

122



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROYECTO DE LA REHABILITACIÓN DEL  
ACUEDUCTO EL ENCANTO EN MARTÍNEZ  
DE LA TORRE, VERACRUZ**

**TESIS QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
I N G E N I E R O C I V I L**

**P R E S E N T A:  
RICARDO RAMÓN RODRÍGUEZ CRUZ**

200009

**DIRECTOR DE TESIS:  
M. I. FRANCISCO ECHAVARRÍA ALFARO**



MÉXICO, D.F.

2001



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA  
DIRECCION  
FING/DCTG/SEAC/UTIT/030/00

Señor  
**RICARDO RAMON RODRIGUEZ CRUZ**  
Presente

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

**"PROYECTO DE LA REHABILITACION DEL ACUEDUCTO EL ENCANTO  
EN MARTINEZ DE LA TORRE, VERACRUZ"**

- INTRODUCCION**
- I. OBJETIVO**
  - II. EMERGENCIA 1999**
  - III. TRABAJOS DE CAMPO**
  - IV. DISEÑO HIDRAULICO**
  - V. PROYECTO**
  - VI. PROGRAMA DE CONSTRUCCION Y ANTEPRESUPUESTO**
  - VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

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 3 de mayo de 2000.  
EL DIRECTOR

  
M.C. GERARDO FERRANDO BRAVO  
GFB/GMB/mstg.

## AGRADECIMIENTOS

AL INGENIERO FRANCISCO ECHAVARRIA ALFARO

POR DIRIGIR MI ESFUERZO EN ESTE TRABAJO, EN ESTA ETAPA DE MI VIDA PROFESIONAL Y POR BRINDARME LA CONFIANZA DE PERTENECER A SU EQUIPO DE TRABAJO.

AL INGENIERO JESUS GRANADOS SILVESTRE

POR GUIAR MI DESEMPEÑO HACIA EL ÉXITO PROFESIONAL, TANTO EN LOS TRABAJOS DE ESTE PROYECTO CUANDO SE REALIZÓ, COMO EN TODOS LOS QUE HEMOS COMPARTIDO PARTICIPACIÓN.

A LOS INGENIEROS FERNANDO ESCAMILLA RAMÍREZ,  
CARLOS FRANCO DOMÍNGUEZ Y OSCAR FRANCO DOMÍNGUEZ

POR SU APOYO, TIEMPO Y DISPOSICIÓN AL COLABORAR CONMIGO INCONDICIONALMENTE EN LA REALIZACIÓN DE ESTE TRABAJO.

## DEDICATORIAS

A MI ESPOSA

PORQUE CON TU APOYO, PERO SOBRE TODO CON TU AMOR  
HE ALCANZADO LOGROS QUE DE OTRA FORMA NO SE SI  
LLEGARÍAN. TE AMO.

A MI MADRE

PORQUE DE TI Y SOBRE TODO DE TU EJEMPLO HE APRENDIDO  
LOS PRINCIPIOS Y VALORES MÁS IMPORTANTES DE LA VIDA. GRACIAS.

A STEPHANIE, JESSICA, LAURA Y JORGE

POR EL CARIÑO QUE NOS UNE Y EL LUGAR QUE SABEN, TIENEN  
EN MI CORAZÓN.

A ELBA DE LA TORRE, MA. DE LOURDES AGUIRRE Y JUAN MANUEL DE LA TORRE

POR SU APOYO, CARIÑO Y CONFIANZA INCONDICIONALES.

AL INGENIERO RAFAEL ECHAVARRÍA ALFARO

POR EL GRAN AFECTO Y RESPETO QUE ME MERECE POR SER UN GRAN  
EJEMPLO COMO INGENIERO, PERO SOBRE TODO EN SU CALIDAD HUMANA.

# Í N D I C E

INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVO	2
I. EMERGENCIA 1999	3
II. TRABAJOS DE CAMPO	11
II.1 Reconocimiento	11
II.2 Topografía	12
II.3 Mecánica de suelos	13
II.4 Caracterización del agua	16
II.5 Aforos	17
III. DISEÑO HIDRÁULICO	22
III.1 Funcionamiento en condiciones normales	24
III.2 Funcionamiento en condiciones transitorias	26
IV. PROYECTO	35
IV.1 Captación	35
IV.2 Planta de bombeo	38
IV.3 Línea de presión	41
IV.4 Torre de oscilación	45
IV.5 Conducción por gravedad	47
IV.6 Caja rompedora de presión	49
V. PROGRAMA DE CONSTRUCCIÓN Y ANTEPRESUPUESTO	51
VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	53

# ÍNDICE DE TABLAS

TABLA	CONTENIDO
1.1	Ciclones Tropicales en el Atlántico Durante 1999
1.2	Boletines y Avisos por Ciclón en la Temporada de 1999
1.3	Clasificación de las Ondas Tropicales por su Intensidad de Lluvia en México Durante 1999
1.4	Resumen de las Ondas Tropicales Durante la Temporada de Lluvias de 1999
2.3.1	Ventajas y Desventajas para el proceso Constructivo de un Cárcamo de Bombeo
2.4.1	Resultados del Análisis físico-químico
2.4.2	Resultados del Análisis Microbiológico
3.1.1	Conducción del Manantial "El Encanto" a Martínez De la Torre, Veracruz (De acuerdo con las condiciones reales de operación)
3.1.2	Conducción del Manantial "El Encanto" a Martínez De la Torre (De acuerdo con la capacidad de la conducción)
4.3.1	Rugosidad Absoluta en Tubos Comerciales
4.3.2	Funcionamiento Hidráulico (Tramo Captación-Torre de Oscilación)
4.5.1	Funcionamiento Hidráulico (Tramo Torre de Oscilación-Conexión)
5.1	Programa de Obra para la Rehabilitación de la Captación y Conducción del Acueducto "El Encanto" en Martínez De la Torre, Veracruz.
5.2	Catálogo General
5.3	Catálogo de Conceptos del Cárcamo en la Planta de Bombeo
5.4	Catálogo de Conceptos del Tanque de Oscilación
5.5	Catálogo de Conceptos de la Caja Rompedora de Presión
5.6	Catálogo de Conceptos de la Línea de Conducción

# ÍNDICE DE GRÁFICAS

GRÁFICA	CONTENIDO
3.1	Funcionamiento Hidráulico con la Operación de los Equipos de Bombeo
3.2	Funcionamiento Hidráulico con la Operación las Condiciones Máximas
3.2.3	Análisis del Transitorio sin Dispositivo de Alivio
3.2.4	Análisis del Transitorio con Válvula de Alivio
3.2.5	Análisis del Transitorio con Cámara de Aire
3.2.6	Análisis del Transitorio con Tanque de Oscilación y Válvula de Alivio
3.2.7	Evolución de la Carga en la Planta de Bombeo
3.2.8	Evolución de la Carga en la Torre de Oscilación
4.3.1	Funcionamiento Hidráulico en el Tramo a Bombeo
4.5.1	Funcionamiento Hidráulico en el Tramo Torre de Oscilación-Caja Rompedora



# ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	CONTENIDO
1.1	Trayectoria de la Depresión Tropical No. 11
2.1	Cruce Topográfico
4.1.1	Caja de Captación 1
4.1.2	Caja de Captación 2
4.1.3	Caja de Captación 3
4.2.1	Plano Funcional de la Planta de Bombeo
4.3.1	Esquema Conducto Simple
4.3.2	Plano del Perfil de la Conducción
4.4.1	Tipos de Cámaras de Oscilación

## INTRODUCCIÓN

Martínez de la Torre es un municipio ubicado al noroeste del estado de Veracruz, abarca una superficie de 746 km<sup>2</sup>, colinda al noroeste con el estado de Puebla, al noreste con el municipio de Nautla, al sureste con el municipio de Misantla y al suroeste con el municipio de Tlapacoyan. De acuerdo con los indicadores de población y vivienda, cuenta actualmente con 118,815 habitantes representando el 1.72% de la población total del estado. Su agricultura se centra en la producción de maíz, frijol, azúcar, plátano y naranja, y su ganadería, en el ganado vacuno, lanar y porcino. Martínez de la Torre, comercialmente funciona como un punto muy importante de concentración y distribución de un gran volumen de la producción agrícola y ganadera del estado.

La cabecera municipal de Martínez de la Torre, del mismo nombre, se abastecía de agua potable hasta el mes de Octubre de 1999 por medio de una línea de conducción a gravedad de asbesto-cemento, constituida por diámetros de 10" y 12", misma que cruzaba el cauce del río Filobobos en tres puntos de manera subterránea y un cruce en forma aérea siendo alimentada por el manantial "El Encanto" situado aproximadamente a 16 km. de la localidad. Las torrenciales lluvias que azotaron a nuestro país en dicho mes, ocasionaron el desbordamiento del río Filobobos aumentando el cauce original y cortando desastrosamente los cruces con el río.

En esta tesis se presenta el proyecto que dio respuesta a la emergencia con el cual se reanudó el suministro de agua potable. En el capítulo uno se mencionan las características de fenómenos como el acontecido, así como datos registrados de afectaciones en diferentes puntos del país. En el segundo capítulo se reseñan los trabajos de campo, los recorridos iniciales para evaluar los daños a la línea de conducción y los daños a la zona del manantial. El capítulo tres expone el diseño hidráulico de la línea de conducción, así como el funcionamiento de las estructuras que fue necesario proyectar. En el capítulo cuatro se presenta de manera más detallada las diversas estructuras que se proyectaron: una planta de bombeo, una línea de conducción a presión, una torre de oscilación, un tramo de conducción a gravedad, una caja rompedora de presión y la continuación de la conducción a gravedad hasta llegar a la conexión con un tramo de tubería (no dañado) que comunica con la red de distribución del municipio. En el capítulo cinco se describe el programa de construcción propuesto y de manera general, partes del antepresupuesto elaborado para el proyecto. Finalmente en el capítulo seis se da una serie de conclusiones y recomendaciones derivadas del presente trabajo.

Cabe mencionar que con este proyecto además de dar solución a los daños ocasionados, se disminuye considerablemente el riesgo de que en un futuro, otra condición extraordinaria de escurrimiento interrumpa nuevamente el abasto de agua por las grandes diferencias del proyecto con la conducción original, también se puede decir que desde su inicio de operaciones, este proyecto ha funcionado satisfactoriamente, tal y como se tuvo contemplado.

## **OBJETIVO**

El principal objetivo de este trabajo, es el de dar una serie de pautas a quienes se enfrentan al hecho de auxiliar en condiciones extraordinarias o de emergencia, a una población, ciudad, municipio o localidad desde el punto de vista ingenieril, debido a las dificultades que se presentan al trabajar en un proyecto al momento en que éste se empieza a construir por la urgencia de que se restablezca un servicio esencial (como es el caso del suministro de agua potable), siendo considerable la diferencia al trabajar en un proyecto que sigue un proceso relativamente normal, que surge a partir del análisis de cierta problemática, habiendo oportunidad de estudiar una serie de alternativas de solución; y en el que se pueden llevar a cabo las diferentes etapas de la planeación y la construcción, que es como lo aprendemos en la formación académica profesional.

## I. EMERGENCIA 1999

El presente capítulo trata de una presentación general del origen y consecuencias más importantes que dejaron como saldo las intensas lluvias del mes de octubre de 1999 en nuestro país, exponiendo las causas de dicho fenómeno desde el punto de vista climatológico e hidrológico; y por otro lado, citando una serie de graves afectaciones en diferentes puntos del país.

### El Clima

En la situación intertropical de la mitad sur del país, el trópico de cáncer atraviesa la República Mexicana por el centro, su proximidad a una y otra de las dos mayores masas de agua del planeta, los Océanos Pacífico y Atlántico, condicionan poderosamente los climas de México. Así, entre junio y noviembre predominan corrientes aéreas atlánticas, mientras que durante el resto del año son las corrientes occidentales y septentrionales las que, con sus lloviznas, olas de frío y vientos del norte, se adueñan de la mayor parte del territorio.

### Resumen de la Temporada en el Atlántico Durante 1999.

Durante la temporada de 1999 en la cuenca oceánica del Atlántico se registró una actividad arriba de la normal con dieciséis ciclones tropicales, de los cuales, doce alcanzaron la designación con nombre. En suma, ocho ciclones se convirtieron en huracanes, cuatro llegaron a tormenta tropical y cuatro a depresión tropical.

Comparativamente, la temporada 1999 fue muy por arriba de la cifra media del promedio a largo plazo de 1966 a 1999, que fue de nueve ciclones tropicales con nombre. Cinco de los ocho huracanes fueron intensos, todos de categoría IV en la escala de Saffir-Simpson. Esta es la cifra más alta de huracanes de categoría IV en una temporada desde los registros a partir de 1886. La actividad total de los últimos cinco años, de 1995 a 1999 de 41 huracanes, de los cuales 20 fueron intensos no tiene precedentes en el registro histórico.

En México, la actividad fue significativamente más activa de lo usual, con cinco ciclones tropicales con afectación directa en el litoral del golfo de México, oriente de la mesa central y península de Yucatán. Las depresiones tropicales 2, 7 y 11, así como la tormenta tropical "Katrina" y el huracán "Bret" impactaron en el territorio nacional. En la región del norte, Centroamérica y el mar Caribe, la actividad también fue particularmente intensa, siendo los Estados Unidos afectado por los huracanes "Bret", "Floyd" e "Irene", así como por las tormentas tropicales "Harvey" y "Dennis". Cuba fue afectada por la tormenta tropical "Irene", Nicaragua por la tormenta tropical "Katrina", las Bahamas por "Dennis" y "Floyd" y las Antillas menores por el huracán "Lenny".

En el territorio nacional, en primer lugar, afectó la depresión No. 2, la cual tocó tierra el día 3 de julio a 20 km. al Sur de Tuxpan, Ver., después afectó el huracán "Bret", ciclón que tocó tierra en las costas del estado de Texas, EUA. y posteriormente, ya como depresión tropical, entró a territorio de México por el estado de Coahuila, afectando el Norte del país. El 6 de septiembre entró a tierra la depresión tropical No. 7, aproximadamente a 65 km. al Oriente de Ciudad Victoria, Tamps., después de su entrada a tierra, esta depresión prosiguió su trayectoria hacia el Noroeste hasta llegar a los límites entre Tamaulipas y Nuevo León, donde empezó a disiparse. En los primeros días de octubre se generó frente a las costas del Sur de Veracruz la depresión

tropical No. 11, la cual, aún sin entrar a tierra, favoreció la entrada de humedad hacia el interior del país, debido a que al interactuar con el frente frío No. 5, se mantuvo semiestacionaria durante los tres días que duró su trayectoria, propiciando importantes precipitaciones en los estados de Veracruz, Hidalgo, Puebla, San Luis Potosí, Tabasco y Oaxaca. Finalmente, el país fue afectado por la depresión tropical "Katrina", la cual se generó al Oriente de Nicaragua, por cuyas costas entró a tierra como tormenta tropical; después de debilitarse a depresión tropical, atravesó sobre Centroamérica y el Golfo de Honduras hasta entrar a territorio de México, localizándose a 30 km. al Noroeste de Felipe Carrillo Puerto; siguió hacia el Noroeste hasta llegar a la parte Sur de Mérida, Yuc., donde interactuó con el frente frío No. 9, hasta su disipación.

"Lenny" fue un inusual huracán tardío, el primer huracán de categoría IV en noviembre, desde "Greta" en 1956. De acuerdo con los registros históricos a partir de 1886, "Lenny" fue el huracán de categoría IV que ha ocurrido más tardíamente en una temporada ciclónica durante el mes de noviembre en latitudes tropicales, sólo es comparable al huracán "Sin nombre" de 1912. Su trayectoria en componente general hacia el oriente sólo se compara a una tormenta tropical "Sin nombre" ocurrida en 1909, la cual tuvo un desplazamiento sensiblemente parecido al del huracán "Lenny".

"Floyd" fue el huracán más intenso durante la temporada de 1999, registrando vientos máximos sostenidos de 250 km./h y fue el ciclón de mayor recorrido, con 4890 km. desde su origen hasta que se convirtió en tormenta extratropical. Los huracanes "Cindy" y "Dennis" fueron los de mayor duración con 300 horas.

En cuanto a las zonas de formación ciclónica, durante la temporada 1999, la zona I del golfo de México fue muy activa, registrando la formación de cinco ciclones tropicales, en la zona II del mar Caribe se desarrollaron tres ciclones y la región III del Atlántico, fue la más activa con el desarrollo de ocho ciclones tropicales.

La distribución mensual a lo largo de la temporada fue un ciclón en junio, uno en julio, cuatro en agosto, cuatro en septiembre, cinco en octubre y uno en noviembre. La fecha de inició fue el 11 de junio con la formación de la depresión tropical 1 "Arlene" y la terminación fue el 21 de noviembre con la disipación del huracán "Lenny". El promedio durante la temporada fue de 2.6 por mes, número ligeramente mayor que en la temporada anterior, cuyo promedio mensual fue de 2.3. En la tabla 1.1 del anexo de tablas se indican los datos mas relevantes de cada evento ciclónico durante 1999 en el Atlántico.

Funcionamiento del Sistema de Aviso del Servicio Meteorológico Nacional en el Atlántico en 1999.

Como resultado de la vigilancia que mantuvo el Servicio Meteorológico Nacional para prevenir los riesgos derivados de la actividad ciclónica en el Océano Atlántico, se emitieron 206 boletines de vigilancia permanente con referencias a las etapas evolutivas de los ciclones que se generaron en la temporada, independientemente de su localización, 342 boletines de alerta preventiva cuando algún ciclón estaba en evolución a más de 500 kilómetros de las costas nacionales y 110 avisos de alerta cuando alguno de esos ciclones se localizó a menos de 500 kilómetros de las costas. Si bien el país fue afectado directamente por las depresiones tropicales 2, 7 y 11, el huracán "Bret" y la tormenta tropical "Katrina" en su etapa de depresión tropical, dos ciclones más, la tormenta tropical "Harvey" y el huracán "Irene" presentaron trayectorias iniciales con riesgo potencial, debido a que se acercaron a menos de 500 km. de las costas nacionales.

Para la cuenca del Atlántico, durante el año de 1999 se elaboraron 366 boletines de vigilancia permanente, de los cuales, 206 presentan alguna referencia a las diferentes etapas de los ciclones que se generaron en la temporada. El total de fuentes donde se hace referencia específica a algún ciclón fue de 658, entre avisos de alerta, boletines de alerta preventiva y boletines de vigilancia permanente. En la tabla 1.2 del anexo de tablas se muestra un resumen de boletines y avisos emitidos por ciclón en la temporada de 1999 en el Atlántico.

Boletín de alerta climático: diciembre de 1999.

Depresión tropical no. 11 [Octubre 04 - Octubre 06]

El día 4 de octubre de 1999 por la tarde, a partir de la muy activa onda tropical No. 35, se formó en el Golfo de México la depresión tropical No. 11, por cuyos efectos se le considera como el ciclón tropical de mayor afectación en México durante la temporada de 1999, aún cuando su centro no tocó tierra firme directamente, su cercanía, desplazamiento y la interacción con un sistema frontal, aunado con el factor orográfico en el oriente y centro del territorio nacional ocasionaron lluvias torrenciales con las consecuentes inundaciones y deslaves de terreno. En la figura 1.1 se presenta la trayectoria de la depresión tropical No. 11.

Su formación se inició aproximadamente a 90 km. al Noreste de Coatzacoalcos, Ver. en el sur del golfo de México, con vientos máximos sostenidos de 55 km/h, rachas de 75 km/h, permaneciendo semiestacionaria hasta la mañana del día siguiente, cuando se localizó a 95 km al Norte de Coatzacoalcos, Ver., favoreciendo la entrada de humedad con importantes precipitaciones hacia las costas e interior del país, con un registro de lluvia máxima puntual en 24 horas de 420.0 mm en Tenango, Puebla (Oct. 4), 382 mm en La Laguna, Puebla (Oct. 5), 212.2 mm en Martínez de la Torre, Ver. (Oct. 5), y 102 en la Presa La Esperanza, Hidalgo (Oct. 4).

En la mañana del día 5, la depresión tropical No. 11 comenzó a desplazarse lentamente, localizándose su centro a las 10:00 horas a 150 km. al Norte de Coatzacoalcos, Ver., con vientos máximos de 55 km./h, rachas de 75 km./h y desplazamiento de 9 km./h. Al final del día se localizó a 135 km. al Noreste de Veracruz, Ver., nuevamente como semiestacionaria y con la misma fuerza de vientos, que presentó durante toda su trayectoria.

Durante las primeras horas y la madrugada del día 6, la depresión tropical No. 11 se mantuvo con la misma fuerza, mientras permanecía semiestacionaria frente a las costas de Veracruz. A las 7:00 horas se localizó a 115 km. al Noreste de Alvarado, Ver. Y finalmente se degradó por la tarde, como resultado de la interacción con el frente frío No. 5, cuando se encontraba a 240 km. al Nornoreste de Veracruz, Ver.

La duración de este ciclón fue de 48 horas, tiempo en el que recorrió una distancia de 457 km a velocidad promedio de 7 km/h, cuando presentó desplazamiento. El Servicio Meteorológico Nacional mantuvo la vigilancia de la depresión tropical No. 11 del Atlántico mediante la emisión de 17 avisos de emergencia y 5 boletines de vigilancia permanente.

Debido tanto a factores orográficos en las diversas regiones del territorio nacional como a los factores propios de la inestabilidad de la onda tropical, resulta necesario clasificar a la actividad de la onda tropical tomando en consideración principal a la cantidad de lluvia máxima generada en 24 horas. De lo anterior se desprende la clasificación expuesta en la tabla 1.3 del anexo de tablas; y de acuerdo con esta clasificación, se presenta en la tabla 1.4 un resumen de las ondas tropicales durante la temporada de lluvias de 1999 en nuestro país.

## Hidrología

### Escurrimiento

El escurrimiento se define como el agua proveniente de la precipitación que circula sobre o bajo la superficie terrestre y que llega a una corriente para finalmente ser drenada hasta la salida de la cuenca. El agua proveniente de la precipitación que llega hasta la superficie terrestre, una vez que una parte ha sido interceptada y evaporada, sigue diversos caminos hasta llegar a la salida de la cuenca. Conviene dividir estos caminos en tres clases: escurrimiento superficial, escurrimiento subsuperficial y escurrimiento subterráneo.

#### Fuentes de los Diferentes Tipos de Escurrimiento.

Una vez que la precipitación alcanza la superficie del suelo, se infiltra hasta que las capas superiores del mismo se saturan. Posteriormente, se comienzan a llenar las depresiones del terreno y, al mismo tiempo, el agua comienza a escurrir sobre su superficie. Este escurrimiento, llamado flujo en la superficie del terreno, se produce mientras el agua no llegue a cauces bien definidos, es decir, que no desaparecen entre dos tormentas sucesivas. En su trayectoria hasta la corriente más próxima, el agua que fluye sobre el terreno se sigue infiltrando, e incluso se evapora en pequeñas cantidades. Una vez que llega a un cauce bien definido se convierte en escurrimiento en corrientes.

El flujo sobre el terreno, junto con el escurrimiento en corrientes, forma el escurrimiento superficial. Una parte del agua de precipitación que se infiltra escurre cerca de la superficie del suelo y más o menos paralelamente a él. A esta parte del escurrimiento se le llama escurrimiento subsuperficial; la otra parte, que se infiltra hasta niveles inferiores al freático, se denomina escurrimiento subterráneo.

De los tres tipos de escurrimiento, el superficial es el que llega más rápido hasta la salida de la cuenca. Por ello está relacionado directamente con una tormenta particular y entonces se dice que proviene de la precipitación en exceso o efectiva y que constituye el escurrimiento directo. El escurrimiento subterráneo es el que de manera más lenta llega hasta la salida de la cuenca (puede tardar años en llegar), y, en general, difícilmente se le puede relacionar con una tormenta particular, a menos que la cuenca sea demasiado pequeña y su suelo muy permeable. Debido a que se produce bajo el nivel freático, es el único que alimenta a las corrientes cuando no hay lluvias y por eso se dice que forma el escurrimiento base.

El escurrimiento subsuperficial puede ser casi tan rápido como el superficial o casi tan lento como el subterráneo, dependiendo de la permeabilidad de los estratos superiores del suelo; por ello es difícil distinguirlo de los otros dos. Cuando es relativamente rápido se le trata junto con el escurrimiento superficial, y cuando es relativamente lento se le considera parte del subterráneo.

La clasificación anterior, aunque ilustrativa, no deja de ser arbitraria. El agua puede comenzar su viaje hacia la corriente como flujo superficial e infiltrarse en el camino, terminando como escurrimiento subsuperficial o subterráneo. A la inversa, el escurrimiento subsuperficial puede emerger a la superficie si en su camino se encuentra con un estrato muy permeable que aflora en una ladera. Lo importante en realidad es la rapidez con que una cuenca responde a una tormenta, pues esto es lo que determina la magnitud de las correspondientes avenidas.

## Precipitación.

Desde el punto de vista de la ingeniería hidrológica, la precipitación es la fuente primaria de agua de la superficie terrestre, y sus mediciones forman el punto de partida de la mayor parte de los estudios concernientes al uso y control del agua.

El estudio de los fenómenos relacionados con el agua atmosférica, que son los que interesan a la ingeniería hidrológica, se denomina hidrometeorología. Aún cuando está dentro de la meteorología, que se basa en el estudio de todos los fenómenos atmosféricos, constituye por sí misma toda una ciencia.

De manera más simplificada, definimos precipitación como toda aquella forma de humedad que proviene de la atmósfera, llámese lluvia, granizo o nieve. Los aparatos más usuales en México para medir la precipitación son los pluviómetros y los pluviógrafos; siendo los primeros, instrumentos que proporcionan un reporte de lámina de lluvia en 24 horas; y los pluviógrafos, dispositivos de medición que arrojan reportes de lámina de lluvia en intervalos de tiempo determinados.

## Resumen Pluviométrico.

En los últimos meses de 1999, la República Mexicana estuvo influenciada por nortes, humedad del Pacífico y frentes fríos, se presentaron 19 períodos de lluvias superiores a la media del día, el principal ocurrió del 27 de septiembre al 8 de octubre, registrándose el día más crítico el 29 de septiembre con una lámina media nacional de 13.4 mm. Por otro lado, en la estación La Cangrejera, Ver., se registró la acumulación de lluvia máxima de 479.7 mm cuya distribución se extendió principalmente en la zona del Golfo de México, alcanzando una lámina media nacional de 18.4 mm, datos con los que se puede percibir la intensidad de lluvia de esas fechas; y que justifican, debido a la concentración de lluvia en la zona del Golfo, los daños incuantificables ocasionados.



## Afectaciones

Las torrenciales lluvias en el sur y centro del territorio nacional afectaron principalmente a los estados de Veracruz, Puebla, Oaxaca, Tabasco, Campeche, Chiapas e Hidalgo.

### Veracruz.

En el caso del crecimiento del río Filobobos, se encontraron en peligro las poblaciones de: Martínez de la Torre, El Pital, Puntilla Aldama, Cementeras, San Rafael y Potrereros, mientras continuaba cerrada la carretera a Teziutlán. El caudal de este río se desbordó a la altura del kilómetro 49 y 50 de la carretera Amozoc-Nautla y afectó un área de aproximadamente 70 metros que impidió el tránsito de vehículos, así también, se observaron derrumbes y hundimientos de la cinta asfáltica en el kilómetro 56 del Camino Nacional tramo Buena Vista-Puerto Angel; la Tinaja-Cosoleacaque en su tramo Isla-Acayuca y kilómetro 65 de la carretera Tinaja-Sayula.

Debido a las inundaciones y deslaves cientos de personas perdieron la vida en el estado. En el municipio de Papantla 31 personas, en la población de Carrillal, 8; en Francisco I. Madero, 20 y en el resto de las comunidades de ese municipio otros 3; mientras que en Coatzacoalcos se dañaron 68 escuelas; en Minatitlán, 22; en Hidalgo, 10; en Agua Dulce, 2; en Cosoleacaque, 3 y en Uxpanapa, 2. Se instalaron 3 centros de rescate aéreo y distribución de alimentos en Tuxpan, Poza Rica y Martínez de la Torre, asimismo, 8 centros regionales de acopio para recibir alimentos, medicinas, agua purificada, mantas, ropa y se activaron 72 albergues en distintos municipios de la entidad.

Sobre el suministro de energía eléctrica, siete líneas se cayeron en el área de Poza Rica, las cuales parcialmente se restablecieron inmediatamente en un 60 por ciento, así como con la generación para Pemex en Tuxpan, Alamo, Gutiérrez Zamora, Tecolutla, que no contaban con servicio y también prácticamente toda el área rural se vio afectada.

Como resumen de los desastres en Veracruz, 76 municipios de los 210 de la entidad resultaron afectados, 22 carreteras interrumpidas, 10 puentes colapsados y 13 ríos desbordados, así como 48,380 damnificados.

### Puebla.

El río Filobobos se desbordó en algunos puntos, situación que provocó el cierre de la carretera Amozoc-Nautla, además de poner en peligro a varias poblaciones de la entidad. Hubieron derrumbes en las carreteras: Amozoc-Nautla e inundaciones en la autopista Camino Nacional, situación que dificultó el tránsito vehicular.

Los municipios de Patla y Xolapa se vieron incomunicados por el crecimiento del río que conduce a la presa Necaxa. Y en general, los municipios más afectados fueron Tetela de Ocampo, Tlatlauquitepec, Zacapoaxtla, Huauchinango, y Xicotepec de Juárez. Para atender a los afectados se abrieron 30 albergues en varios municipios, así como cinco centros de recolección de víveres.

Las fuertes precipitaciones también ocasionaron deslaves, por lo cual se cerró la carretera interserrana, por ello toda la sierra norte estuvo incomunicada, además presentaron daños 74,000 hectáreas de maíz, arrastre y pérdida de cítricos, papayo y plátano en las zonas bajas, así como un número indeterminado de cabezas de ganado.

En total, el número de muertos por las lluvias fue aproximadamente de 42 en este estado, existieron 20,000 damnificados y 97 personas desaparecidas, presuntamente aplastadas en los desgajamientos de cerros, o arrastradas por desbordamientos de ríos que crecieron por las intensas lluvias.

#### Oaxaca.

En Oaxaca, la autovía federal México-Ciudad Cuauhtémoc tramo Huajuapán-Oaxaca presentó derrumbes y deslaves aislados, pero la circulación vehicular no se vio obstruida, así también, las carreteras Alemán-Puerto Ángel; Oaxaca-Miahuatlán; Puerto Escondido; Teotitlán-Huautla-Tuxtepec; Yacuda-Pinotepa presentaron deslaves y derrumbes, pero se habilitaron los caminos para que pudieran circular los automotores, sin embargo en la autovía Mitla-Ayutla, un derrumbe mayor se localizó en el tramo 88, el cual obstruyó la vialidad y en la autopista Tepic-Puente Talismán en el tramo Nacional-El Charquito kilómetro 31+800, la carpeta asfáltica se taponó con un deslave.

La destrucción de 60 viviendas y desplazamientos de 150 familias dejaron como consecuencia las intensas lluvias registradas en la región del Istmo y la capital estatal. Entre las partes más afectadas del estado de Oaxaca sobresalen Francisco del Mar y sus agencias Santa Rita, Vergel del Maíz y Augusto Villanueva, además del tramo del Zopilote a la cabecera municipal que se inundó al alcanzar el agua 70 centímetros de altura, de donde se tuvieron que evacuar 800 familias.

Entre otras comunidades afectadas se encuentran las de: Curtidores, Lázaro Cárdenas, San Lucas, Ostuta, Cerritos, Río Viejo, Chahuities, Las Conchas, Cerro Grande, Cerro Chico, Las Palmas y Cachimbo, de donde se desplazaron poco más de 300 familias. El mal tiempo ocasionó pérdidas económicas por más de 8 millones de pesos para la Industria Pesquera, pues por las constantes e intensas lluvias se provocó que el crustáceo emigrara.

Por todo lo anterior, podemos decir que el estado de Oaxaca vivió un verdadero desastre provocado por la incesante lluvia de la onda tropical, lo cual hizo imposible el envío de víveres y apoyos; la flotilla de helicópteros destinada al auxilio rural estuvo impedida para volar por los lugares afectados y no se pudo transitar por los caminos y carreteras pues se encontraron cortados por el desbordamiento de ríos y arroyos.

#### Tabasco.

En Tabasco, las carreteras afectadas fueron: Matamoros-Puerto Juárez; Emiliano Zapata-Tenosique; México-Tuxpan y México-Tampico, debido al mal tiempo y a los deslaves y derrumbes. En la presa "Peñitas" se mantuvo abierta una de las compuertas laterales en "Chicoasén", lo cual significó mayor incremento en los cauces de los ríos Samaria, Carrizal, Grijalva y Usumacinta.

Las medidas de control se extremaron y se controló el desbordamiento de la laguna "El Negro", cuyas aguas inundaron la prolongación de la avenida "Mina", y el carril de baja circulación del bulevar "Ruiz Cortines". En Tabasco, debido a las intensas lluvias, los damnificados ascendieron a 80 mil personas.

## Campeche.

El municipio de Palizada, en Campeche, fue declarado zona de máxima emergencia debido al crecimiento acelerado de ríos que estuvieron a punto de alcanzar sus niveles máximos históricos, debido a lo cual la situación se agravó, lo que a la vez ocasionó daños y cortes en las carreteras que conducen a las comunidades El Mangal, Tila, La Corriente, Rivera Gómez, Lagón Dulce y El Porvenir.

La depresión tropical causó fuertes lluvias en todo el estado, principalmente en la zona sur, lo que ocasionó un crecimiento en el río Candelaria y que alcanzó un nivel de 3.20 metros sobre el nivel del mar. Los puertos campechanos se cerraron a la navegación menor ante las lluvias y los vientos que provocaron la depresión tropical. También en Escárcega, en los ejidos Juan Escutia y Juan de la Barrera, las fuertes lluvias ocasionaron problemas por inundación en esos lugares, por lo que fueron evacuados en total 92 personas, quienes se alojaron en los albergues.

## Chiapas.

En el caso de Chiapas se cerró la carretera en el kilómetro 128 de la autovía México-Ciudad Cuauhtémoc en su tramo El Aguacero-Tuxtla Gutiérrez y parcialmente la carretera Villahermosa-Tuxtla Gutiérrez que en algunos puntos la carpeta asfáltica desapareció. En San Cristóbal de las Casas se sufrió de una parcial incomunicación, ya que la carretera México ciudad Cuauhtémoc en su tramo Ramal-La Angostura estuvo bloqueado sólo en un carril.

## Hidalgo.

En Hidalgo, la carretera Pachuca-Ciudad Sahagún estuvo cerrada, por lo que los vehículos tuvieron que tomar rutas alternas. Otras vialidades afectadas fueron: México-Tuxpan y México-Tampico, en la misma entidad. Entre los 18 municipios afectados, sobresale Tulancingo que fue el más dañado con 50 mil habitantes afectados, 6,500 casas inundadas y decenas de familias atrapadas por el desbordamiento de los ríos Tulancingo y San Lorenzo, por otro lado en Acatlán, diversas localidades hidalguenses estuvieron incomunicadas, mientras el río San Alejo se encontró a tan solo 20 centímetros del desbordamiento.

Debido a la caída de árboles y desbordamiento de presas existieron frecuentes cortes de energía eléctrica y se encontraron bloqueadas varias carreteras en Huehuetla, Molango, y Huasca, entre otras. Aproximadamente 149 mil 273 hectáreas sembradas, de cuatro estados, fueron afectadas por las inundaciones de entre los cuales el 10% y 20% de los cultivos en pie y frutales; de los granos, principalmente maíz, frijol, sorgo, trigo y cítricos.

En toda la entidad hidalguense, los afectados se calculan en miles, asimismo, mil kilómetros de caminos y carreteras resultaron afectados a causa de las lluvias ocasionadas por la depresión tropical número 11 y el frente frío número 5.

## II. TRABAJOS DE CAMPO

### II.1 Reconocimiento

Con motivo de apoyar el operativo de emergencia para el restablecimiento de los servicios de abastecimiento de agua potable y saneamiento en las poblaciones de la entidad, por efecto de las lluvias extraordinarias de los primeros días del mes de octubre, la Comisión Municipal de Agua Potable y Saneamiento, la cual es el organismo operador que da estos servicios a la población, informó de la situación de la población con respecto del abastecimiento de agua potable, indicando que se carecía del servicio dado que las dos fuentes de suministro fueron afectadas por el fenómeno.

Se procedió hacer una primer visita a las instalaciones del sistema de abastecimiento del manantial, iniciándose en el mismo y recorriendo posteriormente la conducción. De este recorrido se detectó la problemática de la conducción, la cual se describe a continuación. Una vez que la conducción parte del manantial cruza al río o sus brazos en tres tramos, mismos donde la tubería fue cortada y arrastrada. En ese tramo el río atraviesa un cañón con paredes prácticamente verticales, que hacen al cauce divagante de acuerdo con el gasto que conduce. Posteriormente la conducción cruza en forma aérea el cauce principal para de ahí continuar hacia Martínez de la Torre ya separado del cauce. Este cruce fue arrastrado por la corriente con todo y las torres que soportaban la estructura aérea y al conducto. El trazo inicial del acueducto estaba asociado completamente al cauce del río Filobobos, por lo cual quedaba supeditado a los cambios de la corriente dentro del cañón; situación que complicaba la operación del acueducto en condiciones extraordinarias de los escurrimientos.

Se realizaron los recorridos de campo necesarios para iniciar el análisis correspondiente y definir las posibles alternativas de solución, dichos recorridos se llevaron a cabo en compañía de autoridades del organismo operador, la empresa supervisora y personal de topografía y geotécnica. En el correspondiente análisis de alternativas de solución, se resolvió que el proyecto consistiría básicamente de una planta de bombeo, un tramo a presión, una torre de oscilación, una caja rompedora de presión y una conducción por gravedad, la cual se conectará con una tubería (existente) de 12" que conducirá el agua a la red de distribución de la localidad.

Por los posibles trazos de proyecto se efectuaron levantamientos para conocer distancias y niveles principalmente en el tramo a presión, entre la planta de bombeo y el tanque de cambio de régimen. Por lo que se refiere a la conducción después del tanque de cambio de régimen y la unión con la tubería actual de 12" de diámetro, ésta irá paralelamente a la carretera Teziutlán–Martínez de La Torre, por lo que se efectuaron recorridos para determinar interferencias o sitios conflictivos para el paso de la tubería, ajustándose el trazo de la conducción de ser necesario. Con el organismo operador se estuvieron analizando las afectaciones, aspecto importante para la construcción del acueducto.

## II.2 Topografía

Para apoyar a los proyectos ejecutivos de las obras se efectuaron diversos trabajos topográficos los cuales se indican a continuación.

De acuerdo a los recorridos y al proyecto hidráulico de la conducción, se realizó el levantamiento del trazo por medio de una poligonal de apoyo abierta, la cual se ubicó en el trazo acordado durante los recorridos para determinar el nuevo proyecto. Los vértices de la poligonal de apoyo se referenciaron en lugares fijos y con la debida señalización para su pronta localización. Se efectuaron dos trazos en la línea de presión y también dos al final de la conducción, con lo que se obtuvo una longitud de 11.84 km; los trabajos se realizaron con una estación total marca Sokkisha.

La nivelación de perfil se referenció al tanque El Mirador, el cual estaba asociado al acueducto en su tramo de 12" de diámetro. Una vez realizada la poligonal de apoyo y teniendo la corrida de la nivelación del banco antes señalado, se procedió a realizar la nivelación de perfil de la misma, la cual se nivelaría a cada 20 m y en los vértices de la poligonal de apoyo, el resultado de la longitud de nivelación de perfil fue de 11.84 km. Estos trabajos fueron realizados con un nivel marca Wild. Para realizar los trabajos fue necesario correr una nivelación diferencial desde el banco de nivel hasta el inicio de la poligonal de apoyo, cuya longitud fue de 8.14 km.

Una vez realizadas las nivelaciones diferenciales se tomaron las secciones transversales correspondientes a cada 20 m y con una longitud de 40 m perpendiculares a la poligonal de apoyo. Con estos datos se procedió a realizar la configuración correspondiente. La longitud del seccionamiento fue de 11.84 km. Para referenciar los niveles de la poligonal de apoyo se colocaron bancos de nivel a base de mojoneras de concreto de 35 cm de diámetro y 40 cm de profundidad. Los vértices se referenciaron en lugares fijos y con la debida señalización. Se colocaron bancos de nivel a base de mojoneras de concreto a cada 500 m referenciados a la línea de trazo. Se referenciaron un total de 21 monumentos.

Se levantaron a manera de detalle, con curvas a cada 50 cm, el manantial El Encanto, que es el sitio de la captación existente y el sitio del cárcamo de proyecto, un cruce con río, el sitio para el tanque de cambio de régimen, otro sitio para el mismo tanque de proyecto y el sitio especial de proyecto de conexión. Se hizo el levantamiento de detalle en 4 sitios. Todos los sitios especiales se referenciaron a la poligonal de apoyo. Los trabajos se realizarán con una estación total marca Sokkisha. En la figura 2.1 se muestra la planta topográfica y el detalle de un cruce especial incluidos en los planos topográficos del proyecto.

## II.3 Mecánica de Suelos

A continuación se presenta un resumen de los estudios que por lo general se realizan en este tipo de proyectos.

### a) Estudio de la línea.

- Exploración y muestreo: - Pozos a cielo abierto
- Pruebas de laboratorio: - Porcentaje de finos  
- Límites de consistencia  
- Clasificación SUCS  
- Prueba Proctor en 10% de los pozos

### b) Estudio de cruces.

- Exploración y muestreo: - Pozos a cielo abierto
- Pruebas de laboratorio: - Porcentaje de finos  
- Humedad natural  
- Límites de consistencia  
- Densidad de sólidos  
- Prueba Triaxial no consolidada, no drenada (UU)  
- Consolidación unidimensional

### c) Estudio para estructuras.

- Exploración y muestreo: - Pozos a cielo abierto (a mano < 4.00 m)  
- Pozos a cielo abierto (con maquinaria > 4.00 m)

El principal objetivo del estudio es determinar la estratigrafía del subsuelo a lo largo de la línea y las estructuras; la clasificación de los materiales para su excavación, problemas geotécnicos que se puedan presentar durante la construcción, secciones de construcción y las recomendaciones para la construcción. Así como también realizar el diseño geotécnico de la cimentación de las estructuras necesarias y las recomendaciones para los procesos constructivos, que se consideren necesarios.

El proyecto contempla una línea de conducción la cual estará formada por un tramo a presión de 1.82 km con tubería de acero, en un diámetro de 16" y un tramo a gravedad de 5.70 km de asbesto-cemento clase A-10, en diámetro también de 16". Una planta de bombeo para 200 m<sup>3</sup>/s, una torre de oscilación de 6.00 m de diámetro y 6 m de altura y una caja rompedora de presión.

### Muestreo.

Para la captación y la planta de bombeo, debido a que el nivel de desplante del cárcamo se encontraría entre 8 y 10 m de profundidad, surgió la necesidad de realizar un sondeo con maquina perforadora, utilizando el sondeo de tipo mixto (prueba de penetración estándar y obtención de tubos Shelby); lo anterior fue necesario ya que con la exploración con pozos a cielo abierto, no se tendrían datos exactos para el diseño del desplante de la estructura.

En el caso de la línea de presión y a gravedad, la exploración se realizó mediante el método de excavación de pozos a cielo abierto de 2.50 m de profundidad, en material atacable con pico y pala o hasta detectar el nivel de aguas freáticas; se propuso la ejecución de 3 pozos a cielo abierto en el caso del tramo a presión y 7 pozos para el tramo de conducción a gravedad. Ejecutados a cada kilómetro o en cruces importantes, se obtuvieron muestras alteradas para definir la estratigrafía del subsuelo a lo largo de la línea. Finalmente, cabe mencionar que para determinar la clasificación de los materiales se observó la dureza de los materiales durante su excavación.

Para el tanque de cambio de régimen y la caja rompedora de presión se realizó un pozo a cielo abierto de 4.00 m de profundidad obteniendo muestras inalteradas para el diseño geotécnico de la cimentación de la estructura; en cuanto a la torre de oscilación, los métodos de exploración del subsuelo consistieron en la utilización de una máquina perforadora de tipo rotatoria, dichos métodos fueron: Sondeo tipo mixto (Penetración estándar y tubo Shelby) y Perforación con barril doble giratorio y broca de diamante, en diámetro NX.

#### Pruebas de Laboratorio.

De los materiales representativos se obtuvo su peso volumétrico seco máximo y a las muestras obtenidas se les realizaron las siguientes pruebas de laboratorio: Contenido natural de agua, por ciento de finos y límites de consistencia. También se realizó un análisis de agresividad con el que se realizaron las siguientes pruebas químicas: de Ph, de contenido de sulfatos y de cloruros.

#### Datos para la Construcción del Proyecto.

A partir del reporte de los estudios geotécnicos, el proyecto incluye una serie de resultados de los cuales derivan ciertas conclusiones, recomendaciones y factores a considerar para la construcción del proyecto. A continuación se presentan de manera resumida, algunas de estas consideraciones incluidas en el proyecto.

La excavación de zanjas se podrá realizar mediante el empleo de una retroexcavadora (material tipo I) y con un martillo neumático acoplado a una retroexcavadora (materiales II y III). En toda la longitud de la línea se podrá excavar las zanjas con paredes verticales, hasta los 2.00 m de profundidad, el ancho de zanja deberá ser de 0.90 m; en los tramos en donde se tenga la presencia de fragmentos de roca se deberá de tener cuidado con las puntas de los fragmentos de roca, para evitar que los tubos al ser bajados a la zanja, se golpeen. Por otro lado existen dos tramos en los cuales se deberá de abatir el nivel de aguas freáticas. Para el tendido de tubería es necesario tener la plantilla compactada el relleno de zanjas consistirá de dicha plantilla, relleno compactado y relleno semicompactado, en las secciones de construcción se presentan por tramos las características de los materiales para este relleno y los sitios en donde se podrán obtener estos materiales. En general se concluye que los materiales producto de la excavación se podrán emplear para el relleno de las zanjas.

En cuanto a las recomendaciones para el proceso constructivo del cárcamo de bombeo, "El Encanto", se tienen las siguientes consideraciones iniciales: La estructura es un cárcamo de agua potable y ésta por sí misma no es un elemento de cimentación. Las dimensiones de la estructura serán (8.00 x 8.00 m y 6.00 m enterrados). El volumen de excavación en seco será de 2,500 m<sup>3</sup> y el volumen de excavación con agua de 600 m<sup>3</sup>. Debido a que es una estructura hidráulica se deberá de realizar un control de calidad estricto.

## II.4 Caracterización del Agua

El término tratamiento se refiere a todos aquellos procesos que de una u otra manera sean capaces de alterar favorablemente las condiciones de un agua. El tratamiento no está, en general, constituido por un sólo proceso, sino que será necesario, de acuerdo con las características propias del agua cruda, integrar un "tren de procesos" esto es, una serie de procesos capaces de proporcionar al agua las distintas características de calidad que sea necesario para hacerla apta para su utilización. Cuando el tratamiento que se le da al agua es con el fin de hacerla apta para la bebida se utiliza el término potabilización; y una planta potabilizadora es la obra de ingeniería civil en la que se construyen las unidades necesarias para producir el agua potable.

Son tres los objetivos principales de una planta potabilizadora; proporcionar agua segura para consumo humano, que sea estéticamente aceptable y que sea económica. En grado significativo, cuanto más sea protegida la fuente, será menor el tratamiento requerido; así, dicha protección juega un papel primordial en la consecución de los objetivos anteriores.

En el caso del proyecto que aquí se estudia; se dedicó especial atención al análisis y estudios del agua, la cual fue directamente muestreada en el manantial y estudiada según las normas correspondientes a pesar de que la localidad ya se abastecía de esta fuente antes de la emergencia.

Para el análisis físico-químico, se tomaron muestras en recipientes de doble tapa, de tres litros de capacidad, previamente lavados y enjuagados con agua de la misma fuente; el volumen mínimo requerido para el análisis fue de 2 litros, el recipiente quedó lleno y herméticamente cerrado. Los resultados del análisis físico-químico y microbiológico, arrojaron las determinaciones que se muestran en la tabla 2.4.1 y 2.4.2 respectivamente en el anexo de tablas.

En el muestreo para el análisis bacteriológico, se requirió de un frasco de 125 ml de capacidad, de boca ancha, de vidrio o de plástico resistente al calor y bacteriológicamente inerte. Se le añadió 0.1 ml de solución de sulfato de sodio al 10%, con el fin de contrarrestar la acción del cloro que pueda contener el agua y realizar el análisis antes de 6 horas, la muestra se mantuvo en refrigeración.

Con base en los resultados obtenidos se recomendó una cloración de 1.5-2.00 ppm, la cual debe ser permanente.



## II.5 Aforos

Aforar una corriente significa determinar a través de mediciones el gasto que pasa por una sección dada. En México se usan básicamente tres tipos de métodos para aforar corrientes, a saber:

- a) Secciones de control.
- b) Relación sección-pendiente.
- c) Relación sección-velocidad.

### Sección de control.

Una sección de control de una corriente se define como aquella en la que existe una relación única entre el tirante y el gasto. De los muchos tipos de secciones de control que se pueden usar para aforar una corriente, los más comunes son los que producen un tirante crítico y los vertedores. Un vertedor es un dispositivo que consta básicamente de una sección transversal de geometría definida, por la cual escurre el líquido manteniéndose la superficie libre.

Se forma un tirante crítico elevando el fondo del cauce, estrechándolo o con una combinación de las dos técnicas. Cuando se utiliza la primera, el gasto se calcula usando la fórmula de vertedores de pared gruesa:

$$Q = 1.7 B H^{2/3}$$

Donde  $Q$  es el gasto en  $m^3/s$ ,  $B$  es el ancho del cauce en  $m$ , y  $H$  es la carga sobre el vertedor en  $m$ .

### Relación sección-pendiente.

Este método se utiliza para estimar el gasto máximo que se presentó durante una avenida reciente en un río donde no se cuenta con ningún otro tipo de aforos. Para su aplicación se requiere solamente contar con topografía de un tramo del cauce y las marcas del nivel máximo del agua durante el paso de la avenida.

### Relación sección-velocidad.

Este es el método más usado para aforar corrientes. Consiste básicamente en medir la velocidad en varios puntos de la sección transversal y después calcular el gasto por medio de la ecuación de continuidad

### Otros métodos.

Existen otros métodos con los que es posible realizar aforos. Uno de ellos es el de trazadores, que consiste en soltar una cantidad conocida de partículas fluorescentes, radiactivas, etc., en una sección situada a una cierta distancia aguas arriba de la sección de aforos para medir el tiempo que tardan en llegar a la última. Esto se puede hacer visualmente, con contadores de radiactividad o con algún otro procedimiento, dependiendo del tipo de partículas usadas. Este y otros métodos aún se encuentran en la etapa de experimentación y su uso todavía está limitado en la práctica.

## Aforo del Manantial.

En el caso de nuestro proyecto se utilizaron dos vertedores uno triangular y otro rectangular, adaptándolos en canales a unos metros del brote de salidas del manantial. Se efectuaron tres aforos del manantial correspondientes a las tres cajas existentes, con objeto de determinar el caudal potencial de la fuente. Los resultados obtenidos y el procedimiento de medición, se describen a continuación.

El aforo se realizó en dos días consecutivos, siendo aforado el 18 de noviembre de 1999 la caja dos y el 19 de noviembre las cajas uno y tres, es importante mencionar que en ésta época está por terminar la temporada de lluvias de la región y todavía se registraron lluvias el primer día de aforo.

Por las características y los gastos supuestos preliminarmente de los sitios a aforar (canales trapeciales y gastos menores a 100 l/s), se seleccionaron vertedores de pared delgada, siendo uno de madera, de forma rectangular con aristas agudas para el manantial uno y tres, que presentaban el gasto mayor y un vertedor metálico triangular para el manantial dos.

Para efectuar el aforo del manantial uno se confinó el gasto que sale dentro de la caja existente tapando un tubo de salida de asbesto cemento y colocando la tabla que contiene la sección del vertedor en la pared destruida de la caja, la estanqueidad se logró colocando papel por los orificios (formando cuñas), donde no asentó bien la tabla contra el muro del cantil o el muro de la caja. De acuerdo con la medición efectuada se calculó un gasto de la caja uno de 68.85 l/s, sin embargo se observó que unos metros aguas arriba de la caja existen otros afloramientos del manantial, casi de la magnitud de los aforados por lo que fué recomendable captarlos haciendo mas larga la caja, como se reflejó en el proyecto ejecutivo.

El aforo de la caja dos se realizó en el pequeño canal de excedencias de la misma, ésta caja se mostraba poco azolvada y tiene dos pequeñas compuertas que controlan las salidas hacia el canal de excedencias y hacia la tubería que lleva el gasto al cárcamo existente, debido al caudal estimado en esta caja se colocó el vertedor triangular en el canal de excedencias, se abrió la compuerta del vertedor y se cerró la compuerta del tubo, con lo que todo el gasto se derivó al canal. Aún con la compuerta cerrada en el tubo, una pequeña parte de agua pasaba por el tubo, por lo que se hizo un aforo volumétrico de ese excedente en el registro al cual llegaba el tubo. Con los datos obtenidos se registró un gasto de 33 l/s.

En la caja tres se encontró una situación similar a la caja dos, solo que en ésta caja no existen compuertas, por lo que se tapó con madera y papel la salida del tubo que va al cárcamo, desviando el gasto hacia el canal de excedencias donde previamente se colocó el vertedor rectangular, donde se obtuvo un gasto de 53.11 l/s.

De la suma de los aforos efectuados, se tiene un gasto de 154.96 l/s, pero hay que considerar dos factores, la época del año en la cual se realizaron éstos aforos y que se captará mas agua con la caja uno, por lo que de alguna manera se compensa el gasto aforado con el estimado de 200 l/s.

A continuación se presenta el cálculo de gastos a partir de los aforos realizados.

## AFORO MANANTIAL 1

El aforo en este caso se llevó a cabo utilizando un vertedor rectangular.

La expresión utilizada para el cálculo del gasto es:

$$Q = \frac{2}{3} \sqrt{2g} \lambda L h^{3/2} = 2.953 \lambda L h^{5/2}$$

Donde:

$$\lambda = 0.616 \left( 1 - \frac{L}{10L} \right)$$

L = Longitud de vertedor

Datos obtenidos al aforar:

$$L = 0.60 \text{ m}$$

$$H = 0.17 \text{ m}$$

Entonces:

$$\lambda = 0.616 \left( 1 - \frac{0.60}{10(0.60)} \right) = 0.5544$$

$$Q = \left( \frac{2}{3} \right) (19.62)^{1/2} (0.5544) (0.60) (0.17)^{3/2}$$

$$Q = 0.9823 (0.17)^{3/2}$$

$$Q = 0.06885 \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$\text{Gasto Total} = Qt = 68.85 \text{ l/s}$$

## AFORO MANANTIAL 2

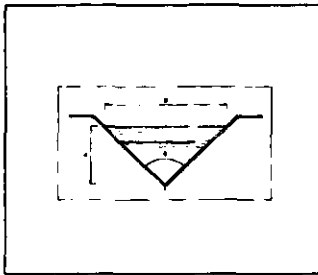
Primer método.- Utilizando un vertedor triangular:

El gasto por medio de este método se obtiene como:

$$Q = \frac{8}{15} \sqrt{2g} \lambda h^{5/2} = 2.362 \lambda h^{5/2}$$

Donde:  $\lambda =$  Factor que depende del ángulo del vértice de vertido  $\theta$

$h =$  Altura de vertido a partir del vértice de vertido



Datos del vertedor y los obtenidos al aforar:

$\theta$	=92.25 grados
B	=0.4576 m
h	=0.22 m

Entonces:

$$Q_1 = 2.362 (0.587) (0.0227) = 0.0314 \text{ m}^3/\text{s} = 31.4 \text{ l/s}$$

$Q_2 =$  Gasto residual aforado volumétricamente en forma independiente

$$Q_2 = 0.019 \text{ m}^3 / 12 \text{ s} = 0.0016 \text{ m}^3/\text{s} = 1.6 \text{ l/s}$$

$$Q_t = 31.4 + 1.6 = 33.00 \text{ l/s}$$

$$\text{Gasto Total} = Q_t = 33.00 \text{ l/s}$$

### AFORO MANANTIAL 3

El aforo en este caso se llevó a cabo utilizando un vertedor rectangular.

La expresión utilizada para el cálculo del gasto es:

$$Q = \frac{2}{3} \sqrt{2g} \lambda L h^{3/2} = 2.953 \lambda L h^{5/2}$$

Donde:

$$\lambda = 0.616 \left( 1 - \frac{L}{10L} \right)$$

L = Longitud de vertedor

Datos obtenidos al aforar:

$$L = 0.60 \text{ m}$$

$$H = 0.143 \text{ m}$$

Entonces:

$$\lambda = 0.616 \left( 1 - \frac{0.60}{10(0.60)} \right) = 0.5544$$

$$Q = \left( \frac{2}{3} \right) (19.62)^{1/2} (0.5544) (0.60) (0.143)^{3/2}$$

$$Q = 0.9823 (0.143)^{3/2}$$

$$Q = 0.05311 \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$\text{Gasto Total} = Q = 53.11 \text{ l/s}$$

### III. DISEÑO HIDRÁULICO

Uno de los principales factores en el proceso de diseñar una conducción para suministrar agua potable a una población, lo constituye el conocer como se comportará la conducción planeada para tal fin y si esa condición satisface los requerimientos esperados, todas estas interrogantes se despejan efectuando el análisis hidráulico de la conducción diseñada. Para el acueducto de Martínez de la Torre se plantearon dos funcionamientos: uno en condiciones normales y otro en condiciones transitorias, los cuales se describen más adelante.

Como ya se ha mencionado, ante la necesidad de evitar que en el trazo del acueducto se tuviera que cruzar el río Filobobos en reiteradas ocasiones, se optó por elevar el agua hacia tierra firme para vencer el desnivel topográfico existente y evitar los cruces con el río, posteriormente en un cambio de régimen se cambiaría el funcionamiento por bombeo por un funcionamiento a gravedad.

Dada la importancia del acueducto y el creciente desarrollo de la localidad, se planteó la conveniencia de contar con un acueducto que tuviera la flexibilidad de funcionar adecuadamente en cada una de las etapas requeridas, por tal motivo se optó por contar con una planta de bombeo con capacidad nominal de 200 l/s, distribuidos en cuatro equipos de bombeo de 50 l/s nominales cada uno más un equipo de reserva, por lo que se tiene un rango de operación de 4 gastos, que son, 50, 100, 150 y 200 l/s, los que se utilizarían acorde a los requerimientos de la población.

Debido a la urgencia de reanudar el suministro a la población y con base en la experiencia en este tipo de eventos, se eligió que el diámetro de la conducción fuera de 16" (41 cm) y el material empleado en la conducción por bombeo fuera acero y en la conducción a gravedad fuera asbesto-cemento clase A-7.

Con base en los datos anteriores y el perfil obtenido del levantamiento topográfico se procedió a efectuar el análisis hidráulico para cada uno de los posibles gastos a manejar.

De acuerdo a las especificaciones de la Comisión Nacional del Agua (CNA) para análisis hidráulicos, se debe usar la ecuación de Darcy-Weisbach para el cálculo de las pérdidas por fricción, la cual se escribe de la siguiente manera:

$$h_f = f L/D V^2/2g$$

donde:

- h<sub>f</sub> - Pérdida por fricción (m)
- L - Longitud del tubo (m)
- D - Diámetro (m)
- V - Velocidad media (m/s)
- f - Factor de fricción (adimensional)

Otro aspecto importante lo constituye el funcionamiento que se tiene cuando el acueducto no trabaja a su máxima capacidad, lo que genera que en algunos tramos el flujo vaya a superficie libre, es decir, que "escurra", lo que provoca otra clase de comportamiento del acueducto en

general, por tal motivo a continuación se analiza de qué manera se genera este funcionamiento y cuales son los efectos negativos que provoca.

### Funcionamiento como Canal

El diseño analizado corresponde a un funcionamiento combinado de tramos con funcionamiento a superficie libre y otros a presión; aún cuando el diseño del acueducto (a gasto máximo) es realizado para trabajar a presión en toda su longitud, al no contar con válvulas al final del acueducto no es posible meter todo el acueducto en carga, por lo que el agua “escurre” en las tuberías hasta que entra en carga, obligada por el nivel del agua en los tanques de entrega.

Existen condiciones en las cuales los conductos trabajan parcialmente llenos, es decir, como canal, fundamentalmente a la salida de los tanques o cajas rompedoras, este funcionamiento no es eficiente y debe tratar de evitarse con un manejo de válvulas adecuado. Algunos de los inconvenientes que se presentan son:

- Motiva que la carga disponible se vea disminuida por lo tanto el gasto a transportar también.
- Al verse disminuido el gradiente hidráulico del tramo en las derivaciones ubicadas en este mismo tramo, disminuyen también, llegando además a no poder transportar el caudal derivado hasta el sitio determinado por falta de carga, inclusive se puede dar el fenómeno de que se invierta el sentido del flujo, es decir, que de un sitio por abastecer salga agua hacia el sistema, situación que no se debe presentar.
- Cuando el conducto trabaja como canal, la presión exterior a la que se ve sometida tiende a ser mayor a la existente dentro del tubo y puede motivar que penetre el agua del exterior y llegue a contaminar la que transporta el sistema.

De acuerdo a lo anterior se pueden diferenciar dos tipos de funcionamiento, el libre, es decir sin manejar válvulas y cuyos inconvenientes se mencionaron anteriormente y el funcionamiento con manejo de válvulas, este último es el que debería de ser utilizado ya que es el que obliga a elevar la línea piezométrica y a través de la válvula instalada a la llegada se controla el gasto suministrado y se elimina la carga sobrante del tramo, sin embargo dadas las cualidades de menor resistencia y desconocimiento de las características del último tramo ya existente no se colocó válvula en la llegada al tanque ya que si en un momento dado ésta se cerrara se generaría la presión estática con la consiguiente elevación de la carga y el eventual colapso de las tuberías, por lo que evidentemente se tendrá un funcionamiento combinado a presión y a superficie libre.

### III.1 Funcionamiento en Condiciones Normales

Debido a que es un sistema que funciona por bombeo, el acueducto estará trabajando acorde a los equipos que se encuentren operando en la planta. De acuerdo con el proyecto electromecánico para las condiciones reales de operación se tendrán gastos de 58, 113, 166 y 206 l/s para uno, dos, tres y cuatro equipos respectivamente operando de manera simultánea, por tal motivo el cálculo se realizó para cada uno de los anteriores gastos para verificar el comportamiento bajo cualquier condición del acueducto.

De acuerdo con las condiciones topográficas, del kilómetro 0+000 al 1+820 se tiene la conducción por bombeo y el análisis se efectuó de aguas arriba hacia agua abajo. En el kilómetro 1+820 se tiene el cambio de régimen y a partir de este punto la conducción es a gravedad, en el kilómetro 3+800 se ubicó la caja rompedora de presión ya que de acuerdo con la resistencia de la antigua tubería en este sitio es donde se tiene la elevación máxima para evitar posibles fallas en el tramo existente, la conexión con el tramo existente es en el kilómetro 7+459 y en este punto la tubería se reduce a 12" de diámetro con el que continúa hasta su llegada al tanque el Mirador en el kilómetro 15+649.

Para realizar el cálculo en el tramo a gravedad se procedió de aguas abajo hacia aguas arriba iniciando a partir del tanque, contrario a lo que usualmente se procede y con la finalidad de definir el perfil que se forma realmente.

La manera de determinar en qué tramos se tiene la línea a presión y en cuales se presenta el escurrimiento, es a partir de tener el perfil de la tubería e ir formando la línea del gradiente hidráulico a partir de la elevación del tirante del tanque el Mirador. Al ir avanzando hacia atrás el gradiente tiende a ir aumentando de acuerdo con la pendiente hidráulica que se tenga, en los puntos en los cuales corta al terreno y hacia aguas arriba se tiene un funcionamiento como canal hasta llegar un punto alto y se vuelve a realizar el mismo procedimiento. Es importante resaltar que a mayor gasto, mayor pendiente; por lo tanto, rápidamente se despega el gradiente del nivel del terreno y para gastos pequeños el gradiente es casi horizontal por lo que es más frecuente que corte el nivel del terreno y se tengan más tramos escurriendo.

En la tabla 3.1.1 se muestra el cálculo efectuado para los cuatro gastos mencionados en los cadenamientos en los cuales la carga de trabajo está marcada como cero, corresponde a los tramos en los cuales se tiene un flujo a superficie libre y en la gráfica 3.1 se muestra cual es el comportamiento del gradiente para los distintos gastos.

Como se puede observar para el gasto de 58 l/s se presentan el mayor número de tramos con casos de escurrimiento, como entre el cadenamiento 3+920 y el 4+480, donde la línea piezométrica se confunde con el terreno, para este gasto se tienen siete tramos en los cuales se presentará un comportamiento como canal.

Para el gasto de 113 l/s se tienen cuatro tramos con escurrimiento como se observa entre los kilómetros 4+905 y 5+040 y para el gasto de 166 l/s se tienen sólo dos tramos donde se presentaría el caso del funcionamiento como canal como es el caso existente entre los km 3+860 y 3+960.

Para el gasto de 206 l/s sólo se efectuó su análisis hasta la caja rompedora de presión, ya que la carga existente entre ésta y el tanque, y además los diámetros reducidos al final del acueducto, no



permiten pasar ese gasto y sólo se tiene un pequeño tramo entre el cambio de régimen y la caja rompedora con escurrimiento.

A partir del análisis del gasto anterior se vió la necesidad de efectuar el cálculo para otro grupo de gastos, los cuales están en función de la capacidad de conducción del acueducto en sus distintos tramos de acuerdo con los desniveles existentes y a la clase y diámetro de las tuberías propuestas.

En este grupo se analizaron los gastos máximos que se pueden manejar entre el cambio de régimen y la caja rompedora; entre la caja rompedora y el tanque de entrega, y finalmente las adecuaciones necesarias en el último tramo existente para que puedan manejarse los 206 l/s en el acueducto.

A partir del cálculo efectuado se encontró que en el tramo entre el cambio de régimen y la caja rompedora se tiene que se puede conducir un gasto máximo de 216 l/s, si se quisiera manejar mas no se podría y con gastos menores se tendrían funcionamientos a superficie libre, como efectivamente sucede. En el tramo comprendido entre la caja rompedora y el tanque, el gasto máximo es de 172 l/s, con este gasto se consume la carga disponible y gastos mayores no pasan. Si se deseara manejar más agua es necesario realizar modificaciones al acueducto y en el caso específico de querer manejar 206 l/s se requeriría instalar un tramo paralelo al final del acueducto del mismo diámetro (12") y con una longitud de 2,907 km. El cálculo para estas tres condiciones se tiene en la tabla 3.1.2 y su representación gráfica en la gráfica 3.2.

### III.2 Funcionamiento en Condiciones Transitorias

En el momento que se opera la válvula de una tubería que conduce un líquido sometido a presión, se altera la velocidad del mismo en la sección continua al dispositivo y se provoca una transformación de energía cinética a energía de presión. Esto implica la aparición de presiones locales distintas a las que había antes de la perturbación, lo que significa que se han formado ondas de presión y gradientes que las inducen a propagarse. El conjunto de ondas generadas llamadas tren de ondas, se propagan alejándose de la válvula por la tubería hasta alcanzar una masa de líquido suficientemente grande como para reflejarse en ella y regresar hacia la válvula. Dicho tren de ondas se combina con las que se siguen produciendo en la misma válvula.

El fenómeno señalado se conoce con el nombre de "golpe de ariete" y debe analizarse cuidadosamente para determinar la magnitud de las presiones que genera y diseñar una tubería capaz de resistirla.

Si se trata de un cierre, se presenta, en primera instancia, una sobrepresión y se habla de un golpe positivo, así como se denomina golpe negativo a la depresión producida en la primera fase de una apertura. En general se dice que el golpe es positivo en las fases donde hay sobrepresión y negativo en las que existe una depresión.

El golpe negativo es típico en las tuberías de descarga de las bombas y se presenta en la primera fase de una falla súbita de la energía eléctrica, ya que la suspensión brusca de la carga dinámica creada por la bomba produce los efectos de una apertura en el extremo de una tubería del tipo señalado en el párrafo anterior. En este caso, es posible que se presenten depresiones que inclusive lleguen a producir cavitación, junto con otros problemas graves, como es el regreso de la columna de agua o la separación de la misma.

Como se ha dicho, la onda de presión producida por el golpe se refleja al chocar con una masa de agua de magnitud suficientemente grande, que por lo general es el embalse o el pozo de oscilación.

#### Conceptos Generales.

Flujo permanente y no permanente. Si las condiciones de flujo, tal como la presión, velocidad y descarga, no cambian con el tiempo, el flujo se denomina permanente. Si las condiciones cambian con el tiempo, el flujo se denomina no permanente. Estrictamente hablando, los flujos turbulentos siempre son no permanentes debido a que las condiciones para un punto cambian continuamente. Sin embargo, si se toman en cuenta valores medios temporales en un corto periodo, estos flujos se consideran permanentes si las condiciones medias temporales no cambian con el tiempo, entonces, podemos decir que el flujo permanente es un caso especial del flujo no permanente.

Flujo uniforme y no uniforme. Un flujo se denomina uniforme si la velocidad es constante con respecto a la distancia para cualquier instante dado. Si la velocidad varía a lo largo del conducto para cualquier instante, el flujo es no uniforme.

Flujo transitorio. Se define como flujo inestable intermedio, cuando las condiciones de flujo cambian de estado estable a otro estado estable.

Flujo oscilatorio permanente, periodo o pulsátil. Este se presenta si las condiciones de flujo se repiten en un intervalo de tiempo fijo llamado período de oscilación.

Resonancia, es el fenómeno que puede iniciarse muy gradualmente y que llega a construir un flujo oscilatorio permanente en situaciones de fluido real. La resonancia puede tomar el período del sistema o si se aplica una fuerza, se desarrollará la resonancia tomando el período de función excitatoria, éste se aproxima al período fundamental o a un armónico del sistema.

Separación de columna de líquido, se refiere a la situación de un conducto cerrado en el cual la caída de presión por debajo de la presión de vapor crea una cavidad llena de vapor, dilatándose y provocando un colapso en el conducto.

Las definiciones anteriores nos sirven de base para hacer el análisis del "golpe de ariete".

Metodología aplicable.

A continuación se hace un análisis simplificado del fenómeno del golpe de ariete.

Las ecuaciones de continuidad y dinámica se deducen considerando una reducción instantánea por medio de una válvula, y haciendo las siguientes suposiciones:

- a) Las paredes del tubo son rígidas
- b) La pérdida por fricción y pérdidas de carga menores son despreciables.
- c) El incremento de masa en el volumen de control, debido al cambio de densidad, es despreciable.

Ecuación de continuidad

De la suposición (c), la masa que entra es igual a lo que sale en el volumen de control.

$$\rho_0 A (v_0 + a) = (\rho_0 + \Delta\rho)(v_0 + \Delta v + a) A \quad (1)$$

Donde A es el área de la sección transversal del volumen de control, reacomodando la ecuación anterior queda de la siguiente manera.

$$\Delta v = - \frac{\Delta\rho}{\rho_0} (v_0 + \Delta v + a)$$

Como  $(v_0 + \Delta v) \ll a$ , entonces

$$\Delta v = - \frac{\Delta\rho}{\rho_0} a \quad (2)$$

Ecuación dinámica

De acuerdo con las suposiciones hechas, se obtiene

$$\rho_0 A - (\rho_0 + \Delta\rho) A = (\rho_0 + \Delta\rho)(v_0 + \Delta v + a)^2 A - \rho_0 (v_0 + a)^2 A$$

de la ecuación (1) y simplificando

$$\Delta\rho = -\rho_0(v_0 + a)\Delta v$$

y como  $a \gg v_0$ ,

$$\Delta\rho = -\rho_0 a \Delta v \quad (3)$$

La presión  $p$  puede expresarse en función de la carga piezométrica  $H$ .

$$\Delta\rho = \rho_0 g \Delta H$$

Sustituyendo en la ecuación (3) se obtiene la siguiente.

$$\Delta H = -\frac{a}{g} \Delta v \quad (4)$$

De la ecuación (4) se puede ver que al reducir la velocidad del flujo por medio de la válvula se incrementa la presión. Simultáneamente, si la velocidad se cambia con una válvula situada aguas arriba, la onda de presión se moverá aguas abajo; luego, el incremento de carga se representa por

$$\Delta H = \frac{a}{g} \Delta v \quad (5)$$

En este caso la presión aumenta al incrementarse la velocidad.

La celeridad de la onda de presión,  $a$ , se puede obtener en función del módulo volumétrico de elasticidad,  $K$ .

$$K = \frac{\Delta\rho}{\rho_0 \Delta v}$$

Que sustituyendo en la ecuación (2), junto con la ecuación (3) queda

$$a = \frac{K}{\rho_0} \quad (6)$$

En este caso simplificado, la celeridad de la onda de presión es solamente función de  $K$  y  $\rho_0$ .

Dispositivos de alivio de presión.

El propósito principal al analizar una u otra forma de protección en un sistema hidráulico es garantizarlo contra los tres posibles problemas de golpe de ariete: sobrepresiones, depresiones y rotación excesiva de las máquinas hidráulicas.

Cuando es posible más de una forma de protección, el proyectista debe tomar su decisión con base en otras consideraciones, que pueden ser económicas, de disponibilidad de los medios necesarios, de seguridad, dimensión, etc.

Si la tubería no soporta los vacíos, la protección antiarriete debe eliminarlos, o por lo menos reducirlos en un grado aceptable. Dicha protección debe garantizar también que las presiones máximas queden por debajo de las admisibles.

Los posibles medios antiarriete se puede dividir en dos grupos: los que tienen una acción global sobre todo el sistema hidráulico, y los que tienen una acción local.

De los medios del primer grupo se instala uno sólo en la planta de bombeo para proteger todo el sistema, mientras que los del segundo se instalan en lugares donde se producen los vacíos.

Los medios del primer grupo son:

- Cámara de Aire
- Torre de Oscilación
- Incremento de la Inercia de las Masas Rodantes

Los del segundo grupo son:

- Tanque Unidireccional (abierto o cerrado)
- Válvula de Aire
- Válvulas Anticipadoras del Golpe de Ariete

A continuación se hace una breve explicación de algunos dispositivos de alivio de presión más comunes o utilizados para amortiguar el fenómeno de golpe de ariete.

Cámara de aire.

La Cámara de Aire es un dispositivo de control especialmente indicado en perfiles con mucho desnivel. A fin de controlar adecuadamente el sistema frente a las detenciones de la bomba, la localización ideal de la Cámara de Aire es inmediatamente aguas arriba de la planta de bombeo y tan cerca de ésta como sea posible. Hay que tener en cuenta que debe colocarse una válvula de no retorno entre las bombas y la Cámara de Aire, para prevenir el posible flujo inverso a través de éstas. Para minimizar al máximo el choque que acompaña su cierre, es importante que la válvula de no retorno tenga una respuesta dinámica adecuada.

Las Cámaras de Aire se pueden diseñar con y sin estrangulamiento. Como regla general la Cámara de Aire debe poner poca resistencia a la salida del agua, con la finalidad de que proporcione rápidamente el flujo que la bomba ha dejado de suministrar. Por lo contrario la fase

de retroceso en la columna de agua puede convertir que el flujo de entrada tenga cierta cantidad de pérdidas, de esta forma coopera mejor en el amortiguamiento del transitorio.

#### Torre de Oscilación en la Planta de Bombeo.

Como ya se mencionó una solución de este tipo puede justificarse en las plantas de bombeo con cargas bajas. Los parámetros que hay que determinar son el diámetro y la altura de la torre, y las posibles pérdidas en su base, atendiendo a las siguientes condiciones:

- Que se eliminen todos los vacíos en la tubería
- Que se reduzcan las presiones máximas por debajo de las admisibles
- Que no se pierda agua por rebozo del borde superior de la Torre de Oscilación
- Que el diámetro y ante todo la altura de la Torre sean mínimos

#### Protección con Tanques Unidireccionales.

Mientras que la Cámara de Aire y la Torre de Oscilación modifican el transitorio en toda la tubería, los Tanques Unidireccionales tienen ante todo una acción local. Como regla general los Tanques Unidireccionales se ubican en los lugares de separación de columna líquida que tengan los volúmenes máximos de la burbuja de cavitación. Estos lugares son los puntos altos del perfil de la tubería.

#### Válvulas de Aire

La admisión de aire tiene una acción local como medio para evitar el vacío. Si los vacíos se producen en puntos aislados, la admisión de aire puede bastar para eliminarlos.

#### Válvulas de Admisión y Expulsión de Aire

El diseño de una proyección antiarriete con Válvulas de Aire consiste en la selección de los puntos de instalación de las mismas, y su cantidad y tamaño para cada punto seleccionado. La capacidad de una válvula para admitir o expulsar aire depende del diámetro del orificio, a través del cual el aire penetra o se expulsa.

Los proyectistas de conducciones a presión diseñan las tuberías con cierta cantidad de Válvulas de Aire. Dichas válvulas se sitúan con vistas al vaciado y llenado de la tubería, sin embargo, su acción puede tener efectos sobre los transitorios hidráulicos, por lo que debe considerarse en los análisis del golpe de ariete.

#### Válvulas de Admisión y Retención de Aire.

Además de reducir los vacíos, producen un efecto amortiguador en la fase de sobrepresión. Mientras mayor sea el volumen de aire atrapado, mayor será el efecto amortiguador de la sobrepresión. El diseño de un sistema de protección de este tipo debe resolver dos problemas complementarios:

- a) Asegurar que el aire atrapado se quede en el lugar de las Válvulas de Aire durante el transitorio (es decir, que no se traslade rápidamente por la tubería).

- b) Evacuar el aire una vez amortiguado el transitorio. El aire no evacuado puede causar problemas a la hora de arrancar la estación de bombeo y operar nuevamente la tubería.

#### Modelo Matemático.

Para resolver los problemas de transitorio a fin de conocer los efectos del "Golpe de Ariete", se utilizó el programa ARIETE V.3.4. Este es un programa para análisis de transitorios hidráulicos rápidos (golpe de ariete) en sistemas de tubería a presión. El programa simula el transitorio mostrando los resultados en forma numérica y gráfica.

El Golpe de Ariete es el término utilizado en la Hidráulica para designar los procesos de variaciones rápidas de presiones y velocidades que acompañan a cualquier cambio repentino en las condiciones de flujo. Las causas más frecuentes de estos cambios son: la parada accidental de una bomba y el cierre rápido de una válvula.

El análisis de este fenómeno es importante por tres razones fundamentales:

- Pueden producirse presiones muy altas que destruyen los conductos
- Pueden producirse presiones de vacío que imploten los conductos
- Pueden ocasionarse daños a las máquinas hidráulicas (bombas o turbinas), si éstas llegan a desarrollar en el transitorio una velocidad de giro inadmisibles.

El sistema hidráulico a analizar por el programa se considera como un conjunto de componentes o elementos (o tramos) unidos en puntos comunes llamados nudos. Se representa como nudos también a los puntos donde se conectan las bombas, tanques y los medios de control de transitorios, igual que los puntos extremos del sistema hidráulico.

Cada elemento está comprendido entre dos nudos y puede representar una tubería con características constantes en toda su extensión o algún dispositivo del sistema hidráulico como una válvula, etc. Desde el punto de vista del cálculo, el nudo se define como un punto común en el que la carga presenta un valor único para todos los elementos que éste une, es decir, las cargas en los puntos extremos de los elementos unidos al nudo son iguales entre sí o iguales a la carga en el nudo.

Para el componente o dispositivo identificado en el nudo, este programa tiene la ventaja de manejar diferentes tipos de nudo, reconoce 35 que van de 0 a 34. El tipo de nudo es un número entero que define qué componente presenta el nudo y en qué condiciones se encuentra durante el transitorio. La variedad de posibles tipos de nudos y tramos determina la capacidad del programa para analizar diferentes tipos de sistemas. De la misma manera, el programa contempla la posibilidad de trabajar con 5 tipos de tramos los cuales se mencionan a continuación:

**Tipo 0 Conducto Simple.** Es el tipo de tramo más usado y representa los conductos o tuberías del sistema de conductos.

**Tipo 1 Pérdida de Carga Concentrada.** Puede ser un diafragma o algún dispositivo que produzca pérdidas de carga localmente.

Tipo 2 Válvula de no Retorno. Se puede usar como medio de protección antiarriete situándola en tramos de la conducción donde las condiciones topográficas lo permiten.

Tipo 3 Válvula Cerrada. Es un tramo por el que no circula el agua. En redes cerradas elimina un tramo del análisis y en redes abiertas provoca la desconexión de una parte del sistema de conductos, lo que trae como consecuencia que en esa parte no se produzca el golpe de ariete.

Tipo 4 Bomba Intermedia. El primer nudo tiene que ser del tipo 32 y el segundo puede ser de cualquier tipo. Este tipo de tramo se usa cuando la tubería de succión es muy larga e interesa conocer su comportamiento hidráulico, o cuando la bomba funciona como booster situada en serie sobre una conducción.

El programa no está limitado en cuanto al tipo de red, el tipo de dispositivos que actúan conjuntamente, el modelo de conexión de sus componentes, etc. Sin diferencias en el enfoque puede analizarse el golpe de ariete en una conducción, una red ramificada o una red cerrada.

Casos sin medios de control o con diferentes protecciones pueden ser analizados. En el primer caso, el análisis detecta los problemas que pudiera presentar la instalación debido a los transitorios. Al detectar posibles problemas, el proyectista podrá analizar la posibilidad de instalar diferentes dispositivos de control (protección antiarriete) y seleccionar aquellos que le brinden mayor seguridad y economía a la obra.

La simulación se basa en un modelo matemático que se compone de las ecuaciones en derivadas parciales del transitorio en las tuberías y las ecuaciones de la operación transitoria de los dispositivos en los nudos. Las ecuaciones de las tuberías se solucionan numéricamente mediante el método de las características.

La solución considera la posibilidad de separaciones cavitacionales de la columna líquida tanto en las tuberías como en los nudos. Se acepta que la separación se produce cuando la presión tiende a descender por debajo de  $-8.00$  m de columna de agua. El programa simula los cambios en el volumen de la separación y las sobrepresiones que genera su cierre.

#### Aplicación.

Para el diseño de los primeros 2,500 m del acueducto El Encanto en Martínez de la Torre se empleó para el análisis de los fenómenos transitorios, el programa de simulación ARIETE V.3.4. Dichos resultados se muestran en las gráficas 3.2.3 a la 3.2.8.

De los resultados de las primeras corridas se observó la necesidad de cambiar la ubicación del tanque de cambio de régimen, trasladarlo del cadenamiento 2+500 al 1+820, con esta modificación se evita que la envolvente de presiones negativas se ubique por debajo de la elevación de la tubería, y así evitar cavitación en el acueducto.

La primer simulación con la nueva ubicación del tanque de cambio de régimen fue para conocer el comportamiento de los valores de las presiones, tanto positivas como negativas en la línea de conducción sin ningún dispositivo de alivio de presión.

En la gráfica 3.2.3 se muestran los resultados en los que se observa que la línea de presión mínima corta en varias ocasiones a la línea de terreno natural, prácticamente en el último tercio



del recorrido estudiado, lo cual presenta problemas de cavitación y separación de la columna líquida. En esta primer simulación que presentaron presiones máximas del orden de 130 mca al inicio, donde se ubica la planta de bombeo; se puede observar que entre más nos acerquemos al tanque de cambio de régimen, las presiones son menores.

Las siguientes simulaciones consistieron en colocar, en el acueducto, diferentes dispositivos de alivio para el transitorio, con el objetivo de reducir las presiones máximas y lograr que las presiones mínimas ubicadas bajo la línea de conducción, se encontraran por arriba de la misma.

En la segunda simulación, se utiliza una válvula de alivio de presión ubicada en la planta de bombeo lo cual, no resuelve el problema de las presiones mínimas ya que sólo reduce el valor de las cargas máximas en la cercanía de la planta. Al comparar esta gráfica con la que resultó de la simulación anterior, sin ningún dispositivo, se observa un comportamiento parecido en la línea de presión mínima, sin embargo se percibe una mejora en el comportamiento de la presión máxima.

En la tercer simulación se emplearon cámaras de aire de diferentes dimensiones, localizadas en la planta de bombeo. En la gráfica 3.2.5 se muestran los resultados de dicha simulación considerando una cámara de aire de 5 m de diámetro. Aquí se observa una mejoría tanto en la presión máxima como en la mínima, la línea de presión mínima cruza la de terreno en un tramo muy corto y al final del trayecto, en los últimos 500 m, y en cuanto a la presión máxima, se logra disminuir todavía más su efecto llevándola hasta los 105 mca. Cabe mencionar que en este caso, además de tomar en cuenta el funcionamiento hidráulico, se debe considerar el elevado costo del equipo, así como el costo de su mantenimiento, lo que lo hace una opción de profundo análisis.

Con las tres primeras simulaciones, es evidente que la problemática se concentra en las presiones negativas en el último kilómetro de la línea de conducción a presión; sin embargo, este problema se aminora considerablemente al incluir, en la simulación un tanque de oscilación en el km. 1+820 y una válvula de alivio de presión en la planta de bombeo, al realizar la comparación correspondiente (gráfica 3.2.6), se puede resaltar inicialmente que se elimina la presión negativa. En cuanto a la presión máxima, se llega a un valor de 125 mca, que es una presión aceptable. Por lo anterior, esta opción se presenta como la mejor alternativa, además de que, se de tomar en cuenta que el mantenimiento y operación que se requieren, son mínimos.

Para este caso (torre de oscilación), se efectuó el análisis para diferentes diámetros, resultando 6 m como el diámetro óptimo al haber observado una carga máxima de 5.75 m sobre el nudo, obteniéndose también a una altura de 6 m para la torre, cuyo funcionamiento incluye una válvula de alivio de presión. En ésta misma simulación, se analizó particularmente el nudo donde se encuentra la planta de bombeo, gráfica 3.2.7; y el nudo 24 ubicado en la torre de oscilación, gráfica 3.2.8. Para el primer caso se registraron presiones máximas de 135 mca, las cuales disminuyen conforme el tiempo avanza; en la gráfica se aprecia alrededor de 15 minutos de simulación y se observa la disminución gradual de las presiones.

Cabe hacer referencia en este momento, que en el caso de nuestro proyecto se recomendó por parte del organismo operador estudiar la posibilidad de utilizar tubería con ciertas características, ya que la CNA tenía en existencia dicho material, y que por cuestiones de complicación en cuanto a tiempo de suministro y considerando la urgencia de la situación, se tratara de aprovechar esa tubería en la conducción. Después del estudio correspondiente, y expuesto en los párrafos anteriores, se concluyó que efectivamente la tubería cumplía con los requerimientos del proyecto y podía ser aprovechada. También se puede mencionar aquí, el aspecto de las presiones

permisibles en las tuberías, en el caso de la tubería de asbesto-cemento, los números de clase indican la presión admisible de trabajo en  $\text{kg/cm}^2$ , tomando en cuenta que la presión de prueba en fábrica es de 3.5 veces la presión de trabajo, y por lo tanto, la presión permisible está por encima de este valor, que en nuestro proyecto fue A-7. Por otro lado, en cuanto a la tubería de acero, para un diámetro de 16", una  $f_y = 2530 \text{ kg/cm}^2$  y un espesor de 4.8 mm, la carga de trabajo es de 296 mca, mayor a 125 mca, carga máxima que se presentó en la simulación que proporcionó la mejor alternativa.

De lo anterior se concluye que de acuerdo con los datos obtenidos de las simulaciones correspondientes, la tubería utilizada cumple con los requerimientos de resistencia que el proyecto demanda, tanto en el tramo de conducción a presión, como en la conducción a gravedad, ya que en el mismo, siempre se trabaja con presiones menores a los  $70 \text{ kg/cm}^2$ .

## IV PROYECTO

### IV.1 Captación

Las obras de captación son las obras civiles y equipos electromecánicos que se utilizan para reunir adecuadamente aguas aprovechables. Dichas obras varían de acuerdo a la naturaleza de la fuente de abastecimiento, su localización y magnitud. El diseño de la obra de captación debe ser tal que se prevean las posibilidades de contaminación del agua, para evitarlas.

Es necesario desglosar el término general de "obras de captación" en el dispositivo de captación propiamente dicho y las estructuras complementarias que hacen posible su buen funcionamiento. Un dique toma, por ejemplo, una estructura complementaria, ya que su función es regresar las aguas de un río a fin de asegurar una carga hidráulica suficiente para la entrada de una cantidad predeterminada de agua en el sistema a través del dispositivo de captación. Dicho dispositivo puede consistir en un simple tubo, la pichancha de una bomba, una tanquilla, un canal, una galería filtrante, etc., y representa aquella parte vital de las obras de toma, que asegura bajo cualquier condición de régimen, la captación de las aguas en la cantidad y calidad previstas. Mientras los requisitos primordiales del dique son la estabilidad y durabilidad, el mérito principal de los dispositivos de una captación radica en su buen funcionamiento hidráulico.

Obras de captación para agua subterránea.

Las aguas subterráneas constituyen importantes fuentes de abastecimiento de agua. Tienen muchas ventajas. En general, el agua no requiere un tratamiento complicado y las cantidades de agua disponible son más seguras. A veces, el descenso de los niveles de agua en los pozos ha causado su abandono; pero en la actualidad, los modernos métodos de investigación permitirán una aproximación muy segura de los recursos de agua subterránea para una prolongada producción.

Las posibles obras de captación para este tipo de agua son:

- a) Cajas de Manantial
- b) Pozos
- c) Galerías Filtrantes

Manantiales.

Los manantiales pueden ser de filtración, de fisura o tubulares según los intersticios de donde proviene el agua y de gravedad o artesianos según su origen.

La captación puede ser mediante cajas cerradas de concreto reforzado o mampostería de piedra o tabique. El agua se debe extraer solamente con una tubería que atraviese la caja y ésta lleva una tapa movable o registro; no se requiere ventilación. Se debe excavar lo suficiente para encontrar las verdaderas salidas del agua, procurando que la entrada del agua a la caja de captación se efectúe lo más profundo posible. Se le debe dotar a la caja de un vertedor de demasías.

Dependiendo de si el manantial es de ladera (filtración o tubular) o de piso (fisura), se le tiene que proteger por medio de cunetas que intercepten los escurrimientos superficiales. Se recomienda que éstas cunetas se excaven a una distancia de 10 m de los manantiales.

## Pozos.

Un pozo es una perforación vertical, en general de forma cilíndrica y de diámetro mucho menor que la profundidad. El agua penetra a lo largo de las paredes creando un flujo de tipo radial. Se acostumbra clasificar a los pozos en "poco profundos o someros" y "profundos". Los pozos hasta 30 m de profundidad se clasifican como poco profundos y son aquellos que permiten la explotación del agua freática y/o subálvea. Los pozos someros "excavados" son los practicados con picos y palas; tienen diámetros mínimos de 1.5 m y no más de 15 m de profundidad. Para permitir el paso del agua a través de las paredes del pozo se dejan perforaciones de 25 mm de diámetro con espaciamiento entre 15 y 25 cm centro a centro. Si las paredes del pozo son de mampostería de piedra o tabique, se dejan espacios sin juntear en el estrato permeable para permitir el paso del agua. Por medio de la obra de captación se toma el agua requerida de la fuente de abastecimiento para después conducirla hasta el cárcamo en donde opera el equipo de bombeo.

De acuerdo con las características de la fuente y del proyecto, la obra de captación adquiere características propias, pudiendo consistir desde un simple tajo en la margen de un río, hasta en una presa de almacenamiento. Aunque este último caso es poco frecuente no debe descartarse la posibilidad; ello sucede por ejemplo, cuando debido a las condiciones del proyecto y después de efectuar un estudio económico éste indica que económicamente es más conveniente regar los terrenos aledaños al vaso, bombeando el agua de la presa, que construir un canal principal de gran longitud, con estructuras de cruce y en geología poco atractiva para el riego de terrenos aguas debajo de la cortina.

## Galerías Filtrantes.

La Galería Filtrante esta formada por un tubo ranurado que contiene material granular por cuya pared se filtra el agua, dicho tubo se coloca en el fondo de un cuerpo de agua natural del cual se alimenta y que se conecta a una conducción, que transportará el agua hacia un depósito de almacenamiento.

## Proyecto.

En lo que se refiere al proyecto para Martínez de la Torre, antes del desbordamiento del río, la captación consistía en tres pequeñas cajas de aproximadamente 1.0 x 1.5 m cada una, las cuales captaban los escurrimientos del cantil conformado por roca fracturada. El gasto que aportaban estas cajas era de aproximadamente 80 l/s según el Organismo Operador de la ciudad, y el gasto aportado por el manantial era de más de 200 l/s en temporada de estiaje. Con base en estos datos se contempló realizar las obras para una capacidad de 200 l/s.

En el anexo de figuras se presentan las plantas de los planos del proyecto de la captación, donde se pueden observar algunas de las características más importantes de las estructuras en cuanto a dimensiones, geometría y capacidad (figuras 4.1.1, 4.1.2 y 4.1.3).

## IV.2 Planta de Bombeo

Se define como pozo de succión o cárcamo de bombeo a la estructura de almacenamiento en donde descarga el conducto que lo alimenta, a partir de la toma o captación; y que es de donde las bombas succionan el líquido para elevarlo al nivel deseado. Consiste generalmente en un depósito enterrado construido de concreto o de mampostería cuyas dimensiones están en función de la magnitud del equipo que se vaya a instalar y del procedimiento empleado en su construcción. Además en su diseño se toma en cuenta la facilidad que se debe tener para su inspección y limpieza periódicas.

Para definir la localización del cárcamo de bombeo se deben considerar las condiciones físicas que ofrece el lugar donde ha de hacerse la instalación, y su situación con respecto a las estructuras de toma y descarga. La combinación de estas circunstancias permitirá elegir el sitio más conveniente.

El cárcamo deberá ubicarse en un lugar estable, sin peligro de derrumbes, lejos de cruces con arroyos y en general en un terreno consistente. La falta de ésta última característica se traduce en el aumento del costo de la estructura ya que no es igual excavar en un terreno rocoso que en una arcilla de cualquier tipo; se puede aseverar que para una misma profundidad los problemas de ademe serían mayores en el segundo caso.

En ocasiones, para la localización pueden influir factores especiales, como el acceso rápido a un camino existente cercano a la línea de conducción, a la facilidad para derivar la energía eléctrica de una línea que pasa en lugar próximo, etc.

Ordinariamente el sitio de la descarga está más o menos obligado y se elige antes que el del cárcamo, lo mismo que la toma, por lo que para saber la conveniencia de ubicarlo lejos, cerca o junto a una de esas estructuras, es necesario efectuar un estudio comparativo, de carácter económico, considerando las consecuencias de cada alternativa.

El equipo de bombeo lo constituyen todas las unidades (bomba motor) de bombeo instaladas para proporcionar el gasto requerido, así como los accesorios de control y protección (válvulas) antes de iniciarse la descarga común y los dispositivos de arranque y parada.

En lo que se refiere a nuestro proyecto para Martínez De la Torre, uno de los datos de proyecto más importantes es el de gasto de diseño, el cual fue de 200 l/s. Dicho caudal se bombea directamante a una torre de oscilación que se encuentra a 1,820 m de distancia del cárcamo de bombeo. El equipo de bombeo se instalará sobre la losa del cárcamo y será del tipo centrífugo vertical. Se seleccionaron equipos verticales por haber más variedad en el mercado comercial, además de la facilidad de instalación que presentan al tener el cárcamo enterrado. Otra ventaja que se consideró a favor de estos, es que al ser multipasos cualquier pequeño error de cálculo será absorbido entre el número de pasos de la bomba y el gasto entregado será prácticamente el de diseño.

Como datos importantes de proyecto se presentan a continuación algunas elevaciones para dar una idea general de la magnitud de esta parte fundamental del proyecto.

En la planta de bombeo, se parte de las siguientes cotas en msnm:

Cota de terreno en la planta	259.00
Cota de piso de operación	260.50
Cota de fondo del cárcamo	252.50
Cota de tubo de llegada	253.00

En el tanque elevado:

Cota de terreno	345.50
Cota de descarga	349.50

Niveles:

Cota de nivel máximo	254.50
Cota de nivel máximo extraordinario	258.00
Cota de diseño (arranque)	254.50
Cota de mínimo (paro)	253.90

Con estos datos podemos visualizar en forma general que la carga a vencer para el equipo de bombeo oscila alrededor de los 95 m.

Otros datos de proyecto:

Gastos:	Primera etapa	Segunda etapa
Máximo	150 lps	200 lps
Medio	100 lps	125 lps
Mínimo	50 lps	50 lps
El gasto de diseño será el máximo	200 lps	

Tipo de bombas: Centrífuga vertical tipo turbina

Conducción:	A	Torre de oscilación
	Diámetro	406 mm (16")
	Material	Acero, cédula 10
	Longitud	1820 m

Temperatura del agua:	15 °C
Temperatura ambiente:	Máxima 40 °C, Mínima 5 °C

Por otro lado, con la finalidad de tener un bombeo protegido se establecieron las siguientes características de control:

- Paro: Sensor tipo electronivel al detectar nivel bajo de agua en el tanque (en forma manual).
- Arranque: En forma manual al detectar agua en el sensor.
- Alternación: Manual, con contadores de horas en los arrancadores.
- Simultaneación: Manual, dependiendo de las necesidades de consumo.

En lo referente al número de equipos, en múltiples ocasiones se ha tratado de determinar dicho número en función del costo de la inversión, habiendo encontrado en todos los casos que el costo total no varía significativamente de un arreglo a otro, por lo que fue necesario recurrir a otras consideraciones para la selección de éste. Con objeto de contar con el menor número posible de equipos en el rebombeo, y estar en posibilidades de cumplir aproximadamente con el gasto mínimo requerido, se especifican equipos de 50 lps cada uno. Así mismo para contar con un equipo sustituto que opere en caso de falla de algún otro, se proyectaron cinco bombas en paralelo, esto es un arreglo cuatro mas uno, por lo tanto, el gasto por equipo es de 50 lps.

Para dar una idea más clara de esta parte del funcionamiento de la planta en relación con la fuente de abastecimiento, en la figura 4.2.1 se puede observar el plano funcional de la planta de bombeo, elaborado para el proyecto.

### IV.3 Línea de Presión

En un conducto a presión con escurrimiento permanente cualquier problema hidráulico se puede resolver con las ecuaciones de continuidad, de Bernoulli y de impulso. En la aplicación de estas ecuaciones, la complejidad del tratamiento tridimensional se puede evitar mediante valores medios de las variables características del flujo. En la ecuación de Bernoulli la carga de presión y de posición se miden al centro del conducto. Con respecto a la velocidad, se utiliza una distribución uniforme de velocidades de magnitud igual al de la velocidad media; el error que se cometa con esa simplificación se corrige con los coeficientes de Coriolis o Boussinesq, según sea el caso. En la evaluación de estos coeficientes se requiere el conocimiento previo de la distribución de velocidades en cada sección; en la mayoría de los problemas de la hidráulica, los escurrimientos son turbulentos y es común considerarlos igual a la unidad. Sin embargo hay que tener presente que es posible inducir un error, sobre todo en escurrimientos no turbulentos donde existan problemas locales de separación de otra índole, que modifiquen completamente el perfil de velocidades respecto del uniforme. A menos de ser indispensable, es común suponer que ambos coeficientes valen la unidad y que son más importantes otros factores, que el error que por este concepto pueda cometerse.

En general, cualquier sistema de ecuaciones debe plantearse entre secciones finales donde las condiciones de frontera queden bien definidas, esto es, donde se conozca la energía total y las proporciones que la constituyen: energía de posición, presión y cinética. Dichas secciones pueden ser:

- a) La superficie libre del líquido en un recipiente al cual se conecta un conducto.
- b) La sección inicial de un chorro descargado por un chiflón a la atmósfera, o a un recipiente lleno de un gas a presión constante.
- c) La salida de las conducciones que descargan a la atmósfera o a recipientes cuya carga hidráulica sobre el conducto sea conocida o pueda valuarse.
- d) Secciones intermedias de una conducción donde concurren varios tramos, en los cuales la energía es la misma para todos.

#### Conductos simples

En un conducto simple se pueden presentar dos tipos de problemas, de revisión o de diseño, como ya se mencionó, cualquiera que sea el caso, se puede resolver con las ecuaciones de continuidad y de la energía. Para la figura 4.3.1 las ecuaciones quedarían:

$$Q = A_s V_s \quad (1)$$

$$H = (Z_1 + P_1/\gamma + V_1^2/2g) - (Z_2 + P_2/\gamma) = \Sigma hf + \Sigma h_2 + V_s^2/2g \quad (2)$$

O bien

$$H = h_f + h_R + h_e + h_a + h_r + h_c + h_s \quad (3)$$



Donde

- H - Desnivel entre las superficies libres del agua en los dos recipientes, en m. Si la descarga aguas abajo es a la atmósfera, el desnivel se medirá desde la superficie libre del agua en el recipiente aguas arriba, hasta el centro de gravedad de la sección final de la tubería.
- $h_f$  - Pérdida por fricción en todo el conducto
- $h_R$  - Pérdida por rejilla
- $h_e$  - Pérdida por entrada
- $h_v$  - Pérdida por válvula
- $h_a$  - Pérdida por ampliación
- $h_r$  - Pérdida por reducción
- $h_c$  - Pérdida por cambio de dirección
- $h_s$  - Pérdida por salida en el caso de descarga a otro recipiente. Cuando la descarga es libre la carga de velocidad se considera como la energía final
- $V_s$  - Velocidad en el tramo final de la tubería, en m/s
- $A_s$  - Área en el tramo final de la tubería, en  $m^2$

Las pérdidas de energía se pueden expresar en términos de la carga de velocidad dentro del tramo de sección constante si la pérdida es por fricción, o aguas abajo del punto donde se produce, si la pérdida es local.

En general, las pérdidas locales o menores son el resultado de turbulencias en pleno desarrollo y están expresadas en función de la carga de velocidad afectada por un coeficiente  $K_\lambda$ , llamado coeficiente de resistencia hidráulica, que depende del tipo de pérdida y de la forma del tubo. De esa manera, la ecuación de la energía contendrá los valores de la velocidad en varios tramos del conducto, mismos que pueden sustituirse por la velocidad en un solo tramo, con la ecuación de continuidad.

Conocidos H y la rugosidad relativa,

$$(\epsilon / D) i \quad (4)$$

y la geometría del conducto, calcular Q. Se utiliza la ecuación (5):

$$V_s = \sqrt{2gH / (1 + \sum (f_i L_i / D_i) A_s^2 / A_i^2 + K \lambda_i A_s^2 / A_i^2)}$$

Siendo

- $f_i$  Coeficiente experimental, adimensional, llamado de fricción, el cual depende de la naturaleza del líquido circulante, del material de que está constituido el conducto y para estas condiciones, también es función del diámetro y de la velocidad
- $L_i$  Longitud del conducto, en m
- $D_i$  Diámetro del conducto, en m
- $K_{\lambda i}$  Coeficiente de resistencia hidráulica

Siendo el procedimiento, el siguiente:

- a) En la tabla 4.3.1 se presenta el valor de la rugosidad absoluta ( $\epsilon$ ) en mm, para distintos materiales de tubos.
- b) Con la expresión (4) se estiman los  $f_i$ , comenzando con el valor correspondiente a flujo totalmente turbulento en el diagrama de Moody.
- c) Donde exista pérdida local se calculan los  $K_{\lambda i}$ .
- d) Con la ec. (5) se calcula la velocidad en el tramo final de la tubería.
- e) Con la ec. (1) se calcula el gasto y con él todas las  $V_i$ .
- f) Con la ecuación  $Re = VD/v$  se obtiene el número de Reynolds y se calculan los nuevos valores de  $f_i$  (siendo  $v$  la viscosidad cinemática del líquido circulante en  $\text{cm}^2/\text{s}$ ).
- g) El proceso termina cuando las  $f_i$  no cambian en dos iteraciones consecutivas.

Para el caso del acueducto en estudio, se presenta a continuación una serie de características de la línea, resultado del diseño y el análisis hidráulico de la misma.

El diámetro de la línea es de 406 mm (16") en una longitud total de 2,800 m. El material que se utilizó para este tramo de la línea fue acero con un espesor de 1/4". La línea será enterrada en toda su longitud para este tramo del proyecto.

En cuanto al recubrimiento anticorrosivo exterior a emplear en la tubería se recomendó utilizar una capa de Primario Inorgánico de Zinc Poscurado RP-3 a un espesor de película seca por capa de 0.003"; dos capas de Acabado Epóxico Catalizado RA-21 a un espesor de película seca por capa de 0.002", dando un espesor total de 0.004"; el procedimiento de aplicación de ambos recubrimientos será realizado por aspersión.

Para el recubrimiento anticorrosivo interior se recomendó emplear una capa de Primario Epóxico Catalizado RP-6 a un espesor de película seca por capa de 0.002" y dos capas de Acabado Epóxico Catalizado de Altos Sólidos RA-26 a un espesor de película seca por capa de 0.005" en color blanco, código Munsell Número N 9.5 dando un espesor total de 0.012".

Por otro lado, las especificaciones de soldadura para la tubería de acero del acueducto son, para el proceso de soldadura, arco eléctrico manual (SMAW); material, acero al carbono A-53 GR.B; diámetro y espesor de pared, 406 mm y 4.9 mm respectivamente; diseño de la junta, en "v" sencillo a tope y 60 grados; material de aporte, E-6010; No. F, 3; diámetro de los electrodos, 3.1 mm, fondo 3.9 mm relleno; Mca, AGA o similar; posición de la ranura del tubo, 5G; polaridad, CD directa; limpieza, carda y esmeril; No. pasos, múltiple; lapso de tiempos entre pasos, continuo; electrodos, múltiple; precalentamiento y relevado de esfuerzos, no aplicable. Las características eléctricas son 3.1 mm con un voltaje en DC de 30 y un amperaje en DC de 110; para 3.9 mm el voltaje en DC es de 35 y el amperaje en DC es de 200.

Con respecto de los atraques a lo largo de la línea, éstos se diseñaron de acuerdo a la carga hidrostática y deflexión en la tubería teniendo tres casos: atraque con deflexiones horizontales, atraques con deflexión vertical hacia arriba y atraques con deflexión vertical hacia abajo.

Para el cálculo de las pérdidas en la conducción, se utilizó la fórmula de Darcy-Weisbach que se recomienda para el cálculo en tuberías, ya que además de tomar en cuenta las características de la tubería, considera la velocidad y la viscosidad del fluido que circula dentro de ella.

$$h_f = f(L/D) (V^2/2g)$$

donde:

f = Coeficiente de rugosidad, adimensional

L = Longitud de la tubería, en m

D = Diámetro de la tubería, en m

V = Velocidad del flujo en la tubería, en m/s

g = Aceleración de la gravedad, en m/s<sup>2</sup>

En la tabla 4.3.2 se muestra el análisis para el tramo a bombeo, donde se requieren 95 m de carga de bombeo para vencer el desnivel y las pérdidas por fricción, que son de 7.13 m, se llega con una carga de 3.21 m a la torre de oscilación. En la gráfica 4.3.1 se observa el comportamiento de la línea piezométrica y también se puede apreciar en el anexo de figuras, uno de los planos de la línea de conducción de este tramo, donde se muestran datos de proyecto, la planta y la elevación piezométrica del mismo (Figura 4.3.2).

## IV.4 Torre de Oscilación

Cámaras de oscilación.

Una cámara de oscilación es un tubo vertical o una chimenea conectado a la tubería de presión. Comúnmente, la cámara de oscilación se usa para reducir o eliminar transitorios indeseables, tal como presiones excesivas, separación de columna, y sobrevelocidad en bombas o turbinas seguida de una falla de potencia o un rechazo de carga.

Funcionamiento.

Las funciones principales de una cámara de oscilación son:

1. Reducir la amplitud de las fluctuaciones de presión reflejando las ondas de presión que llegan a ella. Por ejemplo, las ondas del golpe de ariete producidas en el tubo de presión por cambios de carga en la turbina se reflejan hacia la cámara. Con ello, la longitud del conducto que se usa para analizar el golpe de ariete se toma entre la turbina y la cámara, más que entre la turbina y el embalse. Debido a esta reducción en la longitud del conducto, el incremento o decremento de presión es menor que si la cámara no se instalara. En suma, si la cámara de oscilación no se instala en la unión del tubo de presión y el túnel, éste se deberá diseñar para resistir las presiones del golpe de ariete.
2. Una cámara de oscilación mejora las características de regulación de una turbina hidráulica. Debido a la instalación de la cámara, la longitud del conducto que se considera para determinar el tiempo de aceleración hidráulica, se toma desde la turbina hasta la cámara de oscilación, y no desde la turbina hasta el embalse. Por lo tanto, el tiempo de aceleración hidráulica de un sistema de potencia se reduce, lo cual mejora las características de regulación de la planta.
3. Una cámara de oscilación actúa como un almacenamiento para el exceso de agua durante un rechazo de carga en una planta hidroeléctrica, y durante el encendido de las bombas en una estación de bombeo. Con base en esto, el agua se acelera o desacelera lentamente en la tubería de presión y se reduce la amplitud de las fluctuaciones de presión en el sistema.

Tipos de cámaras de oscilación.

- a) Cámaras de oscilación simple. Este tipo de cámara, que es simplemente un tubo vertical conectado a la tubería, resulta conveniente en sistemas con baja carga y corta longitud de conducción.
- b) Cámara de oscilación con orificio. En esta cámara, la entrada está restringida por medio de un orificio.
- c) Cámara de Oscilación diferencial. Al añadir un tubo central (“riser”) en el orificio, se obtiene una cámara diferencial.
- d) Cámara de aire. Este tipo de cámara contiene aire comprimido en la parte superior y líquido en la parte inferior.

e) Cámara de oscilación compuesta. La cámara compuesta consta de una galería superior y otra inferior.

En la figura 4.4.1 se muestran esquemáticamente los tipos de cámaras de oscilación.

Localización de cámaras de oscilación.

Una cámara de oscilación debe colocarse lo más cerca posible, que la topografía local lo permita, de la turbina. Esto es para que las variaciones de presión por golpe de ariete queden limitadas de tal manera que no sea necesario un esfuerzo excesivo de la tubería de presión.

Consideraciones de diseño para operación transitoria de plantas hidroeléctricas:

Diseño de Casos de Rechazo de Carga. Cuando se analizan los efectos de rechazo de carga se consideran el embalse en su nivel máximo y un cambio de demanda desde producción completa hasta producción nula. Con lo anterior se puede determinar la oscilación máxima hacia arriba. El rechazo total también se analiza con el embalse en su nivel mínimo de producción. La máxima oscilación hacia abajo puede quedar definida por dicha operación. En plantas de una sola turbina conviene analizar la eventualidad de una falla que produzca rechazo total, momentos después de haberse iniciado la producción. Se considera que la falla ocurre cuando el nivel en la cámara está en su máximo correspondiente a oscilaciones por abertura.

Diseño de casos de demanda de carga. Al analizar casos de aumento en la demanda (abertura) conviene considerar el mínimo nivel de operación del embalse; con esto se obtendrá la máxima oscilación hacia abajo. El incremento de demanda por considerar varía las condiciones de operación de la planta. Generalmente no es necesario tomar en cuenta un cambio de 0 a 100 por ciento de producción, sino de un valor intermedio (25, 50 y 75 por ciento) a producción total; con lo anterior se podrá apreciar mejor la estabilidad de la cámara de oscilación. Para plantas de alta producción o interconectadas, conviene considerar un aumento desde el 50 o 75 hasta el 100 por ciento de producción total, a diferencia de esto, en plantas para abastecer picos de demanda, conviene el diseño con aumentos del 25 por ciento y, en algunos casos del 0 al 100 por ciento de producción.

Análisis de estabilidad.

Las dimensiones de una cámara de oscilación deben ser tales que la hagan estable para cualquier cambio en la demanda, esto es, las oscilaciones en la cámara deben ser amortiguadas. Conviene que el tiempo de amortiguamiento sea corto; esto equivale a que la relación entre un tiempo máximo y el anterior (relación de amortiguamiento) sea pequeña. Las oscilaciones no deben ser tan grandes respecto a la carga total, al grado que provoquen dificultad en establecer una nueva producción.

A continuación se presenta una serie resultados obtenidos a partir del análisis y memoria de cálculo para el diseño de la torre de oscilación de nuestro proyecto.

De acuerdo al estudio de mecánica de suelos se llegó a las siguientes características:

Capacidad del suelo:	12.00 Ton/m <sup>2</sup>
Profundidad de desplante:	-1.50 m
Peso muro Wm:	4.68 Ton/m
Análisis sismo Ws:	8.40 Ton/m
Momento en el muro Ma:	1.52 Ton-m/m

#### Características de la Torre

Tirante	5.75 m
Radio interior	3.00 m
Espesor de la pared de la torre	0.30 m
Radio medio	3.15 m

#### Acero de Refuerzo

Acero por tensión:	Vars # 4 @ 24 cm (circulares)
Acero por flexión:	Vars # 5 @ 20 cm (cara interna)
Acero vertical por sismo:	Vars # 4 @ 89.2 cm/cara

#### Volúmenes de Concreto

Concreto cilindro	38.60 m <sup>3</sup>
Concreto cimentación	23.60 m <sup>3</sup>
Cimbra cilindro	257.30 m <sup>2</sup>
Cimbra cimentación	9.40 m <sup>2</sup>

## IV.5 Conducción por gravedad

Se denomina "línea de conducción" a la parte del sistema constituida por el conjunto de conductos, y accesorios destinados a transportar el agua procedente de la fuente de abastecimiento, desde su lugar de la captación hasta un punto que puede ser un tanque de regularización, a un cárcamo para una segunda conducción, o a una planta potabilizadora.

Fue precisamente la necesidad de conducir el agua a lugares apartados, lo que dio lugar a los acueductos de tipo romano. La imposibilidad, en aquéllos tiempos, de conducir el agua a presión, obligó a realizar obras de ingeniería, verdaderas obras de arte, para conducir el agua por gravedad con pendientes hidráulicas muy pequeñas, en forma de canal cerrado o abierto.

En México son clásicos tres ejemplos de obras colosales de conducción recientes: el acueducto para la conducción de las aguas del Sistema Lerma (60.117 km); el acueducto Linares-Monterrey y las obras del Sistema Cutzamala. La etapa del acueducto Linares-Monterrey que empezó a funcionar en 1984 está compuesto por una línea de conducción de tubería de 2.10 m de diámetro y 135 km de longitud, más una conexión a la Presa de la Boca de 5 km, 113 km de esta conducción son de tubería de concreto; incluidas una serie de estructuras especiales de cruce con los ríos, arroyos y vías de comunicación, se instalaron 25 km de tubería de acero.

Por su parte, el Sistema Cutzamala, cuyo caudal es conducido hasta el área metropolitana de la Cd. de México, cuenta con 6 plantas de bombeo, 2 acueductos paralelos de 100 km cada uno, dos túneles con longitud de 19 km y un canal cubierto de 7.5 km de longitud.

En cuanto a la línea de conducción del proyecto que se presenta en este trabajo, se muestran a continuación una serie de datos y aspectos generales del mismo.

La conducción es de asbesto-cemento en diámetros de 16", 14" y 12" al llegar a la ciudad. Para el cálculo de las pérdidas en la conducción, se utilizó; como en el caso del tramo a presión, la expresión de Darcy-Weisbach. En este caso la rugosidad empleada en el cálculo fue de 0.000025 m. En la tabla 4.5.1 se muestra el análisis del tramo a gravedad hasta el sitio de conexión, en este punto la especificación de la tubería de asbesto-cemento (A-C) existente es A-7, que limita la presión de trabajo máximo a 70 mca, por este motivo es indispensable contar con la caja rompedora de presión. En la gráfica 4.5.1 se observa el comportamiento de la línea piezométrica.

En lo que se refiere a la tubería de asbesto-cemento, se especificó que se tomaran en consideración los siguientes aspectos generales para su instalación. Una vez terminado el junteo de la tubería y anclada provisionalmente, se procederá a probarla con presión hidrostática de acuerdo con la clase de tubería de que se trate. Esta prueba se hará después de transcurridos siete días de haberse construido el último atraque de concreto. La tubería se llenará lentamente de agua y se purgará el aire entrampado en ella mediante la inserción una de válvula de aire en la parte mas alta de la tubería. Una vez que se haya escapado todo el aire contenido en la tubería, se procederá a cerrar las válvulas de aire y se aplicará la presión de prueba mediante una bomba adecuada para pruebas de este tipo, que se conectará a la tubería. Una vez alcanzada la presión de prueba se sostendrá esta continuamente durante dos horas cuando menos o durante el tiempo necesario para revisar cada tubo, las juntas, válvulas y piezas especiales a fin de localizar las posibles fugas; en caso de que existan estas se deberá medir el volumen total que se fugue en cada tramo probado, el cual no deberá de exceder, salvo que existan especificaciones expresas para una obra determinada, de las fugas tolerables que se señalan a continuación:

Presión de prueba Kg./cm. <sup>2</sup>	Fugas máximas por cm. de diámetro del tubo litros /24 horas/km.
10.50	94
8.75	86
7.00	77
5.25	66
3.50	54

Durante el tiempo que dure la prueba deberá de mantenerse la presión manométrica prescrita. Preferiblemente se calafatearán y apretarán nuevamente las juntas y conexiones para reducir al mínimo las fugas. La longitud de prueba se sugiere que pudiese estar comprendida entre 1,000 y 5,000 metros.



#### IV.6 Caja Rompedora de Presión

Las recomendaciones que se tomaron en cuenta para el diseño de la caja rompedora de presión de concreto reforzado, se basan en el método de esfuerzos permisibles. Algunos de los principios fundamentales de este método nos llevan a considerar aspectos como los siguientes: Las paredes de la caja se deben diseñar para resistir el peso del tanque, la presión de la columna de agua y los efectos del viento y del sismo. A continuación se presentan algunos datos referentes al diseño de la caja de nuestro proyecto.

La estructura se diseñó considerando su propio peso, una carga viva de 120 kg un claro de 6.25 x 4.25 m, todos los muros, así como la losa de cimentación y el muro vertedor, serán de 20 cm de espesor con varillas # 4 @ 25 cm en dos lechos y dos direcciones.

La losa tapa se diseñó de acuerdo a las normas técnicas complementarias del reglamento de construcción del Distrito Federal y se obtuvo un refuerzo # 3 @ 20 cm para ambos sentidos; y un peralte de 18 cm.

ESTADO DE GUERRERO  
SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS

## V. PROGRAMA DE CONSTRUCCIÓN Y ANTEPRESUPUESTO

### Programa de Construcción.

Uno de los trabajos principales que se debe realizar cuando se inicia la preparación de un estimado es hacer un programa de la operación propuesta y establecer un plan tentativo para hacer el trabajo. Esta actividad se fundamenta en el estudio de planos y especificaciones en detalle, el cual debe continuar lo suficiente para establecer un programa tentativo de avance para los aspectos de trabajo más importantes o decisivos.

Este programa debe mostrar todos los renglones que afecten el avance del trabajo y considera la duración de la temporada de construcción (si es aplicable) en el lugar en particular. Cuando este sea el caso, el programa debe tomar nota de la fecha más ventajosa o de la fecha requerida para los trabajos de las primeras etapas, como es, por ejemplo, la desviación de las aguas de un río para una presa; cuando se pueda obtener la entrega de equipo nuevo o especializado de construcción de planta; posibles fechas de entrega para partidas de importancia crítica de materiales permanentes proporcionados por el contratista; fechas de entrega de partes importantes de equipo permanente que vayan a ser entregadas por el propietario; y otros factores esenciales. Con base en las fechas precedentes, deben determinarse los ritmos de producción para los elementos importantes de trabajo. Del mismo modo, también debe determinarse el tipo, número y tamaño de varias unidades de equipo de construcción de planta y equipo necesario para completar el trabajo, según lo indique el programa.

Con base en el programa de avance, debe anotarse una breve descripción del trabajo, la cual debe llamar la atención de características indefinidas, riesgosas o inciertas, así como de elementos que sea probable aumenten o disminuyan en cantidad. También la descripción debe incluir una relación de necesidades de recursos financieros derivadas de ingresos y egresos programados.

El programa de construcción consiste en ordenar las diversas operaciones, comprendidas en la construcción de un proyecto, en la secuencia requerida para lograr su terminación en el mínimo periodo que sea económicamente viable. Para asegurar la terminación del trabajo dentro del tiempo límite estipulado por el contrato, y para reducir el tiempo requerido para realizarlo, es necesario programar cada unidad del proyecto y relacionarla con todas las otras. Para un proyecto en construcción, la reducción del tiempo de terminación de los trabajos significa reducir los cargos del interés sobre el efectivo invertido. Asimismo, cuanto más corto sea el tiempo para terminar el trabajo, menores serán los gastos de supervisión, administración y generales.

### Antepresupuesto.

Se define como antepresupuesto a la suposición del valor de un producto para condiciones indefinidas, y a un tiempo mediano. De la definición de las condiciones a un tiempo determinado, dependerá la cercanía al valor real del producto; mientras que el presupuesto se define como la suposición del valor de un producto para condiciones definidas a un tiempo inmediato.

Se utilizan innumerables métodos y procedimientos para la elaboración de presupuestos en el campo de la construcción dentro de los cuales destacan el método volumétrico y el paramétrico. En el método volumétrico, la técnica americana para presupuestos aproximados utiliza medidas de volumen, que creemos sea más cercano a la realidad que el metro cuadrado de superficie

cubierta. Por otro lado, el método paramétrico es más utilizado para el caso de construcciones repetitivas y principalmente para proyectos de viviendas construidas a través de métodos tradicionales, se recomienda averiguar el costo directo, a través del método de Factores Parámetros, a fin de consignar los valores de los integrantes fundamentales de este tipo de edificaciones (considerados "Puestos en obra"), así como la cantidad en la que intervienen en la construcción de la misma.

En el caso de nuestro proyecto en la tabla 5.1 se muestra el programa de construcción de obra del acueducto proyectado para Martínez de la Torre en el que se tratan como conceptos, estructuras o partes generalizadas del proyecto que incluirían cada uno de ellos una gran cantidad de conceptos si se analizaran de forma completa, pero se compendia de esta manera con la finalidad de tener una visión total de la magnitud de este programa. También se presenta, en las tablas 5.2 a la 5.6 parte del antepresupuesto elaborado para este proyecto.

## VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Durante los últimos años se han vivido en nuestro país una serie de situaciones emergentes con la llegada de la época de lluvias que han dado lugar a consecuencias desastrosas en diferentes puntos del territorio nacional. Si bien es cierto que han habido cambios climatológicos importantes como resultado de los diferentes fenómenos que ocurren en nuestra atmósfera, también es cierto que la gran cantidad de tragedias en pueblos y ciudades del país se deben al desmedido y descontrolado crecimiento poblacional. Podemos ver con mucha frecuencia que pueblos enteros son arrastrados por corrientes de agua los cuales se establecieron en determinado lugar ignorando que éste era el cauce o las márgenes de una corriente natural; y al surgir un escurrimiento extraordinario, es lógico que éste busque el camino que a través de mucho tiempo formó. Por otro lado también tenemos el caso del crecimiento de las ciudades en donde la mancha urbana va quitando terreno a zonas vegetales. Donde antes el agua se infiltraba y se estancaba en depósitos naturales, ahora se dan escurrimientos con mayor libertad gracias a superficies pavimentadas y ausencia de áreas de vegetación; y a consecuencia de esto, se presentan las grandes inundaciones, la incapacidad de los sistemas de drenaje pluvial para conducir las aguas y la desgracia en colonias enteras donde el agua y el lodo llegan hasta el interior de las viviendas. Es por todo esto que se hace un llamado a la autoridad a tener más cuidado y a poner mayor atención y vigilancia a los asentamientos irregulares y al crecimiento urbano en la periferia de las ciudades.

Participar en este trabajo fue una experiencia muy importante en mi desarrollo profesional, desde mi participación en trabajos de gabinete realizando cálculos y aplicando conocimientos básicos estudiados en la universidad, hasta los recorridos de campo en donde se hacían modificaciones al trazo de la línea de conducción o se visitaba algún sitio conflictivo para la construcción de determinada estructura. A lo largo de la carrera en la facultad, los profesores comparten una gran cantidad de conocimientos y experiencias que se presentan en la realización de un proyecto de ingeniería; pero muchas veces, desde el salón de clases no se alcanza a percibir la trascendencia de aspectos tan importantes como el social o el político que en muchas ocasiones alteran considerablemente la planeación de los proyectos. En cuanto al aspecto social la autoridad debe tener mucho cuidado al explicar a los habitantes de un lugar las repercusiones que dicho proyecto traerá al lugar que habitan, exponiendo los beneficios así como las alteraciones más importantes; por lo tanto, es indispensable la comunicación continua y el interés por parte de dicha autoridad por la población.

Por otro lado, en cuanto al aspecto puramente político, es importante que las autoridades en nuestro país tomen mayor conciencia de su responsabilidad en lo que se refiere a los proyectos sociales. Dejar a un lado los protocolos y las reverencias políticas, sobre todo si existe la urgencia de resolver un problema de una zona que quedó incomunicada o si se interrumpió un servicio tan importante como es el de abasto de agua potable o de energía eléctrica. Ya no pueden seguir los tiempos en que el gobierno quiera oír aplausos por la solución de un problema mientras las carencias en muchos otros lugares siguen creciendo. Si todo esto es un gran obstáculo que retarda la realización de un proyecto que se da en condiciones normales, peor es el atraso y la gravedad del problema cuando el proyecto se desarrolla en condiciones de emergencia.

De este tipo de fenómenos naturales también tiene mucho que aprender el gremio de los ingenieros, tenemos que tener una mayor participación con las autoridades dando asesoría en cuanto al riesgo o peligro que puede significar para las poblaciones la falla de una estructura

importante en el caso de que se presenten condiciones extraordinarias en su funcionamiento; y sobre todo, este tipo de acontecimientos, nos debe hacer reflexionar sobre nuestra ética y responsabilidad al momento de proyectar o construir una estructura, dejar a un lado la corrupción y los intereses personales tomando en cuenta que al ahorrar unos pesos en beneficio de alguien, mucha gente puede perder lo poco que tiene e incluso hasta la vida.

Finalmente, como ya lo mencioné, este proyecto fue de gran trascendencia en mi desarrollo profesional, ha sido una gran oportunidad de aprender, comenzar a desenvolverme en el campo de la ingeniería; y sobre todo, ha sido muy importante tener la oportunidad de presentarlo como mi proyecto de tesis, principalmente porque no es un trabajo que se queda como un plan, como un cúmulo de ideas y conocimientos o como una propuesta teórica, sino que es un proyecto real, que se construyó y que actualmente se encuentra en funcionamiento y cubriendo una necesidad social primordial.

“Zedillo viajó a Veracruz con los secretarios Carlos Jarque y Carlos Ruiz Sacristán, además del ingeniero Guillermo Guerrero Villalobos. Apenas una estancia de poco mas de tres horas, entre otras visitas, un vuelo largo hasta Martínez de la Torre para la puesta en marcha del sistema de agua potable en el manantial El Encanto”

Fuente: Excelsior 23 de Junio de 2000

## **ANEXO DE TABLAS**

**Tabla 1.1 Ciclones Tropicales en el Atlántico Durante 1999**

Evento	Nombre	Categoría	Fechas	Vientos máx Km/h	Presión min hPa	Duración Horas	Recorrido Km	Distancia más cercana a México km	Región origen
1	Arlene	Tormenta	11-17 Junio	100	1000	150	1620	2630 ENE QRoo	ATL
2	DT 2	Depresión	2-3 Julio	55	1004	6	105	20 S Tuxpan (TIERRA)	GFO
3	Bret	Huracán IV	18-24 Agosto	220	945	120	1405	100 N Matamoros (TIERRA)	GFO
4	Cindy	Huracán IV	18-31 Agosto	220	944	300	6105	2990 ENE QRoo	ATL
5	Dennis	Huracán II	23 Agosto-5 Sept.	165	962	300	3762	1170 E QRoo	ATL
6	Emily	Tormenta	24-28 Agosto	100	1004	90	1830	3085 E QRoo	ATL
7	DT 7	Depresión	5-8 Septiembre	55	1005	42	515	65 E Cd. Victoria (TIERRA)	GFO
8	Floyd	Huracán IV	8-17 Septiembre	250	921	228	4890	1115 NE QRoo	ATL
9	Gert	Huracán IV	11-23 Septiembre	240	930	288	7130	2535 ENE QRoo	ATL
10	Harvey	Tormenta	19-21 Septiembre	95	995	65	1320	405 NNE Yuc	GFO
11	DT 11	Depresión	4-6 Octubre	55	1002	48	457	90 NE Coatzacoalcos (FTE INF)	GFO
12	DT 12	Depresión	5-8 Octubre	55	1007	64	511	4115 E QRoo	ATL
13	Irene	Huracán II	13-18 Octubre	170	958	132	3918	320 E Cancún	CAR
14	José	Huracán II	17-25 Octubre	160	977	180	4485	2130 E QRoo	ATL
15	Katrina	Tormenta	28 Oct-1 Nov	65	999	96	1640	45 NNW Chetumal (TIERRA)	CAR
16	Lenny	Huracán IV	13-21 Noviembre	240	934	192	3145	725 SE Cozumel	CAR

**Tabla 1.2 Boletines y Avisos por Ciclón en la Temporada de 1999 en el Atlántico**

Nombre	Etapa y Categoría	Periodo	Boletines y Avisos			Total
			Vigilancia Permanente	Alerta Preventiva	Avisos de Alerta	
			Subtotal	Subtotal	Subtotal	
1. Arlene	TT	11-17 Jun	14	26	-	40
2. DT-2 *	DT	2-3 Jul	-	-	3	3
3. Bret *	H4	18-24 Ago	13	1	48	62
4. Cindy	H4	18-31 Ago	26	51	-	77
5. Dennis	H2	23 Ago-5 Sep	24	52	-	76
6. Emily	TT	24-28 Ago	9	16	-	25
7. DT-7 *	DT	5-7 Sep	5	-	15	20
8. Floyd	H4	7-17 Sep	20	37	-	57
9. Gert	H4	11-23 Sep	24	45	-	69
10. Harvey	TT	19-21 Sep	6	13	-	19
11. DT-11 *	DT	4-6 OCT	5	-	17	22
12. DT-12	DT	5-8 Oct	7	13	-	20
13. Irene	H2	13-? Oct	11	16	10	37
14. José	H1	17-25 Oct	16	31	-	47
15. Katrina*	TT	28 Oct-1 Nov	9	8	17	34
16. Lenny	H4	13-21 Nov	17	33	-	50
<b>Total</b>			<b>206</b>	<b>342</b>	<b>110</b>	<b>658</b>

(\*) Entraron a tierra o afectaron directamente en México.

**Tabla 1.3 Clasificación de las Ondas Tropicales por su Intensidad de Lluvia en México Durante 1999**

Categoría	Denominación	Lluvia máxima en 24 h
1	Escasamente activa	Menor a 50 mm
2	Poco activa	De 50 a 99 mm
3	Moderadamente activa	De 100 a 149 mm
4	Activa	De 150 a 199 mm
5	Muy Activa	Mayor a 200 mm

(FUENTE: SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL Diciembre de 1999).



**Tabla 1.4 Resumen de las Ondas Tropicales Durante la Temporada de Lluvias de 1999**

OT No.	Fecha	Lluvia máxima enmm, en 24 horas por edo.	Clasificación	Evolución e interacción
1	Mayo 23-24	151 Tabasco	4	
2	Junio 1-4	83 Chiapas	2	
3	Junio 6-7	140 Guerrero	3	
4	Junio 10-12	99 Oaxaca	2	
5	Junio 13-15	188 Guerrero	4	DT 1E- Adrián
6	Junio 16-17	246 Veracruz	5	
7	Junio 20-23	123 Chiapas	3	
8	Junio 23-25	379 Oaxaca	5	
9	Junio 25-27	201 Guerrero	5	
10	Junio 26-28	88 Chiapas	2	
11	Junio 29-30	317 San Luis Potosí	5	
12	Junio 30-julio 1	153 Oaxaca	4	DT 2
13	Julio 4-5	223 Guerrero	5	
14	Julio 5-8	275 Veracruz	5	DT 2E-Beatriz
15	Julio 11-12	164 Oaxaca	4	DT 3E
16	Julio 14-17	104 Chiapas	3	
17	Julio 17-20	116 Yucatán	3	DT 4E
18	Julio 20-23	100 Oaxaca	3	DT 5E-Calvin
19	Julio 25-28	44 Chiapas	1	DT 6E
20	Julio 29-agosto 1	128 Chiapas	3	DT 8E-Eugene
21	Agosto 3-5	83 Chiapas	2	DT 7E
22	Agosto 7-9	123 Oaxaca	3	DT 9E
23	Agosto 11-14	80 Chiapas	2	DT 10E-Fernanda
24	Agosto 14-18	160 Chiapas	4	DT 11E
25	Agosto 19-23	381 Nuevo León	5	
26	Agosto 21-24	135 Guerrero	3	
27	Agosto 24-27	113 Veracruz	3	
28	Agosto 27-30	142 Chiapas	3	
29	Agosto 31-Sep 4	400 Colima	5	DT 7/DT 12E-Greg
30	Sep 5-6	248 Tamaulipas	5	
31	Sep 7-10	138 Oaxaca	3	
32	Sep 11-14	217 Oaxaca	5	DT 13E-Hilary
33	Sep 27-28	263 Veracruz	5	Interacción con FF 4
34	Sep 28-30	162 Tabasco	4	
35	Oct 1-4	420 Puebla	5	DT 11 / Interacción con FF 5

**Tabla 2.3.1 Ventajas y Desventajas para el Proceso Constructivo de un Cárcamo de Bombeo**

<b>Método</b>	<b>Maquinaria</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Excavación a cielo abierto	Tractor D-5* Retroexcavadora Equipo de bombeo para 3.00 m de carga	Excavación en seco: Empleo de un tractor, por ser lo más rápido y económico. 2500 m3	Excavación en agua: Empleo de una retroexcavadora. 600 m3
		Excavación en agua: Empleo de una retroexcavadora.	
		Se puede inspeccionar el material de desplante	
		Se puede llevar un estricto control de calidad de la construcción	
		El producto de excavación se puede utilizar en el relleno para construir la plataforma de la planta.	
Pozo tipo indio	Draga Equipo de bombeo para 3.00 m de carga	Se puede excavar bajo el NAF	

**Tabla 2.4.1 Resultados del análisis físico-químico**

<b>Determinaciones</b>	<b>Resultados</b>	<b>Límites</b> NOM-127-SSA1-1997
Color (escala Pt-Co)	0 Unidades	15 Unidades
Sabor	Insípido	Insípido
Turbiedad (escala SiO <sub>2</sub> )	0 Unidades	5 UTN
Conductividad eléctrica	122.9 micromhos/cm	No especificado
Oxígeno libre	2.08 mg/l	No especificado
PH	7.2	6.5 - 8.5
Dureza total (como CaCO <sub>3</sub> )	45.41 mg/l	50000 mg/l
Dureza de calcio	12.51 mg/l	No especificado
Sodio	7.545 mg/l	200 mg/l
Calcio	12.51 mg/l	No especificado
Hidróxidos	0	No especificado
Cloruros (como CL)	3.48 mg/l	250 mg/l
Carbonatos	0	No especificado
Bicarbonatos	45.32 mg/l	No especificado
Nitratos	1.24 mg/l	10.0 mg/l
Fluoruros	0.188 mg/l	1.50 mg/l

**Tabla 2.4.2 Resultados del Análisis Microbiológico**

<b>Determinaciones</b>	<b>Resultados</b>	<b>Límites</b> NOM-127-SSA1-1994
Organismos coliformes	No detectable NMP/100 ml	2.0 NMP/100 ml
Coliformes fecales	No detectable NMP/100 ml	No detectable NMP/100 ml
Vibrio Cholerae	Negativo	Negativo

El resultado de organismos coliformes totales y fecales se reporta como Número Más Probable en 100 ml (NMP/100ml).























**Tabla 4.3.1 Rugosidad Absoluta  $\epsilon$  en Tubos Comerciales**

Material	$\epsilon$ , en mm
<b>Tubos lisos</b>	
De vidrio, cobre, latón, madera (bien cepillada), acero nuevo soldado y con una mano interior de pintura; tubos de acero de precisión sin costura, serpentines industriales, plástico, hule	0.0015
Tubos industriales de latón	0.025
Tubos de madera	0.2 a 1
Hierro forjado	0.05
Fierro fundido nuevo	0.25
Fierro fundido, con protección interior de asfalto	0.12
Fierro fundido oxidado	1 a 1.5
Fierro fundido, con incrustaciones	1.5 a 3
Fierro fundido, centrifugado	0.05
Fierro fundido nuevo, con bridas o juntas de macho y campana	0.15 a 0.3
Fierro fundido usado, con bridas o juntas de macho y campana	2 a 3.5
Fierro fundido para agua potable, con bastantes incrustaciones y 50 a 125 mm de diámetro	1 a 40
Fierro galvanizado	0.15
Acero rolado nuevo	0.05
Acero laminado nuevo	0.04 a 0.1
Acero laminado con protección interior de asfalto	0.05
<b>Tubos de acero soldado de calidad normal</b>	
Nuevo	0.05 a 0.10
Limpiado después de mucho uso	0.15 a 0.20
Moderadamente oxidado, con pocas incrustaciones	0.4
Con muchas incrustaciones	3
Con remaches transversales, en buen estado	0.1
Con costura longitudinal y una línea transversal de remaches en cada junta, o laqueado interiormente	0.3 a 0.4
Con líneas transversales de remaches, sencilla o doble; o tubos remachados con doble hilera longitudinal de remaches e hilera transversal sencilla, sin incrustaciones	0.6 a 0.7
Acero soldado, con una hilera transversal sencilla de pernos en cada junta, laqueado interior sin oxidaciones, con circulación de agua turbia	1

**TABLA 4.3.2 Acueducto Martínez de la Torre (Tramo Captación - Torre de Oscilación)  
Funcionamiento Hidráulico (Tubería de acero de 16")**

Gasto Conducido = 0.150 m <sup>3</sup> / s												
Secciones De - a	Elev. Sitio (m)	v (m <sup>2</sup> /s)	ε (m)	Longitud (m)	Diámetro (m)	Q Tubo (m <sup>3</sup> /s)	Velocidad (m/s)	Reynolds	f	Pérdida (m)	Elev. Piez (m)	Carga (m)
Captación	259.242							H de la bomba=		95.00	354.24	95.00
Captación - 1	261.456	1.000	0.00010	78.423	0.41	0.150	1.136	0.466	0.0160	0.201	354.04	92.58
1 - 2	260.454	1.000	0.00010	458.888	0.41	0.150	1.136	0.466	0.0160	1.178	352.86	92.41
2 - 3	259.980	1.000	0.00010	72.006	0.41	0.150	1.136	0.466	0.0160	0.185	352.68	92.70
3 - 4	266.256	1.000	0.00010	90.297	0.41	0.150	1.136	0.466	0.0160	0.232	352.45	86.19
4 - 5	270.803	1.000	0.00010	42.396	0.41	0.150	1.136	0.466	0.0160	0.109	352.34	81.53
5 - 6	282.067	1.000	0.00010	105.877	0.41	0.150	1.136	0.466	0.0160	0.272	352.07	70.00
6 - 7	292.548	1.000	0.00010	90.883	0.41	0.150	1.136	0.466	0.0160	0.233	351.83	59.28
7 - 8	296.440	1.000	0.00010	49.595	0.41	0.150	1.136	0.466	0.0160	0.127	351.70	55.26
8 - 9	300.275	1.000	0.00010	45.897	0.41	0.150	1.136	0.466	0.0160	0.118	351.59	51.31
9 - 10	306.094	1.000	0.00010	71.248	0.41	0.150	1.136	0.466	0.0160	0.183	351.40	45.31
10 - 11	309.732	1.000	0.00010	51.028	0.41	0.150	1.136	0.466	0.0160	0.131	351.27	41.54
11 - 12	315.295	1.000	0.00010	93.789	0.41	0.150	1.136	0.466	0.0160	0.241	351.03	35.74
12 - 13	324.320	1.000	0.00010	114.578	0.41	0.150	1.136	0.466	0.0160	0.294	350.74	26.42
13 - 14	326.625	1.000	0.00010	36.978	0.41	0.150	1.136	0.466	0.0160	0.095	350.64	24.02
14 - 15	330.813	1.000	0.00010	53.683	0.41	0.150	1.136	0.466	0.0160	0.138	350.51	19.69
15 - 16	332.006	1.000	0.00010	123.791	0.41	0.150	1.136	0.466	0.0160	0.318	350.19	18.18
16 - 17	336.584	1.000	0.00010	83.440	0.41	0.150	1.136	0.466	0.0160	0.214	349.97	13.39
17 - 18	341.297	1.000	0.00010	77.878	0.41	0.150	1.136	0.466	0.0160	0.200	349.77	8.48
18 - 19	338.908	1.000	0.00010	149.617	0.41	0.150	1.136	0.466	0.0160	0.384	349.39	10.48
19 - 20	336.742	1.000	0.00010	374.557	0.41	0.150	1.136	0.466	0.0160	0.961	348.43	11.69
20 - Torre de Oscilación	343.902	1.000	0.00010	514.430	0.41	0.150	1.136	0.466	0.0160	1.321	347.11	3.21
										7.134		

**TABLA 4.5.1 Acueducto Martínez de la Torre (Tramo T.O. - Conexión )  
Funcionamiento Hidráulico (Tubería de asbesto-cemento 16")**

Gasto Conducido = 0.150 m <sup>3</sup> / s												
Secciones De - a	Elev. Sitio (m)	v (m <sup>2</sup> /s)	ε (m)	Longitud (m)	Diámetro (m)	Q Tubo (m <sup>3</sup> /s)	Velocidad (m/s)	Reynolds	f	Pérdida (m)	Elev. Piez (m)	Carga (m)
Cambio de Régimen	343.902										343.90	0.00
Cambio de Régimen - 1	327.651	1.000	0.000025	338.603	0.41	0.150	1.136	0.466	0.0141	0.767	343.13	15.48
1 - 2	296.789	1.000	0.000025	541.893	0.41	0.150	1.136	0.466	0.0141	1.228	341.91	45.12
2 - 3	293.411	1.000	0.000025	264.361	0.41	0.150	1.136	0.466	0.0141	0.599	341.31	47.90
Caja rompedora de presión	280.000	1.000	0.000025	264.361	0.41	0.150	1.136	0.466	0.0141	0.599	340.71	60.71
3 - 4	277.288	1.000	0.000025	264.361	0.41	0.150	1.136	0.466	0.0141	0.599	279.40	2.11
4 - 5	255.661	1.000	0.000025	528.857	0.41	0.150	1.136	0.466	0.0141	1.198	278.20	22.54
5 - 6	239.100	1.000	0.000025	251.863	0.41	0.150	1.136	0.466	0.0141	0.571	277.63	38.53
6 - 7	237.403	1.000	0.000025	82.865	0.41	0.150	1.136	0.466	0.0141	0.188	277.44	40.04
7 - 8	236.748	1.000	0.000025	63.382	0.41	0.150	1.136	0.466	0.0141	0.144	277.30	40.55
8 - 9	235.895	1.000	0.000025	113.284	0.41	0.150	1.136	0.466	0.0141	0.257	277.04	41.15
9 - 10	228.325	1.000	0.000025	504.037	0.41	0.150	1.136	0.466	0.0141	1.142	275.90	47.58
10 - 11	220.141	1.000	0.000025	542.235	0.41	0.150	1.136	0.466	0.0141	1.228	274.67	54.53
11 - 12	219.309	1.000	0.000025	405.511	0.41	0.150	1.136	0.466	0.0141	0.919	273.76	54.45
12 - 13	219.730	1.000	0.000025	400.000	0.41	0.150	1.136	0.466	0.0141	0.906	272.85	53.12
13 - 14	202.300	1.000	0.000025	450.000	0.41	0.150	1.136	0.466	0.0141	1.019	271.83	69.53
										11.362		





**"MARTÍNEZ DE LA TORRE"**  
**VERACRUZ**  
**Tabla 5.2 Catálogo General**

CONCEPTO	MONTO
Mecánico Planta de Bombeo	\$785,042.00
Eléctrico Planta de Bombeo	\$423,874.00
Obra Civil Carcamo de bombeo	\$137,091.75
Obra Civil Cajas de Captación	\$656,224.23
Cruces especiales	\$281,612.77
Linea de Conducción	\$7,783,454.16
Atraques	\$411,436.67
Obra Civil Torre de Oscilación	\$127,399.84
Obra Civil Caja Rompedora de Presión	\$67,694.27
<b>TOTAL</b>	<b>\$10,673,829.69</b>

PLANTA DE BOMBEO "MARTÍNEZ DE LA TORRE"  
VERACRUZ  
Tabla 5.3 Catálogo de Obra

PART.	CANT.	UNID.	DESCRIPCIÓN	PRECIO P/U.	PRECIO TOT.
			<b>Carcamo en planta de bombeo</b>		
			<b>ALBAÑILERIA</b>		
	46.3	m <sup>2</sup>	Trazo y nivelación para desplante de estructuras	\$4.70	\$217.61
	27.0	m <sup>2</sup>	Muro de tabique de 14 cm de espesor	\$114.47	\$3,090.69
	19.2	m <sup>2</sup>	Impermeabilizante en techos	\$96.44	\$1,851.65
	19.2	m <sup>2</sup>	Enladrillado en azotea	\$69.93	\$1,342.66
	18.5	m	Chaflán en azotea	\$16.57	\$306.55
	18.5	m	Gotero en faldón o paño	\$12.00	\$222.00
	1.0	pza	Gárgola de concreto	\$300.00	\$300.00
	24.4	m	Emboquillado rústico de grava triturada	\$12.00	\$292.80
	30.1	m <sup>2</sup>	Repellado de mortero cemento-arena proporción 1:5	\$20.00	\$602.00
	30.1	m <sup>2</sup>	Aplanado fino de mezcla	\$39.66	\$1,193.77
	24.4	m	Emboquillado fino de mezcla	\$18.98	\$463.11
			<b>HERRERIA Y CARPINTERIA</b>		
	5.5	m <sup>2</sup>	Ventanas	\$330.29	\$1,816.60
	4.5	m <sup>2</sup>	Puerta de aluminio anodizado	\$504.02	\$2,268.09
			<b>VIDRIERIA</b>		
	2.7	m <sup>2</sup>	Vidrio de 6 mm de espesor	\$194.39	\$524.85
	2.7	m <sup>2</sup>	Tabletas de vidrio especial opaco	\$151.80	\$409.86
			<b>PINTURA</b>		
	115.0	m <sup>2</sup>	Pintura vinílica 2 manos (blanco ostión)	\$19.60	\$2,254.00
			<b>CERRAJERIA</b>		
	1.0	pza	Cerradura para perfiles de aluminio	\$65.00	\$65.00
			<b>LIMPIEZA</b>		
	11.7	m <sup>2</sup>	Limpieza gruesa de la obra durante la construcción	\$10.00	\$117.00
			<b>Caseta de vigilancia en planta de bombeo</b>		
			<b>ALBAÑILERIA</b>		
	20.0	m <sup>2</sup>	Trazo y nivelación para desplante de estructuras	\$4.70	\$94.00
	20.0	m <sup>2</sup>	Impermeabilizante de cimentación	\$96.44	\$1,928.80
	20.0	m <sup>2</sup>	Firme de concreto	\$45.94	\$918.80

PLANTA DE BOMBEO "MARTÍNEZ DE LA TORRE"  
VERACRUZ  
Tabla 5.3 Catálogo de Obra

PART.	CANT.	UNID.	DESCRIPCIÓN	PRECIO P/U.	PRECIO TOT.
			<b>Carcamo en planta de bombeo</b>		
	92.0	m <sup>2</sup>	Muro de tabique de 14 cm de espesor	\$111.47	\$10,255.24
	8.0	m <sup>2</sup>	Escobillado integral de firme	\$16.32	\$130.56
	25.0	m <sup>2</sup>	Impermeabilizante en techos	\$96.44	\$2,411.00
	25.0	m <sup>2</sup>	Enladrillado en azotea	\$69.93	\$1,748.25
	41.0	m	Chafán en azotea	\$16.57	\$679.37
	38.5	m <sup>2</sup>	Pretil de tabique de 14 cm	\$114.56	\$4,410.56
	14.7	m	Gotero en faldón o paño	\$12.00	\$176.40
	1.0	pza	Gárgola de concreto	\$300.00	\$300.00
	15.0	m	Emboquillado rústico de grava triturada	\$18.98	\$284.70
	65.0	m <sup>2</sup>	Repellado de mortero arena-cemento proporción 1:5	\$39.66	\$2,577.90
	20.0	m <sup>2</sup>	Aplanado fino de mezcla	\$39.66	\$793.20
	5.0	m	Emboquillado fino de mezcla	\$18.98	\$94.90
	17.0	m <sup>2</sup>	Pizo de loseta cerámica de 20 x 20 cms	\$200.79	\$3,413.43
	19.0	m	Zoclo de loseta de 10 x 20 cms	\$58.41	\$1,109.79
	2.0	m <sup>2</sup>	Azulejo de 10 x 20 cms	\$200.79	\$401.58
	1.6	m <sup>2</sup>	Escalones forjados de concreto	\$66.06	\$105.70
			<b>ACCESORIOS DE BAÑO</b>		
	1.0	pza	Papelera	\$160.00	\$160.00
	1.0	pza	Gancho	\$80.00	\$80.00
	1.0	pza	Jabonera de lavabo	\$140.00	\$140.00
	1.0	jgo	Postes de toallero (par) con barra	\$200.00	\$200.00
	64.0	m <sup>2</sup>	Aplanado rústico (de grava triturada)	\$22.49	\$1,439.36
			<b>INSTALACIONES HIDRÁULICA Y SANITARIA</b>		
	2.0	pza	Instalación de muebles sanitarios	\$903.50	\$1,807.00
	1.0	pza	wc de porcelana	\$903.50	\$903.50
	1.0	pza	Lavabo de porcelana	\$903.50	\$903.50
	1.0	pza	Tinaco de asbesto cemento cap. 1100 lts	\$2,139.69	\$2,139.69
			<b>HERRERIA Y CARPINTERIA</b>		
	11.9	m <sup>2</sup>	Ventanas	\$330.29	\$3,930.45

PLANTA DE BOMBEO "MARTÍNEZ DE LA TORRE"  
VERACRUZ  
Tabla 5.3 Catálogo de Obra

PART.	CANT.	UNID.	DESCRIPCIÓN	PRECIO P/U.	PRECIO TOT.
			<b>Carcamo en planta de bombeo</b>		
	3.8	m <sup>2</sup>	Puerta de aluminio anodizado	\$330.29	\$1,255.10
	1.0	pza	Puerta de tambor	\$504.02	\$504.02
			<b>VIDRIERIA</b>		
	12.0	m <sup>2</sup>	Vidrio de 6 mm de espesor	\$194.39	\$2,332.68
	0.7	m <sup>2</sup>	Tabletas de vidrio especial opaco	\$151.80	\$106.26
	1.0	pza	Espejo de 3.5 mm de espesor	\$164.22	\$164.22
			<b>PINTURA</b>		
	115.0	m <sup>2</sup>	Pintura vinílica 2 manos (blanco ostión)	\$19.60	\$2,254.00
			<b>CERRAJERIA</b>		
	2.0	pza	Cerradura para perfiles de aluminio	\$65.00	\$130.00
	1.0	pza	Cerradura para baño	\$65.00	\$65.00
			<b>VARIOS, LIMPIEZA Y BRILLADO</b>		
	17.0	m <sup>2</sup>	Pisos	\$50.00	\$850.00
	1.5	m <sup>2</sup>	Zoclos	\$50.00	\$75.00
	17.0	m <sup>2</sup>	Limpieza gruesa de la obra durante la construcción	\$10.00	\$170.00
	0.7	m <sup>2</sup>	Barandal formado por tubos de fo.go. De 38 mm (1 1/2") de diam	\$37.82	\$26.47
	2.0	pza	Puerta de malla ciclón para peatones	\$120.40	\$240.80
	2.0	pza	Puerta de 2 hojas de malla ciclón para vehiculos	\$758.52	\$1,517.04
			<b>ESTRUCTURAL</b>		
	18.0	m <sup>3</sup>	Excavación p/desplante de estructuras en material comun en agu	\$57.90	\$1,042.20
	31.0	m <sup>3</sup>	Relleno compactado al 85% proctor con material de banco	\$49.78	\$1,543.18
	0.9	m <sup>3</sup>	Fabricación y colado de concreto vibrado y curado fc=100 kg/cm	\$801.43	\$721.29
	11.2	m <sup>3</sup>	Fabricación y colado de concreto vibrado y curado fc=200 kg/cm	\$986.05	\$11,043.76
	70.0	Kg	Acero fy=2530 Kg/cm <sup>2</sup>	\$7.27	\$508.90
	965.0	Kg	Acero fy=4200 Kg/cm <sup>2</sup>	\$7.27	\$7,015.55
	124.0	m <sup>2</sup>	Cimbra de madera, acabado aparente	\$144.37	\$17,901.88
	75.0	m <sup>2</sup>	Muros de tabique	\$111.47	\$8,360.25
	175.0	m <sup>2</sup>	Aplanado de 2.5 cm de espesor	\$39.66	\$6,940.50
			<b>TUBERIA Y FONTANERIA en instalación sanitaria</b>		
			Tuberia de PVC de:		

PLANTA DE BOMBEO "MARTÍNEZ DE LA TORRE"  
VERACRUZ  
Tabla 5.3 Catálogo de Obra

PART.	CANT.	UNID.	DESCRIPCIÓN	PRECIO P/U.	PRECIO TOT.
			<b>Carcamo en planta de bombeo</b>		
	2	m	100 mm (4") de diam.	\$70.00	\$140.00
	2.5	m	40 mm (1 1/2") de diam	\$40.00	\$100.00
			Codo de PVC de 45° de:		
	3	pza	100 mm (4") de diam.	\$15.00	\$45.00
	2	pza	40 mm (1 1/2") de diam	\$13.00	\$26.00
	1	pza	Codo cespól 40 mm c/bajada de 80 cm	\$90.00	\$90.00
			TUBERIA Y FONTANERIA en instalación hidráulica		
	2	pza	Valvula tipo compuerta de 13 mm (1/2") de diam. Clase 150	\$120.00	\$240.00
	1	pza	Tee de cobre de 13 mm (1/2") de diam.	\$15.00	\$15.00
			Codo 90° de cobre de:		
	5	pza	13 mm (1/2") de diam	\$15.00	\$75.00
	2	pza	Tapa hembra para tubo de 13 mm (1/2") de diam.	\$10.00	\$20.00
			Tuberia de cobre de:		
	19.75	m	13 mm (1/2") de diam.	\$40.00	\$790.00
			FOSA SEPTICA		
	15.9	m <sup>3</sup>	Excavación p/desplante de estructuras en material comun en agu	\$57.90	\$918.29
	1.2	m <sup>3</sup>	Relleno compactado al 85% proctor con material de banco	\$49.78	\$58.74
	141.8	Kg	Acero de refuerzo fy=4200 kg/cm <sup>2</sup>	\$7.27	\$1,030.52
	0.7	m <sup>3</sup>	Fabricación y colado de concreto vibrado y curado fc=100 kg/cm	\$801.43	\$528.94
	2.1	m <sup>3</sup>	Fabricación y colado de concreto vibrado y curado fc=200 kg/cm	\$986.05	\$2,070.71
	11.1	m <sup>2</sup>	Cimbra de madera, en superficie de contacto	\$144.37	\$1,602.51
	2.0	Kg	Impermeabilizante integral para concreto	\$8.02	\$16.04
	6.9	m	Banda de PVC de 22 cm de ancho	\$138.06	\$949.85
	2.0	m <sup>3</sup>	suministro y colocación de relleno de grava	\$197.00	\$394.00
	1.3	m <sup>2</sup>	Mamposteria de tabique	\$130.81	\$172.67
	3.0	pza	Marimba de 164.50 x 55.18 cms	\$401.78	\$1,205.34
	1.0	pza	Tapa de concreto fabricación e instalación	\$959.13	\$959.13
<b>TOTAL</b>					<b>\$137,091.75</b>

TANQUE DE OSCILACIÓN "MARTÍNEZ DE LA TORRE"  
VERACRUZ

Tabla 5.4 Catálogo de Obra

PART.	CANT.	UNID.	DESCRIPCIÓN	PRECIO P/U.	PRECIO TOTAL
			<b>Tanque de oscilación</b>		
	70.0	m <sup>3</sup>	Excavación p/desplante de estructuras en material comun en agua	\$57.90	\$4,053.00
	35.0	m <sup>3</sup>	Relleno compactado al 85% proctor con material de banco	\$49.78	\$1,742.30
	45.0	m <sup>3</sup>	Fabricación y colado de concreto vibrado y curado f <sub>c</sub> =250 kg/cm <sup>2</sup>	\$1,058.01	\$47,610.45
	2.5	m <sup>3</sup>	Plantilla de concreto simple f <sub>c</sub> =100 kg/cm <sup>2</sup>	\$49.94	\$124.85
	250.0	m <sup>2</sup>	Cimbra de madera, en superficie de contacto	\$144.37	\$36,092.50
	3800.0	Kg	Acero de refuerzo f <sub>y</sub> =4200 kg/cm <sup>2</sup>	\$7.27	\$27,626.00
	150.0	Kg	Acero estructural A-36	\$17.13	\$2,569.50
	360.0	Kg	impermeabilizante integral para concreto	\$8.02	\$2,887.20
	34.0	m	Banda de PVC de 22 cm de ancho	\$138.06	\$4,694.04
<b>TOTAL</b>					<b>\$127,399.84</b>

CAJA ROMPEDORA DE PRESIÓN "MARTÍNEZ DE LA TORRE"  
VERACRUZ  
Tabla 5.5 Catálogo de Obra

PART.	CANT.	UNID.	DESCRIPCIÓN	PRECIO P/U.	PRECIO TOT.
			<b>Caja rompedora de presión</b>		
	8.0	m <sup>3</sup>	Excavación p/desplante de estructuras en material comun en agua	\$57.90	\$463.20
	1.9	m <sup>3</sup>	Plantilla de concreto simple f <sub>c</sub> =100 kg/cm <sup>2</sup>	\$49.94	\$94.89
	21.2	m <sup>3</sup>	Fabricación y colado de concreto vibrado y curado f <sub>c</sub> =250 kg/cm <sup>2</sup>	\$1,058.01	\$22,429.81
	134.0	m <sup>2</sup>	Cimbra de madera, en superficie de contacto	\$144.37	\$19,345.58
	2600.0	Kg	Acero de refuerzo f <sub>y</sub> =4200 kg/cm <sup>2</sup>	\$7.27	\$18,902.00
	233.0	Kg	Impermeabilizante integral para concreto	\$8.02	\$1,868.66
	20.8	m	Banda de PVC de 22 cm de ancho	\$138.06	\$2,871.65
	2.0	pza	Registro de 80 x 60 cms	\$619.24	\$1,238.48
	4.0	m	Escalera marina	120.00	\$480.00
<b>TOTAL</b>					<b>\$67,694.27</b>



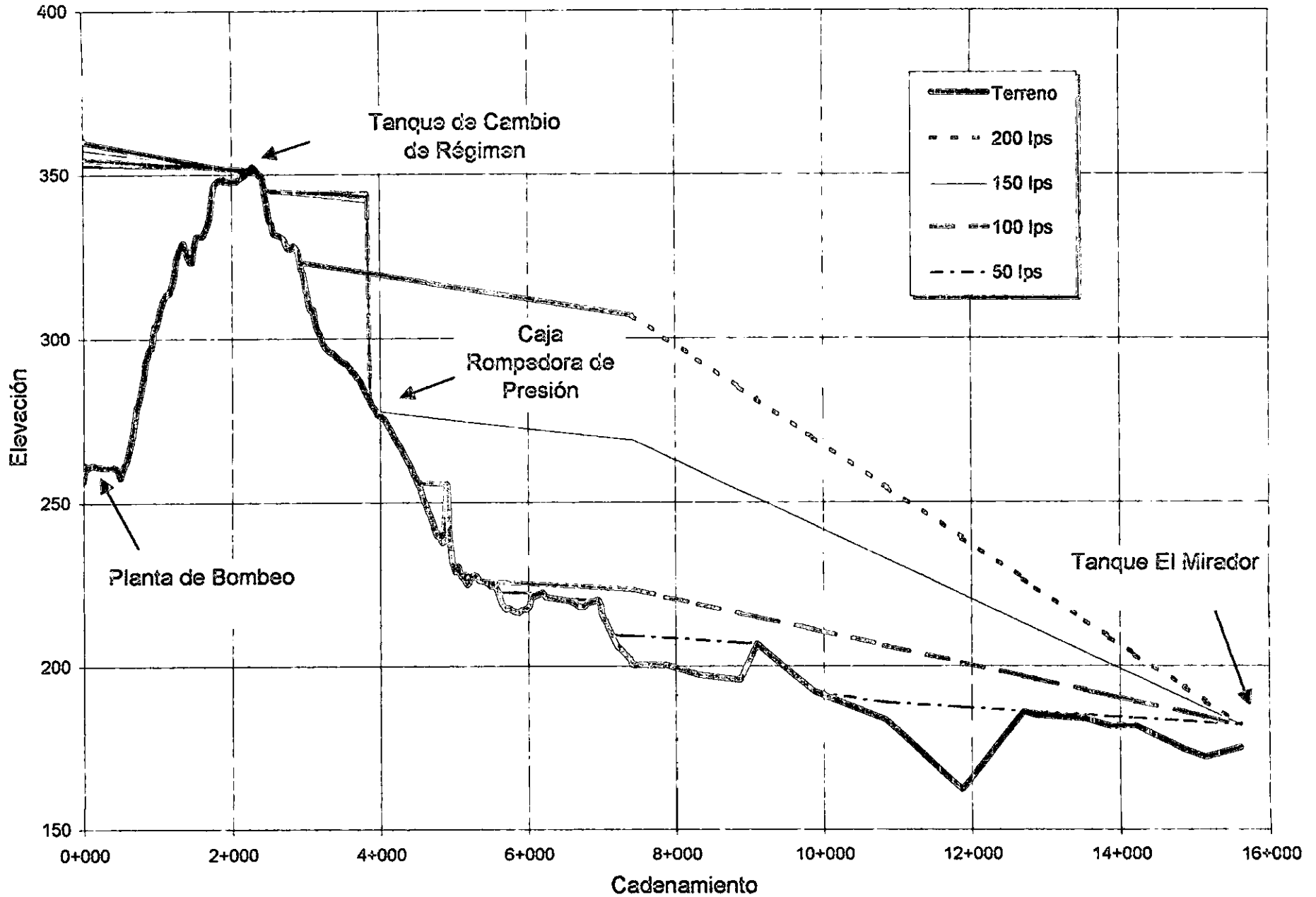
LINEA DE CONDUCCIÓN "MARTÍNEZ DE LA TORRE"  
VERACRUZ

**Tabla 5.6 Catálogo de Obra**

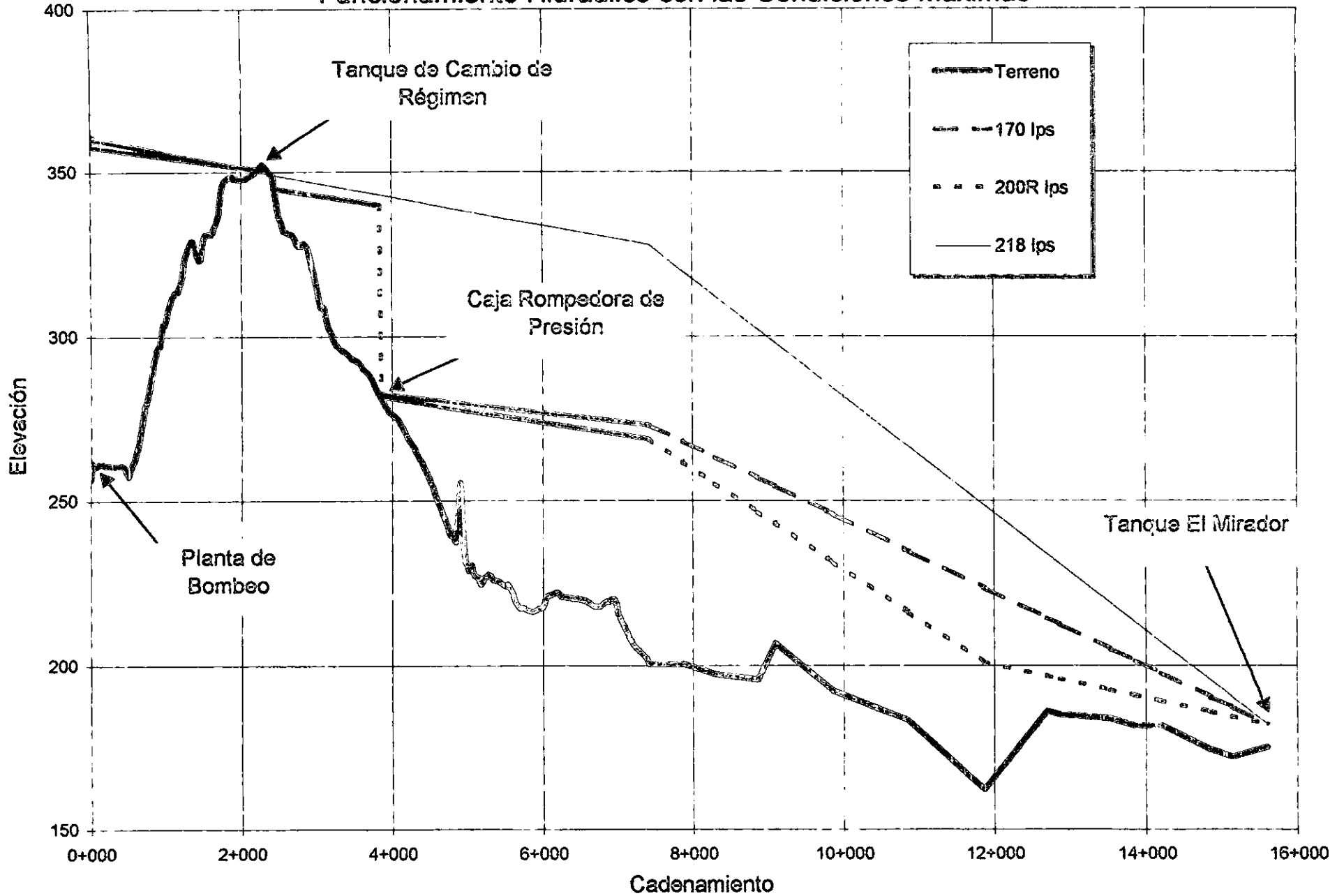
PART.	CANT.	UNID.	DESCRIPCIÓN	PRECIO P/U.	PRECIO TOT.
			<b>Línea de conducción</b>		
	13419.6	m <sup>3</sup>	Excavación	\$57.90	\$776,994.86
	413.63	m <sup>3</sup>	Relleno a volteo en plantilla con material de banco	\$19.71	\$8,152.65
	3589.92	m <sup>3</sup>	Relleno compactado al 85% Proctor, con material de banco	\$49.78	\$178,706.11
	5679.91	m <sup>3</sup>	Relleno a volteo	\$4.62	\$26,241.18
	4052.00	m <sup>3</sup>	Despalme	\$23.89	\$96,802.28
	33260.00	m <sup>2</sup>	Desmonte	\$3.33	\$110,755.80
	1358.40	m <sup>3</sup>	Excavación en cortes	\$57.90	\$78,651.36
	3090	m	Suministro e instalación de tubería de asbesto-cemento clase A-10 de 16" de diam.	\$855.44	\$2,643,309.60
	4478.00	m	Suministro e instalación de tubería de acero de 16" de diam. 1/4" de espesor	\$770.97	\$3,452,403.66
<b>TOTAL</b>					<b>\$7,372,017.49</b>

## **ANEXO DE GRÁFICAS**

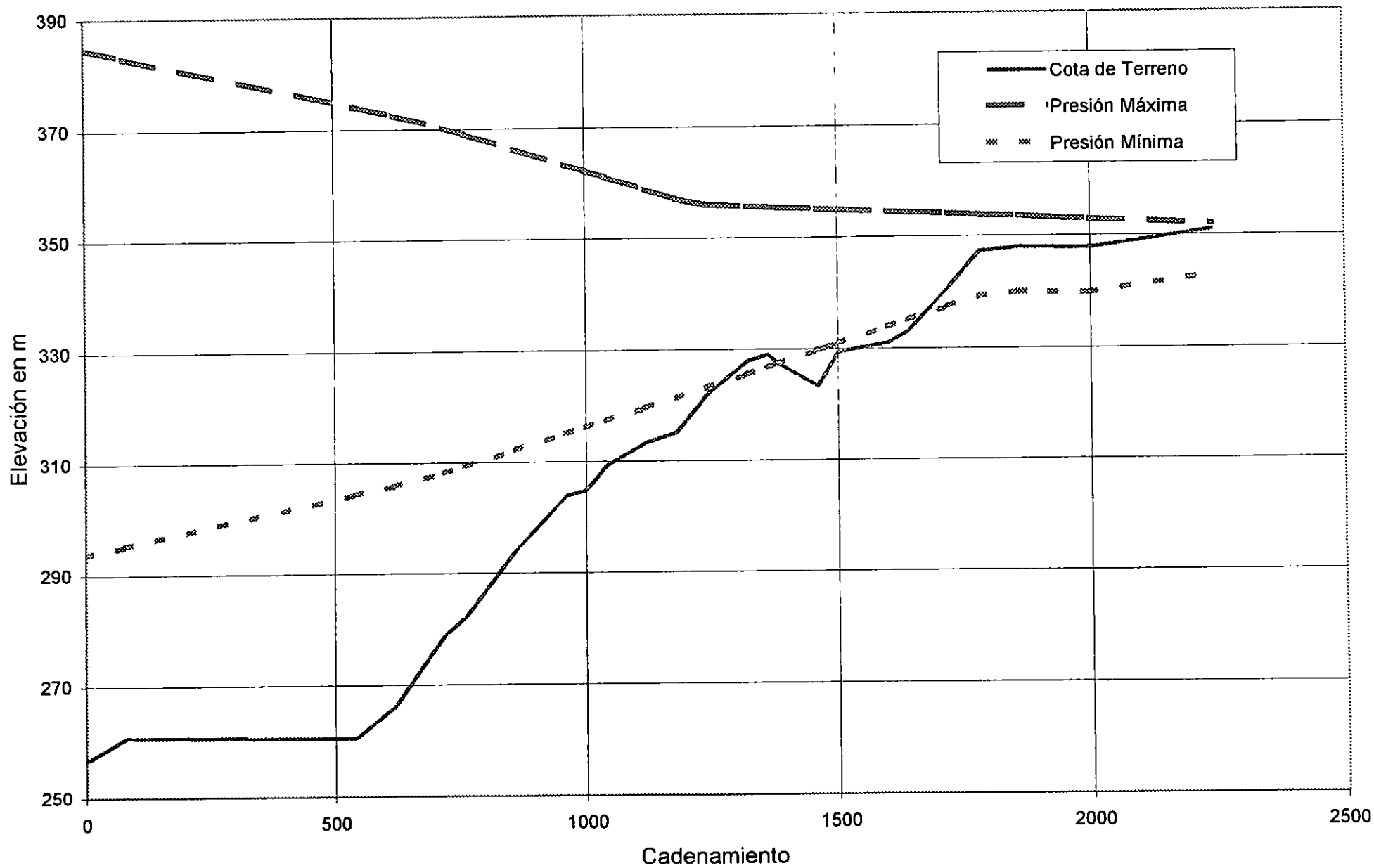
**GRÁFICA 3.1 Acueducto El Encanto, Martínez De La Torre, Veracruz**  
**Funcionamiento Hidráulico con la Operación de los Equipos de Bombeo**



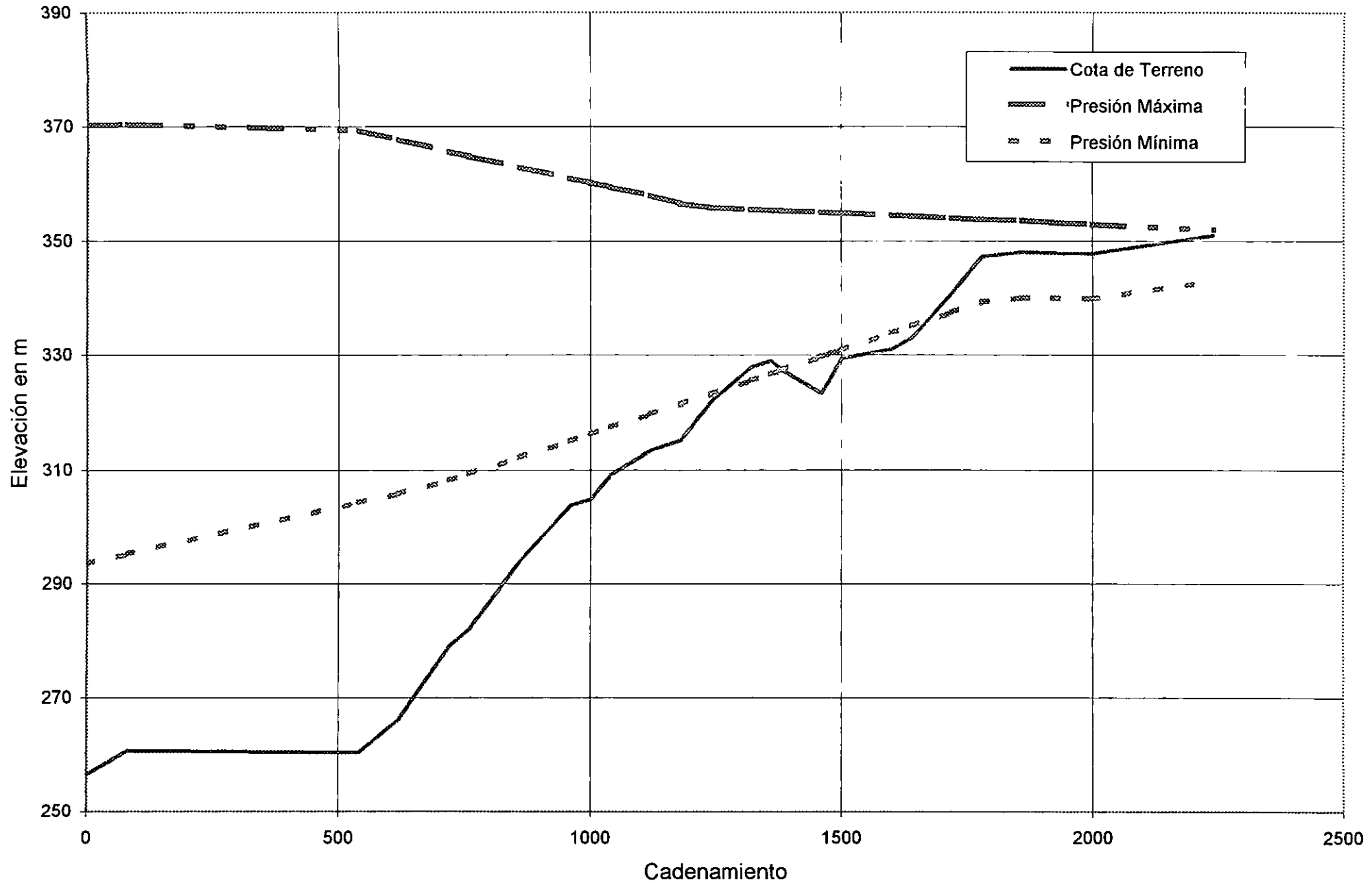
**GRÁFICA 3.2 Acueducto El Encanto, Martínez De La Torre, Veracruz**  
**Funcionamiento Hidráulico con las Condiciones Máximas**



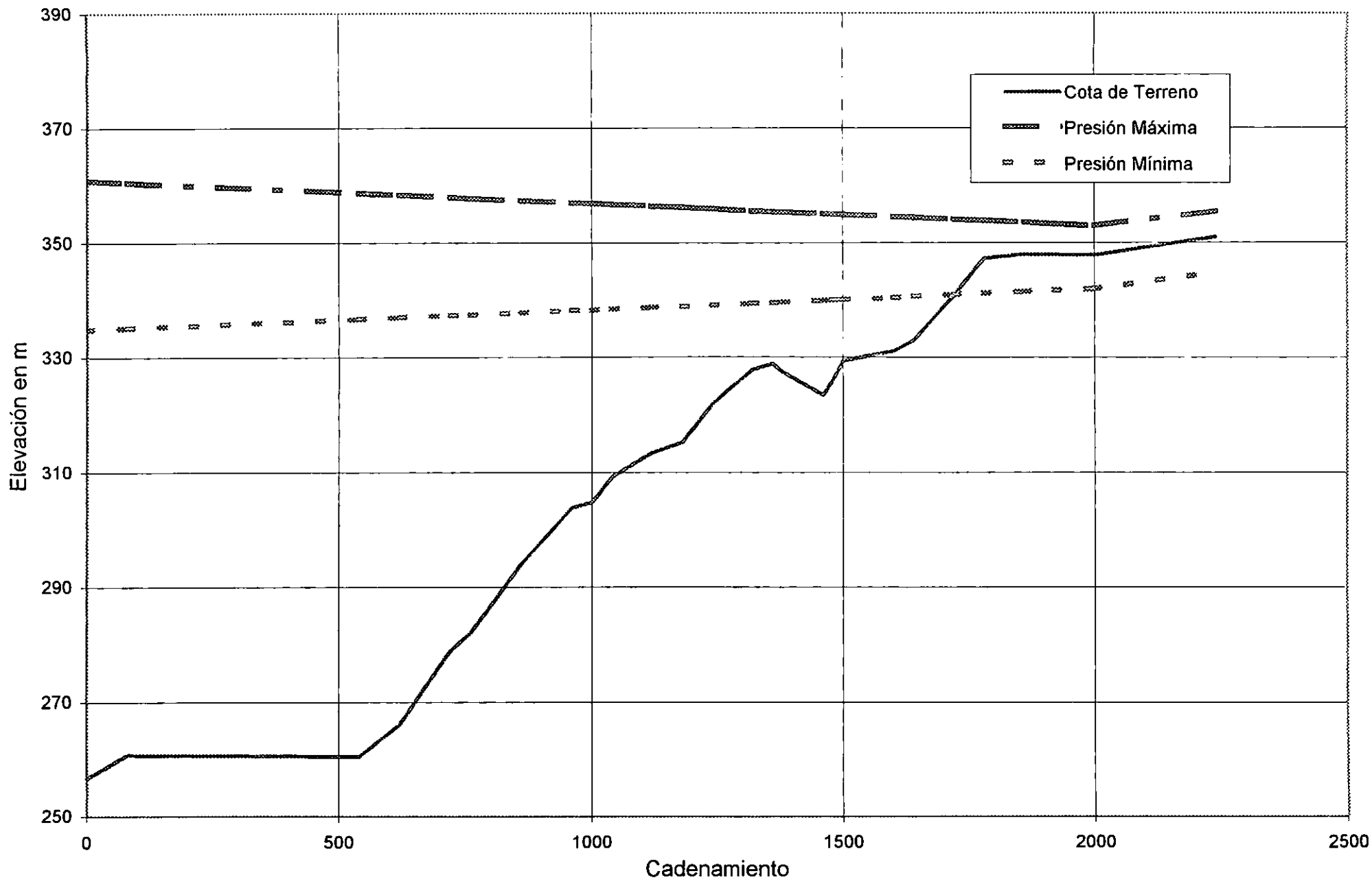
**GRÁFICA 3.2.3 Línea de Conducción de El Encanto a Martínez De La Torre**  
Análisis del Transitorio sin Dispositivo de Alivio



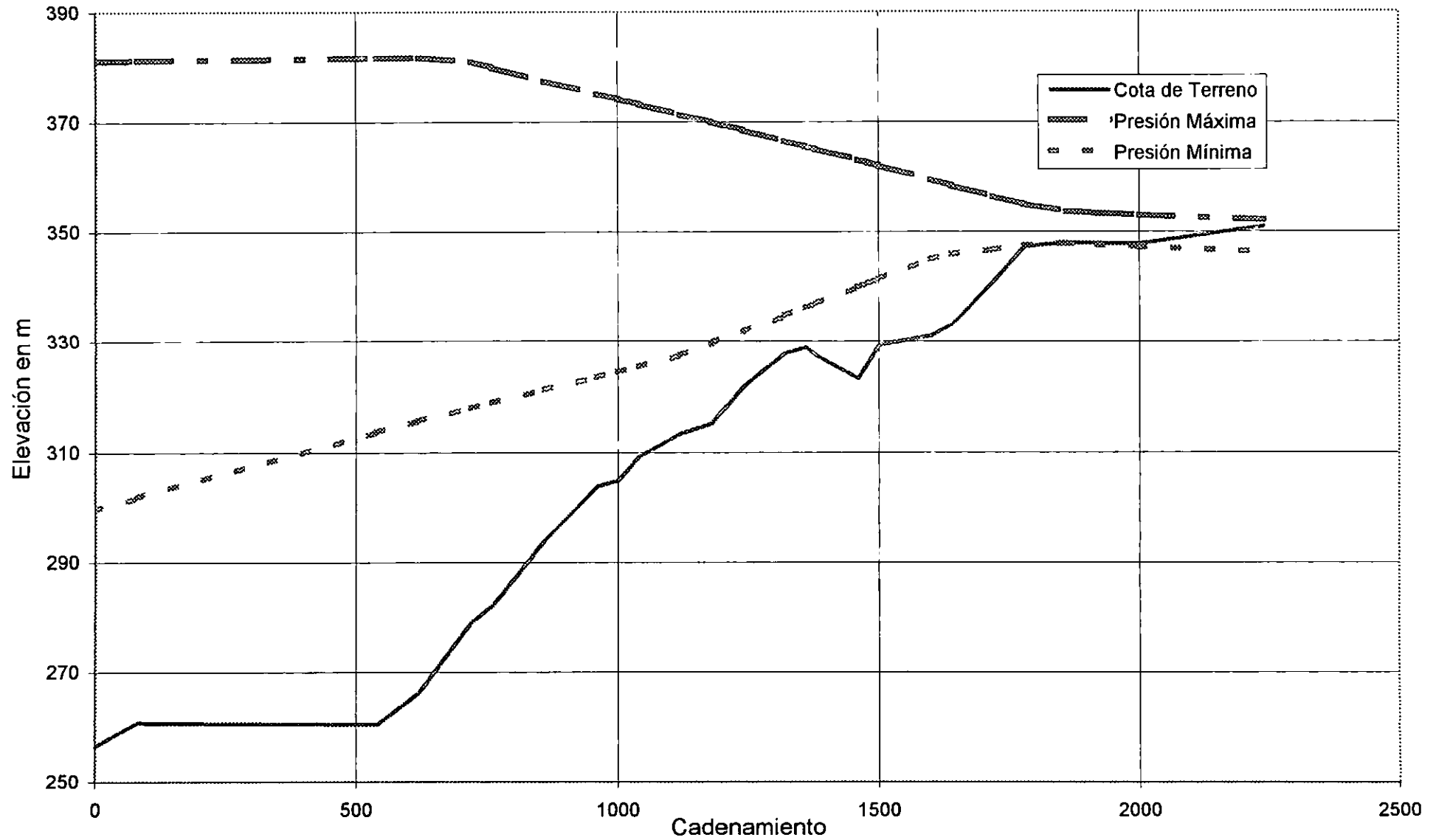
**GRÁFICA 3.2.4 Línea de Conducción de El Encanto a Martínez De La Torre**  
Análisis del Transitorio con Válvula de Alivio en la Planta de Bombeo



**GRÁFICA 3.2.5 Línea de Conducción de El Encanto a Martínez De La Torre**  
Análisis del Transitorio con una Cámara de Aire

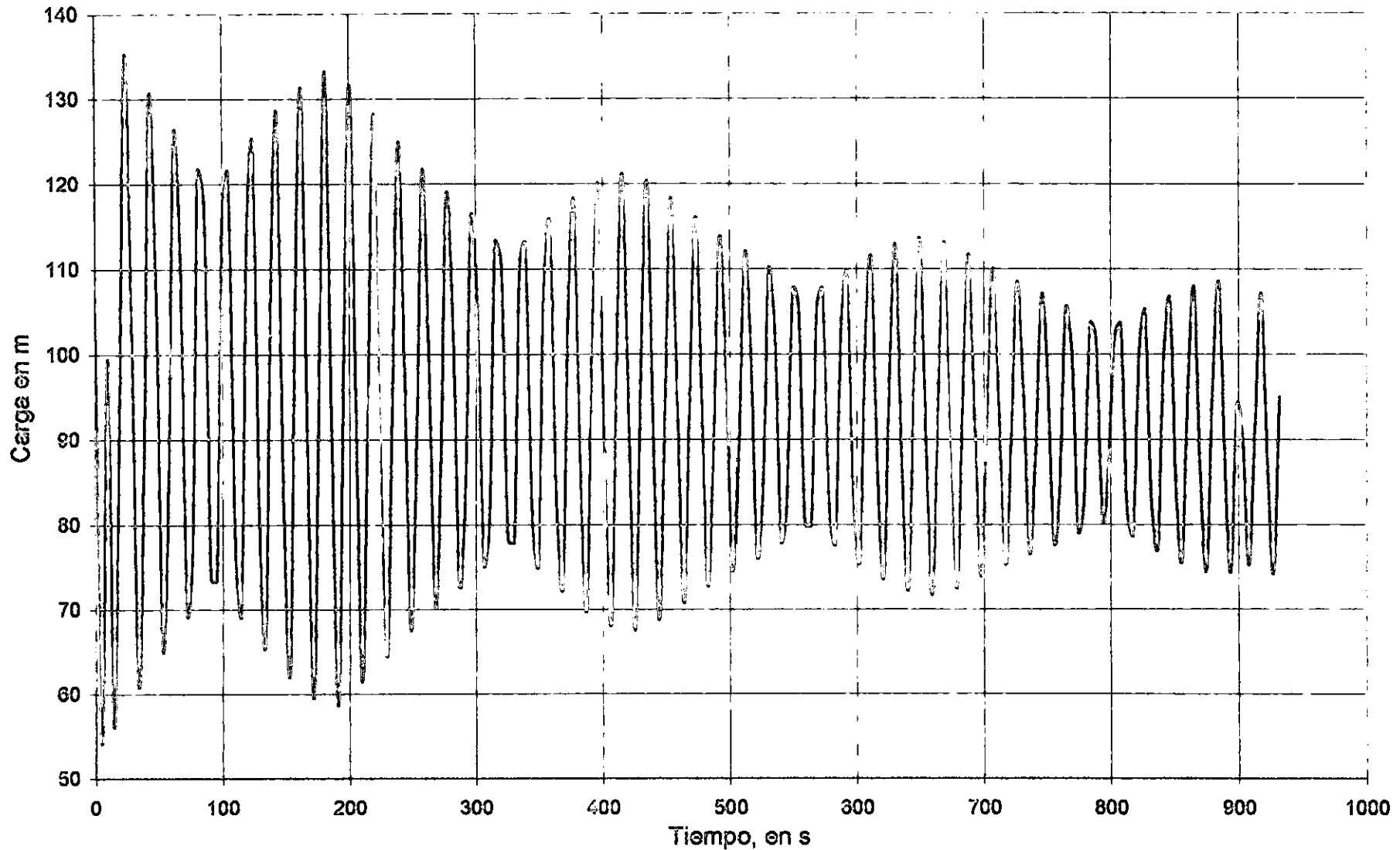


**GRÁFICA 3.2.6 Línea de Conducción de El Encanto a Martínez De La Torre**  
Análisis del Transitorio con un Tanque de Oscilación en 1+820 y una Válvula de Alivio en la Planta Bombeo

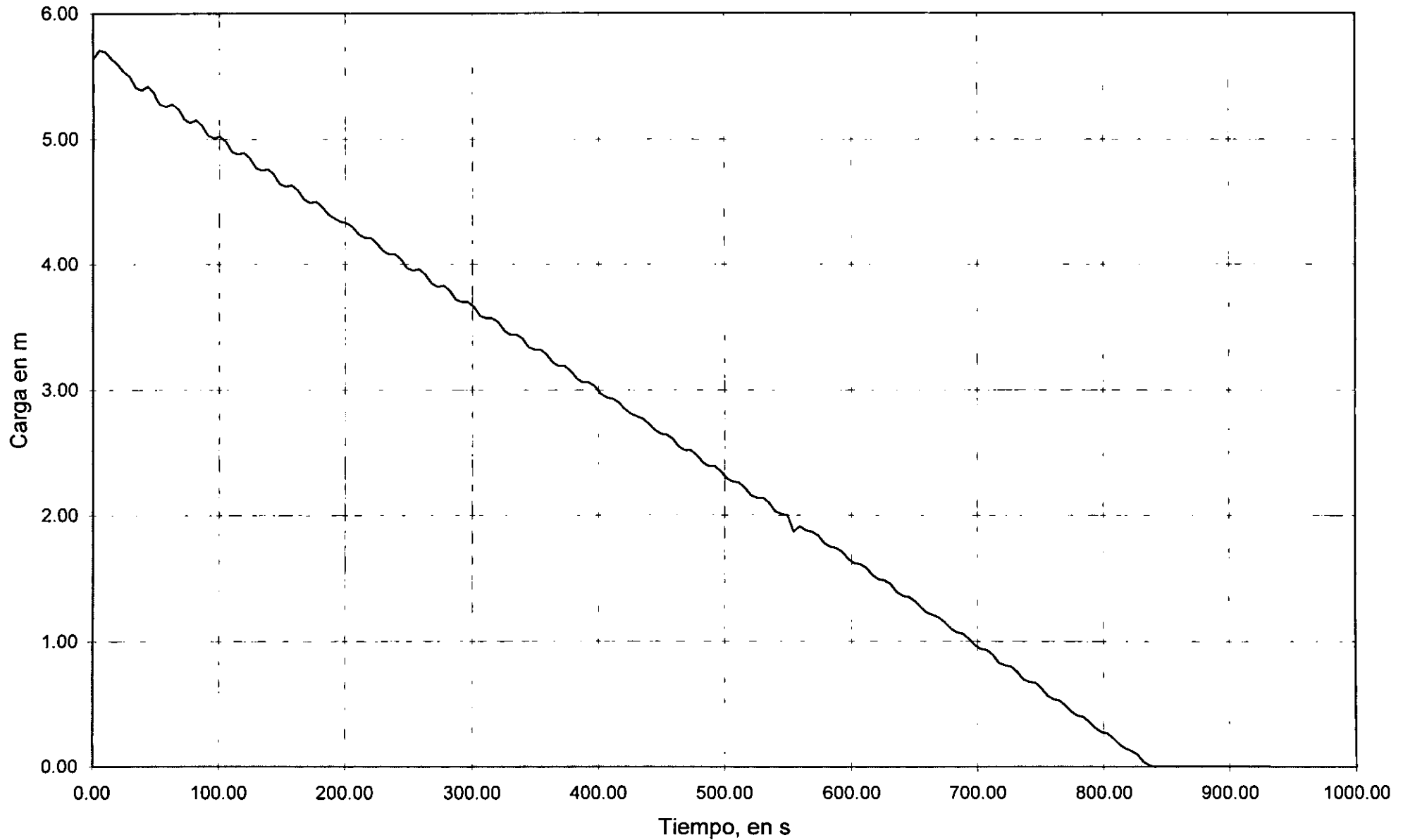




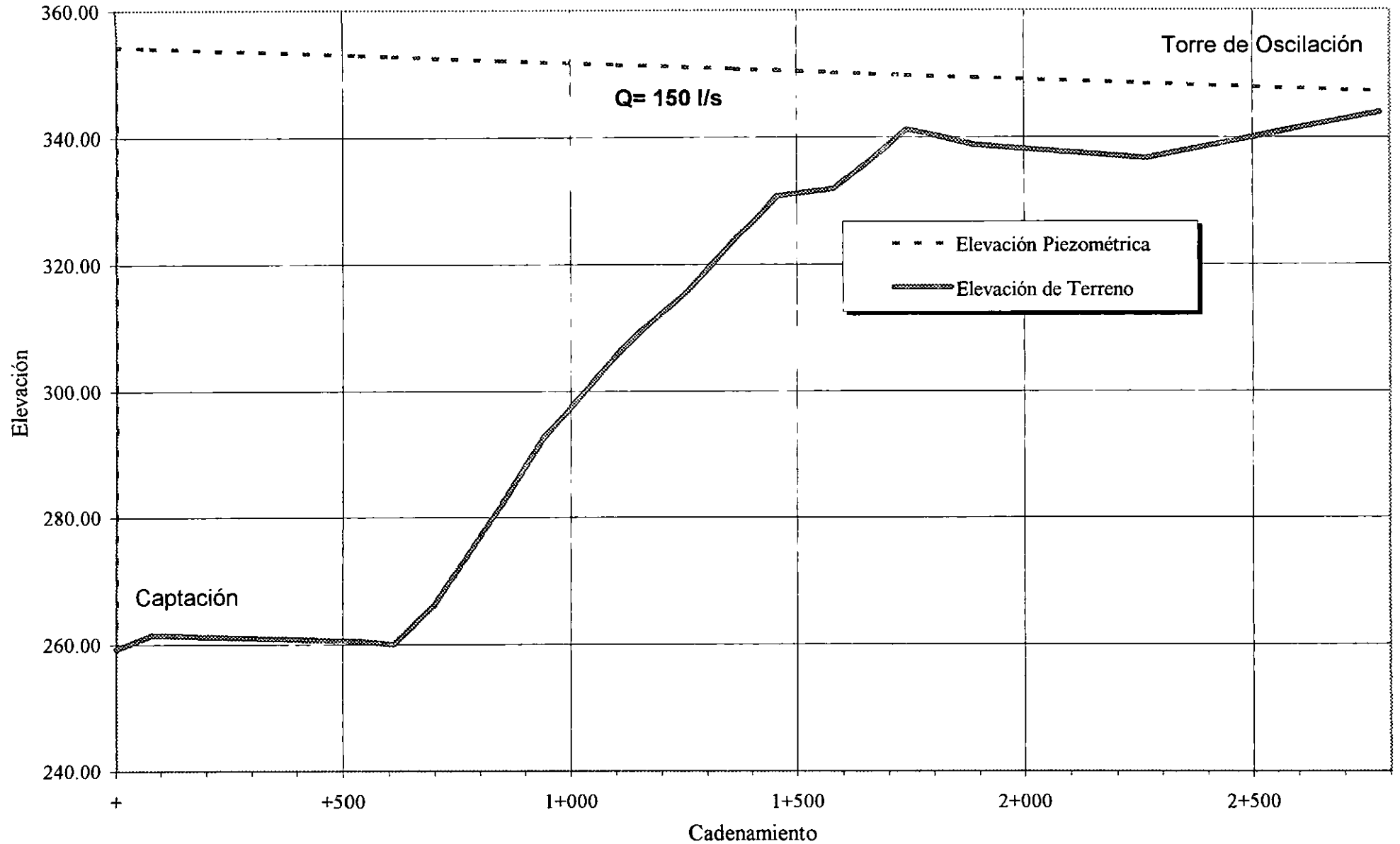
**GRÁFICA 3.2.7 Línea de Conducción de El Encanto a Martínez De La Torre**  
Evolución de la Carga en la Planta de Bombeo con la Torre de Oscilación en 1+820 y la  
Válvula de Alivio en la Planta de Bombeo



**GRÁFICA 3.2.8 Línea de Conducción El Encanto a Martínez De La Torre**  
Evolución de la Carga en el Tanque de Oscilación con Válvula de Alivio en la Planta de Bombeo

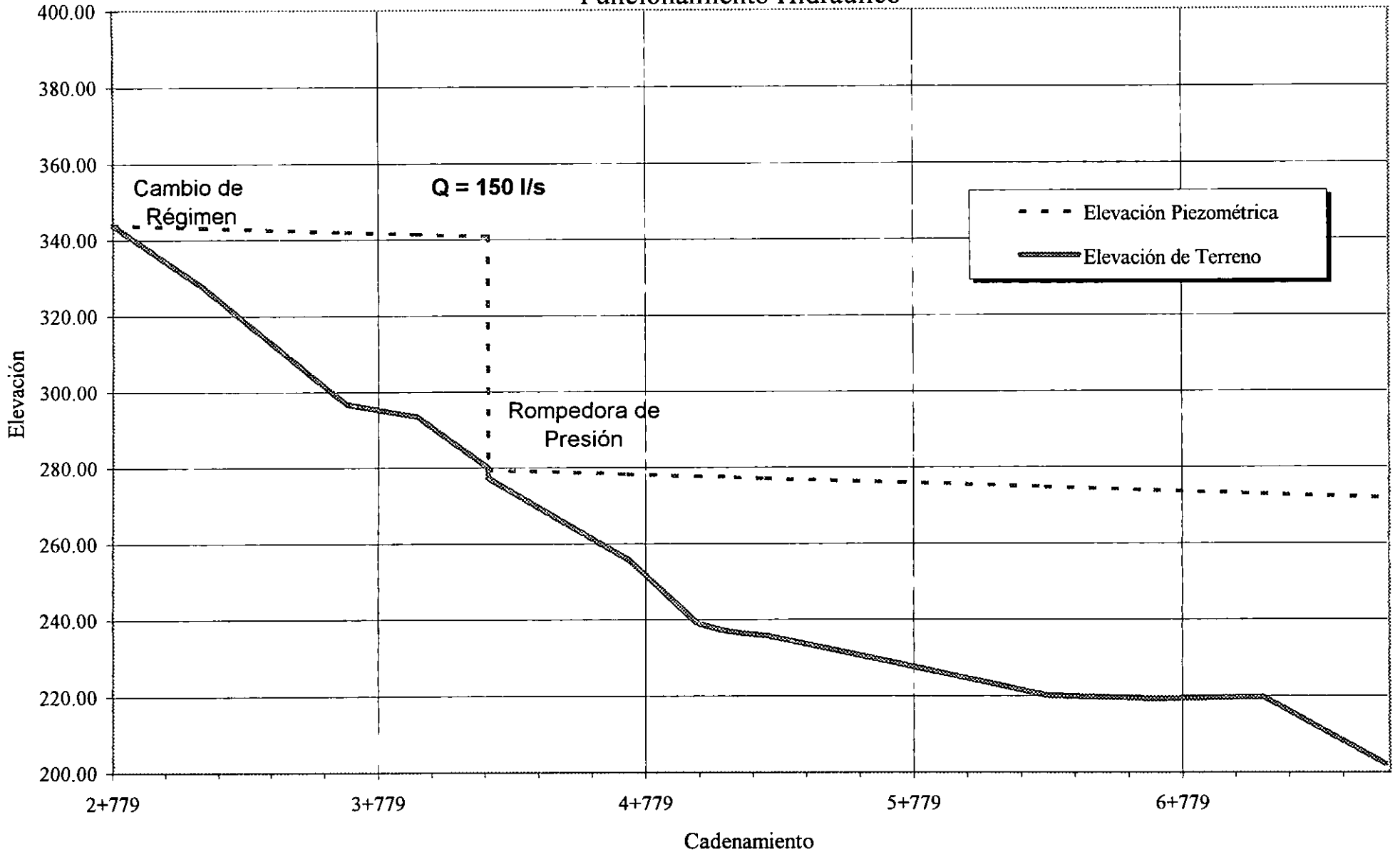


**GRÁFICA 4.3.1 Acueducto Martínez De La Torre (Tramo a bombeo)**  
Funcionamiento Hidráulico



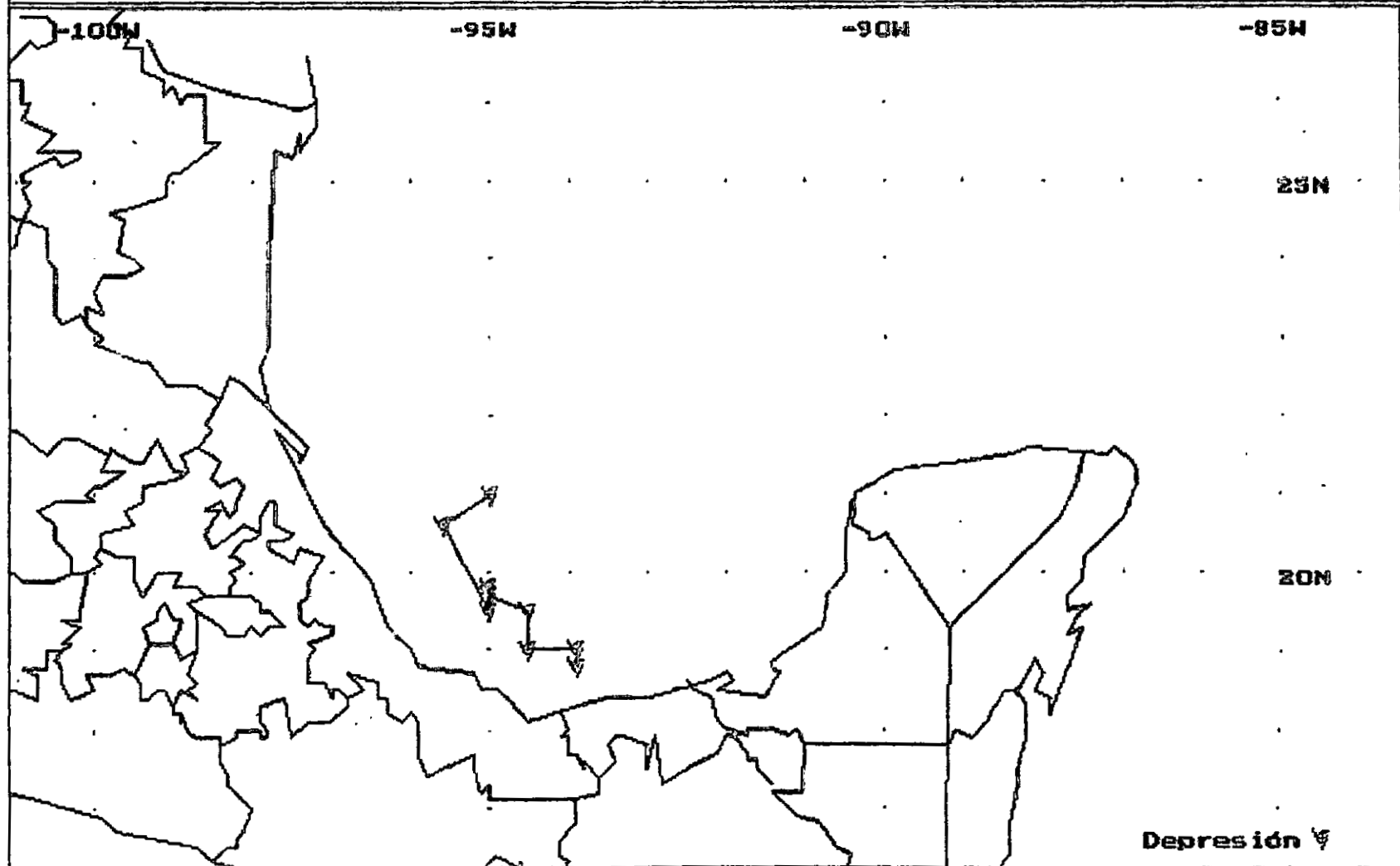
# GRÁFICA 4.5.1 Acueducto Martínez de la Torre (Tramo Torre de Oscilación -Caja Rompedora)

## Funcionamiento Hidráulico

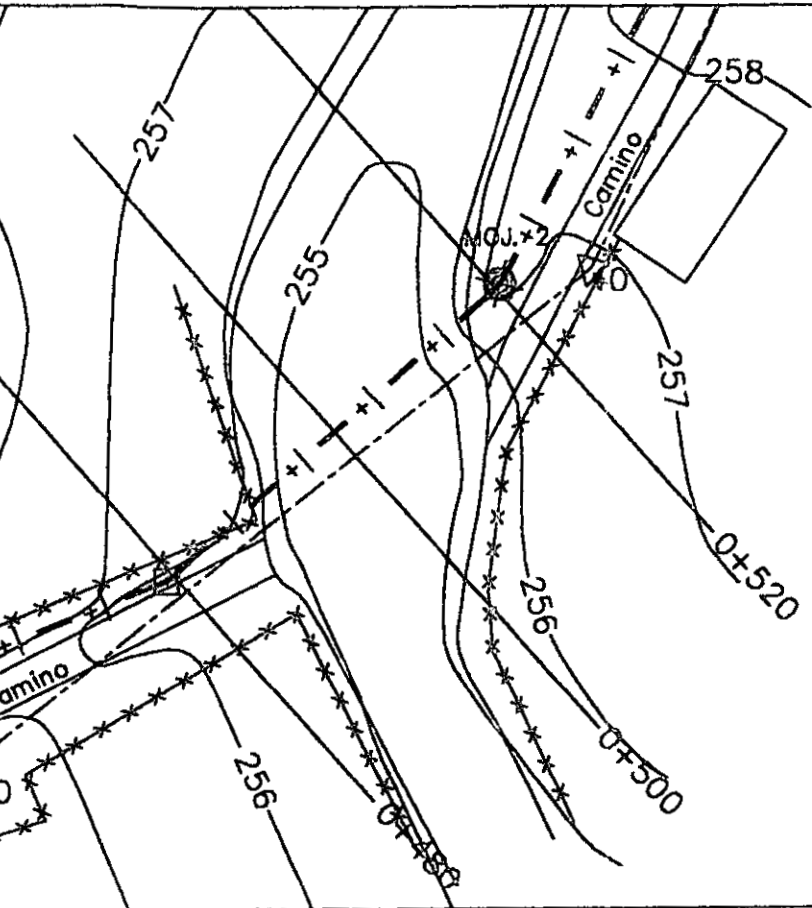


## **ANEXO DE FIGURAS**

FIGURA 1.1 TRAYECTORIA DE LA DEPRESIÓN TROPICAL No. 11



**PLANTA TOPOGRÁFICA - CRUCE 1**  
**KM 0+480-KM 0+520**



**FIGURA 21**

SIMBOLOGÍA	
TUBERÍA	- +   -
POLIGONAL DE APOYO	- - - - -
DENTIDO DEL FLUJO	~ ~ ~
COTACION DE POLIGONAL DE APOYO	△
BANCO DE NIVEL	◊
ESPEJO DE AGUA	~ ~ ~
PUNTO DE FLEXIÓN	o-o-o-o-o
CURVA DE NIVEL ACOTADA	~ ~ ~
TERRACERA	- - - - -
CERCA	— x — x — x —
POSTE C.F.E.	+ O +
ESTACIÓN DE LA POLIGONAL DE LA TUBERÍA	□

**CRUCE ESPECIAL 1**  
**(Tubería de acero de 16" (0.41 m.) Ø)**

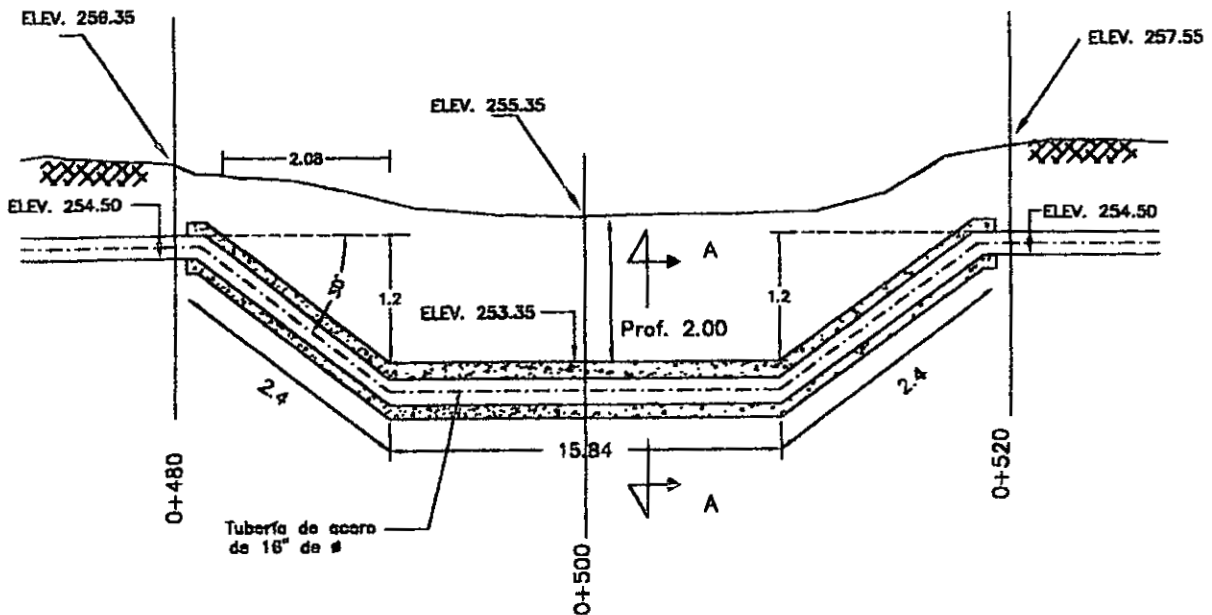


FIGURA 4.1.1 CAPTACIÓN (Planta de la Caja 1)

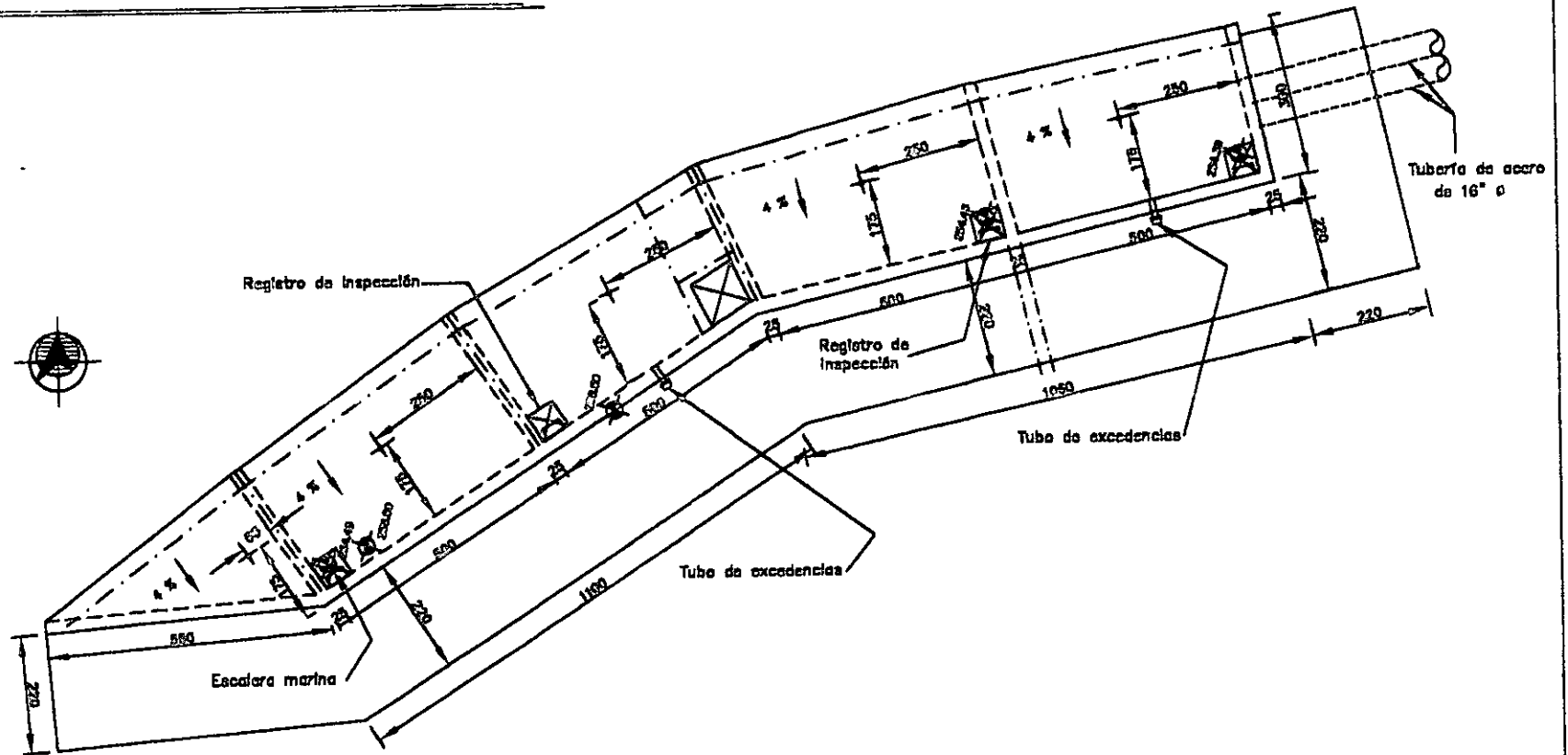
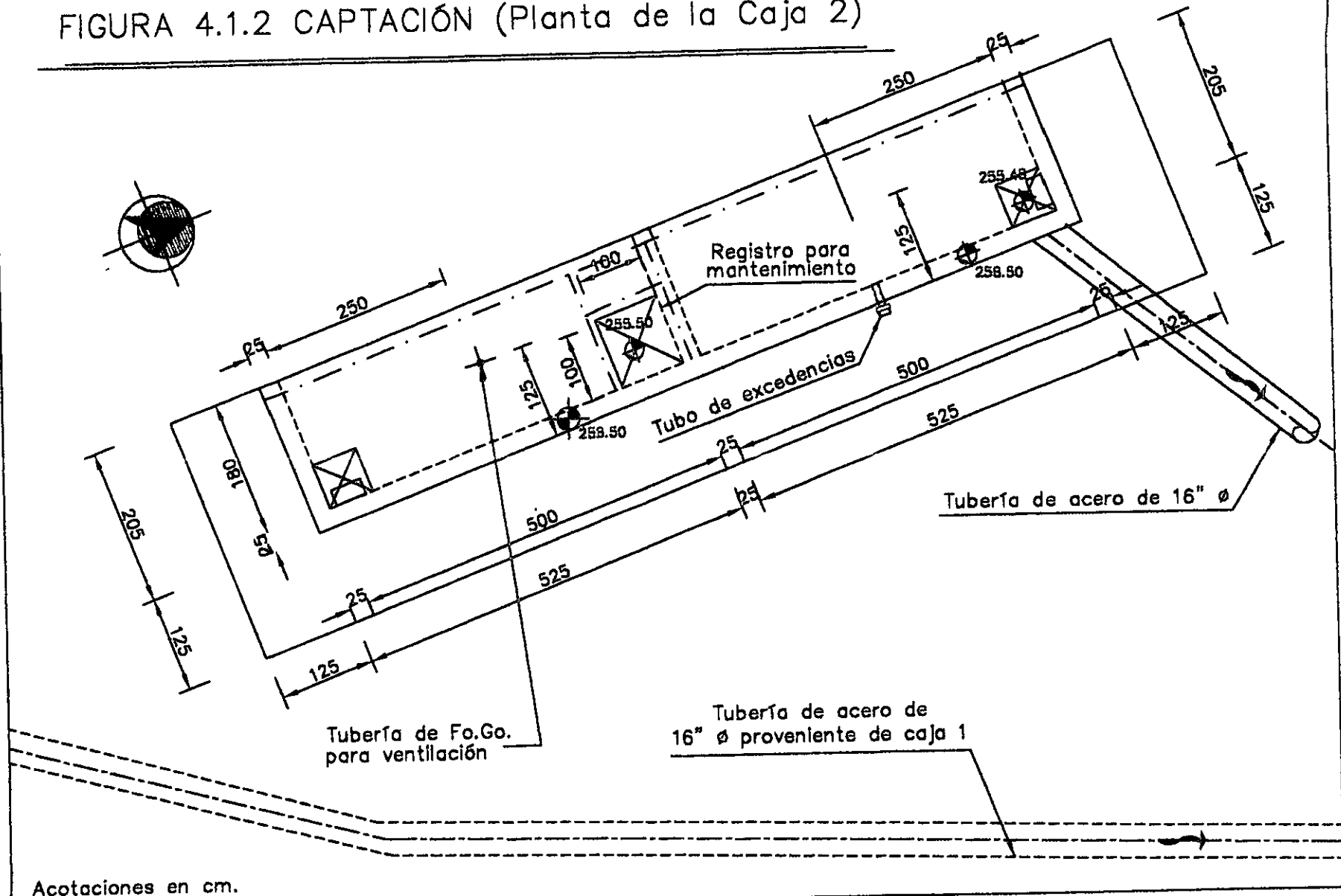


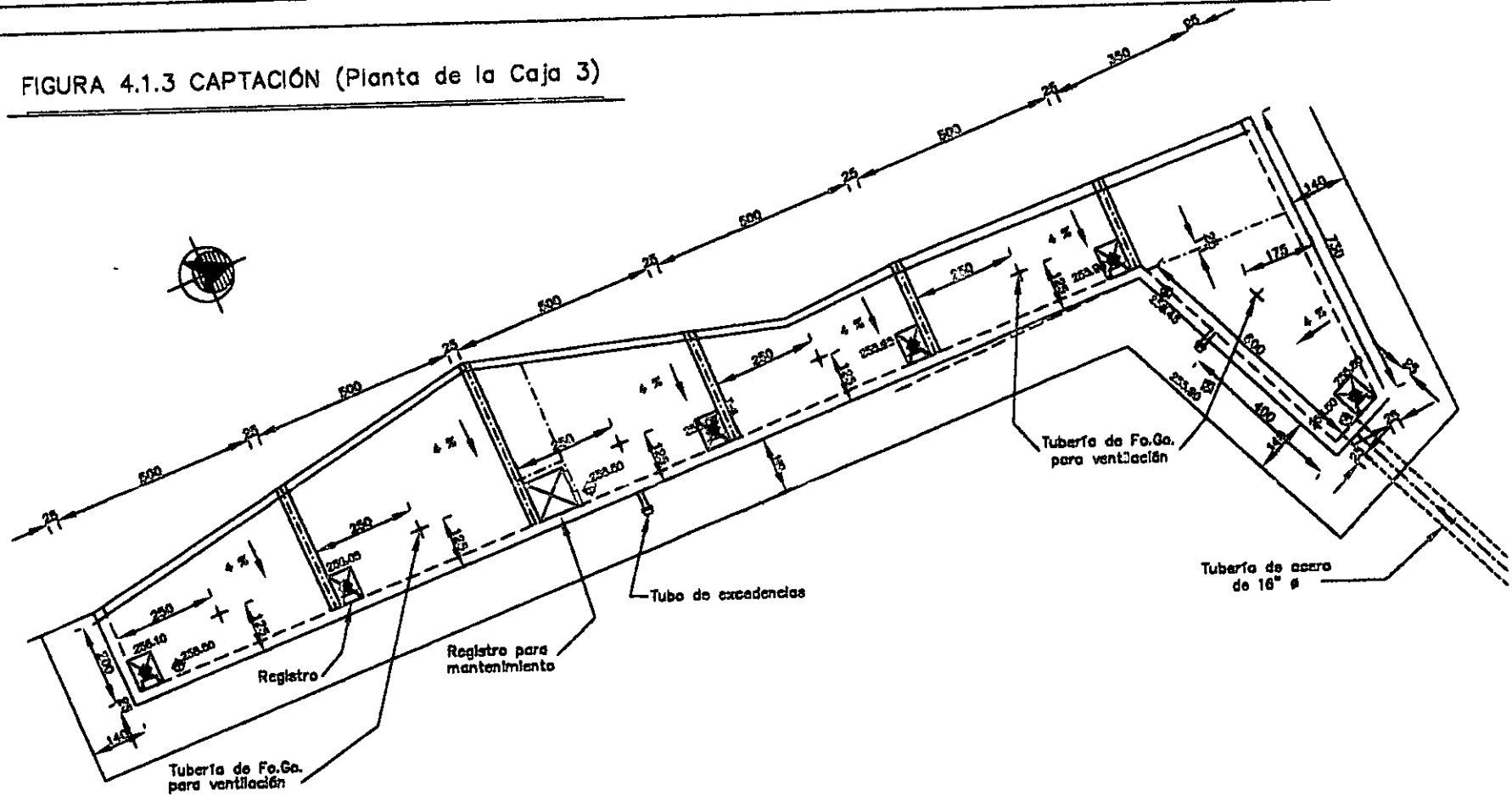


FIGURA 4.1.2 CAPTACIÓN (Planta de la Caja 2)



Acotaciones en cm.

FIGURA 4.1.3 CAPTACIÓN (Planta de la Caja 3)



Acotaciones en cm.

FIGURA 4.3.1 Conducto Simple

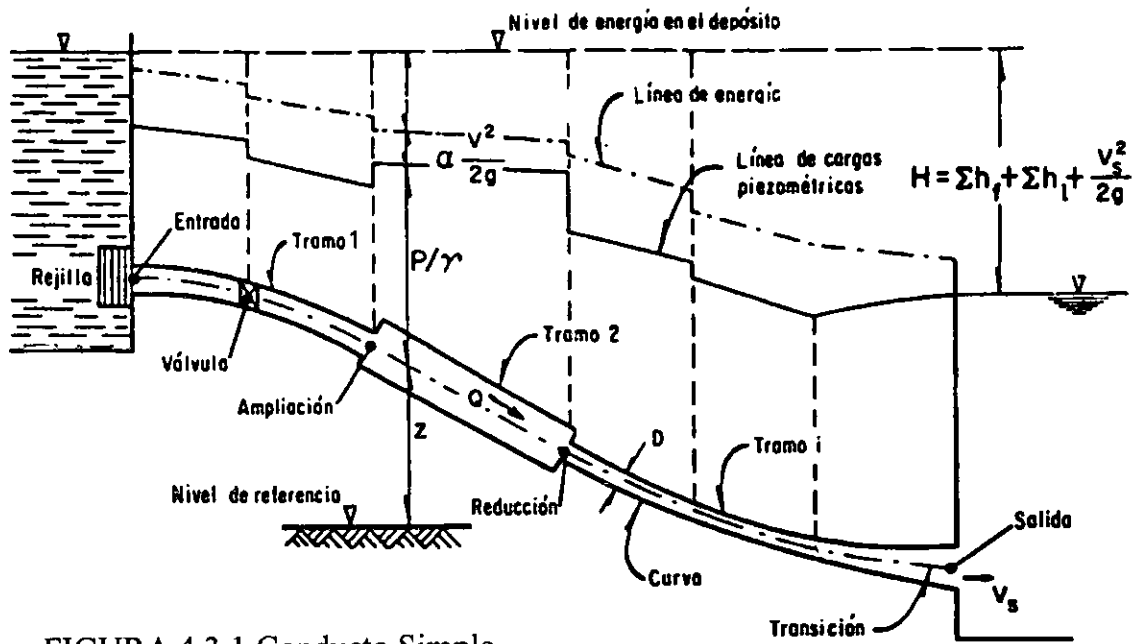
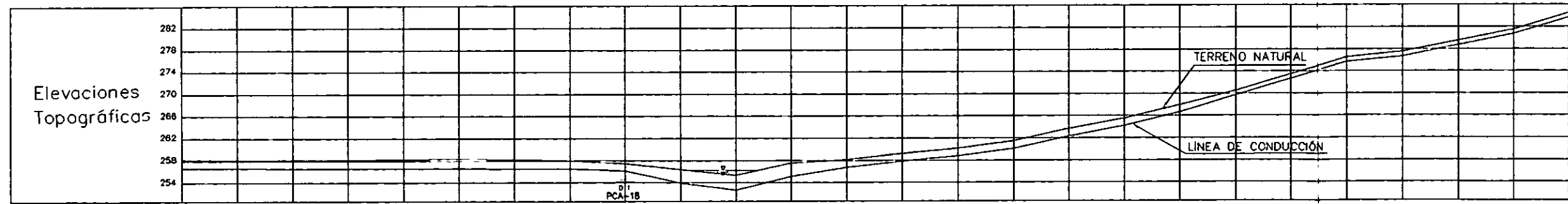
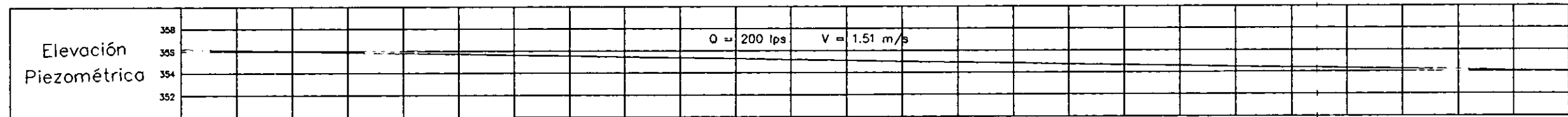
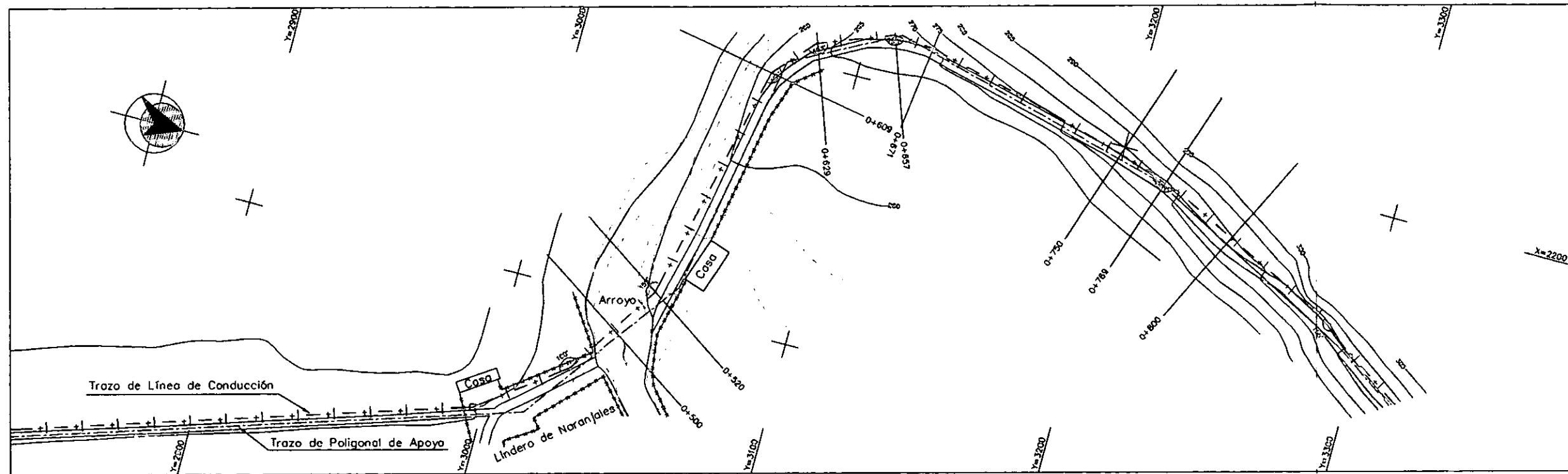


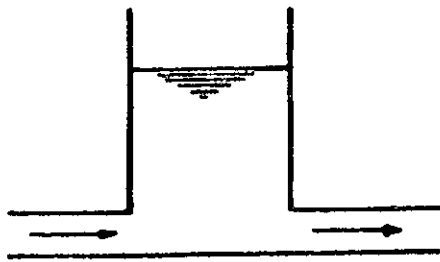
FIGURA 4.3.1 Conducto Simple



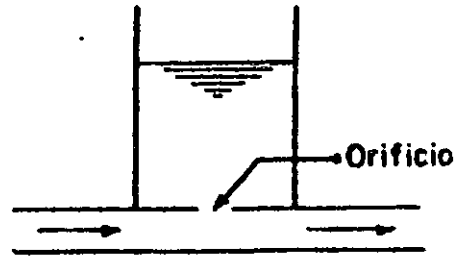
TUBERÍA CLASE Y DISTANCIA	TUBERÍA DE ACERO DE 16" Ø																									
	CARGA DE TRABAJO (m)	99.48	99.44	99.37	99.30	99.23	99.16	99.08	99.01	99.33	101.43	102.64	100.09	98.14	94.71	92.44	90.45	87.98	84.82	81.73	78.65	77.56	75.47	73.38	70.29	
ELEVACION PIEZOMÉTRICA (m)	356.17	356.08	355.99	355.90	355.82	355.73	355.64	355.55	355.47	355.38	355.29	355.20	354.94	354.65	354.70	354.68	354.99	354.50	354.41	354.33	354.24	354.15	354.06	353.97		
ELEVACION DE RASANTE (m)	256.67	256.64	256.02	256.01	256.59	256.57	256.56	256.54	256.14	256.35	256.75	257.68	258.00	260.14	262.32	264.19	266.61	269.68	272.68	275.68	278.68	281.50	284.50	283.66		
ELEVACION DE TERRENO (m)	256.20	256.15	256.15	256.15	256.20	256.25	256.20	256.00	257.50	256.35	255.35	257.55	260.16	261.50	263.68	265.55	267.97	270.50	273.50	276.50	277.50	279.50	281.50	284.50		
CADENAMIENTO (m)	0+300.00	0+320.00	0+340.00	0+360.00	0+380.00	0+400.00	0+420.00	0+440.00	0+460.00	0+480.00	0+500.00	0+520.00	0+540.00	0+560.00	0+580.00	0+600.00	0+620.00	0+640.00	0+660.00	0+680.00	0+700.00	0+720.00	0+740.00	0+760.00	0+780.00	0+800.00

FIGURA 4.3.2 PERFIL DE LA CONDUCCIÓN

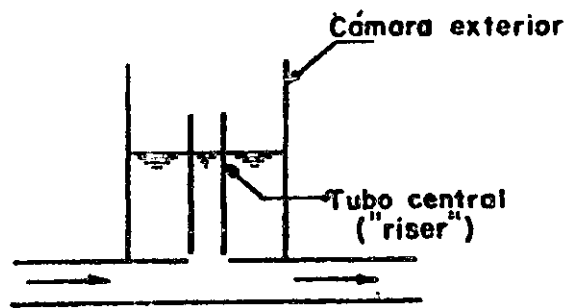
FIGURA 4.4.1 TIPOS DE CÁMARAS DE OSCILACIÓN



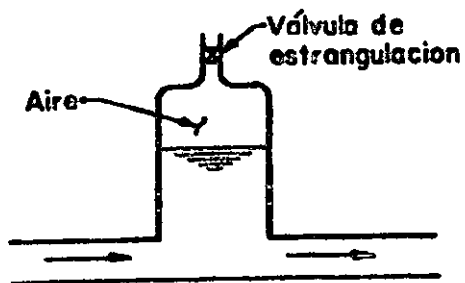
(a) Cámara simple



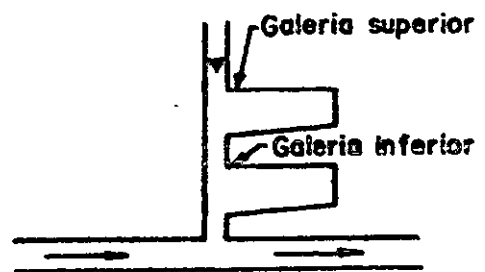
(b) Cámara con orificio



(c) Cámara diferencial



(d) Cámara de aire



(e) Cámara compuesta

## BIBLIOGRAFÍA

Manual de Diseño de Obras Civiles. Hidrotecnia. A.2.5 Cámaras de Oscilación. Comisión Federal de Electricidad. Instituto de Investigaciones Eléctricas.

Proyectos de Plantas de Bombeo. Modelo México 7. Plan Nacional de Obras Hidráulicas para el Desarrollo Rural. Secretaría de Recursos Hidráulicos.

Sotelo Ávila Gilberto. Hidráulica General. Fundamentos. Vol. 1. Ed. Limusa.

César Valdéz Enrique. Abastecimiento de Agua Potable. Vol. 1. UNAM Facultad de Ingeniería. Dirección de Ingeniería Civil, Topográfica y Geodésica. Departamento de Ingeniería Sanitaria.

Servicio Meteorológico Nacional.

[www.smn.cna.gob.mx](http://www.smn.cna.gob.mx)

Aparicio Mijares Francisco Javier. Fundamentos de Hidrología de Superficie. Ed. Limusa 1997.

Streeter Víctor L., Wylie E. Benjamín. Mecánica de los Fluidos. Ed. Mc Graw Hill.

Suárez Salazar Carlos. Costos y Tiempo en Edificación. Ed. Limusa. 1985.

Estudio y Proyecto Ejecutivo para la Rehabilitación de la Captación y Conducción del Sistema de Agua Potable de la Localidad de Martínez De la Torre, Municipio del Mismo Nombre, Estado de Veracruz. Comisión Municipal de Agua Potable y Saneamiento. Informe Final.