



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

DICTYG

ALTERNATIVA DEL FUNCIONAMIENTO HIDRAULICO DEL TUNEL
ANALCO-SAN JOSE, SISTEMA CUTZAMALA.

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO
DE INGENIERO CIVIL

PRESENTA

JOSE ELIAS HERNANDEZ MEZA

DIRECTOR DE TESIS: M.I. ARTURO NAVA MASTACHE

ABRIL DE 1999



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



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.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**ALTERNATIVA DEL FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO DEL TÚNEL ANALCO-SAN JOSÉ,
SISTEMA CUTZAMALA**

TESIS PROFESIONAL DEL ALUMNO: JOSÉ ELÍAS HERNÁNDEZ MEZA

APROBACION DEL DIRECTOR DE TESIS: M.I. ARTURO NAVA MASTACHE

A handwritten signature in black ink, enclosed within a large, irregular oval shape. The signature appears to be 'Arturo Nava Mastache'.

ABRIL DE 1999

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**ALTERNATIVA DEL FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO DEL TÚNEL ANALCO-SAN JOSÉ,
SISTEMA CUTZAMALA**

TESIS PROFESIONAL DEL ALUMNO: JOSÉ ELÍAS HERNÁNDEZ MEZA

APROBACION DEL DIRECTOR DE TESIS: M.I. ARTURO NAVA MASTACHE

A handwritten signature in black ink, enclosed within a large, irregular oval shape. The signature appears to be 'Arturo Nava Mastache'.

ABRIL DE 1999



FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
60-1-087/97

UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MEXICO

Señor
JOSE ELIAS HERNANDEZ MEZA
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor **M. L. ARTURO NAVA MASTACHE**, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de **INGENIERO CIVIL**.

**"ALTERNATIVA DEL FUNCIONAMIENTO HIDRAULICO DEL TUNEL ANALCO-SAN JOSE,
SISTEMA CUTZAMALA"**

- I. INTRODUCCION
- II. DESCRIPCION DEL SISTEMA CUTZAMALA
- III. TUNEL ANALCO-SAN JOSE
- IV. REVISION DEL FUNCIONAMIENTO HIDRAULICO DEL TUNEL ANALCO-SAN JOSE
- V. ALTERNATIVA PROPUESTA
- VI. CONCLUSIONES

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria a 23 de septiembre de 1997.
EL DIRECTOR


ING. JOSE MANUEL COVARRUBIAS SOLIS

MCS/GMP*lmf

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a todas las personas que me apoyaron en la realización de este trabajo.

A toda mi familia, que siempre ha estado conmigo.

A todos mis amigos y compañeros de la Facultad de Ingeniería, así como a profesores que ayudaron en mi formación, y a las autoridades y trabajadores de la misma.

Un reconocimiento al **Ing. García Acevedo**, **Ing. Cervantes** y especialmente al **Sr. Eduardo Lucero (Loquillo II)** y al **Sr. Reyna** por su apoyo en la GERENCIA DE AGUAS DEL VALLE DE MÉXICO.

Al **Ing. Cuellar**, **Ing. José A. López** y al **Ing. Jorge Meza** en la COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA. Por su valiosa colaboración.

A mi director de tesis, **Ing. Arturo Nava Mastache** por su paciencia, aportaciones académicas, enseñanzas extra clase y su destacada dirección.

A toda la gente que me ayudó en el **CICM**, **INFOTEC** y muy especialmente en **Laboratorios Columbia** donde aprendí muchas cosas, pero sobre todo, por darme la oportunidad de trabajar con gente que quiere, sabe y puede hacer bien las cosas.

Mi más sincero agradecimiento a la **Familia Banuet-Sánchez** y **Familia Ortega-Sánchez** que siempre me han visto como parte de ellos.

A tres personas que fueron parte fundamental para la realización de este trabajo: **Estela Valencia Echávarri**, **Alfredo Arzamendi** y **Marcela Cárdenas**. Muchas Gracias por su apoyo.

No puedo dejar de agradecer a tres personas que siempre me han dado mucho más de lo que realmente merezco:

A mi **Hermana Ana Claudia**, con la que siempre he podido contar sin importar las circunstancias.

A mi **Tío Jorge**, de quien siempre he tomado ejemplo de las cosas más valiosas en la vida, y me ha apoyado incondicionalmente, pero más aún, porque se que lo seguirá haciendo en cualquier terreno que se presente, Gracias George.

A mi **Madre**, por todo su amor, dedicación y empeño puesto en mí durante largos años y que en su doble papel ha dado más de lo que comunmente se debe. Madre: Gracias por todo, esto no se hubiera logrado sin ti.

Y a mi querida **Tibe**, que me ha ayudado a descubrir y entender muchas cosas, pero sobre todo por darme su cariño y la oportunidad de estar juntos.

A TODOS, Gracias sinceramente por ayudarme a conseguir ésta, que es la primer meta en mi vida.

J. Elías Hernández Meza

Abril de 1999

ALTERNATIVA DEL FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO DEL TÚNEL
ANALCO-SAN JOSÉ, SISTEMA CUTZAMALA

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN

	página
♦ Importancia del agua para el ser humano.	1
♦ Problemática para abastecer de agua a la Zona Metropolitana de la Ciudad de México.	1
♦ Crecimiento de la Ciudad de México y áreas conurbadas.	2
♦ Historia del abastecimiento de agua a la Ciudad de México.	2
♦ Antecedentes.	13

CAPÍTULO I

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA CUTZAMALA

I. - Sistema Cutzamala.	17
I.1.- Beneficios del Sistema Cutzamala.	17
I.2.- Descripción General.	24
I.2.1.- Primera etapa.	29
I.2.2.- Segunda etapa.	31
I.2.3.- Tercera etapa.	32
I.2.4.- Cuarta etapa (Proyecto Temascaltepec).	34
I.3.- Plantas de bombeo.	37
I.3.1.- Consumo de energía eléctrica.	40
I.4.- Torres de oscilación y sumergencia.	42
I.5.- Fenómenos transitorios.	44
I.6.- Planta Potabilizadora	45

CAPÍTULO II

TUNEL ANALCO-SAN JOSÉ

	página
II.1.- Antecedentes.	51
II.2.- Topografía.	60
II.3.- Geología.	61
II.4.- Construcción.	62
II.5.- Acueducto perimetral	65
II.5.1.-Ramal Norte	65
II.5.2.-Ramal Sur	66

CAPÍTULO III

REVISIÓN DEL FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO DEL TÚNEL ANALCO-SAN JOSÉ.

III.1.- Descripción de la revisión del Funcionamiento Hidráulico.	69
III.2.- Análisis y revisión del Funcionamiento Hidráulico.	70
III.3.- Cálculo de perfiles	85

CAPÍTULO IV

ALTERNATIVA PROPUESTA.

IV.1.- Alternativa.	104
IV.2.- Descripción general	104
IV.3.- Topografía	110
IV.4.- Geología.	111
IV.5.- Construcción	112
IV.6.- Descripción de la Revisión del Funcionamiento Hidráulico	115
IV.7.- Análisis y Revisión del Funcionamiento Hidráulico	116
IV.8.- Cálculo de perfiles	130

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

V.1.- Conclusiones sobre la revisión del funcionamiento hidráulico del Túnel Analco-San José.	144
V.2.- Conclusiones sobre la alternativa propuesta.	145
V.3.- Comparación de alternativas.	146
V.4.- Sugerencias y posibles soluciones al problema de abastecimiento de agua a la Ciudad de México.	151
V.5.- Conclusiones generales.	152

♦ ANEXOS

Anexo 1.- Cálculos del área sección portal	
Anexo 2.- Elementos geométricos sección circular	
Anexo 3.- Cálculos del perímetro sección portal	
Anexo 4.- Cálculos del área sección circular	
Anexo 5.- Cálculos del perímetro sección circular	
Anexo 6.- Compuertas Ramal Norte	
Anexo 7.- Compuertas Ramal Sur	
Anexo 8.- Condiciones en la lumbrera 3 del Túnel Analco-San José	
Anexo 9.- Gastos por revisión y compuerta	
Anexo 10.- Análisis en la lumbrera 3 del Túnel Analco-San José, sección portal	
Anexo 11.- Análisis en la lumbrera 3 del Túnel Analco-San José, sección circular	

♦ REFERENCIAS

♦ BIBLIOGRAFIA

INDICE DE GRÁFICAS

	página
GRÁFICA 1.- Población ZMCM siglo XX	3
GRÁFICA 2.- Curva de gastos del Túnel Analco-San José Sección portal	59
GRÁFICA 3.- Curva de gastos del Túnel Analco-San José Sección circular	109
GRÁFICA 4.- Curvas de gastos del Túnel Analco-San José Sección circular y portal	147
GRÁFICA 5.- Curvas a vs Q secciones portal y circular para cada compuerta en los Ramales Norte y Sur	148
GRÁFICA 6.- Curvas y_3 vs Q secciones portal y circular para cada compuerta en los Ramales Norte y Sur	149

ÍNDICE DE TABLAS

	página
TABLA 1.-Crecimiento de la ZMCM siglo XX	9
TABLA 2.-Principales afluentes del Río Cutzamala	25
TABLA 3.-Plantas del Sistema Hidroeléctrico Miguel Alemán.	28
TABLA 4.-Plantas de Bombeo del Sistema Cutzamala.	37
TABLA 5.- Demanda de los motores de las Plantas de Bombeo del Sistema Cutzamala.	41
TABLA 6.- Torres de oscilación y sumergencia del Sistema Cutzamala.	42
TABLA 7.- Características hidráulicas de la sección portaldel Túnel Analco San José	58
TABLA 8.- Cálculo del Perfil tipo M1, 1a.Revisión,Túnel Analco-San José, sección Portal.	86
TABLA 9.- Cálculo del Perfil tipo M1, 2a.Revisión,Túnel Analco-San José, sección Portal.	88
TABLA 10.- Cálculo del Perfil tipo M1, 3a.Revisión,Túnel Analco-San José, sección Portal.	90
TABLA 11.- Cálculo del Perfil tipo M1, 4a.Revisión,Túnel Analco-San José, sección Portal.	92
TABLA 12.- Cálculo del Perfil tipo M1, 5a.Revisión,Túnel Analco-San José, sección Portal.	94
TABLA 13.- Cálculo del Perfil tipo M1, 6a.Revisión,Túnel Analco-San José, sección Portal.	96
TABLA 14.-Características hidráulicas de la sección circular del Túnel Analco San José	108
TABLA 15.- Cálculo del Perfil tipo M1, 1a.Revisión,Túnel Analco-San José, sección Circular..	131
TABLA 16.- Cálculo del Perfil tipo M1, 2a.Revisión,Túnel Analco-San José, sección Circular.	133
TABLA 17.- Cálculo del Perfil tipo M1, 3a.Revisión,Túnel Analco-San José, sección Circular.	135
TABLA 18.- Cálculo del Perfil tipo M1, 4a.Revisión,Túnel Analco-San José, sección Circular.	137
TABLA 19.- Cálculo del Perfil tipo M1, 5a.Revisión,Túnel Analco-San José, sección Circular.	139
TABLA 20.- Cálculo del Perfil tipo M1, 6a.Revisión,Túnel Analco-San José, sección Circular.	141

ÍNDICE DE MAPAS

	página
Mapa 1.-Crecimiento de la ZMCM siglo XX.	10
Mapa 2.- Región Hidrológica 18, Cuenca del Balsas.	18
Mapa 3.- Cuenca del Río Cutzamala.	19
Mapa 4.- Sistema de saneamiento de Valle de Bravo.	21
Mapa 5.- Rehabilitación del Sistema de Agua Potable en Valle de Bravo.	22
Mapa 6.- Sistema de agua potable y alcantarillado de Colorines.	23
Mapa 7.-Sistema Hidroeléctrico Miguel Alemán.	27
Mapa 8.- Planta Potabilizadora	46
Mapa 9.- Localización del Túnel Analco-San José.	52
Mapa 10.- Localización del Acueducto Perimetral de la ZMCM	67
Mapa 11.- Macrocircuito del Acueducto Perimetral.	68

ÍNDICE DE FIGURAS

	página
Figura 1.- Hidrografía de la cuenca del Río Cutzamala.	26
Figura 2.- Planta y Perfil del Sistema Cutzamala.	30
Figura 3.- Planta del Túnel Analco-San José	53
Figura 4.- Perfil del Tunel Analco-San José	54
Figura 5.- Sección Portal del Túnel Analco-San José.	56
Figura 6.- Perfil tipo M1 Túnel Analco-San José $Q=4m^3/s$ sección Portal	87
Figura 7.- Perfil tipo M1 Túnel Analco-San José $Q=10m^3/s$ sección Portal	89
Figura 8.- Perfil tipo M1 Túnel Analco-San José $Q=19m^3/s$ sección Portal	91
Figura 9.- Perfil tipo M1 Túnel Analco-San José $Q=24m^3/s$ sección Portal	93
Figura 10.- Perfil tipo M1 Túnel Analco-San José $Q=30m^3/s$ sección Portal	95
Figura 11.- Perfil tipo M1 Túnel Analco-San José $Q=34m^3/s$ sección Portal	97
Figura 12.- Sección Circular propuesta para el Túnel Analco-San José	105
Figura 13.- Perfil tipo M1 Túnel Analco-San José $Q=4m^3/s$ sección Circular	132
Figura 14.- Perfil tipo M1 Túnel Analco-San José $Q=10m^3/s$ sección Circular	134
Figura 15.- Perfil tipo M1 Túnel Analco-San José $Q=19m^3/s$ sección Circular	136
Figura 16.- Perfil tipo M1 Túnel Analco-San José $Q=24m^3/s$ sección Circular	138
Figura 17.- Perfil tipo M1 Túnel Analco-San José $Q=30m^3/s$ sección Circular	140
Figura 18.- Perfil tipo M1 Túnel Analco-San José $Q=34m^3/s$ sección Circular	142

ÍNDICE DE FOTOGRAFIAS

	página
Fotografía 1.- Acueducto de Belén.	6
Fotografía 2.- Acueducto de Chapultepec.	7
Fotografía 3.- Sistema Cutzamala, perspectiva Valle de Bravo	15
Fotografía 4.- Sistema Cutzamala, Velo de Novia	16
Fotografía 5.- Embalse de la Presa Villa Victoria	31
Fotografía 6.- Embalse de la Presa Valle de Bravo	35
Fotografía 7.- Obra de toma de la Presa Chilesdo	35
Fotografía 8.- Obra de toma de la Presa Colorines	36
Fotografía 9.- Proyecto Temascaltepec	36
Fotografía 10.- Planta de bombeo 6	39
Fotografía 11.- Planta de bombeo 3	39
Fotografía 12.- Planta de bombeo 4	39
Fotografía 13.- Torre de oscilación No.1	43
Fotografía 14.- Torre de sumergencia No.1	43
Fotografía 15.- Vista de la Planta Potabilizadora	47
Fotografía 16.- Medidores Parshall	48
Fotografía 17.- Tanque Receptor de Aguas Claras	48
Fotografía 17.- Túnel Analco-San José.	50
Fotografía 18.- Túnel Analco-San José en operación, visto desde la parte alta de la lumbrera No.3	84
Fotografía 19.- Túnel Analco-San José en operación.Tirante =1.15 m	98
Fotografía 20.- Mecanismos de control para distribuir el agua al Ramal Norte y ramal Sur.	100
Fotografía 21.- Vista exterior e interior de los Mecanismos de control en la Lumbrera 3.	101
Fotografía 22.- Tanques de regulación	102
Fotografía 23.- Vista interior de una caja rompedora de presión.	103

RELACIÓN DE EQUIVALENCIAS UTILIZADAS

1 m ³ =	1000 l
1 HP =	1.0138 CV
1 kw =	1.3596 CV
1 HP =	0.7457 kw

ABREVIATURAS Y SIGLAS UTILIZADAS EN EL PRESENTE TRABAJO

ABREVIATURA	SIGNIFICADO
a	Apertura de la compuerta
A	Área
C.V.	Caballo de vapor.
CAVM	Comisión de Aguas del Valle de México.
Cc	Coefficiente de las compuertas
CEAS	Comisión Estatal de Aguas y Saneamiento del Estado de México.
CFE	Comisión Federal de Electricidad.
CNA	Comisión Nacional del Agua.
D	Diámetro
DDF	Departamento del Distrito Federal
DGCOH	Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica
GAVM	Gerencia de aguas del Valle de México.
H.P.	Caballo de fuerza.
kg	Kilogramo.
km	Kilómetro.
kv	Kilovatio.
kw	Kilowatt.
l	Litro.
l/hab/día	Litros por habitante por día.
l/s	Litros por segundo.
m	Metro.
m.c.a.	Metros columna de agua.
m.s.n.m.	Metros sobre el nivel medio del mar.
m ³	Metros cúbicos.
m ³ /s	Metros cúbicos por segundo.
mm	Milímetro
Mw	Megawatt.
No.	Número.
P	Perímetro
P.B.	Planta de bombeo.
Q	Gasto.
Qd	Gasto de diseño.
r	Radio
Rh	Radio hidráulico
SHMA	Sistema Hidroeléctrico Miguel Alemán.
v	Volt.
Vol.	Volumen.
ZMCM	Zona Metropolitana de la Ciudad de México.

*** todas las acotaciones en m

INTRODUCCIÓN

IMPORTANCIA DEL AGUA PARA EL SER HUMANO

El agua, es y será por siempre indispensable para la preservación de la vida en el mundo. Desde su origen, el hombre ha podido satisfacer sus necesidades básicas gracias al uso del agua. Sin ella es prácticamente imposible la subsistencia del ser humano con una vida como la que conocemos en nuestro planeta.

En la actualidad, debido al crecimiento de las poblaciones, cada vez es más complicado y costoso obtener este recurso ya que es necesario realizar un gran esfuerzo para hacerlo llegar a sus habitantes en condiciones aptas para su consumo.

Agua apta para consumo humano es la que se denomina potable, y se puede definir como el agua que es buena para beber, específicamente, son aquellas aguas que no causan daño ni molestia a quien las ingiere, o las que no son desagradables al paladar ni a la vista y son capaces de realizar las funciones fisiológicas del organismo humano sin provocar enfermedades.

PROBLEMÁTICA PARA ABASTECER DE AGUA POTABLE A LA ZONA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE MÉXICO.

Actualmente nuestro país vive un gran reto al satisfacer la demanda de agua de sus poblaciones. Concretamente, los habitantes de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México y en general la Ingeniería Mexicana, viven en una constante lucha por obtener el líquido vital.

Pero este problema no es nuevo ya que la historia nos muestra que desde los orígenes de la Ciudad de México se han sufrido un sinnúmero de problemas. Recordemos que los aztecas se situaron en un complejo lacustre, dentro de un valle cerrado, esto creó una situación contradictoria ya que se ha luchado desde entonces a favor y en contra del agua, debido a la necesidad de contar con el líquido y al mismo tiempo contrarrestar los efectos destructivos que causan las grandes inundaciones.

Por un lado, se necesitaron construir salidas artificiales para desalojar el agua de lluvia del valle. La primera fue el túnel de Nochistongo, construido por Enrico Martínez, que finalmente quedó como un tajo o zanja debido a problemas de mantenimiento y derrumbes, con una duración aproximada de 180 años; la segunda el Gran Canal, la tercera el Túnel de Tequisquiác y la cuarta el Drenaje profundo de la Ciudad de México.

Por otro lado, con el crecimiento de la ciudad fue aumentando también la demanda de agua para consumo de sus habitantes y complicando aún más el abastecimiento.

Se debe destacar que la ZMCM no cuenta con lugares adecuados para regular el agua de lluvia, por encontrarse asentada en la parte más baja del valle; las precipitaciones medias anuales son de 730 mm, concentradas en 4 meses del año, dando una recarga de aprox. 725 millones de m³ anuales, es decir, 23 m³/s existiendo una sobreexplotación de más del 100%.

CRECIMIENTO DE LA CIUDAD DE MÉXICO Y ÁREAS CONURBADAS.

Debido a que la demanda de agua para la ZMCM depende directamente de la población existente, en la **gráfica 1** se muestra el crecimiento desmesurado de ésta en el último siglo, haciendo énfasis en que es un problema que afecta directamente al abastecimiento de agua. Es importante destacar que el crecimiento de la Ciudad de México trae como consecuencia además del abastecimiento muchos otros problemas de otro carácter, pero no menos importantes.

HISTORIA DEL ABASTECIMIENTO DE AGUA A LA CIUDAD DE MÉXICO.

El origen del Valle de México fue una planicie rodeada de montañas. En el fondo de las partes hondas que configuraban la planicie, las aguas formaban un solo y extenso lago donde llegaban las corrientes que descendían de las faldas de las montañas.

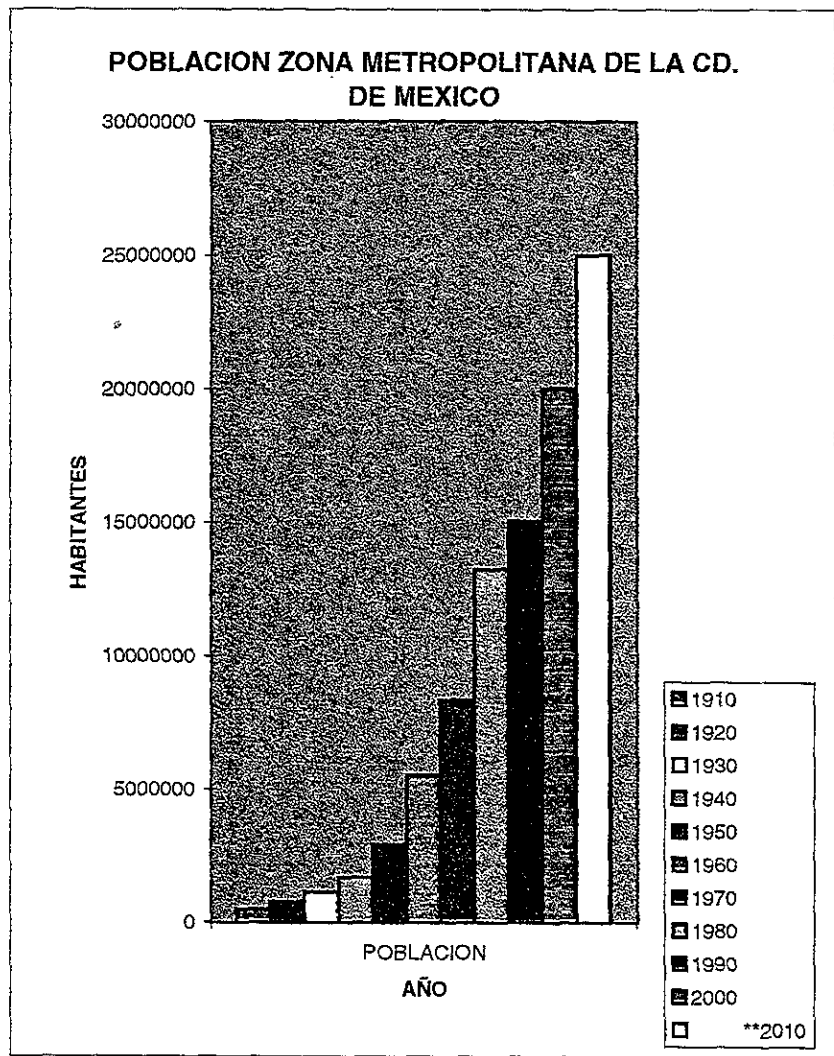
Con el tiempo, el gran lago se dividió en otros más pequeños que se conocieron con los nombres de Chalco, Xochimilco, Texcoco, Ecatepec, Xaltocan y Zumpango.

Esta zona surgió como una región privilegiada ya que contaba con suficiente líquido para asegurar la irrigación de un área extensa, pues contaba con abundantes manantiales y el agua que bajaba de las sierras.

Los habitantes de Tenochtitlán contaron con el líquido necesario para la vida, obtenido de los lagos y manantiales que brotaban en los islotes. Sin embargo, con el paso del tiempo y aumento de la población se fueron reduciendo los manantiales, y el agua de los lagos, debido a los desechos arrojados en ellos, perdieron pureza.

Debido a esto, Chimalpopoca en 1418 inicia la construcción de un gran acueducto de 12 km. de longitud, que llevaría las aguas de Chapultepec hacia el Templo Mayor, en el cual por cierto, colaboró Netzahualcóyotl.

AÑO	POBLACIÓN
1910	471 000
1920	768 000
1930	1 134 000
1940	1 669 000
1950	2 923 000
1960	5 523 000
1970	8 360 000
1980	13 236 000
1990	15 047 000
2000	20 000 000
**2010	25 000 000



GRAFICA 1.- INCREMENTO DE POBLACIÓN EN LA ZMCM DURANTE EL SIGLO XX.
 ** PROYECCIÓN

Otra obra realizada por Netzahualcóyotl, fue aquella construida en Texcoco, compuesta por 11 km de un canal de mampostería partiendo de Atexcoac, al Oriente del valle.

El agua potable llegaba a Tenochtitlán por el Acueducto de Chimalpopoca y se distribuía a la población por "Acallis" o canoas. Tlaltelolco era abastecido por manantiales de Xancopinca, localizados en terrenos de Atzcapotzalco por medio de barro más rudimentario que el de Chapultepec.

En 1449, en el reinado de Moctezuma, hubo una gran inundación que destruyó el acueducto de Chapultepec, entonces para 1465 Netzahualcóyotl dirigió los trabajos de construcción de otro acueducto sobre el trazo anterior, siendo ésta su última obra. Fue realmente una obra de ingeniería a base de cal y canto, así como una muy buena mampostería, ya que sólo necesitó algunas reparaciones menores hasta poco después de La Conquista.

Cuando el nivel de las aguas de Chapultepec bajó, el rey Ahuizotl realizó un proyecto para llevar a la ciudad agua desde unos manantiales del sur denominados Acuecuextla, cercanos a Coyoacán. Estas obras se iniciaron en 1449 y distribuyeron el agua a cinco fuentes surtidoras a la ciudad y por conductos subterráneos a los templos y palacios. Desgraciadamente, en 1500, una nueva inundación acabó con un sinnúmero de edificaciones incluyendo el acueducto y segó las fuentes.

Bajo la dirección nuevamente de Ahuizotl con un trabajo de 2 años, se logró reconstruir gran parte de lo perdido, a su muerte, Moctezuma II Xocoyotzin en 1508 realizó reparaciones al acueducto de Chapultepec y trabajos de ampliación a la calzada que conducía al reino de Tacuba, concluyendo así la etapa de abastecimiento de agua en el ciclo prehispánico.

Al establecerse los conquistadores en la Nueva España, creció la población, surgiendo así nuevos centros y repoblándose los ya existentes.

Los españoles aplicaron técnicas propias y supieron combinar las usadas por los indígenas en cuestión de aprovechamiento de manantiales y de las corrientes permanentes

Cuando finalizó la época prehispánica debido a la contienda, el primer acueducto de Chapultepec quedó sin funcionar, Hernán Cortés ordenó se reconstruyera pero al ser un caudal insuficiente, Fray Francisco De Tembleque, quien arribó en 1540, realizó la tarea de llevar a la población de Otumba desde el Cerro de Tecajete, cerca de Zempoala, entre 1554 y 1571 el líquido. Pudo hacer esto construyendo un acueducto de 45 km, en donde destaca el impresionante puente que cruza la barranca del Papalote con 800 m. de longitud y 67 arcos.

El Acueducto de Epazoyucan, terminado en 1568, llegaba tras 15 km de recorrido hasta la fuente en el atrio del convento Agustiniiano de San Andrés y fue notable por su arquería que atravesaba un profundo barranco, llevaba el agua desde el Cerro de las Navajas hasta el convento y la población de Epazoyucan.

En la parte Noroeste del valle, se construyó el Acueducto El Sitio, notable por su sólida arquería que ha resistido el efecto de los sismos a través del tiempo.

En 1572 fueron traídas las aguas de Santa Fé y Cuajimalpa por un acueducto que entroncaba con el antiguo Acueducto de Tlaxpana y la Calzada de Tacuba (viejo Acueducto de Chapultepec), aumentando así el volumen de agua recibido por la población.

El acueducto de Chapultepec fue ampliado con nuevas obras y más tarde convertido en la arquería de Belén. Este acueducto traía las aguas de Chapultepec hasta la fuente del Salto del Agua y entró en servicio tras su construcción en 1677 permaneciendo en uso hasta fines del siglo XIX.

El acueducto, llamado Tlaxpana por la fuente de este nombre incrustada en su arquería, fue terminado en 1620. Contaba con una arquería doble de 900 arcos, en la parte superior corría el agua de Santa Fé, y por su parte inferior pasaba el agua proveniente de Chapultepec.

Los manantiales del Desierto de Los Leones localizados en las montañas occidentales del valle llegaban a México, tras unir sus aguas y sumarse al de Santa Fé, por el Acueducto de San Cosme, terminado en 1786. Este manantial abastecía de agua a las partes de la ciudad comprendidas entre la Garita de Peralvillo y la línea que comenzaba en la Candelaria y terminaba en la calle de Alcondeo.

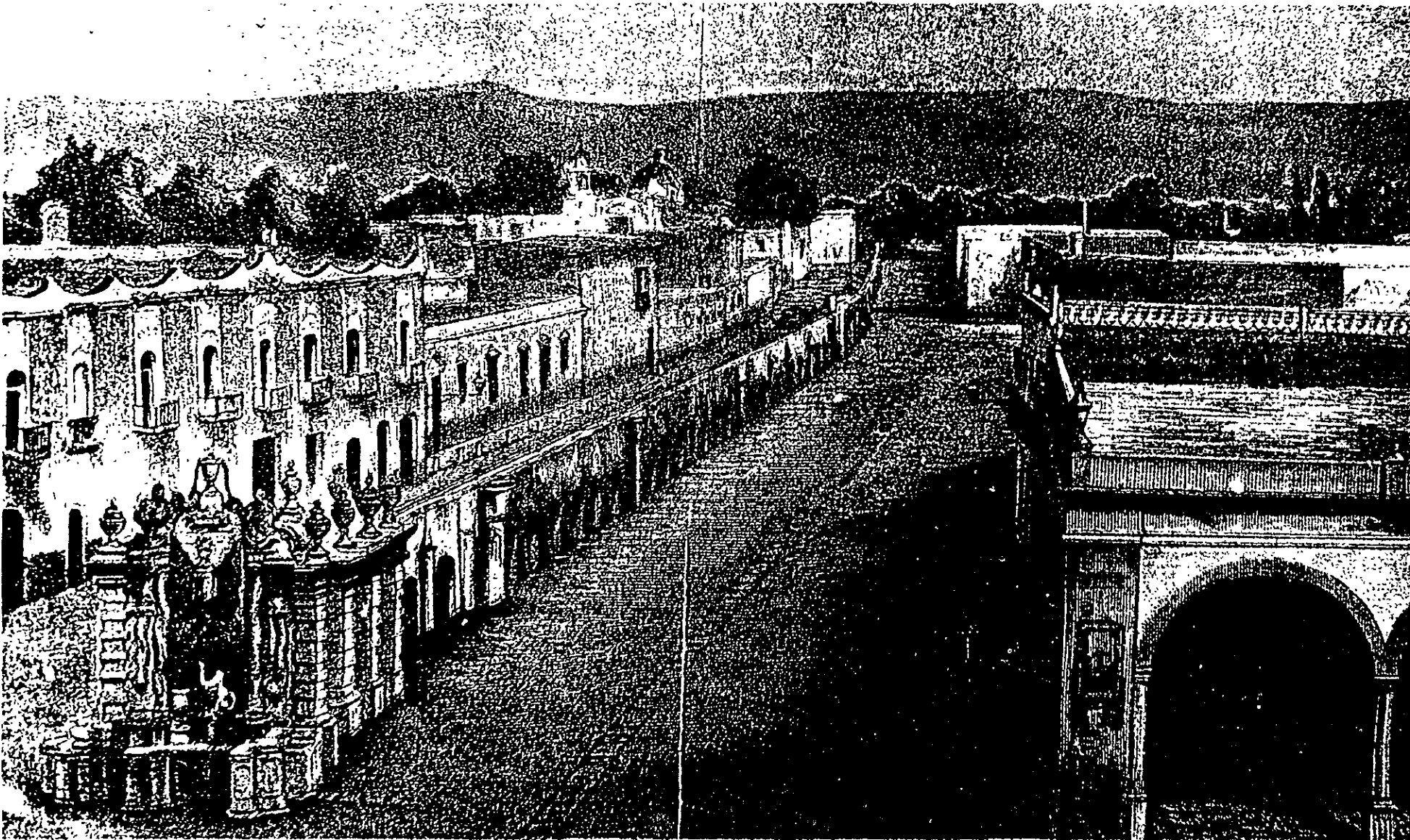
En cuanto al Norte de la ciudad, se construyó otro acueducto llamado de Guadalupe porque surtía el área de lo que ahora se llama Villa de Guadalupe. Este acueducto abasteció de agua muchos años esta parte del valle y no tuvo desperfectos mayores ya que su trazo se realizó sobre tierra firme.

Al consumarse la Independencia de nuestro país en 1821, se intentó implantar un criterio diferente para el manejo de recursos hidráulicos de la cuenca de México, pero debido a la crisis política interna que enfrentó el país en el periodo de 1821 a 1867, los esfuerzos y recursos gubernamentales se orientaron a dicha crisis, de tal modo que sólo se atendió lo mínimo en servicios hidráulicos.

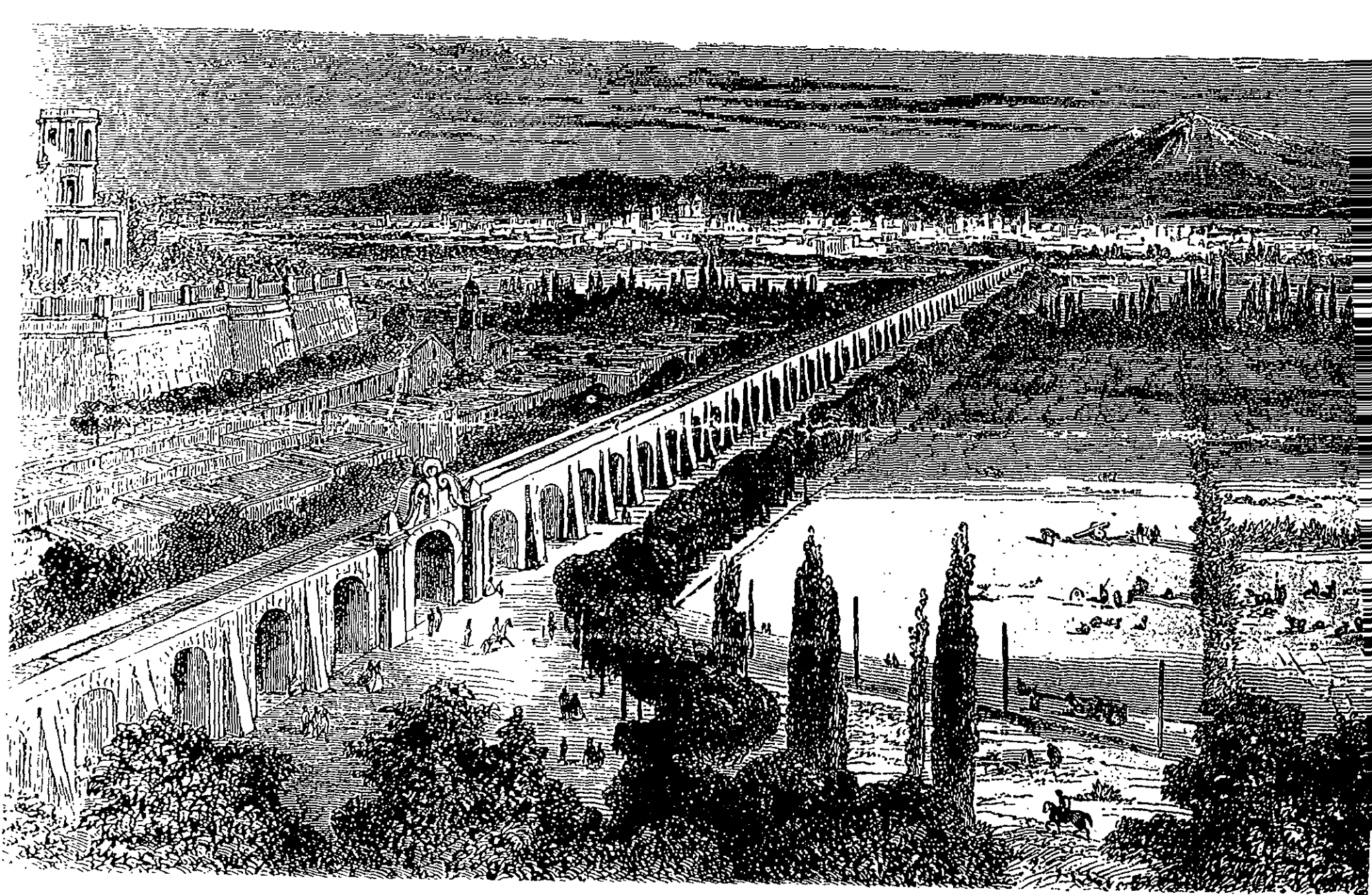
Por esos años, las fuentes principales de agua eran los manantiales de Chapultepec, Santa Fé, el Acueducto de Guadalupe y algunos pozos artesianos.

En 1847, la demanda de agua sobrepasó la oferta y se inició la extracción de agua del subsuelo mediante 20 pozos.

En 1857 se habían abierto en el valle 144 pozos, de los cuales 24 estaban destinados para riego y los otros 120 para uso particular. Posteriormente se perforaron 32 pozos más, de los cuales algunos se encontraban en lugares como: San Lucas, San Juan, Candelaria, Los Angeles, Merced, San Pablo, Santo Tomás, Concepción y Salto del Agua. Debido a la facilidad para obtener el agua por medio de este método y la calidad obtenida, a fines del siglo XIX el valle contaba con 1 100 pozos.



Fotografía 1.- Acueducto de Belén



Fotografía 2.- Acueducto de Chapultepec.

En la década de los 80's del siglo XIX, se hicieron reparaciones en los acueductos del Desierto de Los Leones para aumentar el caudal del agua, pero aún así no se pudo remediar la escasez de líquido. La cantidad de agua que se introducía a la ciudad por aquella época era de 18723 m³/día (0.216 m³/s) , que con una población aproximada de 300 000 habitantes, rendían para dar 62 l/hab/día, dotación que resultaba insuficiente.

Aunque existían ya 480 pozos artesianos, éstos no podían usarse regularmente, pues la mayoría carecían de control de cierre y perdían sin provecho gran parte de su agua.

A finales del siglo XIX, se consideró la necesidad de realizar una planeación que valorara el aprovechamiento de las aguas superficiales y las aguas subterráneas.

Ya en el siglo XX, se construyó un acueducto que utilizaba los manantiales de Xochimilco y suministraba 2.1 m³/s a través de 26 km de longitud de un acueducto que llevaba el agua hasta la planta de la Condesa.

En 1908 se inició la construcción de las obras para la planta de bombas de La Condesa, así como las plantas para captar y bombear el agua de La Noria, Nativitas y Santa Cruz y más tarde la galería subterránea situada en el centro de la ciudad.

La ciudad empezó a crecer mucho más rápido que en otros tiempos, tanto en población como en extensión, agravando aún más el problema. En la **tabla 1 pag.9** y **mapa 1 pag 10**, se muestra este crecimiento durante todo el siglo XX.

El caudal de los manantiales fue insuficiente y se recurrió a la perforación de pozos profundos con el fin de aumentar el gasto. Los acuíferos se explotaron más allá de la recarga natural, ocasionando alteraciones en los niveles del suelo de la ciudad, verificadas por el Ing. Roberto Gayol, al comparar el nivel del Gran Canal

Aún con estos problemas, se continuó con esta misma estrategia, y fue hasta 1941 cuando se inicia la construcción del Acueducto Lerma, que consiste en la captación de los manantiales de la Laguna del Lerma y en su conducción por gravedad a la cuenca del Valle de México, ya que esta última se encuentra 273 metros más baja. Su funcionamiento empezó en 1951 y consta de 234 pozos.

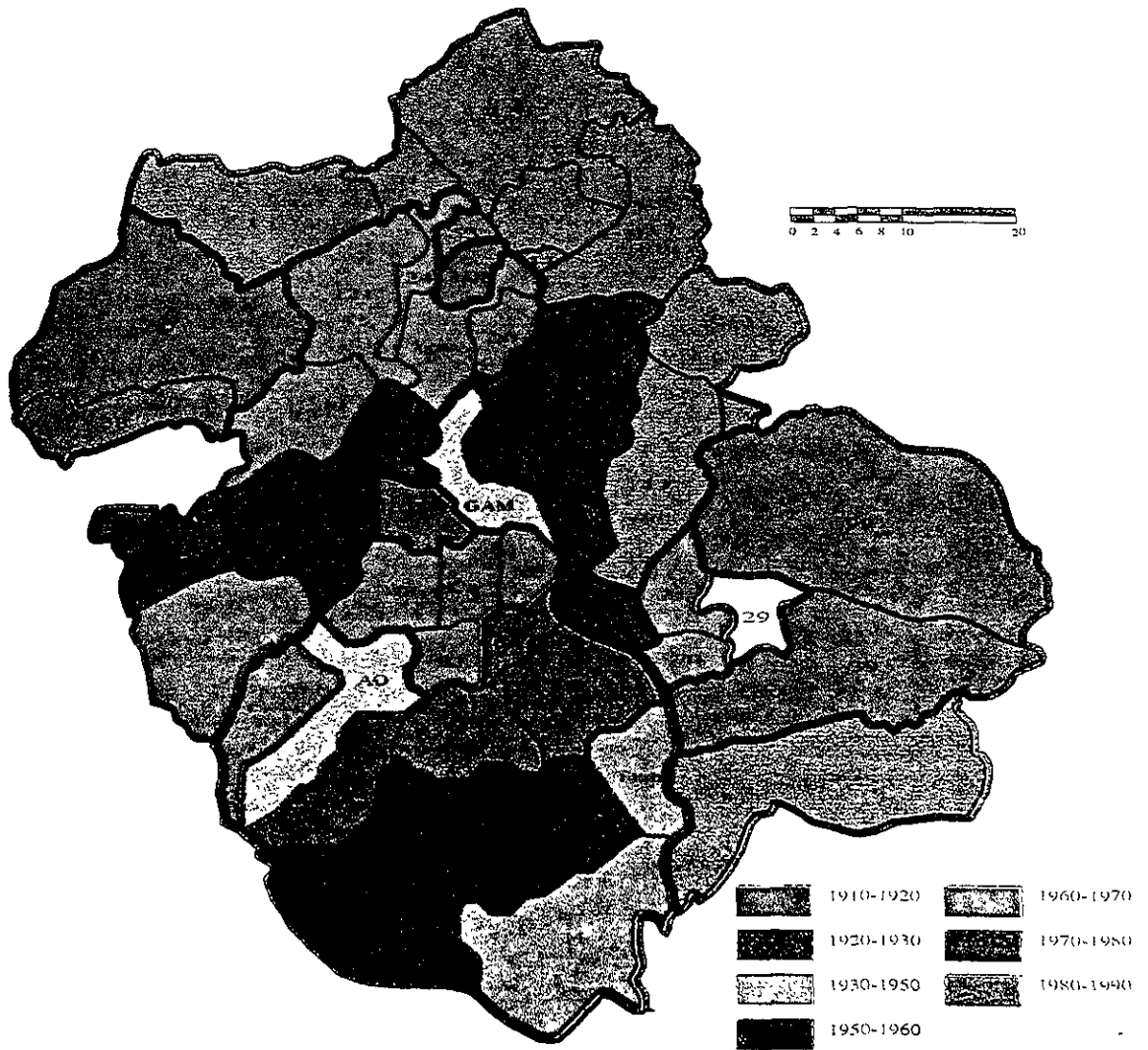
Con esta alternativa, empezó la exportación de agua entre cuencas que tuvo originalmente una contribución de 2.5 m³/s hasta llegar a mediados de los años 60's a 14 m³/s.

En esa época la ZMCM contaba con 5.5 millones de habitantes, lo que redujo notablemente la recarga del manto acuífero y regeneración de zonas vegetales.

CLAVE	ENTIDAD	DECADA
CU	CUAUHTEMOC	
MH	MIGUEL HIDALGO	1910
VC	V.CARRANZA	A
BJ	BENITO JUAREZ	1920
AZ	ATZCAPOTZALCO	
IZC	IZTACALCO	1920
MC	MAGDALENA CONTRERAS	A
CO	COYOACAN	1930
IZT	IZTAPALAPA	
GAM	GUSTAVO A.MADERO	1930 A
AO	ALVARO OBREGON	1950
TL	TLALPAN	
XO	XOCHIMILCO	
33	ECATEPEC	1950
57	NAUCALPAN DE JUAREZ	A
58	NEZAHUALCOYOTL	1960
104	TLALNEPANTLA	
MA	MILPA ALTA	
CUAJ	CUAJIMALPA	
TLAH	TLAHUAC	
13	ATIZAPAN DE ZARAGOZA	1960
20	COACALCO	
31	CHIMALHUACAN	A
24	CUAUTITLAN	
121	CUAUTITLAN IZCALLI	1970
37	HUIXQUILUCAN	
70	LA PAZ	
109	TULTITLAN	
39	IXTAPALUCA	
60	NICOLAS ROMERO	1970
99	TEXCOCO	A
108	TULTEPEC	1980
38	ISIDRO FABELA	
25	CHALCO	
53	MELCHOR OCAMPO	1980
91	TEOLOYUCAN	
120	ZUMPANGO	A
2	ACOLMAN	
59	MEXTLALPAN	1990
95	TEPOTZOTLAN	
22	COCOTITLAN	
29	CHICOLOAPAN	1990
46	JILOTZINGO	
11	ATENCO	A
23	COYOTEPEC	
92	TEOTIHUACAN	2000
100	TIZAYUCA	

TABLA 1.-CRECIMIENTO DE LA ZMCM SIGLO XX

Crecimiento de la ZMCM de 1910 a 1990



Mapa 1.- Crecimiento de la ZMCM en el Siglo XX

A principio de la década de los 70's, el Área metropolitana de la Ciudad de México ya contaba con 11 municipios conurbados que abastecían a sus poblaciones por medio de pozos profundos.

EL problema creció aún más, pero entonces no se trataba solamente de abastecer de agua a una población creciente, sino de una situación que involucraba a diferentes entidades dentro de varias jurisdicciones políticas.

El planteamiento requería forzosamente ser manejado a través de un organismo federal por las implicaciones de ejecución, que afectaría no sólo al D.F., sino también a los municipios conurbados del Estado de México.

Fue así como en 1972, el 17 de agosto, por decreto presidencial, la Secretaría de Recursos Hidráulicos forma la Comisión de Aguas del Valle de México, que desde su inicio se dedicó a estudiar alternativas para el suministro de agua con fuentes diferentes a la del acuífero del Valle de México, así como a analizar la planeación del abastecimiento y la demanda de agua potable.

Resultado de esto, se creó un plan integral con vistas a satisfacer las necesidades de abastecimiento de agua al Valle de México, contemplando de manera prioritaria la explotación racional de los acuíferos del valle y de la cuenca del Río Lerma y procurar el restablecimiento del equilibrio ecológico de ambas cuencas.

Así, se iniciaron los planes de trabajo de acción inmediata tomando en cuenta las necesidades del momento, así como los que se presentarían en el futuro. El plan inmediato aprovechó temporalmente los acuíferos del propio valle con aproximadamente 29 m³/s. Este plan se puso en marcha en febrero de 1974 con los Acueductos de Zapata, Tulyehualco, Xochimilco y algunos pozos aislados. Sin embargo, la situación siguió complicándose durante esa década pues los municipios del Estado de México siguieron resolviendo la demanda mediante nuevas extracciones al acuífero. Investigaciones directas demostraron que el consumo promedio per cápita sin considerar fugas en el suministro era de 378 l/hab/día, de los cuales 216 eran para uso doméstico, 74 para usos industriales, 52 para ramas de servicios y 36 para usos públicos metropolitanos.

El plan de acción a futuro obligó al estudio de otras cuencas lejanas para aprovechar el agua con nuevas ideas para satisfacer la demanda del abastecimiento de agua hasta la segunda década del Siglo XXI.

Este trabajo está dedicado al Sistema Cutzamala, resultado de dicho plan, desarrollado a partir de 1976 por la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos a través de la Comisión de Aguas del Valle de México.

En él se profundiza sobre el **TÚNEL ANALCO - SAN JOSÉ** debido a la importancia que tiene dentro del sistema, realizando a su vez el estudio de su funcionamiento hidráulico.

origen a un incremento en la carga piezométrica original, llevándose a cabo un trabajo elástico de deformación en las paredes del conducto y en el agua. Esta conversión de energía constituye lo que se conoce como onda de presión positiva, y ocasiona una deformación en las paredes del conducto; el agua al comprimirse aumenta su densidad y la velocidad en esta zona se reduce a cero, la carga piezométrica es mayor que la original. Como el nivel del agua permanece constante, éste actúa como una pantalla que refleja totalmente la onda de presión presentándose en ese momento una onda de presión negativa o subpresión ocasionando que el flujo tenga una velocidad idéntica a la inicial, dando origen a las condiciones iniciales pero con escurrimiento en sentido contrario.

A esta primera serie de eventos que consisten en la formación de un frente de onda negativa que viaja hacia la dirección contraria se conoce como fase directa del golpe de ariete.

Cuando el flujo regresa y cambia de dirección se origina una caída de carga y una contracción en las paredes del conducto, adoptando dimensiones inferiores a las originales y una reducción a cero de la velocidad en la zona aguas abajo cuando el conducto está contraído en su totalidad, la velocidad es nula y la densidad mayor a la original. El flujo vuelve a funcionar como una pantalla y refleja una onda positiva, volviendo el conducto a su estado original aguas arriba, el conducto vuelve a tener sus características iniciales en toda su longitud.

Es importante señalar que debido al efecto de la fricción en el conducto que transforma la energía en forma de calor, el evento descrito no se repite infinitamente, y por eso se denomina transitorio.

Cavitación: Es un fenómeno asociado a cambios de presión bajo ciertas condiciones de temperatura; al haber una caída de presión que alcance la presión de vaporización del líquido, éste ebulle generando burbujas de vapor del fluido, las cuales son arrastradas a zonas de mayor presión, recuperando bruscamente su fase líquida (implotando), y liberando en este proceso una gran cantidad de energía que puede ocasionar diversos daños.***Ref.2**

Puede presentarse en: turbinas, bombas, tuberías (cambio de dirección, reducción) etc.

Cuenca: Se define como el área vista en planta que contribuye al escurrimiento superficial de la misma, y proporciona parte o todo el flujo que escurre por el cauce principal de un río. Está limitada por el parteaguas.

Parteaguas: Es la línea imaginaria que delimita una cuenca y distribuye el escurrimiento superficial hacia dentro o fuera de la misma. Los puntos que une son los de mayor elevación y solo cruza a la corriente en el punto de salida de la cuenca.



Fotografía 3.- Sistema Cutzamala, perspectiva Valle de Bravo



Fotografía 4.- Velo de Novia, Sistema Cutzamala (Valle de Bravo)

I.-DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA CUTZAMALA

I.-SISTEMA CUTZAMALA.

Como ya se comentó, debido a la diversidad de problemas que se tienen para satisfacer la demanda de agua potable en la ZMCM, fue necesario buscar y conducir el recurso desde otras cuencas ya que la solución al abastecimiento perforando pozos dejó de serlo para convertirse en un grave problema al provocar hundimientos en la ciudad.

Ante estas situaciones, la Comisión de Aguas del Valle de México, hoy Gerencia de Aguas del Valle de México, junto con la desaparecida Comisión Hidrológica de la Cuenca del Valle de México, estudiaron diversas alternativas, como captaciones cercanas al Valle de México, hasta alternativas como captaciones de cuencas hidrológicas lejanas como la del Río Papaloapan.

Después de realizar estudios de factibilidad hidrológica, técnica, política, social, económica y financiera, así como correlación de caudales disponibles, longitud del recorrido, desniveles respecto a los puntos de captación y entrega, energía para su operación, topografía, tenencia de la tierra, aspectos tecnológicos, calidad del agua, cambio de uso del agua y estudios de impacto ambiental, la región más viable para el abastecimiento fue la cuenca alta del Río Cutzamala, ubicado en la Región Hidrológica número 18 del país (Cuenca del Balsas), entre los paralelos 18° 40' y 19° 50' de latitud Norte y los meridianos 99° 45' y 101° 05' de latitud Oeste. En el **mapa 2 pag.18** se muestra la Región hidrológica No.18 del país, y en el **mapa 3 pag.19** la cuenca del Río Cutzamala.

El proyecto del Sistema Cutzamala se inició en 1976 por la entonces Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos a través de la Comisión de Aguas del Valle de México, teniendo como objetivo suministrar 19 m³/s hacia la ZMCM en tres etapas. Posteriormente se proyectó una cuarta etapa llamada Proyecto Temascaltepec con un gasto de diseño de 5 m³/s.

El Sistema Cutzamala en sus tres primeras etapas está integrado por un acueducto de 127 km que incluye 21 km de túneles y 7 5 km de canal, una planta potabilizadora y seis plantas de bombeo. En la parte final de su recorrido, el agua del sistema cruza la serranía de Las Cruces a través del Túnel **ANALCO-SAN JOSÉ** de 16 km. de longitud y capacidad hasta de 34 m³/s. De ahí es conducida a la ZMCM por medio de los ramales Norte y Sur.

*Es importante comentar que la Cuarta Etapa del Sistema Cutzamala, por situaciones Políticas se ha manejado en las últimas 2 administraciones como un proyecto Independiente separado por parte de la CNA

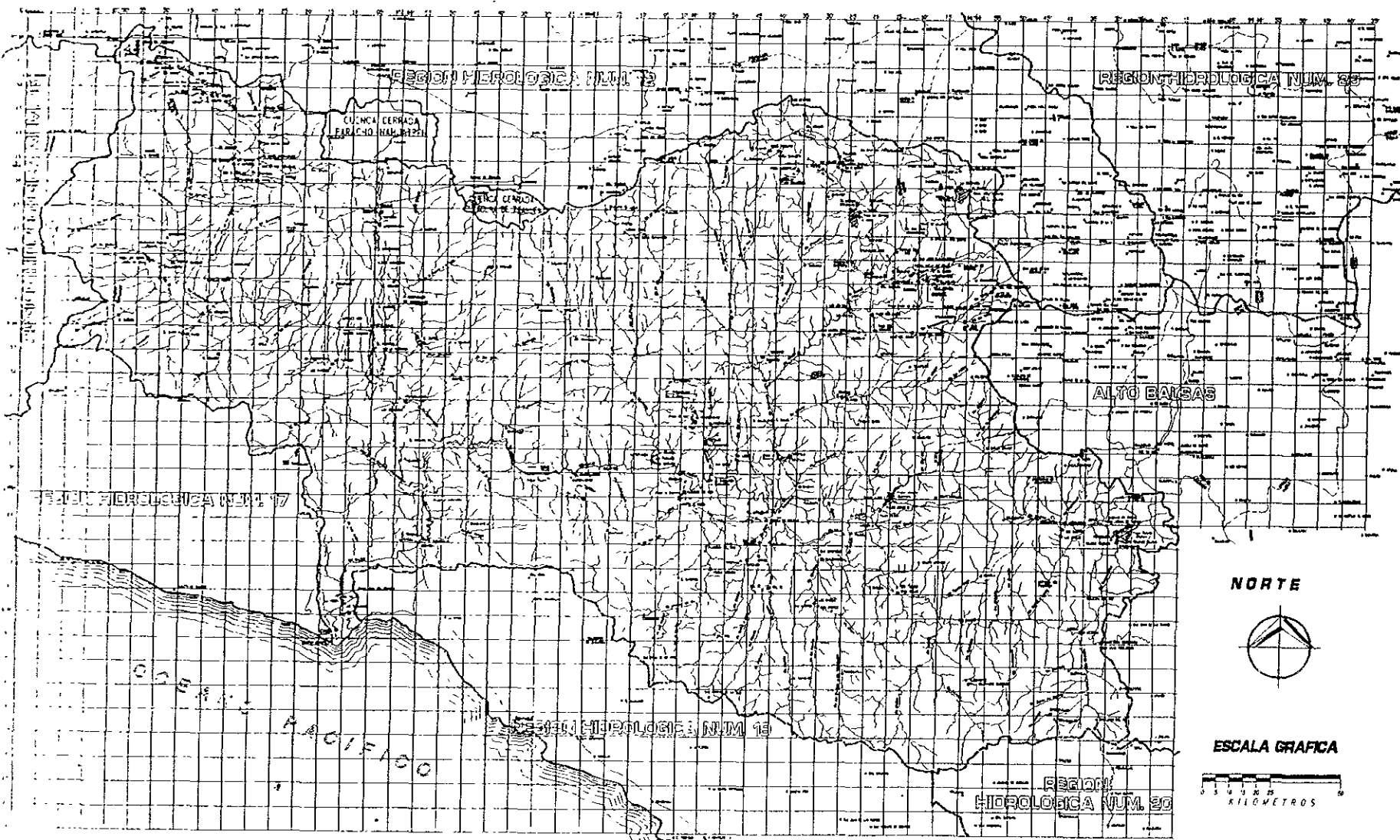
Debido a esto, en el presente trabajo, se describe como un Proyecto separado, pero que finalmente integra el Sistema Cutzamala como la cuarta y última etapa.

1.1.- BENEFICIOS DEL SISTEMA CUTZAMALA

La ZMCM conformada por el D.F. y 27 municipios conurbados del Estado de México, recibe un caudal promedio aproximado de 65 m³/s de agua potable

REGION HIDROLOGICA NUM. 18

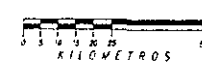
CUENCA DEL MEDIO Y BAJO BALSAS



NORTE



ESCALA GRAFICA



BIMBOLOGIA

- 18 LINEA DE REGION
- 17 LINEA DE REGION
- 16 LINEA DE REGION
- 15 LINEA DE REGION
- 14 LINEA DE REGION
- 13 LINEA DE REGION
- 12 LINEA DE REGION
- 11 LINEA DE REGION
- 10 LINEA DE REGION
- 9 LINEA DE REGION
- 8 LINEA DE REGION
- 7 LINEA DE REGION
- 6 LINEA DE REGION
- 5 LINEA DE REGION
- 4 LINEA DE REGION
- 3 LINEA DE REGION
- 2 LINEA DE REGION
- 1 LINEA DE REGION

ESTACIONES HIDROMETRICAS

- PUNTO DE ESCALA, ALTORES Y UNIDADES
- PUNTO DE ESCALA Y ALTORES
- PUNTO DE ESCALA
- ESTANCIAS
- × ESTANCIAS

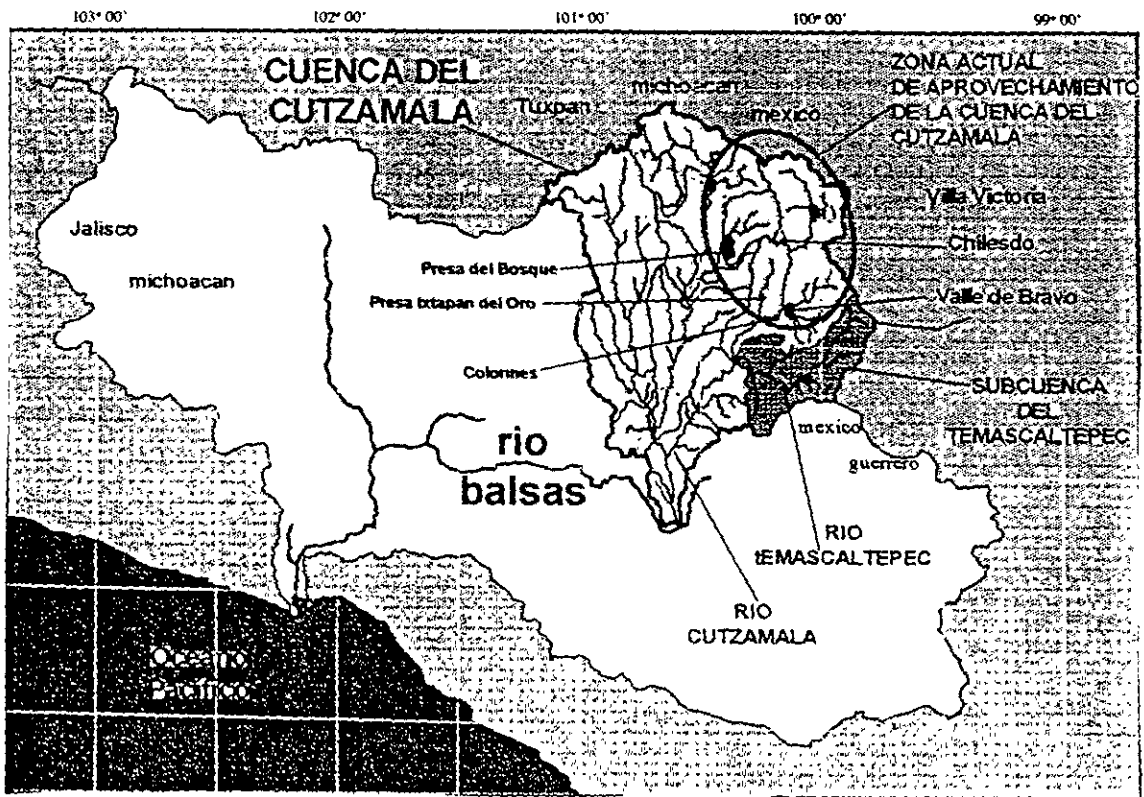
ESTACIONES CLIMATOLOGICAS

- ESTACIONES DE ALTORES METEOROLOGICAS
- OTROS ESTANCIAS
- ESTANCIAS

Mapa 2.- Region Hidrológica Número 18, Cuenca del Balsas

LOCALIZACION





Mapa 3.-Cuenca del Río Cutzamala

La CNA proporciona aproximadamente el 35% (23m³/s), del cual el Sistema Cutzamala en sus tres etapas construidas hasta la fecha, está diseñado para aportar 19 m³/s y en su etapa final se incrementará a 24 m³/s con el Proyecto Temascaltepec.

Por otro lado, se han llevado a cabo obras productivas y de apoyo a la comunidad rural de las zonas que forman parte del Sistema Cutzamala como: canales de riego, caminos de acceso, sistemas de agua potable y programas de saneamiento. También se crearon fuentes de trabajo y concesiones de los acarreos con habitantes de la zona.

Dentro de los beneficios del Sistema Cutzamala destacan por su importancia las obras correspondientes a las poblaciones de Valle de Bravo y Colorines donde se realizaron trabajos de rehabilitación y ampliación de los sistemas de agua potable y el saneamiento de la presa Valle de Bravo.

La rehabilitación y ampliación del sistema de agua potable de Valle de Bravo consiste fundamentalmente en la captación del Manantial Eligio o Los Guadarrama, mediante una línea de conducción de 7.5 km de longitud, la construcción de 9 tanques de almacenamiento y la rehabilitación de la red primaria de distribución.

Con estas obras se aumentó la cantidad suministrada de 60 l/s con la que se abastecía a una población de 15 000 habitantes a 140 l/s, cantidad suficiente para abastecer a una población estimada de 35 000 habitantes en el año 2000.

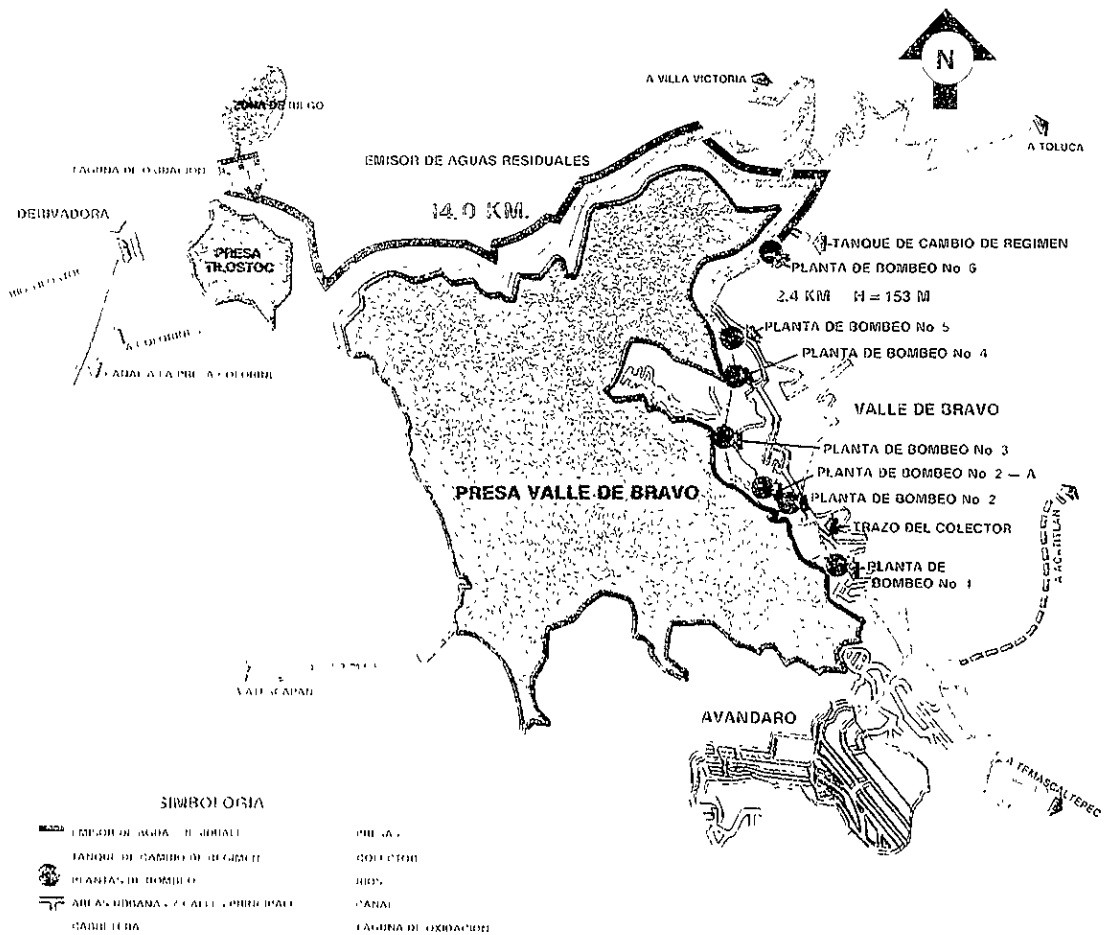
Para conservar el entorno natural en el área de influencia del Sistema Cutzamala, se ha establecido un programa de reforestación en las zonas donde se ubican las estructuras y a lo largo de la zona de conducción, para acrecentar el recurso forestal tratando de compensar la afectación que implicó la ejecución de las obras

Otro beneficio a nivel regional es el obtenido con la ejecución de los sistemas de saneamiento de las Presas Valle de Bravo y Colorines, mediante el desvío de las aguas negras que descargaban en los lagos, para conducir las fuera de sus cuencas

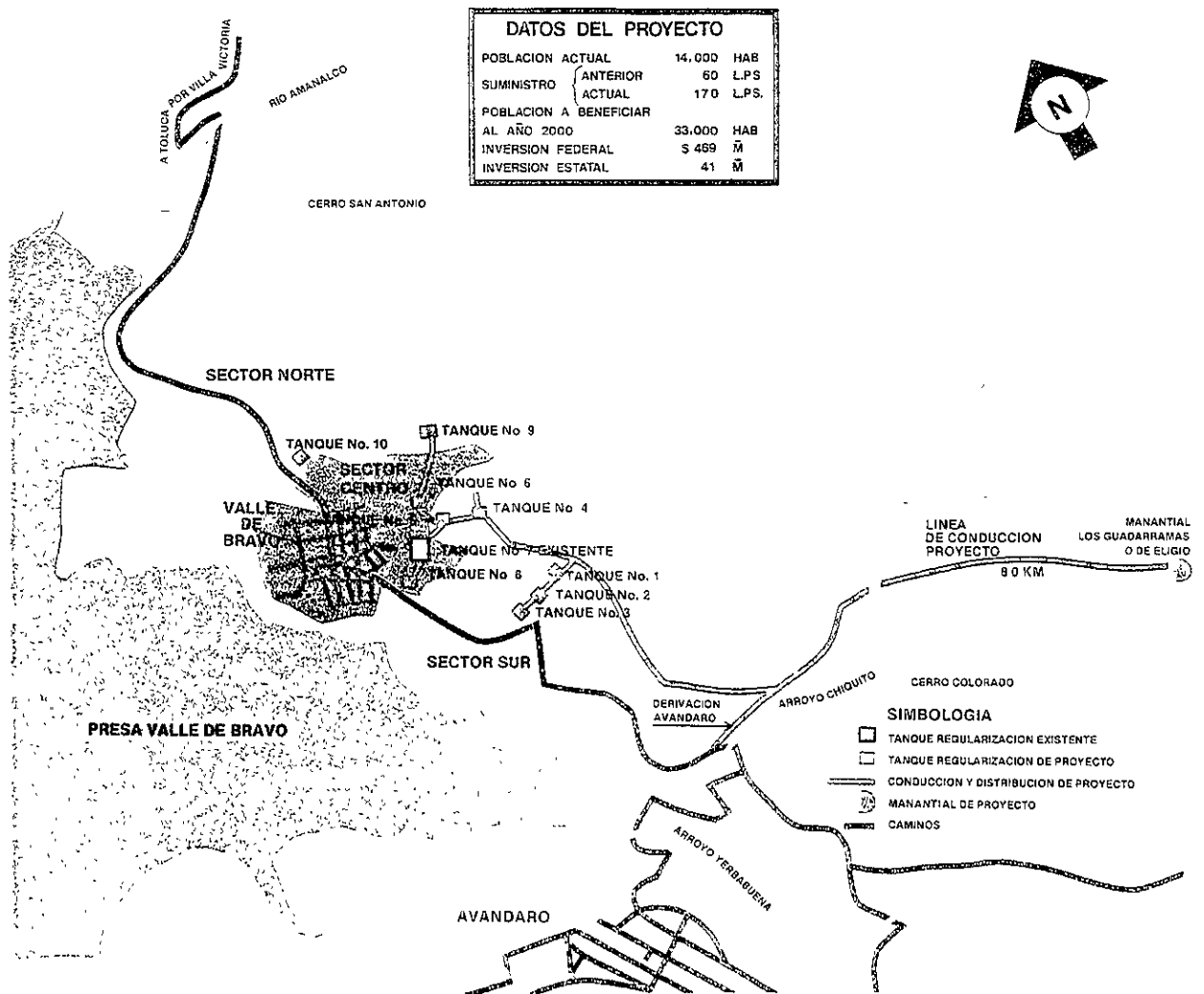
Este saneamiento reduce la concentración de microorganismos de todo tipo y por lo tanto del lirio acuático y otras malezas, que se convierten en plaga al eliminar los nutrientes que aportan las aguas negras, independientemente de los trabajos que a través de medios mecánicos se realizan para su desalojo.

Con todo esto, las condiciones de las aguas que almacenan estas presas son mejores en todos sentidos, principalmente para la conservación ecológica de la región y su función como centros turísticos y recreativos, incrementando el bienestar de habitantes y turistas.

En los **mapas 4,5 y 6 pags.21,22 y 23** se presentan las obras correspondientes a las poblaciones de Valle de Bravo y Colorines.



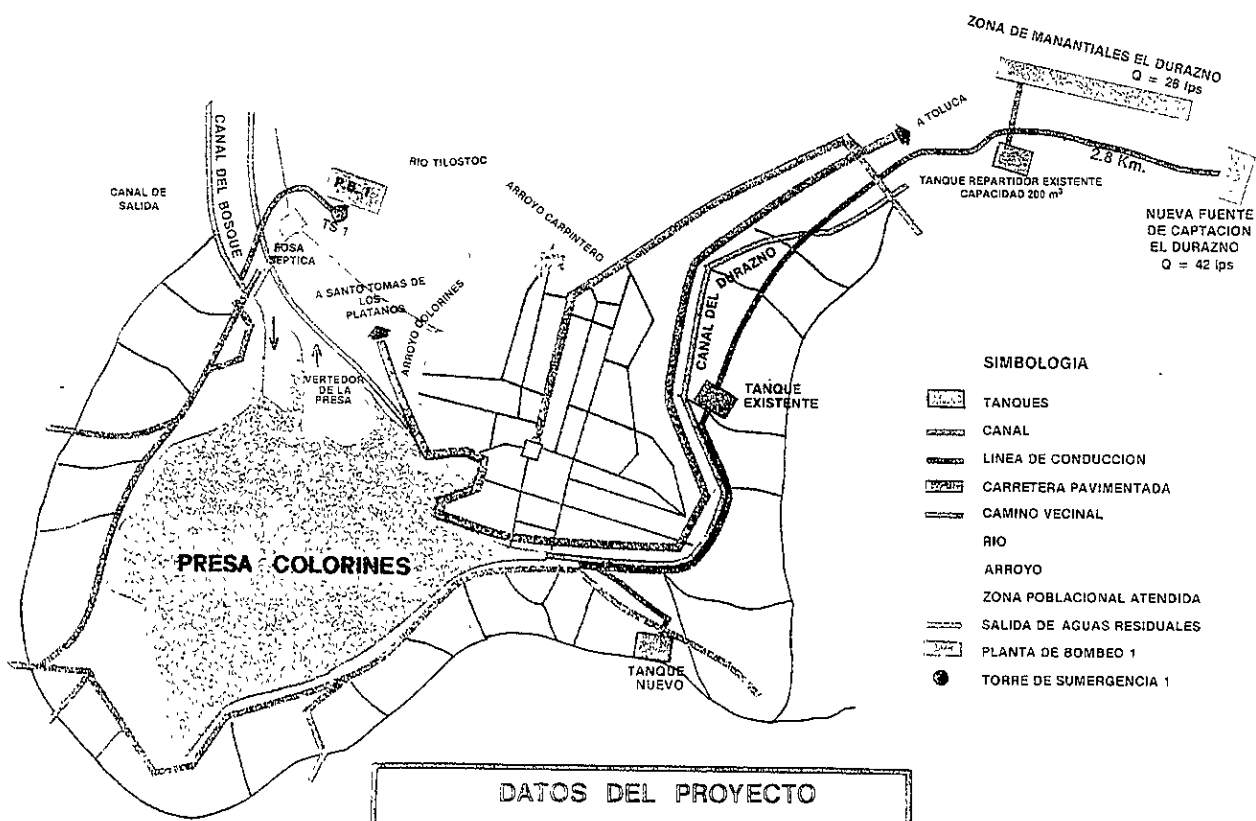
Mapa 4.-Sistema de Saneamiento de Valle de Bravo



DATOS DEL PROYECTO		
POBLACION ACTUAL	14,000	HAB
SUMINISTRO	ANTERIOR	60 L.P.S.
	ACTUAL	170 L.P.S.
POBLACION A BENEFICIAR AL AÑO 2000	33,000	HAB
INVERSION FEDERAL	\$ 469	M
INVERSION ESTATAL	41	M



Mapa 5.-Rehabilitación del Sistema de agua potable de Valle de Bravo



DATOS DEL PROYECTO	
POBLACION ACTUAL	7,573 HAB.
POBLACION A BENEFICIAR CON AGUA POTABLE	20,000 HAB.
DOTACION PROMEDIO	320 L/H/D
FUENTE DE ABASTECIMIENTO	MANANTIAL "EL DURAZNO"
POBLACION A BENEFICIAR CON ALCANTARILLADO	13,000 HAB.
OBRA TERMINADA	MAYO DE 1986
INVERSION FEDERAL	341.9 MILLONES DE PESOS

Mapa 6.-Sistema de agua potable y alcantarillado de Colorines

1.2.-DESCRIPCIÓN GENERAL

El Río Cutzamala es uno de los principales afluentes del Río Balsas. A lo largo de sus 262 km de recorrido recibe los siguientes nombres: Tajimaroa, Turundeo, Río Grande, Tuxpan, Zitácuaro y Cutzamala.

Se origina de la confluencia de dos ríos principalmente, el Río Zitácuaro y el Río Tilostoc, ambos originados por escurrimientos provenientes de subcuencas que finalmente drenan al Río Cutzamala.

El Río Zitácuaro es formado por la confluencia de diversos ríos a lo largo de su recorrido, entre los que destacan: el río Tuxpan, Agostitlán, Chiquito, Salitre y Chinapa.

El Río Tilostoc se forma por la confluencia de tres ríos principales: el Río Ixtapan del Oro, el San José Malacatepec y el Temascaltepec.

Estos escurrimientos se unen para formar el Río Cutzamala en el sitio donde se ubica la estación hidrométrica **El Gallo**, generando un área de cuenca de 10 738.7 km².

Después de esta estación el río recibe las aportaciones del Río Ixtapan y finalmente el río recorre 31 km. hasta derivar su caudal al Río Balsas.

Dentro de los afluentes del Río Cutzamala se encuentran una serie de ríos y arroyos, los cuales se forman de los escurrimientos provenientes de cuencas con altitudes hasta de 4 500 m.s.n.m., como es el caso del Río Temascaltepec, el cual se origina en la unión del Río Verde y el Río del Vado que descienden del Nevado de Toluca desde 4 500 y 3 500 m.s.n.m., respectivamente. En la **tabla 2 pag.25** se muestran los principales afluentes del Río Cutzamala, y en la **figura 1 pag.26** la hidrografía de la Cuenca del Río Cutzamala.

El proyecto para el aprovechamiento de la Cuenca alta del Río Cutzamala contempló los recursos hidráulicos utilizados en la generación de energía eléctrica por parte del Sistema Hidroeléctrico Miguel Alemán de la CFE ubicado en elevaciones superiores a los 1 400 m.s.n.m. mediante captaciones en las presas de almacenamiento Villa Victoria y Valle de Bravo, así como en el Vaso regulador de Colorines, alimentado por un sistema de presas interconectadas que comprende: Tuxpan, El Bosque e Ixtapan del Oro.

La CFE planteó a la CAVM la necesidad de dejar reservas para la generación de energía eléctrica en horas pico en el SHMA, con un gasto a utilizar de 3 m³/s a la altura de Colorines, lo que ofrecería la posibilidad de que las plantas de generación de Ixtapantongo, Santa Bárbara y Tingambato continuaran operando. En el **mapa 7 pag.27** se muestra el SHMA y en la **Tabla 3 pag.28** las plantas que lo integran.

No.	Afluente	origen (m.s.n.m.)
1	Río Agostillan	2 700
2	Río Pocuato	2 600
3	Río Aporo	2 550
4	Río Chiquito	2 950
5	Arroyo El Fresno	2 900
6	Río Zitácuaro	2 700
7	Arroyo La Garita	2 100
8	Río Tilostoc	2 700
9	Arroyo Compañía	3 000
10	Arroyo El Molino	2 600
11	Arroyo San Diego	3 000
12	Río Amanalco	3 500
13	Río Valle de Bravo	2 700
14	Arroyo Santa Mónica	2 600
15	Arroyo González	2 600
16	Arroyo Carrizal	2 300
17	Río Ixtapan del Oro	3 250
18	Río Temascaltepec	4 500
19	Río Verde	4 500
20	Río del Volado	3 100
21	Arroyo Los Sabinos	1 500
22	Río Ixtapan	3 000
23	Arroyo San Lucas	1 250

Tabla 2.-Principales afluentes del Río Cutzamala



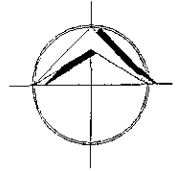
SEMARINAP

SISTEMA HIDROELECTRICO MIGUEL ALEMAN



GERENCIA REGIONAL DE AGUAS DEL VALLE DE MEXICO
COORDINACION DE ASESORES

NORTE

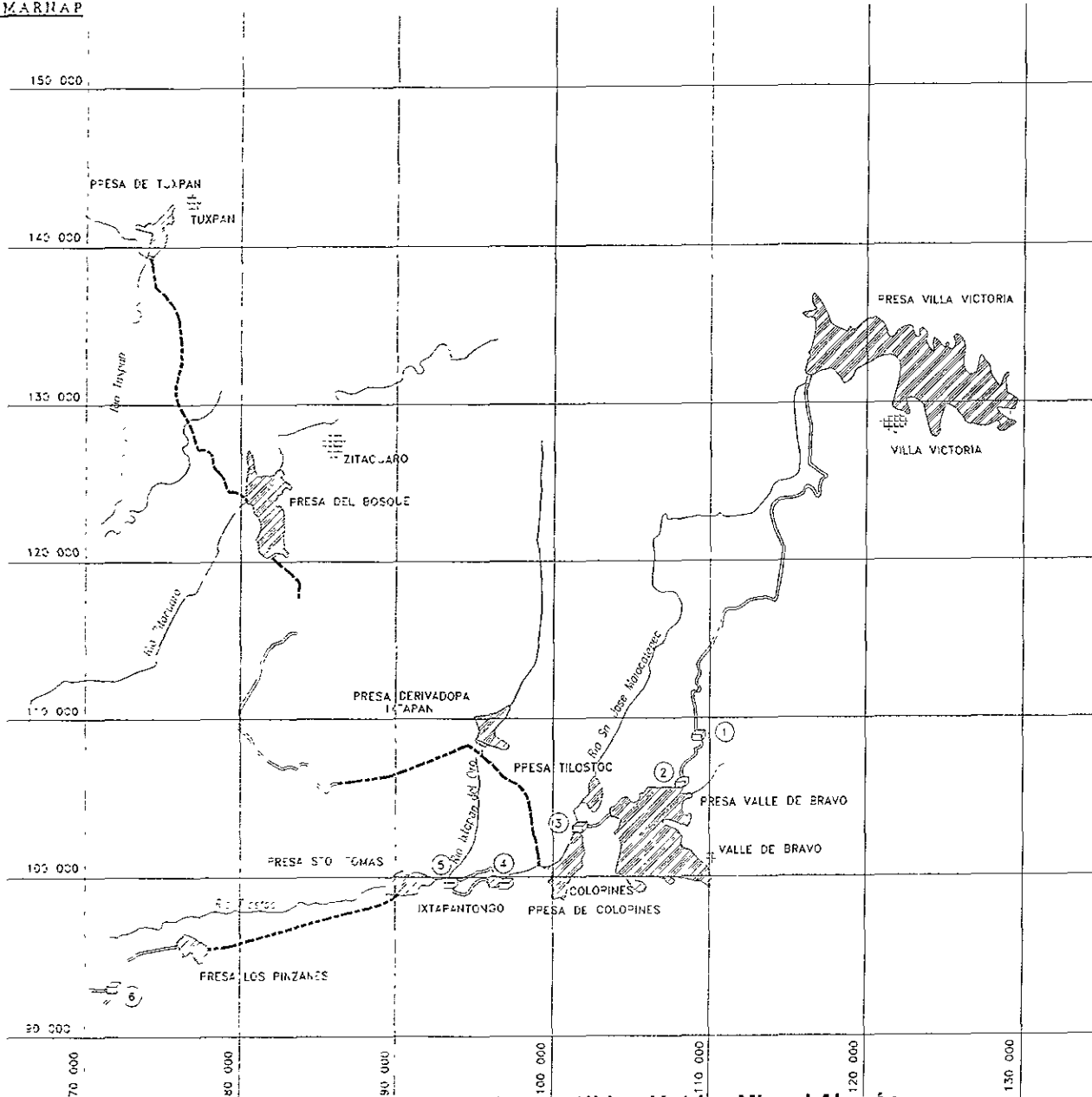


SIMBOLOGIA

- CANAL
- TUNEL
- RIO
- PLANTA
- POBLACION
- PRESAS

No	NOMBRE DE LA PLANTA	RIO O CORRIENTE	CAPACIDAD INSTALADA K.W.
1	ING. H.M. D'NEZA	RIO SALTIRE	25 200
2	SAH BARTOLO	RIO SALTIRE	18 000
3	EL DURAZNO	V. DE BRAVO	18 000
4	IXTAPANTONGO	RIO TILOSTOC	160 800
5	STA BARBARA	RIO TILOSTOC	67 575
6	TINGAMBATO	RIO TILOSTOC	135 000

LOCALIZACION



Mapa 7.- Sistema Hidroeléctrico Miguel Alemán

PLANTA	CAP.INSTALADA ORIGINAL (KW)	CAP.INSTALADA ACTUAL (KW)
Ing. Hector Martinez de Meza	25 200	Fuera de servicio
San Bartolo	18 000	Fuera de servicio
El Durazno	18 000	* variable
Ixtapantongo	100 800	100 800
Santa Barbara	67 575	67 575
Tingambato	135 000	135 000

Tabla 3.- Plantas que integran el Sistema Hidroeléctrico Miguel Alemán.

* La operación de la planta El Durazno quedó condicionada para aprovechar los derrames de la Presa Valle de Bravo en los periodos que se presenten.

En general el Sistema Cutzamala comprende el aprovechamiento de 7 presas, 3 de *Almacenamiento* y 3 de *Derivación*, correspondientes a la Cuenca alta del Río Cutzamala; la construcción de un vaso de regulación horaria y un acueducto de 127 km, que incluye 21 km de túneles y 7.5 km de canal; una planta potabilizadora con capacidad de 24 m³/s; 6 plantas de bombeo para vencer un desnivel aproximado de 1 100 m, cuya operación requiere de aproximadamente una energía total de 1 650 GWh/; y 24.5 km de túneles dentro de la ZMCM, correspondientes a los ramales Norte y Sur de 12.5 y 12 km respectivamente, los cuales parten del **Túnel Analco-San José** y se encargan de la distribución a la población mediante el Acueducto Perimetral.

En el Sistema se identificaron diversas rutas factibles tomando en cuenta: características topográficas, ubicación de las obras de toma, plantas de bombeo y planta potabilizadora; vías de comunicación; tenencia de la tierra; conducciones ya existentes y, en general, la infraestructura disponible que facilitara la construcción, operación y mantenimiento del acueducto y de las principales estructuras del sistema.

El trazo del acueducto mostró que la conducción de agua podía realizarse en base a conducciones superficiales y subterráneas, empleando estas últimas en lugares donde el abrupto del terreno dificulta la conducción superficial.

De este modo, la conducción superficial en canales o a presión se proyectó en función de las conducciones de cada tramo.

La conducción con canales abiertos se empleó en los tramos donde se consideró poco probable la existencia de extracciones de agua clandestinas, es decir donde no hay superficies para riego. Para zonas donde existen áreas de cultivo o localidades de cierta importancia se planteó la necesidad de cubrir la conducción.

Para tramos de conducción a alta presión, así como en las zonas de succión y descarga de las P.B. se proyectó el empleo de tubería metálica, y en tramos de baja presión se consideró tubería de concreto reforzado.

1.2.1.-PRIMERA ETAPA

Las obras del sistema Cutzamala se iniciaron en 1977 con la construcción del Túnel **Analco-San José**, para continuar 3 años después con las correspondientes a la Captación de la Presa Villa Victoria, que entró en funcionamiento en el mes de Mayo de 1982, aportando un gasto de 4 m³/s y conducidos por gravedad a la planta potabilizadora **Los Berros** a través del canal Héctor Martínez de Meza de 12.9 km de longitud. Una vez potabilizada, el agua es bombeada desde la P.B.5 y conducida mediante un acueducto de tubería de concreto preesforzado con $\phi = 2.5$ m, capacidad de 12 m³/s y longitud de 77 km, el cual atraviesa la Sierra de Las Cruces.

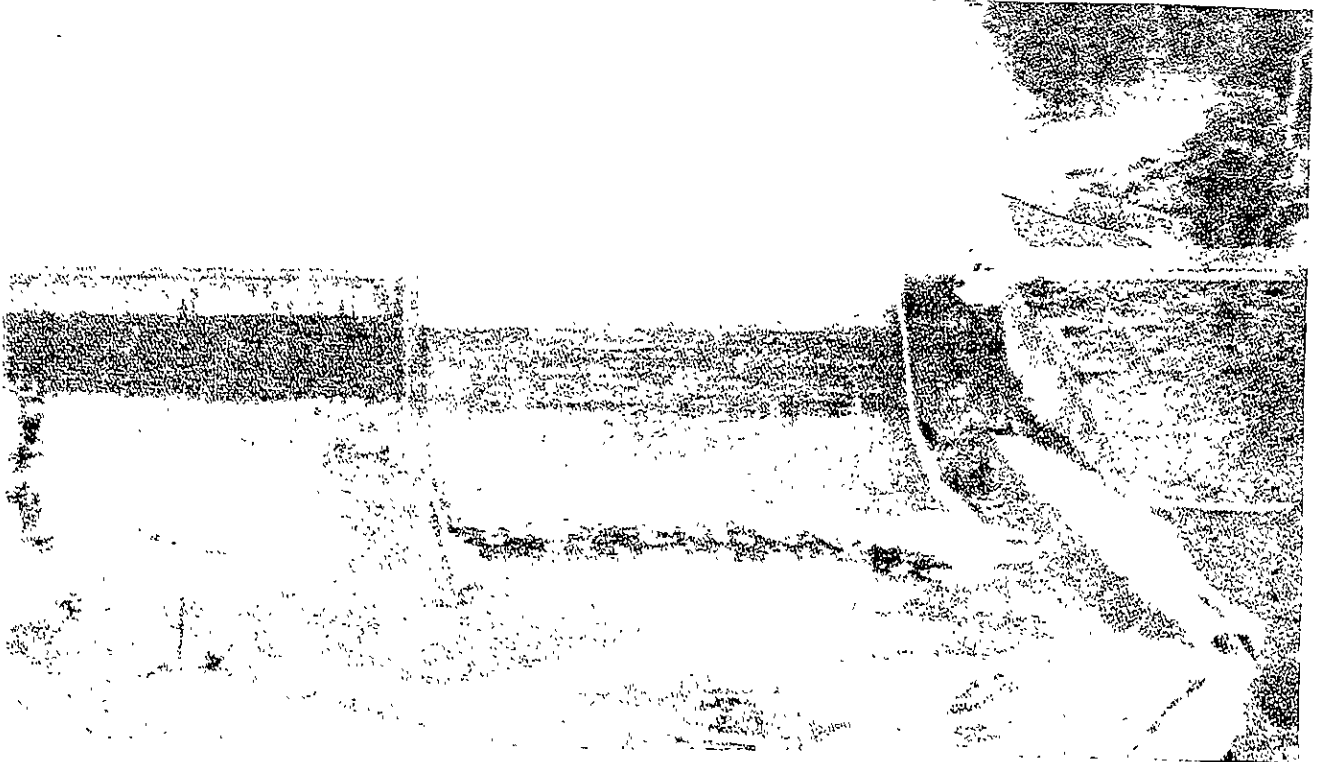
Es importante destacar que la Presa Villa Victoria es la única que puede abastecer por gravedad la Planta Potabilizadora. En la **Figura 2** se muestra la Planta y Perfil del Sistema Cutzamala

L.2.2.- SEGUNDA ETAPA:

La segunda etapa del Sistema Cutzamala se puso en operación en el mes de Julio de 1985, esta etapa está diseñada para captar 6 m³/s de la Presa Valle de Bravo, y conducir el caudal hacia la Planta Potabilizadora **Los Berros**. La conducción está integrada por tubería de acero de alta y baja presión en una longitud de 3.7 km con $\phi = 1.83$ m hasta 3.27 m, capacidad para conducir 12 m³/s; tubería de concreto preesforzado con $\phi = 2.50$ m en una longitud de 14.5 km, así como 3 plantas de bombeo: P.B.2, P.B.3 Y P.B.4 con cargas dinámicas de 122 m, 350 m y 350 m respectivamente.

En esta segunda etapa se construyó el Vaso Regulador Donato Guerra con capacidad de 300 000 m³ y que puede enviar por gravedad 19 m³/s a la Planta Potabilizadora, lo que asegura un suministro continuo durante las 24 horas del día, ya que como se mencionó, el Proyecto del Sistema Cutzamala contempla el uso combinado de las Presas Valle de Bravo y Colorines para la generación de energía eléctrica en las horas pico.

A partir de esta obra, se conduce el agua mediante un canal abierto de sección trapecial con longitud de 7.5 km y capacidad de 24 m³/s hasta llegar al Portal de entrada del Túnel Agua Escondida, de sección herradura de 4.2 m y longitud de 3.1 km. Del portal de salida de este túnel se conduce el agua mediante tubería de concreto hasta el tanque receptor de aguas crudas ubicado en la Planta Potabilizadora **Los Berros**.



Fotografía 5.- Presa Villa Victoria

2.25 m y una altura de 62 m, siendo la más grande y alta del Sistema Cutzamala, y construida en tan solo 42 días.

A partir de esta torre, para conducir el agua se construyeron dos líneas de tubería de concreto preesforzado de 2.50 m de diámetro hasta la P.B.2 aprovechando el Túnel El Durazno con una longitud de 2 km. De esta planta, la segunda línea de conducción hacia el **Túnel Analco- San José** cruzando la Barranca de Berros y el Río Lerma.

Destacan también en esta etapa las segundas rampas de presión de acero de las Plantas de bombeo: 2,3 y 4, así como la construcción del cuarto módulo de potabilización de 4 m³/s .

SUBSISTEMA CHILESDO:

Presas Derivadora Chilesdo:

Está formada por una presa de concreto de sección tipo gravedad, corona de 2.50 m de ancho, altura máxima de 14 m y 65 m de longitud total (18 m con sección vertedora de cresta libre); desarenador con compuerta radial de 3.50 m por 6 m que sirve además como Obra de Excedencias y Obra de Toma controlada con compuertas deslizantes. Está diseñada para un gasto máximo de 5.1 m³/s y cuenta con un puente peatonal sobre la corona de la presa.

De la Obra de Toma a la Torre de Sumergencia 6, se instaló tubería de acero de 1.52 m de diámetro y 700 m de longitud, incluyendo un Tubo Puente sobre el Río San José Malacatepec. La conducción que llega hasta la estructura de incorporación al Sistema Cutzamala, consta de dos tuberías de concreto preesforzado con un tramo inicial de 1.37 m de diámetro y el resto de 1.22 m, cubriendo una longitud de 8 65 km cada una.

La Rampa de baja presión tiene 83 m de longitud comprendida entre la bifurcación a la Torre de Sumergencia 6 y el Múltiple de Succión de la propia Planta. La de alta presión tiene 2.4 km de longitud hasta la bifurcación a la tubería de conducción.

El caudal captado por el Subsistema Chilesdo se incorpora al Sistema Cutzamala a través de una estructura de incorporación ubicada a 400 m del tanque de recepción de aguas crudas de la Planta Potabilizadora Los Berros.

1.2.4.- CUARTA ETAPA

La cuarta etapa del Sistema Cutzamala, se denomina **Proyecto Temascaltepec**.

El objetivo de este proyecto, es suministrar al Sistema Cutzamala 5 m³/s conducidos a la Presa Valle de Bravo, con lo cual se completa el Gasto de Proyecto de el Sistema Cutzamala en sus 4 etapas (24 m³/s) para abastecer a la ZMCM en forma continua y confiable.

El proyecto consiste en el aprovechamiento del Río Temascaltepec y se divide en 2 etapas. La primera permitirá la captación de la parte alta de la Cuenca hasta la elevación 2200 m.s.n.m. mediante la construcción de dos derivadoras y la conducción por gravedad a lo largo de 38 km para captar 2 m³/s.

La segunda consistirá básicamente en la construcción de la presa de almacenamiento llamada El Tule, localizada sobre el Río Temascaltepec, que abastecerá con un caudal de 3 m³/s a una planta de bombeo que la elevará hasta un tanque de donde a través de un túnel de 17 km de longitud, la dejará fluir por gravedad hasta el vaso de la presa Valle de Bravo.

El resultado de estas dos aportaciones, será el suministro adicional de 5 m³/s de agua al Sistema Cutzamala.

Aprovechamiento de la Cuenca Alta del Río Temascaltepec.

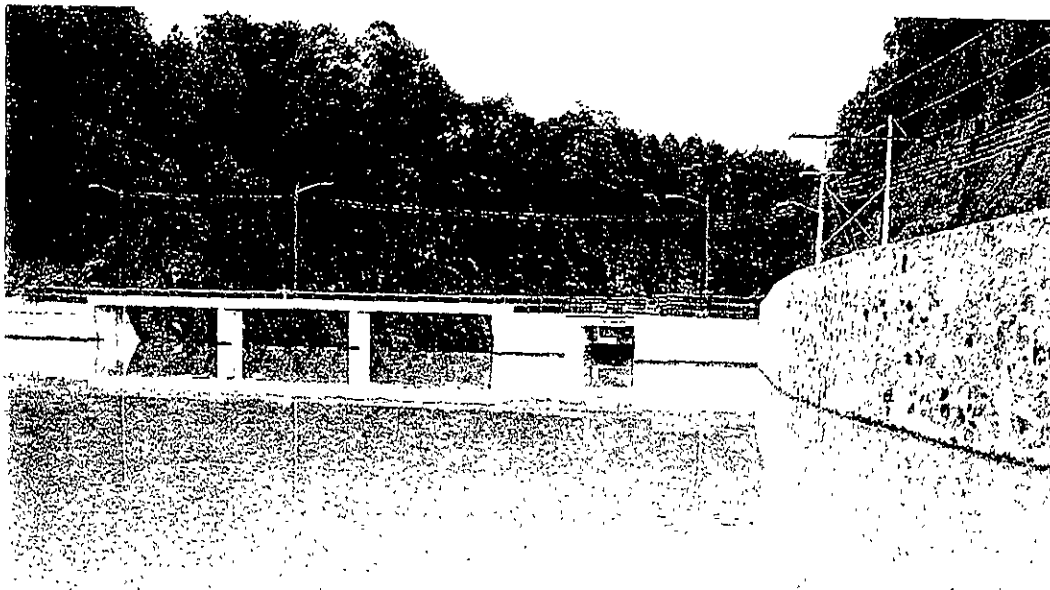
Con el propósito de eliminar bombeos, se estudió la posibilidad de aprovechar la parte alta de la Cuenca Alta del Río Temascaltepec, mediante la construcción de presas derivadoras desplantadas a una elevación adecuada, permitiendo cruzar la cuenca del Río Temascaltepec a la propia Presa Valle de Bravo.

Así, el Río Palo Amarillo y el Río La Comunidad aportarán 420 y 2400 l/s respectivamente, (2 820 l/s), que debido a aprovechamientos locales y pérdidas en la conducción puede verse reducida esta cantidad a 2 000 l/s como caudal promedio de incorporación al Sistema Cutzamala.

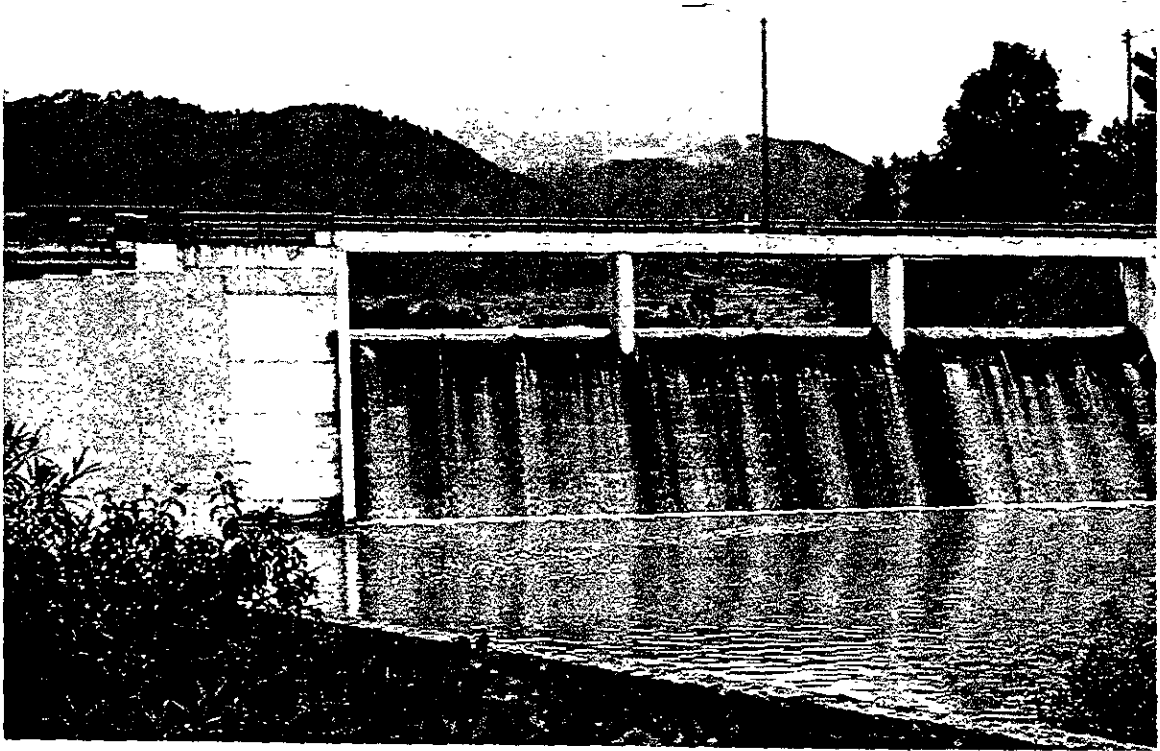
La derivadora Palo Amarillo, cuenta con una cuenca aportadora de 30 km², se localiza aproximadamente a 300 m aguas arriba del cruce del río con la carretera Temascaltepec-Toluca, tiene una altura de 5m y un volumen de mampostería de 1 000 m³. La conducción de ésta a la Derivadora L a Comunidad con 5.5 km.de Longitud y capacidad para conducir 7000l/s, se hará mediante la construcción de un canal revestido de concreto.



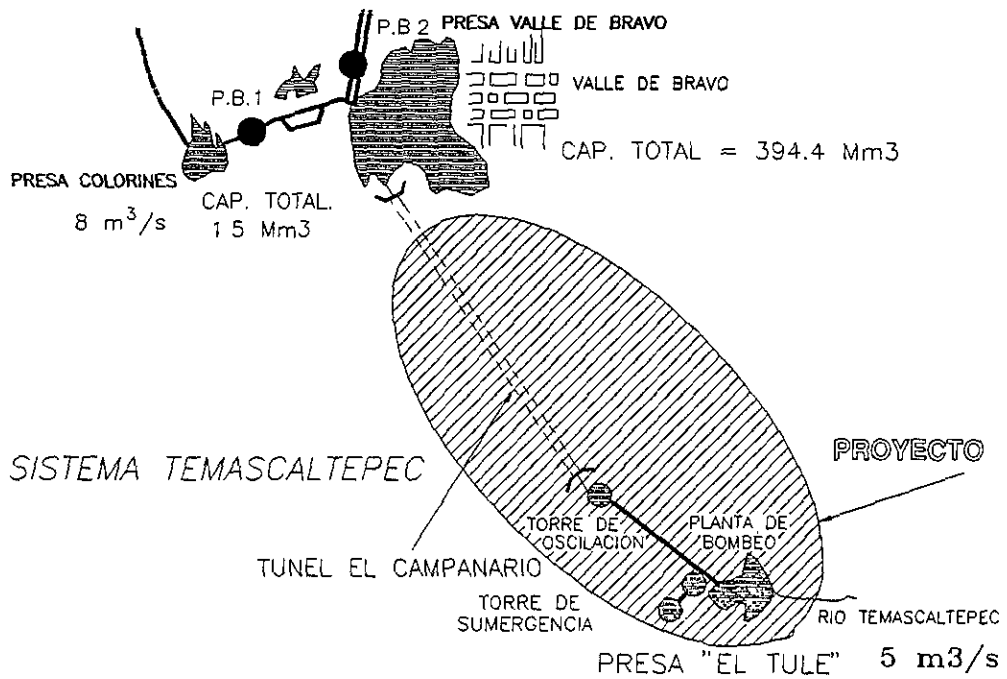
Fotografía 6.- Presa Valle de Bravo



Fotografía 7.- Obra de toma de la Presa Chilesdo



Fotografía 8.- Obra de toma de la Presa Colorines



Fotografía 9.-Proyecto Temascaltepec

I.3.-PLANTAS DE BOMBEO:

El Sistema Cutzamala cuenta en sus tres primeras etapas con 6 plantas de bombeo , las cuales alojan conjuntos motor-bomba, válvulas de mariposa, válvulas esféricas, gruas viajeras, equipos de potencia reactiva, así como 6 subestaciones eléctricas de tipo exterior, una por cada planta.

En total las 6 plantas de bombeo albergan 35 bombas, de las cuales 29 tienen una capacidad de 4 m³/s y 6 de de 1.7 m³/s. Todas las bombas son centrífugas horizontales de doble succión, de 2 pasos en la PB 2 y PB 3, y de un paso en PB 1, PB 4, PB5 y PB6. **en la tabla 4** se muestran las principales características de las plantas de bombeo.

Número de planta	Eje de descarga	Q por unidad	Unidades	Q total	Carga	Potencia Unitaria		Potencia Planta		
	(msnm)	(m ³ /s)				(kw)	(HP)	(kw)	(HP)	
PB 1	1571.30	4.0	5	20	157.30	7960	10670	39800	53350	
PB2	1723.00	4.0	6	24	121.80	5550	7440	33300	44640	
PB3	1833.95	4.0	6	24	349.30	16500	22130	99000	132780	
PB4	2177.75	4.0	6	24	349.30	16500	22130	99000	132780	
PB5	2497.00	4.0	6	24	174.20	7960	10670	47760	64020	
PB5A	2497.00	1.7	3	5.1	174.20	3170	4250	9510	12750	
PB6	2323.13	1.7	3	5.1	275.00	4200	5630	12600	16890	
Total								340970	457210	

Tabla 4.- Características de las plantas de bombeo que integran el Sistema Cutzamala

Datos generales de las Plantas de Bombeo:

PLANTA DE BOMBEO 1

Equipada con 5 bombas con capacidad total instalada de 53 000 H.P.
Caudal máximo de operación 20 m³/s
Carga dinámica 157 m.

PLANTA DE BOMBEO 2

Equipada con 6 bombas con capacidad total instalada de 45 000 H.P.
Caudal máximo de operación 24 m³/s
Carga dinámica 122 m.

PLANTAS DE BOMBEO 3 y 4

Equipada cada una con 6 bombas con capacidad total instalada de 133 000 H.P.
Caudal máximo de operación 24 m³/s
Carga dinámica 350 m.

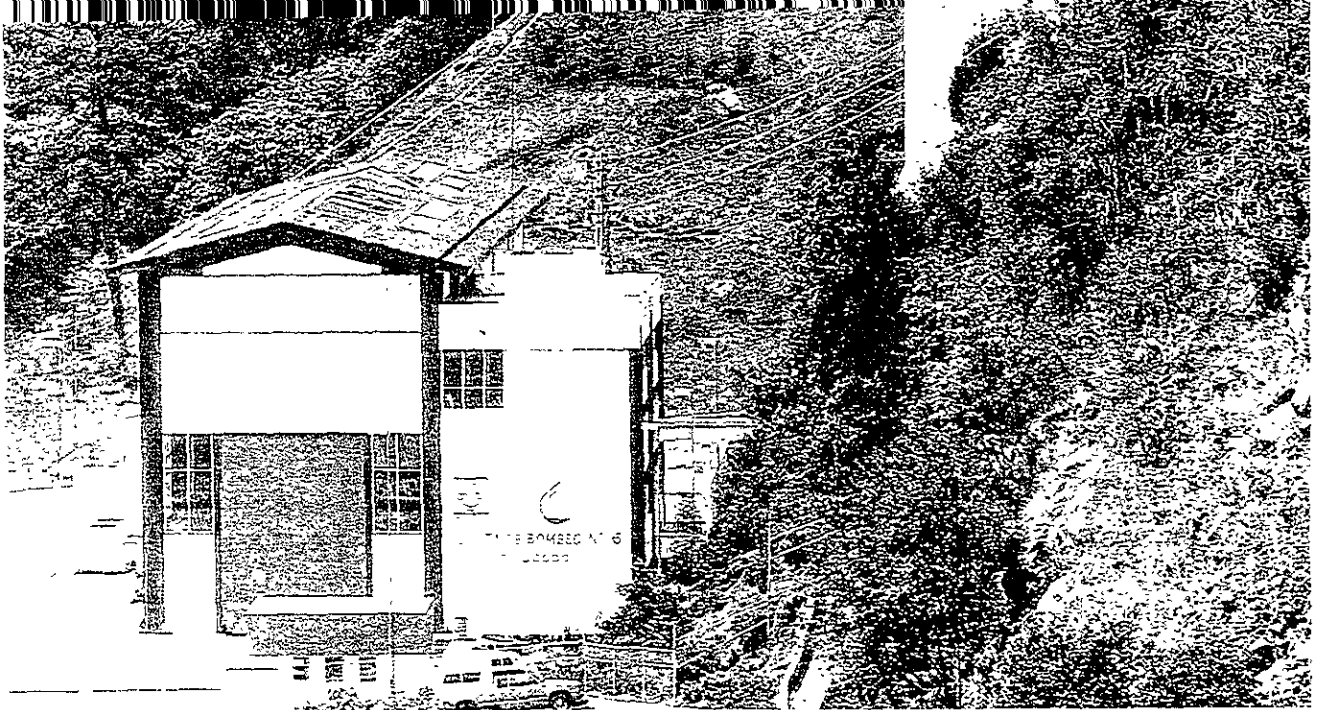
PLANTA DE BOMBEO 5

Equipada con 9 bombas con capacidad total instalada de 77 000 H.P.
Caudal máximo de operación 29.1 m³/s
Carga dinámica 174 m

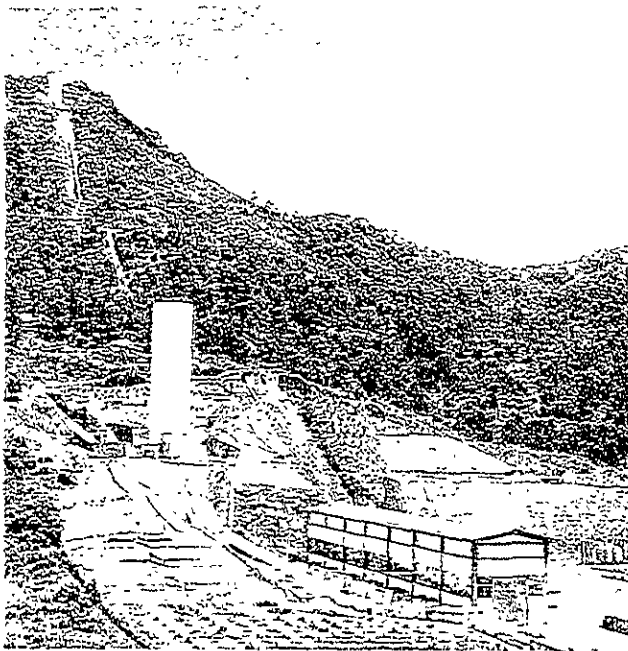
PLANTA DE BOMBEO 6

Equipada con capacidad total instalada de 17 000 H.P.
Caudal máximo de operación de 5.1 m³/s
Carga dinámica 213 m.

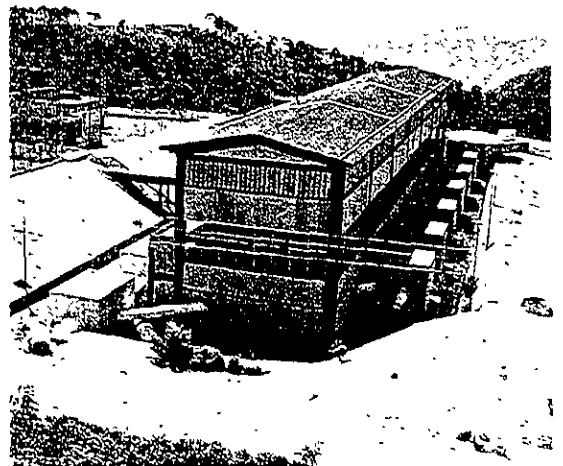
Para comprender mejor la magnitud de estas plantas, se puede utilizar la siguiente analogía. Las plantas de bombeo del sistema cutzamala en sus 4 etapas permiten mover el agua equivalente a 24 tinacos de 1 000 litros cada uno a una altura aproximada de 1 100 m, aproximadamente 7 veces la altura de la Torre Latinoamericana de la Ciudad de México, y a una distancia de 127 km.



Fotografía 10.-Planta de Bombeo 6



Fotografía 11.-Planta de Bombeo 3



Fotografía 12.-Planta de Bombeo 4

1.3.1.-CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA

El Sistema Cutzamala cuenta con 35 bombas, teniendo 29 de ellas 4 m³/s de capacidad y 6 1.7 m³/s. Estas bombas son accionadas con motores eléctricos con una potencia hasta de 22 000 H.P. , siendo la potencia total de 457 000 H.P. (Ver tabla 4)

La energía que acciona estos motores y en general todas las instalaciones eléctricas del sistema, es suministrada por la CFE, a través de sus sistemas Infiernillo-Nopala, existiendo una subestación principal llamada "Donato Guerra" la cual reduce la tensión de 400 kv a 115 kv, con 2 bancos de transformación de donde se distribuye la energía a las plantas de bombeo, utilizando 8 km de líneas de transmisión de 115 kv

En cada planta para alimentar los motores se requiere de equipo eléctrico especial, consistente en tableros con tensión de 13.8 kv , tableros para servicios auxiliares en baja tensión, controladores programables electrónicos y subestaciones eléctricas para la reducción de la tensión de transmisión de 115 kv a 13.8 kv.

El sistema actua con una linea doble de 400 kv desde la Hidroeléctrica Infiernillo, hasta la subestación eléctrica Nopala. La subestación reductora Donato Guerra de 400 kv a 115 kv suministra energía a las 6 plantas por medio de 2 anillos de alimentación y 2 líneas independientes.

ANILLO 1

Tramo	Longitud (km)
Donato Guerra-PB 5	14.5
PB5-PB6	10.5
PB6-Donato Guerra	7.8

ANILLO 2

Tramo	Longitud (km)
Donato Guerra-PB 1	17.0
PB1-PB2	12.0
PB2-Donato Guerra	8.0

LINEAS INDEPENDIENTES	
Tramo	Longitud (km)
A PB3	85.0
A PB4	85.0

La planta potabilizadora “ Los Berros” es alimentada de la subestación eléctrica de la PB5; el sistema de distribución es subterráneo con tensión de 13.8 kv.

En cada planta de bombeo se construyó una subestación eléctrica reductora de 115 kv a 13.8 kv. En la **tabla 5** se muestra la demanda de las plantas de bombeo.

Planta	Numero de Unidades	Tensión (kv)	Velocidad (RPM)	POTENCIA (Mw)	Eficiencia (%)
1	5	13.8	1200	7.96	97.2
2	6	13.8	1200	5.55	97.0
3	6	13.8	1200	16.50	97.5
4	6	13.8	1200	16.50	97.5
5	6	13.8	1200	7.96	97.2
5A	3	4.2	1800	3.17	97.0
6	3	13.8	1800	4.20	97.0

Tabla 5.-Demanda de los motores de las Plantas de Bombeo

I.5.- TORRES DE OSCILACION Y SUMERGENCIA

Existe en cada planta de bombeo una torre de oscilación y una de sumergencia. Estas torres son de concreto reforzado en forma cilíndrica.

La función de las torres de sumergencia es proporcionar la carga y cantidad de agua que necesitan los equipos de bombeo para poder arrancar.

La función de las torres de oscilación es minimizar los *Fenómeno transitorio* del *Golpe de ariete*, producidos al arrancar o parar los equipos de bombeo y que provoca en las tuberías variaciones de presión, que de no ser controlada, puede producir rupturas o deformaciones en éstas.

Cabe mencionar que la sumergencia en los equipos de la PB 5 es proporcionada por el tanque de aguas claras. En la **tabla 6** se muestran las características de las torres de oscilación y sumergencia.

Procedimiento constructivo: Para todas las torres el procedimiento fué muy similar, salvo algunas pequeñas variaciones.

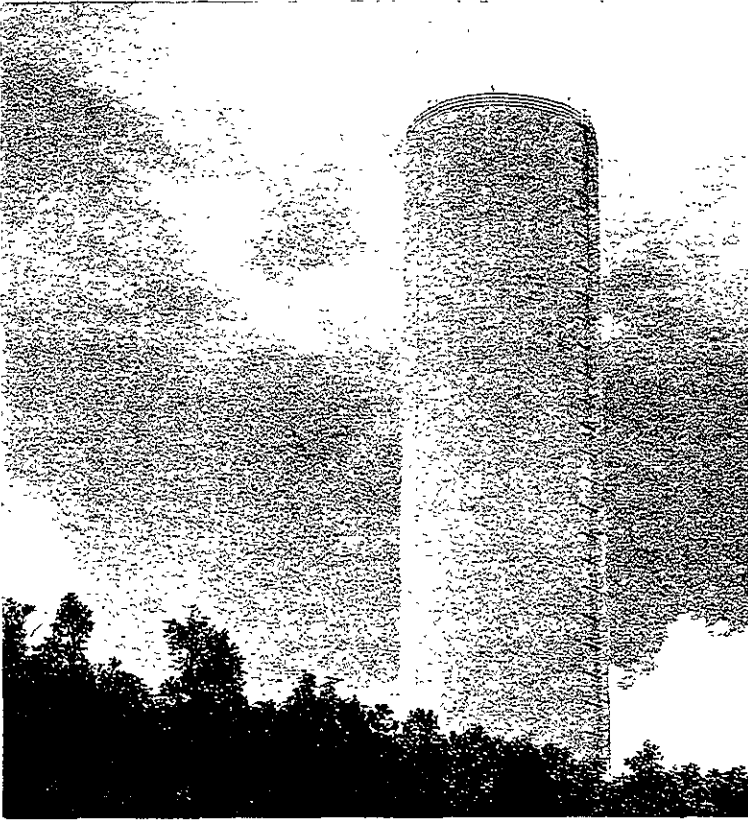
La cimentación de las torres consiste en una zapata superficial de concreto reforzado, colado monolíticamente para resistir las presiones ejercidas por la carga de la columna de agua.

Los cuerpos de las torres fueron construidos de concreto reforzado, empleando en su ejecución el procedimiento de cimbra deslizante para obtener un cuerpo monolítico que absorba las cargas generadas por la columna de agua y tenga la capacidad de impedir filtraciones hacia el exterior.

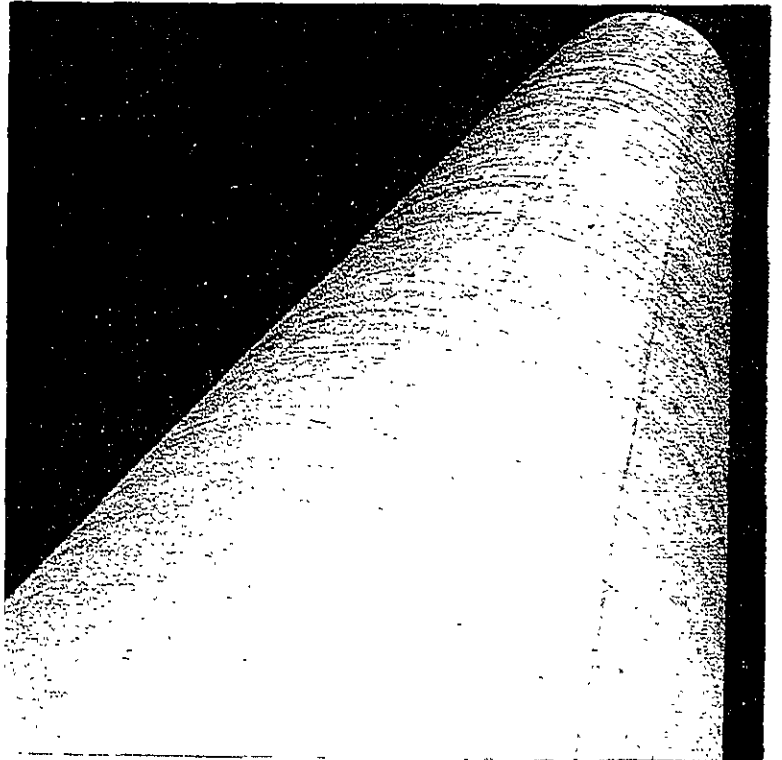
En la colocación del acero de refuerzo se emplearon conectores mecánicos para unir las varillas, cumplir con las especificaciones de traslape y permitir la velocidad de colocación de concreto y acero de refuerzo que exige el empleo de la cimbra deslizante.

Torre	Tipo	Diam.int. (m)	Espesor pared (m)	Altura total (m)	Elevac.Plantilla de la torre(msnm)
1	oscilacion	10.0	2.250	62.0	1740.00
2	oscilacion	10.0	1.600	51.0	1855.00
3	oscilacion	10.0	1.200	37.0	2200.00
4	oscilacion	10.0	1.200	37.0	2528.00
5	oscilacion	10.0	1.500	45.8	2665.00
6	oscilacion	2.50		45.0	2524.00
1	sumergencia	10.0	0.65	20.0	1620.24
2	sumergencia	10.0	1.50	47.0	1751.00
3	sumergencia	10.0	1.50	47.0	1862.00
4	sumergencia	10.0	1.00	32.0	2206.00
5	sumergencia	TANQUE DE AGUAS CLARAS			
6	sumergencia	10.0	0.45	19.0	2349.00

Tabla 6.-Características de las torres de oscilación y sumergencia del Sistema Cutzamala



Fotografía 13.- Torre de oscilación No.1



Fotografía 14.- Torre de sumergencia No.1

1.6.- FENOMENOS TRANSITORIOS

Un fenómeno transitorio es un estado de flujo comprendido entre dos de flujo establecido. En conductos hidráulicos a presión existen variaciones en la presión a lo largo de la conducción con respecto al tiempo y distancia. Se originan debido a las maniobras (normales o inesperadas) de operación.

Estas maniobras son:

- Cierres de válvulas o aperturas
- Disparos de bombas y turbinas
- Inicios de operación de bombas o turbinas.

En el caso del Sistema Cutzamala, no existen problemas debido a turbinas ya que no existen a lo largo de la conducción.

Este tipo de fenómenos crean problemas como : Sobrepresión, depresión y sobrevelocidad en las máquinas.

Sobrepresión : Con este nombre se denomina a toda presión superior a la de trabajo en cualquier punto de una conducción a presión. Esto es fácil de entender como un problema, ya que una sobrepresión provoca un incremento de tensiones en el material de la tubería.

Depresión : Se considera cuando las presiones absolutas son menores a la atmosférica (presión manométrica negativa)
Cuando se trata de fenómenos transitorios creados por el paro accidental de una planta de bombeo, los problemas de depresión son los más frecuentes, y se pueden clasificar en 3 tipos dependiendo de su importancia.

- a) Colapso de tuberías. Cuando se reduce la presión interior y alcanza valores por debajo de la presión media exterior, el tramo de tubería que se afecta trabaja a compresión y puede llegar a colapsarse.
- b) Separación de la columna líquida . El descenso de la presión interior puede producir la vaporización del agua a la temperatura ambiente; cuando la presión absoluta se aproxima a 0.25 mca para una temperatura ambiente de 20 °C, el líquido se transforma en gas y se crean burbujas en el agua de diversos tamaños. Cuando una burbuja producida por una onda de depresión sea sometida a una presión levemente superior a la de vaporización, reducirá con rapidez su volumen provocando que las columnas líquidas separadas por ella choquen violentamente.
- c) Entrada de aire en la tubería. La entrada de aire a la tubería puede realizarse a través de las válvulas de admisión y expulsión de aire cuando la presión en el interior de la tubería es menor que la exterior.

Sobrevelocidad en las máquinas : Cuando existe un paro accidental debido al corte de energía eléctrica, las bombas quedan condicionadas a la acción combinada del flujo y de la inercia de las masas en rotación. Por esto, se deriva una inversión de velocidad en la máquina, que comienza a girar al revés al cabo de pocos segundos, provocando que el flujo se regrese.

I.6.- PLANTA POTABILIZADORA

La Planta Potabilizadora recibe los caudales captados por el Sistema Cutzamala y permite que el agua suministrada a la ZMCM tenga la calidad requerida para el consumo humano (Agua Potable). Dicha calidad se encuentra dentro de las normas nacionales e internacionales de potabilidad.

La planta esta compuesta por un tanque de recepción de aguas crudas, 6 canales Parshall, 6 módulos de potabilización, un tanque de recepción de aguas claras, un edificio para dosificación de sulfato de aluminio, una planta de cloración, un sistema de neutralización, un sistema de tratamiento de lodos y un laboratorio para analisis fisicoquímicos y bacteriológicos, logrando con esto una capacidad para procesar hasta 24 m³/s .

Proceso de Potabilización:

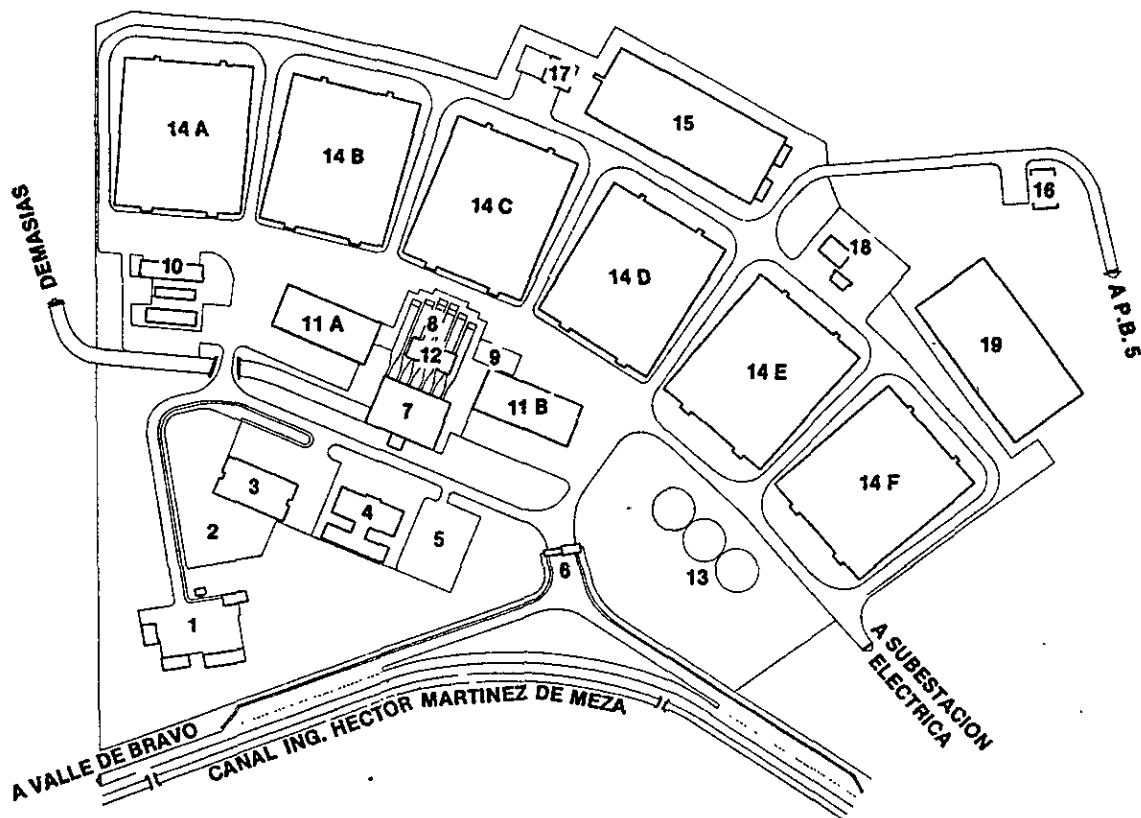
El agua proveniente de las presas que integran el Sistema Cutzamala llega a un tanque de concreto formado por dos camaras donde se mezclan las aguas crudas homogeneizando su calidad. La capacidad de almacenamiento del tanque es de 6 450 m³.

Del tanque de recepción, las aguas crudas se conducen a través de los canales Parshall en los cuales se afora el caudal y se inicia el proceso de potabilización agregando sulfato de aluminio que sirve como coagulante, y cloro para controlar el desarrollo de algas en etapas siguientes.

Después de pasar el agua por los Medidores Parshall, se conduce hasta los 6 módulos de potabilización que tienen capacidad para 4 m³/s cada uno, continuando el proceso del flujo en la sección de floculación, donde el agua se agita lentamente mediante unas paletas de eje horizontal instaladas en 4 tanques que tienen capacidad para 7 730 m³, y son accionadas por motores de 10 y 20 H.P.

Al terminar la floculación, el agua pasa a la sección de sedimentación integrada por 4 tanques con capacidad de 1m³/s cada uno, la estructura es de concreto reforzado y reciben un volumen total de 17 590 m³. Estos tanques estan equipados con placas de asbesto-cemento separadas 5 cm. una de otra y con una inclinación de 60 grados, estas placas proporcionan la precipitación de los grumos en suspensión, para que se depositen en forma de lodo en el fondo de los tanques, de donde se extrae mediante un succiónador suspendido de un flotador que recorre los tanques longitudinalmente y lo descarga a un canal lateral para finalmente llevarlo a la planta de tratamiento de lodos.

PLANTA POTABILIZADORA



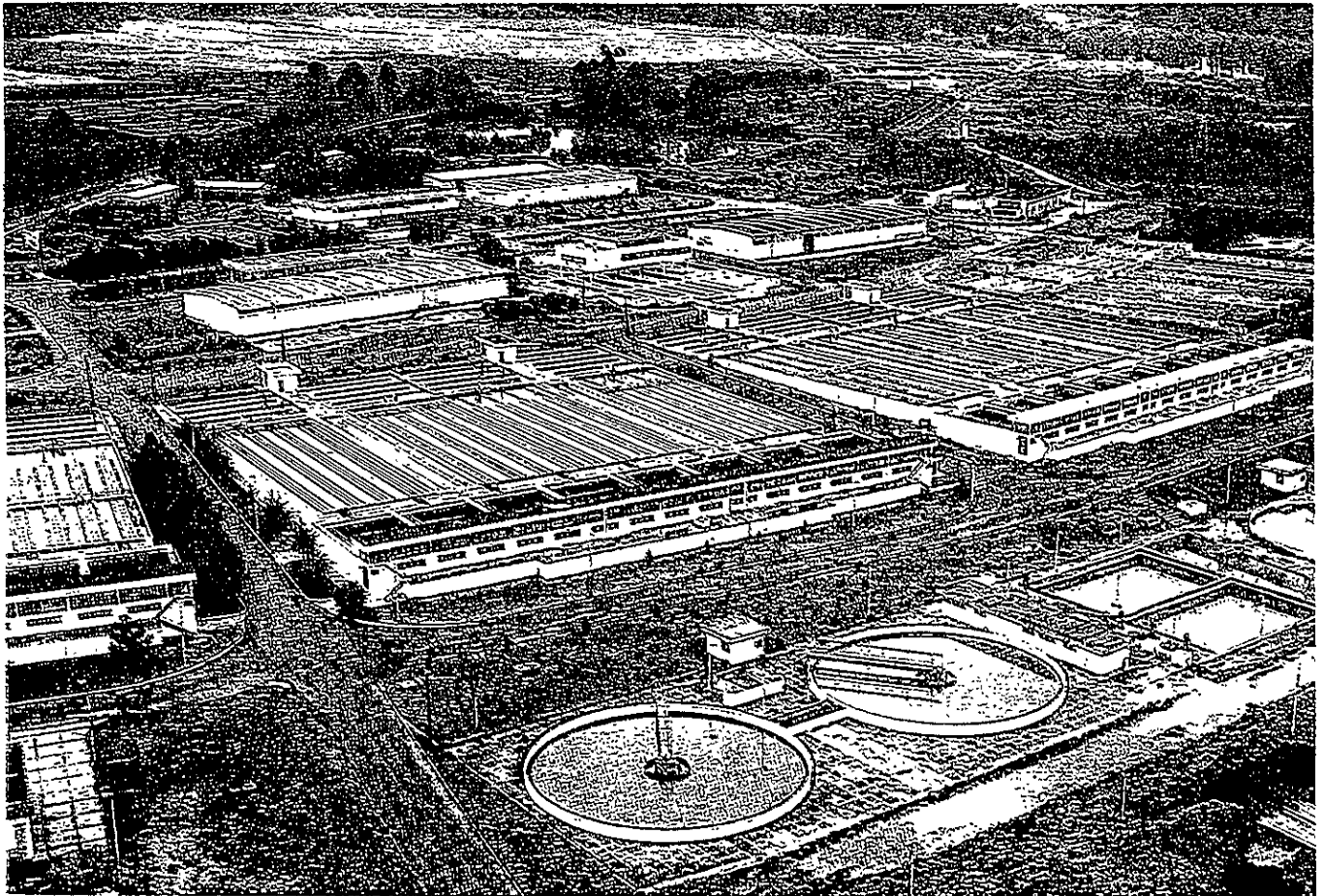
NOMENCLATURA

- | | |
|--|---|
| 1. CAMPAMENTO DE CONSTRUCCION | 11. ALMACEN Y DOSIFICACION DE REACTIVOS |
| 2. ALMACEN DESCUBIERTO | 12. CLORACION |
| 3. ALMACEN CUBIERTO | 13. HELIPUERTO |
| 4. OFICINAS CENTRALES | 14. MODULO DE POTABILIZACION |
| 5. ESTACIONAMIENTO | 15. TANQUE SEPARADOR DE LODOS |
| 6. PORTICO | 16. ESTACION DE BOMBEO DE AGUA POTABLE |
| 7. TANQUE DE RECEPCION DE AGUAS CRUDAS | 17. ALMACEN DE ARENA Y ANTRACITA |
| 8. PATIO DE MEDIDORES | 18. ALMACEN DE DOSIFICACION DE CAL |
| 9. ALMACEN DE CLORO | 19. CARCAMO DE AGUAS CLARAS |
| 10. TALLERES | |

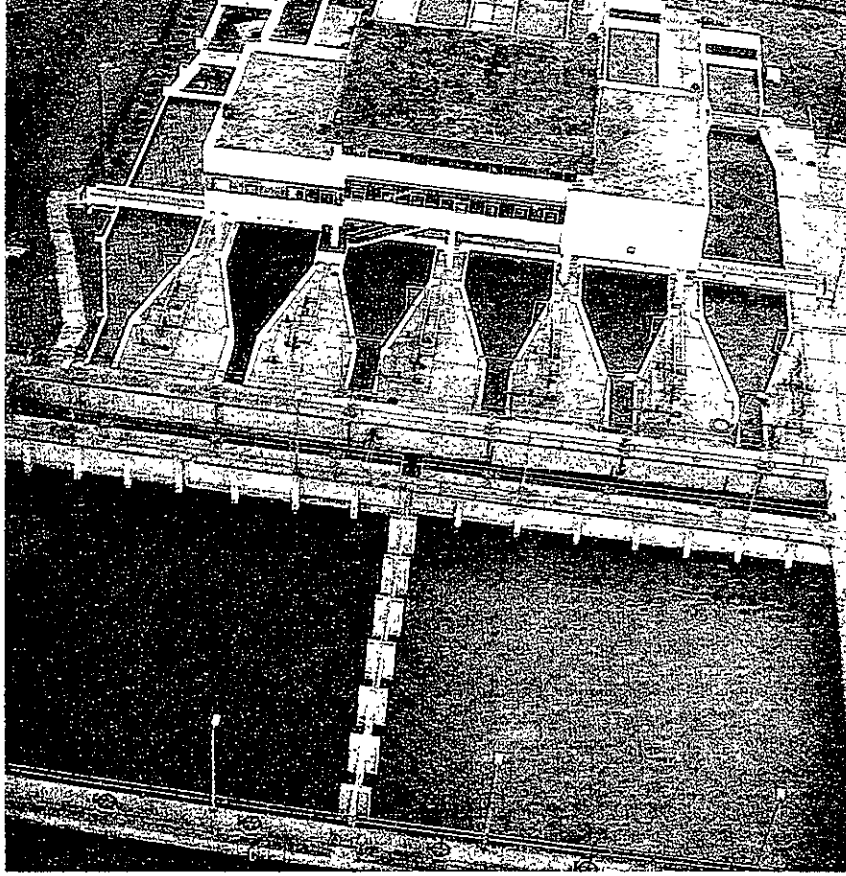
Mapa 8.- Planta potabilizadora.

Al terminar la sedimentación de lodos, el agua es conducida a la zona de filtración, la cual está formada por 8 tanques por módulo con filtros de tasa constante y capacidad de 500 l/s cada uno, y conformados por lechos de grava y arena sílica con un fondo falso de losas con boquillas microranuradas, por las que pasa el agua. Posteriormente, al agua filtrada se le adiciona cal para neutralizar la corrosión propiciada por los coagulantes que se le suministraron inicialmente.

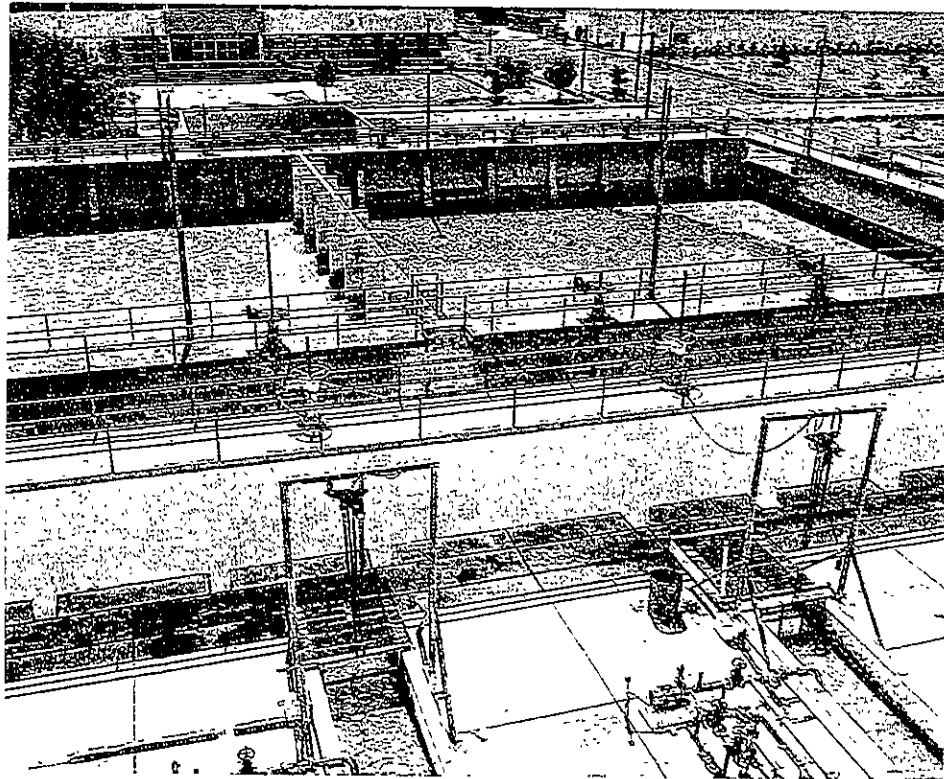
La eficiencia de estos lechos formados por grava y arena sílica es mantenida mediante un proceso periódico de retrolavado que consiste en inyectar agua y aire a presión en sentido inverso al flujo normal del filtrado del agua.



Fotografía 15.- Vista de la Planta Potabilizadora Los Berros



Fotografía 16.- Medidores Parshall



Fotografía 17.- Tanque Receptor de Aguas Claras

La tasa de filtración es de 265 m³/m²/día y el lecho filtrante de arena sílica es de 1.30 m de espesor.

Al concluir la potabilización, el agua se conduce al tanque de recepción de aguas claras, el cual cuenta con estructura de concreto reforzado dividida en 2 cámaras y con capacidad de 48 000 m³, diseñado para funcionar como tanque de sumergencia de la planta de bombeo 5, desde la cual se manda el agua potabilizada hacia la ZMCM.

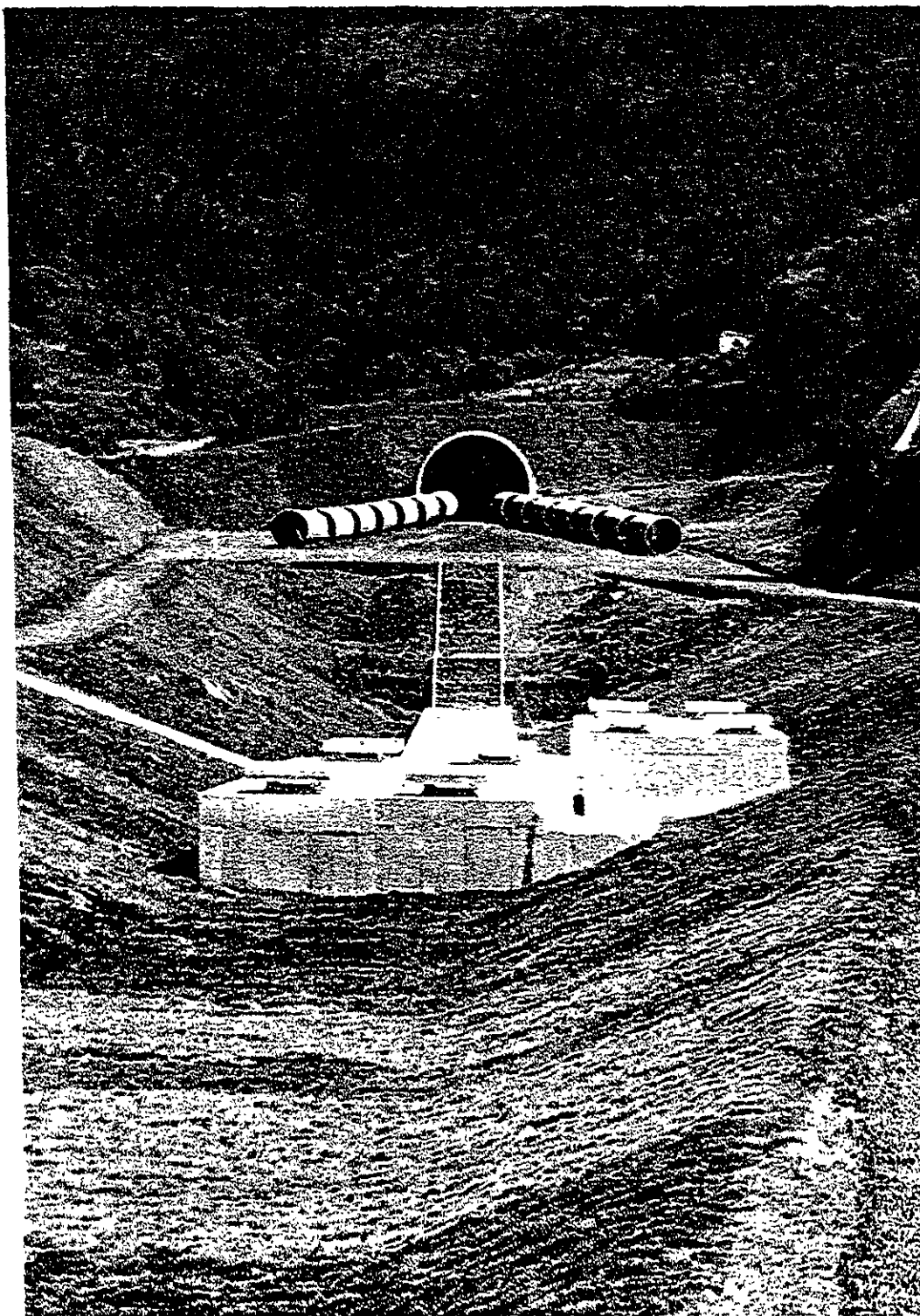
Control de calidad: Existe una unidad de laboratorio que cuenta con equipos y materiales necesarios para realizar los análisis físico-químicos y bacteriológicos que permiten determinar la calidad del agua que se entrega, cumpliendo con las normas dispuestas tanto nacionales como internacionales en materia de agua potable. Para lograr lo anterior, se realizan muestreos cada 3 horas en las diferentes etapas del proceso de potabilización: (agua cruda, agua floculada, agua sedimentada y agua filtrada), obteniéndose así la seguridad de su calidad.

Dosificación del Sulfato de Aluminio: La planta potabilizadora cuenta con un edificio el cual tiene 9 tanques de fibra de vidrio con capacidad de 50 m³ cada uno, de ellos fluye por gravedad el Sulfato de aluminio en estado líquido a 4 tolvas de dilución para bombearlo hacia una torre de dosificación, desde donde se adiciona a cada canal Parshall la cantidad ordenada por el laboratorio.

Planta de cloración: Está integrada por 8 evaporadores, 12 cloradores con capacidad de 4 550 kg diarios cada uno y 2 consolas de operación automática.

El proceso de dosificación inicia cuando el cloro líquido proveniente del edificio donde se almacena, pasa a los evaporadores para convertirse en gas, después es dosificado por los cloradores y posteriormente inyectado a los canales Parshall por medio de un difusor.

Tratamiento de lodos: El proceso consiste en conducir el agua desechada por el lavado de filtros, así como los lodos extraídos de los sedimentadores, por gravedad a los concentradores, agregándoles anticipadamente polímero para acelerar su compactación. De aquí, el lodo se bombea hacia una presa para almacenarlo y el agua decantada se envía por bombeo a la entrada de la planta potabilizadora.



Fotografía 17.-TÚNEL ANALCO -SAN JOSÉ

II.-TÚNEL ANALCO -SAN JOSÉ

II.1.- ANTECEDENTES.

Dentro de la infraestructura hidráulica del Sistema Cutzamala, destaca el **Túnel Analco-San José**, con longitud de 16 km y que permite la conducción del agua a través de la Sierra de Las Cruces, que separa los valles de Toluca y México. El agua conducida actualmente, corresponde a las tres primeras etapas en operación, 19 m³/s como Gasto de Diseño, y próximamente con la cuarta (Proyecto Temascaltepec), el caudal manejado será de 24 m³/s como Gasto de Diseño.

El acceso o portal de entrada de este túnel se localiza en el poblado de Atarasquillo en el Municipio de Lerma, y el portal de salida en el Municipio de Huixquilucan, ambos en el Estado de México. En el **mapa 9 pag.52** se muestra la localización del Túnel Analco-San José.

La construcción de este túnel se inició en el año de 1977, habilitándose dos lumbreras existentes del Sistema Lerma con 210 m de profundidad cada una y excavándose una tercera de 30 m. de profundidad en el poblado de Dos Ríos, Municipio de Huixquilucan, que permitieron tener mayor número de frentes de trabajo. En la lumbrera No. 3 se encuentran los mecanismos de control que permiten distribuir el recurso hacia los túneles Ramal Norte y Ramal Sur que conducen el agua hasta los municipios conurbados del Estado de México y al Distrito Federal, respectivamente. **En las figuras 3 y 4 pags.53 y 54** se muestra la planta y perfil del túnel.

La sección hidráulica es de tipo portal con una altura de 4.25 m y ancho de 4.60 m con un desnivel de 0.67 m por kilómetro ($S_o = 0.00067$). **En la figura 5 pag. 56** Se muestra la sección del túnel.

Su capacidad de conducción es de 34 m³/s, lo que permite no solamente el transporte de los 24 m³/s del Sistema Cutzamala en sus cuatro etapas, sino que cuenta con una capacidad adicional de 10 m³/s como previsión de futuros incrementos que puedan surgir con otros proyectos para abastecimiento de agua potable a la ZMCM.

La elevación del portal de entrada es de 2592.00 m.s.n.m. y la del portal de salida es de 2581.28 m.s.n.m., por lo tanto el túnel cuenta con un desnivel de 10.72 m en 16 km.



Mapa 9.- Localización del Túnel Analco- San José

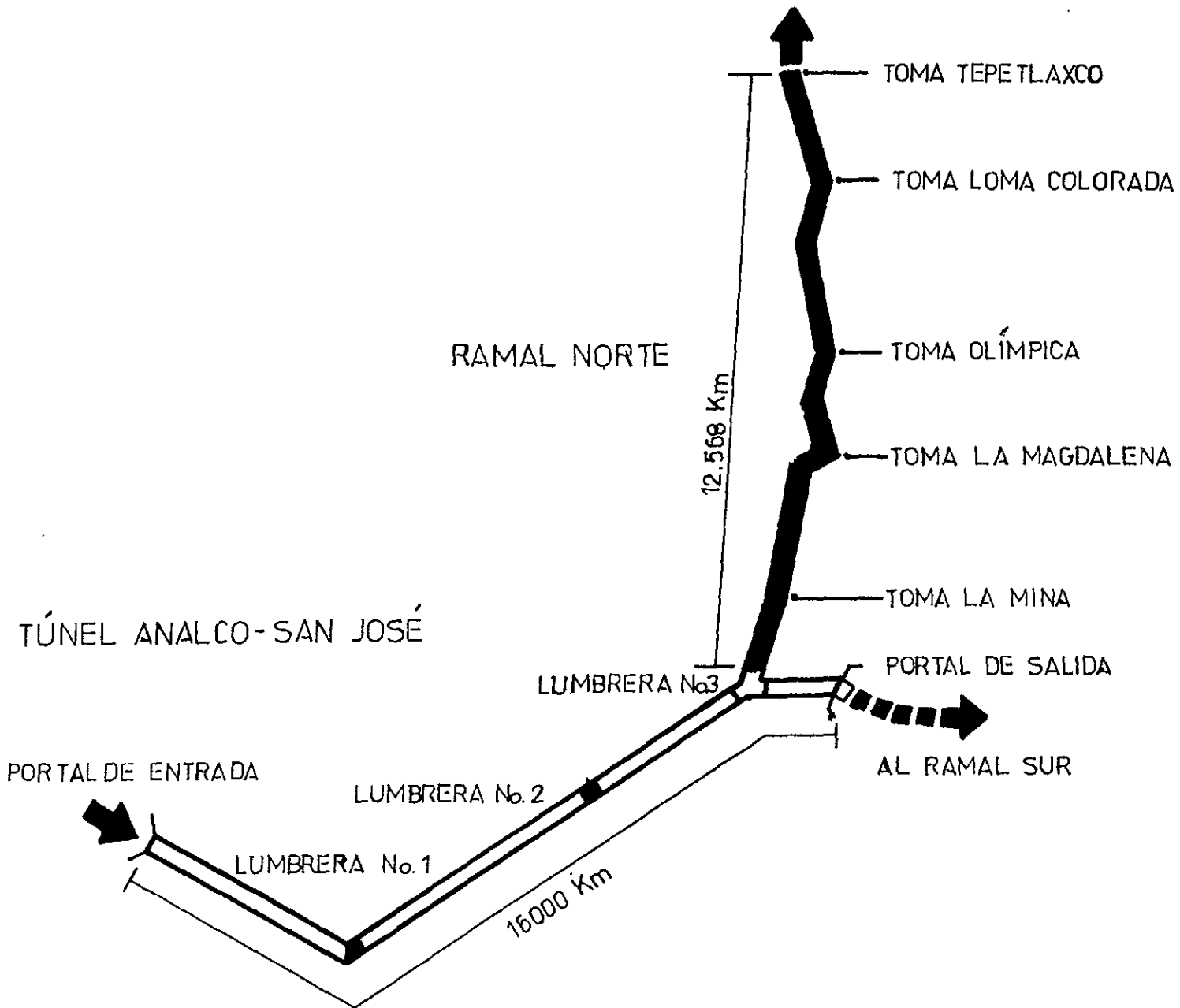


Figura 3.- Planta del Túnel Analco-San José

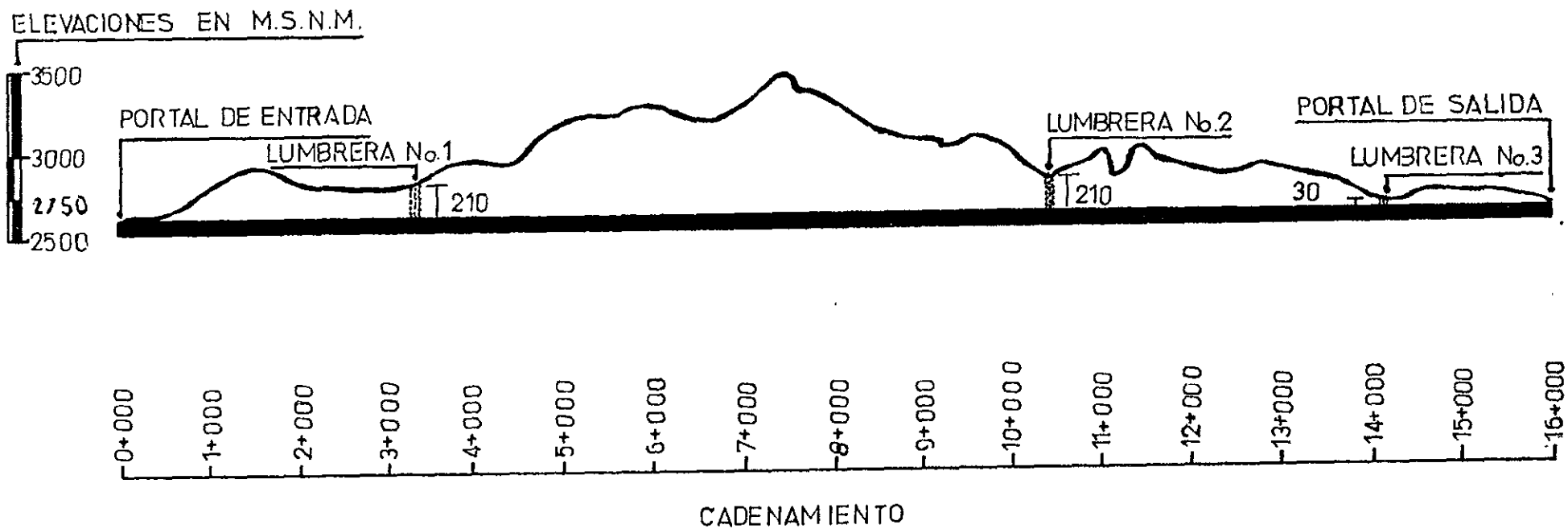


Figura 4.- Perfil del Túnel Analco-San José

DATOS DE PROYECTO

TÚNEL ANALCO-SAN JOSÉ

SECCIÓN:	PORTAL
GASTO MÁXIMO:	34.00 m ³ /s
ALTURA:	4.25 m
ANCHO:	4.60 m
COEFICIENTE de MANNING:	n= 0.011
LONGITUD:	16 km
PENDIENTE:	0.00067
ELEVACIÓN PORTAL ENTRADA:	2592.00 m.s.n.m.
ELEVACIÓN PORTAL SALIDA:	2581.28 m.s.n.m.

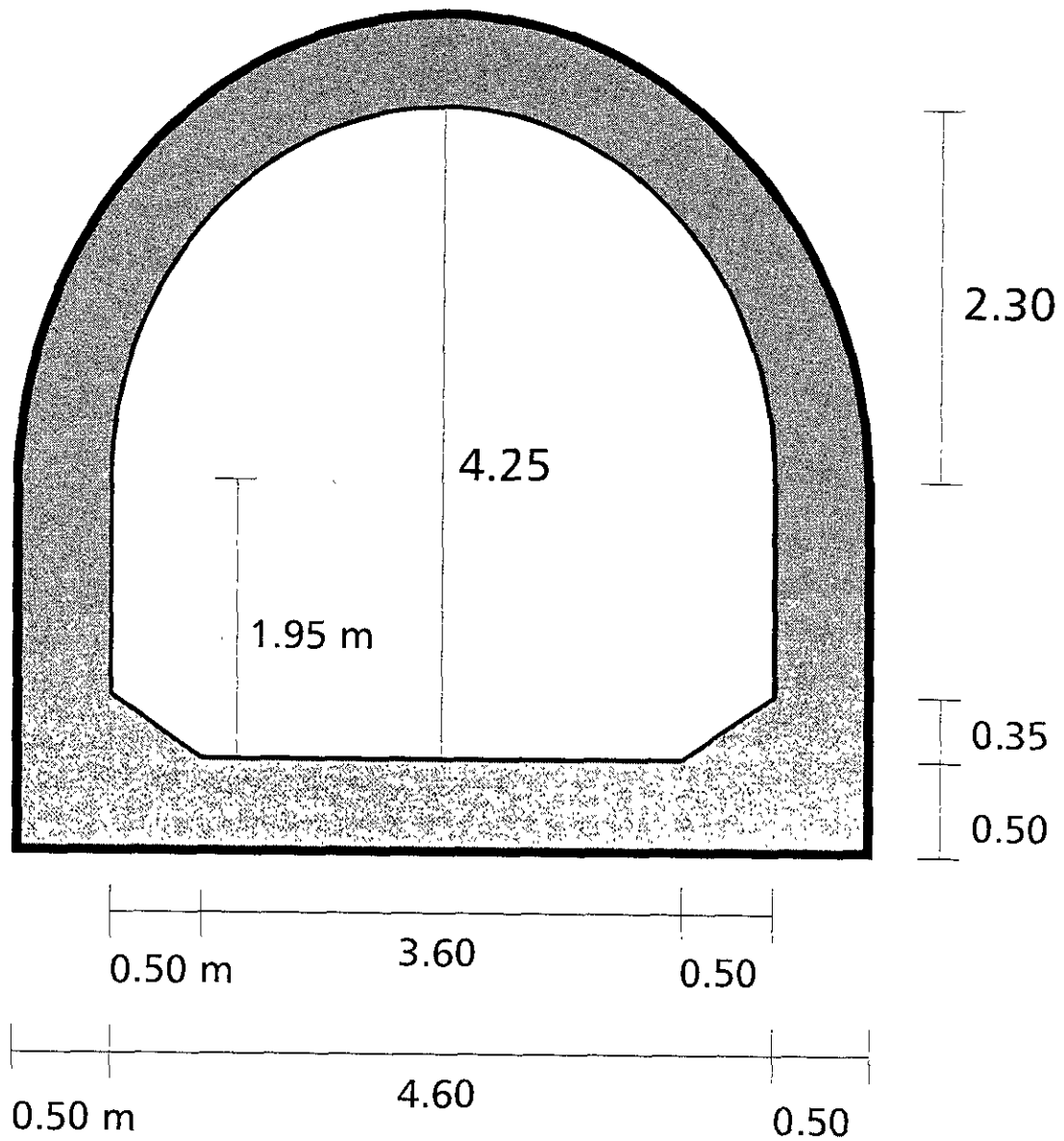


Figura 5.-Sección del Túnel Analco-San José

CALCULOS DEL ÀREA Y PERÌMETRO SECCIÒN PORTAL TÙNEL ANALCO-SAN JOSÈ

Y (m)	Àrea (m ²)	Perímetro (m)
0.100	$3.6 \times 0.1 + ((0.1 \times 0.142)/2) \times 2 = 0.3742 \text{ m}^2$	$3.6 + 0.173 + 0.173 = 3.947 \text{ m}$
0.200	$3.6 \times 0.20 + ((0.20 \times 0.285)/2) \times 2 = 0.777 \text{ m}^2$	$3.6 + 0.348 + 0.348 = 4.296 \text{ m}$
0.300	$3.6 \times 0.30 + ((0.30 \times 0.428)/2) \times 2 = 1.208 \text{ m}^2$	$3.6 + 0.522 + 0.522 = 4.644 \text{ m}$
0.350	$3.6 \times 0.35 + ((0.35 \times 0.50)/2) \times 2 = 1.435 \text{ m}^2$	$3.6 + (0.61 + 0.61) = 4.82 \text{ m}$
0.400	$(4.6 \times 0.05) + (y=0.35) = 1.665 \text{ m}^2$	$(0.1 + 0.1) + (y=0.30 \text{ m}) = 4.92 \text{ m}$
0.500	$4.60 \times 0.1 + (y=0.40 \text{ m}) = 2.125 \text{ m}^2$	$(0.1 + 0.1) + (y=0.40 \text{ m}) = 5.12 \text{ m}$
0.600	$4.60 \times 0.1 + (y=0.50 \text{ m}) = 2.585 \text{ m}^2$	$(0.1 + 0.1) + (y=0.50 \text{ m}) = 5.32 \text{ m}$
0.700	$4.60 \times 0.1 + (y=0.60 \text{ m}) = 3.045 \text{ m}^2$	$(0.1 + 0.1) + (y=0.60 \text{ m}) = 5.52 \text{ m}$
0.800	$4.60 \times 0.1 + (y=0.70 \text{ m}) = 3.505 \text{ m}^2$	$(0.1 + 0.1) + (y=0.70 \text{ m}) = 5.72 \text{ m}$
0.900	$4.60 \times 0.1 + (y=0.80 \text{ m}) = 3.965 \text{ m}^2$	$(0.1 + 0.1) + (y=0.80 \text{ m}) = 5.92 \text{ m}$
1.000	$4.60 \times 0.1 + (y=0.90 \text{ m}) = 4.425 \text{ m}^2$	$(0.1 + 0.1) + (y=0.90 \text{ m}) = 6.12 \text{ m}$
1.100	$4.60 \times 0.1 + (y=1.00 \text{ m}) = 4.885 \text{ m}^2$	$(0.1 + 0.1) + (y=1.00 \text{ m}) = 6.32 \text{ m}$
1.200	$4.60 \times 0.1 + (y=1.10 \text{ m}) = 5.345 \text{ m}^2$	$(0.1 + 0.1) + (y=1.00 \text{ m}) = 6.52 \text{ m}$
1.300	$4.60 \times 0.1 + (y=1.20 \text{ m}) = 5.805 \text{ m}^2$	$(0.1 + 0.1) + (y=1.00 \text{ m}) = 6.72 \text{ m}$
1.400	$4.60 \times 0.1 + (y=1.30 \text{ m}) = 6.265 \text{ m}^2$	$(0.1 + 0.1) + (y=1.30 \text{ m}) = 6.92 \text{ m}$
1.500	$4.60 \times 0.1 + (y=1.40 \text{ m}) = 6.725 \text{ m}^2$	$(0.1 + 0.1) + (y=1.40 \text{ m}) = 7.12 \text{ m}$
1.600	$4.60 \times 0.1 + (y=1.50 \text{ m}) = 7.185 \text{ m}^2$	$(0.1 + 0.1) + (y=1.50 \text{ m}) = 7.34 \text{ m}$
1.700	$4.60 \times 0.1 + (y=1.60 \text{ m}) = 7.645 \text{ m}^2$	$(0.1 + 0.1) + (y=1.60 \text{ m}) = 7.54 \text{ m}$
1.800	$4.60 \times 0.1 + (y=1.70 \text{ m}) = 8.105 \text{ m}^2$	$(0.1 + 0.1) + (y=1.70 \text{ m}) = 7.740 \text{ m}$
1.900	$4.60 \times 0.1 + (y=1.80 \text{ m}) = 8.565 \text{ m}^2$	$(0.1 + 0.1) + (y=1.80 \text{ m}) = 7.940 \text{ m}$
1.950	$4.60 \times 0.05 + (y=1.80 \text{ m}) = 9.025 \text{ m}^2$	$(0.050 + 0.050) + (y=1.90 \text{ m}) = 8.04 \text{ m}$
2.000	9.236 m ²	8.13 m
2.100	9.655 m ²	8.32 m
2.200	10.08 m ²	8.50 m
2.300	10.501 m ²	8.69 m
2.400	11.125 m ²	8.97 m
2.500	11.525 m ²	9.16 m
2.600	11.945 m ²	9.35 m
2.700	12.345 m ²	9.54 m
2.800	12.745 m ²	9.73 m
2.900	13.14 m ²	9.93 m
3.000	13.713 m ²	10.25 m
3.100	14.085 m ²	10.45 m
3.200	14.445 m ²	10.66 m
3.300	14.795 m ²	10.89 m
3.400	15.135 m ²	11.12 m
3.500	15.455 m ²	11.36 m
3.600	15.915 m ²	11.74 m
3.700	16.204 m ²	12.01 m
3.800	16.465 m ²	12.31 m
3.900	16.705 m ²	12.63 m
4.000	16.925 m ²	12.99 m
4.100	17.125 m ²	13.41 m
4.200	17.315 m ²	14.36 m
4.250	17.335 m ²	15.27 m

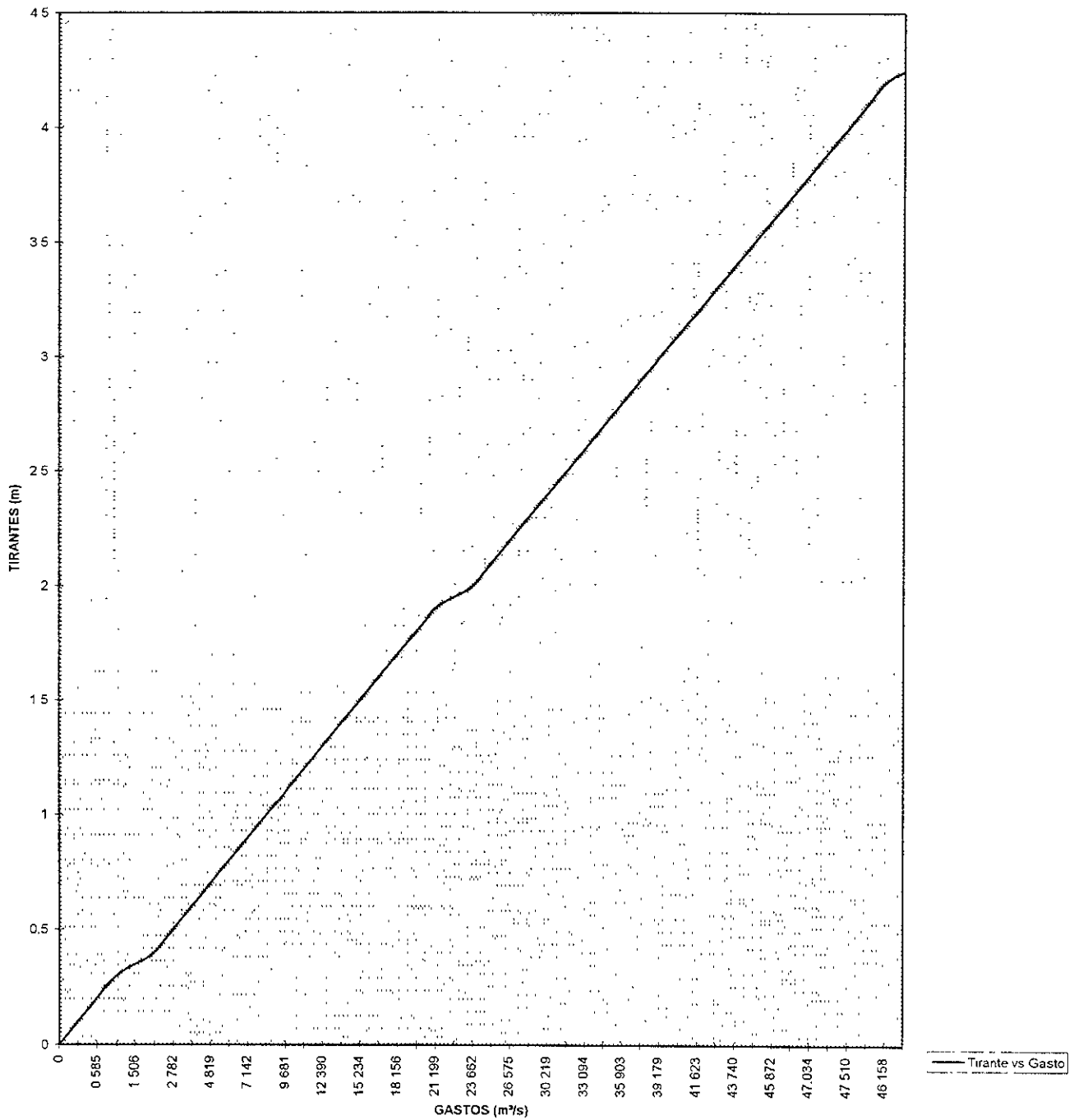
****VER ANEXOS 1 Y 3

h=4.25 m
b=4.60 m

y (m)	A (m ²)	P (m)	Rh (m)	Q (m ³ /s)	V (m/s)	n	S	Yc (m)	Yn (m)	T (m)
0.100	0.374	3.947	0.0948	0.183	0.489	0.011	0.00067			4.60
0.200	0.777	4.296	0.1809	0.585	0.753	0.011	0.00067			4.60
0.300	1.208	4.644	0.2601	1.158	0.959	0.011	0.00067			4.60
0.350	1.435	4.820	0.2977	1.506	1.049	0.011	0.00067			4.60
0.400	1.665	4.920	0.3384	1.903	1.143	0.011	0.00067			4.60
0.500	2.125	5.120	0.4150	2.782	1.309	0.011	0.00067			4.60
0.600	2.585	5.320	0.4859	3.760	1.454	0.011	0.00067			4.60
0.625	2.700	5.370	0.5028	4.017	1.488	0.011	0.00067	0.426	0.625	4.60
0.700	3.045	5.520	0.5516	4.819	1.583	0.011	0.00067			4.60
0.800	3.505	5.720	0.6128	5.950	1.698	0.011	0.00067			4.60
0.900	3.965	5.920	0.6698	7.142	1.801	0.011	0.00067			4.60
1.000	4.425	6.120	0.7230	8.388	1.896	0.011	0.00067			4.60
1.100	4.885	6.320	0.7729	9.681	1.982	0.011	0.00067			4.60
1.125	5.000	6.370	0.7849	10.012	2.002	0.011	0.00067	0.784	1.125	4.60
1.200	5.345	6.520	0.8198	11.017	2.061	0.011	0.00067			4.60
1.300	5.805	6.720	0.8638	12.390	2.134	0.011	0.00067			4.60
1.400	6.265	6.920	0.9053	13.797	2.202	0.011	0.00067			4.60
1.500	6.725	7.120	0.9445	15.234	2.265	0.011	0.00067			4.60
1.600	7.185	7.340	0.9789	16.668	2.320	0.011	0.00067			4.60
1.700	7.645	7.540	1.0139	18.156	2.375	0.011	0.00067			4.60
1.760	7.921	7.660	1.0341	19.060	2.406	0.011	0.00067	1.205	1.760	4.60
1.800	8.105	7.740	1.0472	19.667	2.427	0.011	0.00067			4.60
1.900	8.565	7.940	1.0787	21.199	2.475	0.011	0.00067			4.60
1.950	9.025	8.040	1.1225	22.938	2.542	0.011	0.00067			4.60
2.000	9.236	8.130	1.1360	23.662	2.562	0.011	0.00067			4.580
2.030	9.350	8.180	1.1430	24.053	2.572	0.011	0.00067	1.420	2.030	4.578
2.100	9.655	8.320	1.1605	25.089	2.599	0.011	0.00067			4.550
2.200	10.080	8.500	1.1859	26.575	2.636	0.011	0.00067			4.500
2.300	10.501	8.690	1.2084	28.034	2.670	0.011	0.00067			4.480
2.400	11.125	8.970	1.2402	30.219	2.716	0.011	0.00067	1.680	2.400	4.400
2.500	11.525	9.160	1.2582	31.607	2.742	0.011	0.00067			4.330
2.600	11.945	9.350	1.2775	33.094	2.771	0.011	0.00067			4.250
2.660	12.200	9.460	1.2896	34.013	2.788	0.011	0.00067	1.810	2.660	4.230
2.700	12.345	9.540	1.2940	34.496	2.794	0.011	0.00067			4.200
2.800	12.745	9.730	1.3099	35.903	2.817	0.011	0.00067			4.150
2.900	13.140	9.930	1.3233	37.268	2.836	0.011	0.00067			4.050
3.000	13.713	10.250	1.3379	39.179	2.857	0.011	0.00067			4.000
3.100	14.085	10.450	1.3478	40.442	2.871	0.011	0.00067			3.900
3.200	14.445	10.660	1.3551	41.623	2.881	0.011	0.00067			3.800
3.300	14.795	10.890	1.3586	42.706	2.886	0.011	0.00067			3.650
3.400	15.135	11.120	1.3611	43.740	2.890	0.011	0.00067			3.400
3.500	15.455	11.360	1.3605	44.652	2.889	0.011	0.00067			3.300
3.600	15.915	11.740	1.3556	45.872	2.882	0.011	0.00067			3.100
3.700	16.204	12.010	1.3492	46.557	2.873	0.011	0.00067			2.950
3.800	16.465	12.310	1.3375	47.034	2.857	0.011	0.00067			2.650
3.900	16.705	12.630	1.3226	47.365	2.835	0.011	0.00067			2.400
4.000	16.925	12.990	1.3029	47.510	2.807	0.011	0.00067			2.000
4.100	17.125	13.410	1.2770	47.433	2.770	0.011	0.00067			1.500
4.200	17.315	14.360	1.2058	46.158	2.666	0.011	0.00067			0.500
4.250	17.335	15.270	1.1352	44.391	2.561	0.011	0.00067			0.000

Tabla 7.- Características hidráulicas de la sección Portal del Túnel Analco-San José

CURVA DE GASTOS DEL TUNEL ANALCO-SAN JOSÈ SECCIÒN PORTAL



Grafica 2.-Curva de gastos del Túnel Analco-San José, sección Portal

II.4.-CONSTRUCCIÓN

La construcción del Túnel **Analco-San José** se inició en el año de 1977, se habilitaron las dos lumbreras existentes del Sistema Lerma, y construyendo una tercera en donde se encuentran los mecanismos de control para repartir el caudal del Sistema Cutzamala por medio de los ramales Norte y Sur; al mismo tiempo se consiguió tener 6 frentes para la construcción.

El proceso de excavación del túnel se realizó por medio del Método tradicional: Barrenación, Voladura, Carga y Rezaga.

Donde se encontraron fallas geológicas se colocaron marcos de acero con tornapuntas como ademe, anclaje con barras de acero y concreto lanzado para estabilizar la sección del túnel.

El retiro del material de rezaga producto de la excavación se efectuó generalmente con cargadores frontales, góndolas de ferrocarril y camiones de volteo.

En algunos casos el retiro del material se realizó a través de las lumbreras por medio de malacates y de torres de manteo.

El desalojo del agua de filtración se efectuó comunmente a través de los portales de salida y entrada, y en ocasiones por las mismas lumbreras por la que se extraía el material de rezaga.

ASPECTOS IMPORTANTES: Ref.1

El proceso de excavación del túnel fue por medio del método tradicional, pero cabe hacer mención de algunos aspectos importantes durante dicho proceso.

*Al terminar las voladuras, en ocasiones se debió usar madera para dar forma a la sección deseada.

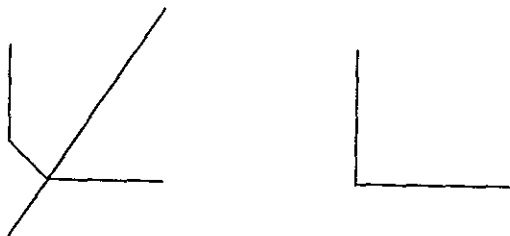
*Los tramos de avance fueron de aproximadamente 30 m por fase.

*En muchas zonas del túnel, a causa de fallas encontradas, se colocaron marcos de acero, y en otras se hizo uso del concreto lanzado.

*En toda la zona del túnel (6 frentes) se utilizaron tubos de ventilación artificial.

*El revestimiento del túnel se realizó con concreto.

*Teóricamente la plantilla debía seguir el diseño original, pero en la mayor parte de la trayectoria no se respetó.



*La secuencia del revestimiento del túnel fue la siguiente:

1.-Guarnición : 1.95 m

2.-Plantilla : 4.60 m

3.-Semicírculo: 2.30 m

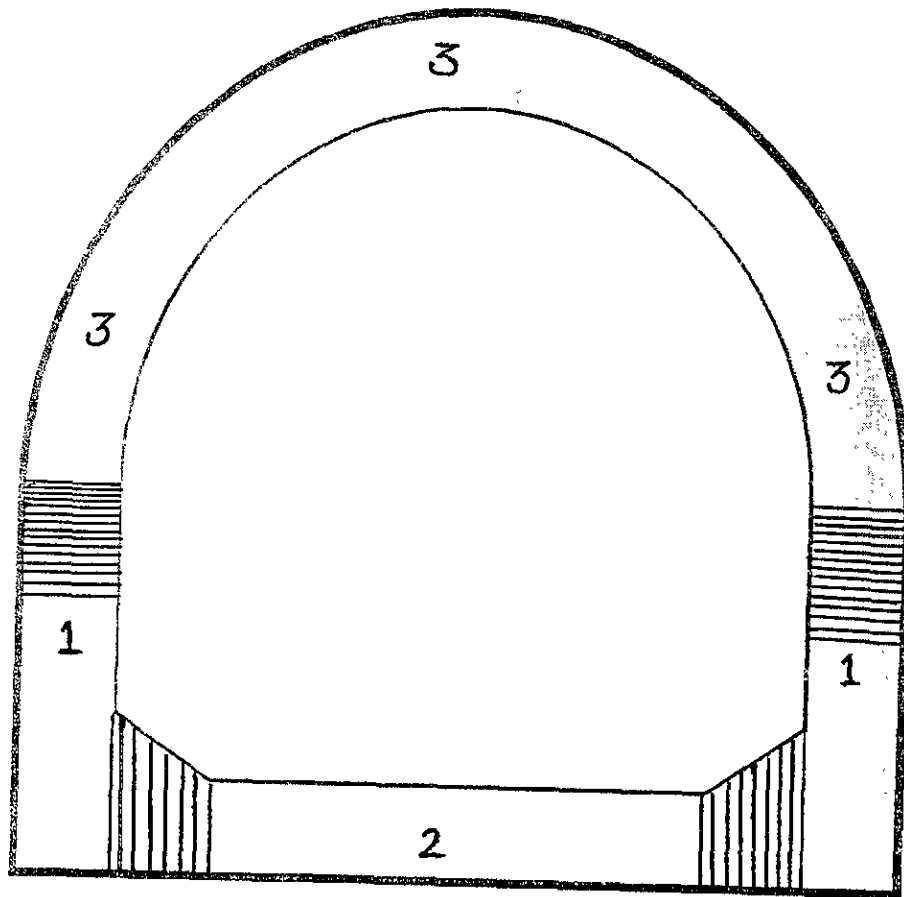
*Para la colocación del concreto se utilizaron bombas y colar cada fase de 30 m.

*Es importante destacar que en algunas zonas del túnel, el agua producto de la filtración fue tan considerable, que aunque se desalojaba por lumbreras y por los portales, en ocasiones se dejó como aportación para el túnel.

NOTA: Estas aportaciones son tan despreciables, inconstantes y difíciles de valorar, que no se consideran como aportación a los gastos de diseño en las 6 revisiones de este trabajo.

*En la mayoría de las zonas del túnel se colocó una lechada al revestimiento final.

En el siguiente esquema se muestra la secuencia seguida en el Túnel Analco-San José para su revestimiento.



1.-GUARNICIÓN

2.-PLANTILLA

3.-SEMICÍRCULO

II.5.-ACUEDUCTO PERIMETRAL

Dentro de la infraestructura del Sistema Cutzamala fue necesario proyectar la construcción de 24.5 km de túneles dentro de la ZMCM correspondientes al Ramal Norte y Ramal Sur de 12.5 y 12 km respectivamente en su primera etapa cada uno.

El Ramal Norte está a cargo de la CNA y de la CEAS, el Ramal Sur es responsabilidad del DDF y de la Secretaria de Obras y Servicios a través de la DGCOH.

El Acueducto Perimetral se caracteriza por ser una obra metropolitana, ya que dará servicio tanto al Distrito Federal, así como a una parte del Estado de México.

II.5.1.- Ramal Norte

Llamado Macrocircuito, el Ramal Norte, tiene como objetivo conducir parte del caudal del Sistema Cutzamala para mejorar y ampliar el servicio de abastecimiento de agua potable a algunos municipios conurbados del Estado de México.

El proyecto actualmente está constituido por tres etapas.

La Primera Etapa, comprende 12.5 km de túnel de sección tipo herradura y $\phi = 3.5$ m. Parte de la lumbrera 3 del Túnel Analco-San José en el Municipio de Huixquilucan hasta la llamada toma 4 en el Municipio de Naucalpan, con capacidad para conducir gastos de hasta 20 m³/s. En su recorrido cuenta con 4 tomas:

- 1.-La Mina
- 2.-La Magdalena
- 3.-El Olímpico
- 4.-Loma Colorada

para beneficio de los habitantes de los Municipios de Huixquilucan y Naucalpan.

Dentro de esta etapa se encuentra también el tramo de la Toma 4 al Tanque Emiliano Zapata, iniciada en 1990, situándose la Toma 4 en el Municipio de Naucalpan y el Tanque Emiliano Zapata en el Municipio de Atizapán de Zaragoza. Este tramo se integra de la siguiente forma:

Una línea de conducción de 1.0 km de longitud y $\phi = 2.5$ m que se inicia al final del túnel (toma 4) y continua con una línea de conducción de 6.0 km y $\phi = 1.20$ m, para conectar el tanque Bellavista el cual a su vez abastece a los tanques:

- *Lomas Verdes Alto
- *Lomas Verdes
- *Diplomáticos

situados en el Municipio de Naucalpan.

Adicionalmente se tiene una conducción de 11.5 km y $\phi= 1.20\text{m}$ entre el Tanque Bellavista en Naucalpan y el Tanque Emiliano Zapata en Atizapán de Zaragoza, este último con capacidad de 5000 m³. En este tramo de la etapa se tienen 2 líneas de derivación: una de 3km de longitud y $\phi= 0.60\text{m}$ para conectar el Tanque San Javier de 10 000 m³; la otra de 1.1 km y $\phi= 0.45\text{ m}$ que conecta el Tanque Atizapan III.

El tramo de la Segunda Etapa parte del Tanque Emiliano Zapata en Atizapan de Zaragoza hasta la planta de distribución Barrientos.

Consiste en una conducción de 8 km y $\phi= 1.20\text{ m}$ entre el Tanque Emiliano Zapata y el Tanque Providencia en Tlalnepantla, así como una derivación de 5 km y $\phi= 0.75\text{ m}$ para conectar al Tanque Bosques del Lago de 3000 m³. Esta línea es prolongada hasta el Tanque 3 en Cuautitlán con una longitud de 7.5 km y $\phi= 0.60\text{ m}$ y que conecta a su vez los Tanques Gemelos y tanque 6. También se incluyen las derivaciones a los Tanques. Chalma con capacidad de 3000 m³ y Villas de la Hacienda de 1500 m³ con 1000 m de longitud y $\phi= 0.30\text{ m}$

II.5.2.- Ramal Sur

Llamado Acuaférico, el Ramal Sur inicia en el Portal de Salida del **Túnel Analco-San José**, en el Estado de México, se divide en cuatro etapas. La primera entra por el poniente del Distrito Federal en las delegaciones Cuajimalpa y Alvaro Obregón. Tiene un $\phi= 4\text{m}$, capacidad de conducción de 25 m³/s y una longitud de 12 km. Su desarrollo es prácticamente paralelo al Acueducto Lerma, disponiendo de 4 líneas de derivación:

- 1.-El Cartero
- 2.-Santa Lucía
- 3.-Villa Verdún
- 4.-El Judío.

La segunda etapa comprende el tramo El Judío, en la Delegación Alvaro Obregón, hasta el portal de salida del Ajusco, en la Delegación Tlalpan. Esta etapa tiene un desarrollo de 10.5 km con $\phi= 4\text{m}$.

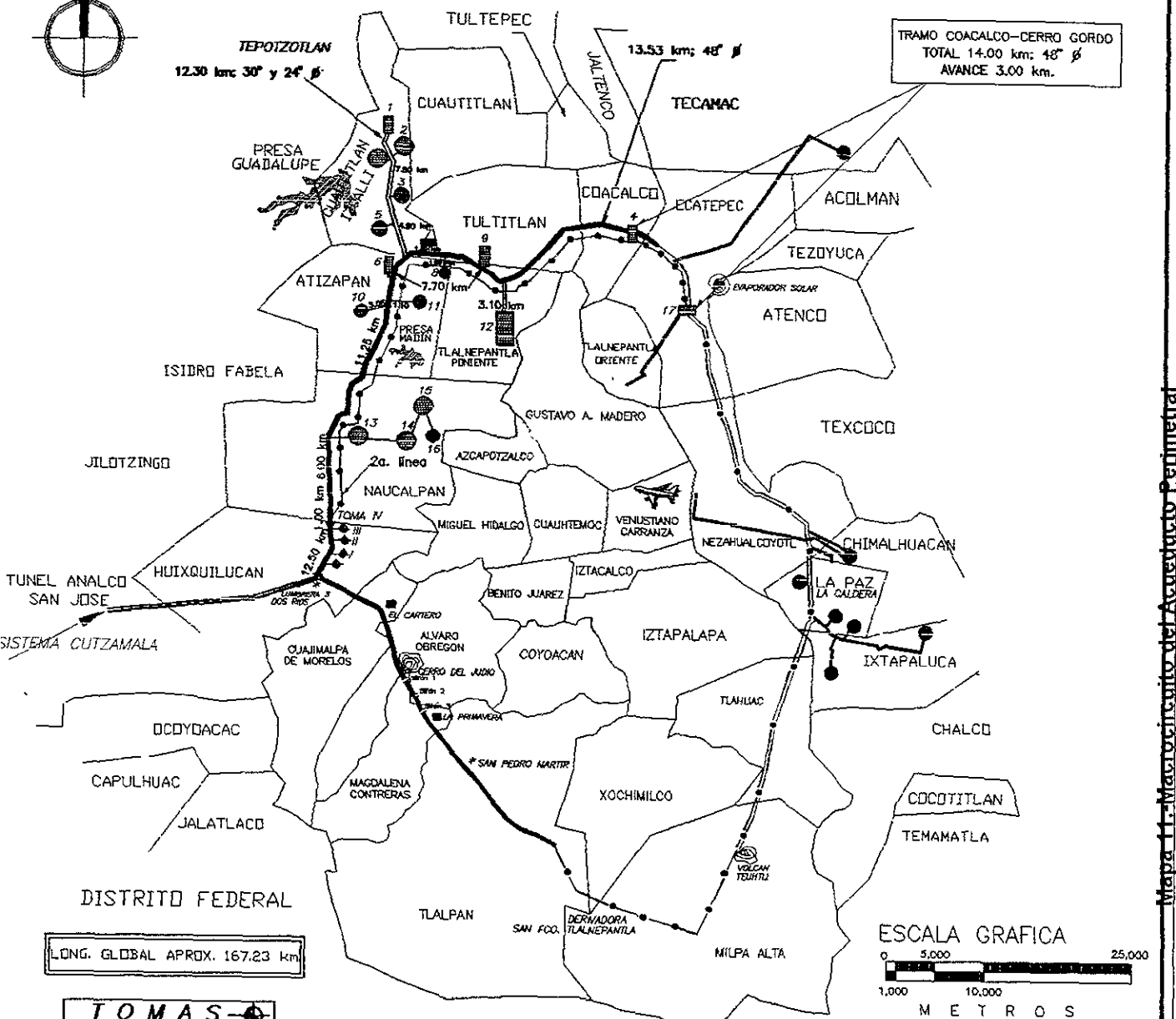
La tercera etapa con una longitud de 12 km inicia en la zona del Ajusco y termina en la cuarta derivación ubicada en el poblado de San Francisco Tlalnepantla, Delegación Xochimilco, con un $\phi= 3.2\text{ m}$.

La cuarta etapa consiste en el desarrollo del tramo entre San Francisco Tlalnepantla y el cerro del Tehutli en la Delegación Milpa Alta, con una longitud de 16 km.

En los **mapas 10 y 11 pags.67 y 68** se muestra la localización del acueducto perimetral de la ZMCM y de el Macrocircuito en sus etapas desarrolladas hasta 1998

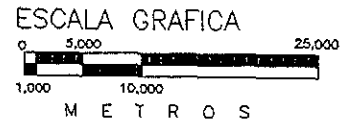
SISTEMA CUTZAMALA

ACUAFERICO PERIMETRAL



TRAMO COACALCO-CERRO GORDO
TOTAL 14.00 km; 48" Ø
AVANCE 3.00 km.

LONG. GLOBAL APROX. 167.23 km



- TOMAS**
- I.- LA MAGDALENA
 - II.- EL OLIMPICO
 - III.- LOMA COLORADA
 - IV.- TOMA 4

- OBRAS ADICIONALES REQUERIDAS POR EL ESTADO DE MEXICO
- DERIVACIONES
 - TANQUES EN PROYECTO
 - TANQUES EXISTENTES

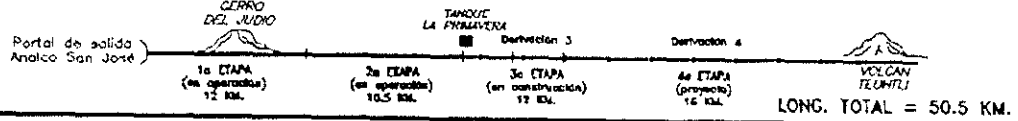
PROYECTO MACROCIRCUITO	d m	LONG. km	AVANCE 1a. km	AVANCE EN %
RAMAL NORTE	3.50	12.50	12.50	100.00
TOMA 4 - BIFURCACION	2.51	1.00	1.00	100.00
BIFURCACION - T. BELLAVISTA	1.20	6.00	6.00	100.00
T. BELLAVISTA - T.E. ZAPATA	1.20	11.25	11.25	100.00
T.E. ZAPATA - T. PROVIDENCIA	1.20	7.70	7.70	100.00
T. PROVIDENCIA - D. BARRIENTOS	1.20	2.30	2.30	100.00
D. BARRIENTOS - P. BARRIENTOS	1.20	0.85	0.85	100.00
D. BARRIENTOS - T. COACALCO	1.2	13.53	13.53	100.00
T. COACALCO - T. CERRO GORDO	1.20-1.37	13.60	2.88	21.18
M.T. CERRO GORDO-P. LA CALDERA	1.20	32.00	0.00	0.00
M.P. LA CALDERA-VOLCAN TEUHTLI	1.20	16.00	0.00	0.00
S U M A S =		116.73	58.01	49.70

SIMBOLOGIA

	CNA
	DDF
	CEAS
	OBRA EXISTENTE
	OBRA POR CONSTRUIR
	CNA
	DDF

(*) TRAMOS EN PROYECTO PROLIMINAR

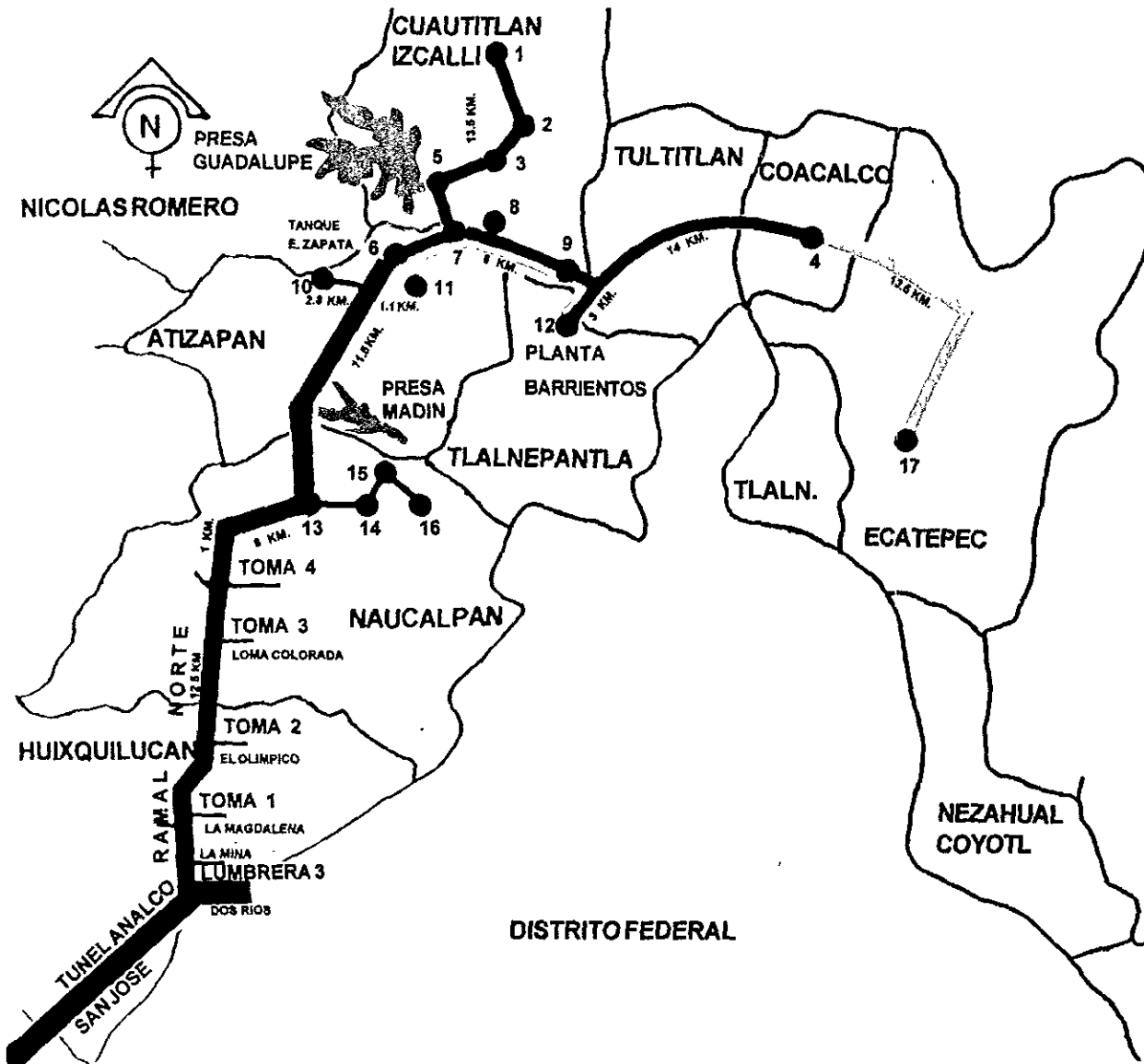
PERFIL ESQUEMATICO D.D.F.



LONG. TOTAL = 50.5 KM.

Mapa 1.- Macrocircuito del Acueducto Perimetral

CROQUIS DEL MACROCIRCUITO DE DISTRIBUCION DE AGUA POTABLE



- | | |
|-----------|-----------------------|
| 1 TANQUE | 3 |
| 2 TANQUES | GEMELOS |
| 3 TANQUE | 6 |
| 4 TANQUE | COACALCO |
| 5 TANQUE | BOSQUES DEL LAGO |
| 6 TANQUE | EMILIANO ZAPATA |
| 7 TANQUE | CHALMA |
| 8 TANQUE | VILLAS DE LA HACIENDA |
| 9 TANQUE | PROVIDENCIA |
| 10 TANQUE | SAN JAVIER |
| 11 TANQUE | ATIZAPAN III |
| 12 TANQUE | BARRIENTOS |
| 13 TANQUE | BELLAVISTA |
| 14 TANQUE | LOMAS VERDES ALTO |
| 15 TANQUE | LOMAS VERDES |
| 16 TANQUE | DIPLOMATICOS |
| 17 TANQUE | CERRO GORDO |

- OBRAS TERMINADAS
- OBRAS EN CONSTRUCCION
- OBRAS EXISTENTES
- OBRAS EN PROYECTO
- TANQUES

Mapa 11.-Macrocircuito del Acueducto Perimetral

III.-REVISIÓN DEL FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO DEL TÚNEL ANALCO-SAN JOSÉ

III.1.-DESCRIPCIÓN DE LA REVISIÓN DEL FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO.

La revisión del funcionamiento hidráulico del Túnel **Analco-San José** consiste en hacer un análisis del comportamiento del agua durante su recorrido a lo largo de toda su trayectoria.

El análisis se realiza considerando las cuatro etapas del Sistema Cutzamala, es decir, involucrando los diferentes gastos que aporta cada una: 1a: 4 m³/s, 2a: 6 m³/s, 3a: 9 m³/s, 4a: 5 m³/s; adicionalmente se considera un gasto mayor a la aportación total del Sistema, debido a que el túnel tiene capacidad para conducir un mayor caudal previendo futuros proyectos; y finalmente el gasto máximo que puede conducir el túnel.

Por lo tanto, los gastos con los que se hace el análisis son :

$$Q1= 4 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q2= 10 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q3= 19 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q4= 24 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q5= 30 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q6= 34 \text{ m}^3/\text{s}$$

En la sección aguas abajo del túnel (Lumbrera 3), se encuentran los mecanismos que permiten repartir el caudal hacia el Ramal Norte y Ramal Sur.

La CNA y el DDF tienen un acuerdo, el cual establece que la mitad del agua que aporta el Sistema Cutzamala es conducida a cada ramal.

Con esta consideración, en los **anexos 8 y 9** se presentan las condiciones que permiten realizar un análisis del funcionamiento del **Túnel Analco-San José** en la parte final de su recorrido, así como la conducción a cada ramal.

Consideraciones:

- 1.-La velocidad en la zona de las compuertas es=0
- 2.-Se consideran 4 compuertas verticales de igual sección(1.45m X 4.60m) **ver anexos 6 y 7**
- 3.-Las 4 compuertas se abren al mismo tiempo y cuentan con la misma variación de aberturas.
- 4.-El cálculo se hace con 1 compuerta, tomando en cuenta que las otras 3 son iguales

III.2.-ANÁLISIS Y REVISIÓN DEL FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO

REVISION HIDRAULICA:

DATOS GENERALES

SECCIÓN:	PORTAL
LONGITUD:	16 km
GASTO MÁXIMO:	34 m ³ /s
ALTURA:	4.00 m
CLARO:	4.10 m
PENDIENTE:	0.00067
ELEVACIÓN PORTAL DE ENTRADA:	2 592.00 m.s.n.m.
ELEVACIÓN PORTAL DE SALIDA:	2 581.28 m.s.n.m.
COEFICIENTE DE MANNING	n=0.011

GASTOS DE PROYECTO POR ETAPA:

1a.ETAPA:	4.00 m ³ /s
2a.ETAPA	6.00 m ³ /s
3a.ETAPA	9.00 m ³ /s
4a.ETAPA	5.00 m ³ /s

GASTO MÁXIMO DE DISEÑO PARA EL TÚNEL: 34.00 m³/s

GASTOS PARA REVISIÓN:

- 1.- 4 m³/s
- 2.-10 m³/s
- 3.-19 m³/s
- 4.-24 m³/s
- 5.-30 m³/s
- 6.-34 m³/s

1 a. REVISIÓN:

PARA: $Q= 4 \text{ m}^3/\text{s}$

De la tabla 7 pag.58 , se toman los siguientes datos:

$$Q = 4.017\text{m}^3/\text{s}$$

$$b = 4.60 \text{ m}$$

$$v = 1.488 \text{ m/s}$$

$$y = 0.625 \text{ m}$$

Se realiza un análisis que corresponde a un canal rectangular:

I.- Cálculo del tirante crítico: $y_c = ?$

$$Q^2/ g = Ac^3/ T$$

$$Q^2/ g = b^3 y_c^3/T=b$$

$$Q^2/ g = b^2 y_c^2$$

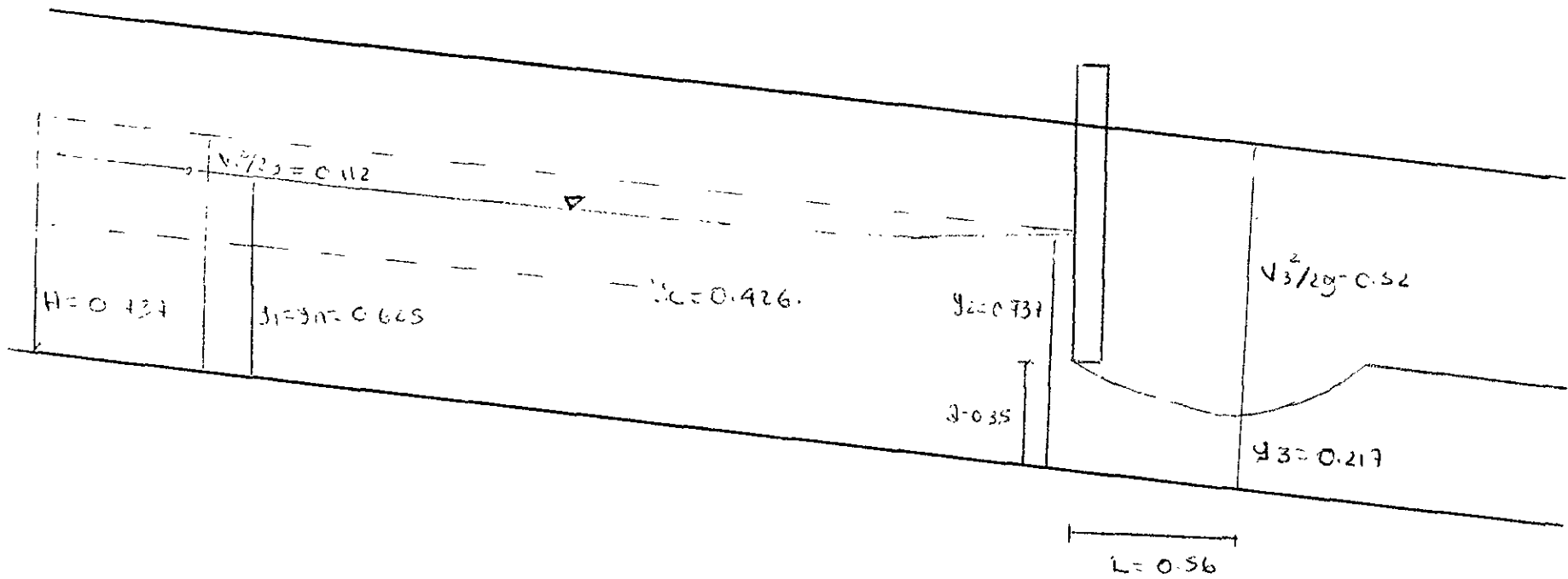
$$y_c = \sqrt[3]{(Q^2/b^2g)}$$

$$\boxed{y_c = 0.426 \text{ m}}$$

COMPROBACIÓN:

$$V_c = 4.017/(0.426*4.60) \Rightarrow V_c = 2.05 \text{ m/s}$$

$$FR = V_c/\sqrt{(g y_c)} \Rightarrow \boxed{FR = 1.00}$$



2 a. REVISIÓN:

PARA: $Q = 10 \text{ m}^3/\text{s}$

De la **tabla 7 pag.58**, se toman los siguientes datos:

$$Q = 10.012 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$b = 4.60 \text{ m}$$

$$v = 2.002 \text{ m/s}$$

$$y = 1.125 \text{ m}$$

Se realiza un análisis que corresponde a un canal rectangular:

I.- Cálculo del tirante crítico: $y_c = ?$

$$Q^2/g = Ac^3/T$$

$$Q^2/g = b^3 y_c^3/T_{=b}$$

$$Q^2/g = b^2 y_c^2$$

$$y_c = \sqrt[3]{(Q^2/b^2g)}$$

$$\boxed{y_c = 0.784 \text{ m}}$$

COMPROBACIÓN:

$$V_c = 10.012/(0.784*4.60) \Rightarrow V_c = 2.77 \text{ m/s}$$

$$FR = V_c/\sqrt{(g y_c)} \Rightarrow \boxed{FR = 1.00}$$

II.- Cálculo del tirante normal $y_n = ?$

$$Q_n/s^{1/2} = ARh^{2/3}$$

$$Q_n/s^{1/2} = (10.012 \cdot 0.011)/(0.00067)^{1/2}$$

$$Q_n/s^{1/2} = 4.25$$

$$4.25 = ARh^{2/3}$$

$y(m)$	$A (m^2)$	$P (m)$	$Rh (m)$	$ARh^{2/3}$
1.125	5.00	6.37	0.785	4.25

$y_n = 1.125 \text{ m}$

III.-Cálculo del tipo de régimen $FR = ?$

$$FR = V/\sqrt{gY}$$

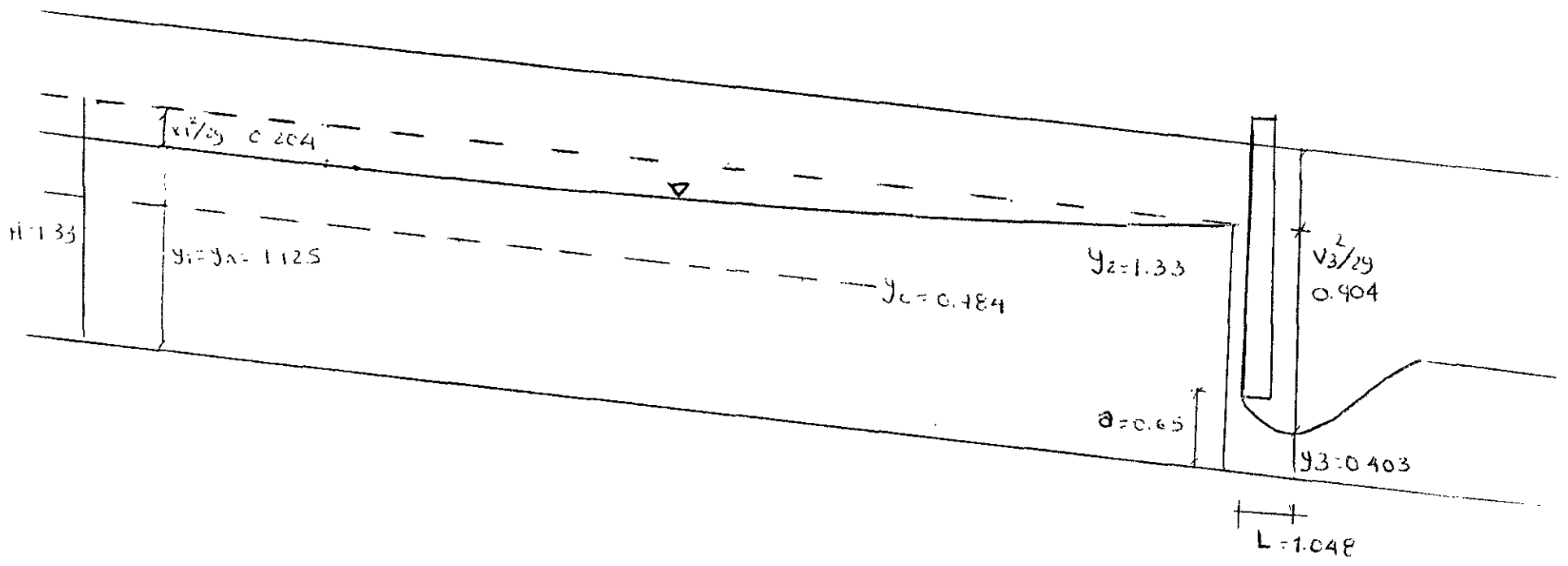
$$FR = 2.002/ 3.49 \Rightarrow FR= 0.722$$

$FR = 0.722$

$FR < 1 \Rightarrow \text{RÉGIMEN SUBCRÍTICO}$
--

IV.- Análisis en la Lumbreira 3

En el **anexo 10** se presentan los cálculos para obtener el siguiente esquema que representa el comportamiento del flujo en la **Lumbreira 3**.



3a . REVISIÓN:

PARA: $Q= 19 \text{ m}^3/\text{s}$

De la **tabla 7 pag.58**, se toman los siguientes datos:

$$Q = 19.06 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$b = 4.60\text{m}$$

$$v = 2.406 \text{ m/s}$$

$$y = 1.76 \text{ m}$$

Se realiza un análisis que corresponde a un canal rectangular:

I.- Cálculo del tirante crítico: $y_c = ?$

$$Q^2/ g = Ac^3/ T$$

$$Q^2/ g = b^3 y_c^3/T=b$$

$$Q^2/ g = b^2 y_c^2$$

$$y_c = \sqrt[3]{(Q^2/b^2g)}$$

$$\boxed{y_c = 1.205 \text{ m}}$$

COMPROBACIÓN:

$$V_c = 19.06/(1.205*4.60) \Rightarrow V_c = 3.43 \text{ m/s}$$

$$FR = V_c/\sqrt{(g y_c)} \Rightarrow \boxed{FR = 1.00}$$

II.- Cálculo del tirante normal $y_n = ?$

$$Qn/s^{1/2} = ARh^{2/3}$$

$$Qn/s^{1/2} = (19.06 \cdot 0.011)/(0.00067)^{1/2}$$

$$Qn/s^{1/2} = 8.1$$

$$8.1 = ARh^{2/3}$$

y(m)	A (m²)	P (m)	Rh (m)	ARh^{2/3}
1.76	7.921	7.66	1.034	8.1

$y_n = 1.76 \text{ m}$
--

III.-Cálculo del tipo de régimen FR = ?

$$FR = V/\sqrt{gY}$$

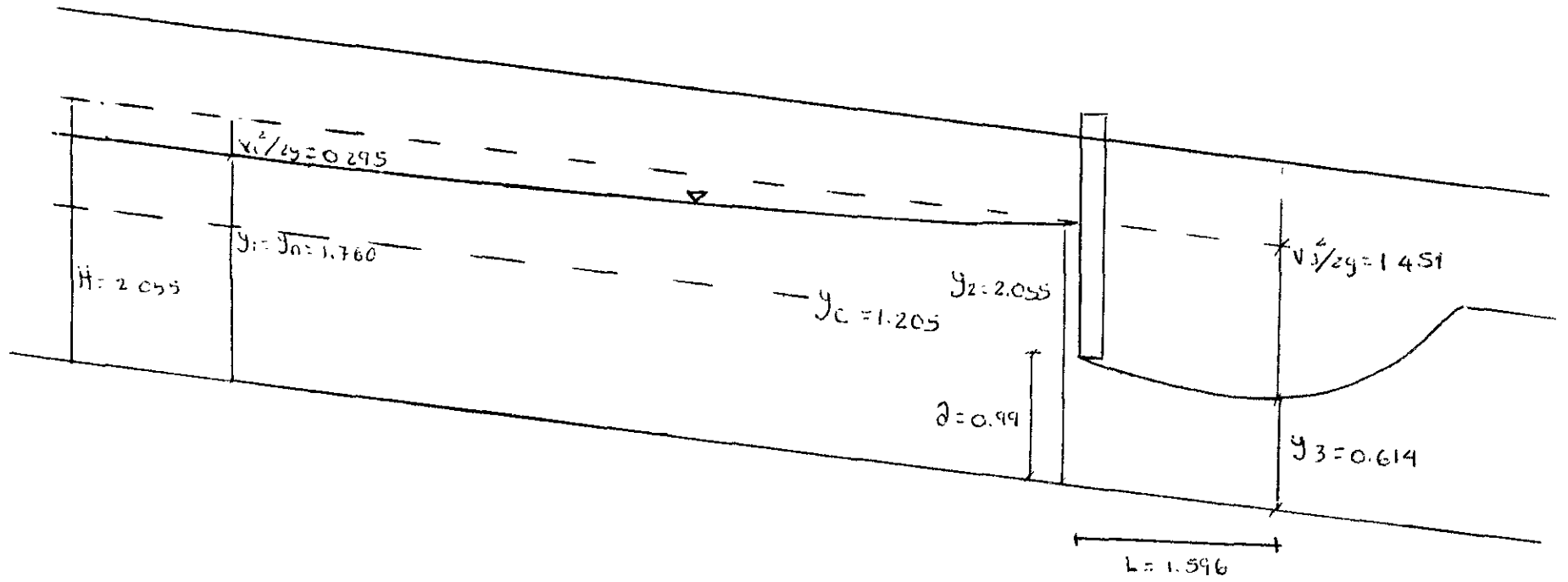
$$FR = 2.406/ 3.44 \Rightarrow FR= 0.701$$

FR = 0.701

FR < 1 \Rightarrow RÉGIMEN SUBCRÍTICO
--

IV.- Análisis en la Lumbrera 3

En el **anexo 10** se presentan los cálculos para obtener el siguiente esquema que representa el comportamiento del flujo en la **Lumbrera 3**.



4a . REVISIÓN:

PARA: $Q= 24 \text{ m}^3/\text{s}$

De la **tabla 7 pag.58**, se toman los siguientes datos:

$$Q = 24.053 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$b = 4.6 \text{ m}$$

$$T = 4.578 \text{ m}$$

$$V = 2.572 \text{ m/s}$$

$$y = 2.03 \text{ m}$$

El análisis corresponde a una combinación de Canal Rectangular y parte de Sección Circular.

I.- Cálculo del tirante crítico: $y_c = ?$

$$Q^2/g = A c^3/ T$$

$$(24.053)^2/9.81 = A^3/T$$

y	A	A ³	B	Q ² /9.81	=	A ³ /B
1.60	7.185	370.92	4.60	58.97	≠	80.63
1.50	6.725	304.14	4.60	58.97	≠	66.11
1.42	6.479	272.00	4.60	58.97	=	59.00

$y_c = 1.42 \text{ m}$

COMPROBACIÓN:

$$V_c = 24.053 / (1.42 * 4.60) \Rightarrow V_c = 3.68 \text{ m/s}$$

$$FR = V_c / \sqrt{g y_c} \Rightarrow FR = 1.00$$

II.- Cálculo del tirante normal $y_n = ?$

$$Qn/s^{1/2} = ARh^{2/3}$$

$$Qn/s^{1/2} = (24.053 \cdot 0.011)/(0.00067)^{1/2}$$

$$Qn/s^{1/2} = 10.22$$

$$10.22 = ARh^{2/3}$$

y(m)	A (m²)	P (m)	Rh (m)	ARh^{2/3}
2.03	9.35	8.18	1.143	10.22

$y_n = 2.03 \text{ m}$
--

III.-Cálculo del tipo de régimen FR = ?

$$FR = V/\sqrt{(gY)}$$

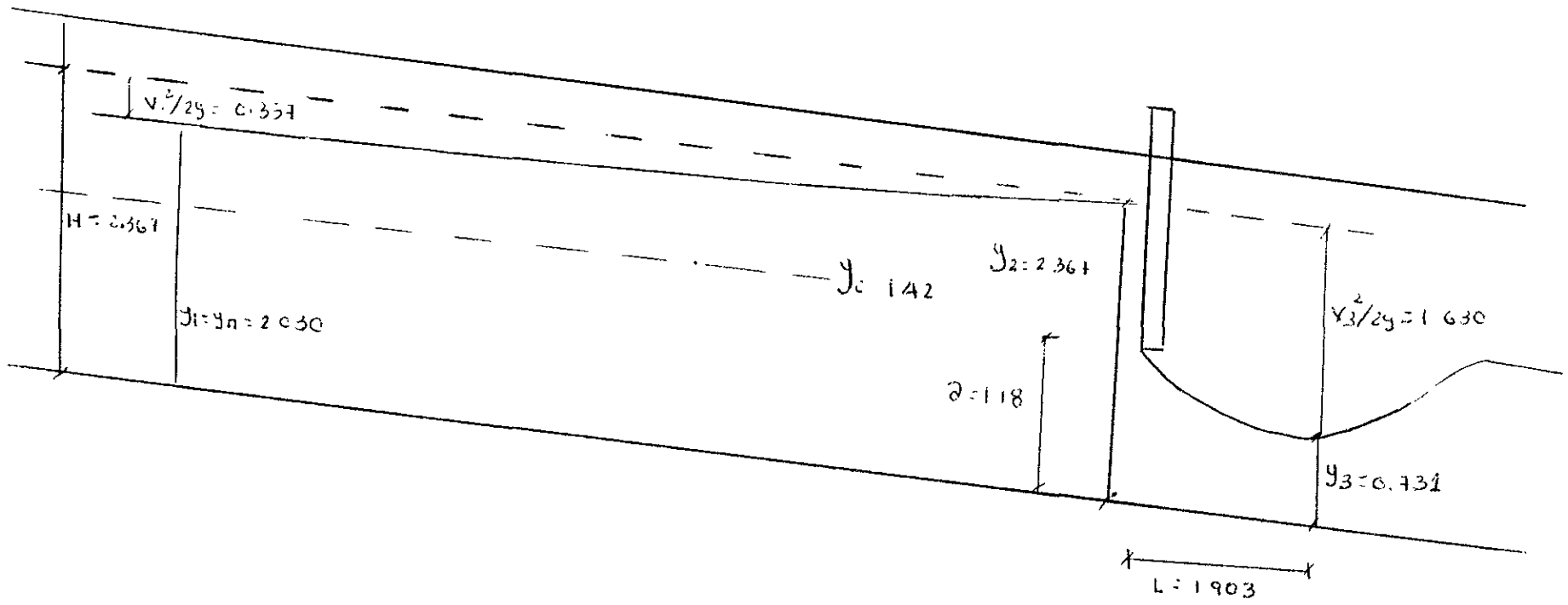
$$FR = 2.572/ 3.73 \Rightarrow FR= 0.69$$

$FR = 0.690$

$FR < 1 \Rightarrow \text{RÉGIMEN SUBCRÍTICO}$

IV.- Análisis en la Lumbreira 3

En el **anexo 10** se presentan los cálculos para obtener el siguiente esquema que representa el comportamiento del flujo en la **Lumbreira 3**.



5a . REVISIÓN:

ESTA TERCERA NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

PARA: Q= 30 m³/s

De la **tabla 7 pag.58**, se toman los siguientes datos:

$$Q = 30.586 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$T = 4.42 \text{ m}$$

$$V = 2.757 \text{ m/s}$$

$$y = 2.38 \text{ m}$$

El análisis corresponde a una combinación de Canal Rectangular y parte de Sección Circular.

I.- Cálculo del tirante crítico: $y_c = ?$

$$Q^2/g = A c^3/T$$

$$(30.586)^2/9.81 = A^3/T$$

y	A	A ³	B	Q ² /9.81	=	A ³ /B
1.60	7.185	370.92	4.60	95.36	≠	80.63
1.70	7.645	446.82	4.60	95.36	≠	97.13
1.69	7.599	438.80	4.60	95.36	=	95.39

Y_c=1.69

COMPROBACIÓN:

$$V_c = 30.586 / (1.69 * 4.60) \Rightarrow V_c = 3.93 \text{ m/s}$$

$$FR = V_c / \sqrt{g y_c} \Rightarrow \text{FR} = 1.00$$

II.- Cálculo del tirante normal $y_n = ?$

$$Qn/s^{1/2} = ARh^{2/3}$$

$$Qn/s^{1/2} = (30.586 \cdot 0.011)/(0.00067)^{1/2}$$

$$Qn/s^{1/2} = 12.99$$

$$12.99 = ARh^{2/3}$$

y(m)	A (m²)	P (m)	Rh (m)	ARh^{2/3}
2.38	11.095	8.75	1.268	12.99

$y_n = 2.38 \text{ m}$
--

III.-Cálculo del tipo de régimen FR = ?

$$FR = V/\sqrt{gY}$$

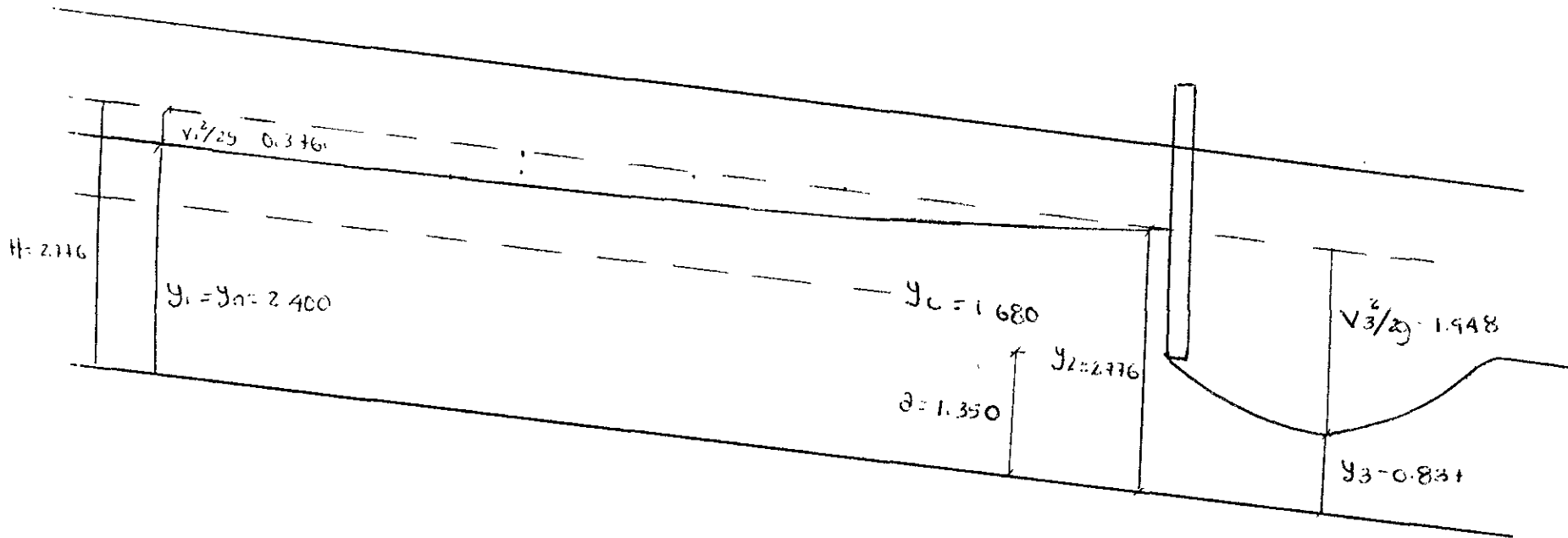
$$FR = 2.757/ 4.07 \Rightarrow FR= 0.677$$

$FR = 0.677$

$FR < 1 \Rightarrow \text{RÉGIMEN SUBCRÍTICO}$

IV.- Análisis en la Lumbreira 3

En el **anexo 10** se presentan los cálculos para obtener el siguiente esquema que representa el comportamiento del flujo en la **Lumbreira 3**.



6a . REVISIÓN:

PARA: $Q= 34 \text{ m}^3/\text{s}$

De la tabla 7 pag.58, se toman los siguientes datos:

$$Q = 34.013 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$T = 4.23 \text{ m}$$

$$V = 2.788 \text{ m/s}$$

$$y = 2.66 \text{ m}$$

El análisis corresponde a una combinación de Canal Rectangular y parte de Sección Circular.

I.- Cálculo del tirante crítico: $y_c = ?$

$$Q^2/g = Ac^3/T$$

$$(34.013)^2/9.81 = A^3/T$$

y	A	A ³	B	Q ² /9.81	=	A ³ /B
1.81	8.151	541.54	4.60	117.92	≠	117.72

$y_c=1.81$

COMPROBACIÓN:

$$V_c = 34.013(1.81 \cdot 4.60) \Rightarrow V_c = 4.085 \text{ m/s}$$

$$FR = V_c / \sqrt{g y_c} \Rightarrow \mathbf{FR=1.00}$$

II.- Cálculo del tirante normal $y_n = ?$

$$Qn/s^{1/2} = ARh^{2/3}$$

$$Qn/s^{1/2} = (34.013 \cdot 0.011)/(0.00067)^{1/2}$$

$$Qn/s^{1/2} = 14.45$$

$$14.45 = ARh^{2/3}$$

$y(m)$	$A (m^2)$	$P (m)$	$Rh (m)$	$ARh^{2/3}$
2.66	12.20	9.46	1.290	14.45

$y_n = 2.66 \text{ m}$

III.-Cálculo del tipo de régimen $FR = ?$

$$FR = V/\sqrt{gY}$$

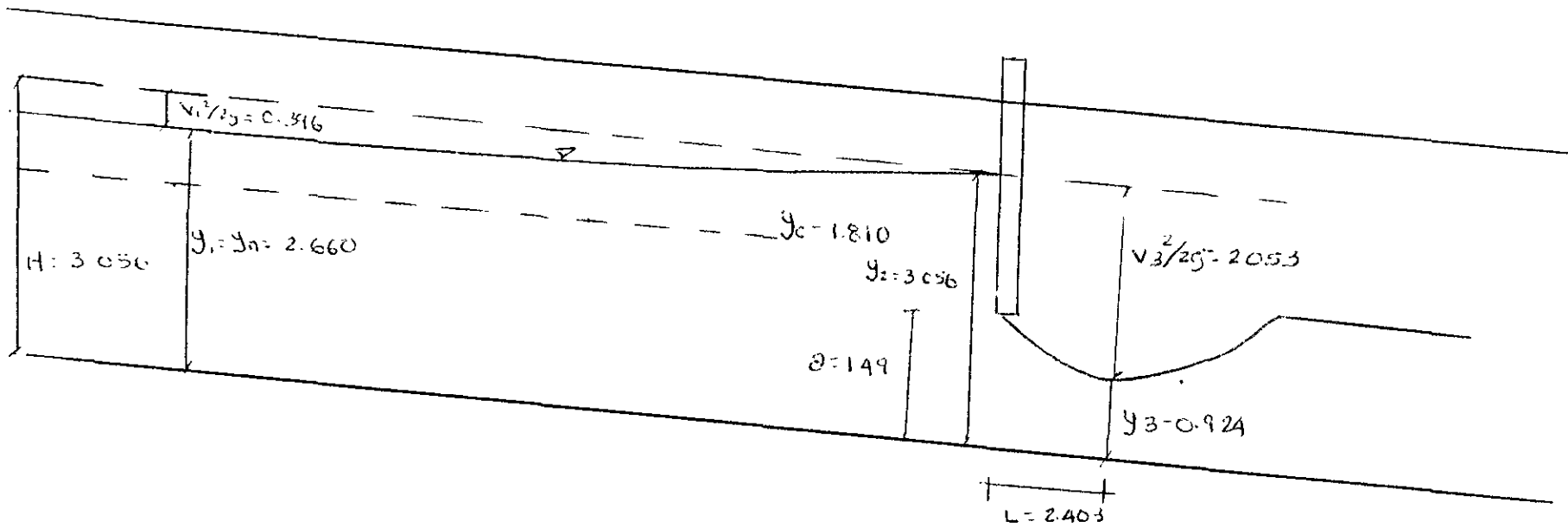
$$FR = 2.788/ 4.21 \Rightarrow FR= 0.662$$

$FR = 0.662$

$FR < 1 \Rightarrow \text{RÉGIMEN SUBCRÍTICO}$
--

IV.- Análisis en la Lumbrera 3

En el **anexo 10** se presentan los cálculos para obtener el siguiente esquema que representa el comportamiento del flujo en la **Lumbrera 3**.



RESUMEN SECCION PORTAL

Revisión	y2 (m)	A (m ²)	P (m)	Rh (m)	Q (m ³ /s)	V (m/s)	Vc (m/s)	n	S	yc (m)	yn=y1 (m)	Fr	ZONA DE COMPUERTAS			
													L (m)	V3 (m/s)	a (m)	y3 (m)
1	0.737	2.700	5.370	0.503	4.017	1.488	2.050	0.011	0.0007	0.426	0.625	0.728	0.56	3.17	0.35	0.217
2	1.329	5.000	6.370	0.785	10.012	2.002	2.770	0.011	0.0007	0.784	1.125	0.722	1.048	4.28	0.65	0.403
3	2.055	7.921	7.660	1.034	19.060	2.406	3.430	0.011	0.0007	1.205	1.760	0.701	1.596	5.33	0.99	0.614
4	2.367	9.350	8.180	1.143	24.053	2.572	3.680	0.011	0.0007	1.420	2.030	0.690	1.903	5.65	1.18	0.731
5	2.776	11.125	8.970	1.240	30.219	2.716	3.910	0.011	0.0007	1.680	2.400	0.677	2.17	6.18	1.35	0.837
6	3.056	12.200	9.460	1.290	34.013	2.788	4.085	0.011	0.0007	1.810	2.660	0.662	2.403	6.34	1.49	0.924



Fotografía 18.-Túnel Analco-San José Visto desde la parte alta del interior de la lumbreraNo.3

**III.3.-PERFILES SECCIÓN PORTAL
TÚNEL ANALCO-SAN JOSÉ
(Método de incrementos finitos)**

TIPO DE PERFL: M1

y1 = y2 y2 = 0.737 m
 yf = yn yn = 0.625 m
 Q = 4 m³/s

y	A	P	Rh	V	V ² /2g	Ej	Inc. E	Sa	Sfm	So-Sfm	Inc. x	Long.acum
0.737	3.390	6.074	0.558	1.185	0.0716	0.8086		0.01920			0.00	0.00
0.731	3.354	6.063	0.555	1.194	0.0727	0.8041	0.0045	0.01940	0.01930	-0.01893	0.242	0.24
0.726	3.339	6.052	0.552	1.203	0.0738	0.7998	0.0045	0.01955	0.01953	-0.01886	0.237	0.48
0.720	3.313	6.040	0.548	1.213	0.0749	0.7951	0.0044	0.01982	0.01979	-0.01912	0.233	0.71
0.715	3.287	6.029	0.545	1.222	0.0761	0.7907	0.0044	0.02015	0.02003	-0.01936	0.228	0.94
0.709	3.261	6.018	0.542	1.232	0.0773	0.7863	0.0044	0.02038	0.02026	-0.01959	0.224	1.16
0.703	3.236	6.007	0.539	1.241	0.0786	0.7820	0.0044	0.02060	0.02049	-0.01982	0.220	1.38
0.698	3.210	5.996	0.535	1.251	0.0798	0.7776	0.0043	0.02089	0.02074	-0.02007	0.216	1.60
0.692	3.184	5.984	0.532	1.262	0.0811	0.7733	0.0043	0.02114	0.02101	-0.02034	0.212	1.81
0.687	3.158	5.973	0.529	1.272	0.0824	0.7690	0.0043	0.02139	0.02126	-0.02059	0.207	2.02
0.681	3.133	5.962	0.525	1.282	0.0838	0.7648	0.0042	0.02167	0.02153	-0.02086	0.203	2.22
0.675	3.107	5.951	0.522	1.293	0.0852	0.7606	0.0042	0.02193	0.02180	-0.02113	0.199	2.42
0.670	3.081	5.940	0.519	1.304	0.0866	0.7564	0.0042	0.02221	0.02207	-0.02140	0.195	2.62
0.664	3.055	5.928	0.515	1.315	0.0881	0.7523	0.0041	0.02251	0.02238	-0.02169	0.191	2.81
0.659	3.030	5.917	0.512	1.326	0.0898	0.7482	0.0041	0.02279	0.02265	-0.02198	0.186	2.99
0.653	3.004	5.906	0.509	1.337	0.0912	0.7442	0.0041	0.02307	0.02293	-0.02226	0.182	3.18
0.647	2.978	5.895	0.505	1.349	0.0927	0.7401	0.0040	0.02340	0.02324	-0.02257	0.178	3.35
0.642	2.952	5.884	0.502	1.361	0.0944	0.7362	0.0040	0.02370	0.02355	-0.02288	0.174	3.53
0.636	2.927	5.872	0.498	1.373	0.0960	0.7322	0.0039	0.02403	0.02386	-0.02319	0.170	3.70
0.631	2.901	5.861	0.495	1.385	0.0977	0.7283	0.0039	0.02434	0.02418	-0.02351	0.165	3.86
0.625	2.875	5.850	0.491	1.397	0.0995	0.7245	0.0038	0.02469	0.02452	-0.02385	0.161	4.02

Tabla 8.- Cálculo del perfil tipo M1, 1a. revisión, Túnel Analco-San José, Sección Portal

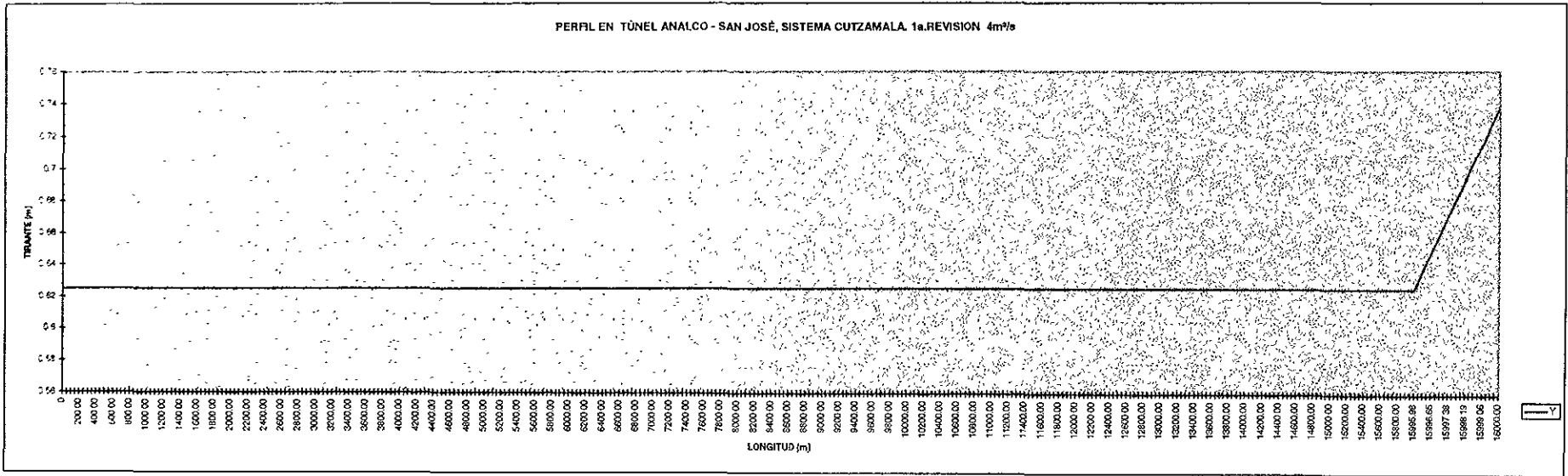


Figura 6.- Perfil tipo M1 Túnel Analco-San José Q= 4 m³/s Sección Circular

TIPO DE PERFIL: M1

$y_1 = y_2$ $y_2 =$ 1 329 m
 $y_f = y_n$ $y_n =$ 1 125 m
 $Q =$ 10 m³/s

y	A	P	Rh	V	V ² /2g	Ei	Inc. E	Sfi	Sfm	So-Sfm	Inc. x	Long.acum.
1 329	6.113	7 258	0 842	1 638	0 1367	1 4657		0 02020			0 00	0 00
1 319	6.066	7 238	0 838	1 650	0 1388	1 4576	0 0081	0 02043	0 02032	-0 01965	0 411	0 41
1 309	6 020	7 217	0 834	1 663	0 1410	1 4496	0 0080	0 02065	0 02054	-0 01987	0 404	0 82
1 298	5 973	7 197	0 830	1 676	0 1432	1 4416	0 0080	0 02088	0 02076	-0 02009	0 397	1 21
1 288	5 926	7 176	0 826	1 690	0 1455	1 4337	0 0079	0 02110	0 02099	-0 02032	0 390	1 60
1 278	5 879	7 156	0 822	1 703	0 1478	1 4258	0 0079	0 02135	0 02122	-0 02055	0 383	1 98
1 268	5 832	7 136	0 817	1 717	0 1502	1 4180	0 0078	0 02161	0 02148	-0 02081	0 375	2 36
1 258	5 785	7 115	0 813	1 731	0 1527	1 4103	0 0078	0 02185	0 02173	-0 02106	0 368	2 73
1 247	5 738	7 095	0 809	1 745	0 1552	1 4026	0 0077	0 02211	0 02198	-0 02131	0 361	3 09
1 237	5 691	7 074	0 804	1 759	0 1577	1 3949	0 0076	0 02238	0 02224	-0 02157	0 354	3 44
1 227	5 644	7 054	0 800	1 774	0 1604	1 3874	0 0076	0 02264	0 02251	-0 02184	0 346	3 79
1 217	5 597	7 034	0 796	1 789	0 1631	1 3799	0 0075	0 02291	0 02278	-0 02211	0 339	4 13
1 207	5 550	7 013	0 791	1 804	0 1658	1 3724	0 0074	0 02320	0 02306	-0 02239	0 332	4 46
1 196	5 503	6 993	0 787	1 819	0 1687	1 3651	0 0074	0 02348	0 02334	-0 02267	0 325	4 79
1 186	5 457	6 972	0 783	1 835	0 1716	1 3578	0 0073	0 02376	0 02362	-0 02295	0 318	5 10
1 176	5 410	6 952	0 778	1 851	0 1746	1 3506	0 0072	0 02407	0 02391	-0 02324	0 310	5 41
1 166	5 363	6 932	0 774	1 867	0 1777	1 3435	0 0071	0 02436	0 02421	-0 02354	0 303	5 72
1 156	5 316	6 911	0 769	1 883	0 1808	1 3364	0 0070	0 02468	0 02452	-0 02385	0 296	6 01
1 145	5 269	6 891	0 765	1 900	0 1840	1 3294	0 0070	0 02499	0 02483	-0 02416	0 288	6 30
1 135	5 222	6 870	0 760	1 917	0 1874	1 3226	0 0069	0 02532	0 02515	-0 02448	0 281	6 58
1 125	5 175	6 850	0 755	1 935	0 1908	1 3158	0 0068	0 02567	0 02549	-0 02482	0 273	6 85

Tabla 9.- Cálculo del perfil tipo M1, 2a. revisión, Túnel Anlco-San José, Sección Portal

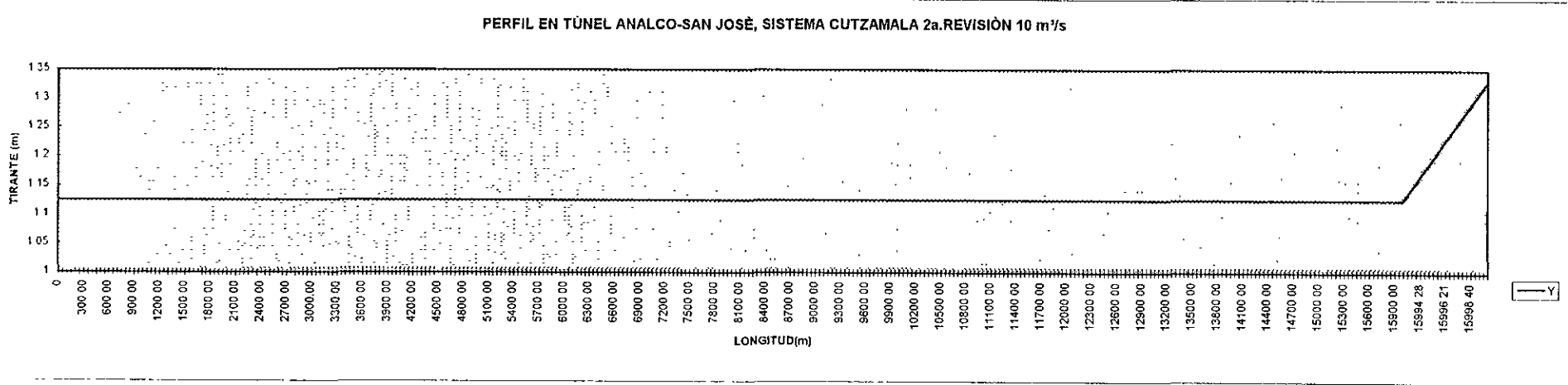


Figura 7.- Perfil tipo M1 Túnel Analco-San José Q= 10m³/s Sección Portal

TIPO DE PERFIL: M1

$y_i = y_2$ $y_2 =$ 2.055 m
 $y_f = y_n$ $y_n =$ 1.760 m
 Q= 19 m³/s

y	A	P	Rh	V	V ² /2g	Ei	Inc. E	Sfi	Sfm	So-Sfm	Inc. x	Long.acum.
2.055	9.450	8.230	1.148	2.011	0.2060	2.2610		0.020235			0.00	0.00
2.040	9.393	8.200	1.145	2.023	0.2085	2.2488	0.0122	0.020390	0.02031	-0.01964	0.623	0.62
2.026	9.335	8.173	1.142	2.035	0.2112	2.2367	0.0121	0.020550	0.02047	-0.01980	0.613	1.24
2.011	9.278	8.148	1.139	2.048	0.2138	2.2245	0.0121	0.02072	0.02063	-0.01996	0.608	1.84
1.996	9.219	8.123	1.135	2.061	0.2165	2.2125	0.0120	0.02090	0.02081	-0.02014	0.597	2.44
1.981	9.156	8.096	1.131	2.075	0.2195	2.2007	0.0117	0.02109	0.02100	-0.02033	0.578	3.02
1.967	9.096	8.076	1.126	2.089	0.2224	2.1889	0.0119	0.02129	0.02119	-0.02052	0.578	3.60
1.952	8.978	8.504	1.056	2.116	0.2283	2.1800	0.0089	0.02252	0.02190	-0.02123	0.418	4.01
1.937	8.910	8.474	1.051	2.132	0.2318	2.1688	0.0113	0.02276	0.02264	-0.02197	0.513	4.53
1.922	8.842	8.445	1.047	2.149	0.2353	2.1576	0.0112	0.02299	0.02288	-0.02221	0.503	5.03
1.908	8.775	8.415	1.043	2.165	0.2390	2.1465	0.0111	0.02321	0.02310	-0.02243	0.495	5.53
1.893	8.707	8.386	1.038	2.182	0.2427	2.1355	0.0110	0.02349	0.02335	-0.02268	0.486	6.01
1.878	8.639	8.356	1.034	2.199	0.2465	2.1245	0.0109	0.02370	0.02359	-0.02292	0.476	6.49
1.863	8.571	8.327	1.029	2.217	0.2505	2.1137	0.0108	0.02400	0.02385	-0.02318	0.467	6.95
1.849	8.503	8.297	1.025	2.234	0.2545	2.1030	0.0107	0.02425	0.02413	-0.02346	0.458	7.41
1.834	8.435	8.268	1.020	2.252	0.2586	2.0923	0.0106	0.02407	0.02453	-0.02386	0.446	7.86
1.819	8.367	8.238	1.016	2.271	0.2628	2.0818	0.0105	0.02479	0.02398	-0.13531	0.078	7.94
1.804	8.300	8.209	1.011	2.289	0.2671	2.0714	0.0104	0.02507	0.02369	-0.13582	0.077	8.01
1.790	8.232	8.179	1.006	2.308	0.2715	2.0610	0.0103	0.02499	0.02537	-0.02470	0.418	8.43
1.775	8.164	8.150	1.002	2.327	0.2761	2.0508	0.0102	0.02565	0.02532	-0.02465	0.415	8.85
1.760	8.096	8.120	0.997	2.347	0.2807	2.0407	0.0101	0.02595	0.02580	-0.02513	0.402	9.25

Tabla 10.- Cálculo del perfil tipo M1, 3a. revisión, Túnel Analco-San José, Sección Portal

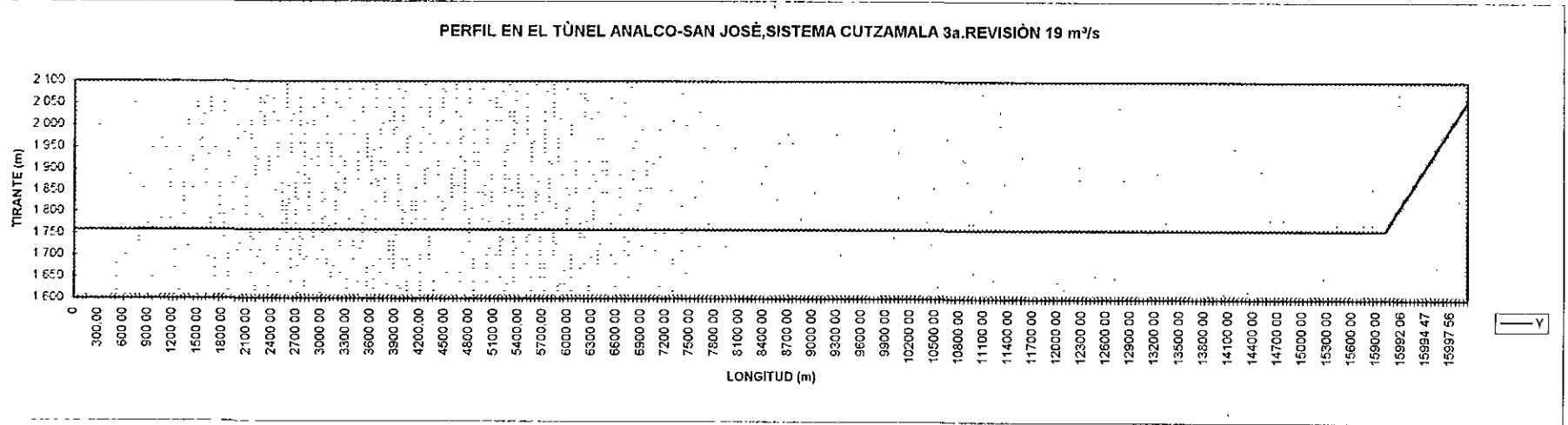


Figura 8.- Perfil tipo M1 Túnel Analco-San José Q= 19m³/s Sección Portal

TIPO DE PERFIL: M1

$y_i = y_2$ $y_2 = 2.367$ m
 $y_f = y_n$ $y_n = 2.030$ m
 $Q = 24$ m³/s

y	A	P	Rh	V	V ² /2g	Ei	Inc. E	Sfi	Sfm	So-Sfm	Inc. x	Long.acum.
2.367	10.919	8.878	1.230	2.198	0.2462	2.6132		0.02111			0.00	0.00
2.350	10.813	8.830	1.225	2.220	0.2511	2.6012	0.0120	0.02137	0.02124	-0.02057	0.583	0.58
2.333	10.688	8.782	1.217	2.245	0.2570	2.5903	0.0110	0.02172	0.02154	-0.02087	0.525	1.11
2.316	10.600	8.735	1.214	2.264	0.2613	2.5777	0.0126	0.02193	0.02183	-0.02116	0.594	1.70
2.300	10.501	8.690	1.208	2.285	0.2662	2.5658	0.0119	0.02221	0.02207	-0.02140	0.556	2.26
2.283	10.429	8.652	1.205	2.301	0.2699	2.5527	0.0132	0.02240	0.02231	-0.02164	0.608	2.87
2.266	10.358	8.625	1.201	2.317	0.2736	2.5395	0.0131	0.02261	0.02251	-0.02184	0.601	3.47
2.249	10.286	8.595	1.197	2.333	0.2775	2.5265	0.0130	0.02282	0.02271	-0.02204	0.591	4.06
2.232	10.215	8.557	1.194	2.350	0.2814	2.5136	0.0129	0.02301	0.02291	-0.02224	0.582	4.64
2.215	10.143	8.528	1.189	2.366	0.2853	2.5007	0.0129	0.02324	0.02313	-0.02246	0.573	5.21
2.199	10.076	8.500	1.185	2.382	0.2892	2.4877	0.0130	0.02345	0.02335	-0.02268	0.574	5.79
2.182	10.004	8.468	1.181	2.399	0.2934	2.4750	0.0127	0.02367	0.02356	-0.02289	0.553	6.34
2.165	9.931	8.437	1.177	2.417	0.2977	2.4625	0.0126	0.02389	0.02378	-0.02311	0.544	6.88
2.148	9.859	8.406	1.173	2.434	0.3020	2.4500	0.0125	0.02413	0.02401	-0.02334	0.534	7.42
2.131	9.787	8.376	1.168	2.452	0.3065	2.4376	0.0124	0.02437	0.02425	-0.02358	0.525	7.94
2.114	9.715	8.345	1.164	2.471	0.3111	2.4253	0.0123	0.02461	0.02453	-0.02386	0.514	8.46
2.097	9.641	8.314	1.160	2.489	0.3158	2.4132	0.0121	0.02485	0.02473	-0.02406	0.502	8.96
2.081	9.572	8.280	1.156	2.507	0.3204	2.4010	0.0123	0.02510	0.02497	-0.02430	0.505	9.47
2.064	9.498	8.250	1.151	2.527	0.3254	2.3891	0.0118	0.02561	0.02537	-0.02470	0.479	9.94
2.047	9.424	8.210	1.148	2.547	0.3306	2.3774	0.0117	0.02565	0.02563	-0.02496	0.470	10.41
2.030	9.350	8.180	1.143	2.567	0.3358	2.3658	0.0116	0.02588	0.02576	-0.02509	0.462	10.88

Tabla 11.- Cálculo del perfil tipo M1, 4a. revisión, Túnel Analco-San José, Sección Portal

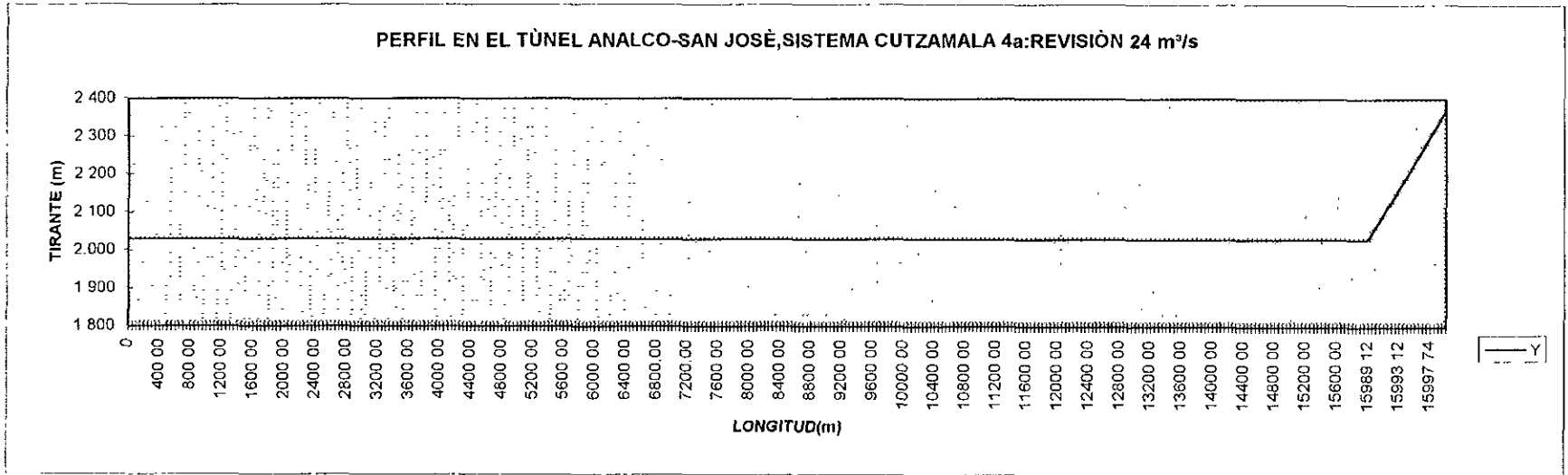


Figura 9.- Perfil tipo M1 Túnel Analco-San José Q= 24m³/s Sección Portal

TIPO DE PERFIL: M1

$y_i = y_2$ $y_2 =$ 2.776 m
 $y_f = y_n$ $y_n =$ 2.400 m
 $Q =$ 30 m³/s

y	A	P	Rh	V	V ² /2g	Ei	Inc. E	Sfi	Sfm	So-Sfm	Inc. x	Long.acur
2.776	12.649	9.684	1.306	2.389	0.2909	3.0669		0.02184			0.00	0.00
2.757	12.573	9.648	1.303	2.403	0.2944	3.0516	0.0153	0.02200	0.02192	-0.02125	0.719	0.72
2.738	12.497	9.612	1.300	2.418	0.2980	3.0364	0.0152	0.02217	0.02208	-0.02141	0.710	1.43
2.720	12.425	9.578	1.297	2.432	0.3015	3.0211	0.0153	0.02233	0.02225	-0.02158	0.711	2.14
2.701	12.345	9.540	1.294	2.448	0.3054	3.0062	0.0149	0.02251	0.02242	-0.02175	0.684	2.82
2.682	12.279	9.500	1.293	2.461	0.3087	2.9907	0.0155	0.02264	0.02258	-0.02191	0.708	3.53
2.663	12.200	9.460	1.290	2.477	0.3127	2.9759	0.0148	0.02283	0.02273	-0.02206	0.670	4.20
2.644	12.115	9.423	1.286	2.494	0.3171	2.9615	0.0144	0.02303	0.02293	-0.02226	0.647	4.85
2.626	12.073	9.405	1.284	2.503	0.3193	2.9449	0.0166	0.02314	0.02308	-0.02241	0.739	5.59
2.607	11.945	9.350	1.278	2.530	0.3262	2.9330	0.0119	0.02346	0.02330	-0.02263	0.528	6.12
2.588	11.903	9.331	1.276	2.539	0.3285	2.9165	0.0165	0.02357	0.02351	-0.02284	0.722	6.84
2.569	11.819	9.293	1.272	2.557	0.3332	2.9024	0.0141	0.02378	0.02367	-0.02300	0.614	7.45
2.550	11.735	9.255	1.268	2.575	0.3380	2.8884	0.0140	0.02400	0.02389	-0.02322	0.603	8.05
2.532	11.651	9.217	1.264	2.594	0.3429	2.8745	0.0139	0.02423	0.02412	-0.02345	0.593	8.65
2.513	11.579	9.185	1.261	2.610	0.3472	2.8600	0.0145	0.02442	0.02432	-0.02365	0.614	9.26
2.494	11.525	9.160	1.258	2.622	0.3504	2.8444	0.0155	0.02457	0.02453	-0.02386	0.651	9.91
2.475	11.425	9.113	1.254	2.645	0.3566	2.8318	0.0126	0.02484	0.02470	-0.02403	0.526	10.44
2.456	11.325	9.065	1.249	2.668	0.3629	2.8193	0.0125	0.02512	0.02498	-0.02431	0.513	10.95
2.438	11.285	9.046	1.248	2.678	0.3655	2.8031	0.0162	0.02523	0.02537	-0.02470	0.657	11.61
2.419	11.205	9.008	1.244	2.697	0.3707	2.7895	0.0136	0.02546	0.02534	-0.02467	0.550	12.16
2.400	11.125	8.970	1.240	2.716	0.3761	2.7761	0.0134	0.02570	0.02558	-0.02491	0.540	12.70

Tabla12.- Cálculo del perfil tipo M1, 5a. revisión, Túnel Analco-San José, Sección Portal

PERFIL EN EL TÚNEL ANALCO-SAN JOSÉ, SISTEMA CUTZAMALA 5a.REVISIÓN 30 m³/s

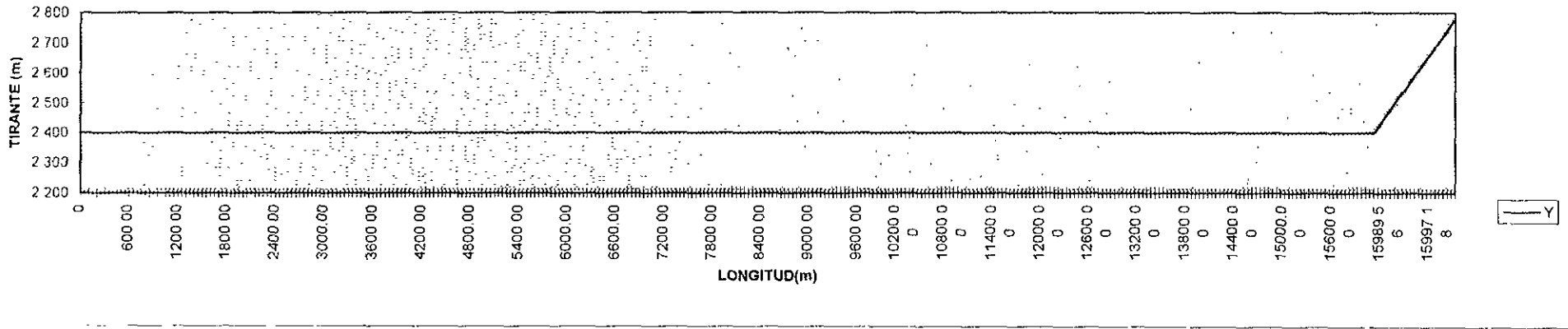


Figura 10.- Perfil tipo M1 Túnel Analco-San José Q= 30m³/s Sección Portal

TIPO DE PERFIL: M1

$y_i = y_2$ $y_2 =$ 3.056 m
 $y_f = y_n$ $y_n =$ 2.660 m
 $Q =$ 34 m³/s

y	A	P	Rh	V	V ² /2g	Ei	Inc. E	Sfi	Sfm	So-Sfm	Inc. x	Long.acum.
3.056	13.900	10.350	1.343	2.446	0.3050	3.3610		0.02210			0.00	0.00
3.036	13.800	10.298	1.340	2.464	0.3094	3.3456	0.0154	0.02222	0.02216	-0.02149	0.715	0.71
3.016	13.772	10.282	1.339	2.469	0.3106	3.3270	0.0185	0.02235	0.02229	-0.02162	0.858	1.57
2.997	13.713	10.250	1.338	2.479	0.3133	3.3099	0.0171	0.02246	0.02241	-0.02174	0.788	2.36
2.977	13.581	10.176	1.335	2.503	0.3194	3.2962	0.0137	0.02271	0.02259	-0.02192	0.624	2.98
2.957	13.427	10.090	1.331	2.532	0.3268	3.2838	0.0124	0.02302	0.02287	-0.02220	0.559	3.54
2.937	13.352	10.040	1.330	2.546	0.3305	3.2677	0.0161	0.02316	0.02309	-0.02242	0.720	4.26
2.917	13.237	9.984	1.326	2.569	0.3363	3.2537	0.0140	0.02340	0.02328	-0.02261	0.621	4.88
2.898	13.140	9.930	1.323	2.588	0.3412	3.2388	0.0148	0.02362	0.02351	-0.02284	0.649	5.53
2.878	13.053	9.886	1.320	2.605	0.3458	3.2236	0.0152	0.02381	0.02371	-0.02304	0.661	6.19
2.858	12.943	9.830	1.317	2.627	0.3517	3.2097	0.0139	0.02405	0.02393	-0.02326	0.596	6.79
2.838	12.903	9.810	1.315	2.635	0.3539	3.1921	0.0176	0.02415	0.02410	-0.02343	0.753	7.54
2.818	12.824	9.770	1.313	2.651	0.3583	3.1767	0.0154	0.02432	0.02424	-0.02357	0.655	8.20
2.799	12.745	9.730	1.310	2.668	0.3627	3.1613	0.0153	0.02450	0.02441	-0.02374	0.646	8.84
2.779	12.665	9.692	1.307	2.685	0.3673	3.1461	0.0152	0.02470	0.02460	-0.02393	0.635	9.48
2.759	12.585	9.654	1.304	2.702	0.3720	3.1310	0.0151	0.02490	0.02480	-0.02413	0.626	10.11
2.739	12.505	9.616	1.300	2.719	0.3768	3.1160	0.0150	0.02510	0.02500	-0.02433	0.618	10.72
2.719	12.425	9.578	1.297	2.736	0.3817	3.1011	0.0149	0.02531	0.02520	-0.02453	0.609	11.33
2.700	12.345	9.540	1.294	2.754	0.3866	3.0862	0.0148	0.02551	0.02541	-0.02474	0.600	11.93
2.680	12.272	9.500	1.292	2.771	0.3912	3.0710	0.0152	0.02569	0.02560	-0.02493	0.609	12.54
2.660	12.200	9.460	1.290	2.787	0.3959	3.0559	0.0152	0.02587	0.02578	-0.02511	0.604	13.15

Tabla 13.- Cálculo del perfil tipo M1, 6a. revisión, Túnel Analco-San José, Sección Portal

PERFIL EN EL TÚNEL ANALCO - SAN JOSÉ, SISTEMA CUTZAMALA 6a.REVISIÓN

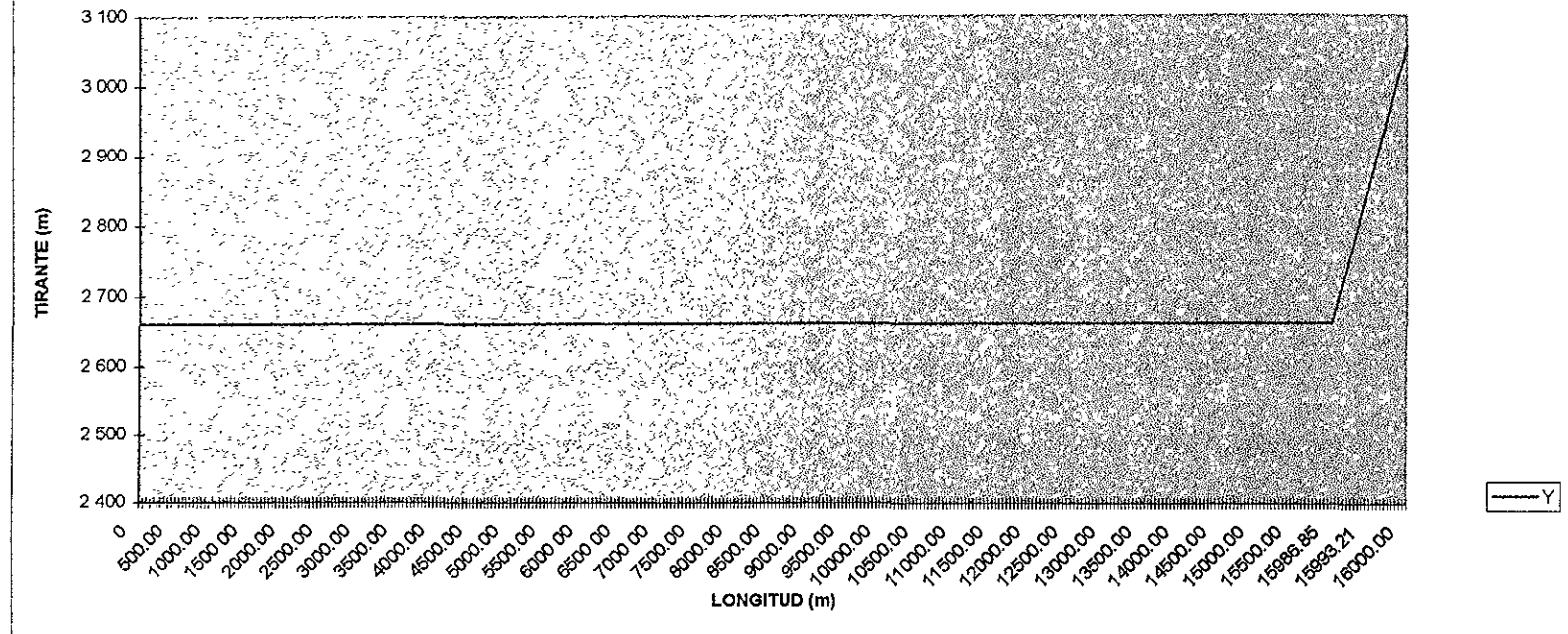
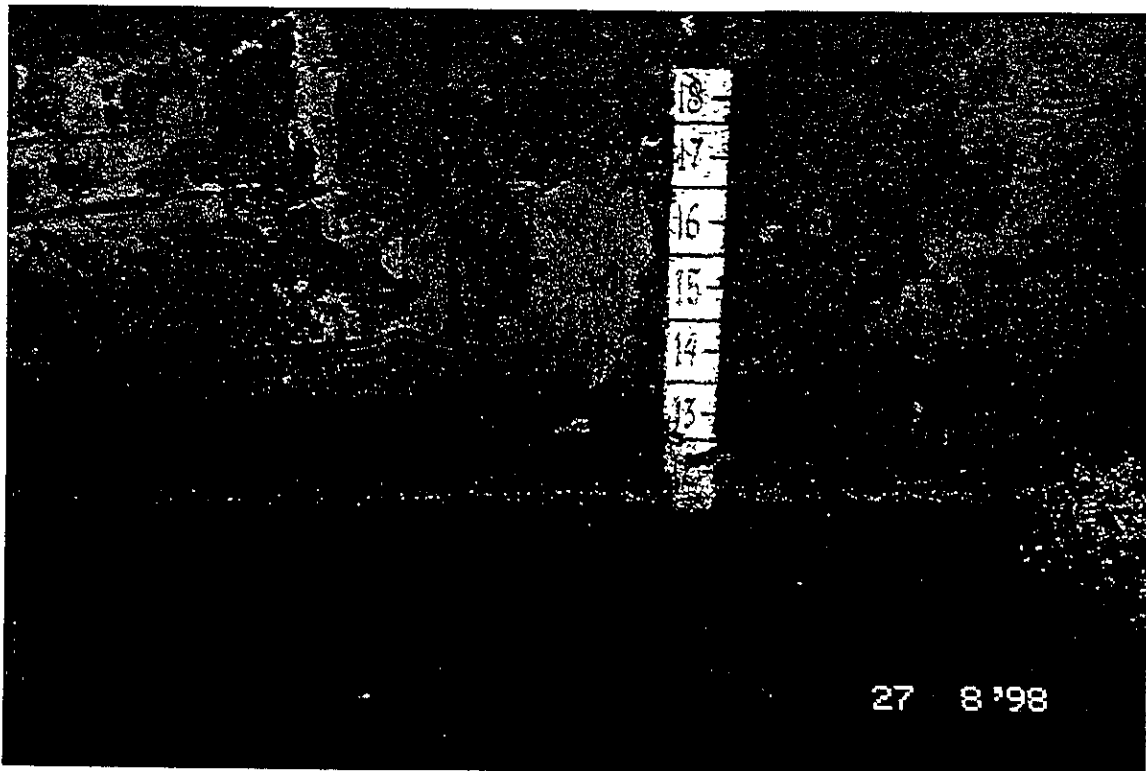


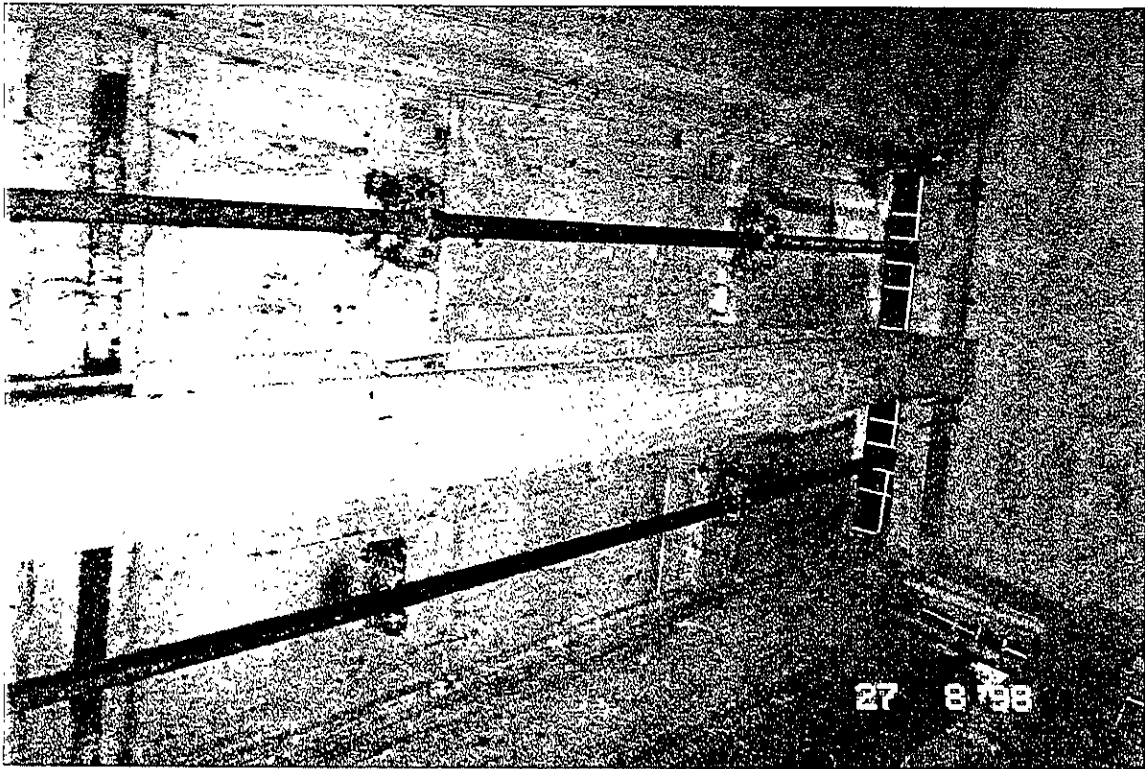
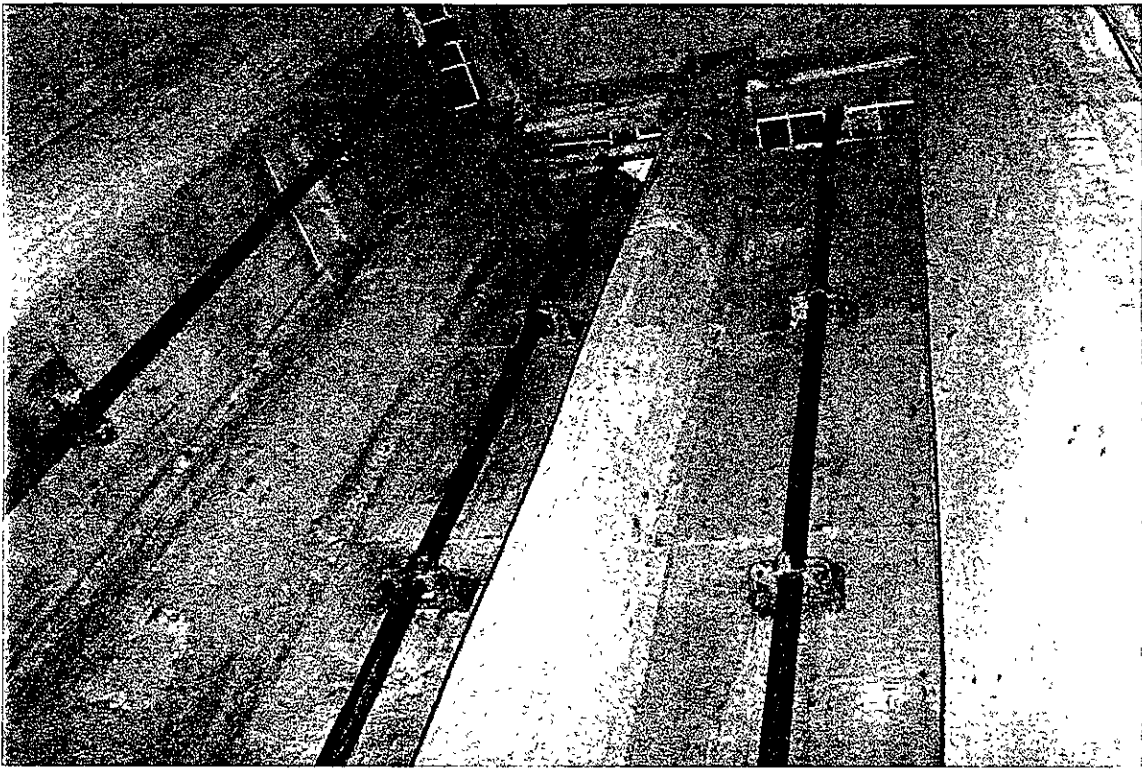
Figura 11.- Perfil tipo M1 Túnel Analco-San José Q= 34m³/s Sección Portal



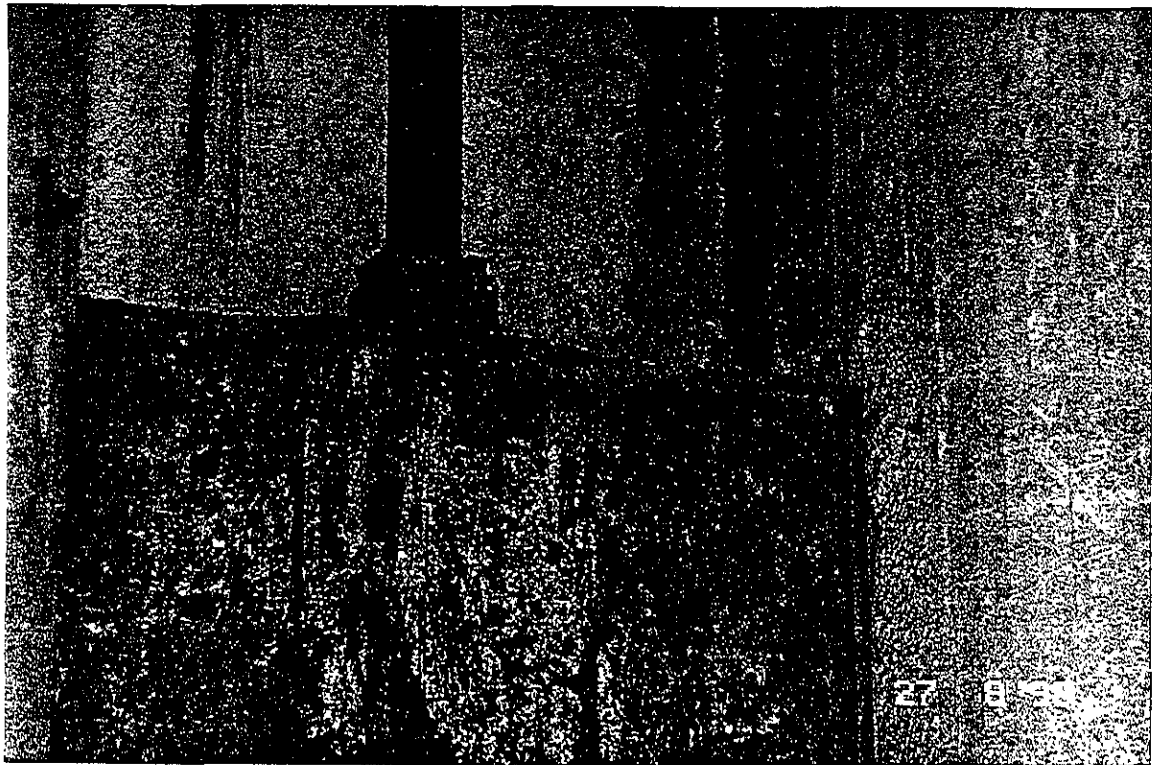
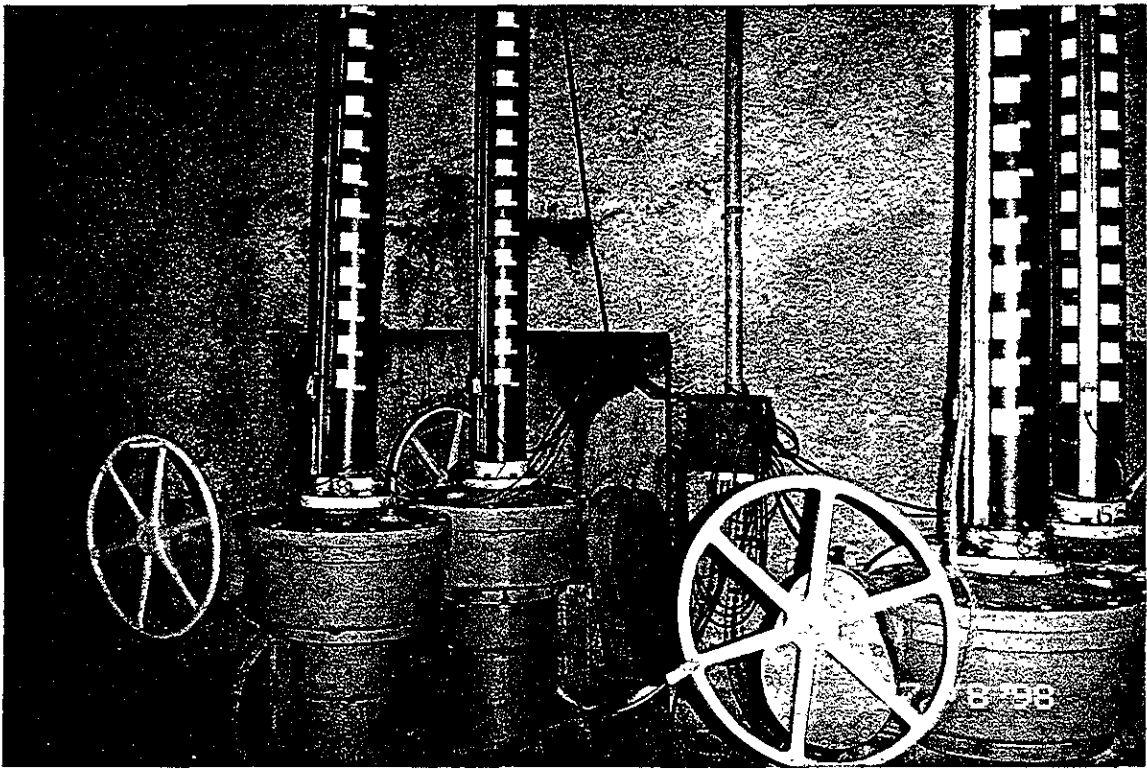
Fotografía 19.- Túnel Analco-San José en operación. Tirante=1.15m
Cadenamiento = 16+000

COMENTARIOS:

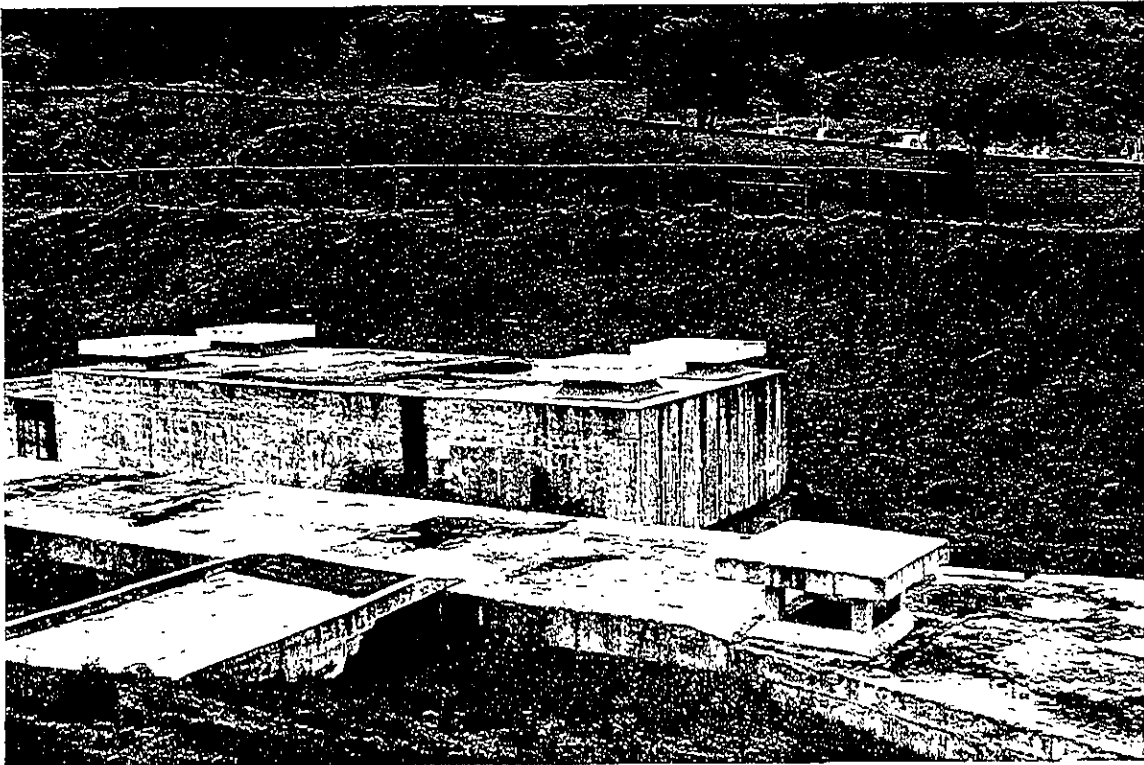
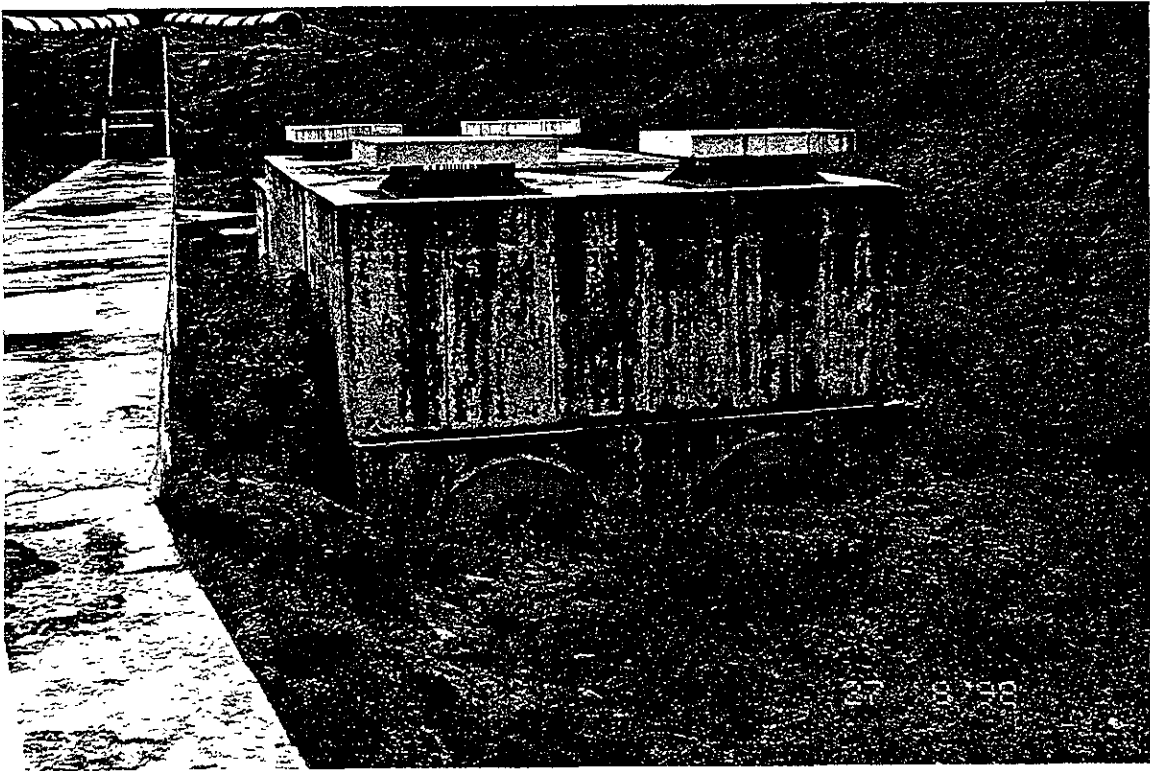
- En la **fotografía 19 pag. 98** se aprecia el tirante con el cual opera el Túnel Analco-San José con la aportación de las tres primeras etapas en operación a la fecha en que se tomó la imagen. (27 de Agosto de 1998).
- El tirante de 1.15 m corresponde a un $Q=10.347 \text{ m}^3/\text{s}$ observando la **tabla 7**, con un déficit de $8.653 \text{ m}^3/\text{s}$ (45.54%)
- En la **fotografía 21 pag. 101** se muestran los mecanismos de control de la lumbrera 3 (4 compuertas) para repartir el agua a los Ramales Norte y Sur.
- En las **gráficas 5 y 6 pag. 148 y 149** se pueden observar las variaciones de a (aberturas de compuertas) y y_3 (tirante después de la compuerta) para cualquier gasto.
- Los 6 perfiles correspondientes a las diferentes revisiones con los gastos respectivos son tipo M1.



Fotografía 20.-Mecanismos de control para distribuir el agua al Ramal Norte y Sur



Fotografía 21.-Vista exterior e interior de los Mecanismos de Control en la lumbrera 3



Fotografía 22.- Tanques de regulación a la entrada del Túnel Analco-San José

IV.-ALTERNATIVA PROPUESTA

IV.1.-ALTERNATIVA

La alternativa propuesta para el Túnel **Analco-San José** es túnel con sección circular, debido a que se supone que esa sección tiene un mejor comportamiento estructural, un proceso constructivo más adecuado y un mejor funcionamiento hidráulico.

Además, los métodos de excavación para túneles se adaptan cada vez más a secciones circulares.

IV.2.-DESCRIPCIÓN GENERAL

La Sección Circular propuesta para el Túnel **Analco-San José** considerará las mismas condiciones que el túnel existente de Sección Portal, es decir, una longitud de 16 km que permiten conducir el agua del Sistema Cutzamala a través de la Sierra de las Cruces (situada entre los valles de Toluca y México).

El Portal de Entrada se ubica en el poblado de Atarasquillo (Municipio de Lerma) y el de salida en Dos Ríos (Municipio de Huixquilucan).

Al igual que el túnel de Sección Portal, este túnel cuenta con 3 lumbreras, siendo la última en donde se ubican los mecanismos de control para distribuir el líquido hacia los Ramales Norte y Sur.

Su Sección Hidráulica es de tipo Circular con un Diámetro de 4.2 m, diámetro suficiente para conducir los 34 m³/s ,gasto de proyecto.El desnivel es de 0.67m por km (So=0.00067).

De igual forma que en la Sección tipo Portal, esta sección puede conducir los 19 m³/s como Gasto de Diseño correspondientes a las tres primeras etapas actualmente en operación del Sistema Cutzamala, 24 m³/s como Gasto de Diseño adicionando la 4a. etapa en proyecto (Proyecto Temascaltepec) y 10 m³/s de capacidad adicional previendo proyectos futuros.

Las elevaciones son 2592.00 m.s.n.m. en el Portal de Entrada y 2581.28 m.s.n.m. en el de salida (10.72 m totales de desnivel).En la **figura 11 pag.105** se muestra la Sección Circular del Túnel **Analco-San José**.

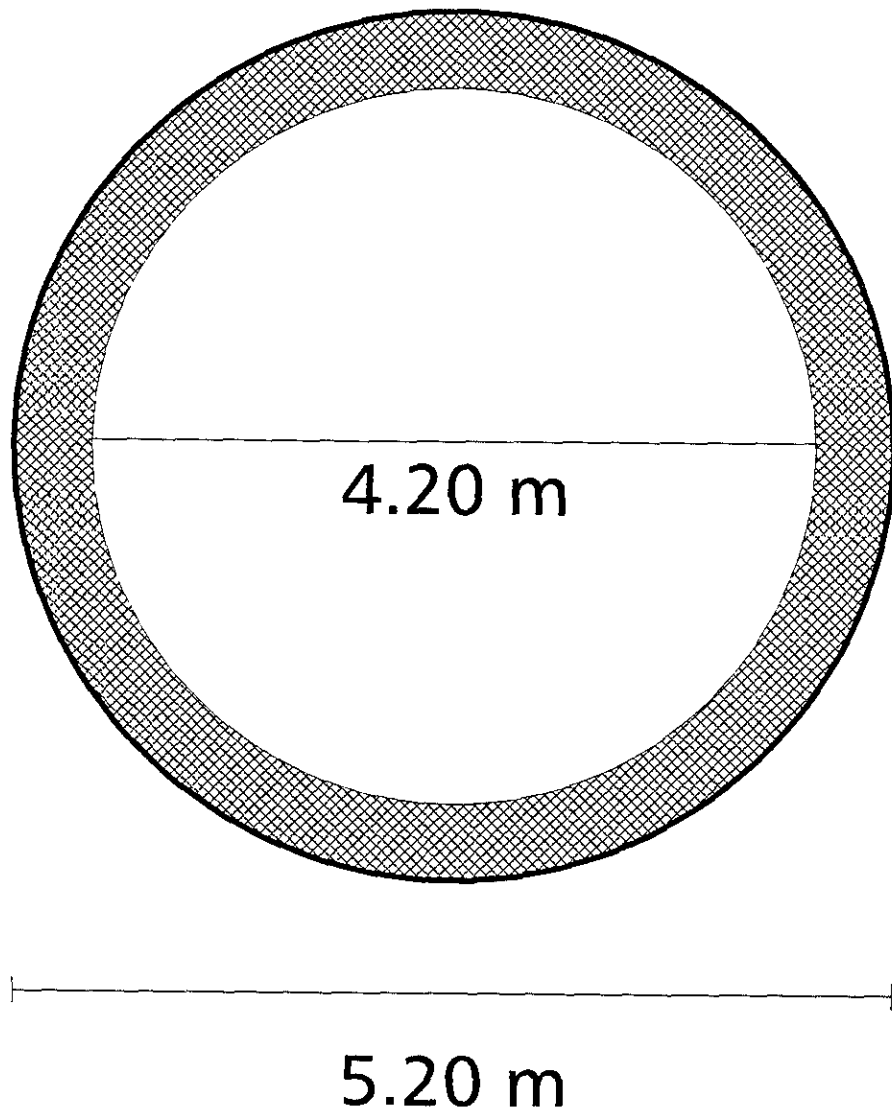


Figura 11.- Sección Circular del Túnel Analco-San José

DATOS DE PROYECTO

TÚNEL ANALCO-SAN JOSÉ

SECCIÓN:	CIRCULAR
GASTO MÁXIMO:	34.00 m ³ /s
RADIO:	2.10 m
DIÁMETRO:	4.20 m
COEFICIENTE DE MANNING:	n=0.011
LONGITUD:	16 km
PENDIENTE:	0.00067
ELEVACIÓN PORTAL ENTRADA:	2592.00 m.s.n.m.
ELEVACIÓN PORTAL SALIDA:	2581.28 m.s.n.m.

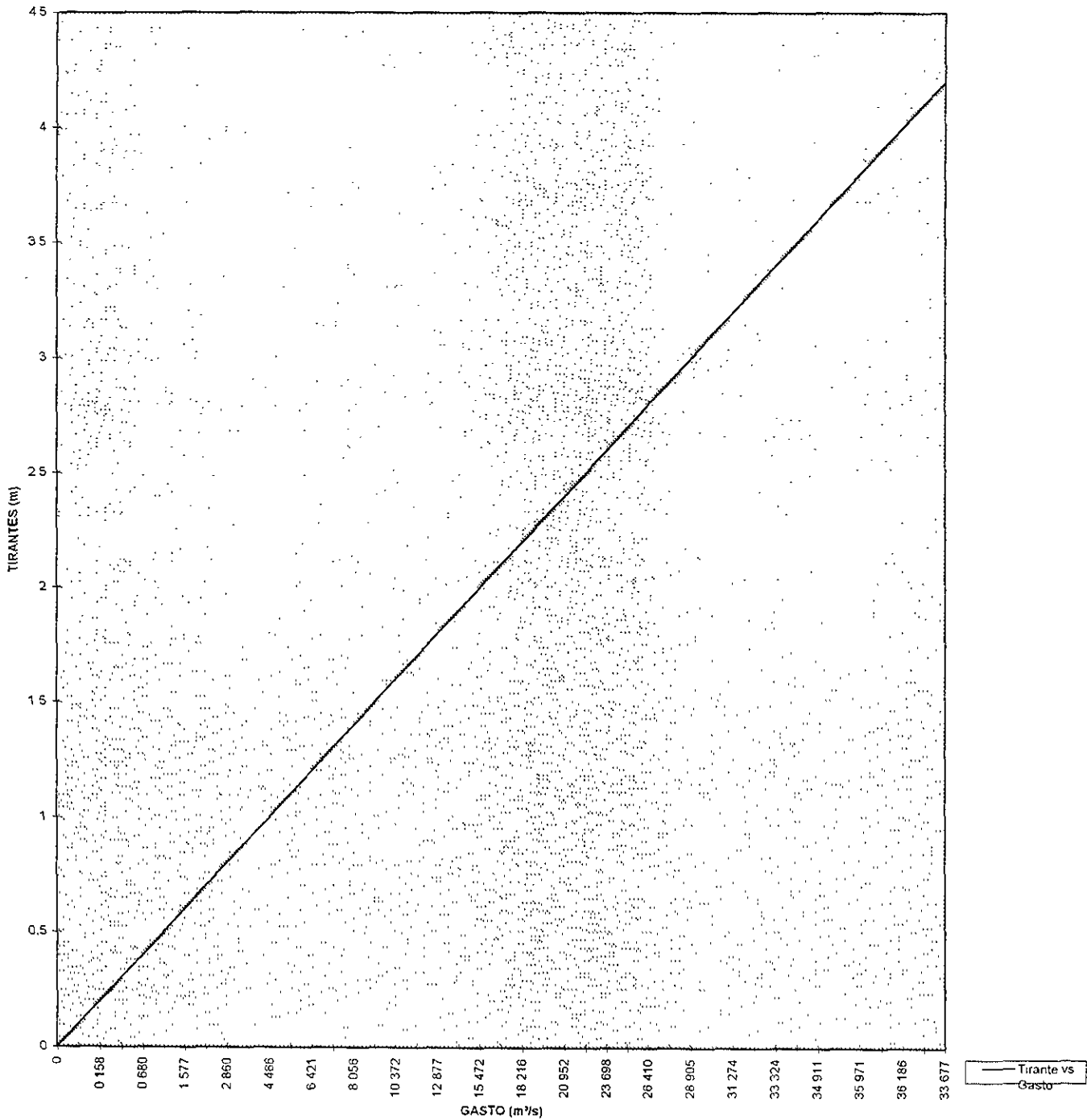
**CÁLCULOS DEL ÁREA Y PERÍMETRO SECCIÓN CIRCULAR TÚNEL ANALCO-SAN JOSÉ
VER ANEXOS 4 Y 5**

y	AREA PERÍMETRO	
(m)	(m²)	(m)
0.10	0.093	1.41
0.20	0.259	1.97
0.30	0.473	2.46
0.40	0.721	2.84
0.50	1.000	3.40
0.60	1.304	3.54
0.70	1.628	3.78
0.80	1.972	4.08
0.90	2.171	4.20
1.00	2.708	4.59
1.10	3.096	4.83
1.20	3.496	5.07
1.30	3.659	5.09
1.40	4.036	5.17
1.50	4.440	5.38
1.60	4.847	5.59
1.70	5.262	5.79
1.80	5.678	6.00
1.90	6.082	6.19
2.00	6.504	6.40
2.10	6.927	6.60
2.20	7.351	6.80
2.30	7.772	7.00
2.40	8.176	7.19
2.50	8.594	7.40
2.60	9.005	7.61
2.70	9.414	7.82
2.80	9.818	8.03
2.90	10.196	8.23
3.00	10.584	8.46
3.10	10.960	8.69
3.20	11.327	8.91
3.30	11.681	9.16
3.40	12.022	9.40
3.50	12.332	9.66
3.60	12.639	9.94
3.70	12.923	10.24
3.80	13.186	10.56
3.90	13.419	10.93
4.00	13.609	11.33
4.10	13.766	11.90
4.20	13.854	13.19

y (m)	A (m ²)	P (m)	Rh (m)	Q (m ³ /s)	V (m/s)	n	S	Yc (m)	Yn (m)	T (m)
0 100	0 093	1 410	0 0660	0 036	0 384	0 011	0 00067			1 20
0 200	0 259	1 970	0 1315	0 158	0 608	0 011	0 00067			1 75
0 300	0 473	2 460	0 1923	0 371	0 784	0 011	0 00067			2 15
0 400	0 721	2 840	0 2539	0 680	0 943	0 011	0 00067			2 48
0 500	1 000	3 400	0 2941	1 041	1 041	0 011	0 00067			2 70
0 600	1 304	3 540	0 3684	1 577	1 209	0 011	0 00067			2 95
0 700	1 628	3 780	0 4307	2 185	1 342	0 011	0 00067			3 13
0 800	1 972	4 076	0 4838	2 860	1 450	0 011	0 00067			3 28
0 900	2 171	4 200	0 5169	3 290	1 516	0 011	0 00067			3 45
0 980	2 450	4 234	0 5786	4 003	1 634	0 011	0 00067	0 772	0 980	3 52
1 000	2 708	4 585	0 5906	4 486	1 656	0 011	0 00067			3 55
1 100	3 096	4 830	0 6410	5 416	1 749	0 011	0 00067			3 65
1 200	3 496	5 070	0 6895	6 421	1 837	0 011	0 00067			3 75
1 300	3 659	5 094	0 7183	6 906	1 887	0 011	0 00067			3 88
1 400	4 036	5 186	0 7813	8 056	1 996	0 011	0 00067			3 95
1 500	4 440	5 380	0 8253	9 192	2 070	0 011	0 00067			4 00
1 580	4 763	5 550	0 8582	10 121	2 125	0 011	0 00067	1 240	1 580	4 04
1 600	4 847	5 589	0 8672	10 372	2 140	0 011	0 00067			4 05
1 700	5 282	5 795	0 9080	11 611	2 207	0 011	0 00067			4 10
1 800	5 678	6 001	0 9462	12 877	2 268	0 011	0 00067			4 13
1 900	6 082	6 194	0 9819	14 139	2 325	0 011	0 00067			4 15
2 000	6 504	6 399	1 0164	15 472	2 379	0 011	0 00067			4 175
2 100	6 927	6 597	1 0500	16 839	2 431	0 011	0 00067			4 200
2 200	7 351	6 802	1 0807	18 216	2 478	0 011	0 00067			4 175
2 260	7 600	6 920	1 0980	19 034	2 504	0 011	0 00067	1 722	2 260	4 150
2 300	7 772	7 002	1 1100	19 606	2 523	0 011	0 00067			4 125
2 400	8 176	7 194	1 1365	20 952	2 563	0 011	0 00067			4 100
2 500	8 594	7 403	1 1609	22 337	2 599	0 011	0 00067			4 050
2 600	9 005	7 614	1 1827	23 698	2 632	0 011	0 00067			4 040
2 650	9 208	7 717	1 1932	24 376	2 647	0 011	0 00067	1 957	2 650	4 000
2 700	9 414	7 821	1 2037	25 066	2 663	0 011	0 00067			3 950
2 800	9 818	8 033	1 2222	26 410	2 690	0 011	0 00067			3 875
2 900	10 196	8 229	1 2390	27 678	2 715	0 011	0 00067			3 750
3 000	10 584	8 465	1 2503	28 905	2 731	0 011	0 00067			3 650
3 100	10 960	8 687	1 2617	30 113	2 748	0 011	0 00067	2 188	3 100	3 550
3 200	11 327	8 912	1 2710	31 274	2 761	0 011	0 00067			3 520
3 300	11 681	9 164	1 2747	32 314	2 766	0 011	0 00067			3 450
3 400	12 022	9 403	1 2785	33 324	2 772	0 011	0 00067			3 275
3 500	12 332	9 659	1 2767	34 152	2 769	0 011	0 00067	2 330	3 500	3 125
3 600	12 639	9 938	1 2718	34 911	2 762	0 011	0 00067			2 950
3 700	12 923	10 236	1 2625	35 522	2 749	0 011	0 00067			2 700
3 800	13 186	10 564	1 2482	35 971	2 728	0 011	0 00067			2 475
3 900	13 419	10 934	1 2273	36 196	2 697	0 011	0 00067			2 150
4 000	13 609	11 330	1 2011	36 186	2 659	0 011	0 00067			1 750
4 100	13 766	11 897	1 1571	35 703	2 594	0 011	0 00067			1 200
4 200	13 854	13 195	1 0499	33 677	2 431	0 011	0 00067			0 000

Tabla 14.- Características hidráulicas de la sección circular del Túnel Analco-San José

CURVA DE GASTO DEL TÚNEL ANALCO-SAN JOSÉ SECCIÓN CIRCULAR



Gráfica 3.- Curva de gastos del Túnel Analco-San José, sección Circular

IV.3.-TOPOGRAFÍA

La topografía que se considera para la alternativa (sección circular) del Túnel Analco-San José es la misma que para la existente (sección portal), ya que se propone en el mismo sitio.

*Altitud media: 2 500 m.s.n.m.

*Topografía: Varía entre lomerío a sensiblemente plana .

*Elevación Portal de entrada sección circular: 2592.00 m.s.n.m.

*Elevación Portal de Salida sección circular: 2581.28 m.sn.m.

*Pendiente: 0.00067

El túnel atraviesa la sierra de Las Cruces, cuya altura máxima es de 900 m y se ubica entre el km 7 y km 8 de la trayectoria del túnel.

ELEVACIÓN DE LA LUMBRERA:

3.-2615 m.s.n.m.

***NOTA:** Como la construcción de la sección circular es propuesta con Topo, la lumbrera 3 es la única que requeriría ser construida para alojar los mecanismos de control para repartir el agua a los ramales norte y sur.

IV.4.-GEOLOGÍA

La Geología considerada para la alternativa propuesta del Túnel Analco-San José, es la misma que la sección Portal existente, ya que la ubicación es la misma.

*Formaciones geológicas de origen Aluvial y Volcánico

*Suelos correspondientes a las Series Clásticas Fluvial y Aluvial.

*Las formaciones en las partes altas de la zona son básicamente Tarango y Becerra.

IV.5.-CONSTRUCCIÓN

El túnel propuesto (sección circular) se construye por medio del procedimiento con máquina tunelera denominada topo.

El topo se ha convertido en el equipo más utilizado en los últimos años para la excavación de túneles.

Sus ventajas sobre los métodos tradicionales lo colocan como el equipo más conveniente.

Para que el topo pueda trabajar, se debe preparar la entrada de éste hacia el frente de ataque por medio de métodos convencionales. Adicionalmente se debe construir una banqueteta que deberá engrasarse para su deslizamiento hasta estrato firme

El ataque del frente se realiza en forma manual por medio de martillos neumáticos, pudiéndose introducir ocasionalmente una rozadora que puede atacar desde el piso, parte de la sección media inferior.

Esta preparación inicial para el topo se llama cámara de arranque.

El topo cuenta con la ventaja de ir excavando y colocando dovelas . (comunmente conocido como one pass line)

El avance del topo se efectúa de la siguiente manera:

Una vez realizado la preparación de la entrada del topo, se introduce hasta el frente encontrando la roca. Teniendo el frente soportado de las plataformas de trabajo, se excava una ranura perimetral de 90 cm de profundidad, denominada como holgura del topo. Enseguida se hace avanzar el topo. y coloca las dovelas conforme avanza.

El topo trabaja por ciclos o tiempos y en promedio avanza 1.27 m por ciclo a razón de 10 cm./min, lo que al agregar el tiempo de preparación, enfriamiento de equipo, engrasados etc, llega a representar hasta 25 minutos por ciclo.

Colocada la dovela, se procede a realizar una inyección de grava para dar estabilidad a la sección, sin necesidad de colocar concreto lanzado, ya que las dovelas se ajustan mientras se aplica la grava , sin embargo en ocasiones es necesario introducir madera para dar mayor estabilidad a la sección.

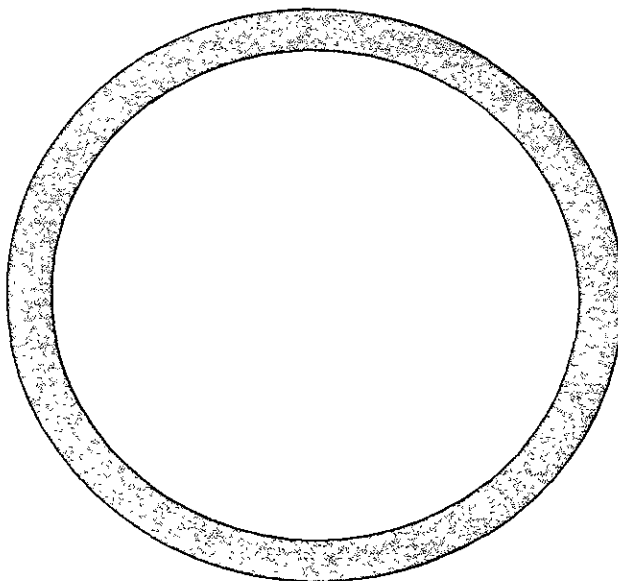
Existe una dovela prefabricada que se coloca en la plantilla del túnel, que sirve en el proceso de excavación y para montar la vía para las vagonetas que sacan el producto de la excavación.

Es importante mencionar que de preferencia el topo debe atacar el frente de aguas abajo hacia aguas arriba del túnel.

Los anillos que excavan la roca son de Tungsteno, y su vida varía por diferentes razones, incluso algunos se llegan a romper. En la parte trasera del topo se coloca el back-up, donde

se aloja el operador y todos los equipos auxiliares del topo. Ahí mismo, se tienen las bandas que manejan los malacates que conducen las dovelas.

Al recibir cada vagoneta el producto de la excavación transportada por bandas, avanza hacia la parte frontal, sigue el mismo proceso hasta llenar todas (generalmente 6) y al concluir este proceso llamado Rolling California, regresa a desalojar el producto.



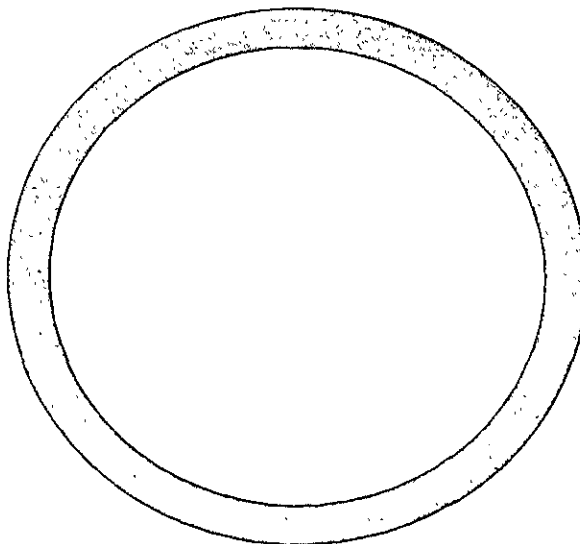
COLOCACION DE DOVELAS:

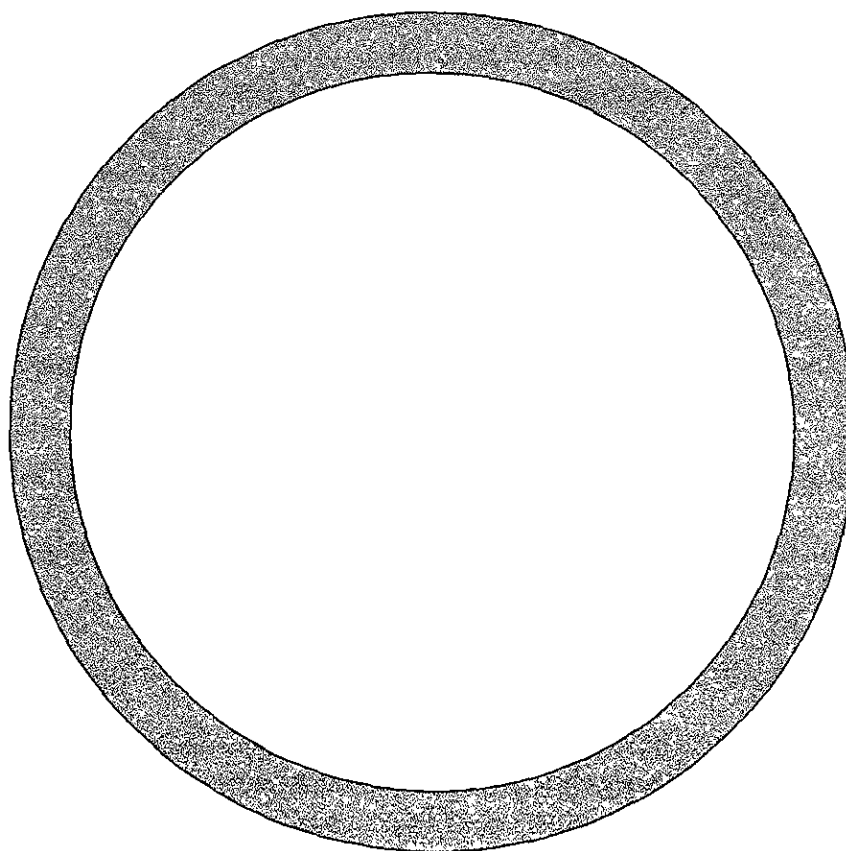
1.-TOPO

2.-DOVELA

3.-GRAVA

4.- REVESTIMIENTO





TÚNEL TERMINADO

IV.6.-DESCRIPCIÓN DE LA REVISIÓN DEL FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO

La revisión del Funcionamiento Hidráulico del Túnel **Analco-San José** con una sección circular básicamente consiste en hacer un análisis del comportamiento que sigue el agua durante el recorrido de sus 16 km.

Al igual que en la Sección Portal, se consideran las 4 etapas del Sistema Cutzamala (1a: 4 m³/s, 2a: 6 m³/s, 3a: 9 m³/s, 4a: 5 m³/s) y 2 gastos más que corresponden a gastos de diseño para posibles proyectos futuros (30 m³/s y 34 m³/s).

Por lo tanto los gastos con los que se hace el análisis son :

$$Q1= 4 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q2= 10 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q3= 19 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q4= 24 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q5= 30 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q6= 34 \text{ m}^3/\text{s}$$

Se realiza la misma consideración que en el túnel de sección portal, los mecanismos que permiten repartir el caudal a los 2 ramales, se encuentran en la lumbrera 3, aguas abajo del túnel.

En los **Anexos 8 y 9** se presentan las condiciones que permiten realizar un análisis del funcionamiento del **Túnel Analco-San José** en su parte final , así como la conducción a cada ramal.

Consideraciones:

Se presentan las mismas consideraciones que en la sección Portal, velocidad = 0 en la zona de las compuertas, compuertas de (1.45X4.60m) ver **Anexos 6 Y 7**, la varciación de aberturas en las compuertas es la misma, y las 4 compuertas trabajan de la misma manera.

IV.7.- ANÁLISIS Y REVISIÓN DEL FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO

REVISION HIDRAULICA:

DATOS GENERALES

SECCIÓN:	CIRCULAR
LONGITUD:	16 km
GASTO MÁXIMO:	34 m ³ /s
DIÁMETRO:	4.200 m
PENDIENTE:	0.00067
ELEVACIÓN PORTAL DE ENTRADA:	2 592.00 m.s.n.m.
ELEVACIÓN PORTAL DE SALIDA:	2 581.28 m.s.n.m.
COEFICIENTE n DE MANNING	0.011

GASTOS DE PROYECTO POR ETAPA:

1a.ETAPA:	4.00 m ³ /s
2a.ETAPA	6.00 m ³ /s
3a.ETAPA	9.00 m ³ /s
4a.ETAPA	5.00 m ³ /s

GASTO MÁXIMO DE DISEÑO PARA EL TÚNEL: 34.00 m³/s

GASTOS PARA REVISIÓN:

- 1.- 4 m³/s
- 2.-10 m³/s
- 3.-19 m³/s
- 4.-24 m³/s
- 5.-30 m³/s
- 6.-34 m³/s

1 a. REVISIÓN:

PARA: $Q = 4 \text{ m}^3/\text{s}$

De la tabla de análisis 14 pag.108 ,se toman los siguientes datos:

$$Q = 4.003 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$T = 3.52 \text{ m}$$

$$v = 1.634 \text{ m/s}$$

$$y = 0.980 \text{ m}$$

Se realiza un análisis que corresponde a un canal circular

I.- Cálculo del tirante crítico: $y_c = ?$

a) Con fórmula del Tirante Crítico para sección circular:

$$Q/(D \cdot \sqrt{g}) = f(Y_c/D)$$

$$4.009/(4.2 \cdot \sqrt{9.81}) = f(Y_c/D)$$

$$0.0354 = f(Y_c/D)$$

Con 0.0354 Usamos la tabla de elementos geométricos en canales de sección circular

ANEXO 2

$$(0.0378-0.0339)/10, \text{ factor} = 3.9^4, 3.9^4 = 1.56 + 0.339 = 0.0354$$

$$\Rightarrow Y_c/D = 0.184, Y_c = 4.2(0.184)$$

$$Y_c = 0.772 \text{ m}$$

COMPROBACIÓN:

$$Q^2/g = A_c^3/T$$

$$(4.003^2)/9.81 = (1.87^3)/3.24$$

$$1.63 = 1.62$$

NÚMERO DE FROUDE:

$$V_c = 4.003/1.736 \Rightarrow V_c = 2.309 \text{ m/s}$$

$$FR = V_c/\sqrt{(gD)} \Rightarrow FR = 1.00$$

II.- Cálculo del tirante normal $y_n = ?$

$$Q_n/s^{1/2} = ARh^{2/3}$$

$$Q_n/s^{1/2} = (4.009*0.011)/(0.00067)^{1/2}$$

$$Q_n/s^{1/2} = 1.703$$

$$1.703 = ARh^{2/3}$$

y(m)	A (m²)	P (m)	Rh (m)	ARh^{2/3}
0.98	2.452	4.234	0.5792	1.703

$y_n = 0.980 \text{ m}$

III.-Cálculo del tipo de régimen FR = ?

$$FR = V/\sqrt{gY}$$

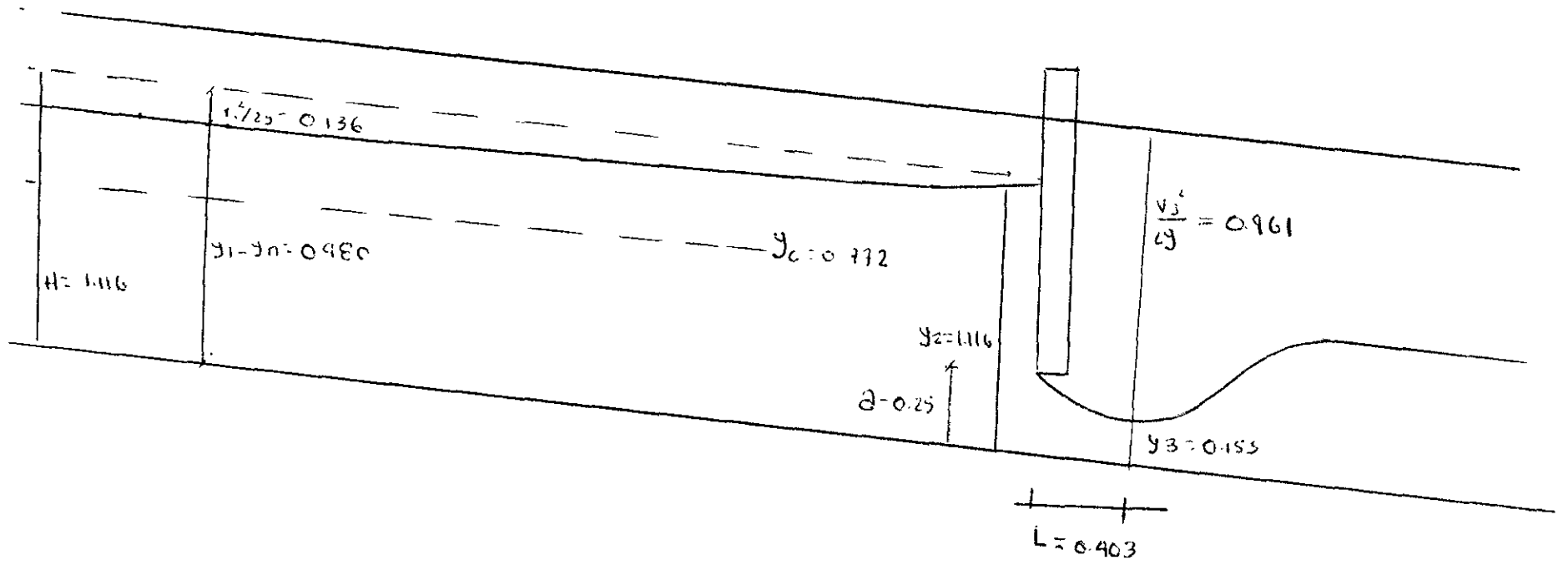
$$FR = 1.635/ 3.100 \Rightarrow FR= 0.527$$

$FR = 0.527$

$FR < 1 \Rightarrow \text{RÉGIMEN SUBCRÍTICO}$

IV.- Análisis en la Lumbrera 3

En el ANEXO 11 se presentan los cálculos para obtener el siguiente esquema que representa el comportamiento del flujo en la Lumbrera 3.



2 a. REVISIÓN:

PARA: $Q= 10 \text{ m}^3/\text{s}$

De la tabla de análisis 14 pag.108 ,se toman los siguientes datos:

$$Q = 10.121 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$T = 4.04 \text{ m}$$

$$v = 2.125 \text{ m/s}$$

$$y = 1.58 \text{ m}$$

Se realiza un análisis que corresponde a un canal circular

I.- Cálculo del tirante crítico: $y_c = ?$

a) Con fórmula del Tirante Crítico para sección circular:

$$Q/(D \cdot \sqrt[5]{g}) = f(y_c/D)$$

$$10.121/(4.2 \cdot \sqrt[5]{9.81}) = f(y_c/D)$$

$$0.0894 = f(y_c/D)$$

Con 0.0894 Usamos la tabla de elementos geométricos en canales de sección circular

ANEXO 2

$$(0.0921 - 0.0862)/10, \text{ factor} = 5.9^4, 5.9^4 * 5 = 2.95 + 0.862 = 0.0892$$

$$\Rightarrow y_c/D = 0.295, y_c = 4.2(0.295)$$

$$y_c = 1.240 \text{ m}$$

COMPROBACIÓN:

$$Q^2/g = A_c^3/T$$

$$(10.121^2)/9.81 = (3.41^3)/3.80$$

$$10.44 = 10.48$$

NÚMERO DE FROUDE:

$$V_c = 10.121/3.56 \Rightarrow V_c = 2.96 \text{ m/s}$$

$$FR = V_c/\sqrt[3]{(gD)} \Rightarrow \text{FR} = 1.00$$

II.- Cálculo del tirante normal $y_n = ?$

$$Qn/s^{1/2} = ARh^{2/3}$$

$$Qn/s^{1/2} = (10.123 \cdot 0.011) / (0.00067)^{1/2}$$

$$Qn/s^{1/2} = 4.302$$

$$4.302 = ARh^{2/3}$$

Y(m)	A (m ²)	P (m)	Rh (m)	ARh ^{2/3}
1.58	4.7628	5.548	0.8585	4.302

Y_n = 1.580 m

III.-Cálculo del tipo de régimen FR = ?

$$FR = V/\sqrt{gY}$$

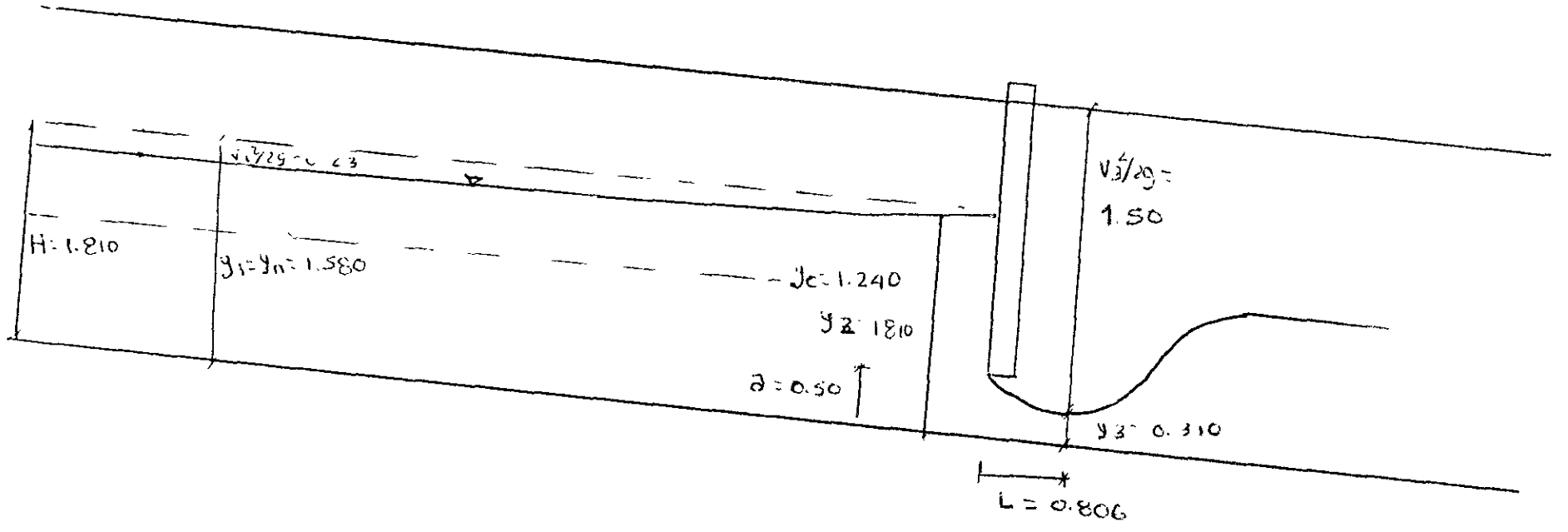
$$FR = 2.126 / 3.93 \Rightarrow FR = 0.541$$

FR = 0.541

FR < 1 \Rightarrow RÉGIMEN SUBCRÍTICO
--

IV - Análisis en la Lumbrera 3

En el ANEXO 11 se presentan los cálculos para obtener el siguiente esquema que representa el comportamiento del flujo en la Lumbrera 3.



3a . REVISIÓN:

PARA: $Q= 19 \text{ m}^3/\text{s}$

De la tabla de análisis **14 pag.108**, se toman los siguientes datos:

$$Q = 19.034 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$T = 4.140 \text{ m}$$

$$v = 2.504 \text{ m/s}$$

$$y = 2.26 \text{ m}$$

Se realiza un análisis que corresponde a un canal circular

I.- Cálculo del tirante crítico: $yc = ?$

a) Con fórmula del Tirante Crítico para sección circular:

$$Q/(D \cdot \sqrt[5]{g}) = f(yc/D)$$

$$19.026/(4.2 \cdot \sqrt[5]{9.81}) = f(yc/D)$$

$$0.168 = f(yc/D)$$

Con 0.168 Usamos la tabla de elementos geométricos en canales de sección circular **ANEXO 2**

$$= 0.41$$

$$\Rightarrow yc/D = 0.41, yc = 4.2(0.41)$$

$$\boxed{yc = 1.722 \text{ m}}$$

COMPROBACIÓN:

$$Q^2/g = Ac^3/T$$

$$(19.026^2)/9.81 = (5.348^3)/4.105$$

$$36.9 = 37.09$$

NÚMERO DE FROUDE:

$$Vc = 19.034/5.3484 \Rightarrow Vc = 3.55 \text{ m/s}$$

$$FR = Vc/\sqrt{(gD)} \Rightarrow \boxed{FR = 1.00}$$

II.- Cálculo del tirante normal $y_n = ?$

$$Qn/s^{1/2} = ARh^{2/3}$$

$$Qn/s^{1/2} = (19.026 \cdot 0.011)/(0.00067)^{1/2}$$

$$Qn/s^{1/2} = 8.085$$

$$8.085 = ARh^{2/3}$$

$y(m)$	$A (m^2)$	$P (m)$	$Rh (m)$	$ARh^{2/3}$
2.26	7.5975	6.92	1.0979	8.085

$y_n = 2.26 \text{ m}$

III.-Cálculo del tipo de régimen $FR = ?$

$$FR = V/\sqrt{(gY)}$$

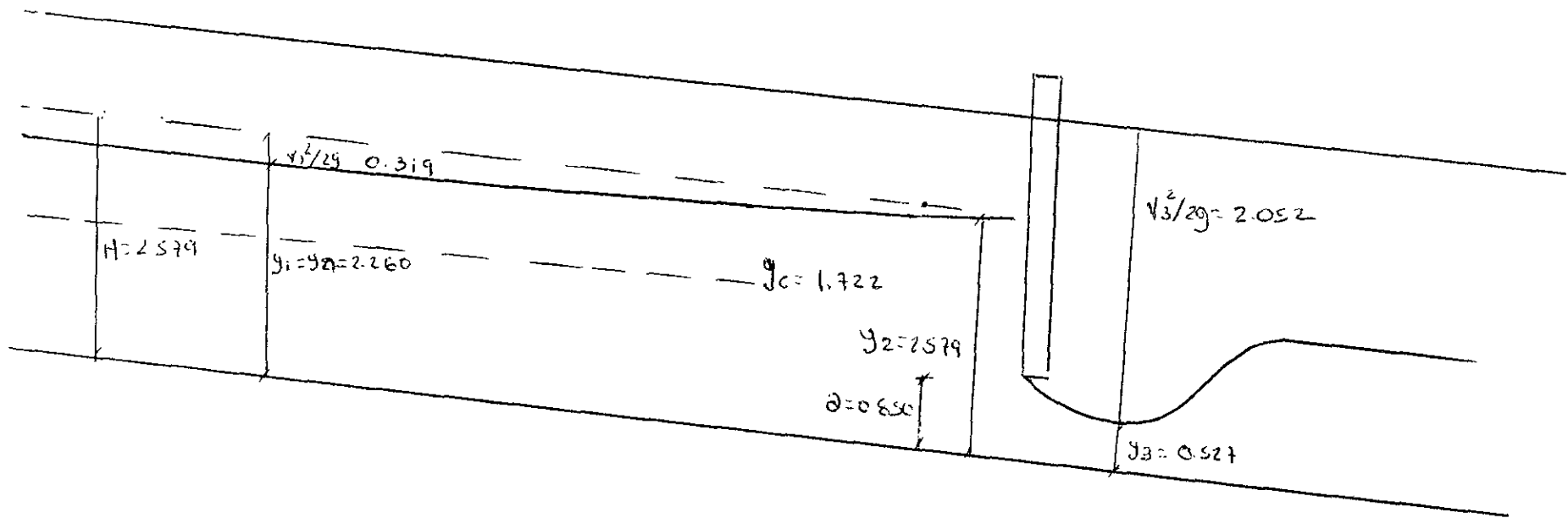
$$FR = 2.504/4.708 \Rightarrow FR = 0.531$$

$FR = 0.531$

$FR < 1 \Rightarrow \text{RÉGIMEN SUBCRÍTICO}$
--

IV.- Análisis en la Lumbreira 3

En el **ANEXO 11** se presentan los cálculos para obtener el siguiente esquema que representa el comportamiento del flujo en la **Lumbreira 3**.



4a . REVISIÓN:

PARA: $Q= 24 \text{ m}^3/\text{s}$

De la tabla de análisis 14 pag.108, se toman los siguientes datos:

$$Q = 24.376 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$T = 4.00 \text{ m}$$

$$v = 2.647 \text{ m/s}$$

$$y = 2.65 \text{ m}$$

Se realiza un análisis que corresponde a un canal circular

I.- Cálculo del tirante crítico: $y_c = ?$

a) Con fórmula del Tirante Crítico para sección circular:

$$Q/(D^{5/2} \cdot \sqrt{g}) = f(y_c/D)$$

$$24.376/(4.2^{5/2} \cdot \sqrt{9.81}) = f(y_c/D)$$

$$0.2152 = f(y_c/D)$$

Con 0.2152 Usamos la tabla de elementos geométricos en canales de sección circular

ANEXO 2

$$(0.2186 - 0.2098)/10, \text{ factor} = 8.8^{-4}, 8.8^{-4} \cdot 6 = 5.28^{-3} + 0.2098 = 0.2151$$

$$\Rightarrow y_c/D = 0.466, y_c = 4.2(0.466)$$

$$\boxed{y_c = 1.957 \text{ m}}$$

COMPROBACIÓN:

$$Q^2/g = A_c^3/T$$

$$(24.376^2)/9.81 = (6.292^3)/4.1625$$

$$60.5 = 59.8$$

NÚMERO DE FROUDE:

$$V_c = 24.376/6.292 \Rightarrow V_c = 3.87 \text{ m/s}$$

$$FR = V_c/\sqrt{gY_c} \Rightarrow \boxed{FR = 1.00}$$

II.- Cálculo del tirante normal $y_n = ?$

$$Qn/s^{1/2} = ARh^{2/3}$$

$$Qn/s^{1/2} = (24.376 \cdot 0.011)/(0.00067)^{1/2}$$

$$Qn/s^{1/2} = 10.358$$

$$10.358 = ARh^{2/3}$$

$y(m)$	$A (m^2)$	$P (m)$	$Rh (m)$	$ARh^{2/3}$
2.65	9.2081	7.717	1.1932	10.358

$y_n = 2.65 \text{ m}$

III.-Cálculo del tipo de régimen $FR = ?$

$$FR = V/\sqrt{gY}$$

$$FR = 2.647/4.708 \Rightarrow FR = 0.519$$

$FR = 0.519$

$FR < 1 \Rightarrow \text{RÉGIMEN SUBCRÍTICO}$
--

IV.- Análisis en la Lumbreira 3

En el **ANEXO 11** se presentan los cálculos para obtener el siguiente esquema que representa el comportamiento del flujo en la **Lumbreira 3**.

5 a. REVISIÓN:

PARA: $Q= 30 \text{ m}^3/\text{s}$

De la tabla de análisis 14 pag.108, se toman los siguientes datos:

$$Q = 30.113 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$T = 3.55 \text{ m}$$

$$v = 2.748 \text{ m/s}$$

$$y = 3.10 \text{ m}$$

Se realiza un análisis que corresponde a un canal circular

I.- Cálculo del tirante crítico: $y_c = ?$

a) Con fórmula del Tirante Crítico para sección circular:

$$Q/(D \sqrt{g}) = f(y_c/D)$$

$$30.112/(4.2 \sqrt{9.81}) = f(y_c/D)$$

$$0.266 = f(y_c/D)$$

Con 0.266 Usamos la tabla de elementos geométricos en canales de sección circular

ANEXO 2

$$(0.2748 - 0.2650)/10, \text{ factor} = 9.8, 9.8 * 1 = 9.8 + 0.2650 = 0.266$$

$$\Rightarrow y_c/D = 0.521, y_c = 4.2(0.521)$$

$$y_c = 2.188 \text{ m}$$

COMPROBACIÓN:

$$Q^2/g = A_c^3/T$$

$$(30.112^2)/9.81 = (7.2977^3)/4.177$$

$$92.43 = 93.01$$

NÚMERO DE FROUDE:

$$V_c = 30.113/7.2977 \Rightarrow V_c = 4.126 \text{ m/s}$$

$$FR = V_c/\sqrt{gD} \Rightarrow FR = 1.00$$

II.- Cálculo del tirante normal $y_n = ?$

$$Qn/s^{1/2} = ARh^{2/3}$$

$$Qn/s^{1/2} = (30.112*0.011)/(0.00067)^{1/2}$$

$$Qn/s^{1/2} = 12.80$$

$$12.80 = ARh^{2/3}$$

y(m)	A (m²)	P (m)	Rh (m)	ARh^{2/3}
3.10	10.9597	8.687	1.2617	12.80

$y_n = 3.10 \text{ m}$
--

III.-Cálculo del tipo de régimen FR = ?

$$FR = V/\sqrt{gY}$$

$$FR = 2.748/ 4.21 \Rightarrow FR= 0.500$$

FR = 0,500

FR < 1 \Rightarrow RÉGIMEN SUBCRÍTICO
--

IV.- Análisis en la Lumbrera 3

En el ANEXO 11 se presentan los cálculos para obtener el siguiente esquema que representa el comportamiento del flujo en la **Lumbrera 3**.

6 a. REVISIÓN:

PARA: $Q = 30 \text{ m}^3/\text{s}$

De la tabla de análisis 14 pag.108, se toman los siguientes datos:

$$Q = 34.152 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$T = 3.125 \text{ m}$$

$$v = 2.769 \text{ m/s}$$

$$y = 3.50 \text{ m}$$

Se realiza un análisis que corresponde a un canal circular

I.- Cálculo del tirante crítico: $y_c = ?$

a) Con fórmula del Tirante Crítico para sección circular:

$$Q/(D \cdot \sqrt{g}) = f(y_c/D)$$

$$34.153/(4.2 \cdot \sqrt{9.81}) = f(y_c/D)$$

$$0.3016 = f(y_c/D)$$

Con 0.3016 Usamos la tabla de elementos geométricos en canales de sección circular

ANEXO 2

$$(0.3051 - 0.2949)/10, \text{ factor} = 1.02, 1.02 \cdot 6 = 6.12 + 0.2949 = 0.3016$$

$$\Rightarrow y_c/D = 0.556, y_c = 4.2(0.556)$$

$$y_c = 2.33 \text{ m}$$

COMPROBACIÓN:

$$Q^2/g = A_c^3/T$$

$$(34.153^2)/9.81 = (7.8957^3)/4.1175$$

$$119 = 119.3$$

NÚMERO DE FROUDE:

$$V_c = 34.153/7.8957 \Rightarrow V_c = 4.32 \text{ m/s}$$

$$FR = V_c/\sqrt{g y_c} \Rightarrow \mathbf{FR = 1.00}$$

II.- Cálculo del tirante normal $y_n = ?$

$$Q_n/s^{1/2} = ARh^{2/3}$$

$$Q_n/s^{1/2} = (34.153 \cdot 0.011)/(0.00067)^{1/2}$$

$$Q_n/s^{1/2} = 14.513$$

$$14.513 = ARh^{2/3}$$

y(m)	A (m²)	P (m)	Rh (m)	ARh^{2/3}
3.50	12.33	9.659	1.2768	14.513

$y_n = 3.50 \text{ m}$
--

III.-Cálculo del tipo de régimen $FR = ?$

$$FR = V/\sqrt{gY}$$

$$FR = 2.769/ 4.78 \Rightarrow FR= 0.580$$

$FR = 0,580$

$FR < 1 \Rightarrow \text{RÉGIMEN SUBCRÍTICO}$

IV.- Análisis en la Lumbreira 3

En el **ANEXO 11** se presentan los cálculos para obtener el siguiente esquema que representa el comportamiento del flujo en la **Lumbreira 3**.

RESUMEN SECCIÓN CIRCULAR

Revisión	y2 (m)	An (m ²)	P (m)	Rh (m)	Q (m ³ /s)	V (m/s)	Vc (m/s)	n	S	yc (m)	yn=y1 (m)	Fr	ZONA DE COMPUERTAS			
													L (m)	V3 (m/s)	a (m)	y3 (m)
1	1.116	2.450	4.234	0.578	4.003	1.634	2.309	0.011	0.0007	0.772	0.980	0.527	0.403	4.460	0.250	0.155
2	1.810	4.763	5.550	0.858	10.121	2.125	2.960	0.011	0.0007	1.240	1.580	0.541	0.806	5.550	0.500	0.310
3	2.579	7.600	6.920	1.098	19.034	2.504	3.550	0.011	0.0007	1.722	2.260	0.531	1.370	6.210	0.850	0.527
4	3.007	9.208	7.717	1.193	24.376	2.647	3.870	0.011	0.0007	1.957	2.650	0.519	1.560	6.880	0.970	0.601
5	3.484	10.960	8.687	1.262	30.113	2.748	4.126	0.011	0.0007	2.188	3.100	0.500	1.810	7.410	1.125	0.697
6	3.891	12.332	9.659	1.277	34.152	2.769	4.320	0.011	0.0007	2.330	3.500	0.580	1.930	7.880	1.200	0.744

IV.8.- Perfiles Sección Circular Túnel Analco-San José (Método de incrementos finitos)

TIPO DE PERAL: M1

$y1 = y2$ $y2 =$ 1 116 m
 $yf = yn$ $yn =$ 0,990 m
 $Q =$ 4 m³/s

y	A	P	Rh	V	V ² /2g	Et	Inc. E	Sf	Sfm	So-Sfm	Inc. x	Long. acum.
1 116	3 160	4 868	0 6491	1 267	0 0818	1 198		0 01857			0 00	0 00
1 109	3 132	4 851	0 6450	1 278	0 0833	1 192	0 0053	0 01850	0 01869	-0 01802	0 298	0 30
1 102	3 104	4 834	0 6421	1 290	0 0848	1 187	0 0053	0 01805	0 01892	-0 01825	0 290	0 59
1 096	3 080	4 820	0 6390	1 300	0 0861	1 182	0 0055	0 01925	0 01915	-0 01848	0 296	0 88
1 089	3 053	4 803	0 6356	1 311	0 0876	1 176	0 0053	0 01949	0 01937	-0 01870	0 282	1 16
1 082	3 026	4 788	0 6323	1 323	0 0892	1 171	0 0052	0 01973	0 01961	-0 01894	0 276	1 44
1 075	2 999	4 768	0 6290	1 335	0 0908	1 166	0 0052	0 01999	0 01986	-0 01919	0 270	1 71
1 068	2 978	4 751	0 6268	1 344	0 0921	1 160	0 0055	0 02017	0 02008	-0 01941	0 284	1 99
1 062	2 948	4 737	0 6223	1 358	0 0940	1 156	0 0049	0 02048	0 02032	-0 01965	0 250	2 24
1 055	2 921	4 720	0 6189	1 370	0 0957	1 151	0 0051	0 02074	0 02061	-0 01994	0 254	2 50
1 048	2 884	4 702	0 6155	1 383	0 0975	1 146	0 0050	0 02101	0 02088	-0 02021	0 248	2 76
1 041	2 867	4 685	0 6120	1 396	0 0994	1 141	0 0050	0 02129	0 02115	-0 02048	0 242	2 99
1 034	2 839	4 668	0 6082	1 410	0 1013	1 136	0 0048	0 02159	0 02144	-0 02077	0 233	3 22
1 028	2 816	4 653	0 6052	1 422	0 1030	1 131	0 0051	0 02183	0 02171	-0 02104	0 244	3 46
1 021	2 789	4 636	0 6016	1 435	0 1050	1 128	0 0048	0 02214	0 02198	-0 02131	0 225	3 69
1 014	2 762	4 619	0 5980	1 449	0 1071	1 121	0 0047	0 02240	0 02227	-0 02160	0 219	3 91
1 007	2 735	4 602	0 5943	1 464	0 1092	1 116	0 0047	0 02276	0 02268	-0 02191	0 213	4 12
1 000	2 708	4 585	0 5906	1 478	0 1114	1 112	0 0046	0 02308	0 02292	-0 02225	0 207	4 33
0 994	2 630	4 563	0 5784	1 522	0 1181	1 112	0 0001	0 02416	0 02362	-0 02295	0 004	4 33
0 987	2 540	4 539	0 5596	1 576	0 1265	1 113	-0 0017	0 02550	0 02483	-0 02416	-0 071	4 26
0 980	2 450	4 514	0 5428	1 634	0 1361	1 116	-0 0027	0 02699	0 02624	-0 02567	-0 104	4 16

Tabla 15.- Cálculo del perfil tipo M1, 1a. revisión, Túnel Analco-San José, Sección Circular

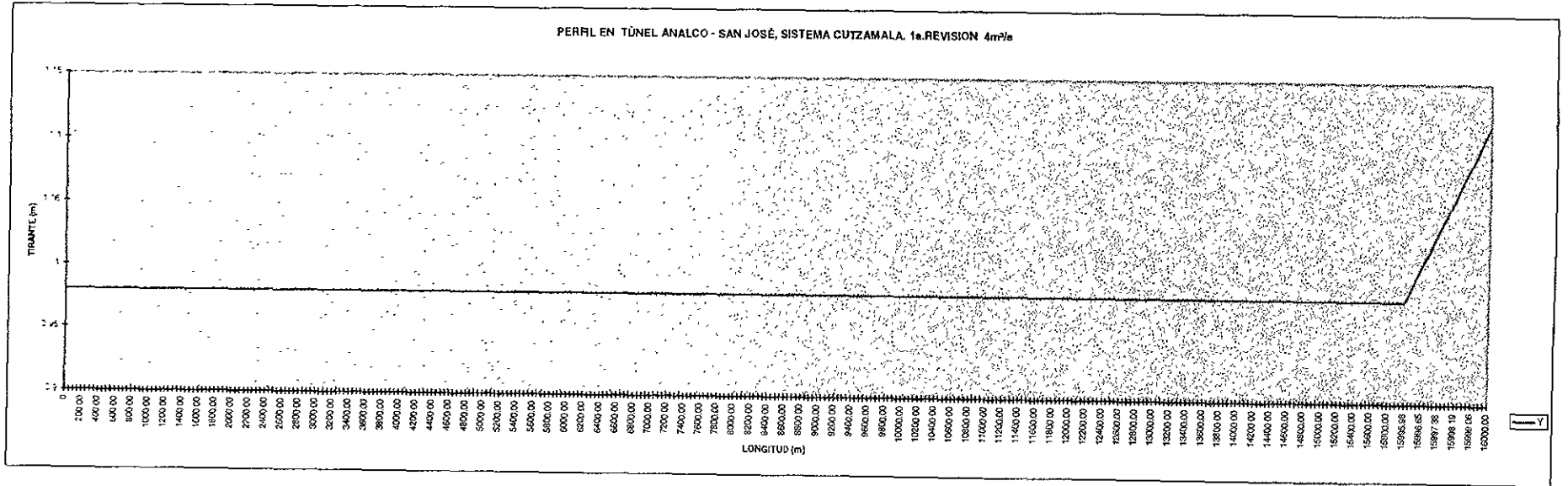


Figura 13.- Perfil tipo M1 Túnel Analco-San José Q= 4m³/s Sección Circular

TIPO DE PERFIL: M1

$y1 = y2$ $y2 =$ 1.810
 $y1 = yn$ $yn =$ 1.580
 $Q =$ 10 m³/s

y	A	P	Rh	V	V ² /2g	EI	Inc. E	Sfi	Sfm	So-Sfm	Inc. x	Long.acum.
1.810	5.718	6.020	0.950	1.770	0.1597	1.9697		0.01990			0.00	0.00
1.799	5.678	6.001	0.946	1.782	0.1619	1.9604	0.0092	0.02010	0.02000	-0.01933	0.477	0.48
1.787	5.623	5.974	0.941	1.800	0.1651	1.9521	0.0083	0.02037	0.02024	-0.01957	0.425	0.90
1.776	5.578	5.951	0.937	1.814	0.1678	1.9433	0.0088	0.02059	0.02048	-0.01981	0.445	1.35
1.764	5.528	5.927	0.933	1.831	0.1708	1.9348	0.0085	0.02084	0.02072	-0.02005	0.422	1.77
1.753	5.482	5.904	0.929	1.846	0.1737	1.9262	0.0086	0.02100	0.02092	-0.02025	0.426	2.19
1.741	5.432	5.879	0.924	1.863	0.1769	1.9179	0.0083	0.02130	0.02115	-0.02048	0.405	2.60
1.730	5.387	5.856	0.920	1.879	0.1799	1.9094	0.0085	0.02158	0.02144	-0.02077	0.410	3.01
1.718	5.336	5.832	0.915	1.897	0.1834	1.9014	0.0081	0.02187	0.02173	-0.02106	0.393	3.39
1.707	5.291	5.809	0.911	1.913	0.1865	1.8930	0.0084	0.02212	0.02200	-0.02133	0.392	3.78
1.695	5.241	5.784	0.906	1.931	0.1901	1.8851	0.0079	0.02240	0.02226	-0.02159	0.367	4.15
1.684	5.195	5.762	0.902	1.948	0.1935	1.8770	0.0081	0.02268	0.02254	-0.02187	0.371	4.62
1.672	5.146	5.737	0.897	1.967	0.1972	1.8692	0.0078	0.02290	0.02279	-0.02212	0.352	4.87
1.661	5.100	5.714	0.893	1.985	0.2007	1.8612	0.0079	0.02320	0.02305	-0.02238	0.355	5.23
1.649	5.050	5.689	0.888	2.004	0.2047	1.8537	0.0075	0.02357	0.02339	-0.02272	0.330	5.56
1.638	5.005	5.667	0.883	2.022	0.2084	1.8459	0.0076	0.02380	0.02369	-0.02302	0.338	5.90
1.626	4.955	5.642	0.878	2.043	0.2127	1.8387	0.0073	0.02420	0.02400	-0.02333	0.312	6.21
1.615	4.909	5.620	0.874	2.062	0.2166	1.8311	0.0075	0.02450	0.02435	-0.02368	0.318	6.53
1.603	4.859	5.595	0.868	2.083	0.2211	1.8241	0.0070	0.02480	0.02465	-0.02398	0.292	6.82
1.592	4.737	5.573	0.850	2.137	0.2327	1.8242	0.0000	0.02580	0.02530	-0.02463	0.002	6.82
1.580	4.698	5.550	0.847	2.154	0.2365	1.8165	0.0077	0.02616	0.02598	-0.02531	0.303	7.12

Tabla 16.- Cálculo del perfil tipo M1, 2a. revisión, Túnel Analco-San José, Sección Circular

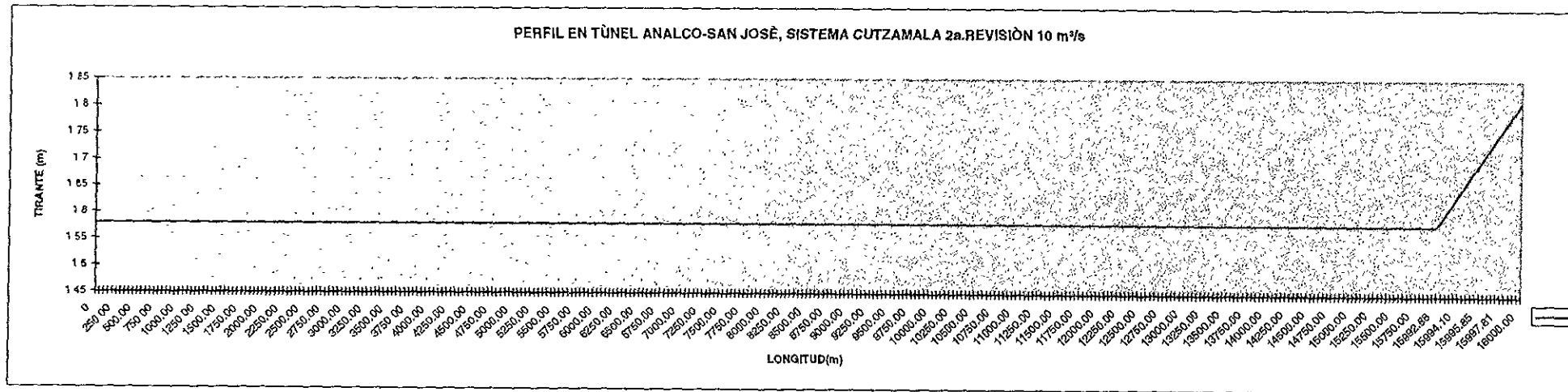


Figura 14.- Perfil tipo M1 Túnel Analco-San José $Q= 10\text{m}^3/\text{s}$ Sección Circular

TIPO DE PERFIL: M1

y_i = y₂ y₂ = 2.579 m
 y_f = y_n y_n = 2.260 m
 Q = 19 m³/s

y	A	P	Rh	V	V ² /2g	E _i	Inc. E	S _{f1}	S _{f2}	So-S _{f2}	Inc. x	Long.acum.
2.579	8.918	7.569	1.178	2.134	0.2322	2.8112		0.021000			0.00	0.00
2.563	8.852	7.535	1.175	2.150	0.2357	2.7987	0.0125	0.021200	0.02110	-0.02043	0.611	0.61
2.547	8.787	7.502	1.171	2.166	0.2392	2.7863	0.0125	0.021400	0.02130	-0.02063	0.604	1.21
2.531	8.721	7.468	1.168	2.183	0.2428	2.7739	0.0123	0.02160	0.02150	-0.02083	0.591	1.81
2.515	8.655	7.434	1.164	2.199	0.2465	2.7617	0.0122	0.02180	0.02170	-0.02103	0.582	2.39
2.499	8.594	7.403	1.161	2.215	0.2500	2.7493	0.0124	0.02200	0.02190	-0.02123	0.586	2.97
2.483	8.523	7.367	1.157	2.233	0.2542	2.7375	0.0118	0.02220	0.02210	-0.02143	0.549	3.52
2.467	8.456	7.334	1.153	2.251	0.2582	2.7256	0.0119	0.02240	0.02230	-0.02163	0.550	4.07
2.451	8.389	7.300	1.149	2.269	0.2624	2.7138	0.0118	0.02270	0.02255	-0.02188	0.540	4.61
2.435	8.322	7.267	1.145	2.287	0.2666	2.7021	0.0117	0.02295	0.02282	-0.02215	0.529	5.14
2.420	8.259	7.235	1.142	2.305	0.2707	2.6902	0.0119	0.02316	0.02305	-0.02238	0.530	5.67
2.404	8.192	7.202	1.137	2.323	0.2752	2.6787	0.0115	0.02342	0.02329	-0.02262	0.509	6.18
2.388	8.127	7.170	1.133	2.342	0.2796	2.6672	0.0115	0.02360	0.02351	-0.02284	0.505	6.68
2.372	8.062	7.140	1.129	2.361	0.2841	2.6558	0.0114	0.02391	0.02376	-0.02309	0.495	7.18
2.356	7.998	7.110	1.125	2.380	0.2887	2.6444	0.0114	0.02416	0.02403	-0.02336	0.487	7.67
2.340	7.933	7.067	1.123	2.399	0.2934	2.6332	0.0112	0.02438	0.02427	-0.02360	0.475	8.14
2.324	7.868	7.048	1.116	2.419	0.2983	2.6221	0.0111	0.02469	0.02453	-0.02386	0.464	8.61
2.308	7.804	7.017	1.112	2.439	0.3032	2.6110	0.0110	0.02495	0.02482	-0.02415	0.457	9.06
2.292	7.738	6.986	1.108	2.460	0.3084	2.6003	0.0108	0.02522	0.02509	-0.02442	0.441	9.50
2.276	7.671	6.954	1.103	2.481	0.3138	2.5898	0.0105	0.02552	0.02537	-0.02470	0.427	9.93
2.260	7.603	6.922	1.098	2.503	0.3194	2.5794	0.0103	0.02583	0.02567	-0.02500	0.412	10.34

Tabla 17.- Cálculo del perfil tipo M1, 3a. revisión, Túnel Analco-San José, Sección Circular

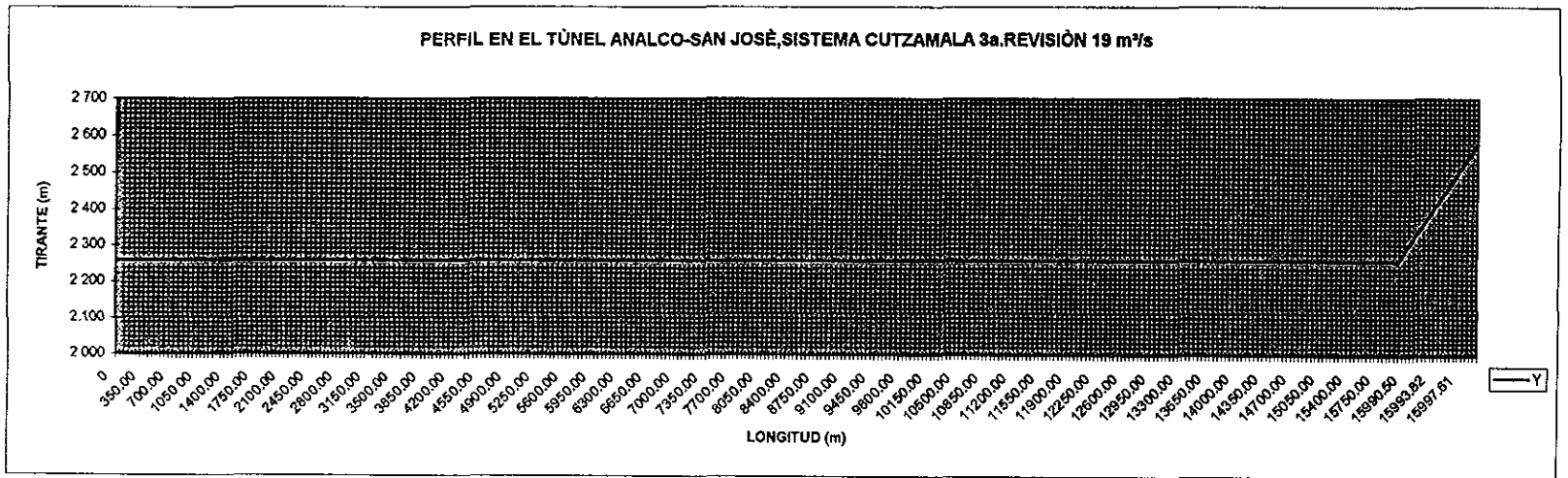


Figura 15.- Perfil tipo M1 Túnel Analco-San José Q= 19 m³/s Sección Circular

TIPO DE PERFIL: M1

$y_i = y_2$ $y_2 =$ 3.007
 $y_f = y_n$ $y_n =$ 2.650
 $Q =$ 24 m³/s

y	A	P	Rh	V	V ² /2g	Ei	Inc. E	Sfi	Sfm	So-Sfm	Inc. x	Long.acum.
3.007	10.584	8.465	1.250	2.268	0.2621	3.2691		0.02150			0.00	0.00
2.989	10.541	8.439	1.249	2.277	0.2642	3.2534	0.0157	0.02159	0.02154	-0.02087	0.752	0.75
2.971	10.471	8.396	1.247	2.292	0.2678	3.2391	0.0143	0.02176	0.02168	-0.02101	0.681	1.43
2.953	10.401	8.354	1.245	2.307	0.2714	3.2248	0.0142	0.02193	0.02185	-0.02118	0.672	2.11
2.936	10.335	8.313	1.243	2.322	0.2749	3.2105	0.0144	0.02210	0.02202	-0.02135	0.673	2.78
2.918	10.265	8.271	1.241	2.338	0.2786	3.1964	0.0141	0.02227	0.02219	-0.02152	0.655	3.43
2.900	10.196	8.229	1.239	2.354	0.2824	3.1823	0.0141	0.02245	0.02236	-0.02169	0.649	4.08
2.882	10.128	8.193	1.236	2.370	0.2862	3.1683	0.0140	0.02263	0.02254	-0.02187	0.642	4.72
2.864	10.059	8.158	1.233	2.386	0.2901	3.1543	0.0139	0.02282	0.02273	-0.02206	0.631	5.36
2.846	9.992	8.123	1.230	2.402	0.2940	3.1404	0.0139	0.02300	0.02291	-0.02224	0.627	5.98
2.829	9.928	8.089	1.227	2.418	0.2979	3.1264	0.0140	0.02320	0.02310	-0.02243	0.625	6.61
2.811	9.859	8.054	1.224	2.434	0.3020	3.1127	0.0137	0.02340	0.02330	-0.02263	0.605	7.21
2.793	9.789	8.018	1.221	2.452	0.3064	3.0992	0.0135	0.02361	0.02350	-0.02283	0.592	7.80
2.775	9.717	7.980	1.218	2.470	0.3109	3.0859	0.0133	0.02382	0.02371	-0.02304	0.577	8.38
2.757	9.644	7.941	1.214	2.489	0.3157	3.0728	0.0131	0.02405	0.02394	-0.02327	0.564	8.95
2.739	9.571	7.903	1.211	2.508	0.3205	3.0597	0.0130	0.02427	0.02416	-0.02349	0.554	9.50
2.721	9.498	7.865	1.208	2.527	0.3254	3.0468	0.0129	0.02450	0.02439	-0.02372	0.544	10.04
2.704	9.430	7.829	1.204	2.545	0.3301	3.0337	0.0131	0.02474	0.02462	-0.02395	0.549	10.59
2.686	9.356	7.792	1.201	2.565	0.3354	3.0211	0.0126	0.02497	0.02485	-0.02418	0.521	11.11
2.668	9.283	7.754	1.197	2.585	0.3407	3.0085	0.0126	0.02523	0.02510	-0.02443	0.514	11.63
2.650	9.209	7.717	1.193	2.606	0.3462	2.9962	0.0124	0.02549	0.02536	-0.02469	0.500	12.13

Tabla 18.- Cálculo del perfil tipo M1, 4a. revisión, Túnel Analco-San José, Sección Circular

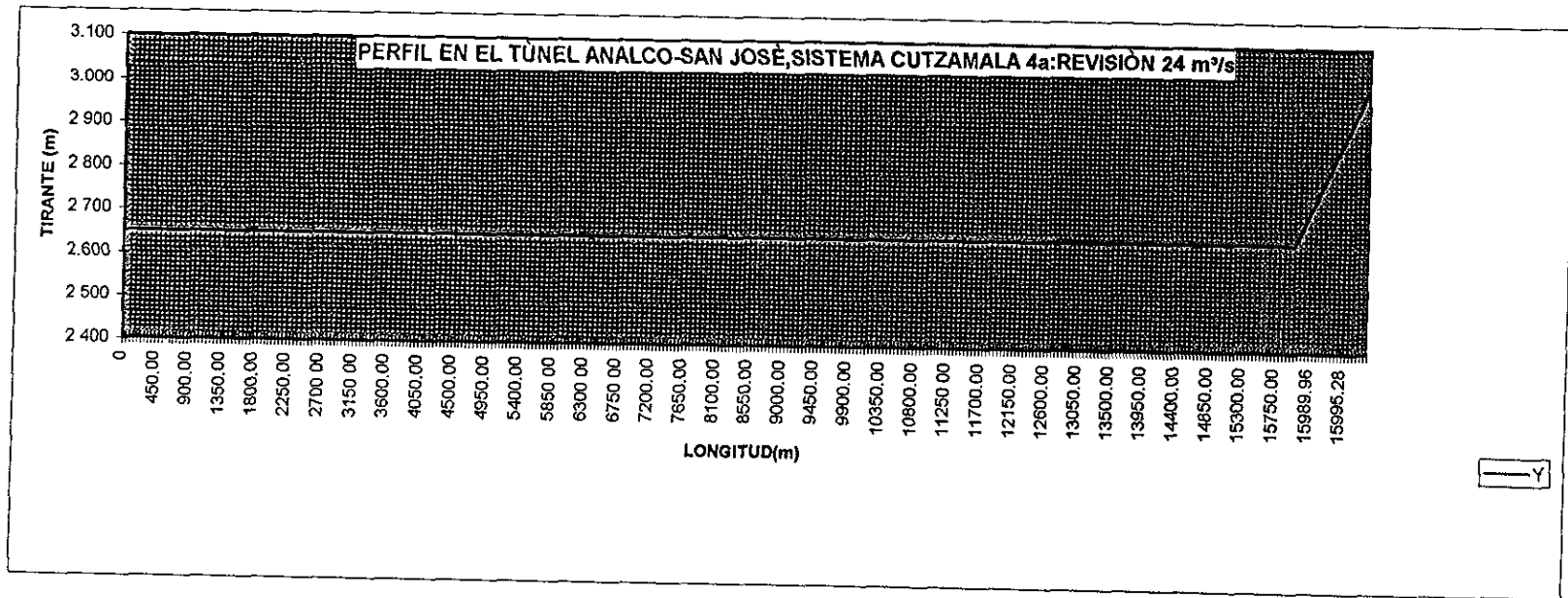


Figura 16.- Perfil tipo M1 Túnel Analco-San José Q= 24 m³/s Sección Circular

TIPO DE PERFIL: M1

$y_i = y_2$ $y_2 =$ 3.484m
 $y_f = y_n$ $y_n =$ 3.100 m
 $Q =$ 30 m³/s

y	A	P	Rh	V	V ² /2g	Ei	Inc. E	Sfi	Sfm	So-Sfm	Inc. x	Long.a
3.484	12.282	9.618	1.277	2.452	0.3064	3.7904		0.02283			0.00	0.0
3.465	12.223	9.569	1.277	2.464	0.3094	3.7742	0.0162	0.02294	0.02288	-0.02221	0.731	0.7
3.446	12.164	9.520	1.278	2.476	0.3124	3.7580	0.0162	0.02304	0.02299	-0.02232	0.726	1.4
3.426	12.102	9.469	1.278	2.488	0.3156	3.7420	0.0160	0.02315	0.02309	-0.02242	0.713	2.1
3.407	12.043	9.421	1.278	2.500	0.3187	3.7259	0.0161	0.02327	0.02321	-0.02254	0.714	2.8
3.388	11.981	9.374	1.278	2.513	0.3220	3.7100	0.0159	0.02339	0.02333	-0.02266	0.701	3.5
3.369	11.916	9.328	1.277	2.527	0.3255	3.6943	0.0157	0.02353	0.02346	-0.02279	0.688	4.2
3.350	11.851	9.283	1.277	2.541	0.3291	3.6787	0.0156	0.02366	0.02359	-0.02292	0.681	4.9
3.330	11.783	9.235	1.276	2.556	0.3329	3.6633	0.0154	0.02381	0.02373	-0.02306	0.667	5.6
3.311	11.718	9.190	1.275	2.570	0.3366	3.6478	0.0155	0.02395	0.02388	-0.02321	0.668	6.2
3.292	11.652	9.143	1.274	2.584	0.3404	3.6324	0.0154	0.02410	0.02402	-0.02335	0.658	6.95
3.273	11.585	9.096	1.274	2.599	0.3444	3.6172	0.0153	0.02423	0.02416	-0.02349	0.649	7.60
3.254	11.518	9.048	1.273	2.614	0.3484	3.6020	0.0152	0.02429	0.02426	-0.02359	0.644	8.24
3.234	11.447	8.977	1.275	2.631	0.3527	3.5871	0.0149	0.02452	0.02440	-0.02373	0.626	8.87
3.215	11.380	8.949	1.272	2.646	0.3569	3.5721	0.0150	0.02470	0.02461	-0.02394	0.628	9.50
3.196	11.312	8.903	1.271	2.662	0.3612	3.5572	0.0149	0.02486	0.02478	-0.02411	0.618	10.11
3.177	11.242	8.860	1.269	2.679	0.3657	3.5425	0.0147	0.02504	0.02495	-0.02428	0.605	10.72
3.158	11.172	8.817	1.267	2.695	0.3703	3.5279	0.0146	0.02520	0.02512	-0.02445	0.597	11.32
3.138	11.099	8.772	1.265	2.713	0.3752	3.5136	0.0143	0.02540	0.02530	-0.02463	0.581	11.90
3.119	11.029	8.729	1.263	2.730	0.3800	3.4992	0.0144	0.02561	0.02550	-0.02483	0.581	12.48
3.100	10.960	8.687	1.262	2.748	0.3848	3.4848	0.0144	0.02578	0.02569	-0.02502	0.575	13.05

Tabla 19.- Cálculo del perfil tipo M1,5a. revisión, Túnel Analco-San José, Sección Circular

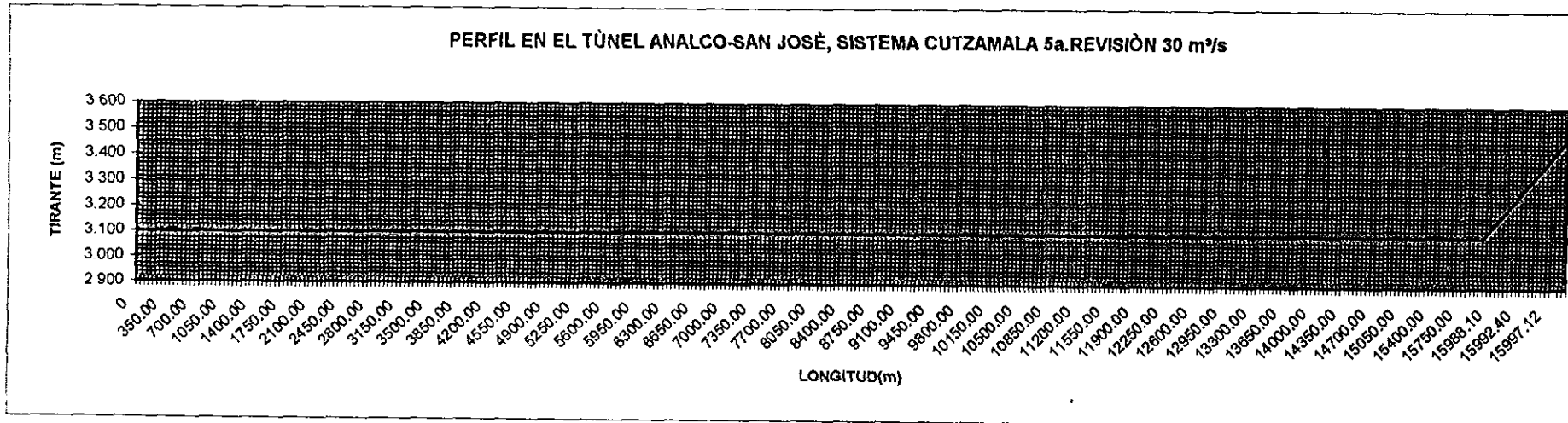


Figura 17.- Perfil tipo M1 Túnel Analco-San José Q= 30 m³/s Sección Circular

TIPO DE PERFIL: M1

$y_i = y_2$ $y_2 =$ 3.891 m
 $y_f = y_n$ $y_n =$ 3.500 m
 $Q =$ 34 m³/s

y	A	P	Rh	V	V ² /2g	Ei	Inc. E	Sfi	Sfm	So-Sfm	Inc. x	Long.acum.
3.891	13.398	10.900	1.229	2.549	0.3312	4.2222		0.02433			0.00	0.00
3.871	13.351	10.827	1.233	2.558	0.3335	4.2050	0.0172	0.02436	0.02435	-0.02368	0.727	0.73
3.852	13.307	10.756	1.237	2.566	0.3357	4.1876	0.0173	0.02438	0.02437	-0.02370	0.732	1.46
3.832	13.260	10.682	1.241	2.576	0.3381	4.1705	0.0172	0.02442	0.02440	-0.02373	0.723	2.18
3.813	13.216	10.612	1.245	2.584	0.3404	4.1532	0.0173	0.02445	0.02444	-0.02377	0.728	2.91
3.793	13.167	10.541	1.249	2.594	0.3429	4.1361	0.0170	0.02449	0.02447	-0.02380	0.715	3.62
3.774	13.117	10.478	1.252	2.604	0.3455	4.1192	0.0169	0.02455	0.02452	-0.02385	0.710	4.33
3.754	13.065	10.413	1.255	2.614	0.3483	4.1024	0.0168	0.02460	0.02457	-0.02390	0.703	5.04
3.735	13.015	10.351	1.257	2.624	0.3509	4.0855	0.0169	0.02467	0.02464	-0.02397	0.704	5.74
3.715	12.962	10.285	1.260	2.635	0.3538	4.0689	0.0167	0.02473	0.02470	-0.02403	0.694	6.43
3.696	12.911	10.224	1.263	2.645	0.3566	4.0521	0.0167	0.02479	0.02476	-0.02409	0.695	7.13
3.676	12.854	10.164	1.265	2.657	0.3598	4.0357	0.0164	0.02488	0.02483	-0.02416	0.678	7.81
3.656	12.798	10.105	1.267	2.669	0.3630	4.0194	0.0164	0.02496	0.02492	-0.02425	0.676	8.48
3.637	12.744	10.048	1.268	2.680	0.3660	4.0029	0.0165	0.02505	0.02500	-0.02433	0.677	9.16
3.617	12.687	9.988	1.270	2.692	0.3693	3.9866	0.0163	0.02513	0.02509	-0.02442	0.666	9.83
3.598	12.632	9.938	1.271	2.704	0.3726	3.9703	0.0163	0.02523	0.02518	-0.02451	0.666	10.49
3.578	12.571	9.876	1.273	2.717	0.3762	3.9544	0.0159	0.02532	0.02528	-0.02461	0.647	11.14
3.559	12.513	9.823	1.274	2.729	0.3797	3.9383	0.0161	0.02543	0.02538	-0.02471	0.650	11.79
3.539	12.451	9.767	1.275	2.743	0.3835	3.9226	0.0158	0.02555	0.02549	-0.02482	0.635	12.42
3.520	12.393	9.714	1.276	2.756	0.3871	3.9066	0.0160	0.02565	0.02560	-0.02493	0.640	13.06
3.500	12.332	9.659	1.277	2.769	0.3909	3.8909	0.0157	0.02577	0.02571	-0.02504	0.627	13.69

Tabla 20 Cálculo del perfil tipo M1,6a. revisión, Túnel Analco-San José, Sección Circular

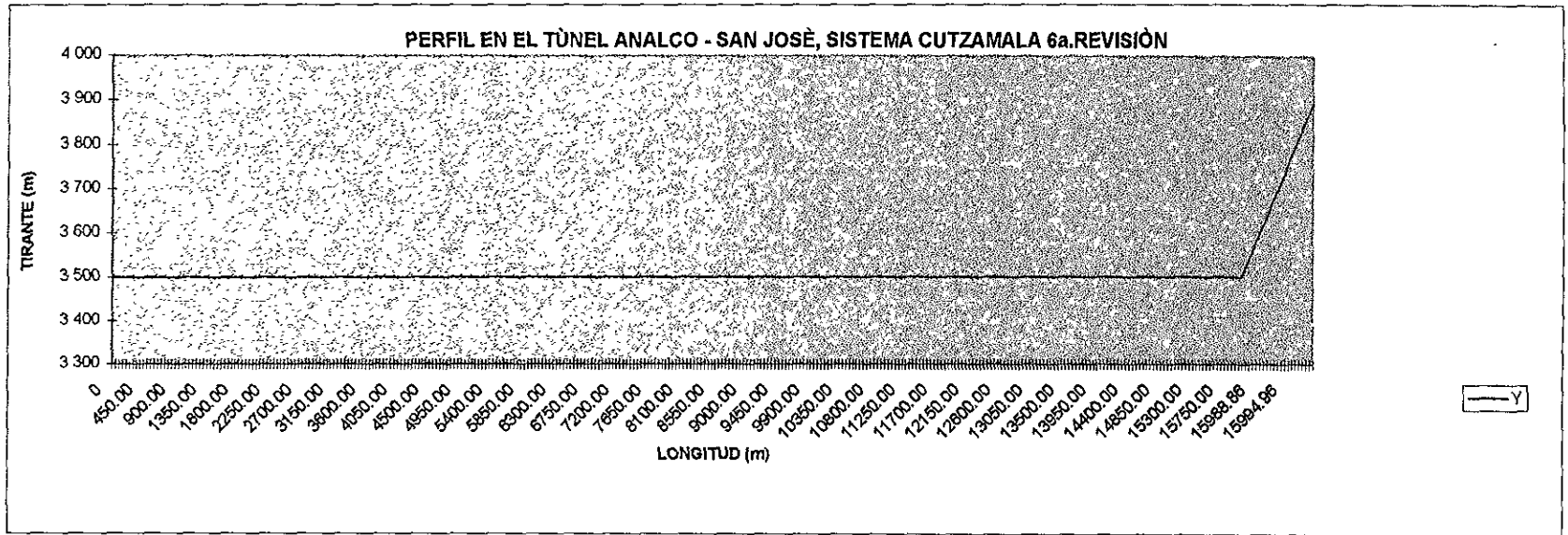


Figura 18.- Perfil tipo M1 Túnel Analco-San José Q= 34 m³/s Sección Circular

COMENTARIOS:

*El tirante con el cual operaría el Túnel Analco-San José con la aportación real (en promedio) a la fecha de la imagen (10.347 m³/s), observando la **tabla 14 pag.108** sería de 1.59 m.

*En las **gráficas 5 y 6 pag.148 y 149** se pueden observar las variaciones de (abertura de compuertas) y y_3 (tirante después de la compuerta) para cualquier gasto.

*Los 6 perfiles en esta sección para las diferentes revisiones son tipo M1.

V.-CONCLUSIONES

V.I.- Conclusiones sobre la revisión del funcionamiento hidráulico del Túnel Analco San-José

*El Túnel Analco-San José (Sección Portal) está diseñado para conducir $34 \text{ m}^3/\text{s}$ según el proyecto, sin embargo, como se ha comprobado, el gasto máximo que puede conducir es de hasta $47.510 \text{ m}^3/\text{s}$.

*La sección del Túnel Analco-San José está sobrada, su capacidad podría conducir una aportación de casi el doble del Sistema Cutzamala (operando las cuatro etapas al 100%)

*El tirante con el cual operará el Sistema Cutzamala en la parte del Túnel Analco-San José con las 4 etapas operando al 100 % es de $y=2.03 \text{ m}$.

*El tirante para el gasto de diseño será $y=2.66 \text{ m}$

*Aún operando las 4 etapas del Sistema, la sección semicircular del túnel nunca sería tocada por el agua, es decir, el túnel trabajará siempre como canal rectangular con sección de $4.60 \text{ m} \times 1.95 \text{ m}$ y posiblemente hasta $4.60 \text{ m} \times 2.00 \text{ m}$.

*El flujo en el túnel es un flujo uniforme.

*La velocidad máxima posible que el agua alcanzaría es de 2.89 m/s con un tirante de 3.40 m y $Q=43.74 \text{ m}^3/\text{s}$.

*En la zona de las compuertas (lumbreira 3), de los ramales norte y sur, se crea un remanzo debido a la presencia de éstas.

*Perfiles desarrollados: Tipo M1, en régimen subcrítico y $y > y_n$.

*Desarrollo de perfiles: de $y=y_2$ hasta $y_n=y_1$

1ª.revisión: longitud de 4.02 m

2ª.revisión: longitud de 6.85 m

3ª.revisión: longitud de 9.25 m

4ª.revisión: longitud de 10.88 m

5ª.revisión: longitud de 12.70 m

6ª.revisión: longitud de 13.15 m

V.2.- Conclusiones sobre la alternativa propuesta

*Para un Q de diseño de $34 \text{ m}^3/\text{s}$, la Sección Circular propuesta de 4.20 m de Diámetro se ajusta mucho mejor que la existente (Portal).

*El tirante con el cual operaría el Sistema Cutzamala en la parte del Túnel Analco-San José trabajando las 4 etapas al 100 % sería de $y=2.6 \text{ m}$.

* Para el Q de diseño de $34 \text{ m}^3/\text{s}$ su tirante correspondería a $y= 3.5 \text{ m}$.

*El flujo en el Túnel Analco-San José sección circular sería Uniforme.

*La velocidad del agua máxima posible sería de 2.772 m/s con un tirante de 3.4 m y $Q= 33.32 \text{ m}^3/\text{s}$.

*La presencia de las compuertas en la lumbrera 3 para el Ramal Norte y Sur crea un remanzo.

*Perfiles desarrollados: Tipo M1, en régimen subcrítico y $y > y_n$.

*Desarrollo de perfiles: de $y=y_2$ hasta $y_n=y_1$

1ª.-Revisión: 4.16 m

2ª.-Revisión: 7.12 m

3ª. Revisión: 10.34 m

4ª.Revisión: 12.13 m

5ª.-Revisión: 13.05 m

6ª.-Revisión: 13.69 m

V.3.- Comparación de alternativas

ZONA DEL TÚNEL ANALCO-SAN JOSÉ

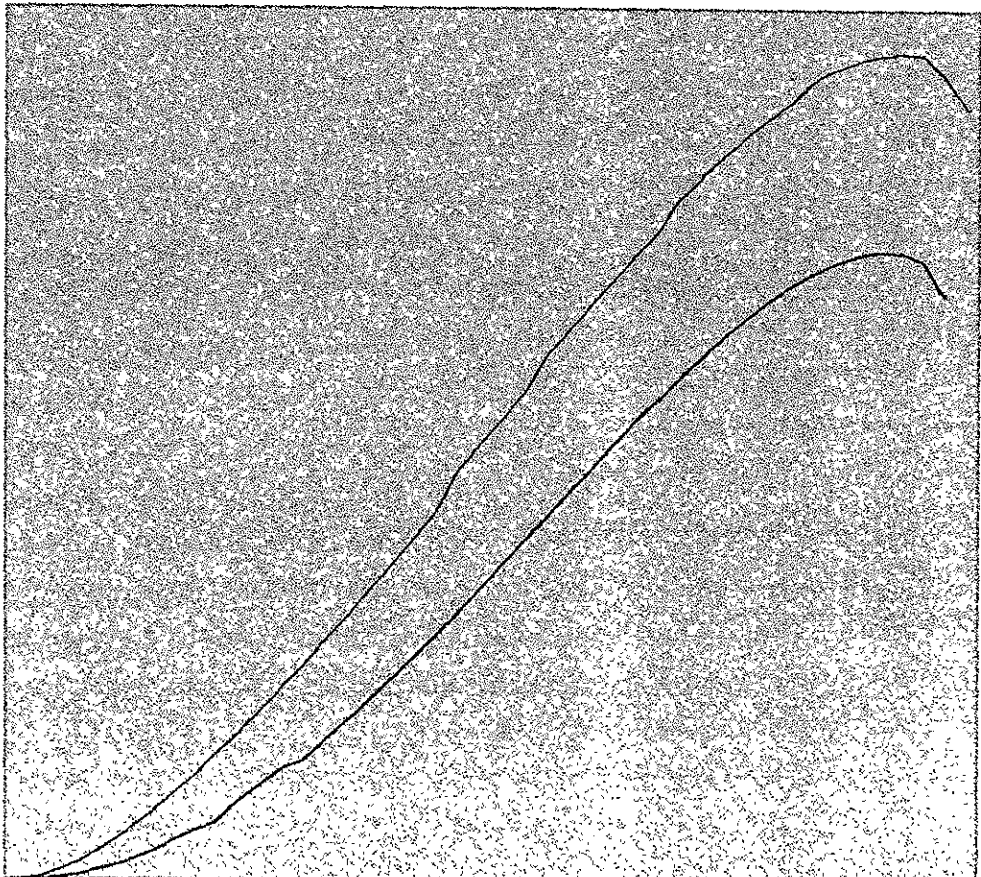
REVISIÓN		y2 (m)		yc (m)		yn=y1 (m)		TIPO DE PERFIL
		PORTAL	CIRCULAR	PORTAL	CIRCULAR	PORTAL	CIRCULAR	
1	4 m³/s	0.737	1.116	0.426	0.772	0.625	0.980	M1
2	10 m³/s	1.329	1.810	0.784	1.240	1.125	1.580	M1
3	19 m³/s	2.055	2.579	1.205	1.772	1.760	2.260	M1
4	24 m³/s	2.367	3.007	1.420	1.957	2.030	2.650	M1
5	30 m³/s	2.776	3.484	1.680	2.188	2.400	3.100	M1
6	34 m³/s	3.056	3.891	1.810	2.330	2.660	3.500	M1

ZONA DE COMPUERTAS

REVISIÓN		L (m)		a (m)		y3 (m)	
		PORTAL	CIRCULAR	PORTAL	CIRCULAR	PORTAL	CIRCULAR
1	4 m³/s	0.560	0.403	0.350	0.250	0.217	0.155
2	10 m³/s	1.048	0.806	0.650	0.500	0.403	0.310
3	19 m³/s	1.596	1.370	0.990	0.850	0.614	0.527
4	24 m³/s	1.903	1.560	1.180	0.970	0.731	0.601
5	30 m³/s	2.170	1.810	1.350	1.125	0.837	0.697
6	34 m³/s	2.403	1.930	1.490	1.200	0.924	0.744

— Q CIRCULAR — Q PORTAL

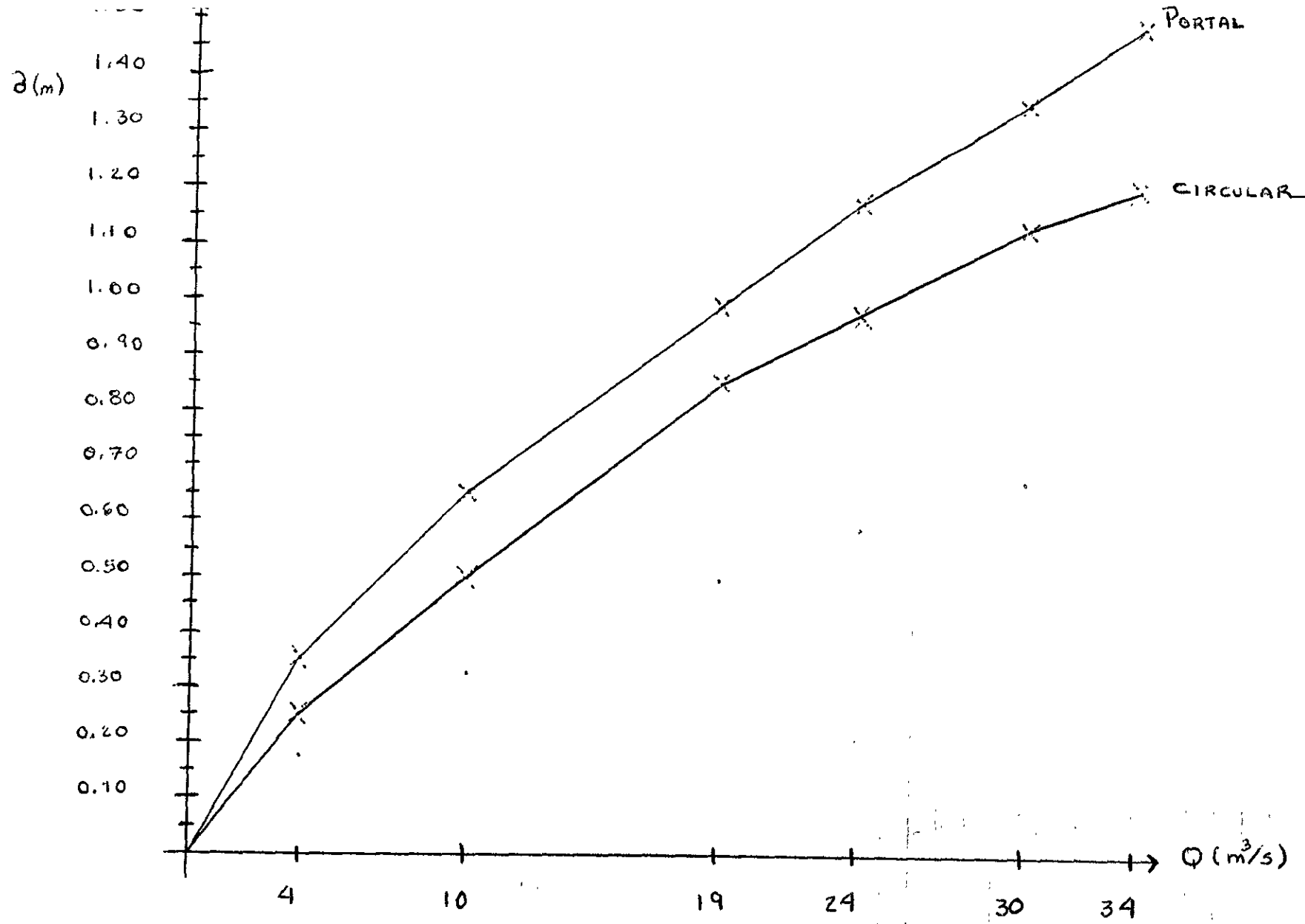
Gastos (m³/s)



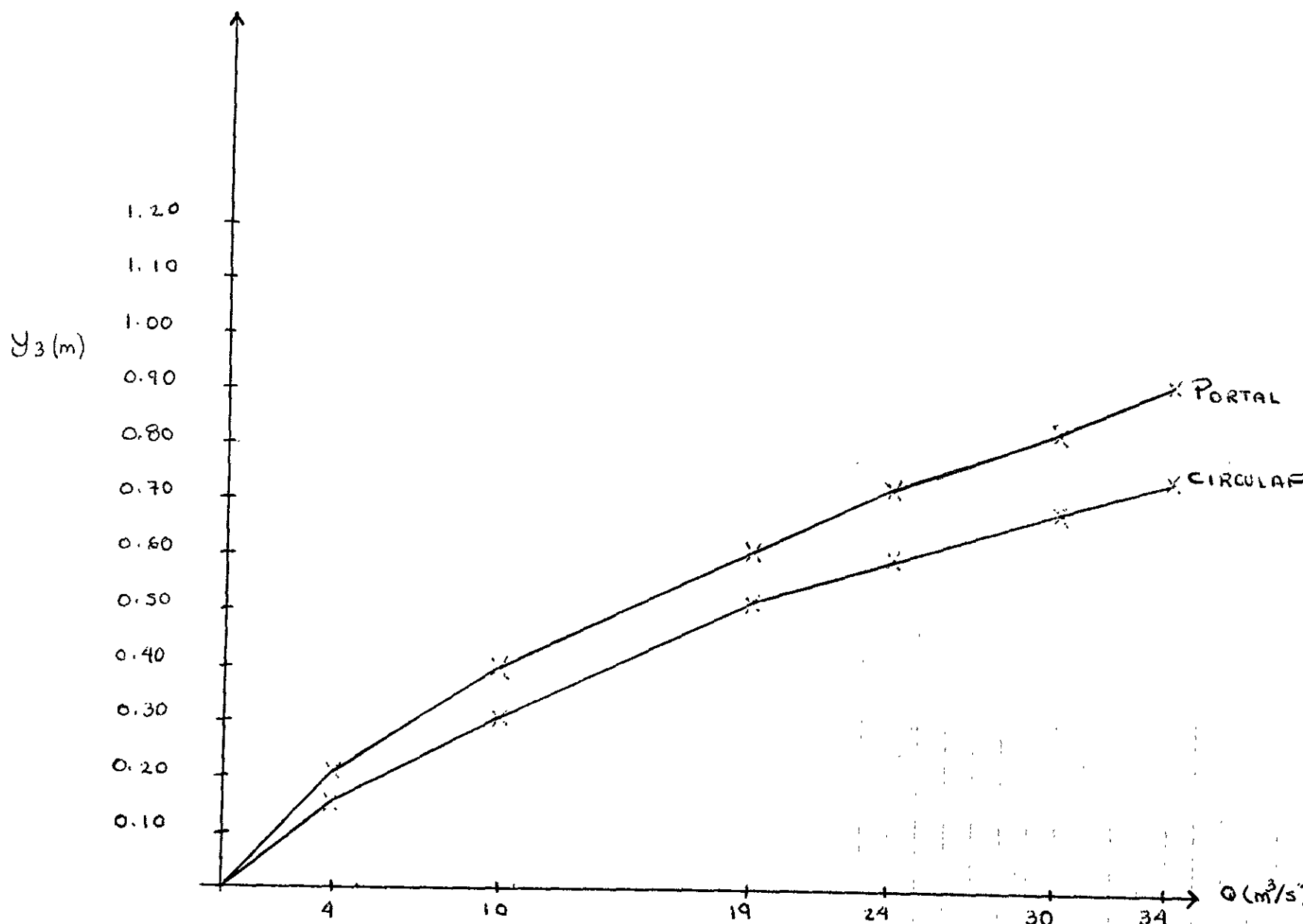
	1	4	7	10	13	16	19	22	24	27	30	33	36	39	42
Q CIRCULAR	0	0.371	1.577	3.290	6.421	9.192	12.877	16.839	19.606	23.698	27.678	31.274	34.152	35.971	35.70
Q PORTAL	0	1.158	3.760	7.142	11.017	15.234	19.667	25.089	28.034	33.094	37.268	41.623	44.652	47.034	47.43

Tirantes y (m)

Gráfica 4.-Curvas de Tirantes vs Gastos Secciones Portal y Circular



Gráfica 5.- Curvas a vs Q Sección Portal y Circular para cada compuerta en los Ramales Norte y Sur



Gráfica 6.- Curvas y_3 vs Q Sección Portal y Circular para cada compuerta en los Ramales Norte y Sur

CONCLUSIONES.- COMPARACIÓN SECCIÓN PORTAL Y CIRCULAR

TIRANTE y (m)	ÁREA		PERÍMETRO		RADIO HIDRÁULICO		GASTO	
	A (m ²)		P (m)		Rh (m)		Q (m ³ /s)	
	PORTAL CIRCULAR		PORTAL CIRCULAR		PORTAL CIRCULAR		PORTAL CIRCULAR	
0.50	2.125	1.000	5.12	3.40	0.415	0.294	2.782	1.040
1.00	4.425	2.708	6.12	4.58	0.723	0.596	8.388	4.480
2.00	9.236	6.504	8.13	6.39	1.136	1.016	23.662	15.470
3.00	13.713	10.508	10.25	8.46	1.338	1.250	39.180	28.905
4.00	16.920	13.609	12.99	11.33	1.303	1.201	47.500	36.180

V.4.- Sugerencias y posibles soluciones al problema de abastecimiento de agua potable en la ZMCM.

El problema de abastecimiento de agua potable en el país y concretamente en la ZMCM es muy serio y ha dejado de ser un problema a largo plazo.

El costo tan grande que representa llevar el agua a la ZMCM desde cuencas externas y lejanas hará que tarde o temprano se deban subir los precios del líquido vital afectando gravemente a la población, sobre todo a la de escasos recursos.

Sugerencias:

*Es indispensable continuar los planes y lineamientos planteados por la CNA y el DDF en materia de cuidado y ahorro del agua.

*Ampliar y mantener una constante cultura en todo el país a favor del uso eficiente del agua, ya que México se encuentra entre los países con la mayor dotación de agua potable para alguna de sus ciudades (360 l/hab/día).

*Sin duda, el precio del agua para los habitantes de la ZMCM es bajo, se requiere hacer un estudio económico para que se aumente en proporción al nivel económico de los usuarios y zonas poblacionales, por ejemplo: la Delegación Iztapalapa consume 180 l/hab/día y la Delegación Miguel Hidalgo 490 l/hab/día.

*Realizar una seria campaña por parte del gobierno federal para disminuir los serios desperdicios de agua que provocan las fugas existentes en toda la ZMCM, que llegan a ser hasta de un 40 %.

*Aumentar las plantas de tratamiento de aguas residuales.

*Dar un serio y rápido seguimiento al estudio para conocer la viabilidad de la recarga del acuífero en el área de conservación ecológica del D.F., con el fin de incrementar la infiltración de agua de lluvia en los mantos acuíferos.

*Mantener un gran respeto por el líquido que nos da vida, cuidarlo y hacer conciencia que en algún día no muy lejano, podríamos vernos en la necesidad de traer agua desde el mar a costos muy altos y cantidades pequeñas.

V.5.-Conclusiones generales.

*Debido a los diferentes problemas referentes al abastecimiento de agua potable en la ZMCM, se tiene que aprovechar agua de cuencas externas.

*En los años 80's, después de un minucioso estudio, la opción más viable fue el aprovechamiento de la cuenca alta del Río Cutzamala (Región Hidrológica 18), actualmente en explotación. A futuro se ha pensado en las Cuencas de Tecolutla y Amacuzac pero sin ninguna solución a mediano plazo.

*El sistema Cutzamala se ha desarrollado en 3 etapas, y una más en proyecto. (Proyecto Temascaltepec), aportando cada una 4,6,9 y 5 m³/s respectivamente.

*El recorrido final del agua proveniente del Sistema Cutzamala, se realiza a través del Túnel Analco-San José, de 16 km de longitud atravesando la Sierra de Las Cruces. En la parte final de dicho túnel se encuentran los mecanismos que ayudan a conducir el agua hacia el D.F y parte del Estado de México por medio de los ramales Norte y Sur.

*Es importante contar con un detallado análisis del funcionamiento hidráulico del túnel Analco-San José, sobre todo en la parte donde el agua es captada por los 2 ramales.

*La sección portal del Túnel Analco-San José resultó ser una sección por demás sobrada, el Q de diseño corresponde a 34 m³/s y el túnel puede conducir hasta 47.5 m³/s, casi el doble de la aportación del Sistema Cutzamala si sus 4 etapas operaran al 100 %.

*Aún operando al 100 % las 4 etapas aportando 24 m³/s, el agua en el túnel no tocará la sección semicircular, por lo que trabajará siempre como un canal de sección rectangular.

*La sección circular propuesta resulta ajustarse mucho mejor al Q de diseño del proyecto original.

La sección circular propuesta hubiera representado un ahorro en excavación y revestimiento de 66 240 m³. es decir (\$ 186'995 000) a valor presente. **ref 4.**

*Aunque el túnel en sus 2 secciones trabaja eficientemente en cuestiones hidráulicas, hay diferencias estructuralmente y constructivamente hablando a favor de la sección propuesta

*La sección circular propuesta es estructuralmente más estable y eficiente que la sección portal, y más aún, que el túnel ha trabajado y seguirá trabajando como canal rectangular y no como portal. (Por lo menos hasta que se aporten más de 24 m³/s).

*Los procesos constructivos tienden cada vez más a desarrollarse con máquinas tuneladoras (topos y escudos) para secciones circulares

*Los túneles construidos por el método convencional implican mucho más riesgo al usar explosivos a lo largo de su excavación..

La relación en cuanto a costos de obra y tiempo de ejecución pueden variar, pero por experiencia se sabe que la relación es de 1.6:1, es decir los costos y tiempos se ven aumentados en un 60% por el método convencional .

***Ver ref.4.** En estos días, está por concluirse la obra del Túnel 5 del acuaférico (ramal sur), realizada con una máquina tunelera (topo) y una sección circular.

Esta obra fue concursada hace 6 años y el método constructivo ganador fue el de Topo. Los costos y el tiempo ,ahora terminada la obra, se valoran en un 100 % más si se hubiera procedido con el método convencional y otra sección.

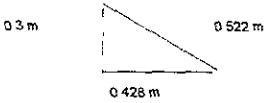
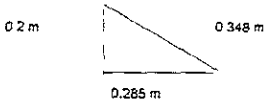
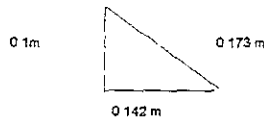
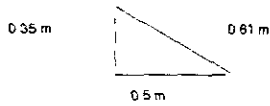
\$ 400 000 000 vs \$800 000 000 (COSTO DEL TOPO \$ 100 000 000)

40 millones de dolares vs 80 millones de dolares , topo= 10 millones de dolares.

Tipo de cambio(\$10 por dólar)

*En mi opinión, es indudable que el túnel Analco-San José trabaja eficientemente y ha cumplido con su objetivo, pero para futuros proyectos, se deben elegir método y sección diferentes a las de dicho túnel, por ejemplo, las expuestas en el presente trabajo.

ANEXO 1



$$A=(0.1*0.142) + (3.6*0.1)= 0.3742 \text{ m}^2$$

$$A=(0.2*0.285) + (3.6*0.2)=0.777 \text{ m}^2$$

$$A=(0.3*0.428) + (3.6*0.3)=1.208\text{m}^2$$

$$A=(0.35*0.5) + (3.6*0.35)=1.435 \text{ m}^2$$

Cálculos del área de la sección del Túnel Analco-San José basados en los dibujos arriba mostrados y en la tabla 2.5 del libro 1 de la bibliografía.(ANEXO 2)

y (m)	yCircular (m)	y/D	A/D ²	A (m ²)	A - (A Circular/2) (m ²)	A Tot (m ²)
2.00	2.35	0.510	0.4027	8.520	8.52-8.31=0.211	9.025+0.211=9.236
2.10	2.45	0.530	0.4227	8.940	8.94-8.31=0.63	9.025+0.63=9.655
2.20	2.55	0.550	0.4426	9.365	9.365-8.31=1.055	9.025+1.055=10.08
2.30	2.65	0.570	0.4625	9.786	9.786-8.31=1.476	9.025+1.476=10.501
2.40	2.75	0.600	0.4920	10.410	10.41-8.31=2.10	9.025+2.10=11.125
2.50	2.85	0.620	0.5115	10.820	10.82-8.31=2.51	9.025+2.51=11.525
2.60	2.95	0.640	0.5308	11.231	11.231-8.31=2.92	9.025+2.92=11.945
2.70	3.05	0.660	0.5499	11.630	11.63-8.31=3.32	9.025+3.32=12.345
2.80	3.15	0.680	0.5687	12.030	12.03-8.31=3.72	9.025+3.72=12.745
2.90	3.25	0.700	0.5872	12.420	12.42-8.31=4.115	9.025+4.115=13.14
3.00	3.35	0.730	0.6143	13.000	13.00-8.31=4.688	9.025+4.688=13.713
3.10	3.45	0.750	0.6318	13.370	13.37-8.31=5.06	9.025+5.06=14.085
3.20	3.55	0.770	0.6489	13.730	13.73-8.31=5.42	9.025+5.42=14.445
3.30	3.65	0.790	0.6655	14.090	14.09-8.31=5.77	9.025+5.77=14.795
3.40	3.75	0.810	0.6815	14.420	14.42-8.31=6.11	9.025+6.11=15.135
3.50	3.85	0.830	0.6969	14.740	14.74-8.31=6.43	9.025+6.43=15.455
3.60	3.95	0.860	0.7186	15.210	15.21-8.31=6.89	9.025+6.89=15.915
3.70	4.05	0.880	0.7320	15.490	15.49-8.31=7.179	9.025+7.179=16.204
3.80	4.15	0.900	0.7445	15.750	15.75-8.31=7.44	9.025+7.44=16.465
3.90	4.25	0.920	0.7560	16.000	16.00-8.31=7.68	9.025+7.68=16.705
4.00	4.35	0.940	0.7662	16.210	16.21-8.31=7.9	9.025+7.9=16.925
4.10	4.45	0.960	0.7749	16.400	16.4-8.31=8.1	9.025+8.1=17.125
4.20	4.55	0.990	0.7841	16.600	16.6-8.31=8.29	9.025+8.29=17.315
4.25	4.60	1.000	0.7854	16.620	16.62-8.31=8.31	9.025+8.31=17.335

ANEXO 2

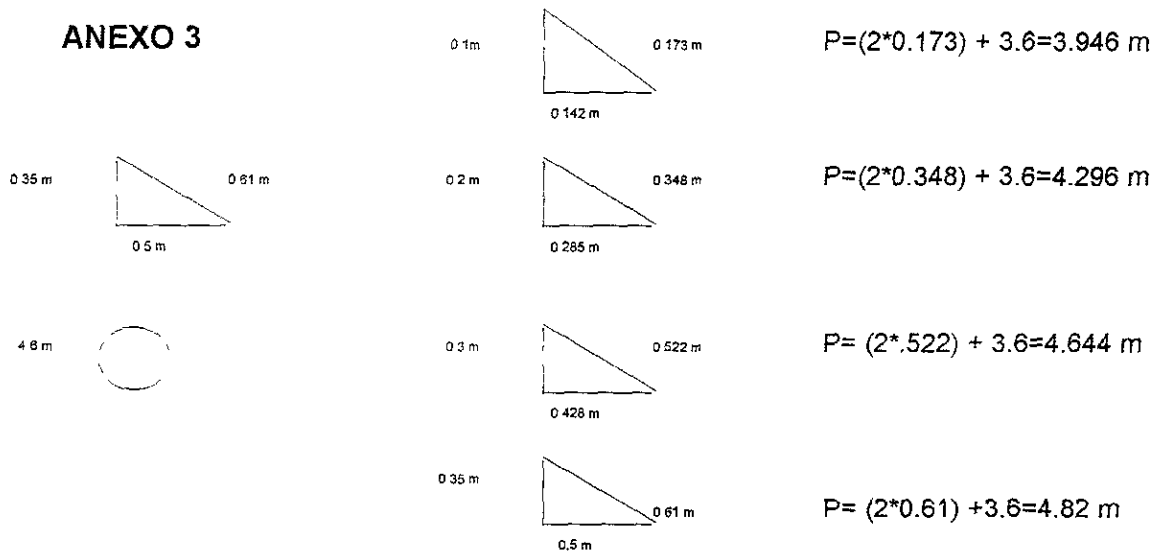
TABLA 2.5 HIDRAULICA II

ELEMENTOS GEOMÉTRICOS SECCIÓN CIRCULAR

- D diámetro
- y tirante
- Rh radio hidráulico
- g aceleración de la gravedad
- Q Gasto cuando el tirante y es el crítico

$\frac{y}{D}$	$\frac{A}{D^2}$	$\frac{R_h}{D}$	$\frac{A R_h^3}{D^4}$	$\frac{Q}{\sqrt{g D^3}}$	$\frac{E_{máx}}{D}$	$\frac{y}{D}$	$\frac{A}{D^2}$	$\frac{R_h}{D}$	$\frac{A R_h^3}{D^4}$	$\frac{Q}{\sqrt{g D^3}}$	$\frac{E_{máx}}{D}$	$\frac{y}{D}$	$\frac{A}{D^2}$	$\frac{R_h}{D}$	$\frac{A R_h^3}{D^4}$	$\frac{Q}{\sqrt{g D^3}}$	$\frac{E_{máx}}{D}$
0.01	0.0013	0.0036	0.0001	0.0001	0.0033	0.31	0.2074	0.1755	0.0050	0.0981	0.4221	0.66	0.5490	0.2939	0.2107	0.4198	0.0702
0.02	0.0037	0.0132	0.0002	0.0001	0.0267	0.32	0.2167	0.1801	0.0090	0.1014	0.4361	0.67	0.5594	0.2917	0.2160	0.4309	0.0674
0.03	0.0069	0.0195	0.0005	0.0010	0.0401	0.33	0.2260	0.1849	0.0136	0.1107	0.4502	0.68	0.5687	0.2935	0.2510	0.4437	0.0848
0.04	0.0105	0.0262	0.0009	0.0017	0.0534	0.31	0.2355	0.1801	0.0176	0.1172	0.4643	0.69	0.5780	0.2950	0.2560	0.4564	0.0825
0.05	0.0147	0.0326	0.0015	0.0027	0.0668	0.35	0.2450	0.1935	0.0220	0.1241	0.4784	0.70	0.5872	0.2962	0.2608	0.4691	0.0804
0.06	0.0192	0.0399	0.0022	0.0039	0.0803	0.36	0.2546	0.1978	0.0264	0.1310	0.4926	0.71	0.5964	0.2973	0.2653	0.4818	0.0826
0.07	0.0242	0.0471	0.0031	0.0053	0.0937	0.37	0.2642	0.2020	0.0309	0.1381	0.5068	0.72	0.6054	0.2984	0.2702	0.4943	0.0871
0.08	0.0294	0.0543	0.0040	0.0069	0.1071	0.38	0.2738	0.2061	0.0355	0.1453	0.5211	0.73	0.6143	0.2995	0.2751	0.5068	0.0919
0.09	0.0350	0.0615	0.0050	0.0087	0.1206	0.39	0.2836	0.2102	0.0402	0.1528	0.5354	0.74	0.6231	0.3006	0.2799	0.5193	0.0962
0.10	0.0409	0.0687	0.0061	0.0107	0.1341	0.40	0.2934	0.2143	0.0450	0.1603	0.5497	0.75	0.6318	0.3017	0.2840	0.5318	0.1002
0.11	0.0470	0.0759	0.0073	0.0129	0.1476	0.41	0.3032	0.2181	0.0500	0.1682	0.5640	0.76	0.6404	0.3025	0.2888	0.5440	0.1049
0.12	0.0534	0.0831	0.0086	0.0151	0.1611	0.42	0.3132	0.2220	0.0550	0.1761	0.5784	0.77	0.6489	0.3032	0.2939	0.5559	0.1095
0.13	0.0600	0.0903	0.0100	0.0173	0.1746	0.43	0.3229	0.2257	0.0600	0.1844	0.5926	0.78	0.6573	0.3037	0.2990	0.5674	0.1140
0.14	0.0668	0.0975	0.0114	0.0197	0.1881	0.44	0.3328	0.2294	0.0650	0.1927	0.6070	0.79	0.6655	0.3039	0.3040	0.5788	0.1185
0.15	0.0739	0.0929	0.0129	0.0223	0.2017	0.45	0.3428	0.2331	0.0700	0.2011	0.6215	0.80	0.6736	0.3042	0.3091	0.5900	0.1229
0.16	0.0811	0.0996	0.0143	0.0250	0.2153	0.46	0.3527	0.2366	0.0750	0.2098	0.6360	0.81	0.6815	0.3044	0.3142	0.6010	0.1272
0.17	0.0885	0.1062	0.0158	0.0278	0.2289	0.47	0.3627	0.2400	0.0800	0.2186	0.6505	0.82	0.6893	0.3045	0.3193	0.6118	0.1315
0.18	0.0961	0.1097	0.0220	0.0309	0.2426	0.48	0.3727	0.2434	0.0850	0.2275	0.6650	0.83	0.6969	0.3046	0.3244	0.6224	0.1358
0.19	0.1039	0.1152	0.0237	0.0338	0.2562	0.49	0.3827	0.2467	0.0900	0.2366	0.6794	0.84	0.7043	0.3048	0.3295	0.6328	0.1400
0.20	0.1118	0.1208	0.0273	0.0369	0.2699	0.50	0.3927	0.2500	0.0950	0.2459	0.6939	0.85	0.7115	0.3049	0.3346	0.6430	0.1442
0.21	0.1199	0.1259	0.0301	0.0395	0.2836	0.51	0.4027	0.2531	0.1000	0.2553	0.7084	0.86	0.7186	0.3050	0.3397	0.6531	0.1484
0.22	0.1281	0.1312	0.0333	0.0423	0.2973	0.52	0.4127	0.2561	0.1050	0.2650	0.7228	0.87	0.7254	0.3051	0.3448	0.6631	0.1526
0.23	0.1365	0.1364	0.0369	0.0453	0.3111	0.53	0.4227	0.2591	0.1100	0.2748	0.7373	0.88	0.7321	0.3052	0.3499	0.6731	0.1568
0.24	0.1449	0.1416	0.0404	0.0484	0.3248	0.54	0.4327	0.2620	0.1150	0.2848	0.7517	0.89	0.7388	0.3053	0.3550	0.6830	0.1610
0.25	0.1535	0.1468	0.0442	0.0516	0.3387	0.55	0.4426	0.2649	0.1200	0.2949	0.7662	0.90	0.7454	0.3054	0.3601	0.6928	0.1652
0.26	0.1623	0.1516	0.0484	0.0550	0.3525	0.56	0.4526	0.2676	0.1250	0.3051	0.7807	0.91	0.7519	0.3055	0.3652	0.7025	0.1694
0.27	0.1711	0.1560	0.0497	0.0571	0.3663	0.57	0.4625	0.2703	0.1300	0.3158	0.7951	0.92	0.7583	0.3056	0.3703	0.7121	0.1736
0.28	0.1800	0.1614	0.0536	0.0595	0.3802	0.58	0.4723	0.2728	0.1350	0.3264	0.8093	0.93	0.7647	0.3057	0.3754	0.7216	0.1778
0.29	0.1890	0.1662	0.0571	0.0622	0.3942	0.59	0.4822	0.2753	0.1400	0.3373	0.8235	0.94	0.7710	0.3058	0.3805	0.7310	0.1820
0.30	0.1982	0.1709	0.0610	0.0651	0.4081	0.60	0.4920	0.2776	0.1450	0.3484	0.8377	0.95	0.7773	0.3059	0.3856	0.7403	0.1862
0.61	0.5018	0.2797	0.2146	0.3560	0.8672	0.62	0.5115	0.2818	0.2199	0.3710	0.8515	0.96	0.7836	0.3060	0.3907	0.7495	0.1904
0.62	0.5115	0.2818	0.2199	0.3600	0.8815	0.63	0.5212	0.2839	0.2252	0.3830	0.8653	0.98	0.7916	0.3061	0.3958	0.7588	0.1946
0.63	0.5212	0.2839	0.2252	0.3640	0.8953	0.64	0.5308	0.2860	0.2302	0.3945	0.8791	0.99	0.7981	0.3062	0.3965	0.7680	0.1988
0.64	0.5308	0.2860	0.2302	0.3680	0.9095	0.65	0.5404	0.2881	0.2358	0.4066	0.8933	1.00	0.8054	0.3063	0.4017	0.7772	0.2030

ANEXO 3



Cálculos del perímetro de la sección del Túnel Analco-San José basados en los dibujos arriba mostrados y en la tabla 2.5 del libro 1 de la bibliografía. (ANEXO 2)

y (m)	yCircular (m)	y/D	Rh/D	A (m ²)	Perímetro (m)	P - (P Circular/2) (m)	P Total (m)
2.00	2.35	0.510	0.2531	8.520	7.310	7.31-7.22=0.09	8.04+0.09=8.13
2.10	2.45	0.530	0.2591	8.940	7.500	7.5-7.22=0.28	8.04+0.28=8.32
2.20	2.55	0.550	0.2649	9.365	7.680	7.68-7.22=0.46	8.04+0.46=8.50
2.30	2.65	0.570	0.2703	9.786	7.870	7.87-7.22=0.65	8.04+0.65=8.69
2.40	2.75	0.600	0.2776	10.410	8.150	8.15-7.22=0.93	8.04+0.93=8.97
2.50	2.85	0.620	0.2818	10.820	8.340	8.34-7.22=1.127	8.04+1.127=9.16
2.60	2.95	0.640	0.2860	11.231	8.530	8.53-7.22=1.31	8.04+1.31=9.35
2.70	3.05	0.660	0.2899	11.630	8.720	8.72-7.22=1.5	8.04+1.5=9.54
2.80	3.15	0.680	0.2935	12.030	8.910	8.91-7.22=1.69	8.04+1.69=9.73
2.90	3.25	0.700	0.2962	12.420	9.110	9.11-7.22=1.895	8.04+1.895=9.93
3.00	3.35	0.730	0.2995	13.000	9.430	9.43-7.22=2.21	8.04+2.21=10.25
3.10	3.45	0.750	0.3017	13.370	9.630	9.63-7.22=2.41	8.04+2.41=10.45
3.20	3.55	0.770	0.3032	13.730	9.840	9.84-7.22=2.62	8.04+2.62=10.66
3.30	3.65	0.790	0.3040	14.090	10.070	10.07-7.22=3.31	8.04+2.86=10.89
3.40	3.75	0.810	0.3044	14.420	10.290	10.29-7.22=3.07	8.04+3.07=11.118
3.50	3.85	0.830	0.3046	14.740	10.530	10.53-7.22=3.31	8.04+3.31=11.35
3.60	3.95	0.860	0.3026	15.210	10.920	10.92-7.22=3.70	8.04+3.7=11.74
3.70	4.05	0.880	0.3008	15.490	11.190	11.19-7.22=3.97	8.04+3.97=12.01
3.80	4.15	0.900	0.2980	15.750	11.490	11.49-7.22=4.27	8.04+4.27=12.341
3.90	4.25	0.920	0.2944	16.000	11.810	11.81-7.22=4.60	8.04+4.6=12.63
4.00	4.35	0.940	0.2896	16.210	12.160	12.16-7.22=4.94	8.04+4.94=12.98
4.10	4.45	0.960	0.2830	16.400	12.590	12.59-7.22=5.37	8.04+5.37=13.41
4.20	4.55	0.990	0.2665	16.600	13.540	13.54-7.22=6.32	8.04+6.32=14.36
4.25	4.60	1.000	0.2500	16.620	14.450	14.45-7.22=7.23	8.04+7.23=15.27

ANEXO 4

Cálculos del área de la sección del Túnel Analco-San José basados en la tabla 2.5 del libro 1 de la bibliografía. (ANEXO 2)

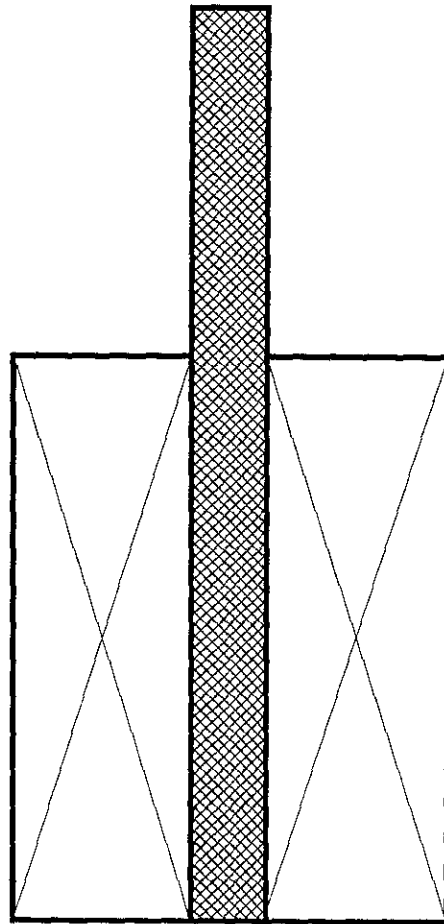
y (m)	y/D	A/D ²	A (m ²)
0.10	0.024	0.0053	0.0935
0.20	0.048	0.0147	0.2593
0.30	0.071	0.0268	0.4728
0.40	0.095	0.0409	0.7215
0.50	0.119	0.0567	1.0002
0.60	0.143	0.0739	1.3036
0.70	0.167	0.0923	1.6282
0.80	0.190	0.1118	1.9722
0.90	0.214	0.1231	2.1715
1.00	0.238	0.1535	2.7077
1.10	0.262	0.1755	3.0958
1.20	0.286	0.1982	3.4962
1.30	0.310	0.2074	3.6585
1.40	0.333	0.2288	4.0360
1.50	0.357	0.2517	4.4400
1.60	0.381	0.2748	4.8475
1.70	0.405	0.2983	5.2620
1.80	0.429	0.3219	5.6783
1.90	0.452	0.3448	6.0823
2.00	0.476	0.3687	6.5039
2.10	0.500	0.3927	6.9272
2.20	0.524	0.4167	7.3506
2.30	0.548	0.4406	7.7722
2.40	0.571	0.4635	8.1761
2.50	0.595	0.4872	8.5942
2.60	0.619	0.5105	9.0052
2.70	0.643	0.5337	9.4145
2.80	0.667	0.5566	9.8184
2.90	0.690	0.5780	10.1959
3.00	0.714	0.6000	10.5840
3.10	0.738	0.6213	10.9597
3.20	0.762	0.6421	11.3266
3.30	0.786	0.6622	11.6812
3.40	0.810	0.6815	12.0217
3.50	0.833	0.6991	12.3321
3.60	0.857	0.7165	12.6391
3.70	0.881	0.7326	12.9231
3.80	0.905	0.7475	13.1859
3.90	0.929	0.7607	13.4187
4.00	0.952	0.7715	13.6093
4.10	0.976	0.7804	13.7663
4.20	1.000	0.7854	13.8545

ANEXO 5

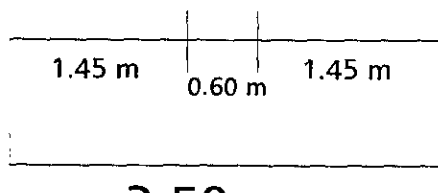
Cálculos del perímetro de la sección del Túnel Analco-San José basados en la tabla 2.5 del libro 1 de la bibliografía.(ANEXO 2)

y (m)	y/D	Rh/D	A (m ²)	P=A/(D*(Rh/D))
0.10	0.024	0.0158	0.093	1.409
0.20	0.048	0.0313	0.259	1.973
0.30	0.071	0.0457	0.473	2.463
0.40	0.095	0.0604	0.721	2.844
0.50	0.119	0.0701	1.000	3.397
0.60	0.143	0.0877	1.304	3.539
0.70	0.167	0.1025	1.628	3.782
0.80	0.190	0.1152	1.972	4.076
0.90	0.214	0.1231	2.171	4.200
1.00	0.238	0.1406	2.708	4.585
1.10	0.262	0.1526	3.096	4.830
1.20	0.286	0.1642	3.496	5.070
1.30	0.310	0.1710	3.659	5.094
1.40	0.333	0.1860	4.036	5.166
1.50	0.357	0.1965	4.440	5.380
1.60	0.381	0.2065	4.847	5.589
1.70	0.405	0.2162	5.262	5.795
1.80	0.429	0.2253	5.678	6.001
1.90	0.452	0.2338	6.082	6.194
2.00	0.476	0.2420	6.504	6.399
2.10	0.500	0.2500	6.927	6.597
2.20	0.524	0.2573	7.351	6.802
2.30	0.548	0.2643	7.772	7.002
2.40	0.571	0.2706	8.176	7.194
2.50	0.595	0.2764	8.594	7.403
2.60	0.619	0.2816	9.005	7.614
2.70	0.643	0.2866	9.414	7.821
2.80	0.667	0.2910	9.818	8.033
2.90	0.690	0.2950	10.196	8.229
3.00	0.714	0.2977	10.584	8.465
3.10	0.738	0.3004	10.960	8.687
3.20	0.762	0.3026	11.327	8.912
3.30	0.786	0.3035	11.681	9.164
3.40	0.810	0.3044	12.022	9.403
3.50	0.833	0.3040	12.332	9.659
3.60	0.857	0.3028	12.639	9.938
3.70	0.881	0.3006	12.923	10.236
3.80	0.905	0.2972	13.186	10.564
3.90	0.929	0.2922	13.419	10.934
4.00	0.952	0.2860	13.609	11.330
4.10	0.976	0.2755	13.766	11.897
4.20	1.000	0.2500	13.854	13.195

Compuertas Ramal Norte



4.60 m



1.45 m

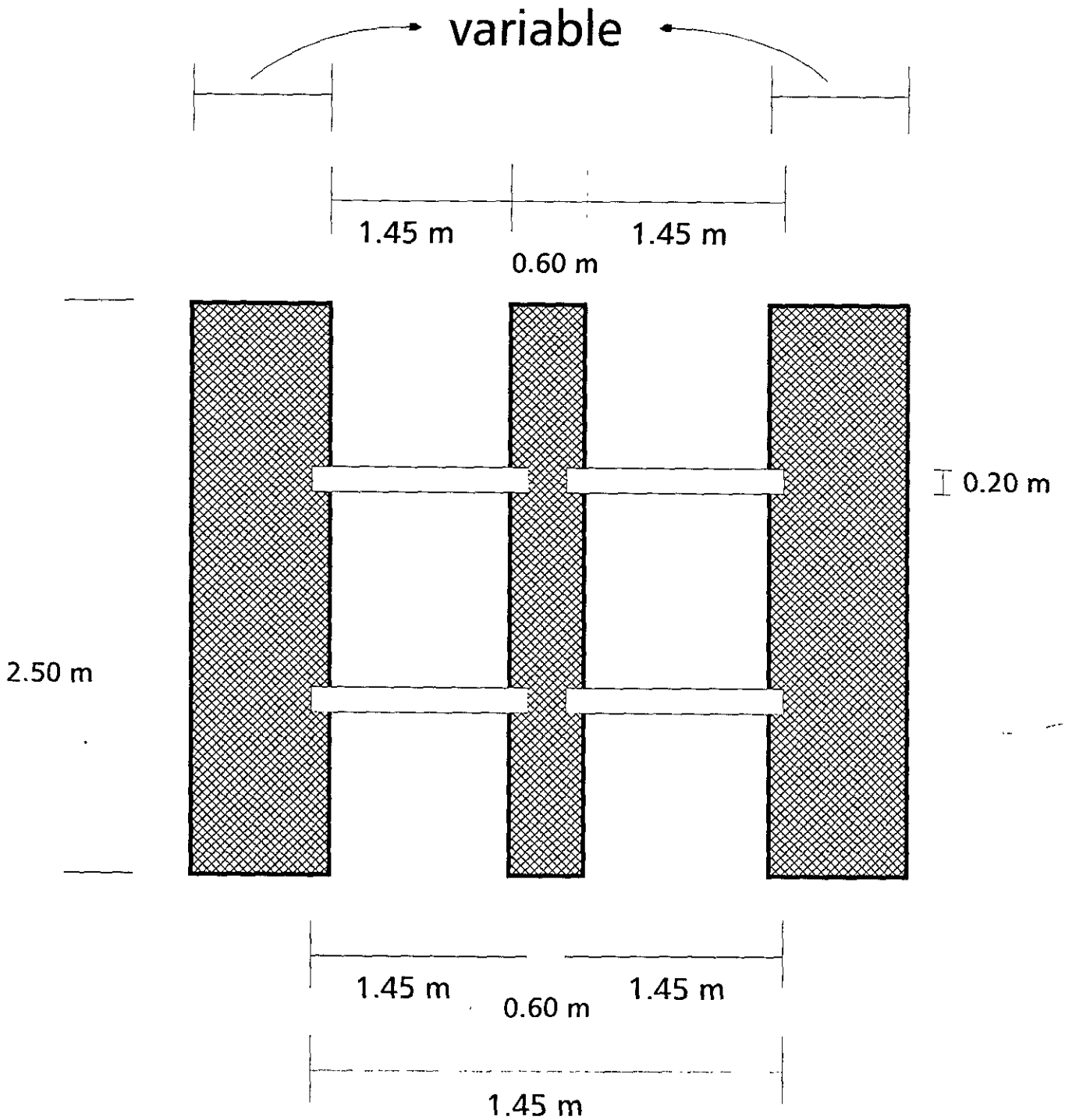
0.60 m

1.45 m

3.50 m

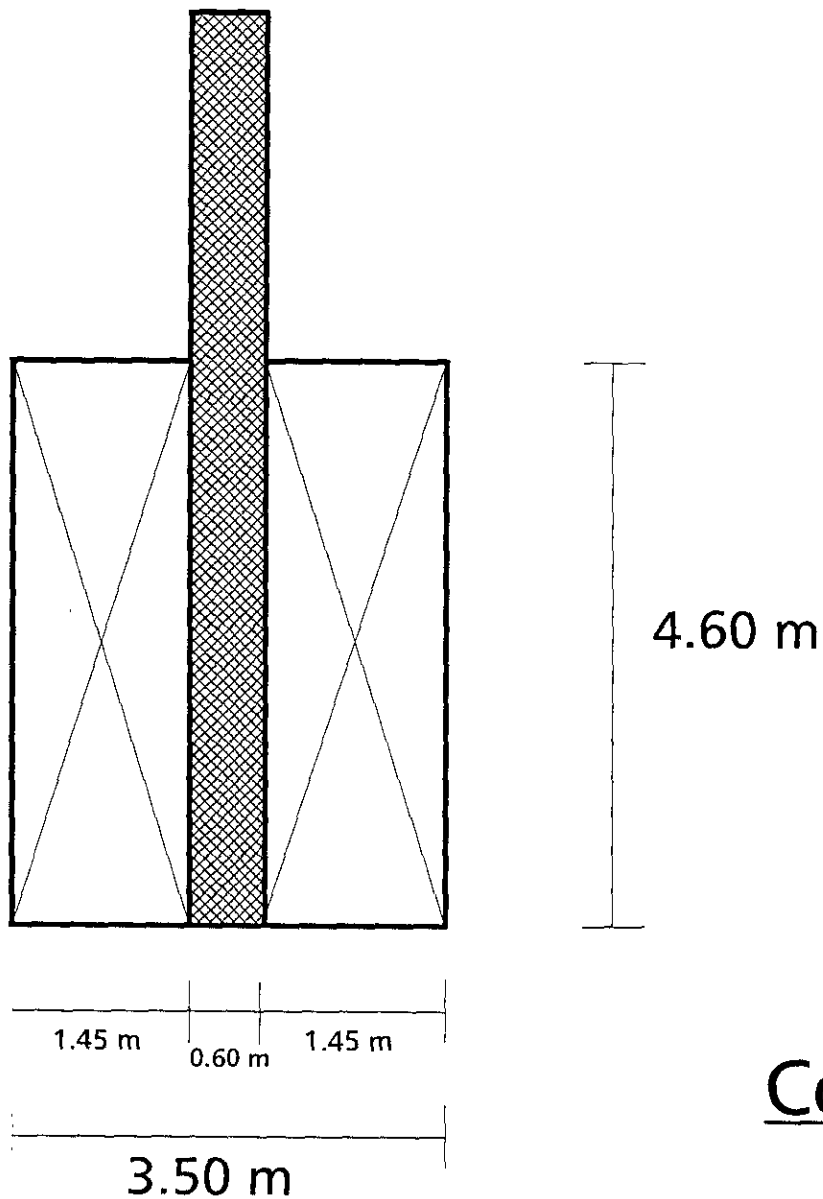
Corte

Compuertas Ramal Norte



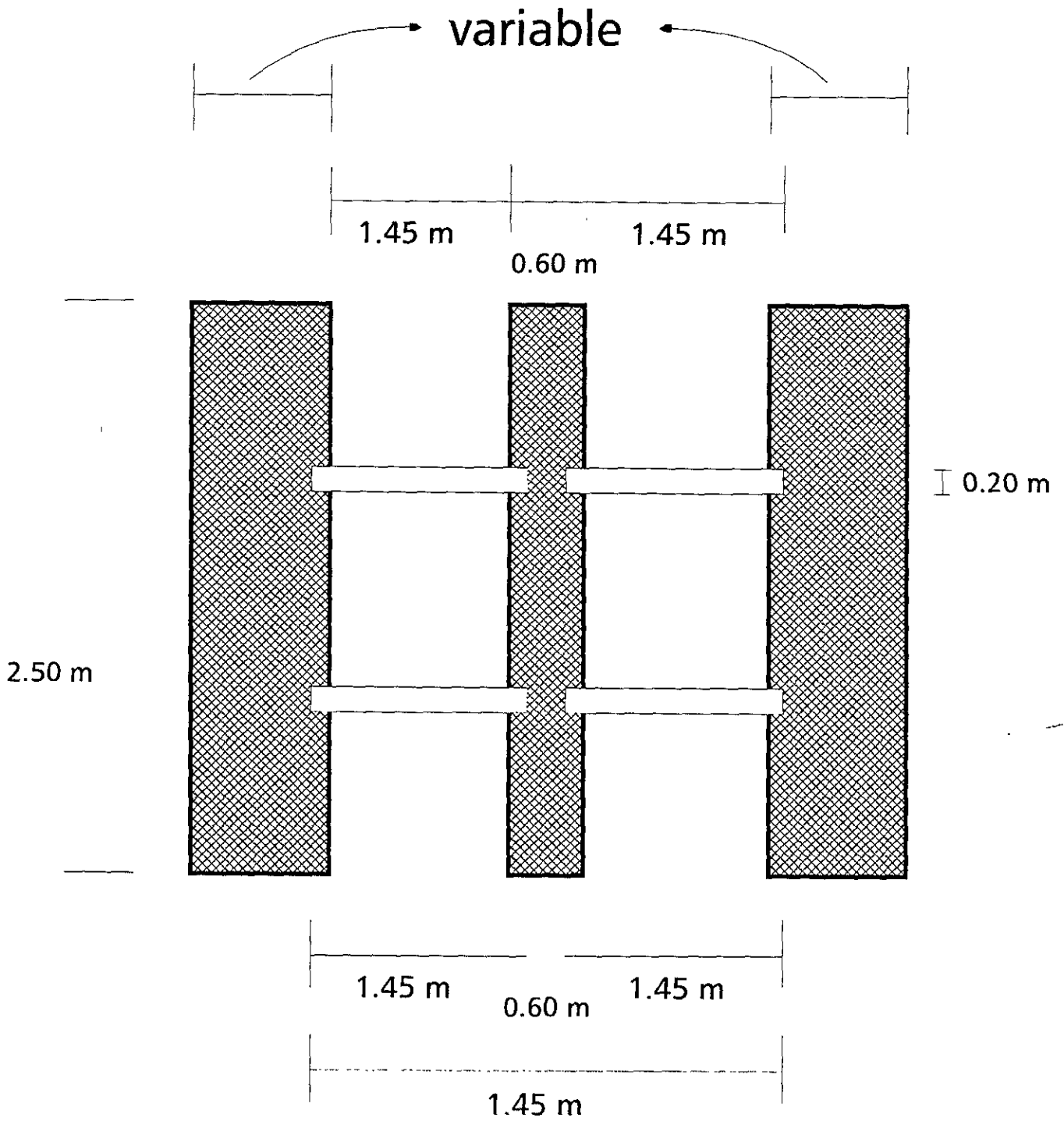
Planta

Compuertas Ramal Sur



Corte

Compuertas Ramal Sur

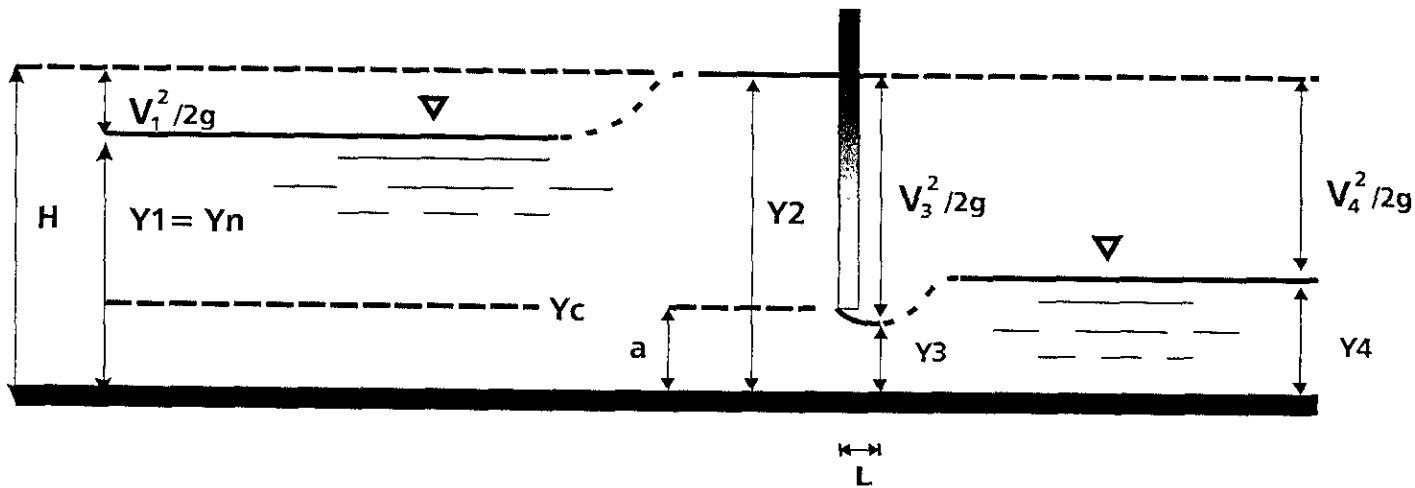


Planta

ANEXO 8				
CONDICIONES EN LA LUMBRERA 3 DEL TUNEL ANALCO-SAN JOSÉ				
A R E A S (m ²)				
y (m)	1 Compuerta	2 Compuertas	3 Compuertas	4 Compuertas
0.1	0.145	0.290	0.435	0.580
0.2	0.290	0.580	0.870	1.160
0.3	0.435	0.870	1.305	1.740
0.4	0.580	1.160	1.740	2.320
0.5	0.725	1.450	2.175	2.900
0.6	0.870	1.740	2.610	3.480
0.7	1.015	2.030	3.045	4.060
0.8	1.160	2.320	3.480	4.640
0.9	1.305	2.610	3.915	5.220
1.0	1.450	2.900	4.350	5.800
1.1	1.595	3.190	4.785	6.380
1.2	1.740	3.480	5.220	6.960
1.3	1.885	3.770	5.655	7.540
1.4	2.030	4.060	6.090	8.120
1.5	2.175	4.350	6.525	8.700
1.6	2.320	4.640	6.960	9.280
1.7	2.465	4.930	7.395	9.860
1.8	2.610	5.220	7.830	10.440
1.9	2.755	5.510	8.265	11.020
2.0	2.900	5.800	8.700	11.600
2.1	3.045	6.090	9.135	12.180
2.2	3.190	6.380	9.570	12.760
2.3	3.335	6.670	10.005	13.340
2.4	3.480	6.960	10.440	13.920
2.5	3.625	7.250	10.875	14.500
2.6	3.770	7.540	11.310	15.080
2.7	3.915	7.830	11.745	15.660
2.8	4.060	8.120	12.180	16.240
2.9	4.205	8.410	12.615	16.820
3.0	4.350	8.700	13.050	17.400
3.1	4.495	8.990	13.485	17.980
3.2	4.640	9.280	13.920	18.560
3.3	4.785	9.570	14.355	19.140
3.4	4.930	9.860	14.790	19.720
3.5	5.075	10.150	15.225	20.300
3.6	5.220	10.440	15.660	20.880
3.7	5.365	10.730	16.095	21.460
3.8	5.510	11.020	16.530	22.040
3.9	5.655	11.310	16.965	22.620
4.0	5.800	11.600	17.400	23.200
4.1	5.945	11.890	17.835	23.780
4.2	6.090	12.180	18.270	24.360
4.3	6.235	12.470	18.705	24.940
4.4	6.380	12.760	19.140	25.520
4.5	6.525	13.050	19.575	26.100
4.6	6.670	13.340	20.010	26.680

GASTOS (m³/s)

REVISION	Q	Q	Q	Q
	Analco-San José	Ramal Norte	Ramal Sur	1 COMPUERTA
1	4.0	2.0	2.0	1.00
2	10.0	5.0	5.0	2.50
3	19.0	9.5	9.5	4.75
4	24.0	12.0	12.0	6.00
5	30.0	15.0	15.0	7.50
6	34.0	17.0	17.0	8.50



ANEXO 10

TÚNEL ANALCO-SAN JOSÉ, SECCIÓN PORTAL. ANÁLISIS LUMBRERA 3

1a. REVISIÓN $Q=4\text{m}^3/\text{s}$

Q Compuerta= $1\text{m}^3/\text{s}$

$y_1=y_n=0.625\text{ m}$

$V_1^2/2g=0.1128$

$y_2=0.737\text{ m}$

$V_2^2/2g=0$

$y_2+V_2^2/2g=y_3+V_3^2/2g$

$0.737=C_c*a+ V_3^2/2g$

$0.737=0.62*0.35+ (1/0.3146)^2/19.62$

$0.737=0.734$

$y_3=0.217\text{ m}$

$V_3^2/2g=0.517$

$a=0.35$

$H=y_2=0.737$

$y_3=0.217\text{ m}$

$V_2=0\text{ m/s}$

$V_3=3.17\text{ m/s}$

$V_2^2/2g=0$

$V_3^2/2g=0.517$

$y_2/a > 1.35$ NO HAY DESPEGUE DE CHORRO

$L=a/C_c$

$L=0.56\text{ m}$

* $C_c=0.62$ Ref.3

2a. REVISIÓN $Q=10 \text{ m}^3/\text{s}$

$Q \text{ Compuerta} = 1 \text{ m}^3/\text{s}$

$y_1 = y_n = 1.125 \text{ m}$

$V_1^2/2g = 0.204$

$y_2 = 1.329 \text{ m}$

$V_2^2/2g = 0$

$y_2 + V_2^2/2g = y_3 + V_3^2/2g$

$1.329 = C_c \cdot a + V_3^2/2g$

$1.329 = 0.62 \cdot 0.65 + (2.5/0.584)^2/19.62$

$1.329 = 1.330$

$y_3 = 0.403 \text{ m}$

$V_3^2/2g = 0.934$

$a = 0.65$

$H = y_2 = 1.329$

$y_3 = 0.403 \text{ m}$

$V_2 = 0 \text{ m/s}$

$V_3 = 4.28 \text{ m/s}$

$V_2^2/2g = 0$

$V_3^2/2g = 0.934$

$y_2/a > 1.35$ NO HAY DESPEGUE DE CHORRO

$L = a/C_c$

$L = 1.048 \text{ m}$

3a. REVISIÓN Q= 19 m³/s

$$Q \text{ Compuerta} = 4.75 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$y_1 = y_n = 1.76 \text{ m}$$

$$V_1^2/2g = 0.295$$

$$y_2 = 2.055$$

$$V_2^2/2g = 0$$

$$y_2 + V_2^2/2g = y_3 + V_3^2/2g$$

$$2.055 = C_c \cdot a + V_3^2/2g$$

$$2.055 = 0.62 \cdot 0.98 + (4.75/0.881)^2/19.62$$

$$2.055 = 2.06$$

$$y_3 = 0.613 \text{ m}$$

$$V_3^2/2g = 1.451$$

$$a = 0.99$$

$$H = y_2 = 2.055$$

$$y_3 = 0.613 \text{ m}$$

$$V_2 = 0 \text{ m/s}$$

$$V_3 = 5.33 \text{ m/s}$$

$$V_2^2/2g = 0$$

$$V_3^2/2g = 1.451$$

$$y_2/a > 1.35 \text{ NO HAY DESPEGUE DE CHORRO}$$

$$L = a/C_c$$

$$L = 1.596 \text{ m}$$

4a. REVISIÓN Q= 24 m³/s

$$Q \text{ Compuerta} = 6.0 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$y_1 = y_n = 2.03 \text{ m}$$

$$V_1^2/2g = 0.337$$

$$y_2 = 2.367 \text{ m}$$

$$V_2^2/2g = 0$$

$$y_2 + V_2^2/2g = y_3 + V_3^2/2g$$

$$2.367 = C_c \cdot a + V_3^2/2g$$

$$2.367 = 0.62 \cdot 1.18 + (6.0/1.061)^2/19.62$$

$$2.367 = 2.362$$

$$y_3 = 0.731 \text{ m}$$

$$V_3^2/2g = 1.63$$

$$a = 1.18$$

$$H = y_2 = 2.367$$

$$y_3 = 0.731 \text{ m}$$

$$V_2 = 0 \text{ m/s}$$

$$V_3 = 5.65 \text{ m/s}$$

$$V_2^2/2g = 0$$

$$V_3^2/2g = 1.63$$

$$y_2/a > 1.35 \text{ NO HAY DESPEGUE DE CHORRO}$$

$$L = a/C_c$$

$$L = 1.903 \text{ m}$$

5a. REVISIÓN Q= 30 m³/s

$$Q \text{ Compuerta} = 7.5 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$y_1 = y_n = 2.40 \text{ m}$$

$$V_1^2/2g = 0.376$$

$$y_2 = 2.776 \text{ m}$$

$$V_2^2/2g = 0$$

$$y_2 + V_2^2/2g = y_3 + V_3^2/2g$$

$$2.776 = C_c \cdot a + V_3^2/2g$$

$$2.776 = 0.62 \cdot 1.35 + (7.5.0/1.213)^2/19.62$$

$$2.776 = 2.780$$

$$y_3 = 0.837 \text{ m}$$

$$V_3^2/2g = 1.948$$

$$a = 1.35$$

$$H = y_2 = 2.776$$

$$y_3 = 0.837 \text{ m}$$

$$V_2 = 0 \text{ m/s}$$

$$V_3 = 6.18 \text{ m/s}$$

$$V_2^2/2g = 0$$

$$V_3^2/2g = 1.948$$

$$y_2/a > 1.35 \text{ NO HAY DESPEGUE DE CHORRO}$$

$$L = a/C_c$$

$$L = 2.17 \text{ m}$$

6a. REVISIÓN Q= 34 m³/s

$$Q \text{ Compuerta} = 8.5 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$y_1 = y_n = 2.86 \text{ m}$$

$$V_1^2/2g = 0.396$$

$$y_2 = 3.056 \text{ m}$$

$$V_2^2/2g = 0$$

$$y_2 + V_2^2/2g = y_3 + V_3^2/2g$$

$$3.056 = C_c \cdot a + V_3^2/2g$$

$$3.056 = 0.62 \cdot 1.49 + (8.5.0/1.339)^2/19.62$$

$$3.056 = 2.98$$

$$y_3 = 0.924 \text{ m}$$

$$V_3^2/2g = 2.053$$

$$a = 1.49$$

$$H = y_2 = 3.056$$

$$y_3 = 0.924 \text{ m}$$

$$V_2 = 0 \text{ m/s}$$

$$V_3 = 6.34 \text{ m/s}$$

$$V_2^2/2g = 0$$

$$V_3^2/2g = 2.053$$

$$y_2/a > 1.35 \text{ NO HAY DESPEGUE DE CHORRO}$$

$$L = a/C_c$$

$$L = 2.403 \text{ m}$$

ANEXO 11

TÚNEL ANALCO-SAN JOSÉ, SECCIÓN CIRCULAR. ANÁLISIS LUMBRERA 3

1a. REVISIÓN $Q = 4 \text{ m}^3/\text{s}$

$$Q \text{ Compuerta} = 1 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$y_1 = y_n = 0.980 \text{ m}$$

$$V_1^2/2g = 0.136$$

$$y_2 = 1.116 \text{ m}$$

$$V_2^2/2g = 0$$

$$y_2 + V_2^2/2g = y_3 + V_3^2/2g$$

$$1.116 = C_c \cdot a + V_3^2/2g$$

$$1.116 = 0.62 \cdot 0.25 + (1/0.224)^2/19.62$$

$$1.116 = 1.17$$

$$y_3 = 0.148 \text{ m}$$

$$V_3^2/2g = 1.016$$

$$a = 0.25$$

$$H = y_2 = 1.116$$

$$y_3 = 0.155 \text{ m}$$

$$V_2 = 0 \text{ m/s}$$

$$V_3 = 4.46 \text{ m/s}$$

$$V_2^2/2g = 0$$

$$V_3^2/2g = 1.016$$

$$y_2/a > 1.35 \text{ NO HAY DESPEGUE DE CHORRO}$$

$$L = a/C_c$$

$$L = 0.403 \text{ m}$$

2a. REVISIÓN Q= 10 m³/s

$$Q \text{ Compuerta} = 2.5 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$y_1 = y_n = 1.58 \text{ m}$$

$$V_1^2/2g = 0.230$$

$$y_2 = 1.81 \text{ m}$$

$$V_2^2/2g = 0$$

$$y_2 + V_2^2/2g = y_3 + V_3^2/2g$$

$$1.81 = C_c \cdot a + V_3^2/2g$$

$$1.81 = 0.62 \cdot 0.50 + (2.5/0.45)^2/19.62$$

$$1.81 = 1.88$$

$$y_3 = 0.310 \text{ m}$$

$$V_3^2/2g = 1.57$$

$$a = 0.50$$

$$H = y_2 = 1.81$$

$$y_3 = 0.310 \text{ m}$$

$$V_2 = 0 \text{ m/s}$$

$$V_3 = 5.55 \text{ m/s}$$

$$V_2^2/2g = 0$$

$$V_3^2/2g = 1.57$$

$$y_2/a > 1.35 \text{ NO HAY DESPEGUE DE CHORRO}$$

$$L = a/C_c$$

$$L = 0.806 \text{ m}$$

3a. REVISIÓN Q= 19 m³/s

$$Q \text{ Compuerta} = 4.75 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$y_1 = y_n = 2.26 \text{ m}$$

$$V_1^2/2g = 0.319$$

$$y_2 = 2.579$$

$$V_2^2/2g = 0$$

$$y_2 + V_2^2/2g = y_3 + V_3^2/2g$$

$$2.579 = C_c \cdot a + V_3^2/2g$$

$$2.579 = 0.62 \cdot 0.85 + (4.75/0.764)^2/19.62$$

$$2.579 = 2.53$$

$$y_3 = 0.53 \text{ m}$$

$$V_3^2/2g = 2.0$$

$$a = 0.85$$

$$H = y_2 = 2.579$$

$$y_3 = 0.527 \text{ m}$$

$$V_2 = 0 \text{ m/s}$$

$$V_3 = 6.21 \text{ m/s}$$

$$V_2^2/2g = 0$$

$$V_3^2/2g = 1.970$$

$$y_2/a > 1.35 \text{ NO HAY DESPEGUE DE CHORRO}$$

$$L = a/C_c$$

$$L = 1.370 \text{ m}$$

4a. REVISIÓN Q= 24 m³/s

$$Q \text{ Compuerta} = 6.0 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$y_1 = y_n = 2.65 \text{ m}$$

$$V_1^2/2g = 0.357$$

$$y_2 = 3.007 \text{ m}$$

$$V_2^2/2g = 0$$

$$y_2 + V_2^2/2g = y_3 + V_3^2/2g$$

$$3.007 = C_c \cdot a + V_3^2/2g$$

$$3.007 = 0.62 \cdot 0.97 + (6.0/0.872)^2/19.62$$

$$3.007 = 3.01$$

$$y_3 = 0.601 \text{ m}$$

$$V_3^2/2g = 2.412$$

$$a = 0.97$$

$$H = y_2 = 3.007$$

$$y_3 = 0.601 \text{ m}$$

$$V_2 = 0 \text{ m/s}$$

$$V_3 = 6.88 \text{ m/s}$$

$$V_2^2/2g = 0$$

$$V_3^2/2g = 2.412$$

$$y_2/a > 1.35 \text{ NO HAY DESPEGUE DE CHORRO}$$

$$L = a/C_c$$

$$L = 1.560 \text{ m}$$

BIBLIOGRAFÍA

- 1.- Sotelo, A.G., Hidráulica II, Facultad de Ingeniería, México, 1993
- 2.- CNA, Sistema Cutzamala, Agua potable para millones de mexicanos. México, 1994
- 3.- CNA, Agua y Sociedad, México, 1993
- 4.- Nava Mastache, Arturo, Apuntes de la clase de Obras Hidráulicas, Facultad de Ingeniería de la UNAM, México, 1997
- 5.- Gutierrez Reynoso, Javier, Apuntes de la clase de Captaciones y Conducciones, Facultad de Ingeniería de la UNAM, México, 1997
- 6.- Sotelo A. Gilberto, Hidráulica General Vol.1, Edit. Limusa, México, 1998
- 7.- SARH, Boletín Hidrológico No.49, Región Hidrológica 18, Tomo IV, México 1980
- 8.- Revista de Ingeniería Civil, Colegio de Ingenieros Civiles de México, Febrero, 1994

REFERENCIAS

- 1.- Entrevista con el Ing. José Alfredo López (Residente en la construcción del Túnel Analco-San José)
- 2.- Carmona Paredes Rafael, Aguilar Moreno Lazaro, Transitorios hidráulicos a presión, Instituto de Ingeniería de la UNAM, pag. 31, México, 1987
- 3.- Sotelo A. Gilberto, Hidráulica General Vol.1, Edit. Limusa, pag.217, México, 1998
- 4.- Lavin H. Enrique, Conferencia "Construcción del Túnel 5 del Acuaférico (Ramal-Sur)" con Topo, Facultad de Ingeniería, Abril 1999.