	1.89	0.00	45.00	1
6	1.98	3.00	18.00	0
7	1.98	3.00	18.00	1

**4) CARACTERÍSTICAS DEL CIRCULO DE FALLA PROPUESTO.**

Nº DE CIRCULO	COORDENADAS DEL CENTRO "X"	"Y"	MAGNITUD DEL RADIO [ m ]
( 5 ) CINCO	36.00	37.00	18.00

**5) RESUMEN DEL ANALISIS DE ESTABILIDAD.**

Nº DOVELA	PESO	ÁNGULO ( $\theta$ )	COHESIÓN	ANCHO	PESO EFECTIVO
1	619.1	52.1	6.40	4.20	619.1
2	270.6	55.9	6.40	4.20	270.6
3	184	67.6	6.40	4.20	184
4	151.5	-62.1	6.40	4.20	151.5
5	187.7	-42.2	0.00	4.20	187.7
6	19.1	-32.3	0.00	0.40	19.1
7	54.4	-29.3	6.40	1.20	54.4
8	177.8	-20.4	6.40	3.90	177.8
9	168.8	-7.3	6.40	3.90	168.8
10	153.3	5.3	6.40	3.90	153.3
11	131	18.2	6.40	3.90	131
12	100.5	32.3	6.40	3.90	100.5
13	42.00	45.5	6.40	2.60	42
14	18.9	59.4	6.40	2.60	18.9
15	0.1	68.1	0.00	0.20	0.1

Nº DOVELA	ANG. FRICC. ( $\phi$ )	"X"
1	4.0	7.12
2	4.0	11.35
3	4.0	15.59
4	4.0	19.83
5	45.0	24.06
6	45.0	26.39
7	4.0	27.20
8	4.0	29.77
9	4.0	33.71
10	4.0	37.65
11	4.0	41.59
12	4.0	45.53
13	4.0	48.78
14	4.0	51.34
15	45.0	52.70

ITERACIÓN	F.S. INICIAL	F.S. CALCULADO
1	1.0000	3.7274
2	3.7274	1.0974
3	1.0974	2.3406
4	2.3406	1.1831
5	1.1831	1.9276
6	1.9276	1.2545
7	1.2545	1.7382
8	1.7382	1.3112
9	1.3112	1.6352
10	1.6352	1.3545
11	1.3545	1.5742

**FUERZA DE DESBALANCEO.**  
**Fd = 4.38**

**FACTOR DE SEGURIDAD OBTENIDO.**  
**F.S. = 1.5742**

## **5.0 DISEÑO HIDRÁULICO DEL VERTEDOR DE EXCEDENCIAS Y OBRA DE TOMA.**

La obra de excedencias tendrá por objeto dar salida a las aguas que aportará la corriente cuando la presa se encuentre llena a su máxima capacidad, evitando que el agua rebase el nivel de la corona de la cortina.

Siendo nuestro caso en estudio una cortina del tipo flexible, la estructura de excedencias constituye una de las partes más importantes del proyecto, ya que gran parte de la seguridad de la presa depende de su correcto funcionamiento. En la práctica, se ha demostrado que una de las causas más frecuentes de falla han sido motivo de una insuficiencia y mal funcionamiento del vertedor.

Es evidente que la correcta estimación de la avenida máxima, presenta en el diseño de cualquier tipo de presa un problema importante; pero esta estimación se agudiza y vuelve más crítica en nuestro caso de una cortina flexible, ya que cuando se tiene una cortina de tipo rígido, puede tolerarse hasta un cierto límite que el agua vierta sobre el cuerpo de la cortina, mientras que en nuestro caso particular esto es inadmisibile.

Para la elección del tipo de vertedor de excedencia más adecuado, se tomaron en cuenta los siguientes factores: Topografía, Geología y Economía, de los que se desprenden las siguientes conclusiones:

- **TOPOGRAFÍA.-**

En cuanto a este aspecto, se observó que debido a la morfología de la boquilla, no contamos en la margen izquierda con espacio suficiente para alojar un vertedor de descarga libre, y descartándose por completo la construcción de un túnel, por razones obvias dentro del aspecto económico y magnitud de la obra.

En cuanto a la margen derecha, la pendiente del terreno natural y el reducido espacio existente, converge a optar por un vertedor del tipo de canal lateral, ya que de otra manera, pensando en alojar un vertedor de descarga directa proyectado en forma colineal al eje de la boquilla, induce a realizar trabajos excesivos de cortes, rellenos y excavaciones, que elevarían el costo de su construcción.

- **GEOLOGÍA.-**

De acuerdo con el Informe geológico la ladera derecha de la boquilla se encuentra roca sana a escasa profundidad sobre la cual podemos desplantar este tipo de estructura sin mayores problemas.

- **ECONOMÍA.-**

Generalmente se ha observado que el tipo de vertedor más económico es el de descarga directa cuando se cuenta con un puerto que permita alojar la estructura con un mínimo de excavaciones.

Por lo anterior, se llegó a la conclusión que en éste caso el tipo de vertedor más conveniente es uno del tipo de cresta libre con perfil Creager, canal colector lateral y canal de descarga directa a una estructura disipadora terminal consistente en un tanque amortiguador que desfogue a nivel del cauce del río ( Ver la **FIGURA 5-1 DIAGRAMA DEL MODELO HIDRÁULICO DE LA OBRA DE EXCEDENCIAS** ).

### **5.1 CÁLCULO DEL PERFIL DEL CIMACIO.**

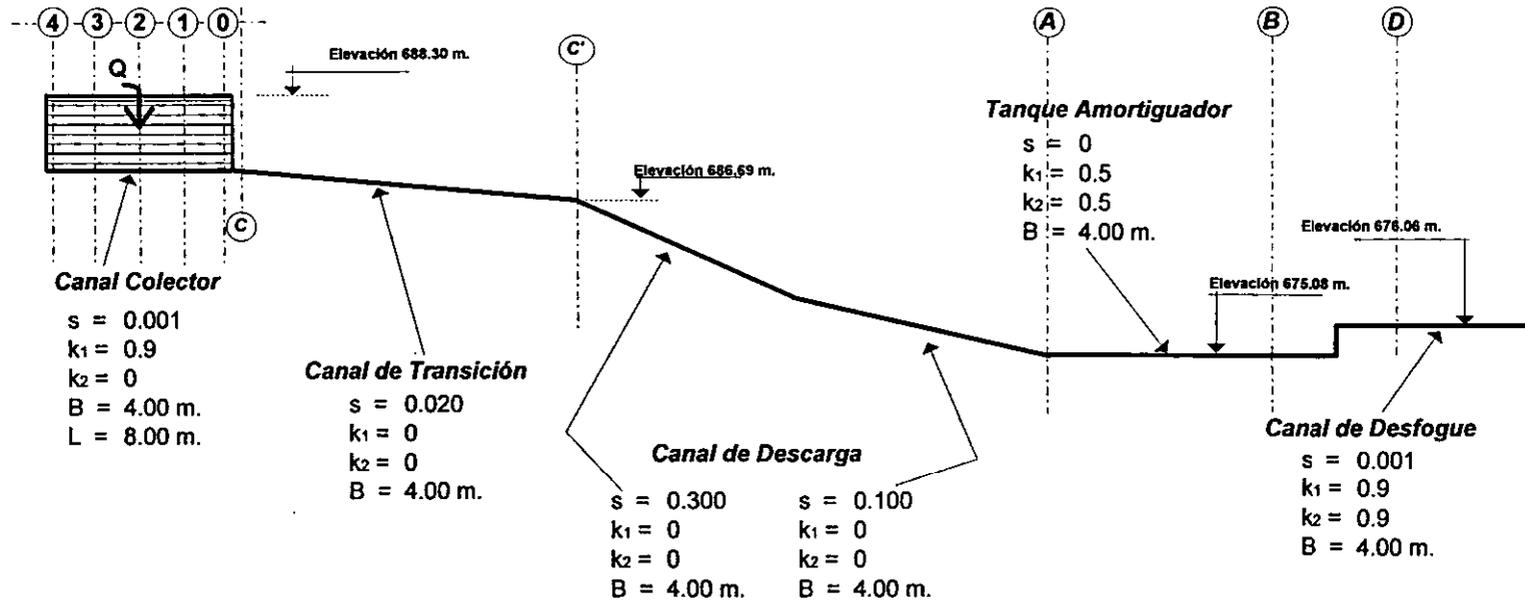
La cresta vertedora es diseñada como cimacio de cresta libre cuya longitud de vertido está en uno de los taludes del canal colector y por lo tanto, la longitud corresponde también a la de el canal colector.

Las coordenadas del cimacio se calculan siguiendo el criterio de W. P. Creager; para lo cual calculamos las coordenadas en función de la carga hidráulica total sobre la cresta del vertedor (  $H_d$  ). Así mismo se obtuvieron las coordenadas del punto de tangencia del perfil con el talud aguas abajo de la cresta vertedora.

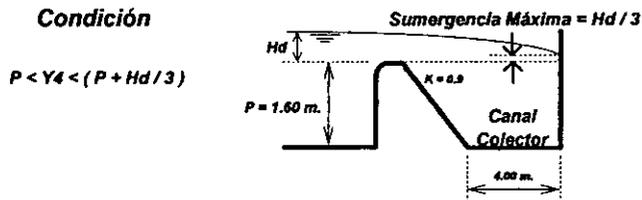
### **5.2 CÁLCULO DEL PERFIL HIDRÁULICO EN LA OBRA DE EXCEDENCIAS.**

- El análisis inicia en la sección de control establecida por el canal de descarga, en dicha sección se presentan las condiciones críticas, esto es: tirante crítico, velocidad crítica, pérdidas por velocidad crítica, y gasto máximo de diseño.
- Se calculó el tirante crítico en la sección "C", ( en función del gasto de diseño obtenido del estudio hidrológico y la geometría del canal de descarga ), por medio de iteraciones utilizando la ecuación general del estado crítico considerando la energía específica mínima.
- Se procedió a calcular el perfil hidráulico en el canal colector estableciendo cuatro secciones a lo largo del vertedor.
- Se determinó el tirante (  $Y_0$  ) en la sección "0", mediante el método de igualación de energía, estableciendo la ecuación de energía de Bernoulli entre la sección de control "C" y la sección "0".

## PERFIL LONGITUDINAL DEL VERTEDOR DE EXCEDENCIAS



### SECCIÓN No. 4



**DISEÑO DE LA OBRA DE EXCEDENCIAS**  
 DIAGRAMA DEL MODELO HIDRÁULICO DEL VERTEDOR

FIGURA N° 5-1

- Una vez calculado el tirante  $Y_0$ , se calcularon los tirantes subsecuentes ( $Y_1$ ,  $Y_2$ ,  $Y_3$ , y  $Y_4$ ) en función de  $Y_0$ , solucionando la ecuación de energía mediante el método de incrementos finitos.
- En el cambio de pendiente del canal de descarga en la sección " C' ", nuevamente se presentan las condiciones críticas, por lo que se definieron los parámetros correspondientes en dicha sección.
- Una vez definido el tirante crítico que se presenta en la sección " C' ", se propone una profundidad ( Z ) del colchón amortiguador respecto a la cresta vertedora, para obtener el tirante al inicio del tanque amortiguador en régimen rápido, esto es, el conjugado menor (  $Y_a$  ) del salto hidráulico que se generará en el tanque amortiguador.
- De acuerdo a la ecuación de impulso y cantidad de movimiento para el salto hidráulico, se calcula el tirante conjugado mayor ( $Y_b$ ).
- Al comparar el tirante  $Y_b$  con el tirante normal del canal de desfogue en la sección " D ", se debe cumplir la igualdad de energías, para tener la solución correcta que proporcione un buen funcionamiento hidráulico.

En función de los tirantes antes calculados, se diseñaron las dimensiones del vertedor y del colchón amortiguador, así como el muro que liga el cuerpo de la cortina con la estructura de excedencias.

Los datos de partida para cada análisis, las tablas correspondientes, así como los resultados parciales y definitivos de las iteraciones realizadas y la solución numérica obtenida en cada caso, se muestran en forma resumida en el **ANEXO N°. 5-1 CÁLCULO DE TIRANTES EN EL VERTEDOR DE EXCEDENCIAS**, a su vez, se pueden observar gráficamente en la **FIGURA N° 5-2 PERFIL DE FLUJO EN LA OBRA DE EXCEDENCIAS**.

### 5.2.1 CÁLCULO DEL BORDO LIBRE EN EL CANAL DE DESCARGA.

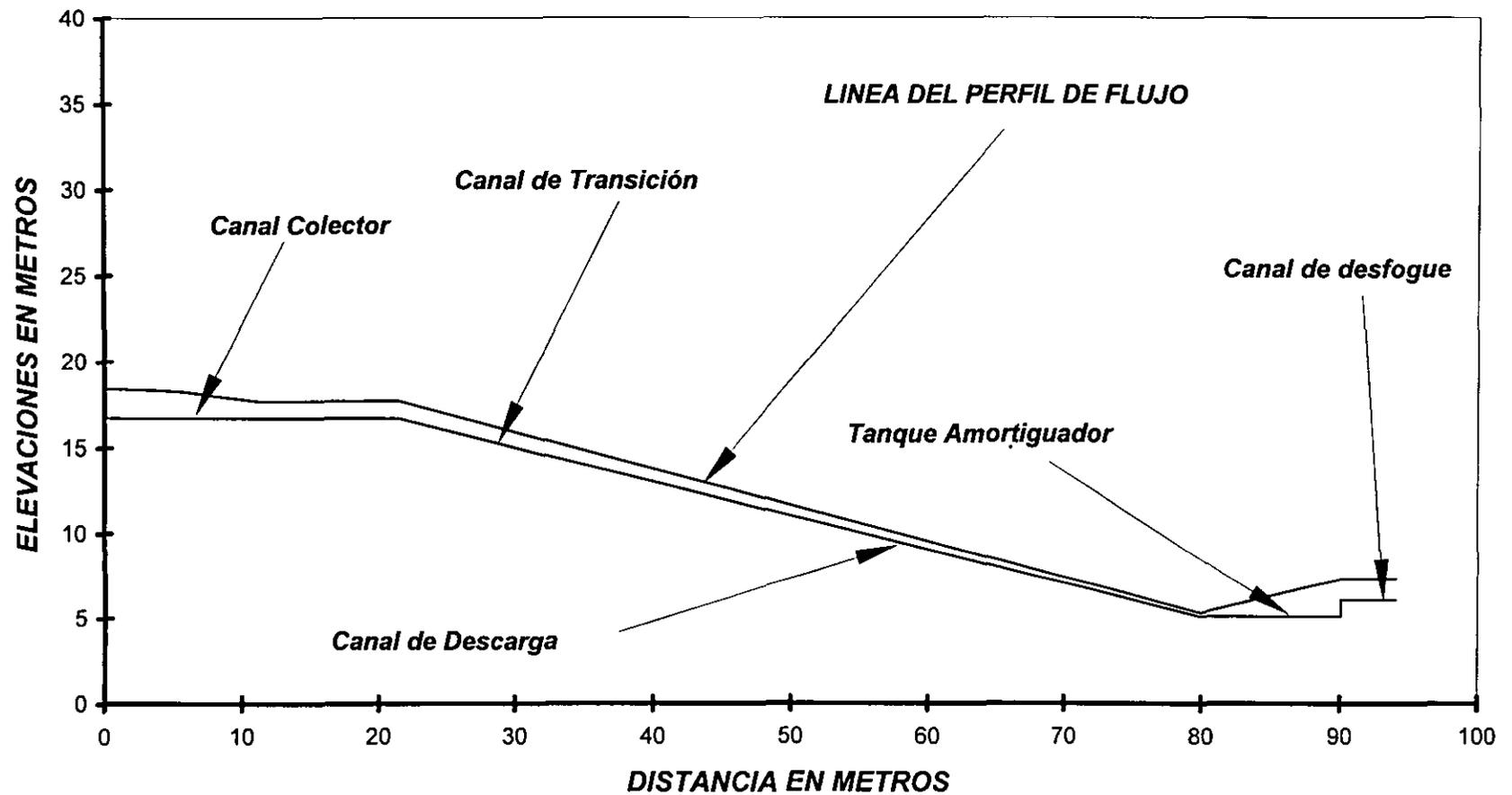
Para calcular el bordo libre en el CANAL DE DESCARGA, se utilizó la siguiente fórmula que relaciona la velocidad del agua con la energía contenida en la corriente, ya que éstos parámetros están íntimamente relacionados con la rugosidad de la superficie, el oleaje y el arrastre de salpicaduras del agua durante su trayectoria.

Esta expresión considera la energía en un ancho unitario, y está expresada en función de la velocidad y el tirante del agua, para calcular el valor conveniente para el bordo libre.

$$B.L. = 2.0 + 0.025 * V ( Y )^{1/3}$$

Para evaluar el bordo libre en las paredes del TANQUE AMORTIGUADOR que proteja lo suficiente contra oleajes producidos por la turbulencia del resalto hidráulico que se produce en él, se considera que la rugosidad

FIGURA N° 5-2  
PERFIL DE FLUJO EN LA OBRA DE EXCEDENCIAS



de la superficie sobre la que corre el agua, está relacionada a la energía disipada en el resalto y al tirante de agua en el tanque amortiguador, de tal manera, que es posible calcular el bordo libre con la siguiente expresión:

$$B.L. = 0.01 (V_1 + Y_2)$$

Las fórmulas anteriores, están deducidas para el sistema inglés de medición, por lo que para su aplicación, fue necesario convertir los valores de velocidad y del tirante para poder evaluar el bordo libre correspondiente. Los resultados obtenidos se presentan en forma resumida en la siguiente tabla:

SECCIÓN	UBICACIÓN	TIRANTE	VELOCIDAD	B. LIBRE
C	Eje del Cimacio.	0.974 m.	2.949 m/seg.	0.71 m.
O	Fin del Canal Colector.	1.280 m.	2.177 m/seg.	0.69 m.
4	Inicio del Canal de Descarga.	1.690 m.	0.020 m/seg.	0.60 m.
3	Fin del Canal de Descarga.	1.670 m.	0.400 m/seg.	0.61 m.
C'	Sección de Control.	1.012 m.	3.150 m/seg.	0.72 m.
A	Inicio de Tanque Amortiguador.	0.208 m.	15.33 m/seg.	1.75 m.
B	Fin del Tanque Amortiguador.	2.224 m.	1.121 m/seg.	1.75 m.
D	Canal de Desfogue.	1.276 m.	1.941 m/seg.	0.68 m.

### 5.3 DISEÑO DE LA OBRA DE TOMA.

Se seleccionó la obra de toma del tipo rejilla con marco de apoyo y descarga por medio de tubería con accesorios, por su facilidad constructiva y en función de la baja demanda de riego de la zona.

Para este tipo de diseños, el único problema es el de determinar el diámetro de la tubería de descarga, se considera que éste diámetro, está en función de dos parámetros, el primero es la demanda de agua que se requiere para regar la zona de riego establecida; y el segundo, es la carga de agua correspondiente al nivel de aguas mínimas (N.A.M.). Del estudio hidrológico, se obtienen los siguientes datos básicos de partida:

Del funcionamiento y tránsito de avenidas del vaso, tenemos:

Capacidad total del vaso ( Ct ) =	1'030,000 m <sup>3</sup>
Capacidad de azolves ( Ca ) =	250,000 m <sup>3</sup>
Capacidad útil ( Cu ) =	600,000 m <sup>3</sup>

Se calcula la capacidad correspondiente al almacenamiento mínimo (  $A_m$  ), expresado de la siguiente manera:

$$A_m = C_a + 0.10 C_u$$

$$A_m = 250,000 + ( 0.10 * 600,000 )$$

$$A_m = 310,000 \text{ m}^3$$

De la curva elevaciones - capacidades ( **FIGURA No. 2-4** ), obtenemos las siguientes elevación correspondientes a las diferentes capacidades:

$$\text{Elevación del } A_m = 685.00 \text{ m.}$$

$$\text{Elevación del N.A.M.O.} = 688.30 \text{ m.}$$

$$\text{Elevación del N.A.M.E.} = 689.16 \text{ m.}$$

$$\text{Elevación de la } C_a = 684.20 \text{ m.}$$

De lo anterior, se calcularon los valores correspondientes a las cargas máxima (  $C_{m\acute{a}x}$  ) y mínima (  $C_{m\acute{i}n}$  ), que se presentarán al nivel de la obra de toma ( N.O.T.):

$$C_{m\acute{i}n} = ( 685.00 - 684.20 )$$

$$C_{m\acute{i}n} = 0.80 \text{ m.}$$

$$C_{m\acute{a}x} = ( 689.16 - 684.20 )$$

$$C_{m\acute{a}x} = 4.96 \text{ m.}$$

Del análisis del funcionamiento del vaso, tenemos la demanda de riego:

$$\text{DEMANDA DE RIEGO} = 0.127 \text{ Mm}^3$$

De la que se calcula el gasto de diseño (  $Q_d$  ) para la obra de toma, de la siguiente manera:

$$Q_d = (0.127 \text{ Mm}^3) * (1E^{-6}/30 \text{ días}) * (1 \text{ día}/24 \text{ Hr}) * (1 \text{ Hr}/3600 \text{ seg})$$

$$Q_d = 0.05 \text{ m}^3 / \text{seg.} = 50 \text{ l.p.s.}$$

Del cálculo anterior, se puede observar que el gasto de diseño corresponde al mínimo establecido para obras de toma, de tal manera que se cumple con la condición de velocidad mínima en la tubería para evitar azolvamientos (  $V > 1.50 \text{ m/seg.}$  ).

Para determinar el diámetro de la tubería en función de la demanda de agua para riego, se procedió de la siguiente forma:

Conocemos el valor del gasto de diseño ( Qd ) cuyo valor es 50 l.p.s., por lo que de la ecuación de continuidad, sabemos que la velocidad está en función del gasto y del área:

$$V = Qd / A$$

Despejando el área tenemos:

$$A = Qd / V$$

Considerando que el gasto de diseño es el mínimo permisible, se supone que se presentará la velocidad mínima  $V = 1.5$  m/seg. y considerando una tubería circular :

$$A = ( 0.05 \text{ m}^3 / \text{seg.} ) / ( 1.5 ) = 0.0333 \text{ m}^2$$

Si:  $D = [ ( 4 / \pi ) * A ]^{0.5}$

Entonces :  $D = 0.162 \text{ m.} = 6 \text{ 1/2 " ( 165.1 mm. )}$

En este tipo de estructuras el diámetro de tubería mínimo permisible es igual 8" ( 203 mm. ), por lo que se adopta éste valor como diámetro resultante de este análisis.

Por otro lado, para calcular el diámetro de la tubería por medio de la influencia de la carga mínima correspondiente al almacenamiento mínimo, el análisis se efectuó de la siguiente manera.

En función del diseño elegido, se consideran las siguientes pérdidas de carga a lo largo de la obra de toma.

hr	=	por rejilla de entrada.
he	=	por sección de entrada.
ht	=	por fricción en la tubería.
hv	=	por válvula.
hc	=	por codo.
hs	=	por sección de salida.

Se estimaron las pérdidas correspondientes a accesorios de tubería a partir de nomogramas, transformándolas a longitudes equivalentes de tubería:

$$hv = \text{por ( 2 ) válvulas.}$$

$$hv = ( 1.37 ) ( 2 )$$

$$hv = 2.74 \text{ m.}$$

$$hc = \text{por ( 2 ) codos.}$$

$$hc = ( 6.40 + 3.05 )$$

$$hc = 9.45 \text{ m.}$$

he = por sección de entrada.

**he = 0.30 m.**

hs = por sección de salida.

**hs = 0.25 m.**

Para poder estimar las pérdidas de carga producto de la rejilla de entrada, se estableció que la velocidad del agua en esta sección debe ser igual a 0.60 m. / seg. para evitar que los azolves entren al conducto de la obra de toma y de esta manera se vean incrementadas las pérdidas de presión.

De esta manera, por medio de la tabla elaborada por C.V. Davis en el libro de Hidráulica Aplicada, en la que se presentan dichas pérdidas en función de los valores de velocidad, se estima un valor de:

hr = por rejilla de entrada.

**hr = 0.15m.**

Además es necesario calcular el área que tendrá dicha rejilla, para cumplir con el gasto demandado. Conocido el valor de la velocidad de entrada en la rejilla (  $V_e = 0.60$  m. / seg. ), se calcula el área total mínima de la rejilla considerando el área obstruida por las barras con la siguiente expresión:

$$A' = 1.25 * Qd / V_e$$

$$A' = ( 1.25 ) ( 0.05 ) / ( 0.60 )$$

$$A' = 0.104 \text{ m}^2$$

Sólo falta calcular las pérdidas provocadas por la fricción que se genera entre el agua y la pared interior de la tubería, para lo cual se emplea la ecuación de Manning para tubería circular trabajando a sección llena:

$$h_t = C_f ( L / D ) ( V^2 / 19.62 )$$

Donde:

Cf = coeficiente de fricción =  $(185 n^2 / D^{(1/3)})$

n = coeficiente de rugosidad = 0.011

L = longitud de la tubería = 50.00 m.

D = diámetro de la tubería = 8" = 0.203 m.

V = velocidad media del agua = 1.5 m./seg.

R = radio hidráulico para tubería circular llena = D/4

Sustituyendo valores :

ht = por fricción en la tubería.

**ht = 1.08 m**

Una vez concluido el cálculo de todas las pérdidas de carga que se presentarán, se obtiene el valor del coeficiente general de pérdidas que resulta ser la única incógnita para calcular el área del tubo mediante la siguiente ecuación:

$$A = Q / [ Cg ( 2 \cdot 9.81 \cdot C_{\text{mín}} ) ]^{0.6}$$

Se calculó el valor de la longitud total de la tubería, incluyendo longitudes equivalentes por pérdidas obteniendo el siguiente valor:

$$L_t = \Sigma h$$

$$L_t = 63.97 \text{ m.}$$

Para el valor de  $L_t$  anterior, de tablas, se obtiene el coeficiente general de pérdidas:

$$C_g = 0.375$$

Finalmente sustituyendo valores en la ecuación obtenemos el área de la tubería necesaria:

$$A = 0.0337 \text{ m}^2$$

por lo tanto el valor del diámetro es :

$$D = 0.163 \text{ m} = 6 \frac{1}{2} \text{ " ( 165.1 mm. )}$$

con lo que se confirma que se empleará para la construcción de la obra de toma, **tubería de 8"  $\phi$  ( 203 mm ).**  
**por especificación mínima.**

**ANEXO No. 5-1 CÁLCULO DE TIRANTES  
EN EL VERTEDOR DE  
EXCEDENCIAS.**

## DISEÑO DEL PERFIL DEL CIMACIO ( VERTEDOR DE CANAL LATERAL )

### CÁLCULO DE LA CARGA HIDRAULICA SOBRE LA CRESTA.

De la fórmula de vertedores :

$$H_d = ( Q / L * c )^{(2/3)}$$

DATOS :

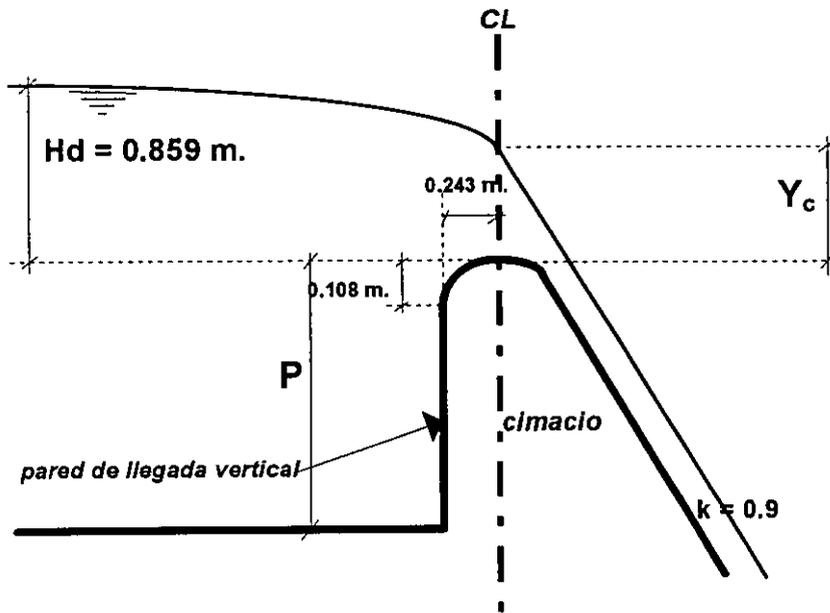
Q =	Gasto de diseño en ( m <sup>3</sup> /seg ) =	12.75
c =	Coefficiente de descarga libre, adimensional =	2.00
k =	Talud aguas abajo del cimacio, adimensional =	3.195
L =	Longitud efectiva de la cresta vertedora en ( m ) =	8.00

Sustituyendo :

$$H_d = ( (12.75) / ( 8 * 2.0 ) )^{(2/3)}$$

$H_d = 0.859 \text{ m.}$

( Carga total sobre la cresta )



**DETERMINACION DEL PUNTO DE TANGENCIA DEL PERFIL DEL CIMACIO  
CON EL TALUD AGUAS ABAJO.**

METODO DE CREAGER

FORMULA DE SCIMEMI :

$$K = 1.0811 * (Hd / x)^{0.85}$$

Despejando el valor de "x" :

$$x = Hd * ( 1.0811 / k )^{(1.1765)}$$

Sustituyendo valores :

$$x = (0.859) ( 1.0811 / 0.9 )^{1.1765}$$

$$\boxed{x = 1.07 \text{ m.}} \quad (\text{coordenada "x" del punto de tangencia})$$

Para calcular la coordenada "y" :

$$y = 0.5 Hd * ( x / Hd )^{(1.85)}$$

Sustituyendo :

$$y = (0.5)(0.859) ( 1.066 / 0.856 )^{1.85}$$

$$\boxed{y = 0.64 \text{ m.}}$$

CÁLCULO DE LAS COORDENADAS DEL PERFIL DEL CIMACIO

AGUAS ABAJO

Y	$X = (((Hd^{0.85}) * Y) / 0.50)^{0.645}$
0.00	0.00
0.05	0.27
0.10	0.39
0.15	0.48
0.20	0.57
0.25	0.64
0.30	0.71
0.35	0.77
0.40	0.83
0.45	0.88
0.50	0.93
0.55	0.98
0.60	1.03
<u>0.64</u>	1.07

**CÁLCULO DE LAS COORDENADAS DEL PERFIL DEL CIMACIO**  
**AGUAS ARRIBA**

X ( - )	$Y = ((0.724(X+0.283Hd)^{1.95})/Hd^{0.85})+0.126Hd-(0.431Hd^{0.375}(X+0.283Hd)^{0.625})$
0.0000	0.0002
( 0.0200 )	0.0002
( 0.0400 )	0.0011
( 0.0600 )	0.0030
( 0.0800 )	0.0059
( 0.1000 )	0.0100
( 0.1200 )	0.0154
( 0.1400 )	0.0221
( 0.1600 )	0.0305
( 0.1800 )	0.0408
( 0.2000 )	0.0536
( 0.2200 )	0.0704
( 0.2400 )	0.0972
<u>0.28 Hd = 0.243</u>	0.126Hd = 0.108

**CÁLCULO DEL TIRANTE CRÍTICO DEL CANAL DE TRANSICIÓN  
( Sección C )**

**DATOS**

GASTO Q [m <sup>3</sup> /seg]	RUGOSIDAD n	PENDIENTE S	TALUD ( K )		BASE DEL CANAL EN (m) b
			MARGEN IZQ. K <sub>1</sub>	MARGEN DER. K <sub>2</sub>	
12.75	0.015	0.001	0.9	0	4.00

DE LA ECUACIÓN GENERAL DEL ESTADO CRÍTICO:

ENERGÍA ESPECÍFICA MÍNIMA.

$$Q^2/g = A^3 / B = \boxed{16.571}$$

TIRANTE Y	ÁREA A	ESPEJO DEL AGUA B	FACTOR GEOMÉTRICO A <sup>3</sup> / B
[m]	[m <sup>2</sup> ]	[m]	
0.9700	4.303	4.873	16.355
0.9710	4.308	4.874	16.407
0.9720	4.313	4.875	16.460
0.9730	4.318	4.876	16.513
0.9740	4.323	4.877	16.566
0.9750	4.328	4.878	16.619
0.9760	4.333	4.878	16.672
0.9770	4.338	4.879	16.725
0.9780	4.342	4.880	16.779
0.9790	4.347	4.881	16.832
0.9800	4.352	4.882	16.886
0.9810	4.357	4.883	16.940
0.9820	4.362	4.884	16.994

Y<sub>c</sub> =

## CÁLCULO DEL TIRANTE INICIAL ( $Y_0$ ) EN EL CANAL COLECTOR POR EL MÉTODO DE IGUALACIÓN DE ENERGÍA

### DATOS

	GASTO Q [ m <sup>3</sup> /seg ]	RUGOSIDAD n	PENDIENTE S	TALUD ( K )		BASE DEL CANAL EN (m) B
				MARGEN IZQ. K <sub>1</sub>	MARGEN DER. K <sub>2</sub>	
Canal Colector	12.75	0.015	0.001	0.9	0	4.00
Canal de Transición.	12.75	0.015	0.02	0	0	4.00

### DE LA ECUACIÓN GENERAL DE ENERGÍA:

$$H = Y + hv - hf$$

LONGITUD ENTRE SECCIONES =  
ENERGÍA POR IGUALAR =

2.00 metros  
1.520 metros

	TIRANTE	ÁREA	PERÍMETRO MOJADO	RADIO HIDRAULICO	VELOCIDAD	PÉRDIDAS POR VELOCIDAD	PENDIENTE	PÉRDIDAS POR FRICCIÓN	ENERGÍA TOTAL
	Y	A	P	R	V	hv	Sf	hf	H
	[ m ]	[ m <sup>2</sup> ]	[ m ]	[ m ]	[ m / seg ]	[ m ]		[ m ]	[ m ]
Y <sub>c</sub> =	<b>0.9740</b>	3.896	5.948	0.655	3.273	0.55	0.0042	0.00	<b>1.520</b>
	1.2600	5.754	6.955	0.827	2.216	0.25	0.0014	0.00	1.510
	1.2700	5.806	6.979	0.832	2.196	0.25	0.0014	0.00	1.514
Y <sub>o</sub> =	<b>1.2800</b>	5.857	7.002	0.837	2.177	0.24	0.0014	0.00	1.520
	1.2900	5.909	7.026	0.841	2.158	0.24	0.0013	0.00	1.526
	1.3000	5.961	7.049	0.846	2.139	0.23	0.0013	0.00	1.532

**VERTEDOR DE CANAL LATERAL**  
CÁLCULO DE TIRANTES EN EL CANAL COLECTOR

**DATOS**

GASTO <b>Qi</b> [ m3/seg ]	RUGOSIDAD <b>n</b>	PENDIENTE <b>S</b>	TALUD		BASE DEL CANAL EN (m) <b>B</b>
			MARGEN IZQ. <b>K<sub>1</sub></b>	MARGEN DER. <b>K<sub>2</sub></b>	
12.75	0.015	0.001	0.9	0	4.00

L = LONGITUD DEL CANAL COLECTOR EN ( m ) = 8.00  
 N = NÚMERO DE TRAMOS = 1.00  
 dx = 2.00

De Manning : So = 0.001353      Del Número de Froude : So = 0.6143

	TIRANTE	ÁREA	PERÍMETRO MOJADO	RADIO HIDRAULICO	GASTO DE ENTRADA	VELOCIDAD ENTRADA	IGUALAR	
	<b>Y</b>	<b>A</b>	<b>P</b>	<b>R</b>	<b>Qe</b>	<b>Ve</b>	<b>dy</b>	<b>dy'</b>
	[ m ]	[ m <sup>2</sup> ]	[ m ]	[ m ]	[ m <sup>3</sup> / seg ]	[ m / seg ]		
Yo =	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">1.2800</span>	5.857	7.002	0.837	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">12.750</span>	2.18		
	1.2800							
	1.4900	6.959	7.495	0.929	9.563	1.37	<b>0.24</b>	<b>0.21</b>
	1.5000	7.013	7.518	0.933	9.563	1.36	<b>0.24</b>	<b>0.22</b>
	1.5100	7.066	7.541	0.937	9.563	1.35	<b>0.24</b>	<b>0.23</b>
Y1 =	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">1.5200</span>	7.120	7.565	0.941	9.563	1.34	<b>0.24</b>	<b>0.24</b>
	1.5300	7.173	7.588	0.945	9.563	1.33	<b>0.24</b>	<b>0.25</b>
	1.5400	7.227	7.612	0.949	9.563	1.32	<b>0.24</b>	<b>0.26</b>
	1.5500	7.281	7.635	0.954	9.563	1.31	<b>0.24</b>	<b>0.27</b>
	1.5600	7.335	7.659	0.958	9.563	1.30	<b>0.24</b>	<b>0.28</b>
	1.5700	7.389	7.682	0.962	9.563	1.29	<b>0.24</b>	<b>0.29</b>

**VERTEDOR DE CANAL LATERAL**  
CÁLCULO DE TIRANTES EN EL CANAL COLECTOR

**DATOS**

GASTO <b>Qi</b> [ m3/seg ]	RUGOSIDAD <b>n</b>	PENDIENTE <b>S</b>	TALUD		BASE DEL CANAL EN (m) <b>B</b>
			MARGEN IZQ. <b>K<sub>1</sub></b>	MARGEN DER. <b>K<sub>2</sub></b>	
12.75	0.015	0.001	0.9	0	4.00

L = LONGITUD DEL CANAL COLECTOR EN ( m ) = 8.00

N = NÚMERO DE TRAMOS = 2.00

dx = 2.00

De Manning : So = 0.000440

Del Número de Froude : So = 0.3478

TIRANTE	ÁREA <b>A</b> [ m <sup>2</sup> ]	PERÍMETRO MOJADO <b>P</b> [ m ]	RADIO HIDRAULICO <b>R</b> [ m ]	GASTO DE ENTRADA <b>Qe</b> [ m <sup>3</sup> / seg ]	VELOCIDAD ENTRADA <b>Ve</b> [ m / seg ]	IGUALAR	
						<b>dy</b>	<b>dy'</b>
Y1 =	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">1.5200</span>	7.120	0.941	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">9.563</span>	1.34		
	1.5200						
SUPONER=	1.5400	7.227	0.949	6.375	0.88	0.10	0.02
	1.5500	7.281	0.954	6.375	0.88	0.10	0.03
	1.5600	7.335	0.958	6.375	0.87	0.10	0.04
	1.5700	7.389	0.962	6.375	0.86	0.10	0.05
	1.5800	7.443	0.966	6.375	0.86	0.10	0.06
	1.5900	7.498	0.970	6.375	0.85	0.10	0.07
	1.6000	7.552	0.974	6.375	0.84	0.10	0.08
	1.6100	7.606	0.978	6.375	0.84	0.10	0.09
Y2 =	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">1.6200</span>	7.661	0.982	6.375	0.83	0.10	0.10

**VERTEDOR DE CANAL LATERAL**  
CÁLCULO DE TIRANTES EN EL CANAL COLECTOR

**DATOS**

GASTO <b>Qi</b> [m <sup>3</sup> /seg]	RUGOSIDAD <b>n</b>	PENDIENTE <b>S</b>	TALUD		BASE DEL CANAL EN (m) <b>B</b>
			MARGEN IZQ. <b>K<sub>1</sub></b>	MARGEN DER. <b>K<sub>2</sub></b>	
12.75	0.015	0.001	0.9	0	4.00

L = LONGITUD DEL CANAL COLECTOR EN ( m ) = 8.00

N = NÚMERO DE TRAMOS = 3.00

dx = 2.00

De Manning :

So = 0.000160

Del Número de Froude :

So = 0.2087

TIRANTE	ÁREA	PERÍMETRO MOJADO	RADIO HIDRAULICO	GASTO DE ENTRADA	VELOCIDAD ENTRADA	IGUALAR	
<b>Y</b>	<b>A</b>	<b>P</b>	<b>R</b>	<b>Qe</b>	<b>Ve</b>	<b>dy</b>	<b>dy'</b>
[m]	[m <sup>2</sup> ]	[m]	[m]	[m <sup>3</sup> /seg]	[m/seg]		
Y2 = 1.6200	7.661	7.799	0.982	6.375	0.83		
1.6200							
SUPONER= 1.6300	7.716	7.823	0.986	3.188	0.41	0.05	0.01
1.6400	7.770	7.846	0.990	3.188	0.41	0.05	0.02
1.6500	7.825	7.870	0.994	3.188	0.41	0.05	0.03
1.6600	7.880	7.893	0.998	3.188	0.40	0.05	0.04
Y3 = 1.6700	7.935	7.917	1.002	3.188	0.40	0.05	0.05
1.6800	7.990	7.940	1.006	3.188	0.40	0.05	0.06
1.6900	8.045	7.964	1.010	3.188	0.40	0.05	0.07
1.7000	8.101	7.987	1.014	3.188	0.39	0.05	0.08
1.7100	8.156	8.011	1.018	3.188	0.39	0.05	0.09

**VERTEDOR DE CANAL LATERAL**  
CÁLCULO DE TIRANTES EN EL CANAL COLECTOR

**DATOS**

GASTO <b>Qi</b> [ m <sup>3</sup> /seg ]	RUGOSIDAD <b>n</b>	PENDIENTE <b>S</b>	TALUD		BASE DEL CANAL EN (m) <b>B</b>
			MARGEN IZQ. <b>K<sub>1</sub></b>	MARGEN DER. <b>K<sub>2</sub></b>	
12.75	0.015	0.001	0.9	0	4.00

L = LONGITUD DEL CANAL COLECTOR EN ( m ) = 8.00

N = NÚMERO DE TRAMOS = 3.95

dx = 2.00

De Manning :

So = 0.000036

Del Número de Froude :

So = 0.0993

TIRANTE	ÁREA	PERÍMETRO MOJADO	RADIO HIDRAULICO	GASTO DE ENTRADA	VELOCIDAD ENTRADA	IGUALAR	
						dy	dy'
Y	A	P	R	Qe	Ve		
[ m ]	[ m <sup>2</sup> ]	[ m ]	[ m ]	[ m <sup>3</sup> / seg ]	[ m / seg ]		
Y3 =	1.6700	7.935	7.917	1.002	3.188	0.40	
	1.6700						
SUPONER=	1.6400	7.770	7.846	0.990	0.159	0.02	-0.03
	1.6500	7.825	7.870	0.994	0.159	0.02	-0.02
	1.6600	7.880	7.893	0.998	0.159	0.02	-0.01
	1.6700	7.935	7.917	1.002	0.159	0.02	0.00
	1.6800	7.990	7.940	1.006	0.159	0.02	0.01
Y4 =	1.6900	8.045	7.964	1.010	0.159	0.02	0.02
	1.7000	8.101	7.987	1.014	0.159	0.02	0.03
	1.7100	8.156	8.011	1.018	0.159	0.02	0.04
	1.7200	8.211	8.034	1.022	0.159	0.02	0.05

## CÁLCULO DEL TIRANTE CRÍTICO EN SECCIÓN DE CONTROL C'

### DATOS

GASTO Q [m <sup>3</sup> /seg]	RUGOSIDAD n	PENDIENTE S	TALUD ( K )		BASE DEL CANAL EN (m) b
			MARGEN IZQ. K <sub>1</sub>	MARGEN DER. K <sub>2</sub>	
12.75	0.015	0.02	0	0	4.00

DE LA ECUACIÓN GENERAL DEL ESTADO CRÍTICO:

ENERGÍA ESPECÍFICA MÍNIMA.

$$Q^2/g = A^3 / B = \boxed{16.571}$$

TIRANTE Y	ÁREA A	ESPEJO DEL AGUA B	FACTOR GEOMÉTRICO A <sup>3</sup> / B
[m]	[m <sup>2</sup> ]	[m]	
1.0000	4.000	4.000	16.000
1.0010	4.004	4.000	16.048
1.0020	4.008	4.000	16.096
1.0030	4.012	4.000	16.144
1.0040	4.016	4.000	16.193
1.0050	4.020	4.000	16.241
1.0060	4.024	4.000	16.290
1.0070	4.028	4.000	16.338
1.0080	4.032	4.000	16.387
1.0090	4.036	4.000	16.436
1.0100	4.040	4.000	16.485
1.0110	4.044	4.000	16.534
1.0118	4.047	4.000	16.573
1.0128	4.051	4.000	16.622

Y<sub>c'</sub> =

**SALTO HIDRAULICO EN EL TANQUE AMORTIGUADOR  
CÁLCULO DEL TIRANTE CONJUGADO MENOR ( Sección A )**

**CANAL DE DESCARGA**

GASTO Q m <sup>3</sup> /seg	RUGOSIDAD n	PENDIENTE S	TALUD ( K )		BASE DEL CANAL EN (m) B
			MARGEN IZQ. K <sub>1</sub>	MARGEN DER. K <sub>2</sub>	
12.75	0.015	0.1	0	0	4.00

**Hc = 9.71 m**

DE LA ECUACIÓN GENERAL DE ENERGÍA:

**Yc + hvc + Hc + Z = Y<sub>1</sub> + hv<sub>1</sub>**

**Ya = 0.2080**

	CONJUGADO MENOR Y [ m ]	ÁREA A [ m <sup>2</sup> ]	PERÍMETRO MOJADO P [ m ]	RADIO HIDRAULICO R [ m ]	VELOCIDAD V [ m / seg ]	PERDIDAS POR VELOCIDAD hv [ m ]	ALTURA ESCALON Z [ m ]	ENERGÍA TOTAL H [ m ]
Yc' =	1.0118	4.047	6.024	0.672	3.150	0.51	0.95	12.178
	0.2000	0.800	4.400	0.182	15.938	12.95	0.95	13.146
	0.2010	0.804	4.402	0.183	15.858	12.82	0.95	13.019
	0.2060	0.824	4.412	0.187	15.473	12.20	0.95	12.409
	0.2070	0.828	4.414	0.188	15.399	12.09	0.95	12.292
Ya =	0.2080	0.832	4.416	0.188	15.325	11.97	0.95	12.177
	0.2090	0.836	4.418	0.189	15.251	11.86	0.95	12.064

**SALTO HIDRAULICO EN EL TANQUE AMORTIGUADOR  
CÁLCULO DEL TIRANTE CONJUGADO MAYOR ( Sección B )**

**TANQUE AMORTIGUADOR**

GASTO Q [ m <sup>3</sup> /seg ]	RUGOSIDAD n	PENDIENTE S	TALUD		BASE DEL CANAL EN (m) B
			MARGEN IZQ. K <sub>1</sub>	MARGEN DER. K <sub>2</sub>	
12.75	0.015	0	0.5	0.5	4.00

CONJUGADO MAYOR Y <sub>2</sub> m	NUMERO F	t	SOLUCIÓN DE LA ECUACIÓN DEL SALTO HIDRAULICO H = 0
2.22300	412.62	38.46	-356.6361
2.22310	412.62	38.46	-309.3430
2.22320	412.62	38.46	-262.0471
2.22330	412.62	38.46	-214.7483
2.22340	412.62	38.46	-167.4467
2.22350	412.62	38.46	-120.1423
2.22360	412.62	38.46	-72.8350
2.22370	412.62	38.46	-25.5249
2.22375	412.62	38.46	0.0237
2.22425	412.62	38.46	236.6241
2.22435	412.62	38.46	283.9527
2.22445	412.62	38.46	331.2841
2.22455	412.62	38.46	378.6184

Y<sub>b</sub> =

# CÁLCULO DEL TIRANTE NORMAL EN CANAL DE DESFOGUE

## DATOS

GASTO Q [m³/seg]	RUGOSIDAD n	PENDIENTE S	TALUD		BASE DEL CANAL EN (m) B
			MARGEN IZQ. K <sub>1</sub>	MARGEN DER. K <sub>2</sub>	
12.75	0.015	0.001	0.9	0.9	4.00

DE LA ECUACIÓN DE MANNING:

$$Q n / S^{(1/2)} = A R^{(2/3)} =$$

6.05
------

TIRANTE	ÁREA	PERÍMETRO MOJADO	RADIO HIDRAULICO	FACTOR GEOMÉTRICO
Y	A	P	R	A*R <sup>(2/3)</sup>
[m]	[m²]	[m]	[m]	
1.2650	6.500	7.404	0.878	5.960
1.2660	6.506	7.406	0.878	5.968
1.2670	6.513	7.409	0.879	5.976
1.2680	6.519	7.412	0.880	5.984
1.2690	6.525	7.415	0.880	5.993
1.2700	6.532	7.417	0.881	6.001
1.2750	6.563	7.431	0.883	6.042
<b>1.2760</b>	6.569	7.433	0.884	<b>6.050</b>
1.2770	6.576	7.436	0.884	6.058
1.2780	6.582	7.439	0.885	6.066
1.2790	6.588	7.441	0.885	6.075
1.2800	6.595	7.444	0.886	6.083

Y<sub>n</sub> = 1.276 m.



**ANEXO No. 5-2 PLANO GENERAL DEL  
PROYECTO.**

## 6.0 IMPACTO AMBIENTAL.

Dentro de este capítulo se presenta en forma general un INFORME PREVENTIVO del impacto ambiental que se generará en el sitio del proyecto como consecuencia de la construcción de la presa "Palo Gordo", este informe preventivo está fundamentado en el instructivo que emite la Secretaría de Ecología del Gobierno del Estado de México. No es un estudio de impacto ambiental, sino una base para desarrollar en forma el mismo, dada la importancia que este rubro siempre ha tenido y que hasta en años recientes ha tenido auge dentro del campo de la ingeniería civil.

### 6.1 DATOS GENERALES.

- **NOMBRE DEL ORGANISMO SOLICITANTE.**

SECRETARIA DE DESARROLLO AGROPECUARIO DEL GOBIERNO DEL ESTADO DE MÉXICO.

- **NACIONALIDAD DEL ORGANISMO SOLICITANTE.**

MEXICANA.

- **ACTIVIDAD PRINCIPAL DEL ORGANISMO SOLICITANTE.**

ACCIONES CONCERTADAS PARA LLEVAR A CABO EL DESARROLLO AGRÍCOLA Y PECUARIO EN EL TERRITORIO DEL ESTADO DE MÉXICO.

- **DOMICILIO PARA OÍR NOTIFICACIONES.**

Estado: **MÉXICO.**

Municipio: **METEPEC.**

Ciudad: **METEPEC.**

Localidad: **Conjunto Metepec**

Teléfono: **91-72-164301**

- **CÁMARA O ASOCIACIÓN A QUE PERTENECE.**

GOBIERNO DEL ESTADO DE MÉXICO

### 6.1.1 DESCRIPCIÓN DE LA OBRA O ACTIVIDAD PROYECTADA.

- **NOMBRE DEL PROYECTO.**

ESTUDIOS DEFINITIVOS Y DISEÑO GEOTÉCNICO E HIDRÁULICO DE LA PRESA DE ALMACENAMIENTO 'PALO GORDO', UBICADA EN EL MUNICIPIO DE TEJUPILCO, ESTADO DE MÉXICO.

- **NATURALEZA DEL PROYECTO.**

La obra proyectada que se construirá, es una presa de almacenamiento de sección homogénea con una capacidad útil de 600,000 metros cúbicos, que se destinará a los siguientes usos: RIEGO; ABREVADERO DE GANADO Y USOS DOMÉSTICOS. La inversión requerida, para llevar a cabo la construcción de la obra proyectada asciende a \$ 2'500,000.00 en el año de 1995.

- **OBJETIVOS Y JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.**

El objetivo fundamental de la realización del proyecto, es de dotar de la infraestructura hidráulica adecuada a los habitantes de los poblados de Palo Gordo, Cuadrilla Vieja, Sesteadero de Abajo y Sesteadero de Arriba, para que puedan desarrollar las actividades económicas, primordialmente actividades agropecuarias, con mayor eficiencia sobre los cultivos de temporal.

Los beneficios económicos que se obtendrán, consisten en una fuente de empleo temporal durante la etapa de construcción de la presa y, al concluir la construcción, en un aumento de la producción agrícola y pecuaria del orden de 100.00 % sobre la producción actual. Estos beneficios se distribuirán en 42 familias que integran los poblados anteriormente descritos.

Los beneficios sociales inmediatos a la construcción de la obra, consisten básicamente, en dotar durante los 365 días del año, de agua suficiente para uso doméstico.

- **PROGRAMA DE TRABAJO.**

El programa de trabajo y de operación de la presa de almacenamiento durante su vida útil es permanente y continuo.

- **PROYECTOS ASOCIADOS.**

El proyecto de construcción de la presa 'Palo Gordo', trae consigo la necesidad de dotar de un proyecto de zona de riego para 200 hectáreas, a fin de eficientar el uso de agua para riego.

En el aspecto doméstico, será necesario proyectar y construir una planta potabilizadora, con etapas de filtración y cloración, para el agua potable; así como una adecuada red de distribución.

- **POLÍTICAS DE CRECIMIENTO A FUTURO.**

Dadas las condiciones topográficas de la zona donde se ubica el proyecto, de la utilización de escurrimientos intermitentes para captar aguas de lluvia, el proyecto que se construirá no contempla futuros crecimientos.

## **6.2 ETAPA DE SELECCIÓN DEL SITIO.**

- **UBICACIÓN FÍSICA DEL PROYECTO.**

La zona en estudio se ubica al Sudoeste del Estado de México, dentro del municipio de Tejupilco, con las siguientes coordenadas geográficas: 100° 34' 17" de longitud al Oeste del Meridiano de Greenwich y de latitud norte 18° 51' 30".

- **URBANIZACIÓN DEL ÁREA.**

El sitio donde se desarrollará el proyecto, es zona rural. Las zonas habitacionales se agrupan en cuatro localidades catalogadas como rancherías denominadas: Palo Gordo, Sesteadero de Arriba, Sesteadero de Abajo y Cuadrilla Vieja.

- **CRITERIOS DE ELECCIÓN DEL SITIO.**

Para seleccionar el sitio donde se ubica el proyecto, se realizaron estudios de geotécnica a fin de determinar la estanqueidad del vaso y estudios topográficos, para definir el área de almacenamiento del vaso.

- **SUPERFICIE REQUERIDA.**

El área requerida para la construcción de la presa es de 250,000 m<sup>2</sup>, que es el área inundable por el vaso de almacenamiento.

- **USO ACTUAL DEL SUELO.**

En todos los casos, tanto en el vaso de almacenamiento como en los bancos de materiales graduados, el uso actual es agrícola. Predominan la agricultura de temporal, el cultivo de frutales y la ganadería por pastoreo, como actividades económicas principales.

- **SITUACIÓN LEGAL DEL PREDIO.**

En todos los casos, la propiedad de los predios afectados está clasificada como pequeña propiedad, de acuerdo a comunicación verbal del comisariado ejidal, existe la posibilidad de dotar de nuevos predios agrícolas a los afectados. En el caso de las viviendas que se encuentren en el área de inundación del vaso, será necesario reubicarlas dentro de la zona urbana de la localidad; tal es el caso de las localidades de Sesteadero de Abajo y Cuadrilla Vieja.

- **VÍAS DE ACCESO AL ÁREA DONDE SE DESARROLLARÁ LA OBRA.**

La zona en estudio, se localiza a 102 Km., de la ciudad de Toluca. Por camino pavimentado, carretera federal No. 134, Toluca - Ciudad Altamirano - Zihuatanejo; a 13.0 km. adelante del pueblo de Tejupilco de Hidalgo, en la localidad de Cuadrilla de López, se toma la desviación hacia la derecha con dirección a Luvianos; a 4.0 km., al llegar a la localidad de Mesón Nuevo, punto donde termina el camino pavimentado, se toma la desviación a la izquierda, rumbo a Cañadas de Nanchititla, que se localiza a 33.0 km., sobre terracería, pasando esta población, a 18.0 km. sobre brecha, se llega al sitio del proyecto, en la localidad de Palo Gordo.

- **SITIOS ALTERNATIVOS QUE HAYAN SIDO O ESTÉN SIENDO EVALUADOS.**

Dada la naturaleza de la obra que se construirá, los sitios alternativos tendrían que estar ubicados en la misma corriente que se pretende aprovechar; en este caso estamos hablando de algún otro afluente del río Palo Gordo. Cabe mencionar que se estudiaron dos sitios posibles a elegir, ambos sobre el arroyo se optó por el sitio que permite un mayor almacenamiento.

### **6.2.1 ETAPA DE PREPARACIÓN DEL SITIO Y CONSTRUCCIÓN.**

- **PROGRAMA DE TRABAJO.**

El calendario de construcción en todas sus etapas tiene una duración de 4 meses, debiendo iniciar su construcción el mes de Enero de 1995 y concluir el mes de Abril de 1995.

- **PREPARACIÓN DEL TERRENO.**

En el área donde se desplantará la cortina de la presa, será necesario desmontar y despallar una extensión de 2.5 hectáreas. En los predios donde se ubican los bancos susceptibles de explotación de materiales graduados para la construcción de la cortina, de desmontarán y despallará un área de aproximadamente 3.0 hectáreas.

- **RECURSOS QUE SERÁN ALTERADOS.**

La formación del cuerpo de la cortina requiere de diferentes materiales. En primer término debemos colocar material impermeable en el núcleo, en este caso el material que se utilizará es arcilla o limos con alto contenido de arcillas; cubriendo al núcleo, para controlar la erosión ocasionada por los escurrimiento pluviales, se colocan los respaldos, tanto aguas arriba y abajo de la cortina, formados por gravas y arenas.

Para la explotación de bancos de material impermeable, se utilizarán predios que ocupan una extensión de 2.0 hectáreas. Para el material de respaldo y filtros, se utilizarán bancos de material ubicados en el lecho del río Palo Gordo.

- **EQUIPO UTILIZADO.**

Para las actividades de desmonte, despalme y explotación de bancos de materiales se utilizará el siguiente equipo:

Tractores de oruga con capacidad de 15 a 20 ton.

Cargadores sobre oruga o sobre neumáticos, con capacidad de 1.0 a 1.5 m<sup>3</sup>.

Para el acarreo de los materiales, de los bancos al sitio de proyecto, se utilizará el siguiente equipo:

Camiones de volteo, con capacidad de 6.0 a 8.0 m<sup>3</sup>.

Para la formación de la cortina se utilizará el siguiente equipo:

Tractores de orugas de 15.0 a 20.0 ton. de capacidad.

Motoconformadoras de 11.0 a 14.0 ton. de capacidad.

Compactadores de rodillos lisos, vibratorios, con capacidad de 10.0 a 30.0 ton. de capacidad.

Camión con cisterna de 8.0 m<sup>3</sup> de capacidad.

- **MATERIALES.**

El material a utilizar en la formación del cuerpo de la cortina y sus obras complementarias es el siguiente:

Material impermeable: 30,000 m<sup>3</sup>.

Material permeable y enrocamiento: 2,000 m<sup>3</sup>.

Agregados para concreto: 1,000 m<sup>3</sup>.

Cemento gris, en sacos: 125 ton.

- **OBRAS Y SERVICIOS DE APOYO.**

Para llevar a cabo la construcción de la presa, es necesario construir caminos de acceso para el equipo y materiales de construcción; estos caminos tendrán un desarrollo aproximado de 2.5 km.

Se instalará un campamento para los trabajadores foráneos, que por su especialización, sea necesario llevarlos de otros lugares.

Se instalará un campamento para dirección y control de obras por parte de la Dependencia, a fin de garantizar la calidad adecuada en la construcción de la obra.

- **PERSONAL UTILIZADO.**

El personal técnico especializado, que se empleará durante la etapa de construcción, asciende a 40 personas, de las cuales será posible contratar en la localidad, 20 personas.

- **REQUERIMIENTOS DE ENERGÍA.**

**ELECTRICIDAD.**

La energía eléctrica que se utilizará en la etapa constructiva, será en las áreas de apoyo al personal técnico especializado. Esta podrá ser suministrada por una planta autogeneradora, debido a que en la zona, no existe red de energía eléctrica.

**COMBUSTIBLES.**

Dada la naturaleza del equipo de construcción y de los vehículos de transporte, que se utilizarán en esta etapa, los combustibles a utilizar son el diesel y la gasolina. El suministro de estos productos tendrá que hacerse desde Tejupilco, debido a que en la zona no existen centros de distribución de estos productos.

- **REQUERIMIENTOS DE AGUA.**

El agua que se utilizará en la etapa constructiva, es del orden de los 6,500 m<sup>3</sup>, ésta se suministrará desde el río Palo Gordo

- **RESIDUOS GENERADOS.**

Los residuos generados durante la etapa de construcción, se clasifican en los siguientes apartados:

- Lubricantes y grasas,
- Empaques de refacciones, lubricantes y grasas,
- Neumáticos desechados por los vehículos de transporte y equipo de construcción.
- Deshechos sólidos domésticos, generados por el personal técnico especializado.
- Desmantelamiento de la infraestructura de apoyo.

**6.2.4 ETAPA DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO.**

- **PROGRAMA DE OPERACIÓN.**

El programa de operación es permanente, durante la vida útil del embalse, en este caso, estimada en 50 años.

- **RECURSOS NATURALES DEL ÁREA QUE SERÁN APROVECHADOS.**

Solamente se utilizará el agua proveniente de los escurrimientos superficiales en la cuenca aportadora. De estos escurrimientos, sólo se aprovechará una parte, que corresponde a la capacidad útil para riego, abrevadero para ganado y consumo doméstico.

- **REQUERIMIENTOS DE PERSONAL.**

Para la etapa de operación, no se requiere de personal contratado de tiempo completo. En la etapa de extracción de agua de la presa, participaran los mismos usuarios en la operación de válvulas.

- **REQUERIMIENTOS DE ENERGÍA.**

**ELECTRICIDAD.**

No se requiere en esta etapa.

**COMBUSTIBLE.**

No se requiere en esta etapa.

- **REQUERIMIENTOS DE AGUA.**

No se requiere en esta etapa.

- **RESIDUOS.**

No se generan en esta etapa.

- **FACTIBILIDAD DE RECICLAJE.**

No se generan residuos en esta etapa.

- **DISPOSICIÓN DE RESIDUOS.**

No se generan residuos en esta etapa.

- **NIVELES DE RUIDO.**

No se genera ruido en esta etapa.

- **POSIBLES ACCIDENTES Y PLANES DE EMERGENCIA.**

En la zona de embalse, debido a la profundidad que alcanzará, existirá el riesgo entre los usuarios que la llegaran a utilizar para nadar. Deberá implementarse un programa de protección civil, que incluya entre otras cosas: Carteles anunciando la prohibición de nadar en aguas profundas y formación de una brigada de auxilio, equipada con personal capacitado y botes salvavidas.

### **6.2.5 ETAPA DE ABANDONO DE SITIO.**

- **ESTIMACIÓN DE VIDA ÚTIL.**

De acuerdo al estudio hidrológico, la vida útil del embalse se estima en 50 años, parámetro determinado a partir de los sólidos en suspensión transportados.

- **PROGRAMA DE RESTITUCIÓN DEL ÁREA.**

Una vez concluida la vida útil del embalse, no será necesario restituir las áreas afectadas, debido a éstas, se integrarán al ecosistema modificado por la construcción misma del embalse.

- **PLANES DE USO DEL ÁREA AL CONCLUIR LA VIDA ÚTIL DEL PROYECTO.**

Al concluir la vida útil del embalse, este podrá seguir siendo utilizada para abrevar ganado, acuacultura y zona de recreación.

### **6.3 ASPECTOS GENERALES DEL MEDIO NATURAL Y SOCIOECONÓMICO**

#### **6.3.1 RASGOS FÍSICOS.**

- **CLIMATOLOGÍA.**

##### **TIPO DE CLIMA.**

De acuerdo a los datos de la estación climatológica Acatitlán, el clima dominante en la zona puede clasificarse según Koppen como clima cálido subhúmedo AW, con lluvias en verano y un porcentaje de lluvia invernal menor de 5 mm. La precipitación media anual es de 1129.9 mm; y la temperatura media anual es de 23.6° centígrados.

##### **TEMPERATURA PROMEDIO.**

Las máximas temperaturas corresponden a los meses de abril y mayo, con valores de 20 y 24 grados centígrados respectivamente, y las mínimas se presentan en los meses de diciembre y enero con una temperatura de 17.9 y 18.4 grados centígrados respectivamente.

##### **PRECIPITACIÓN PROMEDIO ANUAL.**

La mayor incidencia de lluvias se registra en los meses de Junio a Octubre, con precipitaciones que oscilan entre los 438 y 1168.5 mm, en tanto que la mínima se presenta en los meses de febrero y marzo, con un valor menor de 32 mm.

##### **INTEMPERISMOS SEVEROS.**

En lo que respecta a la frecuencia de heladas y granizadas, se realizó al análisis de acuerdo al clima: por lo que en climas cálidos subhúmedos, se tienen de 0 a 20 días del año la presencia de heladas, y en lo que se refiere a granizadas éstas se presentan de 0 a 2 días al año.

#### **6.3.1.1 GEOMORFOLOGÍA Y GEOLOGÍA.**

- **GEOMORFOLOGÍA GENERAL.**

La morfología del municipio es de forma muy accidentada, que se divide entre cerros, lomas y barrancas, además de una parte plana de poca extensión, siendo la sierra principal dentro de la localidad la Sierra la Nanchititla al oeste del municipio.

La zona de estudio se encuentra rodeada por diversos cerros entre los que se puede mencionar al cerro "El Jaball", y al cerro de "Los Coyotes", con una elevación de 900 y 780 M.S.N.M., respectivamente, al noreste de la zona; al cerro "Bonito" con una elevación de 1080 M.S.N.M. al sur de la zona, y al sudoeste se encuentran los cerros "Los Amoles" y "Las Jícamas", con elevaciones aproximadas de entre los 980 y 800 M.S.N.M.

Al noroeste nos encontramos con la mesa "El Pinzan", con elevación de 1060 M.S.N.M., y al norte el cerro "El Molcajete" con elevación de 780 M.S.N.M.

Todos estos cerros así como las mesas, están conectadas entre sí, llegándose a formar una zona muy accidentada alrededor del área de estudio, la cual se puede considerar como un valle de cañadas convergentes.

Las estructuras geológicas principales se encuentran dentro de la provincia de la Sierra Madre del Sur y la subprovincia conocida como depresión del Balsas, en la provincia son las rocas metamórficas del triásico litológicamente clasificadas como gneisses, esquistos, filitas y pizarras, que en conjunto forman un complejo metamórfico (Cmet). Cubren una gran extensión del sur del estado, aflorando desde Temascaltepec hasta los límites con Guerrero.

En lo que respecta a la zona de estudio se localizan las rocas del terciario, en su gran mayoría volcánicas (Ígneas expresivas intermedia, ácidas y básicas), las cuales cubren discordantemente tanto a las rocas sedimentarias del Cretáceo como a las rocas metamórficas del triásico. De este período afloran también rocas sedimentarias continentales (areniscas y conglomerados) que en ocasiones yacen directamente sobre las rocas metamórficas y en otras lo hacen Ígneas extrusivas intermedias (andesíticas).

#### **DESCRIPCIÓN BREVE DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL RELIEVE.**

La zona de estudio es en sus alrededores, de topografía abrupta, y se localiza en un valle formado en ambas riberas del río, cuya pendiente media de ésta zona varían entre 2 y 3 %.

#### **• SUSCEPTIBILIDAD DE LA ZONA A:**

##### **SISMICIDAD.**

La zona de estudio se ubica en la zona sísmica B, con coeficientes sísmicos de 0.16.

##### **DESLIZAMIENTOS Y DERRUMBES.**

La zona en estudio, se ubica en un área con topografía bastante accidentada y es de esperarse que en época de lluvias, existan posibilidades de deslizamientos en taludes con pendientes muy pronunciadas. Estos afectarían principalmente a los caminos de acceso.

#### **• SUELOS.**

##### **TIPOS DE SUELO PRESENTES EN EL ÁREA Y ZONAS ALEDAÑAS.**

En la zona de estudio, predominan los suelos clasificados como: selva baja caducifolia; bosque de encino y bosque pino - encino.

##### **COMPOSICIÓN DEL SUELO ( Clasificación F.A.O. ).**

Por el uso del suelo, la clasificación existente es: regosol éutrico (Re); feozen haplico (Hh) y acrisol ortico (Ao).

### **CAPACIDAD DE SATURACIÓN.**

De acuerdo a los datos generados en el estudio hidrológico, la capacidad de infiltración, y en consecuencia, de saturación del suelo, es buena, originada básicamente por el uso actual del suelo.

- **HIDROLOGÍA.**

### **PRINCIPALES RÍOS Y ARROYOS CERCANOS.**

Dentro del municipio existen una infinidad de arroyos y ríos de poca importancia, pues son corrientes intermitentes, originadas por los escurrimientos en las zonas montañosas al producirse la lluvia.

En la zona de estudio no existen corrientes importantes, únicamente la del Río Pungaracho, localizado a unos 3.5 Km. al noroeste de la zona, aunque cabe mencionar que en época de lluvias, los arroyos alrededor de la zona conducen bastante agua, llegando inclusive a incomunicar el área de estudio.

Las corrientes más importantes son las siguientes: como ya se mencionó, el Río Paló Gordo, que nace al sudeste de la zona en estudio, es el principal aportador, y es alimentado por el escurrimiento denominado Puerta Vieja, proveniente de el cerro Los Amoles, y otros escurrimientos provenientes de las porciones altas de los cerros El Jabalí, Bonito, Los Coyotes y Cerro Alto.

Todos éstos arroyos prácticamente se conectan entre sí alrededor del pueblo Palo Gordo, siguiendo su curso hasta conectarse al noroeste de la localidad con el Río Pungaracho.

### **ESTIMACIÓN DEL VOLUMEN DE ESCORRENTÍA POR UNIDAD DE TIEMPO.**

El escurrimiento medio estimado, de acuerdo al estudio hidrológico, es de 1'231,290 metros cúbicos por año, con un mínimo de 1,640 metros cúbicos en el mes de febrero y un máximo de 310,060 metros cúbicos en el mes de julio.

### **ACTIVIDAD PARA LA QUE SON APROVECHADOS.**

Actualmente, estos escurrimientos son aprovechados para riego; abrevar ganado y uso doméstico.

### **INDICAR SI RECIBEN ALGÚN TIPO DE RESIDUO.**

Actualmente, estos escurrimientos superficiales e inclusive, los subterráneos, están libres de residuos.

### **EMBALSE Y CUERPOS DE AGUA CERCANOS.**

No existen embalses y cuerpos de agua cercanos a la zona de estudio.

### **DRENAJE SUBTERRÁNEO.**

De acuerdo a la cartografía existente, el nivel de aguas subterráneas está muy próximo a la superficie, aflorando en algunos sitios en forma de manantiales, y de esta forma dando lugar a la formación de escurrimientos semipermanentes que alimentan al río Palo Gordo.

La dirección del escurrimiento subterráneo, es la misma que la del río Palo Gordo, siguiendo su curso hasta conectarse al noroeste de la localidad con el Río Pungarancho.

### 6.3.2 RASGOS BIOLÓGICOS.

- **VEGETACIÓN.**

#### **TIPO DE VEGETACIÓN DE LA ZONA.**

La vegetación en el municipio es muy variada, como lo muestra la existencia de los diversos tipos de bosques: de encino - pino, de pino e incluso el escaso mesófilo de montaña; éste último se desarrolla en el Valle de laderas tendidas. Además se encuentran, de manera abundante, la selva baja caducifolia y pastizal inducido.

En lo que respecta a la zona de estudio, existen áreas de pastizales inducidos y selva baja caducifolia, así como relictos de: bosque mesófilo de montaña, bosque de encino - pino y de pino - encino.

- **FAUNA.**

#### **FAUNA CARACTERÍSTICA DE LA ZONA.**

En lo referente a la fauna podemos citar aunque en muy poca cantidad, al venado y al jabali y esto en lugares muy aislados; entre los animales que más abundan en el municipio están, el Tlacoyote, rata de campo, tejón, liebre, rata, conejo, tusa, coyote, gato montés y ardilla entre otros.

### 6.3.3 ECOSISTEMA Y PAISAJE.

¿Modificará la dinámica natural de algún cuerpo de agua?

**NO.**

¿Modificará la dinámica natural de las comunidades de flora y fauna?

**NO.**

¿Crearé barreras físicas que limiten el desplazamiento de la flora y/o la fauna?

**NO.**

¿Se contempla la introducción de especies exóticas ?

**NO.**

¿Es una zona considerada con cualidades estéticas únicas o excepcionales?.

**NO.**

¿Es una zona considerada con atractivo turístico?

**NO.**

¿Es o se encuentra en un área arqueológica o de interés histórico?

**NO.**

¿Es o se encuentra en un área natural protegida?

**NO.**

¿Modificará la armonía visual con la creación de un paisaje artificial?

**NO.**

¿Existe alguna afectación en la zona?

**NO.**

#### **6.3.4 MEDIO SOCIOECONÓMICO.**

- **POBLACIÓN.**

##### **POBLACIÓN ECONÓMICAMENTE ACTIVA.**

La fuerza de trabajo de una región determinada, está integrada por los habitantes que se encuentran en condiciones físicas y mentales aptas para desarrollar una actividad productiva, independientemente de estar ocupada y que se encuentre entre los 12 y 64 años de edad.

Considerando lo anterior y la información obtenida por estrato de edades, resulta que el número de habitantes en éstas condiciones en la zona del estudio es de 61, correspondiendo a 30 hombres y 31 mujeres. De acuerdo a las cifras anteriores la fuerza de trabajo en la zona de estudio corresponde al 72.13% del total de los habitantes.

- **SERVICIOS.**

##### **MEDIOS DE COMUNICACIÓN.**

###### **TELÉFONOS.**

En la zona de estudio se carece de éste servicio por lo que se tiene que trasladar al poblado de Cañadas o a el Estanco, que la mayoría del tiempo están descompuestos, por lo que es necesario trasladarse a Luvianos o a Tejupilco.

###### **CORREOS Y TELÉGRAFOS.**

No se cuenta con oficinas de correos ni de telégrafos en la zona, por lo que es necesario trasladarse a Tejupilco.

###### **MEDIOS DE TRANSPORTE.**

El transporte en la zona de estudio se realiza por medio de camionetas particulares y a caballo. No existe un servicio oficial ni particular de transporte.

La línea de transporte que da servicio al municipio es de la Empresa Estrella Roja, comunicando las principales poblaciones como Tejupilco, Bejucos, etc., con la Cd. de Toluca y Cd. Altamirano.

En los pueblos de mayor población como Tejupilco, existe el servicio de automóviles de alquiler, que suplen la falta de transporte en el municipio.

###### **SERVICIOS PÚBLICOS.**

En la zona de estudio, no existen servicios públicos establecidos.

## **CENTROS EDUCATIVOS.**

La escolaridad dentro de la zona de estudio es deficiente, siendo del orden del 21% los que saben leer y escribir entre 6 y 14 años de edad y 32% corresponden a analfabetas.

## **CENTROS DE SALUD.**

En el área de influencia del proyecto, no existe ninguna unidad médica o consultorio, por lo que cuando existe un caso grave de enfermedad al paciente lo transportan a la unidad médica localizada en el poblado de Estanco, situado a unos 48 Km.

- **VIVIENDA.**

Considerando la información obtenida en los censos de 1970 y 1990, se puede apreciar la evolución del número de viviendas dentro del municipio de Tejupilco, que tiene las características siguientes: Pisos diferentes a tierra, con agua entubada, con drenaje, y con energía eléctrica, sin embargo, en lo que se refiere al poblado, Palo Gordo, se puede apreciar que hasta la fecha no ha existido ninguna mejora referente a los servicios o al tipo de vivienda.

En la zona de influencia del estudio, las viviendas en un 22% tienen el piso diferente a tierra, sus muros en un 89% son de adobes y en un 61% sus techos son de tejas, en toda el área no existe energía eléctrica, no existe drenaje, y un 83% cuenta con agua entubada, la forma de defecación es a la intemperie, no existiendo algún tipo de letrina o instalación similar.

En lo referente al agua potable, el 17% de la población de Palo Gordo se surte del agua requerida para sus necesidades teniendo que acarrearla de un sitio más alejado que es el río.

- **ZONAS DE RECREO.**

En la zona de estudio, no existen zonas de recreo.

### **6.3.4.1 ACTIVIDADES ECONÓMICAS.**

#### **AGRICULTURA.**

Dentro de la zona de estudio el recurso suelo es utilizado principalmente para la agricultura de temporal, en segundo término se utiliza para uso del sector ganadero, no existen zonas de bosques al sur, al poniente y al oriente existen áreas pequeñas de vegetación tipo chaparral.

Como se ha mencionado con anterioridad la actividad predominante es la agricultura. El área que ocupa este concepto es del orden de las 200 hectáreas, ésta zona se localiza en las partes de menor pendiente y se encuentra cruzada por el arroyo Palo Gordo escurriendo de Sudeste a Noreste.

#### **GANADERÍA.**

En el municipio de Tejupilco, el 40.94% de la superficie, está ocupada por la ganadería, existiendo regiones donde de acuerdo al tipo de suelos, la ganadería llega a ser intensiva en una superficie de 4.1%.

En lo referente a el área de la zona del proyecto, en el poblado de Palo Gordo y sus alrededores, la mayoría de los habitantes poseen de una a dos cabezas de ganado, dos o tres puercos, aves de corral y dos o tres asnos, aproximadamente un 5% del ganado existente se comercializa en el año.

El área utilizada para el sector ganadero es del orden de las 130 hectáreas, esta zona ubica en las partes medias y altas.

#### **PESCA.**

No existen actividades relacionadas con la pesca.

#### **INDUSTRIALES.**

No existen actividades relacionadas con la industria.

#### • **TIPO DE ECONOMÍA.**

En la zona de estudio, la economía se desarrolla para el autoconsumo, debido principalmente a que agricultura y ganadería que se desarrolla es de temporal.

Para la satisfacción de otras necesidades básicas, como vestido, calzado y accesorios, se utilizan los recursos generados por la migración temporal a los campos de cultivo en los Estados Unidos.

#### • **ASPECTOS SOCIALES Y ECONÓMICOS.**

##### **DEMANDA DE MANO DE OBRA.**

La fuerza de trabajo de una región determinada, está integrada por los habitantes que se encuentran en condiciones físicas y mentales aptas para desarrollar una actividad productiva, independientemente de estar ocupada y que se encuentre entre los 12 y 64 años de edad.

Considerando lo anterior y la información obtenida por estrato de edades, resulta que el número de habitantes en éstas condiciones en la zona del estudio es de 61, correspondiendo a 30 hombres y 31 mujeres. De acuerdo a las cifras anteriores la fuerza de trabajo en la zona de estudio corresponde al 72.13% del total de los habitantes

##### **CAMBIOS DEMOGRÁFICOS.**

El municipio de Tejupilco, es considerado, en relación a movimientos migratorios, como una entidad con fuerte grado de expulsión. Esto redundo en que actualmente la población en la zona de estudio, se ha decrementado a partir de 1960.

Es conveniente especificar que entre un 15 y un 20 % de la población se va por temporadas a trabajar a los Estados Unidos, provocado por la falta de fuentes de trabajo y apoyo económico para desempeñar las actividades primarias.

## 6.4 NORMAS Y REGULACIONES SOBRE USOS DE SUELO

- **PLAN DIRECTOR URBANO.**

En la actualidad, en la zona de estudio no existe un Plan Director Urbano.

- **PLANES O PROGRAMAS ECOLÓGICOS DEL TERRITORIO NACIONAL.**

La zona en estudio, se encuentra regida por la Ley de Ecología del Estado de México.

- **SISTEMA NACIONAL DE ÁREAS PROTEGIDAS.**

La zona en estudio, no se encuentra dentro de algún área identificada dentro del Sistema Nacional de Áreas Protegidas.

### 6.4.1 IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES.

Los principales impactos ecológicos que se generarán por la construcción de la presa 'Palo Gordo', se clasifican en dos etapas; durante la construcción del embalse y durante la operación y son:

- a) Durante la construcción, la preparación del terreno en la zona de desplante de la cortina, en la obra de desvío y en los bancos de materiales, se propicia la pérdida de cubierta vegetal, originando un impacto directo a corto plazo y temporal.
- b) El suelo en estado suelto, propiciado por la preparación del terreno, está sujeto a la erosión pluvial, con la consiguiente pérdida de materia orgánica y nutrientes, disminuyendo la calidad del suelo. Este impacto es indirecto a corto y mediano plazo, temporal e intenso.
- c) El suelo que es arrastrado por los escurrimientos, se deposita aguas abajo, en las márgenes y en las zonas inundables, originando una modificación en el uso del suelo. Este impacto es indirecto, a corto y mediano plazo, temporal e intenso.
- d) La cubierta vegetal eliminada y el despalme del terreno donde se desplantará la cortina, produce desechos sólidos como son; troncos, maleza, arenas, gravas, desechos inorgánicos y basura del campamento. Estos residuos provocan contaminación del suelo, originando un impacto ambiental directo, temporal y de baja intensidad, esto es porque los desechos no son tóxicos.
- e) Modificación del régimen hidráulico de las corrientes superficiales que afecta directamente a los procesos biológicos aguas abajo de la presa.
- f) Modificación de la calidad del agua en el embalse, están función directa de los procesos geobioquímicos que se generan, los mas importantes son:

Disminución de la turbiedad y de la materia orgánica suspendida de la corriente, causada por la sedimentación.

Aumento del pH en la parte superior del cuerpo de agua ( epilimnion ) debido a la fotosíntesis y disminución del pH en la parte inferior ( hipolimnion ) y posible disminución del oxígeno hipolimnético debido a la degradación de la materia orgánica.

- g) Impacto sinérgico, acelerado proceso de eutroficación, producido por el embalsamiento y el deterioro de la calidad del agua, que pudiera reducir algunos aspectos benéficos del embalse, principalmente sus usos para abastecimiento público, pesca y recreación y en algunos casos, hasta irrigación.
- h) Con la construcción de la cortina, se formará una barrera al tránsito de la fauna acuática. Esta misma barrera, propiciará indirectamente, la propagación de plantas acuáticas flotantes, debido a que el embalse impedirá sus salida.
- i) La flora existente en el embalse, será destruida, y con ella el hábitat de organismos faunísticos asociados.

#### **6.4.2 MEDIDAS PREVENTIVAS Y MITIGACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES IDENTIFICADOS.**

Las medidas de mitigación de impacto ambiental, que se identificaron para este proyecto son las siguientes:

- a) Será necesario llevar a cabo la remoción de la vegetación existente en la zona del embalse y de ser posible, el despalme del terreno. Con esto se contribuiría al mejoramiento de la calidad del agua.
- b) Durante la etapa operativa, se recomienda mantener una corriente constante, que permita la conservación básica de los ecosistemas acuáticos. Al respecto, de acuerdo a la simulación de funcionamiento de vaso, realizado dentro del estudio hidrológico de la cuenca, el caudal aprovechado respecto al caudal total, representa el 1.0 %, lo que significa que la presa siempre estará derramando.
- c) Será necesario, en la etapa operativa, y a mediano plazo, establecer un programa de monitoreo de la calidad del agua en el embalse y ambiental en su área de influencia. Estos monitoreos continuos, nos permitirán conocer la evolución del ecosistema y los posibles ajustes en la política de operación.
- d) Cuando se presenten concentraciones de maleza acuática de superficie, deberá establecerse un programa continuo de control de estas malezas

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

### **1.0 RESPECTO AL ESTUDIO HIDROLÓGICO:**

- La cuenca aportadora del Arroyo Puerta Vieja, no cuenta con estación hidrométrica, por lo que los escurrimientos se generaron mediante el apoyo de la información de lluvias mensuales registradas por las estaciones cercanas a la zona de proyecto.
- En particular, la estación climatológica Palmar Chico fue considerada como la estación base para llevar a cabo los análisis necesarios para el dimensionamiento de la presa en cuestión.
- Del estudio hidrológico realizado, se obtuvo del análisis del funcionamiento del vaso, que el nivel de aguas máximas extraordinarias ( NAME ) alcanzará la elevación 689.16 m, y que el nivel mínimo de operación de la obra de toma ( NOT ) queda restringido a la elevación 684.09 m, para un nivel de aguas máximas de operación ( NAMO ) igual a la cota 688.30 m.

### **2.0 RESPECTO A LA GEOLOGÍA DEL SITIO:**

- El sitio seleccionado para la construcción de la Presa 'Palo Gordo', se encuentra labrado en materiales correlacionables con la Formación Balsas, tales como afloramientos de rocas ígneas clasificadas como tobas andesíticas en la zona de la boquilla; rocas de la Formación Tilzapotta en las laderas del área del vaso y en el cauce del río se presenta un depósito aluvial potente tanto en profundidad como en extensión, formado por arenas, gravas y boleos de diferentes diámetros, clasificados como Ruditas fluviales.
- La boquilla 'El Trapiche', topográficamente es asimétrica pero geológicamente sí es simétrica. Sus laderas se encuentran enmascaradas por depósitos de talud, con espesores que varían de 0.50 a 2.00 m.

- En vista de que los pozos a cielo abierto realizados se consideran insuficientes para la elaboración correcta de un perfil geológico de detalle, se recomienda como necesario, la elaboración de un estudio geofísico que mediante sísmica de refracción permita conocer los diferentes paquetes geológicos que pudieran existir en la zona de la boquilla.
- Debido a que la calidad de la roca superficial se puede considerar relativamente baja, tomando en cuenta los aspectos de intemperización y grado de fracturamiento, se recomienda efectuar un estudio geológico más completo y detallado, que incluya sondeos mecánicos profundos, que permitan determinar con la exactitud requerida el espesor total de los aluviones del cauce del río, así como de la roca fracturada.
- Además es necesario la realización de pruebas de permeabilidad de campo (Lugeon y Lefranc) en los sondeos que se realicen en la zona de la boquilla, para determinar las condiciones de ésta respecto a este parámetro, y de esta manera tener una base de datos más sólida que permita un diseño racional de la cimentación de la cortina.

### 3.0 RESPECTO A LOS BANCOS DE MATERIALES:

- A nivel de proyecto, se ha considerado que la construcción de la cortina de la Presa "Palo Gordo", será de material homogéneo. En base a este enfoque se llevó a cabo el ESTUDIO DE LOCALIZACIÓN DE BANCOS DE MATERIALES.
- Se localizaron y estudiaron los bancos necesarios con un volumen de 1.5 veces el necesario para el proyecto. Los volúmenes mencionados son los que se indican a continuación:

<b>MATERIAL</b>	<b>VOLUMEN</b>
IMPERMEABLE :	46,418.98 m <sup>3</sup>
AGREGADOS PARA CONCRETO :	739.69 m <sup>3</sup>
REVESTIMIENTO :	957.42 m <sup>3</sup>
ENROCAMIENTO:	2,923.57 m <sup>3</sup>

- En lo que se refiere al material impermeable, para la construcción del núcleo de la cortina, se localizaron bancos de este material con cierta facilidad.
- De los bancos de material impermeable seleccionados como definitivos en el estudio, se recomienda utilizar el Banco "El Panteón" (el más cercano al sitio de la boquilla), en la construcción de ataguías de desvío.
- Para la construcción de el núcleo impermeable, se recomienda utilizar el Banco "La Laguna", que de acuerdo con los resultados de laboratorio, está constituido por una arcilla de plasticidad media - alta,

cuyas características índice y propiedades mecánicas, indican que el material de este banco es de calidad adecuada para éste fin.

- En el caso del material permeable ( arena, grava y enrocamiento ), existen muchos bancos de enrocamiento en la zona pero es necesario la explotación y trituración de los mismos, sabiendo que esto elevaría los costos de la obra, se localizó un banco de materiales pétreos con diferentes granulometrías, al cual le denominan "La Barranca", que se encuentra ubicado sobre el arroyo Puerta Vieja y Palo Gordo, estando constituido por mezclas de arena, grava y boleos de diferentes diámetros, el cual tiene características adecuadas para ser usado en la elaboración de concreto y revestimiento de la corona.
- En lo que se refiere a material para enrocamiento, existen boleos mayores de 3" en el banco "La Barranca", que serán utilizados para la construcción de los respaldos de la cortina, mediante el empleo de "Gaviones".
- Se recomienda que la incorporación de humedad a los bancos de material impermeable que se exploten, se haga con la mayor antelación posible. Esto es con el objeto de que el material en el momento de su colocación, tenga el contenido de agua en la forma más uniforme posible y lo más cercano a la humedad óptima, para poder obtener de esta manera, resultados eficientes en el proceso de compactación del núcleo impermeable.

#### **4.0 RESPECTO AL DISEÑO DE LA CORTINA:**

- Una vez que se analizaron los factores más importantes que pueden intervenir en el proyecto del diseño y construcción de la presa, tales como, características hidrológicas, geológicas, y topográficas del sitio elegido, así como la disponibilidad y calidad de materiales para construcción en las zonas cercanas al lugar, se tomó la decisión de que la cortina fuera construida de sección homogénea de material arcilloso y protegida en los taludes mediante un colchón de enrocamiento, con espesores de 0.50 m en el talud aguas arriba y 0.30 m en el talud de aguas abajo, y colocando un revestimiento en la zona de la corona.
- Se llevo a cabo el análisis de la estabilidad de la cortina mediante el método de Bishop simplificado para condiciones pseudoestáticas, revisando con las características iniciales y finales de los materiales que componen la cortina y para ambos taludes de la misma. Se consideró el almacenamiento hasta el nivel de obra de toma, para cada análisis.

Los resultados obtenidos indican que la estabilidad de la estructura térrea está garantizada con la geometría propuesta y con el uso de los materiales estudiados.

- De la revisión del factor de seguridad contra el efecto erosivo de tubificación del cuerpo impermeable de la cortina, se concluye que, dadas las excelentes características de impermeabilidad de la arcilla recomendada para la construcción de la sección homogénea, éste fenómeno no se presentará debido a que la magnitud de las fuerzas de filtración que se generen serán prácticamente despreciables. Consecuentemente, no se requiere de la construcción de alguna obra de drenaje, como pudiera ser un filtro de delantal o de pie, en el talud aguas abajo.

## **5.0 RESPECTO AL DISEÑO DE LA OBRA DE EXCEDENCIAS:**

- Para la elección del tipo de vertedor de excedencia más adecuado, se tomaron en cuenta los factores de Topografía, Geología y Economía. Con lo que se llegó a la conclusión que en el caso en particular, el tipo de vertedor más conveniente es uno del tipo de cresta libre con perfil Creager, canal colector lateral y canal de descarga directa a una estructura disipadora terminal consistente en un tanque amortiguador que desfogue a nivel del cauce del río.
- Tomando como base los datos obtenidos en el estudio hidrológico, se realizó el dimensionamiento de las estructuras hidráulicas necesarias para controlar el gasto excedente a la capacidad del NAMO, obteniéndose estructuras cuyo tamaño y funcionamiento hidráulico no representan ningún tipo de problema constructivo para la magnitud de la Presa 'Palo Gordo'.

## **6.0 RESPECTO AL IMPACTO AMBIENTAL:**

Los principales impactos ecológicos que se generarán por la construcción de la presa 'Palo Gordo' son los siguientes:

- Con la preparación del terreno en la zona de desplante de la cortina, en la obra de desvío y en los bancos de materiales, se propicia la pérdida de cubierta vegetal, originando un impacto directo a corto plazo y temporal.
- El suelo en estado suelto, propiciado por la preparación del terreno, está sujeto a la erosión pluvial, con la consiguiente pérdida de materia orgánica y nutrientes, disminuyendo la calidad del suelo. Este impacto es indirecto a corto y mediano plazo, temporal e intenso.
- El suelo que es arrastrado por los escurrimientos, se deposita aguas abajo, en las márgenes y en las zonas inundables, originando una modificación en el uso del suelo. Este impacto es indirecto, a corto y mediano plazo, temporal e intenso.
- La cubierta vegetal eliminada y el despalle del terreno donde se desplantará la cortina, produce desechos sólidos como son; troncos, maleza, arenas, gravas, desechos inorgánicos y basura del

campamento. Estos residuos provocan contaminación del suelo, originando un impacto ambiental directo, temporal y de baja intensidad, esto es porque los desechos no son tóxicos.

- Modificación del régimen hidráulico de las corrientes superficiales que afecta directamente a los procesos biológicos aguas abajo de la presa.
- Modificación de la calidad del agua en el embalse, están función directa de los procesos geobioquímicos que se generan, los mas importantes son:
  - A) Disminución de la turbiedad y de la materia orgánica suspendida de la corriente, causada por la sedimentación.
  - B) Aumento del pH en la parte superior del cuerpo de agua (epilimnion) debido a la fotosíntesis y disminución del pH en la parte inferior ( hipolimnion ) y posible disminución del oxígeno hipolimnético debido a la degradación de la materia orgánica.
  - C) Impacto sinérgico, acelerado proceso de eutroficación, producido por el embalsamiento y el deterioro de la calidad del agua, que pudiera reducir algunos aspectos benéficos del embalse, principalmente sus usos para abastecimiento público, pesca y recreación y en algunos casos, hasta irrigación.
- Con la construcción de la cortina, se formará una barrera parcial al tránsito de la fauna acuática. Esta misma barrera, propiciará indirectamente, la propagación de plantas acuáticas flotantes, debido a que el embalse impedirá sus salida.
- La flora existente en el embalse, será destruida, y con ella el hábitat de organismos faunísticos asociados.

Las medidas de mitigación de impacto ambiental, que se identificaron para este proyecto son las siguientes:

- Será necesario llevar a cabo la remoción de la vegetación existente en la zona del embalse y de ser posible, el despalme del terreno. Con esto se contribuiría al mejoramiento de la calidad del agua.
- Durante la etapa operativa, se recomienda mantener una corriente constante, que permita la conservación básica de los ecosistemas acuáticos. Al respecto, de acuerdo a la simulación de funcionamiento de vaso, realizado dentro del estudio hidrológico de la cuenca, el caudal aprovechado respecto al caudal total, representa el 1.0 %, lo que significa que la presa siempre estará derramando.
- Será necesario, en la etapa operativa, y a mediano plazo, establecer un programa de monitoreo de la calidad del agua en el embalse y ambiental en su área de influencia. Estos monitoreos continuos, nos permitirán conocer la evolución del ecosistema y los posibles ajustes en la política de operación.

- Cuando se presenten concentraciones de maleza acuática de superficie, deberá establecerse un programa continuo de control de estas malezas

## **7.0 RESPECTO A ESTUDIOS POSTERIORES DE LA BOQUILLA:**

Durante el desarrollo del presente trabajo, se llevaron a cabo los trabajos que se recomiendan en el inciso 2.0 de este apartado, por lo que se consideró importante y necesario, hacer únicamente mención de los resultados obtenidos en dichos estudios, ya que no están incluidos en el alcance de los objetivos planteados inicialmente.

A continuación se resumen las conclusiones a las que se llegó después de las exploraciones geológicas a detalle de la zona de la boquilla.

- El sitio de la boquilla se trata de un macizo rocoso muy fracturado y de alta permeabilidad, por lo que requerirá limpieza fuerte en el desplante y un tratamiento interno de la cimentación.
- Tanto vaso como boquilla, se encuentran en unidades de roca de la Formación Balsas, clasificadas como andesitas. En la margen derecha del vaso pueden llegar a inundarse afloramientos de la Riolita (TILZAPOTLA). Esta última unidad de roca por sus características impermeables no tiene ningún efecto sobre la permeabilidad del vaso.
- En la boquilla se encontraron dos unidades litológicas de materiales granulares y dos unidades litológicas de roca que son:
  - Material de talud.
  - Material aluvial
  - Andesita muy fracturada.
  - Andesita sana.

## **8.0 RESPECTO A LA ETAPA INICIAL DE CONSTRUCCIÓN DE LA CORTINA:**

- Las unidades granulares tendrán que limpiarse en el corazón impermeable y enrocamiento.
- La unidad de Andesita muy fracturada, tendrá que limpiarse donde se encuentra alterada en su totalidad y en el resto deberá de limpiarse hasta donde sea capaz de penetrar la cuchilla del tractor. Se estima un espesor de 5.0 a 7.0 m del cadenamiento 0 - 010 al 0 + 015; de 3.0 a 5.0 m del cadenamiento 0 + 015 al 0 + 055 y de 2.0 a 3.0 m del cadenamiento 0 + 055 al 0 + 125.

## MARGEN IZQUIERDA.

### **Del cadenamiento 0 - 010 al 0 + 015 :**

Se tendrá que efectuar una limpia enérgica para descubrir el nivel de cimentación y consistirá en lo siguiente:

- Limpieza o despirme de toda la Andesita alterada y de la Andesita muy fracturada hasta donde la cuchilla de un tractor, por lo menos CATERPILLAR D7, rebote. Esto se hará en todo el núcleo impermeable. Se estima que se tendrá un espesor de limpia de 2.0 a 7.0 m.

### **Del cadenamiento 0 + 015 al 0 + 055 que incluye margen izquierda y cauce del río :**

- Limpieza de toda la unidad granular, material de talud y aluvial y limpieza de la Andesita muy fracturada con cuchillo de tractor y "ripiado" hasta donde lo permita el terreno. Estimamos que se tendrán que limpiar de 3.0 a 5.0 m de Andesita muy fracturada.

## MARGEN DERECHA.

- Limpieza de todo el material de talud y limpieza en la unidad de Andesita muy fracturada con cuchillo de tractor y rpiando hasta donde lo permita el terreno. Estimamos que se podrán limpiar de 1.0 a 3.0 de Andesita muy fracturada.

## **9.0 RESPECTO AL TRATAMIENTO DE LA CIMENTACIÓN:**

- Se tendrá que efectuar dos pantallas. Una de consolidación y otra de inyección.
- La pantalla de consolidación se deberá de efectuar en la zona del corazón impermeable y enrocamiento. Además se tendrá que consolidar el terreno cerrando etapas de inyección hasta que se logren velocidades sísmicas de la onda compresional P del orden de 2500 m/seg. Esta pantalla de consolidación se deberá llevar hasta 5.0 m bajo el contacto unidad muy fracturada - unidad sana.
- La pantalla de inyección se deberá llevar a una profundidad mínima de 15 m para alejar flujo y subpresiones de las estructuras, y hasta que se logre permeabilidades del terreno no mayores de 1 Lugeón. Hacia los lados de la pantalla deberá extenderse hasta encontrar el punto en que la elevación del Nivel freático tenga la elevación del NAMO.
- La limpieza de todo el material de cubierta y la roca altamente fracturada, será sustituyéndola por medio de un muro o pantalla plástica, de 1.00 m de ancho mínimo y 10.0 m de profundidad como máximo; la pantalla de inyección se llevará 10.00 m abajo del contacto con la roca sana.

- De acuerdo a las exploraciones en el vaso, en la cercanía de la boquilla se determinó que la margen derecha presenta características de material permeable, mientras que en puntos alejados de la boquilla, el vaso presenta características de material impermeable. Aunque estas mediciones han sido puntuales, y pudieran no ser representativas de toda la zona, podemos clasificar al vaso como medianamente permeable; el tratamiento que se haga a la boquilla, permitirá hacer el cierre del vaso.
- Durante la etapa de construcción, es necesario contar con los servicios **especializados** de supervisión y control de calidad del tratamiento de la cimentación; esto permitirá garantizar la correcta ejecución de los trabajos y consecuentemente la eficiencia de la impermeabilidad de la presa.
- Es recomendable que el proyecto de la obra, contemple una instrumentación que permita definir la piezometría dentro de la roca basal, así como testigos superficiales de desplazamientos e inclinómetros, que permitan conocer que el comportamiento de la obra es el adecuado.

**CARLOS ALDANA RUEDA.**

## BIBLIOGRAFÍA.

- **MECÁNICA DE SUELOS**  
**FUNDAMENTOS DE MECÁNICA DE SUELOS**  
JUÁREZ BADILLO – RICO RODRÍGUEZ  
TOMO I
- **MECÁNICA DE SUELOS**  
**TEORIA Y APLICACIONES DE LA MECÁNICA DE SUELOS**  
JUÁREZ BADILLO – RICO RODRÍGUEZ  
TOMO II
- **MECÁNICA DE SUELOS**  
**FLUJO DE AGUA EN SUELOS**  
JUÁREZ BADILLO – RICO RODRÍGUEZ  
TOMO III
- **MECÁNICA DE SUELOS**  
**INTRUCTIVO PARA ENSAYES DE SUELO**  
COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA  
CNA
- **FUNDAMENTOS DE GEOLOGÍA FÍSICA**  
L. DON LEET – SHELDON JUDSON
- **DISEÑO DE PRESAS PEQUEÑAS**  
UNITED STATES DEPARTMENT OF THE INTERIOR  
BUREAU OF RECLAMATION  
STEWART L. UDALL, SECRETARY  
FLOYD E. DOMINY, COMMISSIONER
- **FUNDAMENTOS DE HIDROLOGÍA DE SUPERFICIE**  
FRANCISCO J. APARICIO MIJARES.

- **CUADERNO DE POSGRADO**  
PUBLICACIONES DE LA ENEP UNAM ACATLAN  
SERIE B TOMO I
  
- **MECÁNICA DE SUELOS**  
T. WILLIAM LAMBE – ROBERT V. WHITMAN
  
- **PRINCIPIOS DEL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN  
DE PRESAS DE TIERRA**  
ENRIQUE TAMEZ GONZÁLEZ
  
- **PEQUEÑOS ALMACENAMIENTOS**  
SECRETARIA DE RECURSOS HIDRÁULICOS  
DIRECCIÓN GENERAL DE OBRAS PARA  
EL DESARROLLO RURAL
  
- **SIMPOSIO SOBRE ALMACENAMIENTOS PEQUEÑOS**  
SOCIEDAD MEXICANA DE MECÁNICA DE SUELOS A.C.
  
- **ANUARIO ESTADÍSTICO DEL ESTADO DE MÉXICO 1993**  
INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA  
INEGI