

4
2 Gen.



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO**

FACULTAD DE INGENIERIA

**Sistema regional de abastecimiento de
agua potable Linares - Monterrey**

TESIS PROFESIONAL
Que para obtener el Título de
INGENIERO CIVIL
Presenta

SERGIO AGUILAR ROMERO



México, D. F.

1985



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 está 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.

INTRODUCCION

CAPITULO I

I.1.-	ANTECEDENTES	1
I.2.-	ALTERNATIVAS	3
CAPITULO II		
II.1.-	DESCRIPCION GENERAL	5
II.1.2.-	PRIMERA,ETAPA	9
II.2.-	ESTUDIOS DE CAMPO	10
II.2.1.-	LEVANTAMIENTOS TOPOGRAFICOS	10
II.2.2.-	ESTUDIOS GEOTECNICOS	12
II.2.3.-	AGRESIVIDAD DE LOS SUELOS Y DEL AGUA FREATICA	14
II.2.4.-	CALIDAD DEL AGUA	16
II.3.-	DEFINICION CONCEPTUAL	22
II.3.1.-	FORMAS DE OPERACION	23
II.3.2.-	SELECCION DEL TRAZO Y DEL NUMERO DE PLANTAS DE BOMBEO	24
II.3.3.-	LOCALIZACION DE LA PLANTA POTABILIZADORA	26
II.3.4.-	SELECCION DEL NUMERO, DIAMETRO Y TIPO DE TUBERIAS	26
II.3.5.-	SELECCION DE LOS ELEMENTOS DE PROTECCION CONTRA EL GOLPE DE ARIETE	31
II.4.-	TUBERIA	45
II.4.1.-	PROYECTO GEOMETRICO	46
II.4.2.-	ANALISIS Y DISEÑO DE LA TUBERIA	50
II.4.3.-	PASO LATERAL	52
II.5.-	PLANTAS DE BOMBEO	52
II.5.1.-	ARREGLO FUNCIONAL	53

II.5.2.-	ASPECTOS MECANICOS Y ELECTRICOS	56
II.5.3.-	INSTALACIONES HIDRAULICAS Y ALUMBRADO	60
II.5.4.-	PROYECTO ESTRUCTURAL	60
II.5.5.-	TORRES DE SUMERGENCIA Y TANQUES DE REGULACION	61
II.6.-	PLANTA POTABILIZADORA	64
II.6.1.-	TANQUE DE AGUAS CRUDAS	66
II.6.2.-	DOSIFICACION DE REACTIVOS	66
II.6.3.-	MEZCLA RAPIDA	67
II.6.4.-	MODULO POTABILIZADOR	67
II.6.5.-	TANQUE DE AGUAS CLARAS	70
II.6.6.-	RECUPERACION DE AGUA DE LODOS Y RETROLAVADO DE FILTROS	70
II.6.7.-	EDIFICIOS DE DOSIFICACION, CLORACION, SOPLADORES Y TALLERES	71
	CAPITULO III	
III.-	INSTALACION DE LA TUBERIA	73
	a) PERMISOS	73
	b) ADQUISICION DE TERRENOS	73
	c) PREPARACION DEL TERRENO Y CONSTRUCCION DE CAMINOS	73
	d) EXCAVACION DE ZANJAS	74
	e) PREPARACION DEL PISO	75
	f) COLOCACION DE LA PLANTILLA	75
	g) COLOCACION DE LA TUBERIA DE ACERO	76
	h) COLOCACION DE LA TUBERIA DE CONCRETO	77
	i) COLOCACION DE PIEZAS ESPECIALES Y VALVULAS	78

j) ACOSTILLADO	78
k) RELLENO	78
III.1.- PRUEBA HIDROSTATICA	79
III.2.- PLANTAS DE BOMBEO	80
III.3.- TORRES DE OSCILACION	81
III.4.- TANQUES UNIDIRECCIONALES	82
III.5.- CRUCES	84
III.6.- PRUEBAS DE EQUIPO ELECTROMECANICO	85
III.7.- ORGANIZACION DE LA OBRA	88
III.8.- ESTADO DE LA CONTRATACION DE OBRAS Y SUMINISTROS	89
III.9.- EJERCICIO DEL PRESUPUESTO	90
III.10.- ORGANIZACION PARA LA OPERACION	91
CAPITULO IV	
IV.1.- PUESTA EN MARCHA	93
IV.2.- OPERACION TRANSITORIA Y DEFINITIVA	95
IV.3.- MANTENIMIENTO PREVENTIVO	98
CAPITULO V	
CONCLUSIONES	101

I N T R O D U C C I O N

Monterrey es la Ciudad más importante en el Norte del País y la Tercera en Población a Nivel Nacional. Durante la última década la tasa de crecimiento anual fué del 6.0%, debido tanto a la Natalidad como al gran número de inmigrantes de otras Entidades Federativas, y la Población actual que se estima en: 2'148,800.00 Habitantes, ha tenido un abastecimiento insuficiente de agua en los últimos cinco años.

El Gobierno Federal y el del Estado de Nuevo León, han integrado un Programa de Abastecimiento a corto, mediano y largo plazo, para la Zona Metropolitana y el Corredor Industrial Linares-Monterrey. Este Programa comprende la construcción del Acueducto Linares-Monterrey, con capacidad para conducir - - 12 m³/seg., que aportarán cinco Presas, de las cuales se construirá una en la Primera Etapa que aportará 6 m³/seg., y cuatro Presas más en la Segunda Etapa que aportarán otros 6 m³/seg.

El Proyecto de este Acueducto, y su correspondiente Presupuesto se describen en este trabajo.

C A P I T U L O I

I.1.- ANTECEDENTES

La Ciudad de Monterrey, Capital del Estado de Nuevo León, se localiza a los - 25° 27' de Latitud Norte, 100° 38' de Longitud Oeste, y a 538 Metros sobre el Nivel del Mar, ubicada a las Faldas de la Sierra Madre Oriental, tiene un clima caracterizado por escasa, aunque variable precipitación pluvial y por gran variabilidad de temperatura.

La escasa precipitación explica en parte la poca disponibilidad local de Recursos Hidráulicos. La variabilidad del clima condiciona tanto que la demanda de agua potable tenga fuertes fluctuaciones estacionales, como que en algunos años se presenten heladas e inundaciones, pero por lo general la zona es muy seca. Además la Ciudad en estudio registra una temperatura media anual - de 22.1 °C, la Temperatura máxima extrema es del orden de 43.5 °C y la mínima extrema de -12 °C.

La Población actual de Monterrey, se estima superior a los dos millones de habitantes y de acuerdo al Plan Nacional de Desarrollo Urbano para el año 2000 contará con 4.5 millones, ya que la tasa demográfica pronosticada para esta Ciudad es de 3.7% anual. La demanda de agua para Uso Doméstico de la Población se satisface en porcentaje inferior al 90% con un abastecimiento, en 1980, de 7.7 m³/s¹. Para el año 2000 se pretende elevar el nivel de servicio al 95%, por lo que la demanda doméstica se incrementará al 16.7 m³/s., consi-

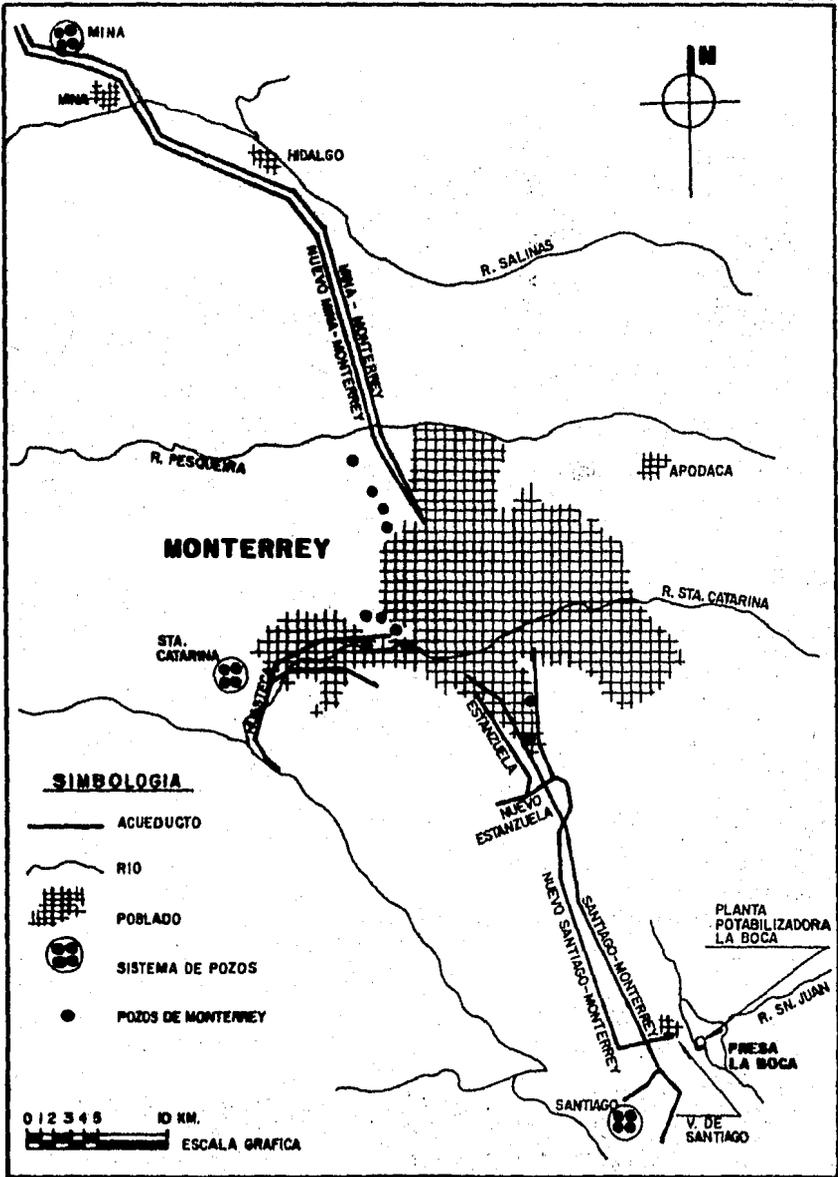
derando una dotación de 370 l/HAB/DIA, que fue la dotación resultante de un estudio realizado por la Dirección de Ordenación y Protección Ecológica de la S.A.R.H. en 1978.

La demanda Industrial de Monterrey se estimó en 1980 en $3.4 \text{ m}^3/\text{seg.}$, de los cuales solo $0.5 \text{ m}^3/\text{seg.}$ eran suministrados por la Red Municipal, $1.9 \text{ m}^3/\text{seg.}$ eran obtenidos de fuentes propias de las Industrias, $1.0 \text{ m}^3/\text{seg.}$ eran suministrados con aguas rehusadas. Las proyecciones de la demanda Industrial para Monterrey en 2000 arrojan un resultado de $10.8 \text{ m}^3/\text{seg.}$ De esta demanda se estima que el rehuso alcanzara $3.9 \text{ m}^3/\text{seg.}$ Por lo que tomando en consideración los abastecimientos propios de algunas industrias existentes, $1.9 \text{ m}^3/\text{seg.}$, para satisfacer la demanda industrial en el año 2000 habrá que incrementar en $5.0 \text{ m}^3/\text{seg.}$ la demanda doméstica, por lo que el suministro a la Red Municipal en el año 2000 deberá ser de $21.7 \text{ m}^3/\text{seg.}$

El Abastecimiento a la Ciudad de Monterrey y su Area Metropolitana se realizaba en un 80% con fuentes de agua subterráneas: 1) Campo de Pozos Mina; 2) Sistema Santa Catarina con el campo de pozos Buenos Aires y las Galerías del Río Santa Catarina; 3) Campo de Pozos Monterrey Oeste; 4) Campo de Pozos Topo Chico; 5) Sistema Santiago que incluye los túneles socavón de San Fernando y Cola de Caballo. La única fuente de agua superficial es la Presa Rodrigo Gómez (La Boca). Recientemente se amplió la Planta de Tratamiento y se incrementó el número de equipos de bombeo para que esta pueda suministrar $1.8 \text{ m}^3/\text{seg.}$ a Monterrey.

PLANO

FUENTES DE ABASTECIMIENTO EN 1980



La satisfacción de la creciente demanda deberá realizarse con nuevas captaciones y en consideración a su magnitud, a mediano y largo plazo serán cada vez mas importantes los porcentajes del abastecimiento provistos con fuentes de aguas superficiales.

1.2.- ALTERNATIVAS

La Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, a través de la Comisión del Plan Nacional, estudió varias alternativas de suministro en el corto, mediano y largo plazo a la Ciudad de Monterrey.

En el corto plazo la explotación de fuentes subterráneas tenía los mayores atractivos, ya que proporcionan agua en un menor tiempo y a costo mas bajo, aunque con restricciones en su cantidad.

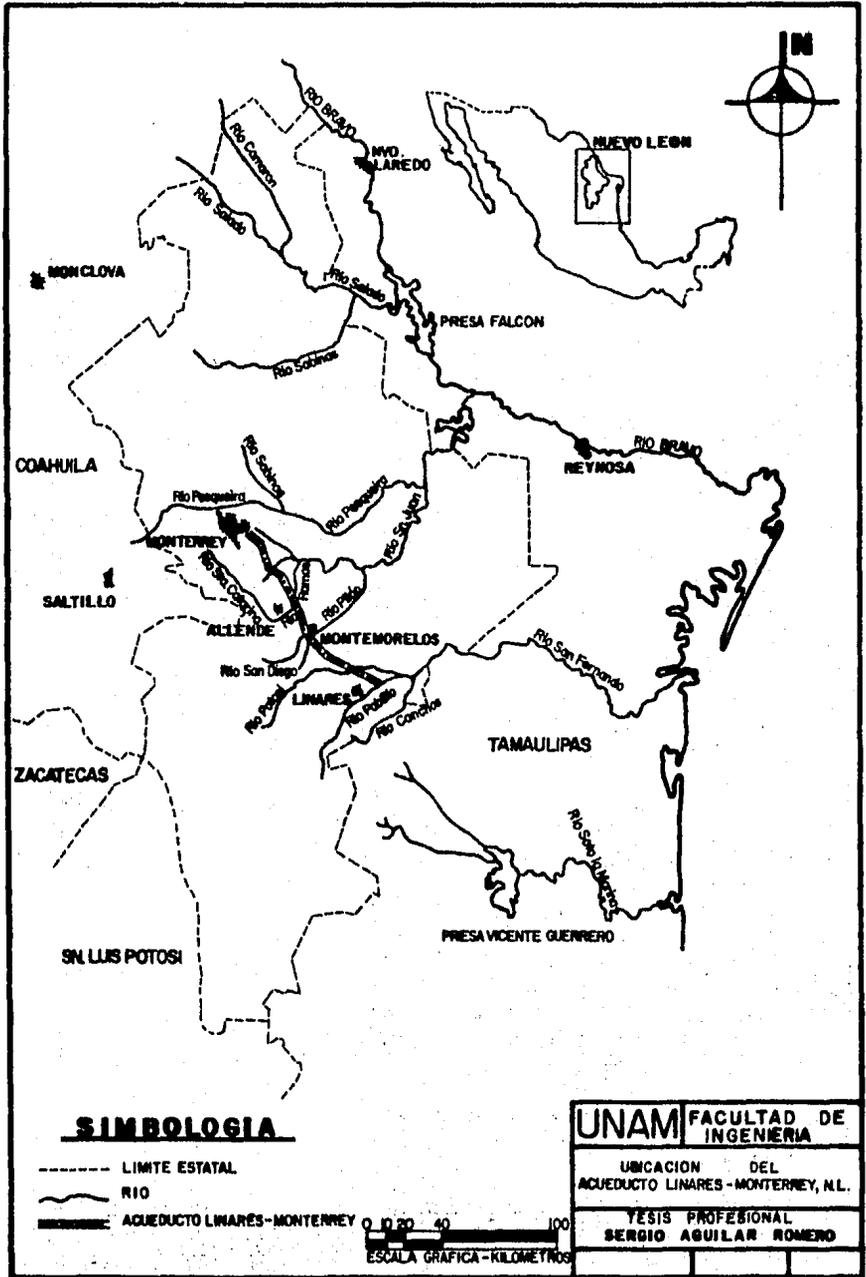
En el mediano y largo plazo las fuentes de agua superficiales serán las que puedan proporcionar caudales suficientes para satisfacer la demanda. Entre estas se pueden enumerar el aprovechamiento de cuatro Presas construídas: Marte R. Gómez, La Presa Falcón, Venustiano Carranza y Vicente Guerrero; y de doce identificadas para construir: Las Blancas, sobre el Río Alamo: Icamole, Ayacual, San Juan, Chapotal, El Tunal, Raíces, El Terrero, El Encadenado y el Cuchillo en la Cuenca del Río San Juan; y Libertad, Cerro Prieto, San Antonio y Providencia en la Cuenca Alta del Río San Fernando.

En estudios hidrológicos posteriores se analizaron profundamente las conveniencias de construir esas Presas tomando en cuenta compromisos futuros del agua, contaminación y aspectos de geología superficial. De los resultados de esos estudios se eliminaron 9 sitios, quedando para el análisis económico los si--

tios restantes de los que se obtuvieron los gastos de inversión, operación - (bombeo y mantenimiento), potabilización y tratamiento del afluente, para así calcular finalmente los costos por metro cúbico en cada aprovechamiento que - se muestran en la siguiente tabla.

S I T I O	CAUDAL APROVECHABLE (m ³ /S)	COSTO (\$/m ³ /S)
FALCON	10.0	12.00
VENUSTIANO CARRANZA	4.0	10.20
LAS BLANCAS	2.5	9.80
ICAMOLE	0.3	4.20
CUCHILLO	8.7	6.12
LIBERTAD	1.7	5.49
CERRO PRIETO	4.1	5.15
SAN JUAN	1.0	4.40
PROVIDENCIA	2.1	5.60

Las Presas Cerro Prieto y Libertad fueron las que presentaron las condiciones mas atractivas, aunque con costos unitarios ligeramente superiores al mínimo, se tiene una mayor certeza de la factibilidad del Proyecto debido al avance ; que para Cerro Prieto ya existía Proyecto Ejecutivo en 1980 y para la Liber--
tad se contaba con los estudios de factibilidad.



SIMBOLOGIA

- LIMITE ESTATAL
- ~~~~~ RIO
- ===== ACUEDUCTO LINARES-MONTERREY

0 20 40 100
ESCALA GRAFICA - KILOMETROS

UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA
UBICACION DEL ACUEDUCTO LINARES - MONTERREY, N.L.	
YESIS PROFESIONAL	
SERGIO AGUILAR ROMERO	

C A P I T U L O I I

II.1.- DESCRIPCION GENERAL

Se trata de una conducción que parte de la Presa de Cerro Prieto, principal fuente de abastecimiento, recorre casi 133 Km y entrega el agua en los tanques de San Roque ubicados en los límites de la Ciudad. El nivel mínimo de operación en la Presa es de 274 msnm. y el máximo en los tanques de San Roque de 530 msnm., por lo cual es necesario elevar el agua 256 m. Pero además en el trayecto, se tiene una pérdida de energía hidráulica de 110 m., cuando circula el caudal promedio de operación, en consecuencia, la carga dinámica del sistema, es decir el desnivel más las pérdidas de energía, es de aproximadamente 365 m., pero al considerar el caudal máximo, 12 m³/seg., este valor aumenta a 456 m.

El caudal promedio que conducirá el Acueducto en su tramo final será de 9.75 m³/seg., formado por 7.5 m³/seg. de las Presas Cerro y La Libertad y 2.25 m³/seg. de los excedentes de la demanda local para riego de los Ríos Pilón, Blanquillo y Ramos, que serán aprovechados mediante la Construcción de las Presas Chapotal, El Tunal y Raíces.

La capacidad del Acueducto en su tramo final será de 12 m³/seg., superior a los 9.75 m³/seg. mencionados, de esta forma se podrá aprovechar la variabilidad de los escurrimientos en las Cuencas de los Ríos San Juan y San Fernando. En años con lluvias abundantes será posible extraer de las Presas caudales mayores que los escurrimientos medios anuales y, en consecuencia, se

PRINCIPALES CARACTERISTICAS DEL PROYECTO

GASTO MEDIO DE APROVECHAMIENTO	9.75 M3/S
GASTO DE DISEÑO	12.00 M3/S
LONGITUD DEL ACUEDUCTO	133.00 KM
CONDUCCION CON TUBERIA DE CONCRETO	115.00 KM
CONDUCCION CON TUBERIA DE ACERO	18.00 KM
LONGITUD DE INCORPORACION AL ACUEDUCTO	31.00 KM
DESNIVEL ESTADICO MAXIMO	256.00 M
CARGA TOTAL DE DISEÑO	390.00 M
CARGA DE BOMBEO MAXIMA	456.00 M
CARGA DE BOMBEO EN CONDICIONES MEDIAS	401.80 M
POTENCIA TOTAL	46280 KW
LONGITUD DE CAMINOS	192.00 KM
ALMACENAMIENTO TOTAL EN PRESAS	707,500.000 M3

FUENTE: PLANO GENERAL SISTEMA REGIONAL DE ABASTECIMIENTO DE
AGUA LINARES-MONTERREY, PLANO No. 1602-C-2134 DE LA
D.G.C.C.A.

podrá reducir la extracción de agua subterránea para dar oportunidad a que se recuperen los acuíferos.

El tramo del Acueducto que comprende de Cerro Prieto a La Libertad es una sola línea de 13.2 Km de longitud y 2.10 m. de diámetro. A partir de La Libertad y hasta los tanques de San Roque serán dos líneas paralelas del mismo diámetro. La mayor parte del Acueducto, 115 Kms., está formado por tubería de concreto pretensado. La tubería de acero con una longitud total de 18 Km. se utiliza en algunos tramos en los que la de concreto no resulta adecuada.

Para vencer la carga dinámica del sistema se cuenta con seis Plantas de Bombeo: La PB1 con capacidad de 8 m³/seg.; las PB2, PB2A y PB3 con capacidad de 10 m³/seg. cada una; y las PB4 y PB5 de 12 m³/seg. cada una. La energía necesaria para operar cada Planta es suministrada por subestaciones con capacidad total de 46 280 KW, las cuales a su vez son alimentadas por 110 Km. de líneas de transmisión.

Para asegurar una operación hidráulica adecuada se requieren diversas estructuras reguladoras. La PB1 toma agua del vaso de la Presa Cerro Prieto y la PB4 recibe agua del tanque Garrapatas y de la Presa de La Boca, y la PB5 del tanque de aguas claras de la Planta Potabilizadora. Estas últimas Plantas de Bombeo cuentan además con torres de sumergencia, lo mismo que la PB2. En cambio, para las Plantas PB2A y PB3 fue necesario construir Tanques Reguladores aguas arriba de cada una. De esta manera se logra la operación independiente de los tramos entre las estaciones de bombeo. Pero más aún, el

Tanque Garrapatas con capacidad de 115 000 m³, hace posible independizar del resto del Acueducto, del funcionamiento de las cuatro Plantas que se encuentran aguas arriba.

Cuando ocurren paros en las Plantas de Bombeo se produce un fenómeno conocido como golpe de ariete, ésto causa que las presiones del agua se incrementen y se reduzcan mas allá de los valores de operación normal; este fenómeno no puede producir fallas en las tuberías y en los propios equipos de bombeo. Para controlar estas variaciones de presión, se construyeron diez tanques unidireccionales y dos torres de oscilación.

La Presa de La Boca, una de las fuentes de abastecimiento de la Ciudad de Monterrey, como parte del Proyecto se conectó al Acueducto mediante tubería de acero de 1.80 m. de diametro y 4.9 Km. de longitud, para dar mayor flexibilidad a la Operación del Acueducto. Así, la Planta de Bombeo PB4 permite incorporar a la Presa caudales excedentes, y entonces ésta funciona como vaso regulador, pues es posible regresar agua al Acueducto o enviarla directamente a Monterrey. La Presa también funciona como vaso almacenador, ya que puede enviar sus propios excedentes al Acueducto.

La Planta Potabilizadora, con capacidad para procesar 12 m³/seg., asegurará que el agua cumpla con las normas nacionales de calidad física, química y biológica, mediante un proceso de filtración directo, y la adición de cloro, sulfato de aluminio y polielectrolito, para finalmente entregarla a los tanques de San Roque que tienen actualmente una capacidad de 97 500 m³, de los que 30 000 m³ corresponden al tanque antiguo, y el resto a una nueva

unidad que recientemente construyó la CAPM, este Organismo considera entre sus Programas inmediatos la construcción de otro Módulo de 62 500 m³. La distribución del agua, a cargo de SADM, será flexible, ya que podrá introducirla a los tanques, llevarla directamente a la Planta de Bombeo de San Roque, o enviarla por gravedad a diversos puntos de la red.

II.1.2.- LA PRIMERA ETAPA

En Julio de 1984 se concluyeron las Obras para abastecer a la Ciudad de Monterrey con un caudal promedio de 5 000 l/seg. De la Presa Cerro Prieto provienen 4 100 l/seg. y el resto, de la Derivadora Sotolar ubicada aguas arriba del sitio en donde se construirá la Presa La Libertad, y deriva parte del escurrimiento del Rfo Potosí a La Presa Cerro Prieto.

Los pozos de Guadalupe, San Roque y la Ciudadela (PLANO II.1.) fueron perforados y conectados al Acueducto por la S.A.R.H., como una medida de emergencia para ayudar a mitigar los problemas de la Ciudad de Monterrey, ocasionados por la escasez de agua durante el estiaje únicamente se utilizarán en casos extraordinarios.

También forman parte de la Primera Etapa: el tramo de tubería que va de La Presa de Cerro Prieto a La Libertad; una línea que parte de La Libertad a los tanques de San Roque, el tanque Garrapatas, las seis Plantas de Bombeo, y las estructuras de control hidráulico, tales como tanques de regulación, torres de oscilación, torres de sumergencia y tanques unidireccionales. En todas las estructuras hidráulicas se dejaron preparadas las conexiones para cuando se instale la segunda línea del Acueducto, lo mismo que en las Plantas de - -

Bombeo. Más aún, en estas últimas se dejaron instalados todos los equipos de bombeo, tanto de la Primera como de la Segunda Etapa para permitir que tengan una utilización alternada en tanto se coloca la Segunda Línea. También la interconexión con la Presa de La Boca quedó concluída como parte de la Primera Etapa. Lo mismo que las instalaciones de la Planta Potabilizadora, que tiene una capacidad actual para potabilizar 4 m³/seg., y puede incrementarse hasta 6 m³/seg. con sólo instalar el material filtrante en los módulos de filtra- -ción ya construidos.

Si las tendencias de crecimiento de la población y de la industria continúan tal y como fueron previstas, la segunda etapa, deberá entrar en operación - - después de 1990.

II.2.- ESTUDIOS DE CAMPO

Los principales estudios de campo realizados para apoyar el diseño de las estructuras que forman el Acueducto fueron los trabajos de topografía, geotecnia, y análisis de calidad del agua.

II.2.1. LEVANTAMIENTOS TOPOGRAFICOS

Se ejecutaron tres tipos de trabajos topográficos, los cuales corresponden a las fuentes de Captación, la Conducción y las Estructuras que integran el Acueducto.

Para estudiar las fuentes de Captación se realizaron estudios fotogramétricos de los sitios, incluyendo el vaso y su conexión con el Acueducto. Los trabajos consistieron en un apoyo terrestre con base en levantamiento geodésico de

primer orden, vuelos fotogramétricos, escala 1:8 000 y restitución, escala 1:2 000, con aparatos de primer orden. No se hicieron ampliaciones o reducciones fotográficas o con pantógrafo, con objeto de tener una mejor precisión.

Los trabajos de topografía relacionados con el Acueducto se iniciaron tomando como base el trazo preliminar de la Conducción, que fue realizado en cartas topográficas escala 1:50 000, con curvas de nivel a cada 10 m., elaborados por la CGSNEGI (antes DETENAL). Y consistieron en una poligonal de apoyo, su correspondiente nivelación, secciones transversales y configuración de detalles.

La poligonal de apoyo fue abierta, definiendo estaciones a cada 20 metros y monumentos en los puntos de inflexión (PI) y en los puntos sobre tangente (PST). Para verificar el correcto alineamiento del trazo se realizaron orientaciones astronómicas a cada 10 Km., determinándose el azimut de la Línea.

Los monumentos colocados para señalar bancos de nivel a cada 500 metros a lo largo del trazo constituyeron un apoyo en la etapa constructiva. La nivelación se recorrió dos veces de ida y vuelta, nivelando únicamente los monumentos. El resultado obtenido fue una diferencia de 0.3 m. en la longitud de 133 Km., aceptable en esta clase de trabajos. El banco de nivel que sirvió de apoyo inicial a los levantamientos topográficos fue establecido en Cerro Prieto, con coordenadas $X = 6\ 000.00$, $Y = 2\ 000.00$ y $Z = 268.434$ msnm.

Con el objeto de refinar el trazo del Acueducto y también de conocer los detalles topográficos a los lados del trazo, se levantó una franja de 100 m de ancho, con base en secciones transversales a la línea del trazo, cada 20 m.

agresivos que corroen la tubería, ahí fue necesario realizar los estudios que se describen más adelante.

Los trabajos de geotecnia más relevantes fueron los necesarios para diseñar - las cimentación y para analizar la estabilidad tanto de las estructuras, como de las excavaciones que se realizaron para alojarlas. Cada estructura fue - analizada por separado para determinar la capacidad de carga del terreno de - sustentación, resolver posibles problemas de asentamientos diferenciales, y - resolver la estabilidad de las laderas descubiertas por las excavaciones. Por condiciones dictadas por el Proyecto Hidráulico, las estructuras no siempre - se desplantaron en el mejor material de cimentación; por tanto se recomendó - rigidizar las cimentaciones con objeto de resolver posibles problemas de asen- tamientos diferenciales, ocasionados por la heterogeneidad horizontal y verti- cal del material de sustentación.

Otro problema surgido de la naturaleza misma de las rocas de sustentación, - fue la presencia del agua que pudiera reblandecer el material y disminuir su capacidad de carga, o provocar un reblandecimiento local, con la consecuente concentración de esfuerzos en ese punto y la provocación de asentamientos di- ferenciales, intolerables para la estructura. Este problema se resolvió ---- construyendo plantillas de concreto pobre, al terminar cada excavación - - - también se construyeron drenes interiores -cuidadosamente proyectados- para - darle salida al agua indeseable, y drenes perimetrales para evitar la entrada de agua a la zona de las estructuras.

Finalmente, se resolvieron los problemas de estabilidad de taludes e intemperización de las rocas, ocasionados por las excavaciones descubiertas; el primero, utilizando la inclinación óptica de talud de acuerdo con la estratificación de la roca en cada caso; y el segundo, recubriendo algunos taludes con una plantilla de concreto pobre, o con losas de concreto.

II.2.3.- AGRESIVIDAD DE LOS SUELOS Y DEL AGUA FREÁTICA

Algunas sustancias que se encuentran en el suelo y en el agua freática atacan al concreto y al acero, esto podría reducir notablemente la vida útil del Acueducto. Por esta razón se determinó la resistencia del terreno, se obtuvieron muestras de suelo y agua, y se efectuaron análisis químicos para determinar la agresividad del suelo y el agua freática, pruebas que se llevaron a cabo a lo largo de la línea de conducción y en los bancos de préstamo, de acuerdo con las etapas mostradas en la Figura II.2.

Conforme al Proyecto de normas que actualmente está elaborando la DGCCA para prevenir y controlar la corrosión, se definen cinco niveles de potencial de corrosión, de acuerdo con la resistividad del suelo (FIGURA II.3.). Los suelos y el agua pueden ser agresivos al concreto o al acero, si, además de su baja resistividad, se encuentran las sustancias químicas en las concentraciones que se indican en la Figura II.4. De acuerdo con estos límites, se especificaron tanto para la tubería de concreto pretensado como para la tubería de acero, las medidas de protección adicionales, como: recubrimientos y protección anticorrosiva, arropamiento con arcilla, protección catódica, instalación de la tubería sobre silletas y cambio de tubería de concreto pretensado por tubería de acero.

FIGURA II.2.

ETAPAS DE TRABAJO PARA DETERMINAR LA AGRESIVIDAD
DEL SUELO Y DEL AGUA

MEDICION DE RESISTIVIDAD

PERFIL DE RESISTIVIDAD CON BASE EN DETERMINACIONES REALIZADAS A CADA 250 METROS APROXIMADAMENTE Y A PROFUNDIDADES DE 1.50. 3.00. 4.50 Y 6.00 M.

MUESTREO DE SUELO

RESISTIVIDAD (OHMS/CM)	DENSIDAD DE LA MUESTRA (M)
MAYOR DE 10.000	NO SE TOMA
5.000 A 10.000	A CADA 1.000
2.000 A 5.000	A CADA 500
MENOR DE 2.000	A CADA 125

PARAMETROS DETERMINADOS EN LABORATORIO

- RESISTIVIDAD A HUMEDAD CONTROLADA
- POTENCIAL HIDROGENO (pH)
- ANIONES: SULFATOS ($SO_4^{=}$)
CLORUROS (CL^{-})
SULFUROS ($S^{=}$)
- CATIONES: MAGNESIO (MG++)
CALCIO (CA++)
AMONIO (NH_4^{+})
- GASES DISUELTOS: ACIDO SULFIDRICO (H_2S)
BIOXIDO DE CARBONO(CO_2)
- OTRAS DETERMINACIONES: ACIDEZ Y ALCALINIDAD
SOLIDOS TOTALES
ACIDOS INTERCAMBIABLES DEL SUELO
GRASAS Y ACEITES

II.2.4.- CALIDAD DEL AGUA

Debido a la grave situación por la que pasaba Monterrey, que obligaba a abastecerlo con rapidez de un mayor caudal; se iniciaron simultáneamente a la construcción del Acueducto, el Proyecto de la Planta Potabilizadora, y diversos estudios e investigaciones para determinar la calidad del agua y los requerimientos de tratamiento. Estos trabajos consistieron en: comparar la Cuenca de Cerro Prieto con la de la Presa de La Boca, única fuente superficial con que contaba Monterrey; para medir la calidad del agua en los ríos Pablillo, Camacho, Potosí, Blanquillo y en la confluencia del Pablillo con el Camacho; y hacer pruebas de tratamiento en una planta piloto construida expresamente para simular el comportamiento de la nueva Potabilizadora. Los resultados de estos trabajos permitieron mejorar paulatinamente la concepción de la Planta Potabilizadora, hasta llegar al Proyecto que se describe en el Apartado II.6.

La experiencia en el tratamiento del agua de la Presa de La Boca fue muy importante. Al principio se sometió al agua a un tratamiento completo, pero se observó baja turbiedad en su salida de la Presa, por lo que recientemente se modificó la Planta para trabajar mediante filtración directa. Con estos resultados se dedujo que podría ocurrir lo mismo con el agua de las Presas por construir, por tal razón se consideró esta posibilidad desde los inicios del Proyecto de esas Presas. Esta deducción fue confirmada al comparar las pendientes de cuenca y cauce, la cobertura vegetal, el tipo de suelos, la geología y el régimen de lluvias en las Cuencas de las Presas de Cerro Prieto y La Boca.

FIGURA II.3.

NIVELES DE POTENCIAL DE CORROSION
DE ACUERDO CON LA RESISTIVIDAD DEL SUELO

POTENCIAL DE CORROSION	RESISTIVIDAD OHMS/CM
NO AGRESIVOS	MAYOR DE 10.000
LIGERAMENTE AGRESIVOS	10.000 A 4.000
MEDIANAMENTE AGRESIVOS	4.000 A 2.500
MUY AGRESIVOS	2.500 A 1.000
EXTREMADAMENTE AGRESIVOS	MENOR DE 1.000

FIGURA II.4.

CONCENTRACION CRITICA DE LAS SUSTANCIAS QUIMICAS AGRESIVAS
AL CONCRETO Y AL ACERO CONTENIDAS EN EL SUELO Y EN EL AGUA

MATERIAL	PARAMETRO	CONCENTRACION	
		SUELO	AGUA
<u>CONCRETO</u>			
	A) INDICE DE LANGELIER	CERO O NEGATIVO	NEGATIVO.
	B) AMONIO (NH_4^+)	MAYORES DE 0.03%	MAYOR DE 30 PPM.
	C) BIOXIDO DE CARBONO (CO_2)	MAYORES DE 0.003%	MAYOR DE 30 PPM.
	D) CONSUMO DE OXIGENO (O_2)	EN MEDIO ACIDO MAYOR DE 0.001%	CONSUMO EN MEDIO ACIDO MAYOR DE 10 PPM.
	E) POTENCIAL HIDROGENO (H_p)	MENOR DE 6.5 UNIDADES.	MENOR DE 6.5 UNIDADES
	F) MAGNESIO (Mg^{++})	MAYOR DE 0.03%	MAYOR DE 300 PPM.
	G) ACIDOS HUMICOS	5 MEG/NAOH POR CADA 100 G DE SUELO SECADO AL AIRE.	
	H) ACIDO SULFHDIRICO (H_2S)	MAYO DE 0.03%	MAYOR DE 100 PPM (TUBO PARCIALMENTE LLENO).
<u>CEMENTO</u>			
TIPO I	SO_4^{--}	HASTA 0.10%	MAYOR DE 80 PPM.

FIGURA II.4.

CONCENTRACION CRITICA DE LAS SUSTANCIAS QUIMICAS AGRESIVAS
AL CONCRETO Y AL ACERO CONTENIDAS EN EL SUELO Y EN EL AGUA

MATERIAL	PARAMETRO	CONCENTRACION	
		SUELO	AGUA
CEMENTO			
TIPO II (8% C ₃ A)	SO ₄ ⁼	DE 0.10% A 0.15%	MAYOR DE 250 PPM.
TIPO II (6% C ₃ A)	SO ₄ ⁼	DE 0.15% A 0.20%	
TIPO V	SO ₄ ⁼	DE 0.20% A 0.40%	MAYOR DE 5000 PPM.
SE DEBE RECUBRIR EL MORTERO O CONCRETO	SO ₄ ⁼	MAYOR DE 0.40%	
ACERO			
A) CLORURO (CL ⁻)		MAYOR DE 0.02%	MAYOR DE 1000 PPM.
B) ACIDO SULFIDRICO (H ₂ S)		MAYOR DE 0.01%	MAYOR DE 100 PPM.

En efecto el muestreo del agua de los ríos arrojó dudas acerca de la conveniencia de utilizar un tratamiento simplificado. Se observó que en las corrientes naturales pueden presentarse turbiedad hasta de 1 500 UTJ (unidades de turbiedad de Jackson), cifra mayor a la recomendada para utilizar filtración directa, pues para aplicar este proceso la turbiedad debe de estar consistentemente abajo de 10 UTJ; sin embargo, también se observó que con 48 horas de sedimentación simple, aún la turbiedad de 1 500 UTJ bajaba a menos de 10 UTJ. En las Presas se tendrán tiempos de retención superiores a las 48 horas, por lo cual se espera que la turbiedad del agua baje hasta niveles aceptables. Esta conclusión podría modificarse si en la segunda etapa del Acueducto, el caudal que fuera captado mediante derivaciones directas de los ríos, resultase muy significativo. En este caso la solución sería primero retrolavar más frecuentemente los filtros, y si la turbiedad aumentara más todavía, se agregarían pasos de tratamiento en la forma prevista en el Proyecto.

El muestreo de los ríos también indicó que la dureza del agua sobrepasa en algunos casos la norma de 300 mg/l. Sin embargo, al tomar en cuenta que la población de Monterrey está acostumbrada al agua con dureza alta, se decidió no aplicar el proceso de ablandamiento. También se excedió la norma de pH y la de concentración de hierro, pero sólo en algunas muestras; esto no justificó incluir un tratamiento adicional en la Primera Etapa del Acueducto, pero sí recomendar la observación continua de los parámetros mencionados durante la operación de la planta.

En la planta piloto, construída para potabilizar 0.12 l/seg., se realizaron pruebas con objeto de determinar el Proyecto de Potabilización más adecuado ;

seleccionar los productos químicos; definir dosificaciones tentativas, y establecer el tratamiento que se podría dar al agua de retrolavado de filtros, y a los lodos de los sedimentadores. Los resultados de las pruebas indicaron - que sí es posible utilizar un proceso de tratamiento consistente en: filtra-- ción directa; desinfección con pre y postcloración; adición de sulfato de alu-- minio a razón de 15 mg/l a polielectrolito con dosificación de 0.5 mg/l a - 1.0 mg/l. Como el agua resultó ligeramente agresiva a los metales, se reco-- mendó dejar prevista la dosificación de hexametáfosfato de sodio.

Para efectuar el retrolavado se requerirá del 2% al 3% del caudal tratado, y las carreras de filtración (tiempo entre lavados del filtro) estarán entre 20 y 40 horas la mayor parte del año. Las pruebas indicaron que para recuperar parte del agua de retrolavado conviene utilizar sedimentación simple, porque en 20 min. se reduce la turbiedad de 60 UTJ a menos de 20 UTJ y en 120 min, a menos de 10 UTJ. Si se deseara reducir la turbiedad final a 1 UTJ, sería ne-- cesario agregar 10 mg/l de sulfato de aluminio.

En resumen, considerando los resultados de todos los estudios e investigacio-- nes realizados, se concluyó que el tratamiento completo del Proyecto Original (mezcla, floculación, sedimentación, filtración y desinfección) podría simpli-- ficarse y solamente utilizar la filtración; sin embargo, se concluyó también que convendría concebir el Proyecto Completo, dejar prevista una entrada di-- recta de la mezcla a la filtración, y prever así mismo la posibilidad de com-- pletar la plant en caso de que en el futuro la calidad del agua así lo requie-- ra.

II.3.- DEFINICION CONCEPTUAL

Los componentes del Proyecto descrito en II.1.1., pueden agruparse en los siguientes rubros:

- Obras de Captación
- Líneas de Conducción
- Plantas de Bombeo
- Planta Potabilizadora
- Obras de Regulación y Control
- Obras para el Suministro de Energía Eléctrica
- Caminos de Construcción y Operación

Para algunas de estas estructuras se estudiaron diferentes opciones, las más importantes fueron:

- Trazo de la Línea de Conducción
- Número y Localización de las Plantas de Bombeo
- Sitios de Ubicación de la Planta Potabilizadora
- Número, Diámetro y Tipos de Tubería
- Elementos de Protección contra el Golpe de Ariete

Una vez seleccionadas las opciones más convenientes, se definieron sus características y la localización de las instalaciones para el suministro de energía eléctrica, y los caminos de construcción y operación.

II.3.1.- FORMAS DE OPERACION

En un Acueducto como el de Linares-Monterrey con varias Plantas de Bombeo en serie, la forma de operación define las características y dimensiones de un buen número de estructuras. Durante el desarrollo del Proyecto se planteó primero operar el Acueducto como un sistema integrado y posteriormente, como un sistema seccionado.

En un sistema integrado se maneja prácticamente el mismo gasto en todo el Acueducto, lo cual obliga a sincronizar los paros y arranque en todas las Plantas de Bombeo; en consecuencia, se requiere de un sistema de control supervisorio que no se fabrica en el País. La propia continuidad del sistema permite, por una parte, que los volúmenes de las torres de sumergencia sean pequeñas ya que solamente regulan los efectos locales de arranques y paros de los equipos de bombeo; por otra parte las pequeñas variaciones del gasto que manejan las diferentes Plantas de Bombeo, se ajustan automáticamente por la variación de los niveles de las torres de sumergencia. Como, la variación de los niveles en las Obras de Captación, repercute en las torres de sumergencia y en las torres de oscilación, las alturas de ambos tipos de estructuras deben incrementarse.

En un sistema seccionado, no se bombea el mismo gasto en todo el Acueducto porque no se requiere de una operación sincronizada en todas las Plantas de Bombeo. La independencia entre los diferentes tramos de bombeo facilita la ejecución de pruebas aisladas de cada Planta de Bombeo, y posibilita una operación manual del Acueducto; pero es necesario programar los arranques y los

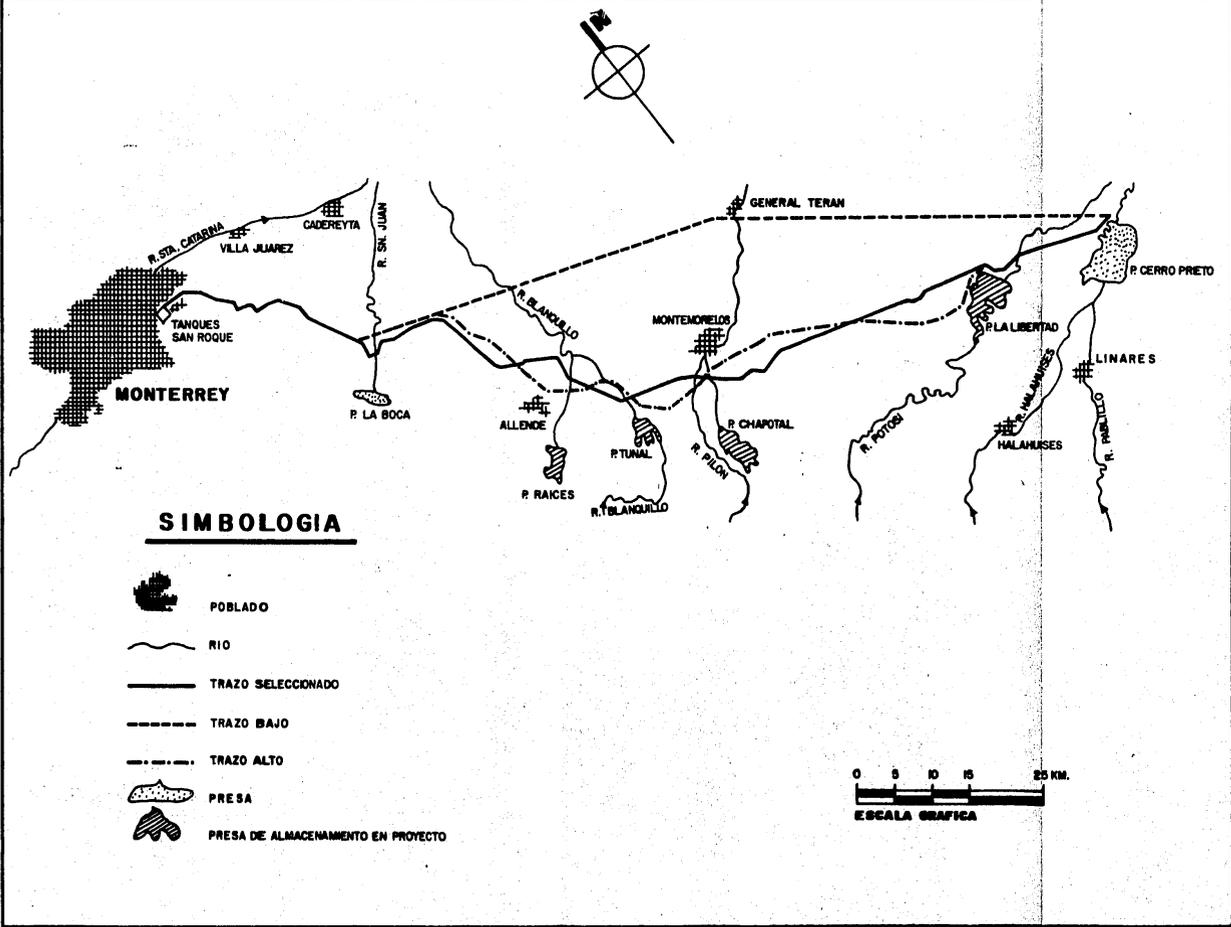
paros de los equipos de bombeo, a intervalos que dependen de la capacidad de los tanques de sumergencia. Estos últimos deben tener volúmenes mayores que los de un sistema integrado, porque tienen que regular las diferencias de los gastos manejados por dos Plantas de Bombeo contiguas.

El Proyecto del Acueducto Linares-Monterrey fue concebido originalmente como sistema integrado. Pero a principios de 1983, cuando ya se habían construido dos torres de oscilación, se acordó cambiar el criterio de diseño con objeto de acelerar la terminación de la Obra y la prueba de los equipos, así como para disminuir la inversión requerida. Esto, y las razones expuestas en II.3.5 explican porqué para controlar el golpe de ariete se utilizaron torres de oscilación en un tramo del Acueducto, y tanques unidireccionales en el resto.

II.3.2.- SELECCION DEL TRAZO Y DEL NUMERO DE PLANTAS DE BOMBEO

Se planteó un trazo bajo con el criterio de reducir al mínimo posible la longitud del Acueducto principal. Pero tomando en cuenta experiencias en la construcción de otros Acueductos para el abastecimiento de agua a grandes Ciudades, se consideró también un trazo alto por linderos entre Ejidos y Parcelas con objeto de evitar problemas de Tenencia de la Tierra, y tardanza en los trámites de expropiaciones. Este último trazo tiene la ventaja adicional de pasar más cerca de las Obras de Captación. (PLANO II.2).

Se realizó el análisis hidráulico de ambas opciones, con objeto de calcular los diámetros y cargas de trabajo de los diferentes tramos de tubería. Aunque es cierto que la longitud del Acueducto principal resulta menor si se sigue el trazo bajo, también lo es que se requiere de tuberías que soporten mayores



SIMBOLOGIA

-  POBLADO
-  RIO
-  TRAZO SELECCIONADO
-  TRAZO BAJO
-  TRAZO ALTO
-  PRESA
-  PRESA DE ALMACENAMIENTO EN PROYECTO



cargas de trabajo, y que la longitud de las interconexiones de las Obras de Captación con el Acueducto Principal, es bastante mayor que en el caso del trazo alto. Por tanto, su costo resulta elevado (FIGURA II.5.).

Durante los recorridos de campo para verificar la factibilidad constructiva del Acueducto, se sostuvieron entrevistas con los Propietarios de la tierra, gracias a la intervención del Gobierno del Estado, se resolvieron problemas, lo que permitió llegar a rápidos Acuerdos sobre Indemnizaciones. De esta manera fue posible modificar el trazo alto, y disminuir su longitud en forma importante, por lo cual el trazo seleccionado quedó como aparece en el PLANO II.2.

En cuanto a la cantidad de Plantas de Bombeo, ésta depende de las características topográficas de la zona. La deseable sería tener desniveles topográficos concentrados, en esas condiciones, una sola Planta de Bombeo vencería la diferencia de elevaciones. Pero entre Linares y Monterrey no se tiene tal situación, sino lomeríos suaves en toda la zona.

La ubicación de las Plantas está íntimamente ligada con el trazo del Acueducto, y con los puntos de incorporación de las Obras de Captación al Acueducto Principal.

De acuerdo con estas consideraciones, se decidió instalar cinco Plantas de Bombeo. Sin embargo, durante la etapa de construcción se apreciaron problemas geológicos en el sitio en que se proyectaba desplantar la torre de oscilación asociada a la Planta de Bombeo PB2 (PLANO II.1). Para disminuir la altu

ra de la torre de oscilación de esta Planta, se decidió instalar otra que se denominó PB2A. Pero finalmente en ese tramo del Acueducto se utilizaron tanques unidireccionales, en lugar de Torres de Oscilación.

II.3.3.- LOCALIZACION DE LA PLANTA POTABILIZADORA

Existían tres posibles sitios para ubicar la Planta Potabilizadora: aguas abajo de la Presa Tunal; en el sitio de incorporación de la Presa La Boca al Acueducto Principal; en las cercanías de Monterrey. Esta última opción resultó la mejor por dos razones, por una parte, las facilidades de acceso simplifican el traslado de los materiales y productos químicos que se utilizarán en el proceso de potabilización; por otra, era importante instalar la Planta aguas arriba de la incorporación de los pozos de Guadalupe, San Roque y Ciudadela, ya que el agua proveniente de estos pozos es potable y no necesita pasar por la Planta de Tratamiento.

III.3.4.- SELECCION DEL NUMERO, DIAMETRO Y TIPO DE TUBERIAS

Las primeras consideraciones sobre el tipo de tubería que se emplearía, inclinaban la balanza en favor del acero porque las fábricas de tuberías de concreto pretensado se encuentran en las cercanías de la Ciudad de México, lo cual encarece el transporte; en cambio, en Monterrey se pueden fabricar tuberías de acero de diversos diámetros.

Además, en alguno tramos del Acueducto era obligatorio instalar tubería de acero. Por ejemplo, donde las pendientes son mayores del 15% es más fácil, desde el punto de vista constructivo, instalar tubería de acero que de concreto, pues aquella es seis veces más pesada que ésta. También, por una parte -

FIGURA II.5.

COMPARACION DE OPCIONES DE TRAZO DEL ACUEDUCTO

OPCION	LONGITUD DE TUBERIA EN METROS						INVERSION EN TUBERIA EN %
	DESCARGA DE LAS PLANTAS DE BOMBEO	TRAMOS CON CARGAS MAYORES A 100 M	TRAMOS CON CARGAS MENORES A 100 M	LONGITUD ACUEDUCTO PRINCIPAL	LONGITUD INCORPO- RACIONES	LONGITUD TOTAL	
TRAZO ALTO	7 824	6 416	127 360	141 600	19 500	161 100	109
TRAZO BAJO	5 824	31 316	85 860	123 000	73 700	196 700	123
TRAZO SELECCIONADO	4 657	11 625	113 159	129 441	31 000	160 441	100

se consideró adecuado usar acero en las tuberías de descarga de las Plantas de Bombeo; y por otra, por facilidad constructiva, se decidió efectuar los Cruces del Acueducto con tubería de acero enterrada bajo el lecho del río. Asimismo, se pensó que el acero era más conveniente en los tramos del Acueducto donde la presión excede los 100 m. de columna de agua, ya que se pueden presentar problemas en las juntas de tuberías de concreto sujetas a grandes cargas. Por último, se sabía que debería usarse acero en zonas con suelos agresivos al concreto.

Una vez hecha la selección del tipo de tubería, se procedió a elegir la forma de instalarla. No había diferencias significativas entre los costos de tres posibles formas de instalación de la tubería de acero, las cuales eran: visible apoyada en silletas; semienterrada, con un arropamiento superior de material pétreo; y enterrada en zanja y embebida en concreto; sin embargo, la tubería visible apoyada en silletas requiere de espesores mayores de acero, ya que al no estar enterrada tiene que soportar cargas mayores que la tubería instalada con los otros dos métodos; además, han surgido problemas en la construcción de otros Acueductos con este procedimiento. La instalación de la tubería con un arropamiento superior de material pétreo no se eligió porque no existe en la zona material pétreo adecuado para el arropamiento; por lo que se concluyó que la mejor opción sería instalar las tuberías de acero en zanjas y embebidas en concreto.

En cuanto al criterio de diseño de las tuberías de acero, las cargas de trabajo en el Acueducto son relativamente pequeñas, por lo que las condiciones que

rigen en la mayoría de los tramos son la de espesor mínimo por aplastamiento a tubo vacío, y la de espesor mínimo por manejo y transporte.

Ya que se estableció el procedimiento de instalación y el criterio de diseño para la tubería de acero, se procedió a comparar tres opciones: una tubería de acero, una tubería de concreto, y varias tuberías de acero de 1.22 m. de diámetro.

En la Figura II.6. se presentan los resultados del cálculo del diámetro económico para cada opción en los diferentes tramos del Acueducto. Con los diámetros obtenidos se estimaron: las pérdidas de carga por fricción, las cargas totales de cada Planta de Bombeo y los consumos de energía. Se calcularon los costos en valor actual con una tasa del 15% anual, considerando tanto la inversión en tuberías y Plantas de Bombeo, como el consumo de energía eléctrica.

Como puede verse en la misma Figura, la opción más económica resultó ser la de una tubería de concreto con diferentes diámetros en los distintos tramos. Sin embargo, la decisión de construir el Acueducto en dos etapas modificó la conclusión anterior en los tramos La Libertad-Garrapatas y Garrapatas-San Roque; se comparó la opción de instalar en esos tramos una sola tubería de 2.30 m. y 2.50 m. de diámetro, respectivamente, con la de instalar dos tuberías paralelas de 2.10 m. de diámetro, cada una. El análisis económico demostró que era menos costoso construir dos tuberías, únicamente si la inversión en la segunda tubería se difería 10 años o más; sin embargo, por un lado se debía re-

FIGURA II.6.

DIAMETRO ECONOMICO

T R A M O	TUBERIA DE ACERO (M)	TUBERIA DE CONCRETO (M)	VARIAS TUBERIAS DE ACERO DE 1.22 M G.H.E.
PRESA CERRO PRIETO-			
	2.00	2.10	3
PRESA LA LIBERTAD			
PRESA LA LIBERTAD-			
	2.20	2.30	4
TANQUE GARRAPATAS			
TANQUE GARRAPATAS-			
	2.20	2.50	4
TANQUES SAN ROQUE			
COSTO (¢)	128	100	148

G.H.E. = GRADIENTE HIDRAULICO EQUIVALENTE.

conocer que tener dos tuberías proporciona mayor seguridad en la continuidad del servicio, y que se logro una menor variación entre las cargas correspondientes a gasto máximo y gasto mínimo, con lo que los equipos de bombeo tienen un menor rango de operación; por otro lado, para la fecha de la toma de decisiones se plantearon los cuestionamientos mencionado en I.2 (La Construcción de la Presa Chapotal sobre el Río Pílon), lo cual podría disminuir el caudal aprovechado por el Acueducto. Diferir la instalación de la segunda tubería permitirá en su momento tomar una decisión más adecuada respecto a su diámetro. En consecuencia, se decidió instalar tubería doble de La Libertad a los tanques de San Roque.

No se consideró necesario instalar doble tubería en el tramo Cerro Prieto- La Libertad, ya que por su corta longitud se estimó poco probable una falla, en comparación con el resto del Acueducto. Y una falla no prolongada en ese tramo no afectará el suministro de agua cuando se ponga en marcha la segunda etapa, pues se tiene previsto que desde la Presa La Libertad se puedan extraer hasta 10 m³/seg.

II.3.5.- SELECCION DE LOS ELEMENTOS DE PROTECCION CONTRA EL GOLPE DE ARIETE

Con objeto de aclarar los conceptos utilizados para el diseño de la tubería y de los elementos de protección, a continuación se describe brevemente el fenómeno y se presentan las herramientas de análisis utilizadas.

El Acueducto cuenta con gran flexibilidad para operar durante su vida útil, la forma en que opere estará determinada por la variación de los niveles de las Presas y por la variación de los caudales proporcionados por los equipos de las Plantas de Bombeo.

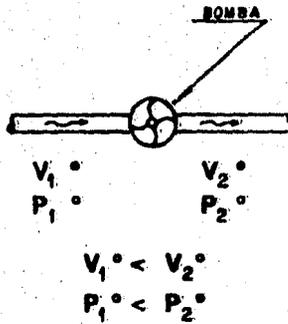
Si se genera cierta demanda en la Ciudad de Monterrey, el Acueducto podrá conducir, a juicio del Organismo Operador, una variedad de gastos en función de los niveles de las Presas y del número de equipos que se operen. En estas condiciones (que por su naturaleza se consideran de operación normal), las demandas producidas por presión y fricción a las estructuras, Plantas de Bombeo, tubería y atraques, serán sostenidas y de larga duración sin tener ninguna variación apreciables; sin embargo, estas condiciones sufrirán perturbaciones producto de maniobras ejecutadas por el Personal de operación deliberadamente, o bien, por situaciones accidentales en los que se provoque un cambio de régimen en el Acueducto. A lo largo del Acueducto, la masa de agua en movimiento tiene una gran cantidad de energía cinética que, en las situaciones descritas, puede ser liberada en contra de la seguridad del sistema si estas maniobras no se realizan adecuadamente o si no se colocan los dispositivos requeridos para su control.

Como todo sistema hidráulico, el Acueducto tiende a adoptar una condición de equilibrio de régimen establecido, ante cualquier perturbación que modifique sus condiciones normales de operación. Así por ejemplo, al poner en marcha un equipo adicional de bombeo, tanto el gasto transportado por el Acueducto, como los niveles en los tanques y las condiciones de operación en los equipos de bombeo tenderán a una nueva condición de equilibrio. Al cambio entre estas condiciones se le llama fenómeno transitorio. Dentro de las condiciones transitorias más comunes se encuentran el arranque, el paro controlado, la falla parcial y la falla total, esta última es lo que ocasiona los mayores cambios de presión.

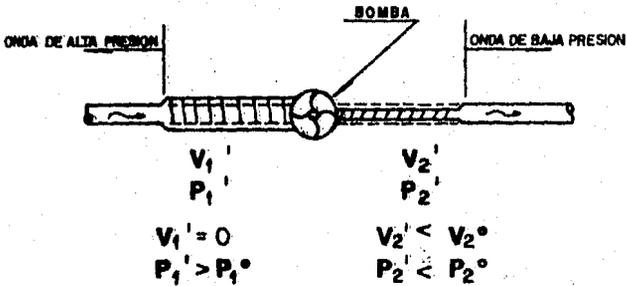
La secuencia que se presenta en la falla de un equipo de bombeo es la siguiente:

- Antes de la falla la presión en la succión de la bomba es menor a la presión en la descarga (FIGURA II.3,a), y la energía eléctrica es la que realiza el trabajo de hacer girar la bomba y lograr el equilibrio dinámico.
- Al fallar la energía que hace girar al equipo, éste tiende a pararse debido a la diferencia de presiones que tiene en la succión y en la descarga, pero la inercia del equipo no permite que esto suceda instantáneamente.
- El agua en tránsito hacia el equipo se agolpa en la entrada de la bomba, con un aumento en la presión que origina el inicio de una onda de alta presión hacia aguas arriba de los equipos de bombeo. Este aumento en la presión se manifiesta en una expansión milimétrica de las paredes de la tubería, lo cual se ilustra en forma amplificada en la FIGURA II.3,b.
- En contraste, al no ser alimentada la línea de descarga, se genera una onda de baja presión hacia aguas abajo de la Planta de Bombeo. En este caso la tubería sufre una pequeñísima reducción en su diámetro.
- La rotación del equipo disminuye debido a la diferencia de presiones, y decrece la velocidad del agua en la tubería de descarga, hasta que invierte su sentido de flujo y provoca que el equipo gire también en sentido inverso.
- Si se permite que el fenómeno continúe, el equipo puede rebasar la velocidad en reversa recomendada por los fabricantes, con el consiguiente sobrecalentamiento dañino de chumaceras y baleros. Para evitar esto se instala, por recomendación de fabricantes de equipos, una válvula de cierre automático (válvula "check") en la descarga de las bombas, lo cual alivia las condiciones de los equipos, pero en el momento de su cierre provoca una onda de alta presión hacia aguas abajo de la Planta de Bombeo.

Las ondas de presión que se generan viajan por la tubería hasta encontrar algún cambio en la geometría, ya sea por la presencia de alguna estructura o por cambios en la dimensión o diámetro de la conducción; entonces las ondas de presión se alteran por esos cambios y regresan a la bomba. Este proceso -



(a): TIEMPO $t=0$, OPERACION NORMAL DE LA BOMBA.



(b): TIEMPO $t=t_1$, PARO DE LA BOMBA A CAUSA DE UN CORTE DE ENERGIA

se repite hasta que la fricción en la tubería disipa la energía, o alguna estructura amortigua los efectos del golpe de ariete. Todas estas fluctuaciones de la presión (sobrepresiones) del agua, pueden dañar la tubería si no se toman las medidas pertinentes, en particular las sobrepresiones negativas (presiones que quedan por debajo del nivel estático normal), ya que puede producirse la separación de la columna de agua y, en consecuencia, generar sobrepresiones positivas extremadamente grandes (AWWA, 1983: apéndice B).

El análisis hidráulico de los fenómenos transitorios se hace a partir de dos ecuaciones: la de continuidad y la de cantidad de movimiento, que son respectivamente:

$$(2.1) \quad \frac{a^2}{g} \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{\partial H}{\partial t} + v \operatorname{sen} \theta = 0$$

$$(2.2) \quad g \frac{\partial H}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{f |v|v|}{2D} = 0$$

donde: a ; celeridad en la onda de presión, en m/s
 g ; aceleración de la gravedad, en m/s²
 v ; velocidad, en m/s
 x ; distancia, en m
 H ; carga de presión, en m
 t ; tiempo
 f ; factor de fricción de la fórmula de Darcy-Weisbach, sin dimensiones
 D ; diámetro del tubo, en m
 θ ; ángulo de inclinación de la tubería

Existen varios métodos para la solución de estas ecuaciones, como algunos gráficos que se utilizan en sistemas sencillos como el de una bomba que alimenta a un tanque de regulación; (Parmakian, 1963:74). Pero para sistemas tan complejos como el del Acueducto Linares-Monterrey, se requiere la utilización de computadoras, por eso se decidió utilizar el método de las características - (Wylie, 1978 y Chaudry, 1979). Con este método se realiza una combinación lineal entre las ecuaciones 2.1 y 2.2., afectando a la segunda de un factor $-a/g$, se tiene así un sistema de cuatro ecuaciones diferenciales totales simultáneas.

$$\frac{dH}{dt} + \frac{a}{g} \frac{dv}{dt} + v \operatorname{sen} \theta + \frac{af v|v|}{2gD} = 0 \quad (2.2)$$

$$\frac{dx}{dt} = v + A \quad (2.3)$$

$$\frac{dH}{dt} - \frac{a}{g} \frac{dv}{dt} + v \operatorname{sen} \theta - \frac{af v|v|}{2gD} = 0 \quad (2.4)$$

$$\frac{dx}{dt} = v - a \quad (2.5)$$

Las dos primeras ecuaciones representan la ecuación característica positiva y las dos últimas la ecuación característica negativa.

Su aplicación se realiza sobre una malla en el plano xt (longitud-tiempo), partiendo de condiciones iniciales en $t = 0$ y resolviendo las ecuaciones anteriores para incrementos definidos de longitud x e incrementos de tiempo t , relacionados por la ecuación:

$$\frac{\Delta x}{\Delta t} = v + a \quad (2.6)$$

En el caso particular de las discontinuidades, se resuelven simultáneamente las ecuaciones diferenciales anteriores, con las propias de cada frontera (FIGURA II.7).

La aplicación del método se hizo mediante un Programa de Computadora Digital, basado en el Programa de Wylie (Wylie, 1978). En el Plano II.4 se presenta el diagrama de bloques del Programa utilizado.

La información básica que se requiere en el Programa es la Geometría del Acueducto, las características Hidráulicas de las Estructuras, las condiciones iniciales y finales de gasto, y las condiciones iniciales de los niveles del agua. Para analizar con el Programa los transitorios y el dimensionamiento de las estructuras de control del golpe de ariete, se obtienen las velocidades y presiones máximas y mínimas a las que el Acueducto quedaría sometido si no se incluyera alguna estructura de control. Conociendo la magnitud de las

FIGURA II.7.

ECUACIONES PARA CONDICIONES DE FRONTERA

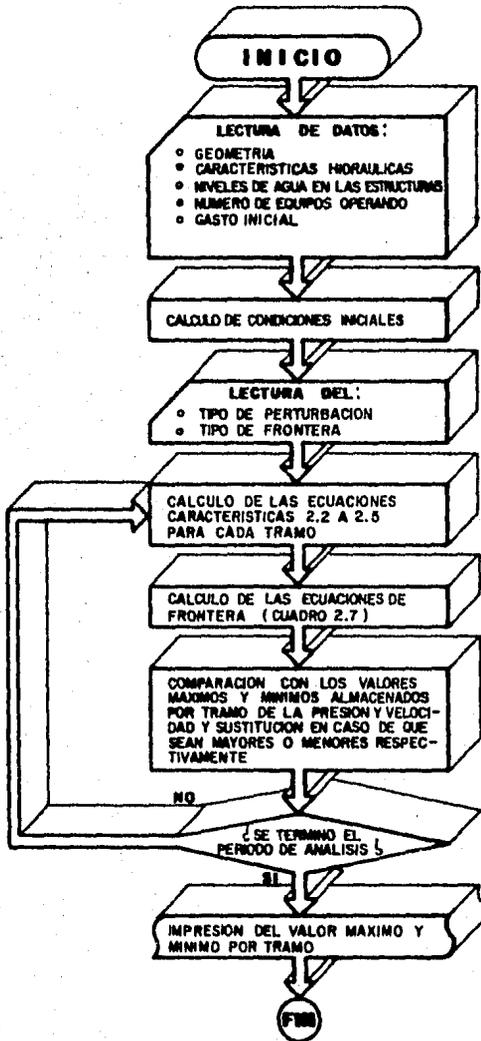
METODO DE LAS CARACTERISTICAS

FRONTERA	ECUACIONES
PLANTA DE BOMBEO OPERANDO	CONTINUIDAD EN EQUIPOS OPERANDO CURVA H-Q DE LOS EQUIPOS
PLANTA DE BOMBEO FALLANDO PARCIALMENTE	CONTINUIDAD EN EQUIPOS OPERANDO CURVA H-Q DE LOS EQUIPOS OPERAN <u>DO</u> . CANTIDAD DE MOVIMIENTO EN LAS - PARTE GIRATORIAS DE LAS BOMBAS QUE FALLAN. CURVAS WH Y WB DE EQUIPOS FA- LLANDO. PERDIDA EN LAS VALVULAS.
PLANTA DE BOMBEO ARRANCANDO	CONTINUIDAD EN EQUIPOS ARRANCAN <u>DO</u> . PERDIDA EN LAS VALVULAS. CONTINUIDAD EN EQUIPOS OPERANDO CURVA H-Q DE LOS EQUIPOS OPERAN <u>DO</u> .
TORRE DE OSCILACION CON CONEXION CORTA	CONTINUIDAD EN BIFURCACION DE - TUBERIA. CANTIDAD DE MOVIMIENTO EN LINEA CORTA. CONTINUIDAD EN LA TORRE.
TANQUE UNIDIRECCIONAL	CONTINUIDAD EN BIFURCACION DE - TUBERIA. CANTIDAD DE MOVIMIENTO EN LINEA CORTA. CONTINUIDAD EN EL TANQUE. LA VELOCIDAD EN LA LINEA DE IN- TERCONEXION. SIEMPRE DEBE TENER SENTIDO POSITIVO (DEL TANQUE A LA LINEA)

PLANO

2.4

DIAGRAMA DE BLOQUES DEL PROGRAMA DE COMPUTADORA PARA LOS TRANSITORIOS.



sobrepresiones positivas y negativas, se puede escoger algún dispositivo de control, con lo cual se proponen sus dimensiones y se obtienen nuevamente - las presiones externas. Si los resultados no están dentro de los rangos esperados, se dimensionan nuevamente las estructuras y se corre el Programa.

Se debe considerar, además, que puede haber varias opciones, ya que las presiones a que quedará sometido el Acueducto (y por tanto los costos de la tubería), estarán en función de las dimensiones de las Estructuras de Control; dicho de otra manera, si se quieren disminuir las presiones a las que estará sometida la tubería normalmente, se incrementan las dimensiones o el número de estructuras de control. Por tanto, para poder elegir la mejor opción, es necesario hacer un análisis económico de los costos de construcción y operación del Acueducto, con cada tipo de estructura o con una mezcla de ellas, - si se juzga conveniente.

Existen diferentes dispositivos para amortiguar los efectos del golpe de ariete, durante el desarrollo del Proyecto Original se hicieron las siguientes consideraciones para desechar algunos dispositivos de control:

— Los volantes de inercia son elementos de protección que se pueden incluir en el conjunto bomba-motor, ya que mediante el incremento del momento de inercia reducen el efecto del golpe de ariete. Sin embargo, los volantes de inercia requieren de motores de arranque de mayor potencia, disminuyen la eficiencia de operación del conjunto bomba-motor, y son poco sensibles para neutralizar el efecto del golpe de ariete, pues se necesita incrementar 3 ó 4 veces el momento de inercia para dar resultados adecuados.

- Las tuberías de recirculación de las bombas con válvulas de cierre automático para que no retorne el agua ("check"), que permiten sólo el flujo de succión a la descarga, únicamente sirven para proteger de la sobrepresión negativa, no protegen de la sobrepresión positiva.
- Las válvulas de alivio deben ser de apertura controlada, para disminuir en forma adecuada la sobrepresión positiva, y requieren de otros elementos como tanques unidireccionales o cámaras de aire para inyectar agua en casos de sobrepresión negativa.
- Las cámaras de aire resultan costosas por los grandes volúmenes que se requiere en el Acueducto; además, tienen el inconveniente de que el aire se va disolviendo poco a poco en el agua, por lo que se debe reponer periódicamente. Las cámaras que tienen un diafragma para evitar la disolución del aire, no se fabrican en los tamaños requeridos.
- Las válvulas de admisión y expulsión de aire, aunque su funcionamiento aparentemente es adecuado para evitar las sobrepresiones negativas, no están lo suficientemente probadas para ser utilizadas en una Obra de la magnitud de este Acueducto.
- El tanque unidireccional es un dispositivo que contiene agua con una superficie libre, sólo compensa la presión mediante aportación de agua a la línea; es decir, únicamente introduce agua en la línea cuando la carga de presión en ésta es inferior al nivel del agua en el tanque. Esto se logra mediante la colocación, en la línea de interconexión, de una válvula de cierre automático ("check"). Para permitir la entrada de agua se colocan válvulas de flotador (PLANO II.5.). La altura del tanque -

en general resulta inferior a la de una torre de oscilación, y depende del nivel a partir del cual se desee que empiece a funcionar. (ParmaKian, 1957; Miyashiro, 1967). En un principio no se consideró esta estructura, ya que se deseaba evitar al máximo tanto los mecanismos que pudieran hacer más complicada la operación como los que requirieran mantenimiento.

Las torres de oscilación son estructuras simples, sin válvulas, que trabajan por gravedad, son altamente confiables por la experiencia que se tiene con estas estructuras en grandes Acueductos en el Extranjero y en México (PLANO II. 6). Además, con las torres de oscilación se pueden aprovechar al máximo la carga disponible en las presas, que es variable a lo largo del año; lo que no es posible con los tanques de regulación. Por estos motivos se decidió tener conectadas en serie las Plantas de Bombeo, y en lo posible, hacer las incorporaciones de las Presas en las torres de sumergencia que son estructuras que regulan los efectos locales de arranques y paros de los equipos de bombeo, como se indicó en el Inciso II.3.1.

Para que las estructuras de control no resultaran muy costosas, deberían ser de área pequeño. Así fue que se tomó la decisión de que fuesen torres de sección circular; esta decisión obligó a tener una sincronización perfecta con el paro y el arranque del sistema. Como consecuencia de lo anterior, para restringir la presencia del efecto del golpe de ariete en un tramo corto de tubería, se decidió ubicar las torres de oscilación en puntos adecuados, al final de la tubería de descarga de las Plantas de Bombeo.

Las torres de sumergencia y las torres de oscilación deben tener una altura -

suficiente para cubrir los diferentes niveles de operación. Estos niveles se determinarán, por un lado, por el nivel de embalse de las Presas Cerro Prieto, La Libertad y La Boca, que pueden tener variaciones de 13.90 m, 22.30 m y 22.50 m, respectivamente; y por otro lado, por el número de equipos de bombeo que esté en operación.

Esta diversidad de posibles condiciones hizo necesaria la selección de las solicitaciones extremas. Para realizar esta simplificación se consideraron los dos factores que más afectan la magnitud de las sobrepresiones máximas y míni^{nas}, en presencia de un fenómeno transitorio: la presión previa y el gasto -conducido. De esta manera se definieron cuatro condiciones básicas de análisis: las cargas máxima y mínima y los gastos máximo y mínimo. Además, se -consideraron las dos etapas de construcción en que se pondrá a operar el Acuducto, en algunos casos se consideraron aparejadas con fallas humanas y mecánicas posibles, como alarmas para los paros manuales de las Plantas de Bombeo.

En estas circunstancias, las líneas piezométricas variaron en un rango relativamente grande: con niveles máximos cuando estén operando la mayor cantidad -de equipos de bombeo y las presas se encuentren en el NAMO (nivel de aguas máximo ordinario), y con niveles mínimos cuando esté operando un solo equipo de bombeo y las presas se encuentren en el NAMIN (nivel de aguas mínimo).

Con el fin de determinar las dimensiones de las torres de succión y oscila----ción, con el Programa de Computadora se realizó la simulación de los procesos de arranque de las Plantas de Bombeo y de la ocurrencia de fallas totales en

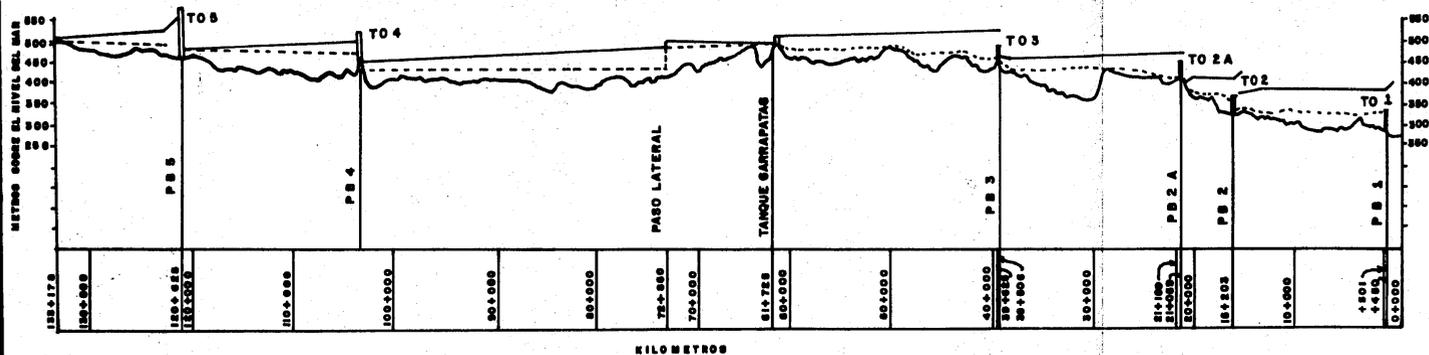
cada Planta de Bombeo. La combinación más conveniente de diámetros y alturas se obtuvo, después de un proceso iterativo de análisis. Se debe aclarar que la falla total de una Planta de Bombeo obliga a parar las demás plantas en un tiempo de 30 seg., para que no se tengan derrames en ninguna estructura, por lo cual es necesario un sistema de control supervisorio.

En la Figura II.7 se presentan las envolventes máximas y mínimas obtenidas con torres de oscilación. Las torres de sumergencia y oscilación resultaron con diámetros entre 8 m y 12 m., y las alturas entre 27 m. y 78 m. Las torres se diseñaron de concreto, salvo las de más de 50 m de altura que por facilidades constructivas se proyectaron de acero.

La solución anteriormente planteada se cuestionó y sometió a revisión en el primer semestre de 1983, por dos razones fundamentales. La primera fue por el fuerte incremento en el precio del acero, esto causó que algunas de las torres de oscilación aumentaran su costo en forma importante; en ese tiempo ya se habían construido las torres de oscilación TO4 y TO5 (FIGURA II.8). Y la segunda razón consistió en la dificultad para importar el equipo de control supervisorio, y el incremento de su costo; se llegó a temer que no se contara con el equipo cuando se iniciara la operación del Acueducto. Ante esta situación, se consideró necesario que las torres de sumergencia de las Plantas de Bombeo, tuviesen mayores capacidades para almacenar los volúmenes resultantes de las deficiencias en la coordinación de arranques y paros de plantas contiguas.

En el tramo de Cerro Prieto al tanque Garrapatas, se hizo un estudio económi-

ENVOLVENTES DE PRESIONES MAXIMAS Y MINIMAS PARA TORRES DE OSCILACION



 TORRE DE OSCILACION

 ENVOLVENTES DE PRESIONES MAXIMAS

 ENVOLVENTES DE PRESIONES MINIMAS

co comparativo entre el Proyecto Original con torres y Control Supervisorio , y otro Proyecto con 13 tanques unidireccionales de 6 m de diámetro y 10 m. de altura, y tanques de regulación en la succión de las Plantas PB2A y PB3. Los resultados del estudio mostraron que era más económico emplear tanques unidireccionales y tanques de regulación, que torres de oscilación y control supervisorio; ya que el costo de la tubería, estructuras de control y reguladoras, de la opción con torres de oscilación, era 60% mayor que el de opción con tanques unidireccionales.

Al analizar los esquemas desde el punto de vista técnico, se concluyó que el uso de tanques de regulación, en comparación con el control supervisorio, daba un mayor índice de seguridad. Sin embargo, en lo referente a presiones mínimas, con tanques unidireccionales se llegaba casi al límite de separación de columna, por lo cual se afinó la alternativa para aumentar la seguridad del sistema y disminuir la cantidad de tanques, mediante el incremento de áreas y alturas en los casos que así convenía. Otro factor que se consideró , fue contar con una válvula de cierre automático adicional en cada tanque, en prevención de que alguna pudiera fallar.

De esta manera se llegó al esquema final con 10 tanques unidireccionales, cuyas características se muestran en la FIGURA II.8. En el PLANO II.8 se presentan las envolventes de presiones máximas y mínimas generadas con las estructuras para el proyecto definitivo o sea con los 10 tanques unidireccionales y las dos torres de oscilación.

Comparando los PLANOS II.7 y II.8., se pueden hacer algunas observaciones. -

FIGURA II.8.

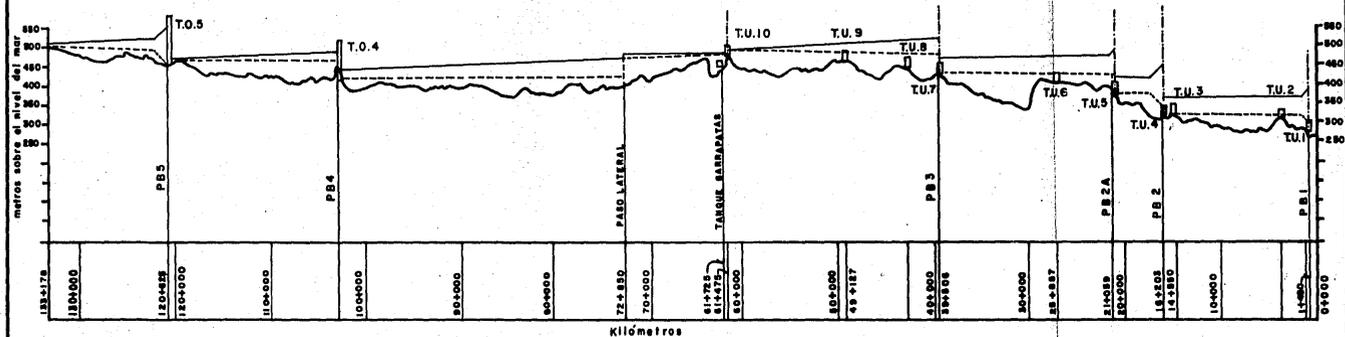
PRINCIPALES CARACTERISTICAS DE LAS
TORRES DE OSCILACION Y TANQUES UNIDIRECCIONALES

TORRE	TANQUE	LOCALIZACION ENTRE PLANTAS DE BOMBEO	NIVEL DE DESPLANTE MSNM	NIV. LOSA DE FONDO MSNM	DIAMETRO (M)	ALTURA (M)	NUMERO DE VALVULAS	MATERIAL
TO 4		PB4-PB5	460.00	462.00	12.0	40.0	---	ACERO
TO 5		PB5	485.00	487.00	8.0	61.0	---	ACERO
	TU I	PB1-PB2	291.10	291.50	6.5	12.0	4	CONCRETO
	TU II	PB1-PB2	321.00	322.00	16.0	20.0	5	CONCRETO
	TU III	PB1-PB2	318.60	319.00	6.5	12.0	4	CONCRETO
	TU IV	PB2-PB2A	372.60	373.00	12.0	9.0	4	CONCRETO
	TU V	PB2A-PB3	398.20	399.00	6.5	28.0	4	CONCRETO
	TU VI	PB2A-PB3	411.40	412.00	6.5	19.0	4	CONCRETO
	TU VII	PB3-PB4	446.70	447.00	6.5	9.0	3	CONCRETO
	TU VIII	PB3-PB4	450.60	451.00	6.5	16.0	4	CONCRETO
	TU IX	PB3-PB4	466.40	467.00	12.0	15.0	4	CONCRETO
	TU X	PB3-PB4	480.70	481.00	6.5	9.0	---	CONCRETO

FUENTE: PLANO GENERAL, SISTEMA REGIONAL DE ABASTECIMIENTO DE AGUA LINARES-
MONTERREY, PLANO No. 1602-C-2134 DE LA D.G.C.C.A.

plano II : 8

ENVOLVENTES DE PRESIONES MAXIMAS Y MINIMAS PARA TANQUES UNIDIRECCIONALES



En general, las presiones máximas que se generan con las torres de oscilación son mayores que las obtenidas con los tanques unidireccionales, independientemente de la altura que necesite la torre de oscilación; esta diferencia en presiones representa un costo menor de la tubería de los tanques unidireccionales. En relación con las presiones mínimas, se observa que los dos tipos de estructuras de control, las líneas piezométricas no cortan el terreno natural, con lo cual se evita la separación de la columna de agua, para lograr esto se requiere de 10 tanques unidireccionales, cantidad mayor en comparación con las cuatro torres de oscilación, pero se tiene la ventaja de que la altura requerida de los tanques es mucho menor. La localización y el volumen de agua que debe contener cada tanque, depende de los lugares a lo largo del Acueducto el que pueda presentarse la separación de la columna de agua.

Los resultados analíticos que se obtuvieron con los tanques unidireccionales fueron verificados experimentalmente por el Instituto de Ingeniería de la U.N.A.M., esta asesoría fué necesaria tanto por la importancia del Acueducto, como por la poca experiencia que se tiene en México sobre estas estructuras de control en grandes Acueductos.

II.4 TUBERIA

Los 115 Km de tubería de concreto pretensado fueron suministrados por tres Empresas Nacionales que la fabricaron de 2.10 m. de diámetro, para cargas de trabajo de 40, 60, 80 y 100 m. de columna de agua. Estas cargas se determinan con los niveles piezométricos máximos resultantes del análisis hidráulico del Acueducto, esto es, la piezométrica durante los fenómenos transitorios.

Los 18 Km restantes del Acueducto se construyeron con tubería de acero, con diámetro de 2.10 m. y espesor de 1.9 cm., se utilizo placa ASTM-A-285-C de fabricación Nacional.

Para la tubería de concreto, aparte de definir las cargas máximas hidráulicas que habrá que soportar, se realiza su Proyecto geométrico en el que se definen el número de tubos y de piezas especiales, de acuerdo con el catálogo del fabricante. Para la tubería de acero, como parte del diseño geométrico, se dimensionan las piezas especiales que junto con los tubos, deberán ser elaborados específicamente para el Acueducto que se está proyectando. Además, se analiza el espesor de la tubería, en función de las fuerzas externas e internas que actuarán sobre cada tubo. Para el concreto no se necesita hacer este análisis, ya que por ser de pared gruesa resisten al aplastamiento y a los esfuerzos por manejo y transporte.

Para la elaboración del Proyecto de líneas de conducción se utilizaron las siguientes referencias: Sotelo, 1974; SAHOP, 1979; Mayol, 1981; Mayo, 1983; y las normas de la ANMA ("ANMA STANDARS").

II.4.1.- PROYECTO GEOMETRICO

El Proyecto Geométrico en planta de la tubería de concreto pretensado consiste en adecuar la longitud entre puntos de inflexión, mediante el empleo de tubos normales, se recurre a tubos cortos sólo en casos extraordinarios, en los cuales el ajuste implique una modificación desventajosa al trazo seleccionado. En los puntos de inflexión, siempre que fue posible, se evitó el empleo de co

dos con deflexión mayor a $7^{\circ} 30'$, porque las deflexiones mayores generalmente requieren de su atracamiento. Por tanto, se dividió la deflexión en dos o más partes, se absorbió cada deflexión parcial con biseles e inclusive con tu bos normales, mediante la apertura permisible de las juntas.

En lo que se refiere al Proyecto en perfil, se traza lo que será el nivel de relleno terminado. Este nivel corresponde al del terreno natural cuando el camino de construcción está en terraplén; cuando el camino se aloja en corte, el nivel de relleno terminado se traza considerando la elevación de subrasante del camino. Una vez trazado el nivel de relleno terminado, se dibuja la rasante de la tubería (entendiendo por rasante la línea de unión de los puntos de apoyo de la tubería). En el trazo de la rasante se tomaron en conside ración las especificaciones de colchón mínimo, 0.90 m y de colchón máximo, 1.80 m, correspondientes a profundidades de rasante de 3.30 m y 4.30 m, respectivamente. Las variaciones en las profundidades se debe a que no es posible conservar un mismo colchón porque las ondulaciones del terreno natural obligarían a tener demasiados puntos de inflexión verticales. Estos puntos se deben evitar, ya que obligan a colocar válvulas de expulsión de aire.

Para el trazo de la rasante de la tubería, también se consideró la pendiente mínima de Proyecto, 0.1%, y la máxima, en condiciones ordinarias, 10%. Cuando el sentido de la construcción era ascendente, se permitieron pendientes de hasta el 15%. En los puntos altos del Acueducto se proyectaron válvulas de admisión y expulsión de aire y en los puntos bajos, desagues.

El arreglo general de la tubería de concreto pretensado o "despiece", se realizó considerando la rasante de la tubería, las longitudes de las piezas estándar y su gama de fabricación, según los catálogos de fabricantes, y los siguientes aspectos:

—— Tapones para pruebas. Se instalaron en tramos de 4 a 6 Km, excepto en las zonas urbanas o sea, sobre la Avenida Eloy Cavazos, allí se instalaron cada 2 Km. Al concluir la prueba hidrostática el tapón es demolido, pero las piezas especiales que se quedan en el sitio, y se aprovechan para registro, o para la ubicación de válvulas o desagues.

—— Desagues con diámetro de 61 cm y válvula de seccionamiento 30cm.

—— Registros de inspección. Serán de 61 cm de diámetro, localizados cada 750 m, aproximadamente. Los sitios para ubicación de válvulas de admisión y expulsión de aire, se dejaron preparados para inspección mediante la colocación de piezas con un diámetro de 61 cm; el múltiple de válvulas se coloca sobre una reducción de 20 cm.

—— Apertura de la junta. En la instalación de la tubería se permitió un máximo de apertura de junta de medio grado, es posible absorber deflexiones pequeñas con un máximo de tres tubos, por lo que la deflexión máxima que puede absorberla tubería con tubos normales es de 1.5 grados.

—— Válvulas de admisión y expulsión de aire. Se optó por un árbol con dos válvulas, 15 cm. de diámetro cada una, conectadas a la tubería a través de un carrete de 20 cm. de diámetro. El diámetro de las válvulas se seleccionó en función del gasto circulan

te por la tubería, y de la presión diferencial tolerable a través del orificio de la válvula. El diámetro se revisó conforme a la información del fabricante para las condiciones de llenado, vaciado y operación normal de la tubería.

El Proyecto Geométrico de la tubería de acero comprende el trazo en planta y perfil, incluyendo la geometría de codos para cambios de dirección.

El criterio de trazo en planta y perfil es prácticamente el mismo que para la tubería de concreto pretensado. Sin embargo, no es necesario ajustar la longitud entre puntos de inflexión, pues la diferencia en los puntos se absorbe en los codos para cambios de dirección, que se diseñaron tanto en su longitud como en su deflexión, según las necesidades del Proyecto.

El despiece se realizó tomando en cuenta la longitud real sobre el eje de la tubería. Entre cambios de dirección se da cabida a los codos y a tantos tubos rectos como sean necesarios, con longitud comercial de múltiplos de 1.22 m. La diferencia en los puntos de inflexión se absorbe mediante un tubo corto, o alargando la longitud recta que queda en los codos. Estos últimos son diseñados geométricamente, conforme a las normas Norteamericanas (USBR, 1956), con parciales no mayores a 10 grados.

En lo que se refiere al Proyecto en perfil, la única diferencia respecto al criterio expuesto en el caso de tubería de concreto pretensado, es en cuanto al colchón sobre la tubería de acero, que mide entre 0.90 m y 1.20 m para profundidades de rasante de 3.30 m y de 4.30., respectivamente.

II.4.2.- ANALISIS Y DISEÑO DE LA TUBERIA

En relación con el diseño de tuberías de concreto, sólo se necesita indicar - al fabricante la presión hidráulica máxima que debe soportar la tubería, ya - que con la resistencia que se le da para soportar esta carga hidráulica, y - con el colchón mínimo especificado por el mismo fabricante, la tubería sopor- ta las fuerzas internas y externas a que queda expuesta.

Respecto a las tuberías de acero, a continuación se menciona el criterio de - análisis para el caso de tubería en condición de zanja, en la que existe el - riesgo de aplastamiento. Se aclara que, según varíe la condición, se elimi- nan las solicitaciones que no influyan en el diseño.

Como solicitaciones se consideraron las de tipo permanente y las de tipo va- riable o accidental; las permanentes corresponden a la carga muerta debido al peso del relleno y a la presión máxima del fluido; las de tipo variable son - las producidas por la carga viva ocasionada por el tránsito de vehículos so- bre la superficie del relleno, y las correspondientes a presiones negativas - causadas por el vaciado de la tubería. La carga muerta es calculada para un conducto flexible pero confinado lateralmente, de acuerdo con la teoría de - Mortson (C.F.E., 1981); la carga viva corresponde a la tipo H-20 para una pro- fundidad mínima al lomo del tubo de 90 cm.

También se determinaron los espesores mínimos por Concepto de manejo (rolado) y fabricación; vibraciones al paso de la corriente; presión interna; y corro- sión. Los dos primeros, según normas de la American Water Works Association (Liszher, 1969); la presión interna corresponde a la máxima producida por -

efectos del golpe de ariete. Estos espesores, ajustados a 0.16 cm., se revisan para garantizar que la tubería soporte las acciones externas correspondientes a los cargos permanentes solas y en combinación con las de tipo variable o accidental. Las cargas externas resistentes son calculadoras conforme la teoría elástica de Timoshenko (Timoshenko, 1959), con un factor de resistencia de 1.5 para cargas combinadas y de 2.0 para cargas permanentes. Dada la incertidumbre existente en el diseño de tuberías enterradas es conveniente la revisión de los espesores conforme a la teoría de Spangler (AISI, 1977), - ya que ésta tiene la ventaja de involucrar la calidad del acero, además de la presión interna en combinación con las cargas externas en forma permanente. La teoría de Timoshenko resulta más conservadora, respecto a la de Spangler, cuando existe riesgo de aplastamiento ante el vaciado de una tubería. En una tubería de bombeo siempre ascendente, desaparece el riesgo de aplastamiento - por el vaciado de la misma, y en una tubería embebida en concreto, desaparecen las cargas de relleno, así como las vivas ocasionadas por el tránsito de vehículos.

Cabe resaltar el Proyecto de los cruces con ríos, carreteras, ferrocarriles y gasoductos. El Acueducto atraviesa varios arroyos y ríos entre los que destacan el Potosí, el Pilón, el Ramos y el San Juan. Sin embargo, el problema - más complejo lo constituyó el cruce múltiple localizado en el Km 50+000, donde se encuentran la Carretera Federal Monterrey-Linares, el ferrocarril y dos gasoductos.

II.4.3.- PASO LATERAL

Una estructura poco común en Acueductos, presente en este Proyecto, es el paso lateral de Garrapatas, localizado aguas abajo del Tanque Garrapatas, en el Km 72+500 (PLANO II.1). Ahí se presentó un problema causado por las características topográficas de tramo entre Garrapatas y la PB4; el terreno baja desde el tanque con una pendiente fuerte y ondulaciones, y después tiene un largo trayecto sumamente plano. En estas condiciones, la piezométrica para 2 y 4 m³/seg. cortarían el terreno al pie de la bajada de Garrapatas, si no se hubiera proyectado el paso lateral. Esta estructura tiene como propósito evitar que cuando haya gastos menores al del diseño del Acueducto, se presente en la tubería flujo a superficie libre a altas velocidades, y se introduzca aire a la tubería cuando trabaje a presión. Esto se evita con una tubería adicional provista de placas interiores con orificios, de manera que se generen pérdidas locales de carga y que por tanto impiden que la piezométrica corte a la tubería.

II.5.- PLANTAS DE BOMBEO

Las seis plantas distribuidas a lo largo de la conducción entre la presa de Cerro Prieto y los tanques de San Roque, están constituidas por grupos de equipos de motor-bomba. Cada uno de los equipos tiene una capacidad de 2 m³/seg. La PB1, tiene cuatro equipos porque la máxima extracción que se espera hacer de la Presa es de 8 m³/seg. A lo largo de la conducción se incorporan aportaciones adicionales, por lo que las Plantas PB2, PB2A y PB3 tienen una capacidad de 10 m³/seg., es decir cinco equipos cada una. Las últimas -

dos plantas, la PB5 y la PB6, cuentan con seis equipos cada una para llegar a una capacidad de 12 m³/seg. La capacidad de los motores de las bombas se encuentran entre 1 500 CF y 2 500 CF, pues depende de la carga existente entre las plantas. Estas capacidades de bombas y motores, y otras características de cada planta, aparecen en la Figura II.9.

La energía para alimentar a los motores, a partir de dos subestaciones de C.F.E., llega con una tensión de 115 000 V., la cual es reducida a 4 160 V por las subestaciones de las Plantas de Bombeo, por medio de dos transformadores instalados en cada una. Estos transformadores tienen una potencia de 10 000 KVA en las primeras cinco plantas, y de 15 000 KVA en la PB5. Para dar mayor seguridad al suministro de energía al Acueducto, la alimentación de los 115 000 V se efectúa en anillo, es decir que cada Planta de Bombeo tiene la opción de recibir energía por dos alimentadores diferentes.

II.5.1.- ARREGLO FUNCIONAL

Cada Planta de Bombeo tiene características peculiares (PLANO II.9), en función de su ubicación dentro del Acueducto; pero en general todas cuentan con una casa de máquinas, un taller, diversos controles, una subestación eléctrica, un patio de maniobras y una zona de acceso.

La casa de máquinas, el taller y el edificio de controles se integraron en una misma estructura, la cual se proyectó buscando funcionalidad y economía. Con el objeto de reducir el claro transversal de esa estructura, los múltiples de succión y descarga se dejaron fuera del edificio (PLANO II.10), además las salidas de los múltiples son a 45 grados y antes de entrar a la casa de máqui

FIGURA II.9.

PRINCIPALES CARACTERISTICAS DE LAS PLANTAS DE BOMBEO

	PB1	PB2	PB2A	PB3	PB4	PB5	TOTAL
NUMERO DE BOMBAS	4	5	5	5	6	6	31
GASTO DE DISEÑO POR PLANTA (M3/S)	8	10	10	10	12	12	----
CARGA DE DISEÑO (M)	80	62	62	62	52	72	390
PAR ROTOR (KG-M)	1475	1135	1135	1135	1262	1324	----
VELOCIDAD ANGULAR (RPM)	1188	1188	1188	1188	1188	890	----
MOMENTO DE INERCIA (KG-M2)	795	620	620	620	785	713	----
POTENCIA (CF)/BOMBA SIN AGUA	2561	1904	1904	1904	1596	2280	12149
POTENCIA (KW). POR BOMBA	1910	1420	1420	1420	1190	1700	----
POTENCIA (KW)	7640	7100	7100	7100	7140	10200	46280

FUENTE: PLANO GENERAL. SISTEMA REGIONAL DE ABASTECIMIENTO DE AGUA LINARES-MONTERREY.

PLANO NO. 1602-C-2134 DE LA D.G.C.C.A.

nas se tienen otros codos también a 45 grados (PLANO II.11), de tal forma que el eje de cada módulo de bombeo queda normal a los múltiples; esto reduce aún más las dimensiones del edificio. Dentro de la casa de máquinas se encuentran las válvulas, las bombas y los motores.

Los módulos de cada uno de los equipos de bombeo, se dimensionaron en función del tamaño de los equipos y de las necesidades de maniobras de montaje y mantenimiento. Un pasillo pegado al límite del edificio, todo lo largo de la casa de máquinas y a un nivel superior (PLANO II.10), permite por un lado, fácil acceso a través de escaleras y por otro, una visibilidad completa de todos los equipos.

El edificio de controles está anexo a la casa de máquinas de uno de sus extremos, consta de cuatro niveles denominados, de abajo hacia arriba: cables, arrancadores, controles y servicios. Este edificio es más ancho que el taller y la casa de máquinas, y se separó para que la grúa que se tiene en estos últimos, fuera de menor claro.

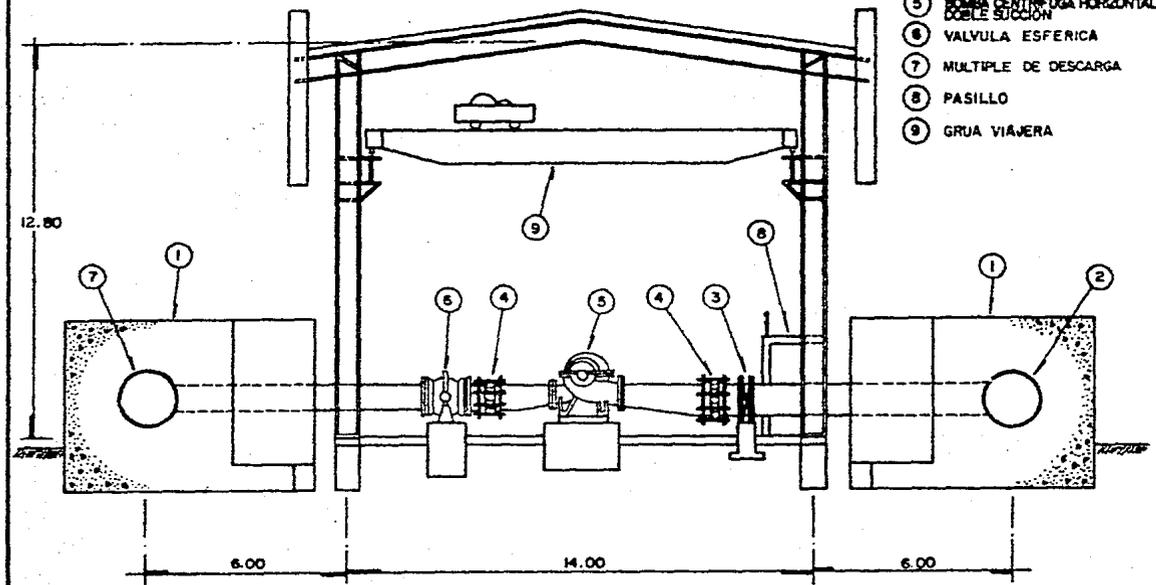
La subestación eléctrica representa una superficie importante dentro del arreglo del conjunto, aloja transformadores de corriente y sistemas y dispositivos propios para su función.

Las estructuras complementarias para el buen funcionamiento hidráulico de las Plantas de Bombeo son: las torres de oscilación y los tanques unidireccionales, ya descritos en II.3.5., así como los tanques de regulación y las torres de sumergencia, que se describirán en el Apartado II.5.6.

PLANO
11.10

CORTE TRANSVERSAL TÍPICO DE UNA PLANTA DE BOMBEO.

- ① ATRAQUE
- ② MULTIPLE DE SUCCION
- ③ VALVULA DE MARIPOSA
- ④ JUNTA DE MANGUITO
- ⑤ BOMBA CENTRIFUGA HORIZONTAL DOBLE SUCCION
- ⑥ VALVULA ESFERICA
- ⑦ MULTIPLE DE DESCARGA
- ⑧ PASILLO
- ⑨ GRUA VIAJERA

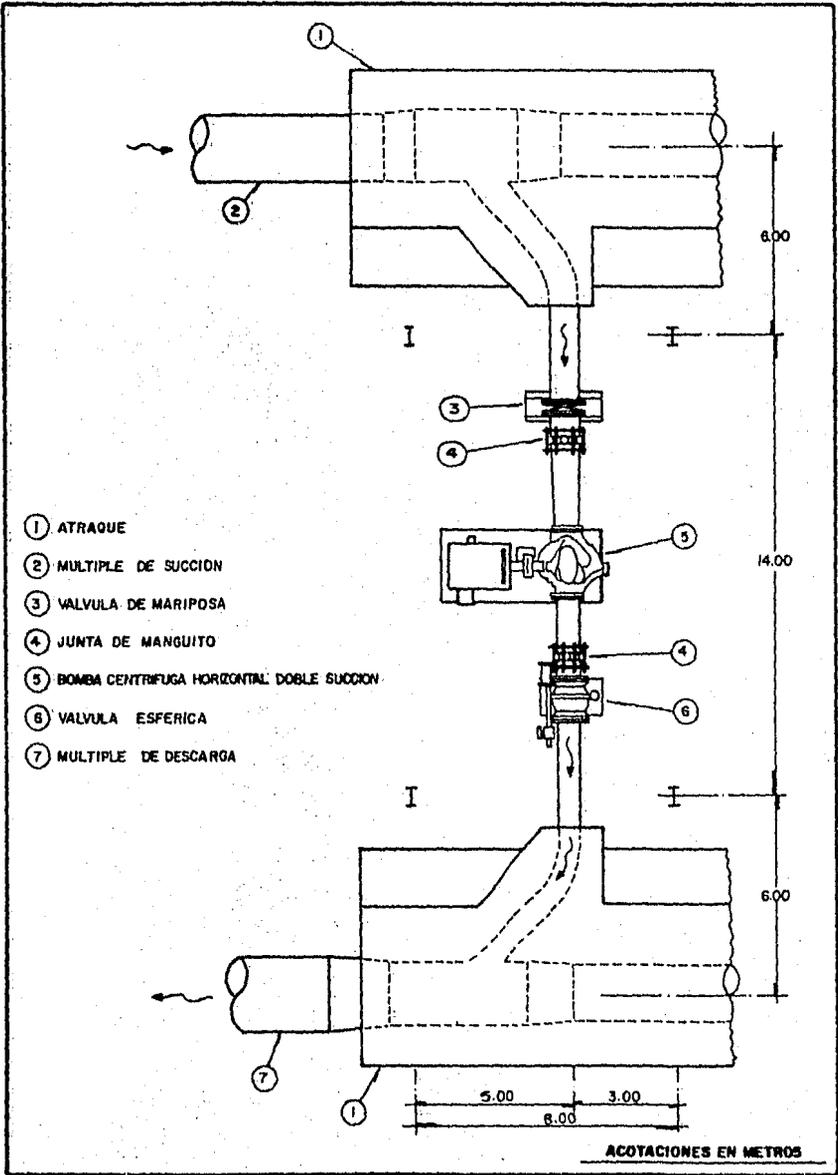


ACOTACIONES EN METROS

PLANO

I.II

PLANTA TÍPICA DE UN MÓDULO DE BOMBEO.



II.5.2.- ASPECTOS MECANICOS Y ELECTRICOS

Para definir el arreglo más adecuados (PLANOS II.10 y II.11), se analizaron diferentes opciones de configuración, tipo de múltiples, fontanería y edificios. Las bombas seleccionadas para este Proyecto son de un paso, doble succión, horizontales y de carcasa bipartida; tienen la particularidad que durante su operación, el flujo de llegada se distribuye por dos laberintos que aumentan por ambos lados al impulsor. Esto tiene la ventaja de que al girar el impulsor, recibe empujes axiales de ambos sentidos de la flecha, las cuales se compensan, y así se evita la transmisión de fuerzas adicionales a los baleros de empuje de los motores. Además, las bombas cuentan con los siguientes elementos de protección: interruptores de presión con manómetro indicador, detectores de temperatura en las chumaceras de la bomba y detectores de vibración axial y radial; estos elementos envían señales al tablero "local bomba", que a su vez manda señales de alarma y disparo a los tableros de arrancadores de los motores.

Los motores de las bombas son del tipo inducción de doble jaula de ardilla, a prueba de goteo y enfriados por aire. Operan a 4 160 V, su arranque es a tensión plena y su flecha gira sobre cojinetes lubricados con grasa. Están protegidos con sensores de temperaturas altas en los devanados y cojinetes del estator, y con sensores de vibración radial y un indicador de velocidad.

Las entradas y salidas a las bombas están constituidas por múltiples de acero de succión y de descarga. Los diámetros dispuestos telescópicamente, crecientes en la succión y decrecientes en la descarga, sirven para distribuir el

gasto de cada bomba y para evitar flujos turbulentos que puedan causar cavitaciones a vibraciones.

Se cuenta con una válvula de mariposa y junta Dresser, localizadas en la succión y con una válvula esférica y junta Dresser en la descarga de las bombas, inmediatamente antes de sus respectivos múltiples; gracias a ellas, es posible independizar un equipo de bombeo cuando se desea darle mantenimiento. El interruptor eléctrico del que están provistas impide arrancar un equipo cuando la válvula en la succión se encuentra cerrada; además, estos dos aditamentos sirven para proteger a los equipos y tubería, de cambios de temperatura y vibraciones.

En los ramales de descarga se cuenta con válvulas esféricas de control y juntas mecánicas; en las Plantas PB4 y PB5 se tienen válvulas de mariposa para el seccionamiento. Las válvulas esféricas sirven para controlar el caudal bombeado y pueden operar en forma manual, hidráulica o eléctrica; al arranque del equipo de bombeo, la válvula debe estar en posición cerrada, la apertura eléctrica se inicia en el momento en que se alcanzan las condiciones normales de velocidad y presión. Cuando ocurre un paro normal el cierre se hace en forma eléctrica, pero en caso de falla por falta de energía, alta vibración, alta temperatura, o alguna otra causa, una parte del agua bombeada regresa, pasa a través de la bomba y la hace girar en sentido inverso; este giro de la bomba podría alcanzar velocidades superiores a las permisibles, pero al ocurrir la falla, se presenta un cierre hidráulico de emergencia que se logra por el empleo de la misma energía del agua en retroceso, pero que circula por

tuberías auxiliares para alimentar a un émbolo acoplado mecánicamente, que se encarga de efectuar el cierre.

Todas las Plantas de Bombeo bajan la tensión de 115 KV a 4,16 KV, mediante subestaciones las cuales son de tipo convencional a la intemperie y con enfriamiento OA-FA (transformador sumergido en aceite-aire reforzado) y con la capacidad requerida en cada Planta.

Los tableros de distribución se manejan con voltajes de 4 160, 440, 220 y 127 V de corriente alterna y de 60 hz. Los de 4 160 V. contienen los interruptores para la desconexión y conexión de los motores principales, así como los elementos para la protección de los mismos. La protección y el control de la subestación se lleva a cabo mediante un tablero dúplex, desde donde se manejan todos sus elementos y se observan sus condiciones de operación. Se cuenta con protecciones para sobrecorriente y corto circuito, diferencial de bus, diferencial de transformador, bajo voltaje y falla a tierra. En estos tableros se tiene un banco de transformación para reducir el voltaje de 4 160 a 440 V de corriente alterna, y alimentar así los servicios propios de la planta. Resulta importante el diseño del tablero coordinador, en donde se centralizan las señales importantes para los arranques y paros de todos los demás tableros, con el tablero coordinador no se requiere de una persona en cada tablero que este verificando la operación de arranque o paro.

En relación con el diseño de el tablero de servicios propio resulta importante que se verifique que tenga la capacidad para todos los equipos que pudieran utilizarse. Además que se considere el espacio físico que requiere este tablero.

Casi todas las instalaciones eléctricas, dentro de la casa de máquinas, se encuentran visibles y sobrepuestas, con el objeto de simplificar su operación y mantenimiento. Los cables que alimentan los equipos son de un calibre tal que permiten una caída de tensión máxima de 3%. Con objeto de disminuir los obstáculos en el piso para el cableado de las bombas se optó por poner las charolas que sostienen a los cables en trincheras, que son zanjas recubiertas con cemento y con rejillas a nivel del piso. Por su parte, la red de tierra tiene dos mallas interconectadas entre sí, una abarca la casa de máquinas y la otra está bajo el área que ocupa la subestación eléctrica. Todos los elementos que integran la subestación están conectados a tierra, así como los centros de control, motores, múltiples y, todo el equipo eléctrico.

Con el objeto de simplificar la operación se disminuyeron los servicios auxiliares de las Plantas de Bombeo, por ejemplo se evitó la presión forzada en la válvula esférica, para evitar que el operador estuviera verificando la presión y el nivel del aceite.

Cada planta dispone de un sistema de corriente directa (aún en ausencia del suministro de energía de la C.F.E.) para los equipos que lo requieran, tal como subestación, alumbrado de emergencia y unidad terminal remota. El sistema de corriente directa es un banco con baterías de 125 VCD compuesto de 104 celdas, el cual se recarga por medio de un cargador del tipo rectificador de estado sólido que además de cargar las baterías, satisface la demanda de corriente directa. Aún más, el alumbrado de emergencia puede alimentarse del rectificador si hay energía, o de las baterías en caso de falla.

Con relación al sistema de control supervisorio se dejaron las preparaciones y el espacio físico requerido.

III.5.3.- INSTALACIONES HIDRAULICAS Y ALUMBRADO

Para proyectar las instalaciones hidráulicas y sanitarias, se consideró que se necesitan 15 operarios por turno en el edificio de la planta de bombeo y 10 personas que utilizarán el baño de la caseta de vigilancia. Los ductos de agua potable están alimentados por un tinaco al que le llega agua de un derivación de 20 cm. del múltiple de succión; la descarga de las aguas negras se hace a una fosa séptica prefabricada de asbesto-cemento, y a un pozo de absorción construido con tabiques en posición alternada, para permitir la filtración del líquido. El desalojo de aguas pluviales se efectúa mediante coladeras en las azoteas, canalones de láminas longitudinales a ambos lados del edificio, bajadas de fierro fundido y canales para sacar el agua de la zona de la planta.

Por último, el alumbrado tanto interior como exterior, está constituido por luminarias de vapor de mercurio y de vapor de sodio, a alta presión.

II.5.4.- PROYECTO ESTRUCTURAL

Con objeto de ahorrar tiempo durante la construcción, los edificios de la casa de máquinas y de controles se diseñaron con una estructura metálica, con cubierta aligerada de elementos prefabricados. Se dispuso de un claro de 13 m., en sentido transversal, y claros longitudinales de 8 m., en número variable, dependiendo de la Planta de Bombeo de que se tratará. Además se contó

con una junta transversal de contracción para dividir la casa de máquinas en dos cuerpos independientes, desde el punto de vista estructural, para evitar esfuerzos excesivos por cambios de temperatura. La cimentación de todo el conjunto se hizo con zapatas corridas con contratraveses; los múltiples contactaron con atraques para soportar las fuerzas de empuje por cambio de sección y dirección.

Para el análisis de la estructura y la cimentación se consideraron las siguientes fuerzas: carga muerta, carga viva de 70 Kg/ m²; fuerza debida al viento tanto en sentido longitudinal como transversal; y fuerzas producidas por la grúa. El análisis y diseño se realizó siguiendo las recomendaciones de Organismos Nacionales y Norteamericanos (C.F .E. 1981; D.D.F., 1976 Y ACI, 1977). Además, en particular la cimentación de tipo masivo de bombas y motores, se analizó en forma estática y dinámica, se consideró el conjunto máquina-cimentación-suelo, y se calcularon las frecuencias de vibración del conjunto para verificar que no coincidieran con las de los equipos.

II.5.5.- TORRES DE SUMERGENCIA Y TANQUES DE REGULACION

Las torres de sumergencia son estructuras cilíndricas conectadas al Acueducto y al múltiple de succión, con un diámetro de 8 m., excepto una de 12 m., y con alturas de 27 m a 47 m (FIGURA II.10), en función de la carga de succión requerida por las bombas de cada planta; su objetivo es regular las fluctuaciones que se presentan en el Acueducto a partir de la altura de succión mínima. Las Plantas PB2, PB4 y PB5 cuentan con este tipo de estructura. La succión de las Plantas PB2A y PB3 se hace mediante tanques reguladores con capa-

FIGURA II. 10.

TORRES DE SUMERGENCIA Y TANQUES DE REGULACION

TORRE	TANQUE	NIVEL DE DESPLANTE (MSNM)	NIVEL DE FONDO (MSNM)	DIAMETRO (M)	ALTURA (M)	CAPACIDAD (MS)
TS2		326.80	328.00	16	30.00	
TS4		407.00	409.00	8	45.00	
TS5		446.75	447.75	8	27.00	
	TR2A	487.30	387.50	-	6.00	20.000
	TR3	436.80	437.00	-	7.25	10.000

FUENTE: PLANO GENERAL. SISTEMA REGIONAL DE ABASTECIMIENTO DE AGUA
LINARES-MONTERREY, N.L.

PLANO No. 1602-C-2134 DE LA D.G.C.C.A.

FIGURA II.11.

PRINCIPALES CARACTERISTICAS DE LA PLANTA POTABILIZADORA

GASTO DE DISEÑO	12.0 M3/S
PROCESO	FILTRACION DIRECTA
CAPACIDAD DEL TANQUE DE AGUAS CRUDAS	3.000 M3
NUMERO DE FILTROS	36
MATERIAL FILTRANTE	ARENA-ANTRACITA
RETROLAVADO	AGUA Y AIRE
CAPACIDAD DEL TANQUE DE AGUAS CLARAS	20.000 M3

CONSUMOS MEDIOS DE PRODUCTOS QUIMICOS:

SULFATO DE ALUMINIO	3.0 TON/DIA
POLIELECTROLITO	0.5 TON/DIA
CLORO	6.0 TON/DIA

FUENTE: PLANO GENERAL. SISTEMA REGIONAL DE ABASTECIMIENTO DE AGUA
LINARES-MONTERREY, N.L.

PLANO No. 1602-C-2134 DE LA D.G.C.C.A.

tidades de 20 000 y 10 000 m³ que tienen una función semejante a la de las torres de sumergencia.

II.6.- PLANTA POTABILIZADORA

Los resultados preliminares de los estudios de calidad de agua descritos en el Apartado II.2.4., orientaban a un proceso de mezcla, floculación, sedimentación, filtración y desinfección; como además había la necesidad apremiante de incrementar en corto plazo el caudal suministrado a Monterrey, se propuso inicialmente adaptar el Proyecto de la Planta de Cutzamala (CAVM, 1978), que utiliza precisamente ese proceso y está integrada por módulos de 4 m³/seg., - cada uno. Pero finalmente se escogió un solo módulo con capacidad total de - 12 m³/seg., que tiene integrados los pasos de floculación, sedimentación y - filtración. En la FIGURA II.11 se presentan las principales características de la Planta.

Para proyectar la potabilizadora a nivel ejecutivo, ya se contó con información de calidad del agua cruda y de las pruebas de tratabilidad en la planta piloto, con objeto de emplear en el diseño el menor número de partes importadas, y procurar que la Planta fuera de fácil construcción y operación. De esta manera, se concibió una planta con los siguientes componentes (PLANO II.12)

- Tanque de aguas crudas
- Mezcla rápida
- Floculadores
- Sedimentadores
- Filtros

- Tanque de aguas claras
- Instalación de recuperación de agua de lodos de sedimentadores y retrolavado de filtros.
- Edificios de dosificación, cloración, sopladores, talleres y oficinas.

En el PLANO II.13 se presenta el tren de tratamiento del proceso, en la cual se observa el curso que lleva el agua a través de la planta; en el PLANO II.14 se presenta un diagrama de flujo del proceso de tratamiento. Los Planos y la descripción se refieren al Proyecto completo; y dado que se toma en cuenta en él la calidad del agua de la Presa Cerro Prieto, fue posible simplificar el tren de tratamiento, se eliminaron en el módulo potabilizador los pasos de floculación y sedimentación. De esta forma, durante la primera etapa del Acueducto la Planta Potabilizadora será una planta de filtración directa, pero las instalaciones están hechas de tal manera que si en el futuro resulta necesario, será posible adicionar sin mayor problema los componentes requeridos para las etapas de floculación y sedimentación.

La capacidad de producción actual de la Planta Potabilizadora es de 4 m³/seg, pero puede incrementarse a 6 m³/seg. con sólo aumentar el número de unidades filtradoras; la decisión para hacerlo dependerá del incremento de la demanda de agua potable y de la capacidad de la Ciudad de Monterrey para distribuirla. La mayor parte de las instalaciones y los equipos ya están listos para producir 12 m³/seg. En las láminas se muestra la diferencia entre lo que está construido y lo que deberá terminarse en la segunda etapa cuando esta se requiera.

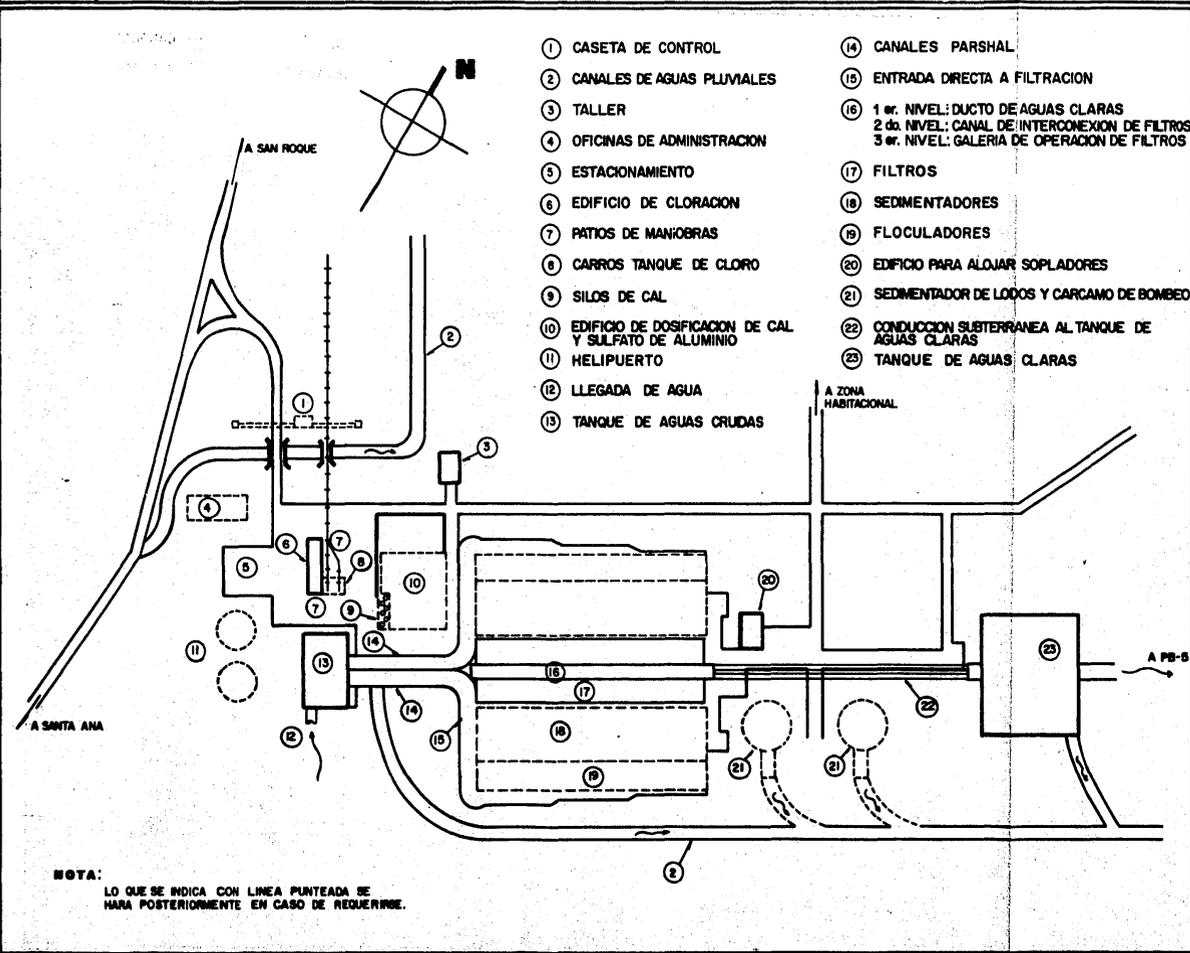
II.6.1.- TANQUE DE AGUAS CRUDAS

Cuando se proyectó el Acueducto como un sistema integrado, el tanque se concibió con una capacidad de 100 000 m³, con la finalidad de regular el gasto del tramo del Acueducto anterior a él, pero resultaba muy costosa su construcción en ese sitio. Además, no se encontró una manera fácil de controlar el caudal para que pudiera entregar un gasto constante a la potabilizadora, por lo cual, se decidió que fuera de 3 000 m³ (30 m x 50 m x 2 m) y que trabajara como tanque de paso. Posteriormente, se incluyó el tanque Garrapatas, con el que se puede regular el caudal a la potabilizadora.

El tanque de aguas crudas es una estructura de concreto reforzado, en la que descargan las dos tuberías del Acueducto. Su función consiste en regular el gasto que ingresa a cada uno de los seis medidores Parshall que se encuentran aguas abajo. Antes de pasar por las compuertas, el agua pierde turbulencia con la ayuda de una pantalla tranquilizadora del flujo, de tal manera que la medición en los Parshall es precisa.

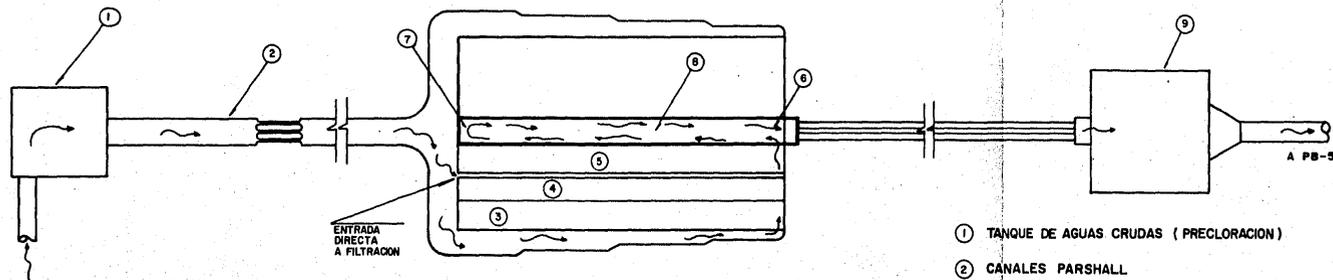
II.6.2.- DOSIFICACION DE REACTIVOS

Poco antes de los canales Parshall se inyectan de 3 mg/l a 6 mg/l de sulfato de aluminio y de 0.1 mg/l a 1.0 mg/l de polielectrolito, con objeto de remover la turbiedad y el color de las aguas captadas. El sulfato de aluminio provoca el aglutinamiento del material suspendido en el agua cruda. Por su parte, el polielectrolito trabaja en combinación con el sulfato de aluminio, y hace que se produzca un flóculo compacto que pueda ser retenido en los filtros.



- ① CASETA DE CONTROL
- ② CANALES DE AGUAS PLUVIALES
- ③ TALLER
- ④ OFICINAS DE ADMINISTRACION
- ⑤ ESTACIONAMIENTO
- ⑥ EDIFICIO DE CLORACION
- ⑦ PATIOS DE MANIOBRAS
- ⑧ CARROS TANQUE DE CLORO
- ⑨ SILOS DE CAL
- ⑩ EDIFICIO DE DOSIFICACION DE CAL Y SULFATO DE ALUMINIO
- ⑪ HELIPUERTO
- ⑫ LLEGADA DE AGUA
- ⑬ TANQUE DE AGUAS CRUDAS
- ⑭ CANALES PARSHAL
- ⑮ ENTRADA DIRECTA A FILTRACION
- ⑯ 1er. NIVEL: DUCTO DE AGUAS CLARAS
2do. NIVEL: CANAL DE INTERCONEXION DE FILTROS
3er. NIVEL: GALERIA DE OPERACION DE FILTROS
- ⑰ FILTROS
- ⑱ SEDIMENTADORES
- ⑲ FLOCULADORES
- ⑳ EDIFICIO PARA ALOJAR SOPLADORES
- ㉑ SEDIMENTADOR DE LODOS Y CARGAMO DE BOMBEO
- ㉒ CONDUCCION SUBTERRANEA AL TANQUE DE AGUAS CLARAS
- ㉓ TANQUE DE AGUAS CLARAS

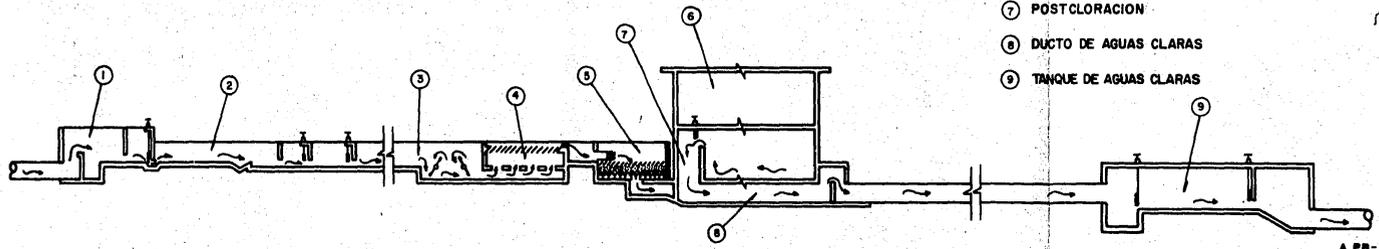
NOTA:
LO QUE SE INDICA CON LINEA PUNTEADA SE HARA POSTERIORMENTE EN CASO DE REQUERIRSE.



ENTRADA
DIRECTA
A FILTRACION

PLANTA

- ① TANQUE DE AGUAS CRUDAS (PRECLORACION)
- ② CANALES PARSHALL
- ③ FLOCULADOR
- ④ SEDIMENTADOR
- ⑤ FILTROS
- ⑥ GALERIA DE OPERACION DE FILTROS
- ⑦ POSTCLORACION
- ⑧ DUCTO DE AGUAS CLARAS
- ⑨ TANQUE DE AGUAS CLARAS



PERFIL

A PB-5

El crecimiento de microorganismos se inhibe por medio de una precloración que se aplica en el tanque de aguas crudas, con una dosis media de 4 mg/l.

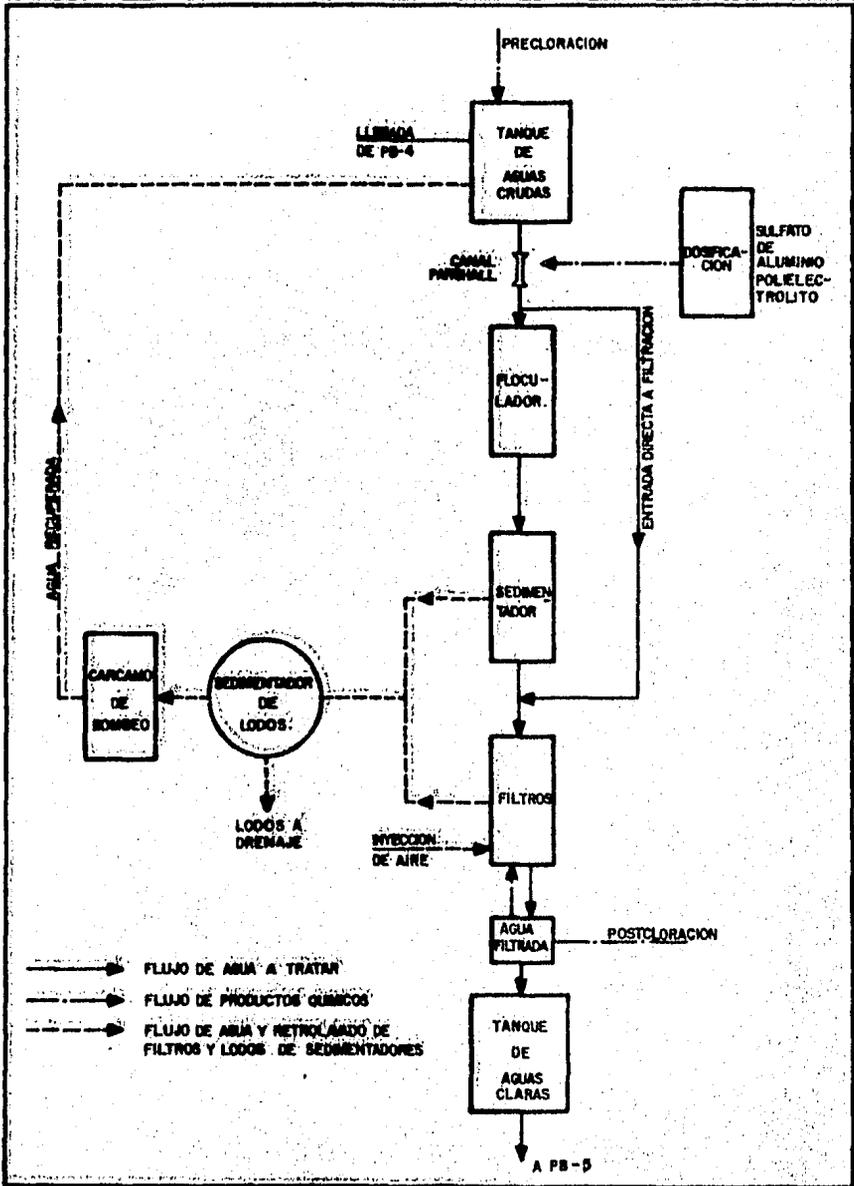
II.6.3.- MEZCLA RAPIDA

Para la mezcla rápida de los reactivos se incluyeron los canales Parshall, ya que su efectividad ha sido probada, son de fácil operación y pueden ser utilizados también como aforador. Se cuenta con seis canales Parshall de 2.25 m. de ancho de garganta, que de acuerdo con los gastos por manejar y el diseño, funcionarán con gradientes de 1 883 a 2 085 seg^{-1} (m/seg-m).

II.6.4.- MODULO POTABILIZADOR

El Proyecto completo incluye tres pasos: floculación, sedimentación y filtración. Para el diseño de los floculadores se estudiaron dos posibilidades: de tipo mecánico y de tipo hidráulico. La primera opción consistió en adaptar a los floculadores de Cutzamala con cámaras alargadas, agitadores de eje horizontal y paletas de madera. En la segunda opción los floculadores hidráulicos fueron de cámaras cuadradas con la disposición de entrada y salida de tal manera que, aprovechando el efecto de Coriolis, se tuvieron vórtices que produjeran la floculación. Del primer tipo se tiene experiencias en México, del segundo se cuenta con muestras sólo en Sudamérica, por lo cual se decidió utilizar el primer tipo.

En el Proyecto definitivo se adaptaron los floculadores de Cutzamala a los cuales se les disminuyó una de las cinco cámaras, porque se consideró que los canales de aproximación que se tienen en Monterrey son largos y en ellos se efectúa una prefloculación. Se emplean 12 floculadores de 1 m³/seg. cada



uno, con cuatro cámaras en las que se va disminuyendo la velocidad de rotación de las paletas, de tal manera que el gradiente de la primera cámara es de 57 seg-1 y de 28.5 seg-1 el de la última.

Los sedimentadores de Cutzamala se adaptaron mediante el ajuste de las dimensiones para evitar zonas desperdiciadas entre tanques; para la entrada del agua al tanque se propuso un ducto con salidas laterales y sección variable, para ir manteniendo la velocidad, y se calcularon los gradientes que se presentan para evitar el rompimiento de los flóculos. Los lodos se extraen con sifones que van sobre flotadores y recorren el tanque mediante una T invertida con orificios. Los decantadores proyectados son de 1 m³/seg. de capacidad de alta tasa de sedimentación, con placas de asbesto-cemento.

Como los filtros, además de ser la parte más importante del proceso, en el caso de filtración directa, son los responsables de todo el tratamiento, se puso especial interés en su diseño. En la etapa preliminar se analizaron la forma de retrolavado, el tipo de fondo y del medio filtrante. Para el retrolavado se escogió agua y aire, debido a los buenos resultados que se obtienen. Con objeto de establecer el flujo del agua a contracorriente se estudiaron dos opciones: por bombeo o mediante el lavado con el agua que producen los otros filtros que están operando, en este caso se cierra la válvula de entrada y se abre la de desagüe. En la segunda opción, el agua debe estar a un nivel tal que tienda a establecer el flujo en sentido inverso, por lo que la estructura de los filtros necesita una mayor altura. Para definir cuál opción era la más conveniente, se hizo un análisis económico, el resultado favoreció al lavado mutuo entre los filtros, con lo cual se tiene una operación más simple.

Se analizaron dos tipos de fondos (bajodren) para los filtros de lavado con agua y aire: falso fondo de placas con boquillas de cola larga y fondos de polietileno de alta densidad consistentes en ductos cuadrados, perforados en la parte superior. En la evaluación se consideraron las pérdidas de carga, la altura que se necesita en cada caso y el costo de cada uno de ellos; después del análisis se encontró que los fondos de polietileno presentaban mayores ventajas, por lo que se eligió a éstos.

Para el medio filtrante se estudiaron dos posibilidades: arena o dual de arena-antracita. En cada caso se calcularon los espesores necesarios y las dimensiones de las estructuras. De la evaluación económica se desprendió que era más conveniente el medio dual de arena-antracita, pues aunque la antracita es de importación, en el momento del análisis el tipo de cambio con el dólar era de \$ 25.00. Pero durante la construcción se devaluó el peso, por lo que se optó por colocar 30 cm. de grava sílica de diferente granulometría, y 60 cm. de arena sílica de diámetro uniforme.

De acuerdo a los análisis descritos, los filtros diseñados finalmente son de tipo rápido, de lecho dual (grava y arena sílica), tasa declinante con fondos de polietileno, y retrolavados con aire y agua por gravedad que utiliza el agua producida por los otros filtros en operación.

Para tratar 12 m³/seg. se cuenta con 36 filtros (FIGURA II.16), cada uno de ellos tienen una válvula de mariposa para la entrada del agua procedente del canal de aguas clarificadas, una compuerta en la solida y una válvula de mariposa para el desague durante el retrolavado.

La velocidad de filtración es 3.2 l/s/m². La carrera media esperada es de 36 hr., o sea un día y medio entre lavado y lavado del filtro. La velocidad de agua de retrolavado es de 12.5 l/s/m², y la velocidad de aire de retrolavado es de 16 l/s/m².

El agua tratada por los filtros se capta en el canal de interconexión (PLANO II.12), donde se efectúa el retrolavado por gravedad. Abajo del canal de interconexión está el ducto de aguas claras, al cual llega el agua por una cresta vertedora; en este sitio se lleva a cabo la desinfección final. El ducto de aguas claras tiene unos vertedores a las salidas de tal forma que en toda su longitud trabaja a presión para ser más efectiva la desinfección. Después de los vertedores, dos tuberías llevan el agua al tanque de aguas claras.

II.6.5.- TANQUE DE AGUAS CLARAS

Las aguas tratadas se almacenarán en este tanque cubierto que tiene una capacidad de 20 000 m³; está constituido por una caja de entrada, dos cámaras de almacenamiento, un vertedor de excedencias y una estructura de salida. El tanque se proyectó con dos cámaras en previsión que en algún momento, para disminuir la agresividad del agua, se dosifique con cal para elevar el ph. En las cámaras se detendrán las impurezas, por lo que se deberán limpiar alternadamente.

II.6.6.- RECUPERACION DE AGUA DE LODOS Y RETROLAVADO DE FILTROS

El agua que llega a la Planta es bombeada y conducida de sitios muy alejados, por ello resulta cara. En consecuencia, de acuerdo con un análisis preliminar que se practicó, casi cualquier proceso al que se someta el agua de desecho para recuperar parte de ella, resulta más económico que incrementar el

gasto captado en la parte baja del Acueducto. Conforme con este criterio, se empleó un proceso de recuperación de agua de lodos y retrolavado de filtros.

Los lodos de los sedimentadores y el agua de retrolavado descargan al canal de desague de filtros, de allí son conducidos a un sedimentador de 35 m de diámetro y de 3.1 m de profundidad; en el sedimentador, gracias a que se diseñó con una descarga restringida y capacidad para sobreelevar su nivel, se decanta el agua y se regula parcialmente el gasto. Luego, el agua pasa a un cárcamo de bombeo donde se regula también el caudal, y de allí se envía por bombeo al tanque de aguas crudas, mediante tres bombas con una capacidad de 300 l/seg. cada una.

II.6.7.- EDIFICIOS DE DOSIFICACION, CLORACION, SOPLADORES Y TALLERES

Los edificios de dosificación, cloración y sopladores, son parte de las instalaciones de proceso. Los talleres y oficinas son complementarios de la operación de la Planta (PLANO II.12). Se cuenta además con un laboratorio de calidad del agua, donde se hacen periódicamente muestreos de la calidad del agua que entra y de la que sale de la Planta.

En el edificio de dosificación se encuentran los reactivos rutinarios (sulfato de aluminio y polielectrolito) y los de uso probable (cal, flúor, carbón activado en polvo y permanganato de potasio).. La cantidad de dosificación del sulfato de aluminio sobrepasa la capacidad de los equipos existentes en el mercado, por lo cual se proyectó todo el sistema de dosificación para salvar esa dificultad.

El cloro se maneja en un edificio especial. Afuera del edificio de cloración se dejó previsto un sitio para carros tanque de cloro de 55 Ton., para la etapa final; en la primera etapa se manejarán tanques de 1 Ton., almacenados en el edificio.

Los sopladores se utilizan para el retrolavado de los filtros con agua y aire.

C A P I T U L O I I I

A continuación se presenta una breve descripción de la construcción de las principales estructuras.

III.- INSTALACION DE LA TUBERIA

a.- PERMISOS

Una vez definido el trazo y terminado los Proyectos Ejecutivos de los cruces, se obtuvieron los permisos de las respectivas Dependencias (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Petroleos Mexicanos, Ferrocarriles Nacionales de México y Juntas Locales de Caminos).

b.- ADQUISICION DE TERRENOS

A lo largo del Acueducto se determinaron derechos de vía de 36, 45 y 47 M. de ancho en diferentes tramos; la superficie afectada resultó ser de 710 Ha., entre ejidos y pequeñas propiedades. En el caso de los ejidos, por tratarse de una Obra de interés público, las Asambleas de Ejidatarios determinaron otorgar las autorizaciones necesarias para proceder a expedir los decretos de expropiación. En cuanto a las propiedades de particulares, se celebraron acuerdos con objeto de proceder a indemnizar a los propietarios. Incluso se construyeron 33 casas para reponer otras tantas que hubo necesidad de demoler para dar paso al Acueducto.

c.- PREPARACION DEL TERRENO Y CONSTRUCCION DE CAMINOS

Una vez adquiridos los terrenos, se procedió a desmontar y despallar el Derecho de Vía. Acto seguido se procedió a construir un camino paralelo al

Acueducto, elemento indispensable para su construcción, vigilancia y mantenimiento posteriores.

d.- EXCAVACION DE ZANJAS

La zanja de cada una de las dos líneas del Acueducto tiene un ancho de 4.5 a 5 M. que permitió el acceso del equipo de compactación para el acostillado. De acuerdo con el material del suelo, se utilizaron procedimientos distintos, el material suave (arcillas, limos, grava-arenosa, grava-areno-arcillosa no cementada y lutitas fracturadas) fue removido con retroexcavadoras de tamaño apropiado.

En cuanto a los materiales rocosos y duros que se encontraron a lo largo del Acueducto (grava-areno-arcillosa cementada, formación San Felipe; lutitas en todos sus estados de dureza; y formación Méndez, material con dureza intermedia entre lutita y caliza), se excavaron utilizando dos procedimientos. El primero consistió en desgarrar el terreno con el rasgador ("ripper") del tractor de oruga y después extraer el material removido con la ayuda de una rampa dentro de la misma zanja, para ellos se utiliza la cuchilla del tractor, al tiempo que se aparta el material con una retroexcavadora. El otro procedimiento consistió en utilizar explosivos, barrenando con pistolas o perforadoras sobre orugas ("track-drill"), según la profundidad a la que había que colocar los explosivos; también en este caso el material se extrajo con retroexcavadoras.

En los tramos en que utilizan explosivos porque hay rocas (material C) y que deben excavarse dos líneas paralelas, se recomienda instalar simultánea

mente las dos tuberías. Pero en los casos en que los análisis económico señalan que resulta más conveniente diferir la instalación de la segunda línea, sólo se excava la primera línea, con la recomendación que en la segunda se empleen excavadoras en lugar de explosivos, para no dañar la primera línea. En el caso de Linares-Monterrey, se optó por instalar sólo una de las dos líneas en la primera etapa.

e.- PREPARACION DEL PISO

En los tramos con materiales suaves, se verificó que el peso volumétrico seco máximo del suelo fuera igual al 85% de la Prueba Proctor o Porter Modificada; para los casos en los que el contenido de grava fuera superior al 50%, si no se cumplían estas condiciones se humedecía el piso hasta alcanzar el valor requerido. Para los tramos con material duro, la preparación del piso consistió en afinar la superficie para eliminar salientes de roca que pudieran dañar la tubería.

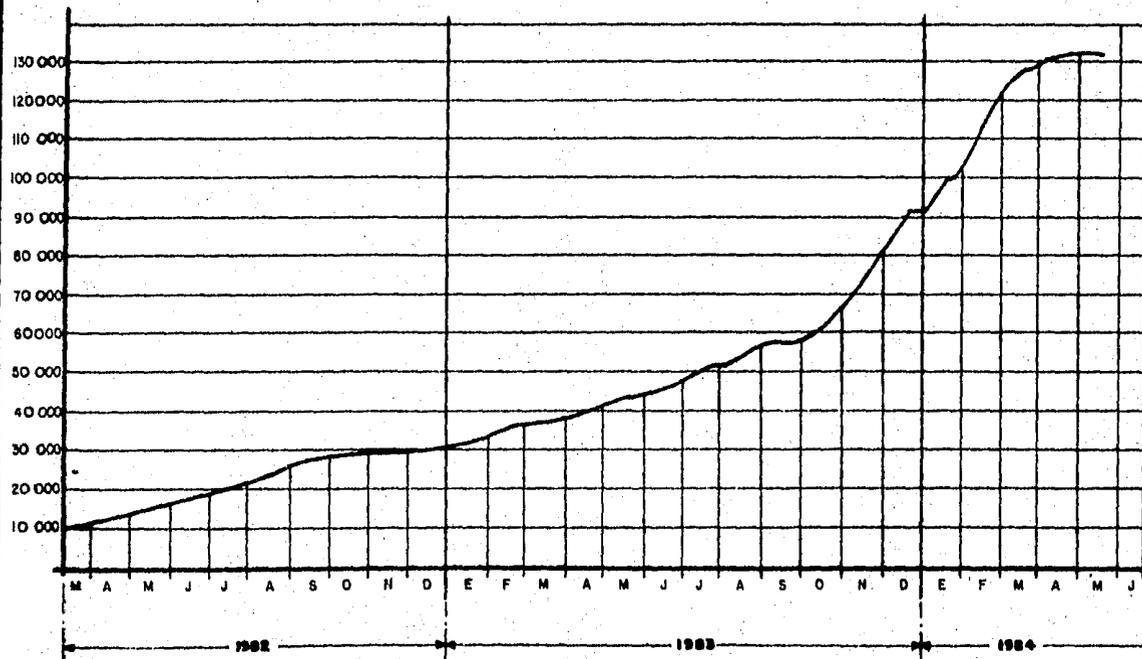
f.- COLOCACION DE LA PLANTILLA

Es necesario colocar cada tubo en una base firme y uniforme, llamada plantilla de 30 cm., tanto para evitar deformaciones que puedan causar roturas o fugas, como para mantener al tubo en su lugar durante la construcción, y conservarlo rígido contra presiones diferenciales.

Dependiendo del nivel de las aguas freáticas, se utilizaron materiales distintos para formar la plantilla. En zonas altas y sin presencia de agua, se empleó material Reynosa (grava-areno-arcillosa), con tamaño máximo de grava de 6.3 cm compactada al 85% de la prueba Proctor o, cuando el porcentaje -

PLANO

GRAFICA DE INSTALACION DE TUBERIA DE CONCRETO Y ACERO.



e grava era superior al 50%, al 85% de la prueba Porter. En cambio, en las zonas con niveles freáticos altos, en cruces de arroyos y ríos, y en la mayor parte de los tramos durante la temporada de lluvias, se utilizó grava-arenosa con grava de tamaño máximo de 6.3 cm y con un contenido máximo de arena del 30%, compactada al 30% de su densidad relativa. Ambos tipos de materiales se extendieron con motoconformadora y se compactaron con rodillo liso, hasta obtener los niveles de Proyecto.

g.- COLOCACION DE LA TUBERIA DE ACERO

Se instaló tubería de acero en los sifones para cruzar obstáculos y en zonas con suelos agresivos al concreto. En los dos casos se limpió de óxido e impurezas el exterior e interior de la tubería, con el método de chorro de arena ("san blast") hasta metal blanco. En el interior se protegió la tubería con un material primario inorgánico de zinc y aplicación de acabado epóxico con alto contenido de sólidos. La protección exterior fue diferente en cada caso. En los sifones se utilizó un primario de alquitrán de hulla y cinta adhesiva. La tubería en rápidas y en suelos agresivos, también se protegió con material primario inorgánico de zinc y cinta adhesiva.

Después de proteger interna y externamente las piezas de 12 M. de Longitud de tubería de acero, se soldaron fuera de la zanja en tramos de 36 M. Posteriormente, se introdujeron estos tramos para terminar de soldar y resanar dentro de la zanja.

b.- COLOCACION DE LA TUBERIA DE CONCRETO

Se utilizaron tres marcas diferentes de tubería de concreto pretensado, ya que la magnitud de la Obra y los tiempos de entrega relativamente cortos, impedían a un solo fabricante suministrar toda la tubería oportunamente.

Los tubos se protegieron exteriormente con pintura anticorrosiva en toda la longitud del Acueducto. Por la parte interior no hubo necesidad de esta protección, ya que el agua conducida contiene sales en mínima cantidad.

Con una grúa se bajó e instaló cada tubo, de acuerdo con las recomendaciones de los fabricantes. La experiencia demostró que para facilitar las maniobras de instalación, las grúas deben soportar de 3 a 4 veces el peso de un tubo. Al bajar la tubería del camión al pie de la zanja, fue importante dejar la preparación para la protección catódica en la parte inferior; de esta manera, se aplicaba primero la protección a la parte de arriba, y al voltearla para cubrir la parte de abajo, quedaba la preparación en la parte superior, lista para ser instalada. La protección catódica sirve para proteger de la corrosión a las varillas de presfuerzo; durante la operación se vigila periódicamente la tubería para detectar varillas oxidadas, si se encuentra alguna, se conecta un ánodo de sacrificio, que puede ser de manganeso, a la preparación para la protección catódica, de esta manera la corriente eléctrica que se genera se descarga a una batería que se coloca a un lado de la tubería.

Otra recomendación importante resultado de la experiencia en el Acueducto Linares-Monterrey, es la conveniencia de incluir en los análisis de Precios Unitarios, las maniobras de volteo de la tubería para la aplicación de

de aire instaladas a lo largo del Acueducto. Se requirió de 48 Hrs. para que los tubos se impregnaran de agua, por esto se necesita de un volúmen 1.2 veces mayor al que se obtendría considerando el diámetro interior y la longitud del tramo de prueba. El agua utilizada en un tramo probado se bombeó al siguiente para disminuir los acarrees, con esta finalidad se dejaron válvulas - en los extremos para que a través de mangueras se pudiera pasar el agua al siguiente tramo.

2.- PLANTAS DE BOMBEO

La Construcción de la Obra Civil de las Plantas de Bombeo tiene sus complicaciones; pero como se han realizado en México numerosas Obras de este tipo desde hace algunos años, en general, no presentó los problemas de Construcción que se tuvieron con las tuberías o los tanques de control y regulación. Otro hecho que simplificó la Construcción de las Plantas fue la elección de una estructura metálica, con partes prefabricadas para los techos. Esto permitió la construcción simultánea de la estructura y de la cimentación, y el consiguiente ahorro de tiempo.

Las torres de succión y los tanques de regulación se hicieron de concreto armado.

Se recomienda que para el diseño del drenaje del conjunto de edificios y estructuras que forman la planta, se elabore un análisis hidrológico completo, considerando que se alteran las condiciones naturales de escurrimiento de la zona. También es recomendable impedir la entrada de basura u objetos que puedan dañar las bombas, por lo que conviene colocar rejillas en lugares es--

tratégicos, y evitar o proteger los lugares abiertos del Acueducto por donde se pueda introducir algún objeto. También hay que considerar que en la zona de tableros el piso debe estar perfectamente nivelado.

3.- TORRES DE OSCILACION

La Torre de Oscilación es una estructura que controla los efectos del golpe de ariete. Por esta razón, por lo general se requiere que su estructura sea muy elevada, ya que su diseño está condicionado por los niveles de las presas de almacenamiento, y por la máxima presión que se genera durante el golpe de ariete.

Las dos torres de oscilación, T04 y T05 fueron hechas de acero. La Torre T05, de 8 Mtrs. de diámetro y de 61 Mtrs. de altura, se construyó colocando anillos de acero de 2.29 de altura, previamente soldados. Para los primeros 35 Mtrs. se necesitó una pluma de 90 Tons., con altura de brazo de 70 M., para los metros restantes se utilizó una grúa adicional con las mismas características. Los espesores de las placas de acero variaron de 6.9 cm en la base a 1.6 cm en la parte superior. En cuanto a la torre de oscilación T04, de 12 m de diámetro y 40 m de altura, no fue posible fabricar previamente los anillos, por su mayor diámetro, lo que se hizo fue formar secciones de 1.83 m de altura y 6 m de longitud, que se fueron colocando con ayuda de una pluma de 70 Ton., con altura de brazo de 70 m.

Para rigidizar ambas estructuras en su parte inferior, se pusieron cartabones de acero. Los cartabones no se soldaron directamente a la estructura principal para no debilitarla, sino sobre segmentos previamente colocados.

La parte superior de la T05 se rigidizó con una cruz (araña) formada por dos vigas I , para la T04 se utilizó viga canal soldada a la parte exterior de la torre.

Con el objeto de verificar la calidad de las soldaduras, se tomaron radiografías de una parte de los trabajos efectuados. Todas las placas de acero fueron probadas con ultrasonido para cerciorarse que estuvieran libres de fisuras e impurezas. El terminado final de la estructura fue primero limpiado con chorro de arena hasta metal blanco para quitar la oxidación e impurezas; posteriormente, para evitar la oxidación, se le aplicó un material primario inorgánico de zinc y luego un acabado epóxico de alto contenido de sólidos.

4.- TANQUES UNIDIRECCIONALES

Los Tanques Unidireccionales también son estructuras de control para el golpe de ariete, pero su finalidad es la de evitar la separación de la columna de agua durante el fenómeno. La altura de los 10 tanques con que cuenta el Acueducto varió de 9 a 28 M y su diámetro, de 6.5 a 46 M. Los tanques fueron hechos de concreto reforzado con varilla corrugada de $f'y = 4,200 \text{ Kg/cm}^2$; desplantadas sobre losas y zapatas corridas circulares, rematando en la parte superior del muro con una losa interior para maniobras.

La construcción de cada tanque se realizó en poco tiempo, gracias a que se utilizó el sistema de "timbra deslizante", de patente alemana. Por ejemplo, un tanque de 9 M. de altura se terminó de colar en 45 Hrs., menos de dos días, trabajando los tres turnos. La rapidez del colado depende de las condiciones meteorológicas, ya que se vuelve más lento en clima frío. Los tanques del

Acueducto se colaron en los meses de febrero a abril de 1984, la velocidad promedio fue de 20 cm/hr. Es importante que no se interrumpa la operación de colado, pues cuando sucede ésta y tarda en restablecerse la continuidad de los trabajos, se deben agregar aditivos para ligar el concreto "viejo" con el "nuevo", y además poner una banda de poli cloruro de vinilo en la junta fría, ocasionada por dicha interrupción.

La cimbra es de madera y se compone de secciones curvas de 1.2 M de altura de 1.2 M, por 10 cm de ancho, por 1.9 cm de grosor. Cada sección está forrada con láminas del No. 18, sus caras de contacto están impregnadas con diesel o aceite quemado. La sección circular de 1.2 M de altura que se forma con la cimbra, se desliza hacia arriba con ayuda de unos gatos hidráulicos, después que el concreto, previamente colado, ha adquirido cierta resistencia.

Después, un motor que trabaja a 1 800 rpm. con una bomba hidráulica, eleva la presión del aceite y lo distribuye a través de mangueras, diseñadas para este fin, conectadas a los gatos hidráulicos que en el momento adecuado aumentan uniformemente la presión y se ejecuta el movimiento ascendente de la cimbra. El deslizamiento se realiza sobre unas varillas lisas de 3.19 cm, que quedan ahogadas en el concreto.

Con la cimbra se desliza también una tarima colocada en la parte interior del tanque, allí se transporta al personal y parte del equipo y material que se necesitará durante el colado. Los pasos para colar un tanque son los siguientes:

- Se construye la cimentación para el tanque, y se dejan las preparaciones necesarias para ligar la cimentación con el tanque.
- Se concentran todos los materiales que se van a necesitar: cemento, agregados, aditivos, agua, varillas, etc. Se instala y prueba el equipo: un malacate con su torre de elevación, dos revolvedoras de dos sacos cada una, una planta eléctrica, vibradores, etc.
- Se realiza el armado de la sección de la cimbra de 1.2 M de altura con las varillas corrugadas.
- Se coloca la cimbra, se cuela y se vibra el concreto.
- Se empieza a armar el siguiente tramo de 1.2 M de altura.
- Se desliza toda la cimbra al siguiente tramo.

El proceso se repite sucesivamente hasta que se llega a la altura deseada; por su parte el Supervisor verifica tanto la calidad del concreto, como el buen estado de las cimbras, con objeto de volver a aprovecharlas.

5.- CRUCES

Los cruces se hicieron con tubería de acero, para su fabricación se utilizó el método de rolado tradicional, por ser el más adecuado. A causa de la presencia de agua en los cruces, se optó por colocar en los ríos y arroyos, varios tubos, previamente soldados, en tramos hasta de 200 m, por medio del siguiente procedimiento:

- Con una daga se hizo la zanja en el río y se colocó una plantilla de grava arenosa.
- Después de soldar los tramos de tubería en una de las margenes y de instalar tapas ciegas en los extremos, se hizo la inspección radiográfica de las soldaduras.

- Con ayuda de tractores de oruga con pluma se llevo cada tramo hasta la zanja. En algunos casos se utilizaron - simultáneamente 8 tractores para transportar un tramo - de 200 M de longitud.
- Sobre la zanja se inundó de agua el tramo a través de - unos orificios perforados previamente.
- Con el tubo colocado en el fondo, se procedió a tapar - los orificios y a cubrir con concreto (arrobe) el tramo. El arrobe es necesario para evitar que la tubería flote cuando se encuentra vacía.
- Se rellenaron las zanjas con material producto de la ex cavación, hasta el nivel del terreno natural.

6.- PRUEBAS DEL EQUIPO ELECTROMECHANICO

La mayor parte del equipo electromecánico se sometió a pruebas de funcionamiento en fábrica, aisladas en la Obra, y en conjunto, ya instaladas. Las pruebas en la fábrica se realizaron conforme a las normas vigentes en cada caso, se simuló las condiciones de operación y se verificó que su funcionamiento estuviera dentro de los rangos admisibles. Estas pruebas las supervisó personal especializado; en el caso de las bombas y las válvulas esféricas y de mariposa, se contrató a una Compañía Privada. Para supervisar las pruebas de algunos equipos eléctricos, se contrató a la C.F.E., que cuenta con experiencia y laboratorios adecuados.

La importancia de las pruebas aisladas en la Obra, radica en que el equipo puede dañarse en el traslado, la humedad afecta a algunos componentes eléctricos. Algunas pruebas aisladas consisten en revisar la hermeticidad y los mecanismos de operación de las válvulas; pruebas dieléctricas de los transformadores de - corriente para conocer sus características de aislamiento y relación de trans-

formación; en las Plantas de Bombeo se energizó primero la subestación y se verificaron los voltajes en alta y baja tensión, posteriormente se energizaron los tableros y por último los motores antes de acoplarlos a las bombas.

Las pruebas de conjunto consiste en la operación de una parte del Acueducto. La instalación de una tubería de recirculación en las Plantas de Bombeo permitió verificar su funcionamiento, sin tener que utilizar la tubería de conducción, con lo cual se pudieron hacer pruebas en cada Planta de Bombeo, antes que se tuvieran terminados los tramos de tubería entre plantas. Luego de verificar cada Planta de Bombeo, se probaron las conducciones entre las plantas.

En el caso de los Tanques Unidireccionales, el Instituto de Ingeniería de la U.N.A.M. verificó el buen funcionamiento del sistema. Simuló un corte de energía eléctrica y midió la posición de las válvulas y la presión en la línea, con sondas neumáticas y eléctricas. La prueba que se efectuó para un gasto de 2 M3/Seg., registró un comportamiento similar al calculado durante el Proyecto, con un Programa de Computadora. Estos resultados permiten tener confianza en que no ocurrirán problemas cuando se hagan, en un futuro, pruebas con gastos mayores.

Las subestaciones cuentan con dos transformadores por si llega a fallar alguno; los interruptores para cada bomba son removibles e intercambiables; y en cada estación la C.F.E. proyectó dos líneas de alimentación independientes.

En los Contratos para la compra de los equipos, se incluyó la transportación, la instalación, la puesta en marcha y un período de garantía de un año. Esto

resulta ventajoso porque el Proveedor se responsabiliza de todo el proceso, y corre por su cuenta que el equipo se entregue en condiciones óptimas de funcionamiento. Finalmente, se tuvo una buena coordinación con la C.F.E., tanto para la verificación de los equipos eléctricos en la fábrica, como para la oportuna instalación de sus líneas de alimentación en cada Planta.

En la construcción de futuros Acueductos se debe contar con un almacén adecuado de refacciones, indispensable para la etapa de pruebas. Las refacciones necesarias son menos de las que se necesitarán en la operación normal del Acueducto, pero resulta importante definir un volumen mínimo de refacciones para esta etapa. Esto permitirá que las pruebas del equipo electromecánico se efectúen sin complicaciones.

7.- LA ORGANIZACION DE LA OBRA

La S.A.R.H. suministró la mayor parte de la varilla y del cemento a los Contratistas, con dos propósitos: economizar al comprarlos directamente a precio de Gobierno y evitar retrasos en la construcción, por falta de los materiales. Esto fue posible gracias a que la S.A.R.H. tiene varios almacenes en la República.

8.- ESTADO DE LA CONTRATACION DE OBRAS Y SUMINISTROS

Se anexa un listado de los Contratos de Obra realizados en el Acueducto, desde su inicio en el año de 1981 hasta Diciembre de 1984. En un gran resumen, durante 1981 se hicieron 44 Contratos, 15 de ellos como Adjudicaciones Directas, con un Importe de \$ 5,400 M̄, equivalentes a \$ 25,000 M̄ a precios de 1984. En 1982, se hicieron 12 Contratos de Obra con un importe de \$ 470.00M̄, equivalentes a \$ 1,400 M̄ a precios de 1984. Hasta junio de 1983, y en ese año, se adjudicaron 2 Contratos con monto de \$ 330.00M̄, equivalentes a - - - \$ 500.00 M̄ a precios de 1984.

Desde la declaración de Emergencia de la Obra y con el propósito de incrementar la fuerza de trabajo, se hicieron rescisiones o reducciones a los alcances de algunos Contratos previos por un monto de \$ 2,000 M̄ a precios de 1984. Por otro lado se han adjudicado 15 Contratos mediante Concursos por invitación a un mínimo de 3 Empresas, por un monto total de \$ 2,150 M̄, equivalentes a \$ 3,000 M̄ a precios de 1984 y se han hecho Adjudicaciones Directas, por Acuerdo del C. Secretario del Ramo de 8 Contratos con importe de \$ 850.0 M̄, equivalentes a \$ 1,000 M̄ a precios de 1984.

En lo que respecta a los Pedidos y Contratos de suministro, en 1981 se hicieron 13 Pedidos con Importe de \$ 660.0 M̄, equivalentes a \$ 3,000 M̄ a precios de 1984. En 1982 se hicieron 43 Pedidos con importe de \$ 1,200 M̄ equivalentes a \$ 3,600 M̄ a precios de 1984. En 1983 se adjudicaron 18 Contratos de Suministro y 43 Pedidos con importe de \$ 6,400 M̄ equivalentes a \$ 9,600 M̄ a precios de 1984.

9.- EJERCICIO DEL PRESUPUESTO

Desde el inicio de la Construcción en 1981, El Presupuesto ha sido ejercido como sigue:

En 1981 se erogaron \$ 2,200 M̄. Durante 1982 el Presupuesto ejercido fue de \$ 5,800 M̄. Para 1983 había sido aprobado originalmente un Presupuesto de \$ 8,500 M̄ y en el mes de junio fue aprobada una Ampliación líquida de \$ 13,700 M̄, dando un total de \$ 22,200 M̄. Las interrupciones provocadas por lluvias y heladas, retrasaron la ejecución de las Obras, tal como se dijo anteriormente. Se tuvieron retrasos muy importantes en la entrega de suministros, fundamentalmente de tubería de acero para la Línea Principal del Acueducto. Por otro lado, las condiciones del mercado del año pasado y la estricta disciplina observada en el proceso de Contratación hicieron que, tanto en los Contratos de Obra como en los de suministro, se obtuvieran precios en el orden del 30% inferiores a los considerados en el Presupuesto; adicionalmente las escalaciones de precios ocurridas fueron inferiores a las consideradas para elaborar el Presupuesto. Por todo lo anterior, el ejercicio del Presupuesto de 1983, alcanzó la cantidad de \$ 13,800 M̄, se hizo con la Secretaría de Programación y Presupuesto una Reducción Líquida de \$ 6,000 M̄ en 1983 y una ampliación del mismo monto para 1984.

— Los \$ 2,400 M̄ restantes no se ejercieron y significan una disminución en el costo previsto.

— Para 1984 se conto con un Presupuesto de \$ 10,000 M̄ que incluyen los \$ 6,000 M̄.

— Se anexa un desglose de las cifras anteriores, divididas por partidas para cada uno de los años, con una conversión a precios constantes de Enero de 1984.

**EJERCICIO DEL PRESUPUESTO ANUAL POR PARTIDA ESPECIFICA
DE 1981 HASTA MAYO 16 DE 1984**

PARTIDA	AÑO 1981		AÑO 1982		AÑO 1983		AÑO 1984		T O T A L	
	EJERCICIO	PRECIOS CONSTANTES ENERO 1984	EJERCICIO	PRECIOS CONSTANTES ENERO 1984	EJERCICIO	PRECIOS CONSTANTES ENERO 1984	EJERCICIO MAYO 15	EJERCIDO	PRECIOS CONSTANTES ENERO 1984	
6 1 0 0	1,286.051	4,897.603	3,949.194	9,052.013	7,295.997	8,470.965	5,115.973	17,647.215	27,536.554	
5 7 0 0	23.827	98.742			50,000	67.564		73.827	166.306	
5 5 0 0							1.177	1.177	1.177	
5 3 0 0										
5 2 0 0			92.279	209.790	263.893	293.861	273.975	630.147	777.626	
3 4 0 0			126.948	288.608	98.980	133.746	4.956	230.884	427.310	
2 4 0 0	655.978	2,498.128	1,044.534	2,374.691	5,838.427	6,564.477	706.701	8,245.640	12,143.997	
INDIRECTOS	198.901	824.269	364.186	990.590	250.351	338.287	916.402	1,729.840	3,069.548	
S U M A	2,164.757	8,318.742	5,577.141	12,915.692	13,797.648	15,868.900	7,019.184	28,558.730	44,122.518	

Como puede verse, hasta 1984 se erogaron \$ 28,600 M a precios corrientes, equivalentes a \$ 44,200 M a precios de 1984

10.- ORGANIZACION PARA LA OPERACION

En el Acuerdo de Coordinación celebrado el 13 de Noviembre de 1980. En la Cláusula Novena se estableció que el sistema de suministro de agua en bloque será operado, conservado y administrado por un Organismo Técnico-Administrativo, que se integrará de común acuerdo por las Dependencias Federales participantes y el Estado. De las diversas opciones, se considera que la más adecuada consiste en la creación de una Empresa operadora con la participación de los Gobiernos Federal y Estatal.

Independientemente de esto, la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos ha iniciado diversas acciones para la puesta en marcha del Acueducto y apoyar la creación del grupo de operación. Fundamentalmente se ha entrenado Personal de la Residencia de Construcción para realizar la puesta en marcha y se están elaborando Manuales de Operación para las instalaciones eléctricas y mecánicas, así como instructivos para el manejo hidráulico e hidrológico del Acueducto. Se ha elaborado también una estimación del Personal Técnico necesario para la operación permanente, con los perfiles de los puestos y los requisitos para la selección de ese Personal. Se considera una Planta de Personal, aproximadamente 150 Personas para la Operación durante el primer año.

CAPITULO IV

OPERACION Y MANTENIMIENTO

La operación principalmente tiene dos aspectos: el técnico y el institucional. En relación con el primero, gracias a que se trata de un sistema abierto en el que existe cierto grado de autonomía en el funcionamiento de cada tramo de bombeo, será posible realizar durante la primera fase una operación manual con apoyo en la comunicación radiofónica. Posteriormente, se instalará un sistema de telemetría y se prevé, más adelante, automatizar la operación del sistema completo.

La primera decisión de tipo general que hay que tomar durante la operación, es el caudal que el Acueducto puede suministrar en un momento dado a Monterrey. Por una parte, debe recordarse que el Acueducto y las Presas que lo alimentan, forman parte de un sistema más amplio que incluye varios acuíferos sobreexplotados. Estos últimos podrían seguirse sobreexplotando, pero no en forma sistemática, sino en aquellos años en que los escurrimientos superficiales sean escasos y, como se señaló en apartado I.2., condicionado a que se favorezca su recuperación durante los años con lluvias abundantes.

También en el apartado I.2. se describieron las simulaciones que con ayuda de un Programa de Computadora, se hicieron del funcionamiento de las Presas que alimentan el Acueducto. Se determinaron políticas de operación que cumplen con el objetivo de lograr el máximo aprovechamiento del agua, es decir reducir al mínimo tanto las deficiencias como los derrames. Uno de los resultados de las simulaciones fue que el comportamiento de la Presa Cerro Prieto -

servió como indicador del comportamiento de todo el sistema, o sea que los volúmenes derramados o almacenados son representativos de lo que pasa en todo el sistema (CPNH, 1983). Por tanto, se definió una política de operación que permite decidir cuál es el caudal disponible para Monterrey, con base en el volumen almacenado en la Presa Cerro Prieto. Si el porcentaje del volumen almacenado está entre el 90 y 100% de su capacidad total, la extracción total del sistema puede ser de 11.7 m³/seg.; si el almacenamiento está entre el 40 y el 90%, la extracción posible coincide con el gasto medio del Acueducto, o sea de 9.75 m³/seg.; y si la capacidad está entre la capacidad muerta y el 20%, la extracción se reduce a 3.22 m³/seg.

En cuanto a los aspectos institucionales, el Acuerdo de Coordinación del 13 de Noviembre de 1980 (Presidencia de la República, 1980) establece que el sistema de suministro de agua en bloque será operado, conservado y administrado por un organismo técnico y administrativo que se integrará de común acuerdo por las Dependencias Federales participantes y el Estado de Nuevo León. De las diversas opciones que existen, la que se considera más adecuada consiste en la creación de un Organismo Descentralizado con participación de los Gobiernos Federal y Estatal. El agua en bloque será entregada a las Autoridades Municipales de Monterrey, para que ellas se encarguen de distribuirla a la Población.

IV.1. PUESTA EN MARCHA

Se le llama puesta en marcha a la fase previa a la operación inicial, en la cual se hacen las pruebas conjuntas de todos los componentes que forman parte del Acueducto, con el propósito de verificar el adecuado funcionamiento de los equipos y de las protecciones, por lo que se efectúan secuencias de arran-

que y paro, éstas últimas en paro normal y de emergencia. De las estructuras que forman el Acueducto: conducción, estructuras de control y regulación, plantas de bombeo y potabilizadoras, éstas dos últimas resultan la parte del sistema más difícil de operar; ya que se tiene que coordinar la operación hidráulica con la operación eléctrica y mecánica de los equipos que conforman una planta de bombeo, y para la planta potabilizadora, habría que agregar el aspecto químico.

La operación de las seis plantas de bombeo se facilitó porque primero se construyeron las plantas PB4 y PB5, lo que permitió adquirir un conocimiento más profundo del equipo, por parte del Personal que supervisó la construcción e instalación y que fue el mismo que puso en marcha las dos plantas. Para la supervisión de la construcción de las cuatro plantas restantes, y de la puesta en marcha de todo el Acueducto, se dividió el personal en dos grupos dirigidos por los Ingenieros responsables de las Plantas PB4 y PB5. La experiencia adquirida por estos últimos fue transmitida al nuevo Personal. A causa de la premura por concluir el Acueducto, la capacitación se hizo sobre la marcha, aunque habría sido recomendable estructurar cursos formales e impartirlos con anticipación al Personal seleccionado. En relación con esto, la S.A.R.H. ha construido junto a la Planta Potabilizadora una unidad de entrenamiento para el nuevo Personal que operará el Acueducto. Esta Escuela podría convertirse en un Centro de Capacitación Nacional.

Después de haber efectuado las pruebas aisladas por Planta de Bombeo, se probaron tramos entre plantas. Para las pruebas de todo el Acueducto y la Puesta en Marcha.

La Planta Potabilizadora también se terminó antes que estuviera completo el Acueducto, lo cual permitió que se operara con gastos pequeños de agua traída de la Presa de La Boca. De esta manera, se obtuvo un mayor conocimiento del aspecto funcional del equipo adquirido y se ajustaron las dosis adecuadas de productos químicos, así como los tiempos requeridos para cada paso de la potabilización y el retrolavado de los filtros.

El llenado de la tubería es el paso previo a la puesta en marcha, debe hacerse lentamente, con el objeto que el aire dentro de la tubería sea expulsado por las válvulas de admisión y expulsión de aire. Es importante verificar el buen funcionamiento de estas válvulas. El sistema de tubería de recirculación instalado en las Plantas de Bombeo sirvió para introducir lentamente pequeños caudales a las tuberías de conducción.

Durante la puesta en marcha sólo se necesitaba un equipo, ya que el gasto fue de 2 M3/seg.; por tanto, existía la opción de utilizar alguno de los otros equipos. Normalmente se tenía una bomba operando y otra lista para arancar, en caso de alguna falla en la primera. Hubo ciertas fallas en el equipo que pudieron repararse inmediatamente, y en los casos en que se requirieron reparaciones mayores, gracias al diseño del Acueducto como sistema integrado, se pudieron utilizar los equipos de reserva, como en el caso de los transformadores de potencia.

IV.2. OPERACION TRANSITORIA Y DEFINITIVA

Se estima que para la operación permanente del Acueducto es necesaria una planta de 150 Personas, durante el primer año, y que el gasto de operación

durante ese primer año será de 800 Millones de Pesos. Durante la operación transitoria se requiere una planta menor de personal por varias razones. Por ejemplo, el área electromecánica sólo requiere de un pequeño grupo, a causa de que algunos equipos tienen garantía de un año por lo que el mantenimiento durante ese tiempo es responsabilidad de los proveedores.

El Acueducto operará más de ocho horas diarias, por lo cual se contrato Personal para formar varios turnos incluso los relevos de los días no hábiles. Como la capacidad de regulación del tanque Garrapatas es de 115 000 m³, es posible operar 12 horas el tramo de Cerro Prieto al tanque, pero se requiere de una operación de 24 horas para el tramo que va del Tanque Garrapatas a los tanques de San Roque, para abastecer a La Ciudad de Monterrey con 5 M³/seg., objetivo de la Primera Etapa.

La plantilla del Personal para la operación transitoria, sin contar al Personal Administrativo, es de 144 Personas, incluyendo a un Residente General de Operación, Un Coordinador, cuatro Residentes, 36 Jefes de Turno, 94 Auxiliares Técnicos y 8 Obreros.

A causa de la longitud tan grande del Acueducto, 133 Km, se dividió su operación en dos zonas, norte y sur, separadas por el tanque Garrapatas. Al frente de cada zona estará un Residente de Zona que reportará al Coordinador de Operación, y gestionará a través del Residente General la programación de los requerimientos de entrega de agua en bloque.

La Planta del Personal se ha integrado, principalmente, con el Personal que participó en la construcción de la Obra, puesto que tiene un buen conocimiento de los equipos.

Los primeros meses de operación se llevaron a cabo principalmente con base en la experiencia adquirida por el Personal de la S.A.R.H. durante la instalación y puesta en marcha del Acueducto, y con ayuda de los manuales e instrucciones de los fabricantes y proveedores. Durante la construcción del Acueducto se empezaron a elaborar manuales de operación hidráulica y electromecánica, en los que se están vertiendo las opiniones de fabricantes, proyectistas y operadores, considerando la operación normal del Acueducto y en condiciones de emergencia. También por parte del Personal de mantenimiento, se elaborará la lista de reparaciones necesarias en almacén; según sugerencia del fabricante y del Personal de Operación.

IV.3.- MANTENIMIENTO PREVENTIVO

El correcto funcionamiento de los equipos electromecánicos y el buen estado de las instalaciones civiles son básicos para la continuidad del servicio, por lo cual se aconseja implantar a nivel regional los Programas de Mantenimiento Preventivo para las instalaciones electromecánicas y civiles.

Mantenimiento Preventivo de Instalaciones Electromecánicas significa conservación sistemática y planeada del buen estado del equipo, para reducir al mínimo o evitar fallas y futuros problemas de operación, ejecutando por adelantado reparaciones de menor importancia, necesarias para prevenir dificultades de funcionamiento de mayores proporciones. Operaciones tan sencillas como apretar un tornillo o una conexión pueden evitar un corto circuito serio en el equipo eléctrico o alguna falla de índole mecánica en la bomba.

Son dos los requisitos necesarios para un buen Mantenimiento Preventivo: El primero es disponer de aparatos de buena calidad, instalados correctamente. El segundo es contar con un Personal de Mantenimiento apto y con el equipo de trabajo necesario. El personal responsable del mantenimiento deberá tener conocimientos amplios sobre el funcionamiento y operación de los equipos instalados, y a la vez ser capaz de practicar inspecciones minuciosas y ejecutar reparaciones de menor importancia.

En los informes de inspección deben hacerse resaltar las condiciones dudosas o peligrosas que se observen, y basadas en ellos las autoridades contarán con elementos para actuar oportunamente, lo que representará bajos costos de reparación y pocas interrupciones en el servicio.

- Forma No. 4 NORMAS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA CADA GRUPO.
- Forma No. 5 CALENDARIO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO.
- Forma No. 6 CONTROL DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y DAÑOS DE EQUIPOS.

El Mantenimiento Preventivo para las instalaciones civiles se proporcionará - de manera similar al de las instalaciones electromecánicas, apoyándose en ambos casos en los instructivos y normas establecidos.

Deberá analizarse la eficiencia y costo del servicio de mantenimiento, ya sea que se se proporcione localmente o a nivel regional; evaluar periódicamente - sus resultados, y comprobar que llena el requisito básico de autosuficiencia.

CAPITULO V
CONCLUSIONES

La Ciudad de Monterrey, Capital del Estado de Nuevo León, en el curso de los últimos veinticinco años ha tenido un considerable incremento en su población, actualmente su Area Metropolitana comprende los Municipios de Monterrey, Escobedo, Santa Catarina, San Pedro, San Nicolás de los Garza y Guadalupe, ocupando una extensión de 18,000 hectáreas con una población estimada en dos millones trescientos mil habitantes, que demanda 8,000 l.p.s. de agua potable para uso urbano y 3,000 l.p.s. para uso industrial.

Anteriormente la Ciudad de Monterrey y su Area Metropolitana se abastecía en su mayor parte de agua proveniente de fuentes subterráneas, localizadas en un radio de aproximadamente 40 kilómetros. Los acuíferos existentes se explotaban mediante cuatro sistemas de pozos profundos que en total proporcionaban del orden de 7,000 l.p.s. La Presa Rodrigo Gómez, "La Boca", constituye la única fuente superficial en explotación. El consumo industrial, del orden de 1,900 l.p.s. proviene del rehuso de aguas residuales previamente tratadas.

Considerando las características de las acciones planteadas en la Primera versión del Plan Hidráulico del Estado y la Ejecución del Programa para el Abastecimiento de Agua Potable a la Ciudad de Monterrey, a su Zona Metropolitana y al Corredor de Desarrollo Industrial Linares-Montemorelos-Allende-Monterrey, se acordó la construcción del Sistema Regional Linares-Monterrey que en su primera etapa conduce un caudal medio de 4,100 l.p.s.

En este sistema se aprovechan las aguas superficiales del Río Pablillo, para lo cual se construyó la Presa Cerro Prieto con capacidad de 393 millones de metros cúbicos, esta Presa está localizada en las cercanías de la Ciudad de Linares.

Para garantizar el suministro de agua en los meses más críticos se construyó la Presa Derivadora Sotolar, con un gasto de diseño de 12.75 m³/seg., de la cual se llevará el agua al cauce del Río Pablillo mediante un canal de 14 kilómetros de longitud.

Para captar el agua de La Presa Cerro Prieto se construyó una Obra de Toma con tubería de acero de 2m. de diámetro, con longitud aproximada de 834 m. y capacidad de 4,100 l.p.s., que descarga directamente a la P.B.1. Para conducir el agua desde la Presa Cerro Prieto hasta el Sitio de Entrega en el Tanque San Roque, localizado en la Ciudad de Monterrey, se instalaron 133 kilómetros de tubería de concreto presforzado y acero de 2.10 m. de diámetro. En el desarrollo del Acueducto, debido a la topografía fue necesario bombear el agua hasta una altura aproximada de 456 M., para lo cual se construyeron 6 Plantas de Bombeo denominadas P.B.1, P.B.2, P.B.2A, P.B.3, P.B.4 y P.B.5., que están integradas por 4, 5, 5, 5, 6 y 6 Equipos, respectivamente con capacidad de 2 m³/seg. cada uno.

Con el propósito de proteger la tubería contra sobre-presiones que se originan por efectos hidráulicos, se construyeron 2 torres de oscilación con alturas de 40 y 61 m., y 10 tanques unidireccionales de 9 a 28 m. de altura y capacidad de 290 a 4000 m³, estos tanques sustituyen a varias torres de oscila

ción que previamente se tenían contempladas en el Proyecto, a un costo de construcción considerablemente menor, también se construyó un tanque rompedor de presión que cumplirá con la función de disminuir la carga de presión y velocidad del flujo.

El Sistema Regional Linares-Monterrey cuenta con una Planta Potabilizadora - que está integrada por 36 módulos de filtración directa y capacidad de 12,000 l.p.s.; en la Primera Etapa se construyó el tanque de aguas crudas, los equipos de dosificación y la mezcla rápida de reactivos, así como 2 tuberías de - 18 filtros cada una y los equipos de pre y postcloración.

El Sistema Regional de Abastecimiento de Agua Linares-Monterrey, en su Primera Etapa, suministra un caudal de 4,100 l.p.s. que beneficia a una población de 1'012,000 habitantes con una dotación de 350 l/h/d. Al mismo tiempo se da impulso a la Industria con la creación del Corredor de Desarrollo denominado Linares-Montemorelos-Allende, con el cual se generarán empleos permanente y bien remunerados, que contribuirán al arraigo de los habitantes y asegurarán un crecimiento ordenado de los asentamientos humanos, coadyubando así con el Plan Nacional de Desarrollo.

RELACION DE LA CONTRATACION DE LA OBRA ACUEDUCTO LINARES-MONTERREY, N.L.

ANTES DE LA DECLARACION DE EMERGENCIA

CONTRATO	O B R A	CONTRATISTA	IMPORTE
CC-81-246 C	Construcción de torres de concreto en la Línea de Conducción TS-1, - TS-2, TS-2 "A" y TS-3	CONSTRUCTORA LAS TORRES, S. A.	55'846,255.51
CC-81-247 C	Construcción de torres de concreto en la Línea de Conducción TS-4, - TO-4 y TS-5.	CONSTRUCTORA LAS TORRES, S.A.	113'000,068.94
CC-81-248 C	Construcción de torres de acero en la Línea de Conducción TO-1, TO-2 y TO-2 "A".	TUBINTER, S. A.	159'871,192.11
CC-81-249 C	Construcción de torres de acero en la Línea de Conducción, TO-3 y - TO-5.	TUBINTER, S.A.	73'976,517.73
CC-81-262 C	Construcción de la Obra de Toma de la Presa Rodrigo Gómez.	CONSTRUCTORES Y ASESORES UNI--DOS, S.A. DE C.V.	29'193,142.46
CC-81-276 C	Terracerías Torre de Oscilación - No. 4.	ASTRON CONSTRUCTORA, S.A.	45'953,745.10
CC-81-231 C	Inst. Jun. y Prueba de Tuberías, Piezas Esp. y Válvulas Tramo: Ce--rro Prieto-Salitrillo.	CONSTRUCCIONES VIAM, S. A.	167'151,638.14

RELACION DE LA CONTRATACION DE LA OBRA ACUEDUCTO LINARES-MONTERREY ,N.L.

ANTES DE LA DECLARACION DE EMERGENCIA

CONTRATO	O B R A	C O N T R A T I S T A	I M P O R T E
CC-81-235 C	Inst. Junt. y Prueba de Tubería, - Piezas Esp. y Válvulas Tramo: La Boca-Planta Potabilizadora.	PAVIMENTACIONES Y EXCAVACIONES, S. A.	293'818,274.54
CC-81-236 C	Inst. Junt. y Prueba de Tubería, - Piezas Esp. y Válvulas Tramo: <u>Plan</u> ta Potabilizadora-San Roque.	DESARROLLO URBANO Y AGROPECUA-- RIO, S. A.	151'409,320,15
CC-81-237 CS	Fabricación, inst. prueba y protecc ión de tubería de acero en los 6 sifones de la Línea de Conducción.	CARRETERAS Y URBANISMO, S. A.	473'876,279.13
CC-81-238 CS	Terracerías-Plantas de Bombeo 3 y 4	CONSTRUCTORA LINARES, S. A.	127'067,675.00
CC-81-240 C	Const. de Línea de Transmisión - Eléctrica de 3.4 KV. entre el tron cal Monterrey Reynosa y Planta Po- tabilizadora.	CONSORCIO PROCO-MIA, S. A.	4'963,158.00
CC-81-281 CS	Fabricación, protección y prueba - de taller y transporte de tubería de acero para la interconexión del Ac. con la Presa Rodrigo Gómez.	TUBERIA Y ESTRUCTURAS, S. A.	200'513,481.10
CC-81-282 C	Conclusión del camino de construc- ción para tirado y colocación de - Tubería tramo: Montemorelos-El Tu- nal.	TROYA CONSTRUCCIONES, S. A.	57'241,800.59

RELACION DE LA CONTRATACION DE LA OBRA ACUEDUCTO LINARES-MONTERREY, N.L.
 ANTES DE LA DECLARACION DE EMERGENCIA

CONTRATO	O B R A	CONTRATISTA	IMPORTE
CC-81-107 D	Perforación, aforo y adomado de 12 Pozos Montemorelos	ANTONIO BENITEZ NOYOLA	15'000,000.00
CC-81-124 CS	Suministro e Instalación de Bombas Motores Válvulas y Múltiples de las PB. 1,2,3,4 y 5.	SUMITOMO CORPORATION	708'111,369.78
CC-81-138 CS	Equipos de Cloración y Tanque.	FISPO, S. A.	27'326,209.00
CC-81-222 C	Planta de Bombeo No. 2 "A".- Terracerías.	CONSTRUCTORA GUAJARDO Y MARTINEZ S. A.	77'830,315.10
CC-81-223 C	Planta de Bombeo No. 2 "A".-Obra Civil.	GARPE CONSTRUCCIONES, S. A.	64'958,914.07
CC-81-224 C	Planta Potabilizadora.- Terracerías.	MOVIMIENTO DE TIERRAS, S. A.	27'226,000.00
CC-81-225 C	Construcción del Campamento y Edificio Aux. para Op. de P.P.	CONSORCIO CONSTRUCTIVO, S. A.	84'284,284.87
CC-81-226 C	Const. de casas para los afectados por la Línea de Conducción.- 1a. Parte.	DESARROLLO URBANO Y AGROPECUARIO, S. A.	

RELACION DE LA CONTRATACION DE LA OBRA ACUEDUCTO LINARES-MONTARREY, N.L.
 ANTES DE LA DECLARATORIA DE EMERGENCIA

CONTRATO	O B R A	C O N T R A T I S T A	I M P O R T E
CC-81-227 C	Const. de casas para los afectados por la Línea de Conducción - 2a. Parte.	DESARROLLO URBANO Y AGROPECUARIO, S.A.	23'054,450.36
CC-81-228 C	Inst. Prot. y Prueba de Tubería de acero en la interconexión del Ac. con la Presa Rodríguez Gómez	DESARROLLO URBANO Y AGROPECUARIO, S.A.	446'283,129.28
CC-81-96 D	Caminos de construcción para tirado y colocación de tuberías -- tramo La Esperanza.	PAVIMENTACIONES Y EXCAVACIONES, S.A.	43'400,000.00
CC-81-97 D	Caminos de Construcción para tirado y colocación de tuberías -- tramo Montemorelos-El Tunal.	ANTONIO BENITEZ NOYOLA	10'000,000.00
CC-81-99 D	Caminos de construcción para tirado y colocación de tuberías -- tramo Allende-Los Cerritos.	CONSTRUCCIONES PESADAS, -- S.A. DE C.V.	36'000,000.00
CC-81-233 C	Inst. junt. y prueba de tubería pzas.esp. y válvulas, tramo: -- Montemorelos-Allende	TROYA CONSTRUCCIONES, S.A.	84'166,562.80
CC-81-100 D	Caminos tramo Los Cerritos - La Boca.	CONSTRUCTORA Y URBANIZADORA MEXICANA, S.A.	36'000,000.00
CC-81-101 D	Caminos tramo La Boca-Planta Potabilizadora.	ASTRON CONSTRUCTORA, S.A.	42'400,000.00
CC-81-102 D	Caminos tramo Potabilizadora Tanque-San Roque.	TROYA CONSTRUCCIONES, S.A.	42'400,000.00

RELACION DE LA CONSRATACION DE LA OBRA ACUEDUCTO LINARES-MONTERREY, N.L.
 ANTES DE LA DECLARACION DE EMERGENCIA

CONTRATO	O B R A	C O N T R A T I S T A	I M P O R T E
CC-81-104 D	Perforación aforo y ademado de 12 Pozos Montemorelos.	JOSE GARZA GONZALEZ	15'000,000.00
CC-81-105 D	Perforación aforo y ademado de 12 Pozos Montemorelos.	PERFORACIONES Y EQUIPOS GARZA THOMAE, S.A.	15'000,000.00
CC-81-106 D	Perforación aforo y ademado de 12 Pozos Montemorelos.	PERFORACIONES BOMBAS Y AFOROS, S.A.	15'000,000.00
CC-81-18 C	Caminos de acceso para PB-5	INGENIERIA Y TECNICA DE MEXICO, S.A.	50'000,000.00
CC-81-22 C	Construcción de la Planta de Bombeo No. 5	DESARROLLO URBANO Y AGROPECUARIO, S.A.	106'256,730.78
CC-81-26 C	Construcción de la línea de transmisión eléctrica.	COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD	239'353,800.00
CC-81-19 C	Construcción de la Obra civil de las plantas de bombeo 1 y 2	CONSTRUCTORA EMAL, S.A.	217'574,865.05
CC-81-65 CS	Suministro, instalación y puesta en marcha de Subestación.	CONSORCIO PROCO-MIA, S.A.	854'786,877.42
CC-81-68 D	Excavaciones de desplante, rampas para PB-1, 2, T02 y TS-2.	CONSTRUCTORA GUAJARDO Y MARTINES, S.A.	100'000,000.00
CC-81-72 C	Construcción de la estructura de vruce del Acueducto Linares-Monterrey con el F.F.C.C.	GERARDO DE JESUS ALMAGUER - GUERRA	25'582,474.00
CC-81-93 D	Caminos de construcción para tirado y colocación de tuberías -- tramo Cerro Prieto.	MAQUILAS Y ASESORIAS DEL CAMPO, S.A.	37'900,000.00

RELACION DE LA CONTRATACION DE LA OBRA ACUEDUCTO LINARES-MONTERREY, N.L.
 ANTES DE LA DECLARACION DE EMERGENCIA

CONTRATO	O B R A	C O N T R A T I S T A	I M P O R T E
CC-81-04 D	Camino de construcción para tirado y colocación de tuberías, - tramo Libertad Los Ebanos.	GARPE CONSTRUCCIONES, S.A.	37'900,000.00
CC-81-95 C	Camino de construcción para tirado y colocación de tuberías, - tramo Los Ebanos-La Esperanza	MOVIMIENTOS DE TIERRAS, S.A.	35'000,000.00
CC-82-01 C	Construcción de los tanques y canales de alimentación a módulo - potabilizador incluyendo medidores de la planta potabilizadora.	CAT CONSTRUCCIONES, S.A.	125'580,409.54
CC-82-02 CS	Suministro, instalación y puesta en servicio de Eq. electromecánico y casetas de control pozos -- San Roque y Ciudadela.	CONSTRUCCIONES CIVILES Y ELECTROMECANICAS DE PUEBLA, S.A. DE C.V.	39'706,936.52
CC-83-09 C	Construcción del tanque rompedor de presión "Garrapatas" con capacidad de 110,000 M3	CONDULINEAS	
CC-83-37 C	Fabricación, inst. prot. y prueba de tubería de acero en la línea de conducción de la torre de oscilación No. 3 "A" a la torre de sumergencia No. 4.	CONSTRUCCIONES PROTEXA, S.A. - DE C.V.	
CC-82-56 C	Construcción de torre de acero - de oscilación T0-4.	LINEAS DE PRODUCCION, S.A. DE C.V.	80'000,000.00

**RELACION DE LA CONTRATACION DE LA OBRA ACUEDUCTO LIANRES-MONTERREY, N.L.
ANTES DE LA DECLARACION DE EMERGENCIA**

CONTRATO	O B R A	C O N T R A T I S T A	I M P O R T E
CC-82-61 C	Obras dispersas para la puesta en servicio del tramo Presa Rodrigo Gómez-Tanque San Roque 1a. Parte.	CARRETERAS Y URBANISMOS, S.A.	25'900,000.00
CC-82-62 C	Obras dispersas para la puesta en servicio del tramo Presa Rodrigo Gómez.	CONDULINEAS, S.A.	20'000,000.00
CC-82-84 C	Construcción de terracerías y concretos en múltiples y línea de presión en PB-5.	TROYA CONSTRUCCIONES, S.A.	80'000,000.00
CC-82-20 C	Construcción de vialidades internas a Planta Potabilizadora.	CONSTRUCTORA Y URBANIZADORA - MEXICANA, S.A.	1'000,000.00
CC-82-21 C	Construcción de drenaje para escorrentamientos superficiales de la Planta Potabilizadora.	CONSTRUCTORA Y URBANIZADORA - MEXICANA, S.A.	23'500,000.00
CC-82-40 C	Construcción de los servicios auxiliares de la Planta Potabilizadora Obra.	PREMICH, S.A.	52'549,000.00
CC-82-41 C	Construcción de los servicios auxiliares de la Planta Potabilizadora Obra civil para la cloración.	LOTAR, S.A.	21'851,000.00
CC-82-42 C	Construcción de los servicios auxiliares de la Planta Potabilizadora Obra civil para los sopladores.	CAT CONSTRUCCIONES, S.A.	11'311,788.46

RELACION DE LA CONTRATACION DE LA OBRA ACUEDUCTO LINARES-MONTERREY, N.L.
 ANTES DE LA DECLARACION DE EMERGENCIA

CONTRATO	OBRA	CONTRATISTA	IMPORTE
CC-82-43 C	Terminación de los trabajos relativos a la construcción y suministro de la subestación de la Planta Potabilizadora y sistema de iluminación interna y externa de la PB-4 y 5.	I.C.O., S.A. DE C.V.	10'000,000.00
CC-82-01 C	Construcción de los tanques y canales de alimentación a módulo potabilizador incluyendo medidores de la Planta Potabilizadora.	CAT CONSTRUCCIONES S.A.	
CC-82-02 CS	Suministro, instalación y puesta en servicio de Eq. electromecánico y casetas de control pozos San Roque y Ciudadela.	CONSTRUCCIONES CIVILES Y ELECTROMECANICAS DE PUEBLA, S.A. - DE C.V.	
CC-83-09 C	Construcción del Tanque rampador de presión "Garrapatas" con capacidad de 110,000 M3	CONDULINEAS	71'831,086.87
CC-83-37 C	Fabricación, Inst.prot. y prueba de tubería de acero en la línea de construcción de la torre de oscilación - No. 3 "A" a la torre de sumergencia No. 4.	CONSTRUCCIONES PROTEXA, S.A -- DE C.V.	246'117,798.93
CC-82-56 C	Construcción de torre de acero de oscilación TO-4.	LINEAS DE PRODUCCION, S.A. DE C.V.	
CC-82-61 C	Obras dispersas para la puesta en servicio del tramo Presa Rodrigo - Gómez-Tanque San Roque la. Parte.	CARRETERAS Y URBANISMOS, S.A.	

RELACION DE LA CONTRATACION DE LA OBRA ACUEDUCTO LINARES-MONTERREY, N.L.

ANTES DE LA DECLARACION DE EMERGENCIA

CONTRATO	O B R A	C O N T R A T I S T A	I M P O R T E
CC-82-62 C	Obras dispersas para la puesta en - servicio del tramo Presa Rodrigo -- Gómez.	CONDULINEAS, S.A.	

RELACION DE CONTRATOS PARCIALMENTE CANCELADOS DE LA OBRA ACUEDUCTO LINARES-MONTERREY, N.L.

CONTRATO	O B R A	CONTRATISTA	IMPORTE
CC-81-230 CS	Fabricación, instalación, prueba y protección de tubería de acero en la descarga de las 6 - Plantas de Bombeo.	CONSTRUCCION Y MONTAJE FONTANOT, S.A.	482'842,439.32
CC-81-230 CS 1er. C.A.	Idem.	Idem.	- 173'842,439.32
CC-81-230 CS 2° C.A.	Idem.	Idem.	- <u>14'000,000.00</u> 295'000,000.00
CC-81-232 C	Instalación, junteo y prueba de tubería de -- concreto presforzado, piezas especiales y <u>válvulas</u> , tramo Salitrillo-Montemorelos.	CONSTRUCTORA REGIONAL DEL BRAVO, S.A.	95'433,219.69
CC-81-232 C 1er. C.A.	Instalación de tubería de concreto presforzado, piezas especiales y válvulas en el tramo comprendido entre la Planta de Bombeo 4 y la Presa Cerro Prieto, según el tramo "B"	CONSTRUCTORA REGIONAL DEL BRAVO, S.A.	0.00
CC-81-232 C	Idem.	Idem.	- <u>10'000,000.00</u> 85'433,219.69

RELACION DE CONTRATOS PARCIALMENTE CANCELADOS DE LA OBRA ACUEDUCTO LINARES-MONTERREY, N. L.

CONTRATO	O B R A	CONTRATISTA	IMPORTE
CC-81-234 C	Instalación, junte y prueba de tubería de concreto presforzado, piezas especiales y válvulas, tramo Allende-La Boca.	CONSTRUCTORA EMAL, S.A.	130'042,334.99
CC-81-234 C 1er. C.A.	Instalación de tubería de concreto presforzado, piezas especiales y válvulas en el tramo comprendido entre la Planta de Bombeo No. 4 y la Presa Cerro Prieto, según el tramo "D".	CONSTRUCTORA EMAL, S.A.	38'000,000.00
CC-81-234 C 2º C.A.	Idem.	Idem.	- 32'072,000.00
			<hr/> 135'970,334.99

RELACION DE LA CONTRATACION DE LA OBRA ACUEDUCTO LINAPES-MONTERREY, N.L. EN PROCESO DE
RESCISION

CONTRATO	O B R A	CONTRATISTA	IMPORTE
CC-82-19 C	Construcción de caminos de acceso o planta Potabilizadora.	ASESORIA, PROYECTOS Y EJECUCION DE CONSTRUCCIONES, S.A.	24'426,364.36
CC-81-20 C	Construcción de Obra Civil a las PB-3 y 4.	TROYA CONSTRUCCIONES, S.A.	68'381,979.78
CC-81-20 C 1er. C.A.	Construcción de Obra Civil a las PB-3 y 4.	TROYA CONSTRUCCIONES, S.A.	65'833,000.00
CC-81-20 C 2º C.A.	Construcción de Obra Civil a las PB-3 y 4.	TROYA CONSTRUCCIONES, S.A.	22'732,000.00
CC-81-20 C 3er. C.A.	Construcción de Obra Civil a las PB-3 y 4.	TROYA CONSTRUCCIONES, S.A.	6'422,000.00
CC-81-21 C	Construcción de Obra Civil de la Planta -- Potabilizadora.	INGENIEROS UNIDOS DEL NORTE, S.A. DE C.V.	457'443,392.18

RELACION DE LA CONTRATACION DE LA OBRA ACUEDUCTO LINARES-MONTERREY, N.L.
POSTERIOR A LA DECLARATORIA DE EMERGENCIA

CONTRATO	O B R A	C O N T R A T I S T A	I M P O R T E
CC-83-16 C	Construcción del tanque de recuperación de agua de retrolavado de filtros en Planta Potabilizadora.	CONDULINEAS, S.A.	46'866,585.90
CC-83-17 C	Construcción de obras complementarias y servicios auxiliares para la operación de la Planta Potabilizadora.	CONSTRUCCIONES HIDROMECANICAS, S.A.	44'756,538.40
CC-83-33 C	Conclusión de la obra civil para la PB-3.	I.C.A., S.A.	44'532,916.70
CC-83-56 C	Instalación, Junteo y prueba de 6.5 Km. de tubería de concreto presforzado de 2.10 m de diámetro interior comprendidos entre la Presa Cerro Prieto y la PB-4.- Tramo "E"	UNIVERSAL DE CONSTRUCCIONES, S.A.	218'605,818.70
CC-83-57 C	Instalación, Junteo y prueba de tubería de concreto presforzado de 2.10 m. de diámetro interior, comprendidos entre la Presa Cerro Prieto y la PB-4.- Tramo "F" (6.5 Km).	P.O.A.C.S.A.	310'140,786.20
CC-83-58 C	Instalación, Junteo y prueba de 6.5 Km. de tubería de concreto presforzado de 2.10 m de ϕ interior, comprendidos entre la Presa Cerro Prieto y la PB-4.- Tramo "G".	CONSTRUCCIONES PROTEXA, S.A.	283'999,929.50
CC-83-61 C	Complementación de los trabajos de la obra civil de la Planta Potabilizadora.	CONDULINEAS, S.A.	225'67,371.60

RELACION DE LA CONTRATACION DE LA OBRA ACUEDUCTO LINARES-MONTERREY, N.L.
POSTERIOR A LA DECLARATORIA DE EMERGENCIA

CONTRATO	O B R A	C O N T R A T I S T A	I M P O R T E
CC-83-63 C	Construcción, instalación, prueba y puesta en marcha de tableros de control para coordinación entre tableros de potencias y grupo motor-bomba.	PROCOMIA, S.A.	21'730,569.22
CC-83-65 C	Construcción de tanques de regulación.	I.C.A., S.A.	125'059,948.52
CC-83-65 C	Construcción de tanques unidireccionales.	I.C.A., S.A.	168'533,084.86
CC-84-09 C	Presa derivadora sobre el Rfo Potosí.	INAR, S.A. DE C.V.	171'175,176.29
CC-84-10 C	Construcción del tajo de intercomunicación del Rfo Potosí al Arroyo - Ortega.	INAR, S.A. DE C.V.	280'416,790.63
CC-84-11 C	Rectificación del cauce del Arroyo Ortega.	CIA.CONTRATISTA NACIONAL, S.A.	133'101,344.16
CC-84-12 C	Iluminación interior y exterior para las Plantas de Bombeo Nos. 1, 2, 2A y 3, y suministro, instalación de pararrayos y luces de obstrucción	CONSORCIO PROCOMIA, S.A.	15'520,615.01
CC-84-46 C	Obra civil e instalación de tubería de succión para las Plantas de Bombeo Nos. 2, 2A y 3; obra civil e instalación de tubería de recirculación para las Plantas de Bombeo 1, 2, 2A, y 3.	L.I.P., S.A.	81'646,806.70

RELACION DE LA CONTRATACION DE LA OBRA ACUEDUCTO LINARES-MONTERREY, N.L.
POSTERIOR A LA DECLARATORIA DE EMERGENCIA

CONTRATO	O B R A	C O N T R A T I S T A	I M P O R T E
CC-84-47 C	Construcción de obras dispersas a lo largo del acueducto 1a. parte.	D E S I E R T O	
CC-84-48 C	Construcción de obras dispersas a lo largo del acueducto 2a. parte.	P.O.A.C.S.A.	100'624,228.95

RELACION DE LA CONTRATACION DE LA OBRA ACUEDUCTO LINARES-MONTERREY, N.L.
POSTERIOR A LA DECLARATORIA DE EMERGENCIA

CONTRATO	OBRA	CONTRATISTA	IMPORTE
CC-84-49 C	Fabricación e instalación de estructura rompedora de presión en el Km. 115+455.	CONSTRUCTORA VIAM-PARVE, S.A.	42'550,496.25
CC-84-51 C	Fabricación e instalación de tapas y tubos múltiples para las pruebas hidrostáticas.	CONSTRUCCIONES HIDROMECANICAS, S.A.	24'095,127.10
CC-84-53 C	Instalación de tubería de acero para conectar la tubería de acero presforzado con los tanques de regulación de las Plantas de Bombeo 2A y 3.	LINEAS DE PRODUCCION, S.A.	55'091,238.92

REFERENCIAS

- ACI, 1977 BUILDING CODE REQUIREMENTS FOR REINFORCED CONCRETE.
- AISI, 1977 WELDED STEEL PIPE. Steel Plate Engineering Data, Vol. 3
- AWWA 1983 AWWA STANDARD PRACTICE OF THE SELECTION OF ASBESTOS - CEMENT DISTRIBUTION PIPE. Ansi/AWWA C401-83. Denver Colorado. 1983.
- CFE 1981. MANUAL DE OBRAS CIVILES, C. Estructuras. México.
- CPNH 1981. PLAN NACIONAL HIDRAULICO 1981. Anexo 7 Catálogo -- de proyectos de abastecimiento de agua a ciudades e industrias. México, D.F.
- CPNH 1983. ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE A LA CIUDAD DE MONTE - RREY, N.L. México, D.F.
- Chaudhry M. Hanif 1979. APPLIED HYDRAULICS TRANSIENTS. Van Nostrand Reinhold Co. N.Y. 1979.
- DDF, 1976. REGLAMENTO DE CONSTRUCCION DEL DISTRITO FEDERAL.
- DGCCA 1982. SISTEMA REGIONAL DE ABASTECIMIENTO DE AGUA LINARES - MONTERREY. Tomo 3. Definición Conceptual del Sistema.
- Lischer Vance L. 1969. AWWA PIPE STANDARS IN PIPELINE ENGINEERING - AWWA Journal; Septiembre, 1969.
- Mayol José 1981. TUBERIAS, TOMO 1. Editores Técnicos Asociados, - S.A. Barcelona, España. 1981
- Mayol José 1983. TUBERIAS, TOMO 2. Editores Tecnicos Asociados, - S.A. Barcelona, España. 1983.
- Miyashiro H. 1967. WATER HAMMER ANALYSIS OF PUMP DISCHARGE LINE' - WITH SEVERAL ONE - WAY SURGE TANKS. Journal Of Engineering for --- Power. Octubre, 1967. pp. 621-267

Parmakian John 1963. WATER HAMMER ANALYSIS. Dover Publications, Inc N.Y. 1963

Parmakian John 1957. ONE-WAY SURGE TANKS FOR PUMPING PLANTS - - TRANSACTIONS OF THE ASME. Octubre, 1958.pp.1553-1573

Presidencia de la República 1980. ACUERDO DE COORDINACION QUE - CELEBRAN EL GOBIERNO FEDERAL Y EL GOBIERNO DE NUEVO LEON, PARA LA FORMULACION DE UNA PRIMERA VERSION DEL PLAN HIDRAULICO. Monterrey, Nuevo León. Noviembre 13, 1980.

SADM 1981. PASADO PRESENTE Y FUTURO. Monterrey, Nuevo León.

SAHOP 1979. MANUAL DE NORMAS DE PROYECTOS DE APROVISIONAMIENTO DE AGUA POTABLE EN LOCALIDADES URBANAS DE LA REPUBLICA MEXICANA México, D.F., Octubre, 1979.

Secretaría de Gobernación 1982. DECRETO DE REFORMAS Y ADICIONES A LA LEY ORGANICA DE LA ADMINISTRACION PUBLICA FEDERAL. Publicado en el Diario Oficial el 29 de Diciembre de 1982.

Sotelo Gilberto 1974. HIDRAULICA GENERAL. Editorial Limusa, S.A. México, D.F., 1976.

SPP 1983. ACUERDO DE COORDINACION QUE CELEBRAN EL EJECUTIVO FEDERAL Y EL EJECUTIVO DEL ESTADO DE NUEVO LEON, PARA LA REALIZACION DE UN PROGRAMA DE DESARROLLO ESTATAL PARA LA CONCLUSION -- DEL ACUEDUCTO LINARES MONTERREY. Monterrey Nuevo León. Junio 1983.

SRH. DECRETO DE CREACION DE LA CAVM. Publicado en el Diario Oficial el 18 de agosto de 1972.

Timoshenko S.P. et al 1959. THEORY OF AND SHELLS. Mc. Graw Hill Kogakusha Ltd., Tokio.

USBR, 1956. DESIGN STANDARD No.7, VALVES, GATES AN STEEL CONDUITS Capítulos 1, 2 y 3.

Wille E. Benjamin Et al 1978. FLUID TRANSIENTS. Mc. Graw Hill International Book Co. 1978.