

144
28/4



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

PROCEDIMIENTOS DE CONSTRUCCION DE LA TUBERIA
DEL ACUEDUCTO LINARES-MONTERREY

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A
HECTOR PEÑALOZA OCHOA



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.

CONTENIDO

INTRODUCCION

CAPITULO I.

DESCRIPCION DEL PROYECTO

1.1. El Sistema Regional de Abastecimiento de Agua Linares - Monterrey	1
1.2. El Proyecto Completo del Sistema	8
1.3. Criterios Básicos de Diseño del Sistema	18
1.4. Criterios Constructivos en la Selección del Trazo del Acueducto y del Número de Plantas de Bombeo.	21
1.5. Construcción de la Primera Etapa	35
1.6 Tubería	37

CAPITULO II.

FABRICACION DE TUBERIA DE CONCRETO PRESFORZADO

2.1. Tuberías de Presión	46
2.2. Tuberías de Concreto Presforzado	49
2.3. Requerimientos de Fabricación	52
2.4. Procedimiento de Fabricación de los Tubos	56

CAPITULO III.

PROCEDIMIENTOS DE INSTALACION DE LAS TUBERIAS

3.1. Requerimientos Técnicos	66
3.2. Requerimientos de Maquinaria y Equipo	72
3.3. Requerimientos de Espacio de Trabajo	73
3.4. Transporte y Descarga de los Tubos	75
3.5. Colocación y Relleno de Zanjas	78
3.6. Colocación de la Tubería	91

CAPITULO IV.

PRUEBA Y PUESTA EN MARCHA DE LAS TUBERIAS

- | | |
|-----------------------------------|-----|
| 4.1. Prueba Individual de Juntas | 111 |
| 4.2. Llenado y Prueba de la Línea | 114 |

CAPITULO V.

PROCEDIMIENTOS DE CONSTRUCCION DE PLANTAS DE BOMBEO

- | | |
|--------------------------------|-----|
| 5.1. Arreglo Funcional | 133 |
| 5.2. Terracerías | 138 |
| 5.3. Proyecto Mecánico | 138 |
| 5.4. Proyecto Eléctrico | 139 |
| 5.5. Proyecto de Instalaciones | 140 |
| 5.6. Subestación | 143 |
| 5.7. Proyecto Estructural | 143 |

CAPITULO VI.

CONCLUSIONES

- | | |
|---|-----|
| 6.1. Sobre la Concepción, Análisis y Selección del Proyecto de Solución | 145 |
| 6.2. Sobre el Proyecto Definitivo | 146 |
| 6.3. Sobre la Construcción Misma | 146 |
| 6.4. Sobre la Administración del Proyecto | 147 |
| 6.5. Sobre la Fabricación de la Tubería | 147 |

INTRODUCCION

Como ha ocurrido en otras partes del mundo, en el México Moderno se ha planteado desde hace varios años la necesidad de conducir agua a grandes distancias. Las zonas en donde las fuentes locales de abastecimiento han dejado de ser suficientes para satisfacer una demanda creciente motivada por la agregación económica, y de la población en consecuencia, requieren de ser abastecidas de fuentes cada vez más lejanas -a decenas o cientos de kilómetros- por medio de largos y costosos acueductos y venciendo desniveles grandes.

Esta onerosa condición involucra además conflictos entre usos actuales y/o potenciales del agua transferida, manifestados como problemas económicos, sociales y políticos, que toca a los planeadores, administradores públicos y políticos orientar y resolver.

Pero esta realidad plantea también un reto a la ingeniería mexicana y mundial, -la magnitud de estas obras las coloca a altura de los grandes acueductos del mundo- en cuatro ámbitos: el impacto ecológico negativo de la transferencia del agua tanto en la región de donde es sustraída como en la urbe cuyo crecimiento se estimula; la búsqueda de una mayor reutilización del agua disponible; la disminución de consumos y pérdidas de la misma, y el problema concreto de diseñar, construir y operar el sistema de captación y conducción del agua por transferir. Es en este último ámbito que se ubica el tema de este trabajo, sin por ello soslayar la importancia de los otros ámbitos ni de la problemática social, económica y política antes apuntada.

El esfuerzo de la Ingeniería mexicana para extender nuestra experiencia en diseño hidráulico, fabricación de tuberías y construcción de las obras necesarias, ha incluido la adaptación, la adopción y la generación de tecnología en muy corto tiempo y en las condiciones difíciles que ha encarado el País. Es un gran mérito.

La construcción de acueductos de grandes dimensiones está y estará en plena vigencia en nuestro País en el futuro cercano: Un caso único a nivel mundial es el área metropolitana

de la Ciudad de México, que actualmente importa ya 13 de los 60 m³/s que le abastecen y que para lograr los 57 m³/s adicionales que se prevén necesarios para el año 2000, requiere de múltiples y largas conducciones, con altísimos consumos de energía para vencer cargas de hasta casi 2000 metros; Monterrey -motivo de este trabajo-, Guadalajara y Tijuana son problemas de importancia mayor ya en vías de solución; se atienden también actualmente los casos de las ciudades de Puebla, Manzanillo, Coatzacoalcos, Vizcaíno y otras poblaciones menores aledañas a estas ciudades, y otras más en Sinaloa, Baja California Sur y Tamaulipas; están en proceso conducciones de agua considerables al puerto de Guaymas y a las zonas industriales de La Cangrejera, Altamira y Lázaro Cárdenas.

El presente trabajo pretende reflejar el estado del arte de la ingeniería civil involucrada en la construcción de la tubería del acueducto Linares-Monterrey.

CAPITULO I

DESCRIPCION DEL PROYECTO

1.1 EL SISTEMA REGIONAL DE ABASTECIMIENTO DE AGUA LINARES-MONTERREY.

La tubería del acueducto Linares-Monterrey es la espina dorsal del llamado "Sistema Regional de Abastecimiento de Agua Linares-Monterrey".

A finales de los 70's se analizaron las fuentes viables de abastecimiento de agua para la ciudad de Monterrey, se determinaron ventajas a favor de este gran proyecto, que transfiere agua de la cuenca del río San Fernando como fuente inmediata y de la cuenca del Río San Juan, complementariamente.

El esquema planteado incluye: el aprovechamiento de los ríos Pablillo y Potosí, afluentes importantes del río San Fernando; la captación de escurrimientos superficiales de los ríos Pilón, Blanquillo y Ramos, afluentes del río San Juan; las aguas subterráneas conocidas con el nombre general de "Captaciones Linares-Monterrey"; también se incluye la Presa Rodrigo Gómez (La Boca) que ya suministra agua a Monterrey, distinguiéndose por ser, desde 1958, la única fuente de aguas superficiales. - La incorporación de "La Boca" al Sistema Linares-Monterrey, si bien no incrementa el caudal aportado, sí le da una gran flexibilidad al Sistema, ya que:

- Permite almacenar los excedentes de las presas bajas
- Se le pueden extraer deficiencias de los otros vasos del Sistema.
- Sus posibles derrames podrán ser introducidos al Sistema, reduciéndose en esos casos las extracciones de las presas bajas, con un consecuente ahorro de energía.

Para aprovechar el río Pablillo, se contemplaba construir la Presa Cerro Prieto, cuyo proyecto estaba por terminarse cuando en septiembre de 1980, se decidió iniciar los trabajos del Sistema Linares-Monterrey. Las características principales de la presa Cerro Prieto y de todas las presas mencionadas en este inciso se presentan en la tabla 1.1.

Con la derivadora Sotolar, la construcción de la presa La Libertad pudiera diferirse y hasta evitarse, al construir aguas arriba sobre el Potosí otras derivadoras más, cuyas aguas derivadas fueran conducidas del Terrero directamente al Acueducto, pero para definir qué conviene, habrá que realizar estudios adicionales.

PRESAS DE ALMACENAMIENTO Y DERIVADORAS

ETAPA	PRESA	TIPO	CUENCA	R I O		ALTURA DE LA CORTINA (m)	ALMACENAMIENTO		ESCURRIMIENTO MEDIO ANUAL (M ³)
				NOMBRE	AREA DE LA CUENCA (Km ²)		TOTAL (MILLONES)	UTIL (M ³)	
PRIMERA	Cerro Prieto	Alm.	San Fernando	Pablillo	1708	50	393	275	213
	La Boca	Alm.	San Juan	San Juan	266	34	40	38	90
	Sotolar	Deriv.	San Fernando	Potosí	1317	5	-	-	118
SEGUNDA	Terreno	Alm.	San Juan	San Diego	15	68	153	149	-
	Tunal	Alm.	San Juan	Blanquillo	177	30	51	45	53
	Raíces	Alm.	San Juan	Ramos	218	40	44	38	65
	La Libertad	Alm.	San Fernando	Potosí	1435	43	231	200	128

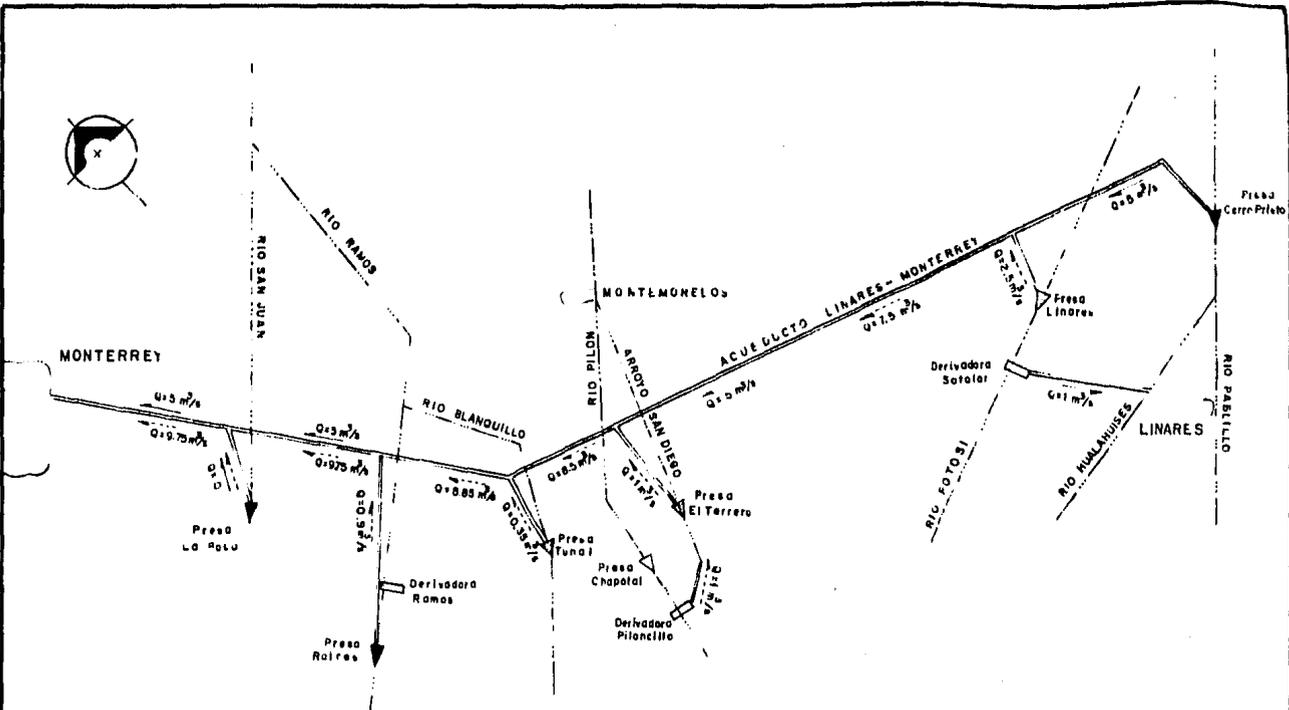
TABLA 1.1

Por lo pronto Cerro Prieto y Sotolar constituyen las fuentes de la primera etapa del Sistema.

La determinación de los volúmenes aprovechables para el Sistema se realizó simulando los funcionamientos de los vasos, ver tabla 1.2. Afortunadamente se contó con un registro amplio de datos hidrométricos y climatológicos, principalmente en el Pablillo, el Pilón y en La Boca, lográndose completar estadísticamente los registros de volúmenes mensuales escurridos y de precipitación y evaporación en un período de 40 años, de 1940 a 1979, para todos los vasos involucrados en el Sistema.

En general, en la región, las lluvias de mayor intensidad se presentan en los meses de septiembre y octubre por las frecuentes perturbaciones ciclónicas del Golfo, aunque la época de lluvias debe considerarse de julio a octubre y en varios años se observan lluvias en el invierno. Es notable que en los 40 años de registros sólo se presentó una época de sequía aguda, la cual se prolongó de 1959 a 1965 excluyendo 1970. Los ciclos han llegado a provocar precipitaciones muy en exceso de las normales; en ocasiones el escurrimiento mensual excedió al escurrimiento medio anual. Por lo tanto las previsiones para control de avenidas resultan notables: así Cerro Prieto contará con 93 millones de m³ de capacidad de control, mientras que Libertad se operará con una NAMO menor de junio a noviembre para incrementar su capacidad de control en la época de alto riesgo.

La premura por satisfacer las deficiencias de agua en Monterrey, obligaron a las autoridades federales y estatales a decidirse por iniciar la construcción del Sistema contando sólo con Cerro Prieto como fuente adicional, dejando para una segunda etapa la construcción de las presas de almacenamiento sobre los ríos Potosí, Pilón (San Diego), Blanquillo y Ramos.



- Conduccion
- Gasto 1a etapa
- Gasto 2a etapa
- Rios y arroyos
- Presas derivadoras
- Presas existentes
- Presas descartadas
- Presas en proyecto

UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA
TESIS	PROCEDIMIENTOS DE CONSTRUCCION DEL ACUEDUCTO LINARES-MONTERREY
FIG. 1.2	ESQUEMA DE APROVECHAMIENTO HIDRAULICO DEL PROYECTO
Hector Peñalosa Ochoa México D. F.	

RESULTADOS DE LA SIMULACION DEL SISTEMA
REGIONAL. LINARES-MONTERREY.

ETAPA	PRESA	APORTACION AL SISTEMA (m ³ /s)	DEMANDA LOCAL PARA RIEGO (m ³ /s)
PRIMERA	CERRO PRIETO	5.00	0.4
	LA BOCA	-	-
SEGUNDA	EL TERRENO	1.00	2.4
	TUNAL	0.35	1.2
	RAICES	0.90	1.0
	LA LIBERTAD	2.50	-
	S U M A :	9.75	5.0

TABLA 1.2

También como parte de la primera etapa se construirá una derivadora, Sotolar, sobre el río Potosí, localizada en la cola del vaso de Libertad, que permitirá aprovechar parcialmente el río Potosí al incorporarlo a través de un tajo a la cuenca del vaso del Cerro Prieto. Sotolar fué concebida para ayudar a incrementar el almacenamiento de Cerro Prieto en caso de que se presenten años con baja precipitación durante la operación de la primera etapa. Al aportar Sotolar $1 \text{ m}^3/\text{s}$ adicional, podrá Cerro Prieto suministrar $5 \text{ m}^3/\text{s}$ en la primera etapa a pesar de ser único vaso del Sistema.

Con estos resultados se dimensionó el acueducto, así como los demás elementos de infraestructura hidráulica del Sistema.

1.2 EL PROYECTO COMPLETO DEL SISTEMA

El Sistema Regional de Abastecimiento de Agua Lináres-Monterrey, es un acueducto de 133 km que parte de la Presa de Cerro Prieto localizada cerca de Linares, Nuevo León, hasta los tanques de San Roque, ubicados en los límites de la Ciudad de Monterrey.

Para llevar el agua hasta Monterrey fué necesario vencer un desnivel topográfico de 256 metros. Además, en el trayecto se tiene una pérdida de energía hidráulica que, sumada al desnivel, puede significar una carga dinámica de hasta 500 m con el gasto máximo de operación.

El clima en la zona tiene la característica de tener grandes variaciones, así se tienen años con registros de escurrimientos - muy superiores a los valores medios, es por esto que se decidió sobredimensionar la capacidad de los diferentes tramos del acue

ducto con objeto de poder, en años abundantes, extraer de las presas, mayores caudales y reducir en esta forma la extracción de agua subterránea.

La configuración topográfica entre Linares y Monterrey se caracteriza por ser de ondulaciones con pendientes relativamente suaves, sin que existan puntos con desniveles considerables, - por ésto es que no fué posible concentrarse en un número reducido de plantas de bombeo, sino que la ubicación de éstas obedeció más bien a la localización de las fuentes de captación.

Debido a la premura en tiempo y a las limitaciones de los fabricantes nacionales, se seleccionaron las capacidades de los equipos de bombeo de tal forma que fuesen equipos de catálogos de - fabricantes internacionales.

Como punto de partida para la elaboración del proyecto, se identificaron las obras que integran el sistema y se definieron los criterios básicos de diseño.

En la figura 1.3 se ilustra el proyecto completo en planta y perfil; ahí se distinguen los componentes correspondientes a la primera etapa, concluida en julio de 1984, que se describen más adelante, y los que se construirán en la segunda etapa.

El caudal promedio que conducirá el acueducto será de $9.75 \text{ m}^3/\text{s}$ formado por $7.5 \text{ m}^3/\text{s}$ de las presas Cerro Prieto y La Libertad y $2.25 \text{ m}^3/\text{s}$ de los excedentes de la demanda local para riego de - los ríos San Diego, 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 $12 \text{ m}^3/\text{s}$, -

PRESAS DE ALMACENAMIENTO Y DERIVADORAS

ETAPA	PRESA	TIPO	CUENCA	R I O		ALTURA DE DE LA CORTINA (m)	ALMACENAMIENTO ESCURRIMIENTO		
				NOMBRE	AREA DE LA CUENCA (km ²)		TOTAL UTIL (MILLONES DE M ³)	MEDIO ANUAL	
PRIMERA	Cerro Prieto	Alm.	San Fernando	Pablillo	1708	50	393	275	213
	La Boca	Alm.	San Juan	San Juan	266	34	40	38	90
	Sotolar	Deriv.	San Fernando	Potosí	1317	5	-	-	118
SEGUNDA	Chapotal	Alm.	San Juan	San Diego	15	68	153	149	-
	Tunal	Alm.	San Juan	Blanquillo	177	30	51	45	53
	Raíces	Alm.	San Juan	Ramos	218	40	44	38	65
	La Libertad	Alm.	San Fernando	Potosí	1435	43	231	200	128
	Chapotal	Deriv.	San Juan	Pilón	2150	4	-	-	183
	Río Ramos	Deriv.	San Juan	Ramos	218	7	-	-	65
	Piloncillo	Deriv.	San Juan	Pilón	1610	3	-	-	123

TABLA 1.3

superior a los $9.75 \text{ m}^3/\text{s}$ mencionados, con el objeto de poder 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 podrá reducir la extracción de agua subterránea. De esta manera se recuperarán los acuíferos, los cuales constituyen actualmente las principales fuentes de abastecimiento de la ciudad de Monterrey.

Existen otras razones que explican la capacidad adicional del acueducto, las cuales, aunadas a la ya mencionada, proporcionarán flexibilidad a su operación. Por una parte, es factible incorporar al acueducto otros caudales además de los mencionados; por otra, se posibilita la entrega de caudales mayores durante períodos cortos en situaciones de emergencia y de escasez aguda.

El tramo del acueducto entre las presas Cerro Prieto y La Libertad es de una sola línea de 13.7 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 km , está formado por tubería de concreto pretensado; la tubería de acero se utiliza en algunos tramos en los que la de concreto no resulta adecuada.

Con objeto de vencer la carga dinámica del Sistema se cuenta con seis plantas de bombeo; la PB1 con capacidad de $8 \text{ m}^3/\text{s}$, las PB2, PB2A y PB3 cada una con capacidad de $10 \text{ m}^3/\text{s}$ y las PB4 y PB5 de $12 \text{ m}^3/\text{s}$ cada una. La energía necesaria para operar cada planta es suministrada por sendas subestaciones, con una capacidad total de $46\ 280 \text{ kw}$, las cuales a su vez son alimentadas por 110 km de líneas de transmisión que para el efecto instaló la Comisión Federal de Electricidad.

TABLA 1.4
 CARACTERISTICAS PRINCIPALES DEL PROYECTO

Gasto medio de aprovechamiento	9.75 m ³ /s
Gasto de diseño	12.00 m ³ /s
Longitud del acueducto	133.00 km
Conducción con tubería de concreto	115.00 km
Conducción con tubería de acero	18.00 km
Desnivel estático máximo	256.00 m
Carga total de diseño	390.00 m
Carga de bombeo máxima	455.60 m
Carga de bombeo en condiciones medias	401.80 m
Potencial total	46,280 kw
Longitud de caminos	170.00 km
Almacenamiento total en presas	707'500,000 m ³

TABLA 1.5
 PLANTAS DE BOMBEO

	PB1	PB2	PB2A	PB3	PB4	PB5	TOTAL
Número de bombas	4	5	5	5	6	6	31
Gasto de diseño (m ³ /s)	8	10	10	10	12	12	
Carga de diseño (m)	80	62	62	62	52	72	390
Potencia (kw)	7640	7100	7100	7100	7140	10200	46280

Para asegurar una operación hidráulica adecuada del Sistema se emplean diversas estructuras reguladoras. La PB1 toma agua del vaso de la presa de Cerro Prieto, la PB4 del tanque Garrapatas y de la presa de La Boca, y la PB5 del tanque de aguas claras - de la planta potabilizadora. Estas dos últimas plantas de bombeo cuentan además con torres de sumergencia, lo mismo que la - PB2. En cambio para las plantas PB2A y PB3 fué necesario construir sendos 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 el funcionamiento de las cuatro plantas que se encuentran aguas arriba.

Cuando ocurren arranques y paros en las plantas de bombeo, se puede producir el fenómeno conocido como "golpe de ariete" que motiva que las presiones del agua se incrementen y se reduzcan más allá de los valores de operación normal; este fenómeno pue de causar fallas en las tuberías y en los propios equipos de - bombeo. Para controlar esas variaciones de presión, el acueducto cuenta con diez tanques unidireccionales y dos torres de - oscilación.

La presa de La Boca, construida en 1958, es una de las fuentes de abastecimiento de la ciudad de Monterrey, esta presa, como parte de la primera etapa, se conectó al acueducto mediante un tubo de acero de 1.80 m de diámetro y 4.9 km de longitud, para dar mayor flexibilidad a la operación del sistema. Así, la planta de bombeo PB4 permite incorporar a la presa caudales excedentes del acueducto 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.

TABLA 1.6
TORRES DE OSCILACION Y TANQUES UNIDIRECCIONALES

TORRE	TANQUE	LOCALIZACION	DIAMETRO (m)	ALTURA (m)
TO 4		PB4-PB5	12.0	40.0
TO 5		PB5	8.0	61.0
	TU I	PB1-PB2	6.5	12.0
	TU II	PB1-PB2	16.0	20.0
	TU III	PB1-PB2	6.5	12.0
	TU IV	PB2-PB2A	12.0	9.0
	TU V	PB2A-PB3	6.5	28.0
	TU VI	PB2A-PB3	6.5	19.0
	TU VII	PB3-PB4	6.5	9.0
	TU VIII	PB3-PB4	6.5	16.0
	TU IX	PB3-PB4	12.0	15.0
	TU X	PB3-PB4	6.5	9.0

La planta potabilizadora, con capacidad para procesar 12 m³/s, asegurará que el agua que se entregue en los tanques de San Ro que cumpla con las normas nacionales de calidad física, química y biológica, mediante un proceso de filtración directa y la adición de cloro, sulfato de aluminio y polielectrolito.

TABLA 1.7 PLANTA POTABILIZADORA

Proceso	Filtración directa
Material filtrante	Arena-Antracita
Retrolavado	Agua y Aire
Gasto de diseño	12.0 m ³ /s
Capacidad del tanque de aguas crudas.	3000 m ³
Capacidad del tanque de aguas claras.	20000 m ³
Número de filtros	36
Consumo medio de sulfato de aluminio.	3.0 ton/día
Consumo medio de polielectrolito	0.5 ton/día
Consumo medio de cloro	6.0 ton/día

Finalmente, el agua se entrega en los tanques de San Roque. Estos tanques 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 se construyó. Además se contempla como programa inmediato la construcción de otro módulo - de 62 500 m³. La distribución del agua será flexible, ya que se 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.

1.2.1 La Primera Etapa

En julio de 1984 se concluyeron las obras de la primera etapa -

iniciadas en febrero de 1981, las cuales permiten abastecer a la ciudad de Monterrey con un caudal promedio de 4 450 l/s. De la presa Cerro Prieto provienen 4 100 l/s y el resto, de dos sistemas de pozos. Por una parte se cuenta con los 11 pozos de San Roque y La Ciudadela, cuyo caudal de 250 l/s se incorpora al acueducto aguas abajo de la PB5, mediante una pequeña planta auxiliar denominada PB5A; por otra, están los tres pozos de Guadalupe que proporcionan 100 l/s, ya que se conectan al acueducto en un punto intermedio entre las plantas PB4 y PB5. Ambos sistemas de pozos fueron perforados y conectados al acueducto por la SARH 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 1983-1984. Para aumentar la probabilidad de contar con los 4.1 m³/s, se construye una derivación del río Potosí hacia la presa de Cerro Prieto, en el sitio del proyecto de la presa La Libertad. Dicha derivación se terminará a finales de 1984 y se estudia la posibilidad de que, junto con otra derivación alta también del río Potosí a la presa del Chapotal, sustituya a la presa La Libertad.

También forman parte de esta etapa, el tramo de tubería que va de la presa de Cerro Prieto a La Libertad y una línea desde ese lugar hasta los tanques de San Roque, así como el tanque Garra-patas, 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. En estas últimas se dejaron instalados los equipos de bombeo, tanto de la primera como de la segunda etapa, con objeto de que tengan una utilización alternada en tanto se coloca la segunda línea.

Asimismo, la interconexión con la presa de La Boca quedó concluida como parte de la primera etapa, los mismo que las instalaciones de la planta potabilizadora. Esta última tiene una capacidad actual para potabilizar 4 m³/s, que puede llegar a 6 m³/s con sólo instalar filtros en los módulos de filtración ya construidos. Ello dependerá de la capacidad de la red de distribución de agua potable de Monterrey.

1.3 CRITERIOS BASICOS DE DISEÑO DEL SISTEMA

Siendo un sistema tan complejo, resultó una experiencia útil analizar el efecto que en facilidad de operación y en costo - significaba el uso de criterios distintos de integración.

Por ser este un sistema en que tienen 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 plantearon dos diferentes criterios de operación:

- El primer criterio fué el de tener un "Sistema Integrado".
- El segundo criterio fué el de tener un "Sistema Seccionado".

En un "Sistema Integrado, se maneja el mismo gasto en todo el acueducto, lo que requiere de una operación con paros y arranques sincronizados en todas las plantas de bombeo; las consecuencias de un sistema de este tipo son:

- Volúmenes pequeños de las torres de sumergencia que solamente regulan los efectos locales de arranques y paros de los equipos de bombeo.
- Las variaciones entre el gasto manejado por las diferentes plantas de bombeo, se ajustan automáticamente por la varia
ción en los niveles de las torres de sumergencia.
- La variación de los niveles de las obras de captación se -
refleja en las torres de sumergencia y en las torres de -
oscilación, obligando a tener mayores alturas de ellas.
- Para la coordinación automática de las diferentes plantas
de bombeo, se requiere de un sistema de control superviso-
rio de fabricación extranjera.

En un "Sistema Seccionado", no se bombea el mismo gasto en todo el acueducto, puesto que no se requiere de una operación -
sincronizada en todas las plantas de bombeo; las consecuencias
de un sistema de este tipo son:

- Mayor facilidad para la ejecución de pruebas aisladas de
cada planta de bombeo.
- Posibilidad de tener una operación manual del Sistema.
- Volúmenes importantes de los tanques de sumergencia para
poder regularizar las diferencias de gastos manejados por
dos plantas de bombeo contiguas.
- Necesidad de tener una programación de arranques y paros
de los equipos de bombeo a intervalos que dependerán de la
capacidad del tanque de sumergencia.

El proyecto del Sistema Linares-Monterrey, fué elaborado originalmente como "Sistema Integrado"; fué hasta principios del año 1983, que se acordó cambiar el criterio de diseños. Como resultado de este cambio se modificó el proyecto de algunas estructuras de las estaciones de bombeo.

Las principales obras que integran el Sistema son:

- Obras de Captación
- Obras de Conducción
- Plantas de Bombeo
- Planta Potabilizadora
- Obras de Regularización y Control
- Obras para el Suministro de Energía Eléctrica
- Caminos de Construcción y Operación
- Diferentes trazos de las líneas de conducción
- Diferente número y localización de las plantas de bombeo
- Diferentes sitios de ubicación de la planta potabilizadora
- Diferentes tipos de obras de regularización y control

Una vez definidas las estructuras anteriores se plantearon las características y localización más conveniente de las obras para el suministro de energía eléctrica y de los caminos de construcción y operación.

1.4 CRITERIOS CONSTRUCTIVOS EN LA SELECCION DEL TRAZO DEL ACUEDUCTO Y DEL NUMERO DE PLANTAS DE BOMBEO.

Se plantearon originalmente dos alternativas de trazo del acueducto, identificadas como TRAZO ALTO y TRAZO BAJO

- TRAZO ALTO. Tomando en cuenta experiencias en la construcción de otros acueductos para el abastecimiento de agua de grandes ciudades, se consideró en esta alternativa el trazo del acueducto por linderos entre ejidos y parcelas, con objeto de evitar problemas de tenencia de la tierra y tardanza en los trámites de expropiaciones. Con este trazo el acueducto principal pasa más cerca de las obras de captación.
- TRAZO BAJO. Esta alternativa se planteó con el criterio de tener la menor longitud del acueducto principal.

Se realizó el análisis hidráulico de ambas alternativas con objeto de calcular los diámetros y cargas de trabajo de los diferentes tramos de tubería, en el TRAZO BAJO la longitud del acueducto principal efectivamente es menor, sin embargo se requiere de tuberías de mayor carga de trabajo y la longitud de las interconexiones de las obras de captación con el acueducto principal es bastante mayor.

Durante los recorridos de campo para verificar la factibilidad constructiva del acueducto, se tuvieron con los propietarios de la tierra y se resolvieron problemas para llegar a rápidos acuerdos sobre indemnizaciones, con lo que fué posible simplificar el TRAZO ALTO, lográndose disminuir en forma importante la longitud

y definiéndose el TRAZO SELECCIONADO, que aparece en la Figura 1.3. En la Tabla 1.8 se tiene un resumen de las longitudes de tubería y del costo de las tres alternativas de trazo mencionadas.

La selección del número de estaciones de bombeo depende fundamentalmente de las características topográficas de la zona; lo deseable sería tener desniveles topográficos concentrados para con una única estación de bombeo vencer la diferencia de elevaciones, pero entre Linares y Monterrey no se tiene tal situación, siendo lomeríos suaves en toda la zona.

Por otro lado, la ubicación de las plantas de bombeo va íntimamente ligada con el trazo del acueducto y con la ubicación de los puntos de incorporación de las obras de captación al acueducto principal.

Originalmente se seleccionaron 5 plantas de bombeo, sin embargo durante la etapa de construcción, se apreciaron problemas geológicos en el desplante de la estructura de control en la descarga de la Planta de Bombeo No. 2 y se decidió dividir la carga de bombeo de la PB2 en dos partes y adicionar otra estación de bombeo que se denominó PB2A.

La localización de las Plantas de Bombeo aparece en la Figura 1.3.

LOCALIZACION DE LA PLANTA POTABILIZADORA

Se plantearon tres alternativas de localización de la planta - potabilizadora.

TABLA 1.8

COMPARACION DE ALTERNATIVAS DE TRAZO DEL ACUEDUCTO

ALTERNATIVA	LONGITUD EN TUBERIA EN (M)						INVERSION EN TUBERIA EN %
	DESCARGA DE LAS PLANTAS DE BOMBEO.	TRAMOS CON CARGAS MAYORES A 100 m	TRAMOS CON CARGAS MENORES A 100m	LONGITUD ACUEDUCTO PRINCIPAL	LONGITUD INCORPORACIONES	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	159 441	100

- Aguas abajo de la Presa El Tunal.
- En el sitio de la incorporación de la Presa La Boca al Acueducto Principal.
- En las cercanías a Monterrey

Se eligió la localización en las cercanías a Monterrey por las facilidades de acceso, lo que simplificará el traslado de los materiales y productos químicos que se utilizarán en el proceso de potabilización.

Otro argumento para apoyar tal decisión es el siguiente:

Con objeto de reducir en el corto plazo el déficit en el suministro de agua al área metropolitana de la ciudad de Monterrey, se decidió perforar 15 pozos profundos al sureste de la ciudad, cerca de los poblados de San Roque y la Ciudadela e incorporar el caudal al acueducto Linares-Monterrey. El sitio de incorporación del agua de los pozos, que ya es potable, será aguas abajo de la planta potabilizadora.

SELECCION DEL NUMERO, DIAMETRO Y TIPO DE TUBERIA

Los registros históricos en las corrientes que serán aprovechadas por el sistema Linares-Monterrey, muestran algunos años en los que durante la época de lluvias los escurrimientos tienen valores muy superiores a los medios; con objeto de aprovechar estos caudales se decidió sobredimensionar los diferentes tramos del acueducto.

Los gastos de diseño elegidos para los diferentes tramos son los siguientes:

T R A M O	Q (m ³ /s).
CERRO PRIETO - LA LIBERTAD	8
LA LIBERTAD - TANQUE GARRAPATAS	10
TANQUE GARRAPATAS - TANQUE SAN ROQUE	12

Para la selección del tipo de tuberías se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones:

- Las fábricas de tuberías de concreto pretensado se encuentran en las cercanías de la Ciudad de México, por lo que se tendrán altos costos de transporte hasta la Ciudad de Monterrey.
- En la Ciudad de Monterrey se pueden fabricar tuberías de acero de diversos diámetros.
- En los tramos del acueducto en donde las pendientes son mayores del 10%, es más fácil desde el punto de vista constructivo la instalación de tubería de acero que la de concreto, por lo que se decidió en todos esos tramos proyectar con tubería de acero.
- Las tuberías de descarga de las plantas de bombeo se decidió proyectarlas en acero.
- Los cruces del acueducto con ríos, se decidió por facilidad constructiva resolverlos con tubería de acero enterrada por abajo del lecho del río.

- En los tramos del acueducto donde la presión excede los - 100 metros de columna de agua, se decidió proyectar con tubería de acero pues se trató de evitar los posibles problemas que se presentan en las juntas de tuberías de concreto sujetas a grandes cargas.
- Para el proyecto de tubería de acero se analizaron tres posibles formas de instalación:
 - . Tubería visible apoyada en silletas
 - . Tubería semienterrada con arropamiento superior de material pétreo.
 - . Tubería enterrada en zanja y embebida en concreto.

A lo largo del acueducto Linares-Monterrey las cargas de trabajo son relativamente pequeñas, por lo que para el diseño de las tuberías de acero las condiciones que rigen en la mayoría de los tramos son la de espesor mínimo por aplastamiento a tubo vacío, o la de espesor mínimo por manejo y transporte.

En el análisis de las tres posibles formas de instalación, se concluyó que no existen diferencias significativas en los costos, por lo que la decisión de instalar las tuberías de acero enterradas en zanja y embebidas en concreto se tomó en base a las dificultades que se han tenido al construir en otros acueductos tuberías visibles apoyadas en silletas.

Con apoyo en las consideraciones anteriores se plantearon tres alternativas de solución para el acueducto.

- Una tubería de acero
- Una tubería de concreto
- Varias tuberías de acero de 1.22 m (48") de diámetro

En la Tabla 1.9 se presentan los resultados del cálculo del diámetro económico para cada alternativa en los diferentes tramos del acueducto.

Con los valores de diámetros económicos de los diferentes tramos, se estimaron las pérdidas de carga por fricción, las cargas totales de cada planta de bombeo y los consumos de energía correspondientes. Se calcularon las inversiones en valor presente de las tuberías, plantas de bombeo y consumo de energía eléctrica, considerando una tasa de actualización del 15% anual. Los resultados son los siguientes:

A L T E R N A T I V A	I N V E R S I O N	E N	%
Una tubería de acero	128		
Una tubería de concreto	100		
Varias tuberías de acero de 1.22 m (48") de diámetro	148		

Con base en las consideraciones anteriores se concluyo que el acueducto debería estar formado por una tubería de concreto con diferentes diámetros en los distintos tramos, sin embargo en el momento del análisis del programa de construcción se plantearon consideraciones adicionales que llevaron a modificar la conclusión anterior.

La construcción del acueducto se planeó en dos etapas, tomando en consideración por una parte que la demanda irá creciendo paulatinamente y por otra que salvo la Presa Cerro Prieto, el resto de las obras de captación no han sido construídas y que tomará tiempo el tenerlas operando.

TABLA 1.9
CALCULO DEL DIAMETRO ECONOMICO

TRAMO	TUBERIA DE ACERO (m)	TUBERIA DE CONCRETO (m)	VARIAS TUBERIAS DE 1.22 m(48") ϕ GRAD.HIDR.EQUIV.
CERRO PRIETO - LA LIBERTAD	2.00	2.10	3 TUBERIAS
LA LIBERTAD - TANQUE GARRAPATAS	2.20	2.30	4 TUBERIAS
TANQUE GARRAPATAS - TANQUE SAN ROQUE	2.20	2.50	4 TUBERIAS

Durante la primera etapa se puede tener, que en épocas de grandes precipitaciones se podrán extraer de la Presa Cerro Prieto 8 m³/s, con una tubería de 2.10 m de diámetro en el tramo de Cerro Prieto-La Libertad. Para los dos siguientes tramos o sea: La Libertad-Tanque Garrapatas y Tanque Garrapatas-Tanque San Roque, se analizó entre instalar una sola tubería de 2.30 m y 2.50 m de diámetro respectivamente, o instalar dos tuberías paralelas de 2.10 m de diámetro. El análisis económico comparativo dió como resultado que sí la inversión en la segunda tubería se difería 10 años o más, era más económico construir dos tuberías.

Se plantearon adicionalmente consideraciones que motivaron a reflexionar sobre las ventajas de la construcción de dos tuberías de 2.10 m de diámetro entre la Presa La Libertad y el Tanque San Roque:

- El tener dos tuberías proporciona una mayor seguridad en la continuidad del servicio.
- Con dos tuberías se tiene una menor variación entre las cargas correspondientes a gasto máximo y gasto mínimo, con lo que los equipos de bombeo tendrán un menor rango de operación.
- Para la fecha de toma de decisiones, se plantearon cuestionamientos respecto a la construcción de la Presa Chapotal, con lo que existiría el peligro de que el caudal aprovechado por el Sistema disminuyera. El diferir la instalación de la segunda tubería permitirá en su momento tomar una decisión más adecuada respecto a su diámetro.
- En el tramo Cerro Prieto-La Libertad se tiene solamente -

una tubería de 2.10 m de diámetro, sin embargo una falla en ese tramo, no afectará a partir de la puesta en marcha de la segunda etapa, pues se tiene previsto que desde la Presa La Libertad, se puedan extraer hasta - 10 m³/s.

SELECCION DE LOS ELEMENTOS DE REGULARIZACION Y PROTECCION CONTRA GOLPE DE ARIETE.

De acuerdo a su funcionamiento, el acueducto principal se divide en tres tramos:

- | | |
|----------------------|----------------------|
| - Presa Cerro Prieto | - Tanque Garrapatas |
| - Tanque Garrapatas | - Planta de Bombeo 4 |
| - Planta de Bombeo 4 | - Tanque San Roque |

En el tramo Presa Cerro Prieto-Tanque Garrapatas se localizan cuatro de las seis plantas de bombeo.

El Tanque Garrapatas se localizó en el punto más alto entre las plantas de bombeo 3 y 4, tiene una capacidad de 115 000 m³ y permitirá independizar del resto del acueducto, el funcionamiento de las cuatro plantas de bombeo que se encuentran aguas arriba.

El tramo Tanque Garrapatas-Planta de Bombeo 4 funciona por - gravedad.

Y finalmente, en el tramo Planta de Bombeo 4-Tanque San Roque, se localizan las otras dos plantas de bombeo.

Cuando ocurren arranques y paros en las plantas de bombeo, se puede producir el fenómeno del "golpe de ariete" que motiva que las presiones del agua se incrementen y se reduzcan más allá de los valores de operación normal; este fenómeno puede causar fallas en las tuberías y en los propios equipos de bombeo. Para controlar estas variaciones de presión el acueducto debe contar con elementos de protección.

Como ya se dijo, durante el desarrollo del proyecto se plantearon dos diferentes criterios de operación, en forma análoga, se utilizaron dos diferentes tipos de estructuras de protección contra el golpe de ariete. En el proyecto originalmente desarrollado de acuerdo a un "Sistema Integrado", se utilizaron "Torres de Oscilación" y en el proyecto desarrollado de acuerdo a un "Sistema Seccionado" se utilizaron "Tanques Unidireccionales".

Durante el desarrollo del proyecto original, como parte del análisis para la elección de los elementos de protección contra el golpe de ariete, se hicieron las siguientes consideraciones:

- Los volantes de inercia son elementos de protección que se pueden incluir en el conjunto bomba-motor y que mediante el incremento del momento de inercia reducen el efecto del golpe de ariete. Sin embargo requieren de motores de arranque de mayor potencia, provocan que disminuya la eficiencia de operación del conjunto bomba motor y son poco sensibles para neutralizar el efecto del golpe de ariete, necesiéndose incrementar 3 ó 4 veces el momento de inercia para dar resultados adecuados.
- Los pasos laterales a las bombas con válvula check que per

mitan sólo el flujo de succión a descarga, sólo sirven para proteger de la subpresión, no protegen de la sobrepresión.

- Las válvulas de alivio, deben ser válvulas de apertura controlada para disminuir en forma adecuada la sobrepresión y requieren de otros elementos como tanques unidireccionales o cámaras de aire, para inyectar agua en casos de subpresión.
- Para cámaras de aire, los volúmenes que se requieren en el acueducto Linares-Monterrey las hacen sumamente costosas, tienen el inconveniente de que el aire se va disolviendo poco a poco en el agua y hay necesidad de reponerlo periódicamente, las cámaras que tienen un diafragma para evitar la disolución del aire no se tienen en los tamaños requeridos.
- Las válvulas de admisión y expulsión de aire, aunque su funcionamiento aparente es adecuado no están lo suficientemente probadas para ser utilizadas en una obra de la magnitud de este sistema.

Un argumento que fué definitivo para elegir los elementos de protección contra el "Golpe de Ariete", fué el de considerar que en el acueducto deberían de evitarse al máximo mecanismos que pudieran hacer más complicada la operación y que además requirieran mantenimiento.

Otro objetivo importante era el de aprovechar al máximo la carga disponible en las presas que es variable a lo largo del año.

Por los motivos antes expuestos se decidió tener conectadas en

serie las plantas de bombeo y en lo posible, hacer las incorporaciones de las presas en las estructuras de succión, que deberían tener una altura que permitiera las variaciones de los niveles de embalse. Para que no resultaran estructuras muy costosas deberían ser de área pequeña; así fué que se tomó la decisión de que fuesen torres de sección circular. Esta decisión obligó a tener una sincronización perfecta en el paro y arranque del Sistema.

Como consecuencia de lo anterior para restringir la presencia del efecto del golpe de ariete a un tramo corto de tubería, - se eligieron Torres de Oscilación en puntos adecuados al final de la tubería de descarga de las plantas de bombeo.

Las Torres de Succión y las Torres de Oscilación deben tener una altura suficiente para cubrir los diferentes niveles de - operación, que estarán definidos 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 operando. Las líneas piezométricas variarán en un rango relativamente alto, con niveles máximos cuando esté operando el mayor número de equipos de bombeo y las presas se encuentren en el NAMO y con niveles mínimos cuando esté operando un sólo equipo de bombeo y las presas se encuentren en el - NAMIN.

Con el fin de determinar las dimensiones de las torres de succión y oscilación 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. La falla total de una planta de bombeo

obliga a parar las demás plantas en un tiempo de 30 segundos, con lo que no se tienen derrames en ninguna estructura, para lo cual es necesario un sistema de control supervisorio.

Las torres de sumergencia y oscilación resultaron con diámetros entre 8 y 12 m y alturas entre 27 y 78 m. Las torres serán 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, básicamente por dos razones:

- El acero sufrió un fuerte incremento en precio, por lo que algunas de las torres de oscilación aumentarían su costo - en forma importante.
- La dificultad en la importación del equipo de control supervisorio y su incremento en costo hicieron temer en la posibilidad de no contar con él durante el inicio de operaciones del Sistema, por lo que sería necesario que los tanques de succión de las plantas de bombeo tuviesen mayores capacidades para almacenar los volúmenes resultantes de las deficiencias en la coordinación de arranques y paros en plantas contiguas.

Así pues, se tomó la decisión de cambiar a un "Sistema Seccionado", proyectar tanques de succión de suficiente capacidad y utilizar "Tanques Unidireccionales" como estructuras de protección contra el "Golpe de Ariete".

1.5 CONSTRUCCION DE LA PRIMERA ETAPA.

El costo total de la primera etapa, con excepción de la presa Cerro Prieto, fué de 30 mil millones de pesos a precios corrientes, equivalentes a 46 mil millones a precios de enero de 1984, o sea 320 millones de dólares al tipo de cambio de esa fecha. - La Participación más importante en este costo la tuvieron la conducción con un 45% y las estaciones de bombeo con un 32%. La planta potabilizadora costó el 5%; la conexión a la presa de La Boca, 3%; los pozos, 2%; la derivación del río Potosí, 3%; y 10% correspondió a gastos generales e indirectos. Este último concepto incluye los gastos de las residencias en campo, las indemnizaciones y el costo de estudios y proyectos. Participaron 45 empresas constructoras y 25 proveedoras coordinadas y supervisadas por la SARH, que celebró más de 80 contratos y fincó 120 pedidos.

El aspecto más ilustrativo del avance de la obra es la instalación de la tubería. Como puede observarse, se registró un ritmo más o menos uniforme desde marzo de 1982 hasta junio de 1983, mes en que se celebró el segundo acuerdo de coordinación federal-estatal y se declaró obra de emergencia al acueducto. Posteriormente, se aumentó considerablemente la velocidad de instalación, con excepción de tres períodos en que diversos fenómenos climatológicos retrasaron el avance. El primero, constituido por lluvias extraordinarias en septiembre de 1983; el segundo, por las heladas de diciembre de ese mismo año, y el último por lluvias fuera de temporada en enero de 1984.

Para llevar a cabo la obra se determinó la superficie afectada a lo largo del acueducto, que resultó ser de 750 hectáreas en-

tre ejidos y pequeñas propiedades. En los primeros, las asambleas de ejidatarios otorgaron las autorizaciones necesarias para expedir decretos de expropiación, por tratarse de una obra de interés público. En cuanto a las propiedades de particulares, se celebraron acuerdos con objeto de indemnizar a los pequeños propietarios; inclusive se construyeron 34 casas para reponer otras tantas que se demolieron para dar paso al acueducto.

Cada una de las dos líneas se aloja en una zanja de sección cuadrada de 4m de lado; la excavación para la línea de la primera etapa se hizo con retroexcavadoras, desgarrando con tractor o utilizando explosivos, según la dureza del material. Posteriormente se acondicionó el piso y se colocó y compactó la plantilla de grava con diversos contenidos de arena y arcilla, según la ubicación del nivel de aguas freáticas.

La colocación de los 115 km de tubería de concreto se efectuó siguiendo las recomendaciones de los fabricantes. En el caso de la tubería de acero, se instalaron 18 km en 15 cruces con carreteras, caminos, ríos y arroyos, una vía de ferrocarril y un oleoducto, así como en zonas con suelos agresivos al concreto. Uno de los cruces, el de la carretera Linares-Montemorelos, fué particularmente complejo a causa de que en el mismo sitio pasa el oleoducto y la vía de ferrocarril.

Después de colocar las tuberías, se procedió a acostillarlas - relleno de parte del espacio entre la zanja y las paredes de las tuberías con material del mismo tipo empleado en las plantillas. Para el relleno final, se empleó material producto de la excavación cuando no contenía rocas y material de banco en los otros casos.

Finalmente se realizaron, conforme a las especificaciones de la SARH, pruebas hidrostáticas de cada tramo de tubería instalado.

Las pruebas de las instalaciones electromecánicas y de las estructuras de control hidráulico se facilitaron gracias a que cada tramo entre las estaciones de bombeo se concibió para que funcione en forma independiente del resto del Sistema.

1.6 TUBERÍA

Para conducir las aguas captadas por la presa Cerro Prieto hasta Monterrey, en el sitio de entrega Tanque San Roque, fué necesario construir un acueducto de 133 Km de longitud.

Desde la primera etapa se construyó además la conexión del Sistema con la presa La Boca con un total de 4.9 Km de tubería de acero de 1.83 m de diámetro y 5/8" de espesor. Finalmente, se abrió un tajo y se construyó un canal que permite derivar las aguas del río Potosí e incorporarlas al escurrimiento del río Hualahuises y consecuentemente almacenarlas en Cerro Prieto.

Considerando que las fuentes de abastecimiento serán escurrimientos superficiales y éstos presentan grandes variaciones, se decidió que el acueducto tuviera una capacidad instalada para conducir un gasto mayor al aprovechamiento. Así se tiene que la capacidad de conducción en la primera etapa es de $8\text{m}^3/\text{s}$, - mientras que la segunda etapa tendrá capacidad de $12\text{m}^3/\text{s}$ desde el Tanque Garrapatas.

El proyecto de tubería considera como principal estructura de conducción al concreto, recurriéndose al acero sólo para aquellos tramos en que la pendiente constructiva sobrepasó el 15% pendiente para la que se dificulta la instalación de la tubería de concreto por su peso; también se recurrió al acero para aquellos tramos en que se detectaron suelos corrosivos.

La estructura de conducción imperante es el concreto presforzado con una longitud de Km, tubería suministrada por tres empresas nacionales que la fabricaron en 2.10 m de diámetro y para cargas de trabajo de 40, 60, 80 y 100 metros de columna de agua. Los Km restantes del acueducto se construyeron con tubería de acero, con diámetro de 2.10 m, espesor de 3/4", utilizando placa ASTM-A-285-C de fabricación nacional; también se seleccionó tubería de acero en el cruce con estructuras importantes y corrientes de tipo perenne. Además se instaló tubería de acero en la succión de todas las plantas de bombeo, - así como en las conexiones a los tanques unidireccionales y en la descarga de las plantas de bombeo PB4 y PB5 hasta las correspondientes torres de oscilación.

El diámetro seleccionado, tanto en tubería de acero como de concreto, fué resultado de un análisis de tipo económico, siendo el de 2.10 m el que menor desembolso anual implica por la suma de los conceptos de amortización de la tubería y pago anual por energía consumida.

Para seleccionar el diámetro de la tubería en la succión de todas las plantas de bombeo y en las descargas de las dos últimas plantas, se consideró una amplia gama de diámetros para los que se analizaron sus características hidráulicas y se determinó su espesor, se optó por el que menor anualidad representa en suma de amortización de tubería y pago por energía de bombeo.

Cabe destacar el caso de la tubería en la descarga de la planta de bombeo No. 5, en donde por la mayor longitud y la diferencial de presiones entre el múltiple de descarga y la torre de oscilación, se detectó que la combinación de dos diámetros, 2.29 m en la primera mitad y 2.44 m en la segunda, resultaba más atractiva tanto económicamente como desde el punto de vista hidráulico, donde el efecto de los transitorios era de menor dimensión.

El proyecto geométrico en planta de la tubería de concreto preforzado consiste en adecuar la longitud entre puntos de inflexión al empleo de tubos normales, recurriendo a tubos cortos sólo en casos extraordinarios, en los cuales el ajuste implique una modificación sustancial a la distancia entre camino y tuberías. En los puntos de inflexión, siempre que fué posible, se evitó el empleo de codos con deflexión mayor a $7^{\circ} 30'$, deflexiones que generalmente requieren de su atracamiento; recurriendo, por lo tanto, a dividir la deflexión en dos o más partes, absorbiendo cada deflexión parcial con biseles o medios biseles, e inclusive con tubos normales mediante la apertura permisible de las juntas.

Por lo que se refiere al proyecto en perfil, se parte de trazar lo que será el nivel de relleno terminado. El nivel de relleno terminado 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 dibujó la rasante de la tubería, entendiéndose por rasante de la línea de unión de los puntos de apoyo de la tubería; en el trazo de la rasante, se tomaron en consideración las especificaciones de colchón mínimo, 0.90 m y de colchón máximo, 1.80 m, correspondientes a profundidades de ra

sante de 3.30 m y 4.30 m respectivamente.

Para el trazo de la rasante de la tubería también se involucró a la pendiente mínima de proyecto, 0.1%, y la máxima, en condiciones ordinarias, al 10%; cuando el sentido de escurrimiento es ascendente se permitieron pendientes de hasta el 15%. En los puntos altos del acueducto se instalarán válvulas de admisión y expulsión de aire y en los puntos bajos se instalarán de sagues.

También la rasante de la tubería debe irse ajustando, para evitar el empleo de tubos cortos y codos con deflexión mayor a 7° 30'.

El despiece de la tubería se realizó sobre la rasante de la tubería, las longitudes de piezas estándar y su gama de fabricación, según los catálogos que para tal efecto proporcionó cada fabricante. Además se tomaron en consideración los siguientes puntos en el despiece:

- Instalar piezas especiales con tapón para prueba, que posteriormente son demolidos en longitudes de 4 a 6 Km, excepto en las zonas urbanas o sea, sobre la Av. Eloy Cavazos, en donde se instalaron cada 2 Km; una vez demolido el tapón las piezas especiales se quedarán en sitio, aprovechándose para registro o para la ubicación de válvulas o desagues.
- El diámetro de desagues será de 24" (0.61 m) de diámetro con válvula de seccionamiento de 12" (0.30 m).
- Los registros de inspección serán de 24" (0.61 m) de diámetro y se localizarán a cada 750 m aproximadamente; los

sitios para ubicación de válvulas de admisión y expulsión de aire, se dejarán previstos para inspección con diámetro de 24" (0.61 m); se colocará una reducción de 8" (0.20 m) para instalar el múltiple de válvulas.

- En la instalación de la tubería, se permitió un máximo de apertura de junta de medio grado, pudiéndose absorber deflexiones pequeñas con un máximo de tres tubos, por lo que la deflexión máxima que puede absorber la tubería es de 1.5°.

Para las válvulas de admisión y expulsión de aire, se optó por un árbol con dos válvulas, de 6" (15.2 cm) de diámetro cada una, conectadas a la tubería a través de un carrete de 8" (20.3 cm) de diámetro; el diámetro de las válvulas fué seleccionado en función del gasto circulante por la tubería y de la presión diferencial tolerable a través del orificio de la válvula; el diámetro se revisó conforme a la información de fabricantes de válvulas para las condiciones de llenado, vaciado y operación normal de la tubería.

Terminando el despiece de la tubería de concreto se definieron las clases de tubería requeridas, eligiéndolas entre 40, 60, 80 y 100 m de columna de agua, de acuerdo al nivel piezométrico máximo resultante del análisis hidráulico del acueducto; generalmente es la piezométrica durante fenómenos transitorios la que rige.

TUBERIA DE ACERO

El proyecto geométrico de la tubería de acero contempla el trazo en planta y perfil y el arreglo geométrico de la tubería, in

cluyendo la geometría de codos para cambios de dirección.

El criterio de trazo en planta y perfil es prácticamente el mismo que fué expuesto para con la tubería de concreto presforzado, sin embargo no es necesario ajustar la longitud entre puntos de inflexión, pues la diferencia en los puntos de inflexión se absorbe en los codos para cambiar la dirección que se diseñaron tanto en su longitud como en su deflexión, según las necesidades del proyecto; evidentemente, el despiece hubo de hacerse una vez terminado el trazo en planta y perfil.

Finalmente, el arreglo general de la tubería o "despiece", se realizó tomando en cuenta la longitud real sobre el eje de la misma; 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 (48"), absorbiendo la diferencia en los puntos de inflexión mediante tubo corto, o alargando la longitud recta que queda en los codos. Los codos son diseñados geométricamente conforme a las normas del Bureau of Reclamation con deflexiones parciales no mayores a 10°.

Por lo que se refiere al proyecto en perfil, la única diferencia respecto al criterio expuesto en el caso de tubería de concreto presforzado es en cuanto el colchón sobre la tubería de acero oscila entre 0.90 m y 1.20 m.

Para el análisis y diseño de la tubería en condición de zanja con relleno compactado sujeta a un vaciado repentino actúan todas las sollicitaciones que en este inciso se indican, en una tubería de bombeo siempre ascendente desaparece el riesgo de aplastamiento por el vaciado de la misma y por último, en una

tubería embebida en concreto desaparecen las cargas de relleno, así como las vivas por posible tránsito de vehículos.

A continuación se menciona el criterio de análisis y diseño para el caso de tubería en condición de zanja en la cual exista el riesgo de aplastamiento, con la aclaración de que, según varíe la condición, se eliminarán las sollicitaciones que no actúen por lo mismo:

- Como sollicitaciones se consideraron las de tipo permanente y las de tipo variable o accidental; las acciones permanentes corresponden a la carga mutua debido al peso de relleno y a la presión máxima del fluido; mientras que las del segundo tipo a las producidas por la carga viva por posible tránsito de vehículos sobre la superficie del relleno, así como las correspondientes a presiones negativas ocasionadas por el vaciado de la tubería.
- Las cargas muertas son calculadas para un conducto flexible pero confinado lateralmente y de acuerdo a la teoría de Martson (1). La carga viva corresponde a la tipo H-20 para una profundidad mínima al lomo del tubo de 90 cm.
- Para fines de cálculo y revisión de esfuerzo de la tubería, se procedió en primera instancia a la obtención de los espesores mínimos por concepto de manejo (rolado) y fabricación, vibraciones al paso de la corriente y presión interna; los dos primeros según normas de la AWWA. La presión interna correspondiente a la máxima producida por efectos de golpe de ariete, de acuerdo al resultado del análisis de operación hidráulica; al espesor obtenido por presión interna se añade el necesario para prevenir la corrosión.

(1) Manual de Obras Civiles de la C.V.E., C.2.6 tuberías.

- El espesor obtenido, ajustado a dieciseisavos de pulgada, se revisa que soporte las acciones externas correspondientes a las cargas permanentes, solas y en combinación con las de tipo variable o accidental.

- Las cargas externas resistentes son calculadas conforme a la teoría elástica de Timoshenko (2) con un factor de resistencia de 1.5 para cargas combinadas y de 2.0 para cargas permanentes. Dada la incertidumbre existente para el diseño de tuberías enterradas, es conveniente la revisión de los espesores conforme a la teoría de Spangler, que tiene la ventaja de involucrar la calidad del acero, además de la presión interna en combinación con las cargas externas en forma permanente; cabe la aclaración de que la teoría de Timoshenko resulta más conservadora respecto a Spangler cuando el riesgo de "aplastamiento" existe ante el vaciado de una tubería.

- Cabe destacar dentro del proyecto de la tubería, el proyecto de los cruces con ríos, carreteras, ferrocarriles y gasoductos. Los principales ríos que hubo de cruzar el acueducto fueron el Potosí, el Pilón, el Ramos y el propio río San Juan. Sin embargo la principal estructura de cruce de todo el acueducto, consistió en el cruce múltiple localizado en donde se cruza la carretera federal Monterrey-Linares, el ferrocarril y dos gasoductos. En total el acueducto tuvo cruces con diferentes ríos, arroyos y obras de infraestructura.

- Una estructura poco común en acueductos, presente en el Linares-Monterrey, es el Paso Lateral de Garrapatas, localizado aguas abajo del Tanque Garrapatas. Esta estructura tiene por propósito evitar que para gastos menores al de di

(2) Theory, of Plates and Shells, Timoshenko.

seño del acueducto, se presenta en la tubería flujo a su superficie libre a altas velocidades y se introduzca aire a la tubería cuando ya trabaje a presión, por las características topográficas de tramo entre Garrapatas y la planta de bombeo PB4, que baja de Garrapatas con fuerte pendiente y ondulaciones para después tener un largo trayecto sumamente plano; en estas condiciones la piezométrica para 2 y 4 m³/s, cortaría el terreno al pie de la bajada de Garrapatas. El Paso Lateral cuenta con una tubería adicional provista de orificios de manera que se generen perdidas locales de carga y que por lo tanto eviten que la - piezométrica corte a la tubería.

CAPITULO II

FABRICACION DE TUBERIA DE CONCRETO PRESFORZADO

Las primeras obras de abastecimiento de agua potable y de riego, se hicieron en las márgenes de las corrientes fluviales y en las orillas de los depósitos de aguas superficiales, al establecerse los primeros asentamientos humanos en esos sitios para tener agua. Más adelante, la imposibilidad de conducir agua a presión, obligó a realizar obras de ingeniería, verdaderas obras de arte algunas de ellas, para conducir a grandes distancias el agua por gravedad con pendientes hidráulicas muy pequeñas, en forma de canal cerrado o abierto. Así se logró evitar la presión interna.

2.1 TUBERÍAS DE PRESIÓN

Las tuberías vinieron a hacer factible la conducción de agua a presión. El fierro y el acero, fueron los materiales más apro

piados para fabricar tuberías por su resistencia a esfuerzos de tensión y su impermeabilidad casi absoluta.

La necesidad de sustituir el uso de un recurso no renovable tan importante como el acero y, además, abaratar el costo de las tuberías dió lugar a la fabricación de éstas con otros materiales que pudieran resistir la combinación de cargas externas y presión interna.

Actualmente se manufacturan tuberías para conducir agua a presión: de fierro fundido, acero, concreto reforzado y presforzado, asbesto-cemento, cobre, fierro galvanizado, plomo y materiales sintéticos como los plásticos, fibra de vidrio y otras.

2.1.1 Diámetros Económicos

Las anteriores tuberías se usan de acuerdo con diferentes características de requerimiento, entre ellas el diámetro determinado en el proyecto hidráulico. Por este concepto, en forma general, puede establecerse lo siguiente, para tuberías de presión: (Cuadro 2.1)

DIAMETRO EN MM.		TUBERIAS MAS COMUNES
hasta	76	Fierro galvanizado, cobre, plomo, plásticos.
de 76 a	760	Asbesto-cemento, acero.
de 760 a	5000	Concreto reforzado y presforzado con cilindro y sin cilindro de - acero, acero.

El diseño de tuberías requiere un análisis combinatorio de cargas externas y presión interna, así como cumplir con una serie de especificaciones de espesores mínimos y otras características. Entre las tuberías de distintos materiales debe escogerse la que más se adapte a las especificaciones, lo cual requiere un análisis económico.

Puede decirse que las tuberías de acero, en diámetros de 1,500 mm. en adelante, son económicas para resistir presiones internas muy elevadas. Para presiones internas bajas, el espesor debe aumentarse, a veces considerablemente del calculado por presión interna, para que pueda soportar el colapso y para evitar deformaciones en las tuberías por las cargas externas. En general, puede considerarse que en tuberías de 76 a 610 mm. de diámetro, son económicas las de asbesto-cemento. De 760 mm. en adelante, son económicas las de concreto, salvo que haya cargas muy elevadas de presión interna, para diámetros grandes, como se indicó anteriormente.

2.1.2 Tuberías de concreto

No siendo el concreto simple apto para soportar esfuerzos de tensión, las tuberías de concreto deben ser armadas. Los esfuerzos principales a los que está sujeta una tubería de presión, son:

- Esfuerzo de tensión debido a la presión interna.
- Esfuerzo de flexión producido por las cargas externas.

Esta combinación de esfuerzos de tensión y compresión establecen en forma variable los controles críticos que determinan el diseño de los tubos. Estos controles dependen de factores tales como manejo, instalación y condiciones en operación de la tubería.

Básicamente el concreto toma los esfuerzos de compresión y el acero de refuerzo o presfuerzo los de tensión, como en todas las estructuras de concreto armado, sujetas a esfuerzos.

En las tuberías de presión, además de la parte estructural, deben considerarse otros factores tales como la estanqueidad y la capacidad de conducción restringida por pérdidas de fricción debidas a la rugosidad de las paredes del tubo.

El concreto es un material heterogéneo, permeable en mayor o menor grado, y la superficie que presenta es más o menos rugosa. Es por ésto que en el proceso de fabricación de tuberías de concreto, es necesario disminuir la permeabilidad al mínimo así como la rugosidad de las paredes internas.

Las tuberías de concreto armado pueden ser de dos tipos:

- Concreto reforzado
- Concreto presforzado

2.2 TUBERÍAS DE CONCRETO PRESFORZADO

Las tuberías de concreto presforzado se idearon con dos objetos básicos:

- Aligerar el peso de los elementos estructurales disminuyendo la escuadría de los mismos.
- Disminuir el costo por el ahorro de los insumos.

Este tipo de tubería tiene una de las técnicas más avanzadas y sus características de durabilidad, resistencia al manejo y eco-

nomía lo hacen muy atractivo en el mercado de tubos de gran diámetro para presión.

Los diámetros en que se fabrica y la presión de diseño, abarcan una gama importante y pueden soportar cargas externas fuertes a bajo costo comparativamente.

Se puede lograr una permeabilidad muy baja, prácticamente estanca cuando lleva cilindro de acero, y un coeficiente de rugosidad muy satisfactorio desde el punto de vista de funcionamiento hidráulico, el cual se mejora con el tiempo estando en régimen las tuberías. En condiciones normales su vida útil no tiene límite en la práctica.

Este tipo de tubería se fabrica con y sin cilindro de acero. - Con juntas metálicas o de concreto.

El colado de los núcleos de concreto puede ser vertical, centrifugado o compactado por impacto.

El método consiste en aplicar una precompresión al núcleo por medio de una helicoides de alambre de alta resistencia que se enreda por la parte exterior del núcleo. Este alambre se protege con un mortero de cemento lanzado o un recubrimiento de concreto colado.

La precompresión a que se sujeta el núcleo de concreto, permite capacitar al tubo para soportar presiones internas muy elevadas y carga externa suficiente para la generalidad de los casos.

2.2.1 Fabricantes y Técnicas de Fabricación en México.

Actualmente existen tres empresas que fabrican tuberías de con-

creto presforzado en México y utilizan dos técnicas de fabricación:

- COMECOP - (Compañía Mexicana de Concreto Pretensado, S.A. de C.V.) - Técnica de Campana/Espiga.
- ICHSA - (Ingeniería y Construcciones Hidráulicas, S.A. de C.V.) - Técnica Lock Joint.
- TEPSA - (Tubos y Elementos Presforzados, S.A.) - Técnica de Campana/Espiga.

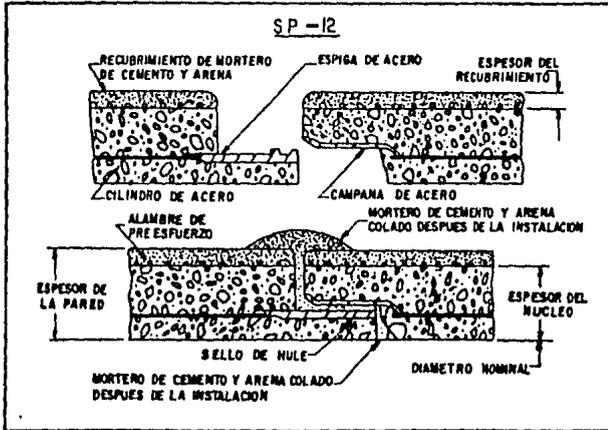
La técnica Lock Joint utiliza un cilindro de acero empotrado, anillos de junta de acero y sello de hule. Las uniones de tubos se caracterizan por ser continuas, sin las protuberancias naturales de las uniones de espiga y campana. Sus dimensiones principales se muestran en las figuras 2.2 y 2.3.

2.2.2 Ventajas

Los tubos de concreto pretensado, fabricados ahora en México, ofrecen entre otras ventajas:

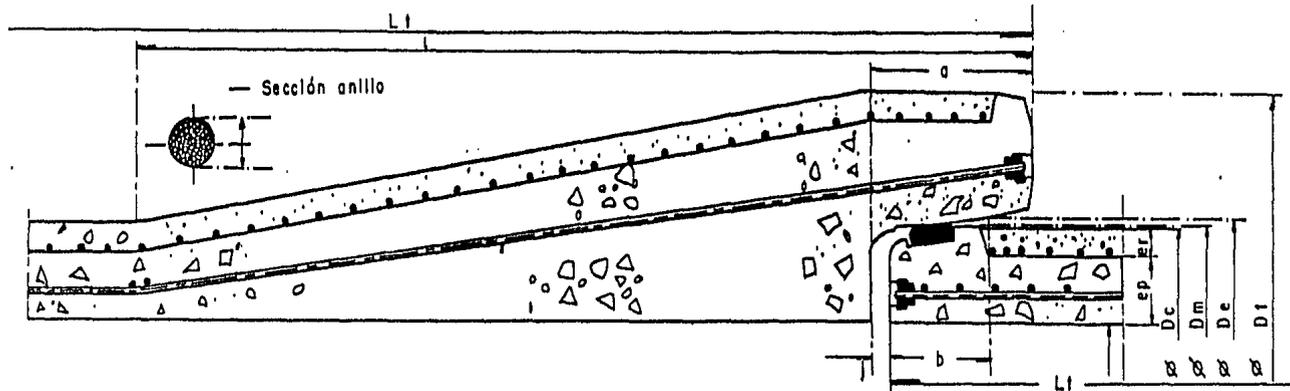
- Un coeficiente de escurrimiento óptimo y permanente, debido a la tersura de sus paredes interiores obtenidas en su fabricación por centrifugación o colado vertical.
- Una resistencia a todas las presiones y cargas requeridas, producto del empleo en su fabricación de concretos de alta resistencia y al proceso de pretensado en el acero de refuerzo, tanto longitudinal como transversal.
- Una facilidad en su instalación al emplearse para las uniones la junta de hule autocentrable, que además de asegurar

FIG. 2.2
TECNICA LOCK-JOINT



DIAMETRO NOMINAL,	E S P E S O R E S			LONGITUD APROVECH	PESO APROXIMADO	
	NUCLEO	RECURRIMIENTO	PARED		P/M	P/TUBO
Pul mm	Pul mm	Pul mm	Pul mm	m	Ton/m	Ton/Tubo
30 762	2 1/4 57	1 1/4 31	3 1/2 88	4.88	0.55	2.7
36 914	2 1/4 57	1 1/4 31	3 1/2 88	4.88	0.65	3.2
42 1066	2 5/8 66	1 1/4 31	3 7/8 98	4.88	0.84	4.1
48 1219	3 76	1 1/4 31	4 1/4 107	4.88	1.05	5.1
54 1371	4 101	1 1/4 31	5 1/4 133	4.88	1.46	7.1
60 1524	4 1/2 114	1 1/4 31	5 3/4 146	4.88	1.76	8.6
66 1676	5 127	1 1/4 31	6 1/4 158	4.88	2.11	10.3
72 1828	5 1/2 139	1 1/4 31	6 3/4 171	4.88	2.48	12.1
84 2133	6 1/2 165	1 1/4 31	7 3/4 196	4.88	3.42	16.7
99 2514	6 1/4 158	1 1/4 31	7 1/4 190	4.88	3.70	18.1
99 2514	6 1/4 158	1 1/4 31	7 1/2 180	7.32	3.70	27.1

FIG. 2.3
TECNICA CAMPANA-ESPIGA



CARACTERISTICAS DE LOS TUBOS DIAMETROS DE 750 a 2100 mm

		U	750	1000	1200	1300	1400	1500	1600	1800	2000	2100
Di.	DIAMETRO INTERIOR	mm	770	1020	1220	1320	1400	1520	1620	1820	2020	2120
Dc.	DIAM. EXT TUBO	mm	920	1194	1414	1524	1614	1744	1854	2074	2294	2404
Dt.	DIAM. EXT. CAMPANA	mm	1120	1427	1682	1792	1877	2034	2144	2387	2632	2742
l.	LONGITUD CAMPANA	mm	817	817	933	933	911	1008	1008	1086	1172	1172
Lt.	LONG. TUBO TOTAL	mm	7131	7131	7148	7148	7148	7161	7161	7173	7188	7188
	PESO TOTAL DE UN TUBO	kg	3850	6065	8150	9240	10000	11650	12800	15765	18900	20540
De.	DIAM TEORICO ENCHUFE	mm	927	1202	1423	1533	1623	1754	1864	2085	2305	2415
Dm.	DIAM TEORICO TALON DE JUNTA	mm	923	1196	1416	1526	1616	1746	1856	2076	2296	2406
a	PROFUNDIDAD TEORICA ENCHUFE	mm	141	141	158	158	171	171	183	198	198	198
i	JUEGO DE NCHUFE TEORICO	mm	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
b	PENETRACION TEORICA	mm	96	96	110	110	111	120	120	130	141	141
	DEFLEXION MAXIMA	°	1°45'	1°35'	1°25'	1°25'	1°29'	1°15'	1°10'	1°	0°55'	0°50'
	DEFLEXION 2/3	°	1°10'	1°03'	0°57'	0°57'	0°53'	0°50'	0°46'	0°40'	0°37'	0°33'
c	DESENCHUFE LINEAL	mm	15.7	18.7	20.2	21.9	21.9	22.1	21.8	21.1	21.7	20.3
R	RADIO DE CURVATURA	m	344	382	422	422	453	482	523	602	650	729
c	DESENCHUFE LINEAL	mm	11.6	14.2	14.9	16.1	16.5	16.6	16.5	15.9	15.9	15.4
R	RADIO DE CURVATURA	m	462	501	573	573	602	642	688	802	891	962
d	DIAM. SECCION JUNTA DE HULE	mm	20	22	24	24	24	26	26	28	30	30

una hermeticidad absoluta, otorga flexibilidad en las instalaciones.

- Una larga vida, porque las tuberías son altamente resistentes a la corrosión, ya que el concreto cubre totalmente los refuerzos de acero, tanto en los tubos como en las piezas especiales.

2.2.3 Caso Analizado

Para los fines ilustrativos de la Tesis, a continuación se presentan las características principales de la fabricación de tubería de concreto presforzado de la técnica de campana y espiga, que fué el tipo de tubería que se usó en el 60% del Acueducto Linares-Monterrey. No se analizan las piezas especiales.

2.3 REQUERIMIENTOS DE FABRICACIÓN

2.3.1 Constitución del Tubo

La fabricación del tubo comprende tres operaciones principales:

1. Producción de un tubo primario provisto de alambres de pretensado longitudinal.
2. Zunchado del tubo primario por enrollamiento bajo tensión controlada de un alambre de acero que produce el pretensado transversal.
3. Protección del zunchado por una capa de concreto de revestimiento.

Las dos extremidades de un tubo se elaboran con precisión para recibir un anillo de elastómero y constituir una junta flexible autocentrante.

2.3.2 Resistencia a la corrosión

La combinación del concreto y del acero es una unión feliz. El concreto, medio alcalino (pH cercano a 12) coloca al hierro en un estado "pasivizado" al abrigo de la corrosión.

La alta calidad del concreto debe permitir prolongar esta "pasivación" con el tiempo:

- El concreto del tubo primario asegura la protección de los aceros contra el agua transportada.
- El concreto de revestimiento protege los mismos aceros contra los agentes corrosivos del terreno atravesado. (En casos de suelos muy agresivos, se protege el tubo con aplicaciones de pintura epóxica y, en último caso, se coloca fuera del terreno, sobre silletas).

2.3.3 Sistemas de Fabricación

El tubo primario puede ser producido por centrifugación en moldes horizontales o por colado vertical.

La centrifugación y la fabricación de los tubos en posición horizontal constante es el procedimiento normal para los tubos hasta de 2100 mm. de diámetro.

El colado vertical de los tubos primarios puede ser seguido de

operaciones de zunchado y revestimiento realizadas sobre tubos bien sea en posición horizontal o vertical.

En texto posterior, la descripción de los procedimientos de fabricación se refiere al sistema más extendido, es decir a la centrifugación para los tubos primarios, seguida de zunchado y de revestimiento sobre tubos en posición horizontal.

2.3.4 Cemento

El cemento normalmente utilizado es del tipo Portland, ordinario o de alta resistencia inicial.

En caso de riesgo de corrosión por las aguas y los terrenos sulfatados, se recomienda usar cemento Portland de baja alumina - (tipo V - norma mexicana).

2.3.5 Agregados

La arena empleada en la confección del concreto debe ser preferentemente silíceo natural, pero arena procedente de molienda es utilizable.

La limpieza de la arena es esencial.

La grava para el concreto primario proviene de piedras duras - (cantos rodados) o rocas trituradas. En este último caso los elementos deben ser de forma regular y presenta un coeficiente volumétrico superior a 0.15, cumpliendo con todas las normas - DGN al respecto. La dimensión máxima de la grava varía con el espesor de la pared de los tubos primarios las clases granulares frecuentemente utilizadas son 8-16 y 10-20 mm.

La gravilla para concreto de revestimiento proviene igualmente de piedras duras rodadas o trituradas; la dimensión máxima de los elementos queda comprendida entre 6 y 8 mm.

2.3.6 Composición y características de los concretos

El concreto primario se dosifica en general a 425 Kg. de cemento por metro cúbico compuesto con el mínimo de arena compatible con la trabajabilidad necesaria para aplicarse.

Después de la centrifugación o del colado vertical, los concretos de tubos, presentan una resistencia al aplastamiento:

a los 7 días de	400 Kg/cm ²
a los 28 días de	500 Kg/cm ²

El concreto de revestimiento se dosifica en general con 450 Kg. de cemento y se mezcla con un mínimo de agua para su aplicación por vibración de alta frecuencia.

La resistencia a la compresión (aplastamiento) usualmente obtenida es:

a los 7	días	400 Kg/cm ²
a los 28	días	500 Kg/cm ²

2.3.7 Acero de Pretensado

Los alambres de pretensado son de acero de alto contenido de carbono, tratados para alcanzar gran resistencia mecánica.

En la fabricación del tubo se utilizan normalmente:

- para el pretensado longitudinal: alambres lisos o ligeramente entallados de diámetros de 5 a 8 mm.
- para el zunchado: alambres lisos de diámetro de 4 a 9 mm.

La resistencia a la ruptura es generalmente alrededor de 160 - Kg/cm².

Cumplen las normas DGN-B-293-1968, ASTM A-421, A-570 y British Standard 2691-1969.

2.4 PROCEDIMIENTO DE FABRICACIÓN DE LOS TUBOS

Una planta de tubo centrifugado consta de dos secciones distintas:

- La cadena primaria que está constituida por el circuito de moldes de donde salen los tubos primarios pretensados longitudinalmente.
- La cadena secundaria donde entran los tubos primarios y de donde salen los tubos terminados después de las operaciones de zunchado, prueba hidráulica y revestimiento.

Las principales operaciones mostradas en la figura 2.4, son:

2.4.1 Cadena Primaria

. Armadura del pretensado longitudinal

El alambre de acero generalmente de diámetro 5 a 8 mm. es enderezado y cortado en largos exactos para constituir los

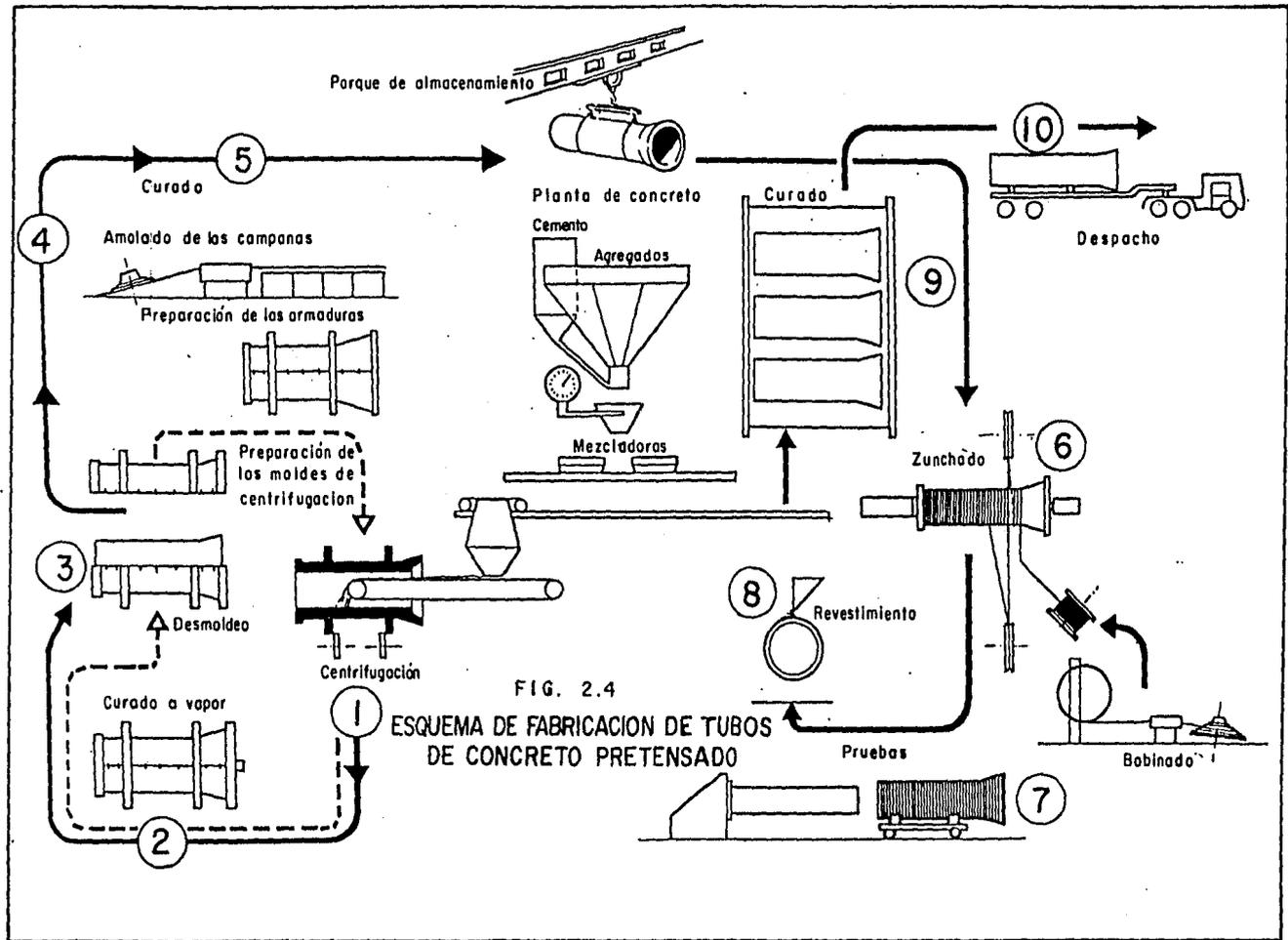


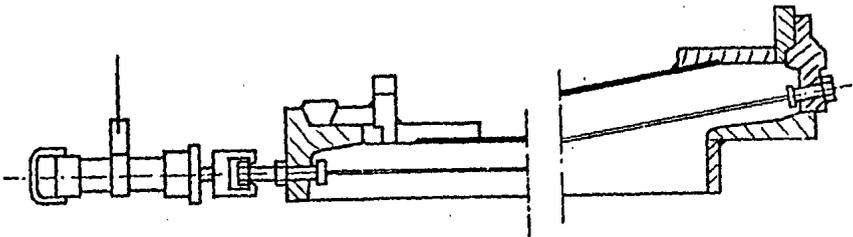
FIG. 2.4
ESQUEMA DE FABRICACION DE TUBOS DE CONCRETO PRETENSADO

monofilamentos o generatrices del pretensado. Cada extremidad es roscada por rolado lo que preserva la plena resistencia del alamabre.

Pretensado Longitudinal

Los monofilamentos están provistos de una tuerca en sus extremos roscados y colocados en tensión entre los anillos situados en los extremos de los moldes de centrifugación. La puesta en tensión se efectúa con gato hidráulico a una tensión próxima al 80% de la resistencia a la ruptura del acero.

FIG. 2.5 PRETENSADO LONGITUDINAL



Centrifugación. Fig. 2.6

El molde de centrifugación girando a baja velocidad recibe el concreto distribuido por una banda transportadora. Fig. 2.7.

Después de distribuido el concreto, la rotación a gran velocidad somete al concreto a una aceleración centrífuga que alcanza 30 a 50 veces la gravedad.

Simultáneamente las ranuras repartidas de la máquina de centrifugar provocan una vibración intensa según una gama extensa de frecuencias de hasta 12,000 ciclos por minuto.

Bajo la acción conjugada de la vibración y de la centrifugación el concreto se compacta perfectamente y se libera del agua en exceso. Al fin de la operación, la relación Agua/Cemento (A/C) se aproxima a 0.30.

En diámetros superiores a 2.100 mm., el tubo primario-pretensado longitudinalmente se produce por colado vertical compactándose el concreto por vibración de alta frecuencia.

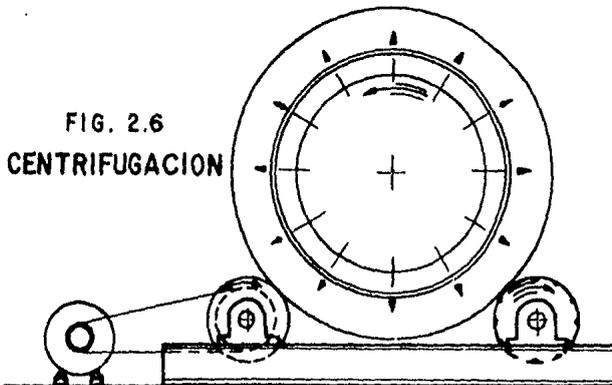
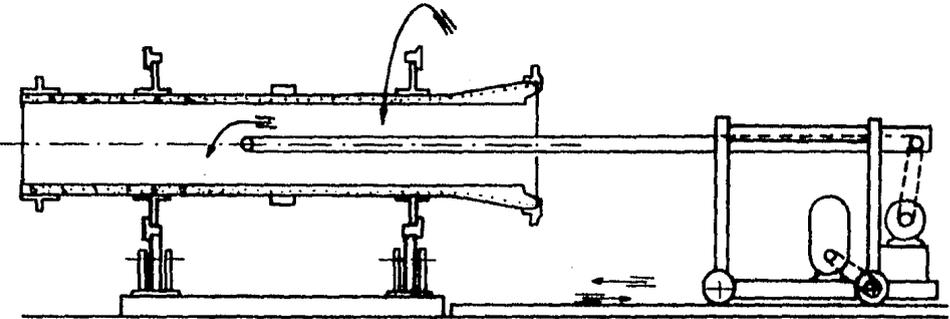


FIG. 2.7
CARGA DEL MOLDE



Carga del concreto en el molde colocado en la máquina por medio de banda transportadora que lo deposita por capas sucesivas.

. Estufado

Después de la centrifugación el fraguado del concreto se acelera por un tratamiento de vapor. El tiempo de pre-fraguado, el incremento de temperatura y la temperatura máxima son establecidos con valores tales que el tubo primario puede ser desmoldeado 4 ó 5 horas después de la centrifugación o del colado vertical, sin comprometer las características mecánicas finales del concreto.

. Desmoldeado

Después del estufado, habiendo alcanzado el concreto una resistencia no menor de 200 Kg/cm^2 suficiente para permitir el manejo del tubo, se abre el molde.

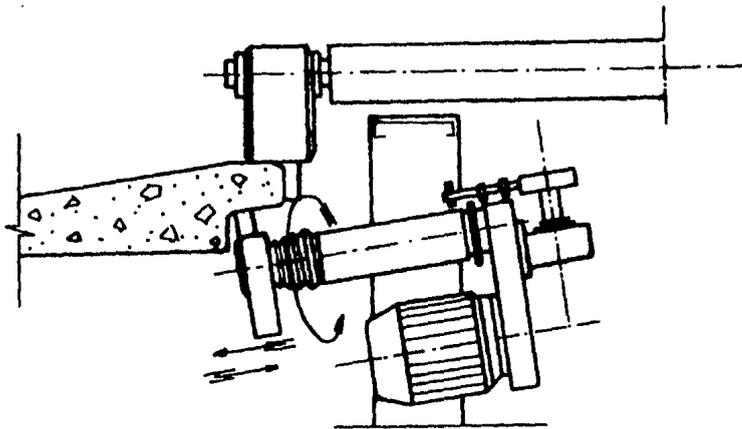
Al comienzo de la operación el esfuerzo de los monofilamentos bajo tensión son transferidos del molde al concreto.

Las tuercas al extremo de los alambres y los anillos de repartición contra las tuercas aseguran un anclaje positivo de los alambres y un pretensado efectivo lo más próximo a la extremidad de los tubos.

Rectificado. Fig. 2.8

Después del desmoldeo el tubo primario pasa a un rectificado con ruedas de esmeril del interior de la campana a fin de calibrar y mejorar el estado de la superficie sobre la cual se deslizará la junta de hule de sello.

FIG. 2.8
RECTIFICADO



Patio Primario

Los tubos son depositados en un patio primario por un período de algunos días -habitualmente una semana- en el curso del cual el concreto adquiere el grado de resistencia requerido. Al llegar al patio primario los alveolos de las extremidades

La selección del diámetro del alambre y el paso de enrollamiento determinan el nivel de pretensado.

El circuito en el curso del cual el alambre recibe su tensión de un contrapeso es una peculiaridad del sistema.

Este dispositivo asegura:

- La tensión del alambre bajo un amplio radio de curvatura para mantener la integridad del alambre.
- El mínimo de esfuerzos de flexión sobre el tubo.
- El zunchado con un mínimo de potencia.

. Prueba Hidráulica

Cada tubo zunchado es sometido a la prueba hidráulica que tienen por objeto comprobar:

- La resistencia mecánica del acero y del concreto.
- La estanqueidad del tubo primario.

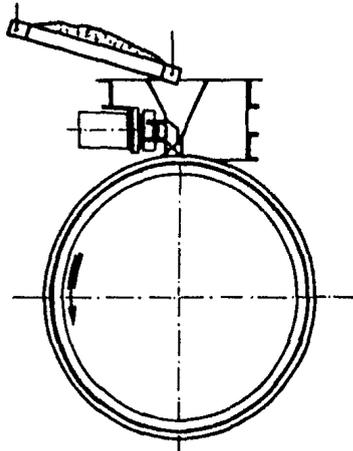
En esta etapa, los materiales son sometidos a fatigas al menos iguales a las que sufrirán posteriormente en servicio.

Revestimiento. Fig. 2.10

Tan pronto como sea posible, después del zunchado y de la prueba hidráulica, el tubo pasa a la máquina de revestir.

FIG. 2.10
REVESTIMIENTO

En rotación lenta, el tubo recibe una capa de concreto con un mínimo de agua vibrado a alta frecuencia (9,000 a 12,000 ciclos por minuto). El concreto desaereado y fluidificado por la alta frecuencia, recubre perfectamente el acero del zunchado.



El espesor de la capa de revestimiento se regula para obtener habitualmente una cubierta mínima de 19 mm. por encima de las espirales del zunchado. Este espesor puede ser aumentado para incrementar la protección.

2.4.3 Anillo de Sello

El anillo de sello es un elastómero fabricado y controlado siguiendo rigurosas especificaciones.

La junta queda constituida por un anillo colocado en la ranura del extremo macho del tubo a tensión.

El anillo así encajado sobre el extremo macho es comprimido por deslizamiento en la campana o extremo hembra. Para permitir - el deslizamiento, el enchufe se lubrica con jabón vegetal.

Durante la operación de unión, esta junta queda fuertemente comprimida entre las paredes de las terminales asegurando la estanqueidad durante toda la vida de la conducción.

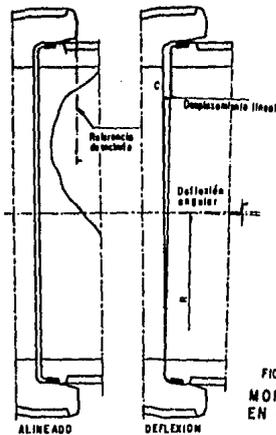
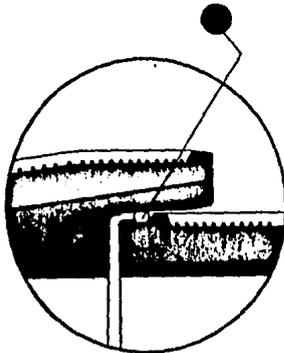


FIG. 2.11
MONTAJE
EN CURVA



C A P I T U L O I I I

PROCEDIMIENTOS DE INSTALACION DE LAS TUBERIAS

3.1 REQUERIMIENTOS TÉCNICOS

Los procedimientos de instalación de tuberías de grandes diámetros no son complicados, pero sí requieren de cuidado especial para evitar la necesidad de correcciones, que resultan de muy alto costo en lo constructivo tan sólo y, mayor aún, en los efectos de tener que llevarlas a cabo con la línea ya funcionando. La planeación detallada de la instalación, permite prever la gran mayoría de las posibles causas de error, pero es aún más determinante el contar con personal experimentado en todos los niveles, particularmente operadores de grúa y tuberos, a más de equipos confiables y de capacidad suficiente.

3.1.1 Proyecto

Los documentos esenciales del proyecto para la puesta en obra del tubo son:

- El trazo en planta
- Perfil de la línea

El perfil de la línea define el trazo en el plano vertical del "hilo de agua", o generatriz inferior del cilindro interior del tubo.

3.1.2 Estacado

Los trazos en planta y perfil deben materializarse sobre el terreno, antes de la colocación por:

- Estacas en los vértices de la poligonal del trazo.
- Un estacado paralelo, es decir fuera del eje de la tubería que no sea afectado ni por la terracería excavada ni por la circulación a lo largo de la línea.

Además el jefe de la obra debe disponer de bancos de nivel en los vértices de la poligonal. Las estacas en los vértices de la poligonal deben ser niveladas frecuentemente con precisión para ser utilizadas como referencias.

3.1.3 Plan de Ejecución

El jefe de los trabajos de colocación estará provisto del tra-

zo en planta y del perfil de la conducción, que definan perfectamente, por referencia a los vértices de la poligonal y al estacado paralelo:

- El trazo en la planta con indicación de ángulos y curvas - planimétricas.
- El perfil del hilo de agua (o línea roja) con indicación de los niveles a intervalos de 50 metros como máximo y en particular:
- Los cambios de pendiente
- Las curvas altimétricas
- Las clases de tubos
- Los tubos especiales y las piezas especiales perfectamente señaladas.

3.1.4 Organización General de los Trabajos

Debiera ser inútil recordar que el programa del conjunto de los trabajos debe ser previsto para permitir el desarrollo sin interrupción de las tareas de colocación y luego las pruebas de recepción de la línea lo más pronto posible después de su instalación.

Conviene pues, prever cuidadosamente en particular:

- Las voladuras de rocas
- Las obras a construir previamente

- Las cajas de válvulas
- Cruces (corrientes de agua, vías férreas, caminos, etc.)
- Las obras a construir después de la instalación
- Atraques, anclajes...
- Pequeñas cajas de desfogue y ventosas

Estas disposiciones son válidas para cualquier tipo de conducción.

Los acueductos de concreto pretensado exigen además una particular atención sobre los siguientes puntos:

- Dirección del avance de colocación
- Relleno de la tubería

De ahí que los puntos de partida del tendido deben ser elegidos para permitir en todos los casos posibles:

- El tendido ascendente
- El llenado progresivo de la tubería tan pronto sea colocada.

Así pues, la colocación y por consecuencia el conjunto de los trabajos, deben ser organizados en función de:

- Las pendientes del terreno
- Los puntos de aprovisionamiento de agua.

3.1.5 Documentación de Obra

Al término de los trabajos la entidad instaladora debe enviar al dueño de la obra un perfil demostrativo señalando el emplazamiento preciso de los tubos especiales debidamente numeradas.

Los reportes diarios de los diversos equipos y la bitácora de la obra deben consignar día por día:

- Las instrucciones recibidas
- El avance de los diversos trabajos
- Los incidentes que afecten la ejecución
- Las recepciones por tramos

3.2 REQUERIMIENTOS DE MAQUINARIA Y EQUIPO

Habiendo previsto las distintas condiciones y tipo de materiales a excavar y lo correspondiente de los posibles materiales de relleno, se deberá prever la maquinaria y equipos capaces y suficientes para atender las siguientes operaciones de instalación de tubería en cada frente de trabajo que se haya fijado:

- Formación de terracerías de caminos de acceso
- Movilización de tuberías
- Excavación de zanjas
- Compactación de fondos de zanja y rellenos

- Colocación y enchufe de tuberías
- Pruebas
- Acarreos de materiales de relleno (en su caso)
- Rellenos

3.3 REQUERIMIENTOS DE ESPACIO DE TRABAJO

La amplitud de la zona de trabajo depende evidentemente de:

- La cantidad de terracerías
- Los métodos adoptados para:
 - . Disposición de productos excavados
 - . Manejo y colocación de los tubos

La figura 3.1 ilustra como se determina el ancho de la zona de trabajo de ejecución rápida en campo abierto para los tubos de la serie considerada.

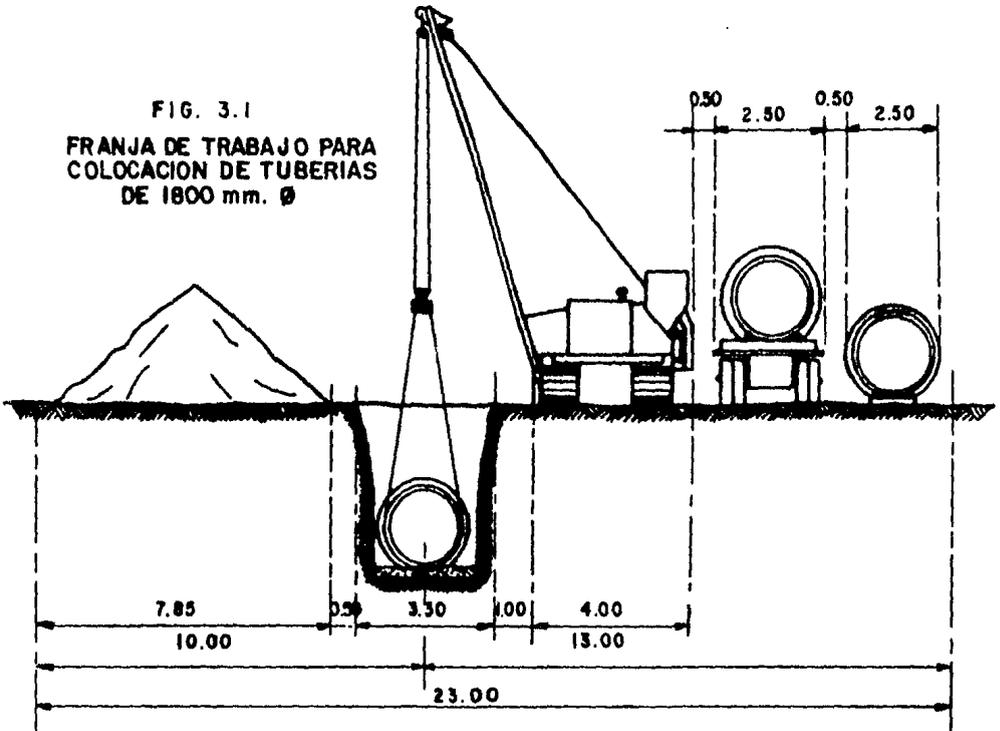
En este caso una pista de circulación suficiente para el acceso de camiones es preparada paralelamente a la zanja.

La pista de circulación y el camellón de material excavado se disponen a un costado y otro de la zanja de acuerdo con el mejor compromiso posible entre exigencias contradictorias que contemplan o plantea:

- Las vías de acceso

- Las pendientes transversales del terreno.
- La protección contra escurrimientos de agua.
- La eventual evacuación de las aguas bombeadas de la zanja.

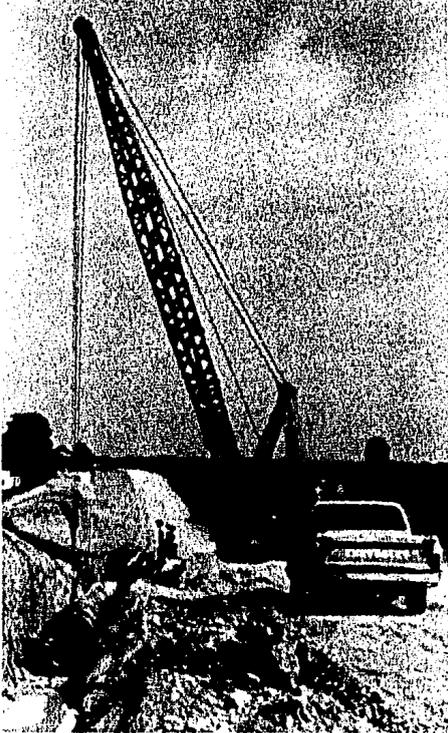
FIG. 3.1
FRANJA DE TRABAJO PARA
COLOCACION DE TUBERIAS
DE 1800 mm. Ø



3.4 TRANSPORTE Y DESCARGA DE LOS TUBOS

TRANSPORTE

Durante el transporte, el tubo COMECOP debe apoyarse sobre dos



La primera obra importante por sí sola, fué el camino de servicio. Su diseño obedece a especificaciones de seguridad de tránsito, por un lado, pero contempla también los requerimientos para las distintas maniobras que ocurren durante la construcción de la línea de conducción.



traviesas de madera, guarnecidas de madera o de hule.

Ambas traviesas deben ser suficientemente anchas (mínimo 20 cms.) y dispuestas con aproximación a 4.10 m. entre ejes.

Cada tubo debe quedar atrancado transversal y axialmente.

La carga se amarra con cables de diámetro suficiente (20 mm.) para no afectar el revestimiento. De otra forma conviene insertar una banda ahulada entre cable y tubo.

DESCARGA

La descarga se hace con grúa o por rampas y cabrestante.

El manejo se asegura por cinchos o eslingas de cable grueso.

ACOMODO

El acomodo es la operación que consiste en colocar cada tubo lo más cerca posible de su lugar exacto de colocación.

Cuando los camiones no tienen libre acceso a la zona de instalación, el acomodo implica un nuevo movimiento de cada tubo sea con un tractor con grúa lateral, sea con un carro.

Sobre el carro o aparato de acomodo, las superficies de apoyo del tubo estarán recubiertas de madera o hule.

La operación debe ser bien realizada para evitar tiempos muertos en la colocación y eliminar inútiles desplazamientos de los artefactos de carga.

Dentro de lo posible, los tubos son alineados paralelamente al eje de la línea (fig. 3.1). Entre tubo y tubo es necesario de-

ANCHURA

El ancho libre al nivel de la generatriz superior del tubo debe ser (fig. 3.2):

- Suficiente para permitir la compactación del relleno de acuñamiento.
- Justamente suficiente para no incrementar la carga del relleno sobre el tubo.

Los tubos son calculados normalmente para un ancho de zanja igual al diámetro exterior del cuerpo del tubo aumentado en 60 cms. Así por ejemplo, un tubo de diámetro nominal de 750 mm. tiene un diámetro exterior del cuerpo del tubo de 92 cm. y requiere un ancho nominal de zanja de 152 cm.

Por encima del tubo, en ausencia de ademe, que reduciría inevitablemente el ritmo de colocación, el talud de la zanja debe ser el mínimo compatible con la seguridad que ofrezca la resistencia del terreno.

PROFUNDIDAD

La altura del "hilo de agua", queda impuesta por el perfil de la línea el cual se estudia para asegurar una cobertura mínima especificada "H" sobre el tubo.

Este valor "H" se precisa considerando:

- Protección contra el hielo
- Condiciones de cultivo u otras encima de la tubería.

Se considera generalmente como mínimo una cobertura de 60 cm.

jar un espacio de 50 a 60 cms. lo que implica depositar dos tubos, lado a lado, cada 140 m. aproximadamente.

Siendo los tubos disimétricos (macho y campana) deben ser colocados en el sentido correcto que corresponde al tendido, en función de la maniobra de los artefactos.

Los tubos deben descansar sobre dos piezas (traviesas) de madera o en caso necesario sobre dos pequeños camellones de tierra suave, estando separados los apoyos aproximadamente 4 metros.

INSPECCION

El responsable del acomodo debe realizar una inspección visual de los tubos desde la descarga a fin de eliminar del acomodo los tubos dudosos o dañados durante el transporte.

3.5 EXCAVACIÓN Y RELLENO DE ZANJAS

3.5.1 Dimensiones de la zanja

La zanja normal se considera con paredes prácticamente verticales. Obviamente, en materiales de baja cohesión y compacidad, los taludes se inclinan aumentando el costo por excavación y la dificultad de colocación de la tubería. En lo que sigue se consideran zanjas normales.

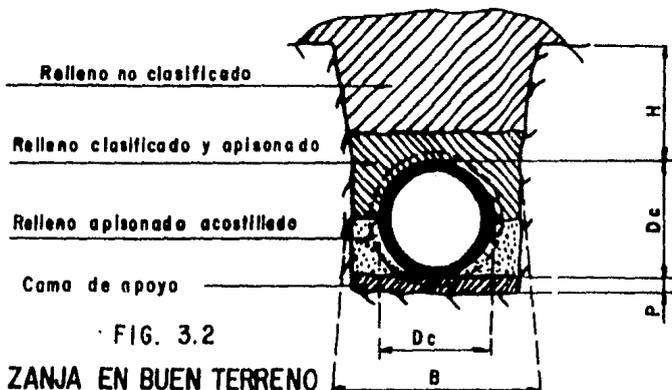


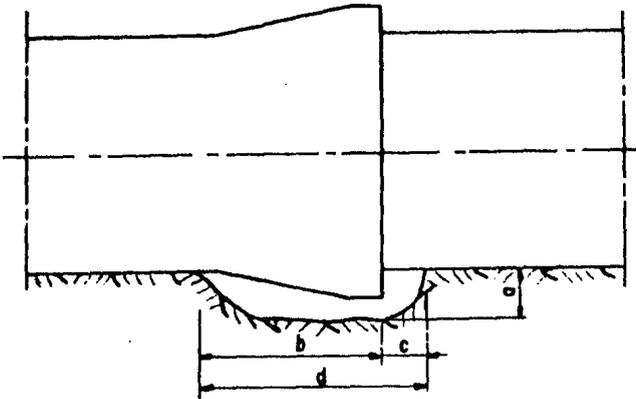
FIG. 3.2

ZANJA EN BUEN TERRENO

La sobreprofundidad "p" entre el tubo y el fondo de la zanja es función de:

- Los métodos de excavación
- La naturaleza de la cama, como se verá después:

FIG. 3.3
CONCHAS PARA ENCHUFE



Dimensiones Aproximadas

DN	a (cm.)	b (cm.)	c (cm.)	d (cm.)
750-900				
1000-1100	25	100	20	120
1200 - 1300 - 1400	27	115	20	135
1500-1600	29	120	25	145
1700-1800	31	130	25	155
1900 - 2000 - 2100	34	140	30	170



La excavación de la zanja requirió una atención especial a los cambios de talud en función de los materiales que se iban encontrando. Las grandes dimensiones de la zanja permitieron el uso de tractores, motoconformadoras y aún rodillos para afinar el trabajo de la retroexcavadora.

Aquí se muestra el fondo de la zanja lista para la colocación del tubo: una superficie plana, alineada con la cota del proyecto y con las conchas o nichos en el lugar de cada junta para permitir el enchufe y un hueco intermedio para poder retirar el cable de colocación.



3.5.2 Fondo de zanja y cama de apoyo de los tubos

La zanja no debe excavarse antes del mínimo tiempo posible pre vio a la colocación del tubo en función de:

- La capacidad del equipo de excavación
- El comportamiento del terreno

El terreno duro, las máquinas excavadoras deben excavar las - conchas de enchufe.

El fondo de la zanja listo para la colocación del tubo presenta rá una superficie plana alineada con la cota del proyecto y - discontinuada para dar lugar a:

- Una concha o nicho en el lugar de cada junta para permitir el enchufe.
- Un hueco para permitir retirar los cables o eslingas de colocación.

Entre la infinidad de casos posibles, mencionaremos cinco casos tipo de fondo de zanja:

- 1) Terreno homogéneo de buena capacidad de carga (tierra granular no coherente pero firme) (fig. 3.4):
 - . La excavación se realiza a profundidad lo más cercana - de la cota del fondo de la zanja (p-0).
 - . El fondo de zanja se afina y las conchas o nichos se excavan después de emparejado el piso.
- 2) Terreno moderadamente heterogéneo bastante bueno para cargas. (fig. 3.5):
 - : La excavación se realizará con una profundidad extra p- 10 cms. aproximadamente.

: La cama de tendido estará constituida por material suelto o granular cuidadosamente compactado y emparejado. - Este material clasificado procederá de la excavación o de fuente ajena si lo excavado no lo proporciona en cantidad suficiente:

- a) Si la excavación se realiza antes del tendido y la compactación se produce por aplanadora vibrante con gran avance, el fondo de la zanja se prepara con superficie continua y los nichos se excavan después.
 - b) Si la ejecución del trabajo es inmediatamente antes del tendido, la base de apoyo del tubo estará constituida por dos banquetas por tubo.
- 3) Terreno rocoso (fig. 3.6):
- . La excavación se ejecutará con sobreprofundidad $p=15$ a 20 cms. fuera de los nichos.
 - . La cama de apoyo estará constituida por dos banquetas - de piedra triturada o grava, con dimensión máxima de - 6 cms.
- 4) Terreno poco resistente - Capacidad de carga mediocre:
- . La excavación se realizará con una sobreprofundidad - $p = 10$ cms. aproximadamente.
 - . La cama de apoyo será formada por dos banquetas de material duro, gravilla y piedra triturada o grava con dimensión máxima de 6 cms., usando granulometría continua de preferencia.

La arena fina sola es peligrosa y debe proscribirse, podría por asentamiento desaparecer en el terreno blando, dejando el tubo sin asiento. No debe usarse.

FIG. 3.4
FONDO DE ZANJA EN TERRENO GRANULAR HOMOGENEO

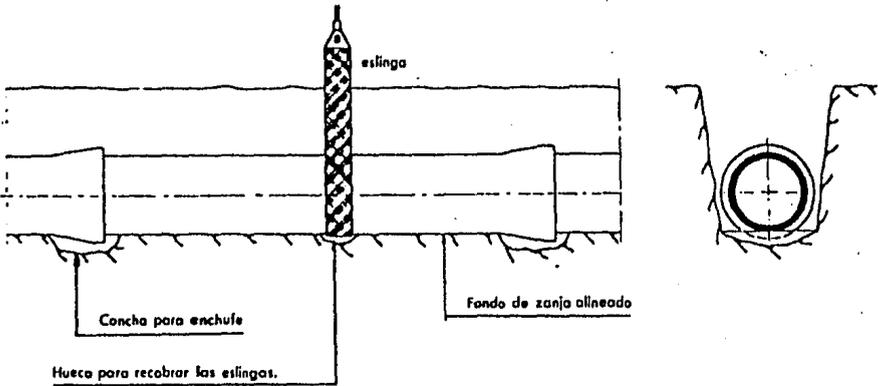


FIG. 3.6
CAMA DE APOYO EN TERRENO ROCOSO

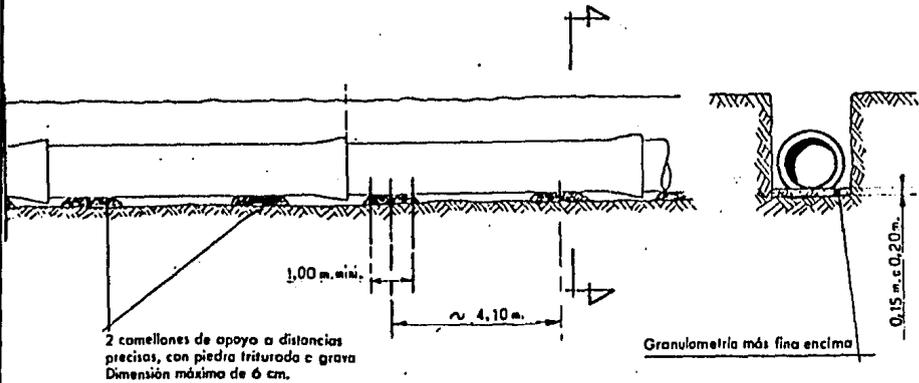


FIG. 3.5
CAMA DE APOYO SOBRE BASE APORTADA

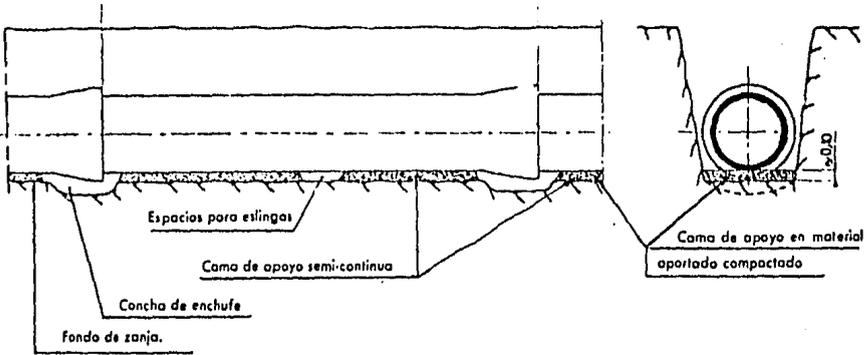
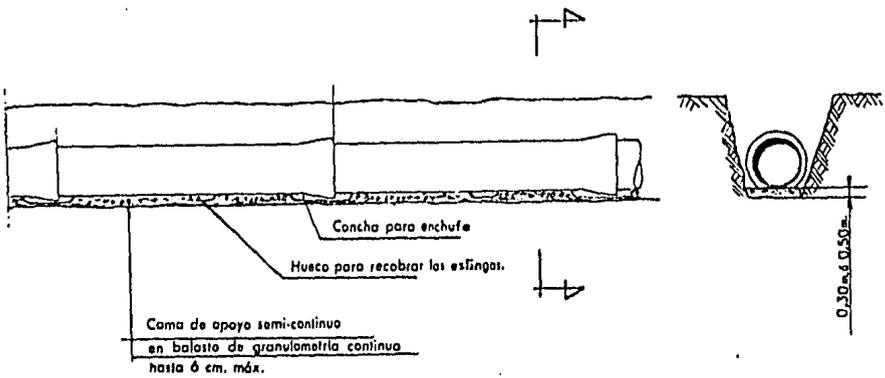


FIG. 3.7
CAMA DE APOYO EN TERRENO BLANDO



5) Terreno blando (coherente) (fig. 3.7)

Débil capacidad de carga

- . La excavación se ejecuta con una sobreprofundidad -
p = 30 a 50 cms.
- . La cama de apoyo estará constituida por material duro -
en superficie continua interrumpida en los nichos o con-
chas. Para evitar que el terreno blando se remonte, co-
lándose entre los elementos de la cama, el material du-
ro será de granulometría sensiblemente continua hasta -
la máxima dimensión de 6 cms.

En el caso de terrenos aún más desfavorables que los cinco tipos aquí descritos (terrenos pantanosos, limo o légamo), es indispensable prever una verdadera obra para asentar el tubo: cama de piedras de gran espesor, losa de concreto o cimentación sobre pilotes.

3.5.3 Relleno

. RELLENO DE ACOSTILLADO

Inmediatamente después de la colocación, se debe proceder al relleno de acostillado (hasta los costados del tubo).

Este relleno debe ser efectuado con un material homogéneo, granular o débilmente coherente, cuidadosamente retacado - bajo el tubo y compactado a rechazo en toda su altura con la ayuda de medios mecánicos, de preferencia pisones neumáticos.

Ciertas especificaciones exigen una granulometría particular del material. Nosostros consideramos que no es deseable limitar la dimensión de los elementos más gruesos a me

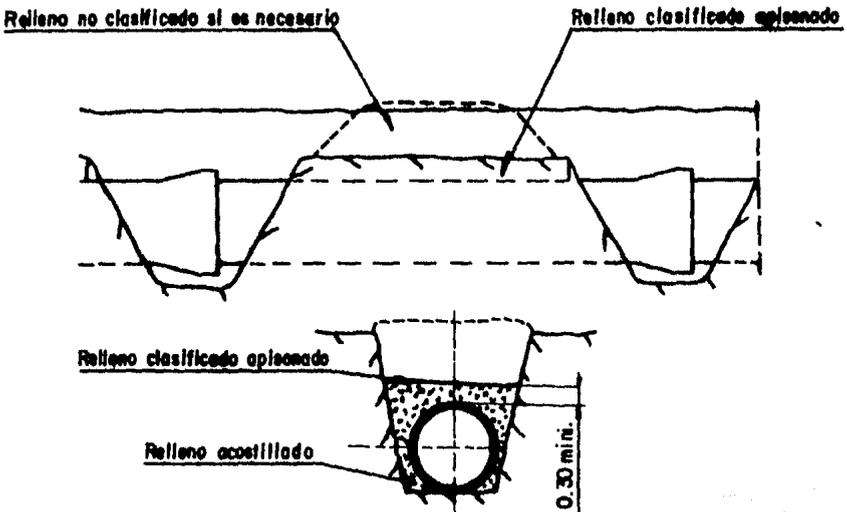
nos de 6 cms. e insistimos en el hecho de que el balasto de piedra triturada o de cantos rodados constituye un excelente relleno de acostillado.

RELLENO CLASIFICADO COMPACTADO

La segunda fase consiste en recubrir el tubo hasta 30 cms. por encima de la generatriz superior.

Este relleno es bastante semejante al relleno de acostillado, en sus exigencias, pudiendo ser menores por lo que concierne a la calidad del material y su compacidad final. - (fig. 3.8).

FIG. 3.8
RELLENO EN CENTROS





El acostillado, con material homogéneo y compactado



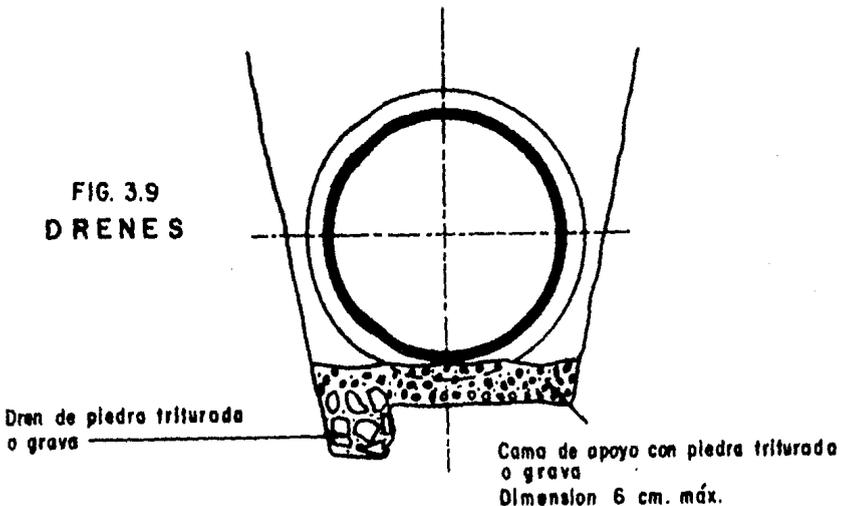
El relleno clasificado compactado se aplica por capas, apisonado a mano o neumáticamente, hasta 30 cm - por encima de la generatriz superior. Arriba de éste se aplica el relleno no clasificado.

La instalación de estos tubos, sin exigir una zanja perfectamente seca, necesita el control de entradas importantes de agua sea por abatimiento de la napa, sea por achique. Un caso especial es la colocación en arenas, con alto nivel freático; en este caso es usual la conveniencia de usar técnicas como el well-point.

DRENAJE

Cuando la línea está en pendiente y la zanja, aún rellena, es susceptible de coleccionar aguas superficiales o aguas subterráneas, se pueden producir condiciones detrimentales - que afecten peligrosamente la cama de apoyo y el relleno - de acostillado.

Para prevenir tales riesgos es, a veces, necesario realizar un verdadero drenaje del fondo de la zanja (fig. 3.9). En tal caso los tubos se colocan sobre cama de piedra triturada.



RELLENO A GRANEL

El relleno se completa acabando de llenar la zanja con el material excavado no clasificado.

Salvo indicaciones específicas, este relleno no se compacta.

El material debe ser descargado en la zanja en forma progresiva sobre el tubo para evitar los efectos dinámicos de cargas importantes cayendo sobre la tubería.

RELLENO EN DOS ETAPAS

Las tres fases de relleno antes indicadas son ejecutadas sucesivamente cuando se rellena la zanja inmediatamente después del tendido.

En el caso de requerirse que las juntas permanezcan expuestas hasta la prueba hidráulica de la línea, se efectuará inmediatamente después del tendido:

- El relleno de acostillado
- La parte del relleno apisonado
- La parte del relleno con material de excavación dejando un camellón sobre cada tubo.

Estos camellones están destinados a lastrar los tubos y represar escurrimientos de agua en la zanja en caso de temporal o de inundación.

En los cruces con posibles cursos de escurrimientos, los camellones se continuarán hasta cubrir dos.

3.5.4 Protección contra las aguas

. FLOTAMIENTO DE TUBOS

Todas las tuberías vacías flotan en una zanja inundada, - aún las más pequeñas de diámetro: 750 mm. Además, los tu bos a partir del diámetro 1500 mm., aún llenos de agua, - pueden llegar a flotar en fango o barro fluido.

De ahí la necesidad imperativa de serias medidas de protec ción contra las aguas, desde la excavación hasta el relle no completo de la zanja.

. AGUAS SUPERFICIALES

La zanja abierta debe ser protegida contra la inundación - de aguas corrientes por todos los medios adecuados:

- Canalización, represado o desvío de los cauces
- Defensas de tierra o cunetas cuando las pendientes trans versales son desfavorables.
- Tapones no excavados en la zanja.

Al terminar el relleno, el exceso del excavado constituye un cordón más o menos contín uo en forma de camellón sobre la línea. Es necesario dejar espacios abiertos en este ca mellón para evitar la acumulación de aguas corrientes y la erosión o ablandamiento del relleno.

. AGUAS SUBTERRANEAS

En los terrenos acuíferos la zanja no debe excavarse más - que con un mín imo de antelación previo a la instalación.

3.6 COLOCACIÓN DE LA TUBERÍA

Suele pensarse que esta es la fase más importante del proceso de instalación. Sin embargo, es altamente dependiente de los anteriormente presentados trabajos preparatorios de la zanja, para que pueda llevarse a cabo sin incurrir en los altos costos de corrección que se mencionaron; por otra parte, para poder asegurar que la instalación es adecuada para funcionamiento y durabilidad, resultan no menos importantes los trabajos de protección de tubería y relleno de la zanja, que también se mencionaron en los subcapítulos anteriores. En adelante se presentan los procedimientos de colocación en condiciones normales, en zanja. No se mencionan los casos de piezas especiales, reducciones o ampliaciones, uniones con estructuras de alivio, casas de bombas, y demás.

3.6.1 ORGANIZACION Y RESPONSABILIDADES

Según la magnitud de la obra, es necesario que en la organización de los trabajos se asignen claramente las responsabilidades de:

- Trazo geométrico (suele darlo la dependencia contratante).
- Confección de la cama de apoyo
- Colocación propiamente dicha (descenso-enchufe-prueba de junta).
- Relleno de acostillado
- Relleno apisonado y camellones
- Prueba de la línea y relleno final

En todo momento, el jefe de instalación debe asegurarse que:

- El estacado de referencia esté correcto.
- El acomodo de tubos recibidos sea correcto y que corresponden a la clase, diámetro y cantidad necesarios.
- La cama de apoyo esté debidamente confeccionada.

3.6.2 GEOMETRIA DEL TRAZO

INCLINACION DEL PERFIL

Para la evacuación del aire y el buen funcionamiento de una línea en concreto pretensado, la inclinación, en el sentido de escurrimiento del agua debe ser:

- El descenso, superior a 4 al millar (4 mm/m)
- En ascenso, superior a 1 al millar (1 mm/m)

Cuando el perfil se aproxima más a la horizontal, el colocador debe acentuar su rigor sobre la calidad del trabajo.

ESTACADO

El estacado paralelo al borde de la zanja es, en general, suficiente. En el caso de tendido en terreno muy accidentado con curvas altimétricas próximas (cruce de un barranco) es deseable proceder al estacado en el fondo de la zanja.

RADIO DE CURVAS

De acuerdo con la calidad del terreno, los desplazamientos pue

den tener, cuando mucho, los valores de la siguiente tabla. -
 Esto deja una flexibilidad de movimiento de la conducción la cual es una calidad esencial:

DIAMETRO NOMINAL	Deflexión Angular 2/3		Radio m.	Deflexión Angular /2		Radio m.
	Deflexión Minutos	Deflexión lineal mm.		Deflexión Minutos	Deflexión lineal mm.	
750	70	15.7	344	52	11.6	462
900	67	17.9	359	50	13.4	482
1000	63	18.7	382	48	14.2	501
1100	60	19.5	401	45	15.6	535
1200	57	20.2	422	42	14.9	573
1300	57	21.9	422	42	16.1	573
1400	53	21.9	453	40	16.5	602
1500	50	22.1	482	37	16.6	642
1600	46	21.8	523	35	16.5	688
1700	43	21.5	560	32	16.2	742
1800	40	21.1	602	30	15.9	802
1900	40	22.3	602	30	16.8	802
2000	37	21.7	650	27	15.9	891
2100	33	20.3	729	25	15.4	962

En lo que concierne al radio, es necesario precisar que el valor del mismo se aplica a la curva resultante. Frecuentemente la curvatura resulta de dos curvas:

- Una planimétrica, de radio R_h
- Otra alimétrica, de radio R_v

El radio resultante tiene el valor R_r

Si el proyecto especifica radios de curvatura insuficientes o cambios de pendiente excesivos, el jefe de colocación no debe vacilar en pedir una rectificación del trazo o de las terraces.

3.6.3 MANEJO

La colocación normal puede ser efectuada por:

- Grúa
- Tractor con grúa lateral
- Grúa de pórtico
- Trípode

Quando la máquina de excavación es una pala mecánica equipada con retro-excavador y de suficiente capacidad, es posible igualmente utilizarla como grúa, suspendiendo el tubo del brazo de la cuchara. En este caso la zanja se excava estrictamente por largos necesarios al descenso en zanja de un tubo, el cual va quedando instalado inmediatamente.

El manejo del tubo se asegura con cinchos o eslingas preformadas de cable grueso para evitar maltrato al revestimiento. Para el buen equilibrio del tubo y facilidad de manejo, el gancho de levantamiento es del tipo simétrico doble.

3.6.4 SENTIDO DE COLOCACION-PENDIENTES

En colocación normal, el extremo del tubo a colocar se introduce en la campana (enchufe) del tubo anteriormente colocado. El proceso inverso es posible, sin embargo.

El trabajo más fácil consiste en que el progreso del tendido sea ascendente. En tal caso el peso del tubo ayuda al enchufe. Se sabe de tubería colocada en una pendiente de hasta 47% en subida.

Cuando el tendido progresa en descenso las pendientes de hasta 12% aproximadamente no crean problemas si el fondo de la zanja no es resbaloso. Para pendientes superiores a 12% hay que tomar precauciones especiales para anclar provisionalmente los tubos hasta la terminación del tendido del tramo con pendiente.

3.6.5 DESCENSO EN LA ZANJA

El tubo se baja a la zanja después de:

- Inspeccionar visualmente y comprobar su clase
- Verificación de la cama de apoyo

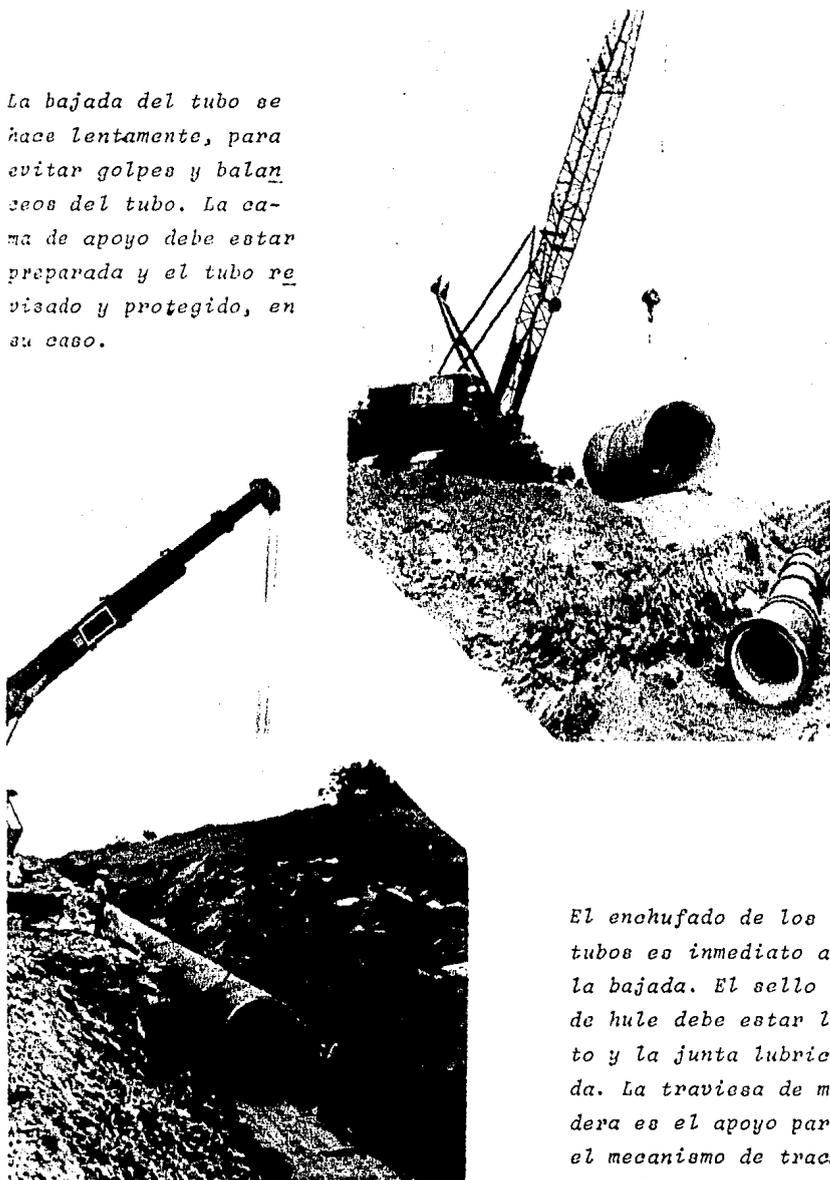
El artefacto de colocación -grúa o tractor- se aproxima lo más cerca del punto de colocación y lo más próximo al borde de la zanja teniendo en cuenta la naturaleza del terreno.

La bajada se hace lentamente para evitar los golpes y balanceos del tubo. Lo colocación final puede corregirse utilizando un polipasto a cable tensado.

3.6.6 PREPARACION DE LA JUNTA

La preparación de la junta implica las siguientes operaciones:

La bajada del tubo se hace lentamente, para evitar golpes y balanceos del tubo. La cámara de apoyo debe estar preparada y el tubo revisado y protegido, en su caso.



El enchufado de los tubos es inmediato a la bajada. El sello de hule debe estar listo y la junta lubricada. La traviesa de madera es el apoyo para el mecanismo de tracción interna.

- a) Selección y verificación del anillo
- b) Cuidadosa limpieza del extremo macho
- c) Inserción del anillo en la ranura del extremo macho contra el respaldo de concreto.
- d) Lubricación de la parte exterior del anillo
- e) Cuidadosa limpieza del enchufe hembra (campana)
- f) Lubricación del enchufe hembra

Las operaciones b), c) y d) pueden ser efectuadas antes del descenso del tubo a la zanja, en el caso de instalación usual, que consiste en presentar el extremo macho ante el enchufe (campana) del tubo ya colocado.

3.6.7 LUBRICACION

La lubricación se hace:

- Con jabón vegetal, producto industrial no cáustico.
- Con glicerina grafitada:
 - 1/3 grafito natural, amorfo y puro
 - 2/3 glicerina industrial de 80% glycerol

3.6.8 ENCHUFE

El proceso habitual empieza en el descenso del tubo; se acomoda una eslinga en el centro de gravedad del tubo, se levanta un poco para colocar el anillo de sellamiento dentro de la ranura del extremo macho y para lubricar el interior de la campana; se ha-

ce descender el tubo hasta llegar a la altura del extremo macho del último tubo instalado en zanja, dos tubos atrás del cual es tará provisto en su interior de un madero transversal, como - muestra la Figura 3.11 que servirá como apoyo para el mecanismo de tracción.

Se aproxima el tubo a instalar hacia el extremo del tubo ya ins talado, hasta que el anillo de hule haga contacto en toda su - circunferencia y se verifique que ambos tubos están en el mismo eje; esta inspección antes del enchufe tiene mucha importancia, ya que en la marcha de las operaciones posteriores se evitarán pérdidas de tiempo.

Se coloca el aparato de tracción sujeto entre el madero ya descrito y otro madero que se colocará atravesado en la campana del tubo a instalar, como muestra la Figura 3.11.

La tracción se hace pausadamente, interrumpiéndose cuando se - lleva la mitad del camino por recorrer, para verificar la perfecta colocación del anillo de hule dentro de la ranura correspondiente. Es suficiente hacer esta operación en forma manual, verificándose que existe perfecto contacto del anillo con el contorno interior de la campana. Suele usarse un escantillón.

Finalmente, se hace llegar el tubo hasta su posición final, o - sea dejando un espacio entre el extremo macho y el interior de la campana (10 mm); cuando se necesita dar una deflexión, se pro cederá a retroceder una distancia adecuada, se efectúa la deflexión y se verifican en el interior las medidas correctas de los juegos entre macho y campana para la deflexión que se está ejecutando.

Hasta este momento podrá soltarse la suspensión de la grúa o - polipasto y retirar la eslinga, verificando que el tubo esté en

la cota prevista y apoyado en toda su longitud y que no se desplazó por efecto de tracción en el eje longitudinal; si hubo algún desplazamiento, manténgase de nuevo tensado el cable del aparato de tracción y efectúese un relleno apisonado corrigiendo el desplazamiento y logrando ésto, se afloja de nuevo la tensión y se prepara una nueva operación de acoplamiento.

Cuando la pendiente de la conducción es muy grande, la instalación podrá hacerse como sigue:

Los tubos serán depositados en un punto alto; se instala una -vía de 60 cms. en el fondo de la zanja, por donde serán deslizados, teniendo las campanas adecuadamente orientadas, hacia abajo, los tubos montados sobre unos carros que se sustentarán con un cable operado con un malacate situado en la parte alta, para regular el deslizamiento; estos carros serán de altura regulable, para poder hacer el acoplamiento.

El procedimiento de enchufe se hará como ya se ha indicado; el juego que se deja entre macho y campana deberá rellenarse con mortero seco, para evitar el deslizamiento de los tubos hacia abajo.

Todos los útiles que ejerzan esfuerzos sobre el tubo deben ser siempre de madera o revestidos de madera o hule.

3.6.9 DISPOSITIVO DE TRACCION

El dispositivo de tracción normalmente es:

- . Exterior, para tubos 750 y 900 (Fig. 3.10)
- . Interior, para tubos 1000 y más (Fig. 3.11)

En uno y otro caso, la reacción debe ser tomada (aplicada) so
bre el tercer tubo hacia atrás del frente de colocación.

3.6.10 EMPUJE DE ENCHUFADO

El esfuerzo de tracción puede ser obtenido por diversos artefactos:

- . Gato hidráulico de doble efecto
- . Tensor de cable (Tirfor)
- . Polipasto de palanca (Pull-lift)
- . Poleas de engranes

El dispositivo puede ser de cuerda o cable simple o con aparejo de poleas.

FIG. 3.10 ENCHUFADO DE TUBOS
DISPOSITIVO DE TRACCION EXTERIOR

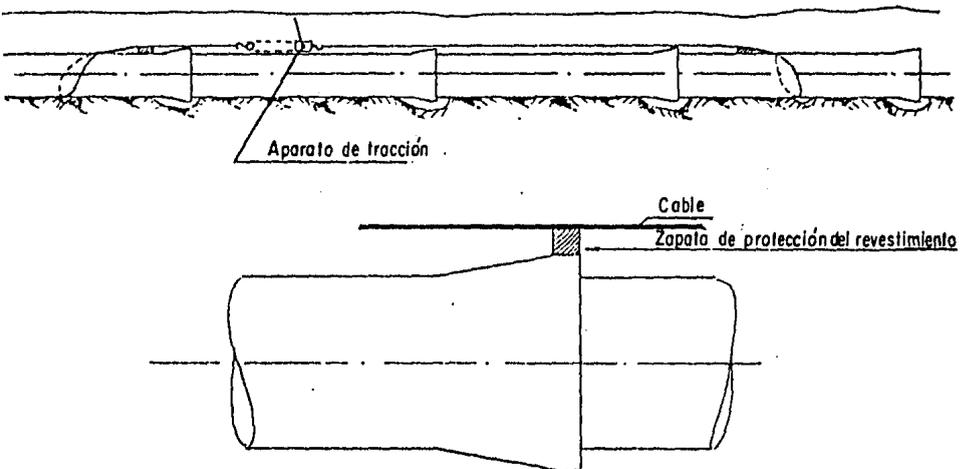
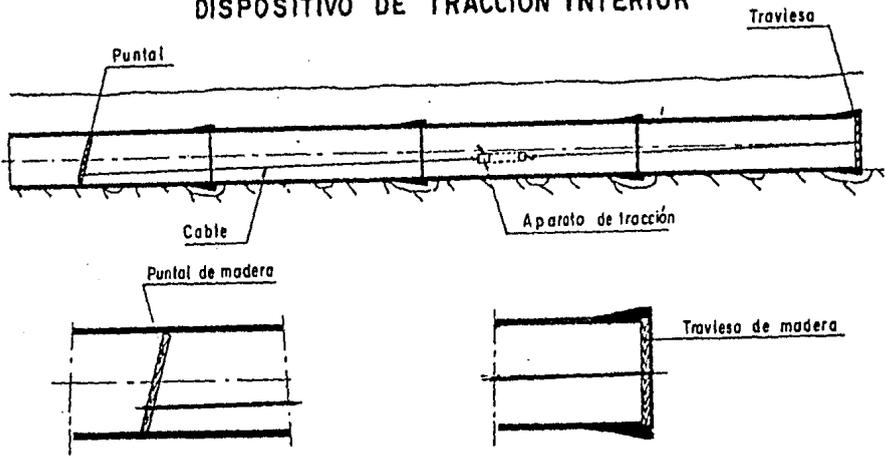
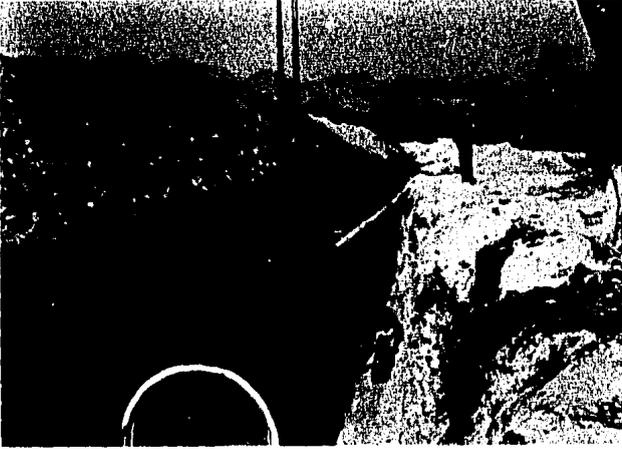
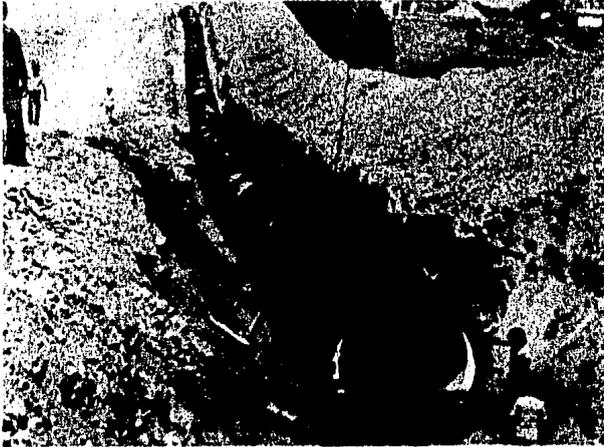


FIG. 3.II ENCHUFADO DE TUBOS
DISPOSITIVO DE TRACCION INTERIOR





El enchufe de tubos con dispositivo de tracción interior requiere apoyo de la grúa.



Se requiere un trabajo cuidadoso para lograr - las curvas verticales y la alineación horizontal sin que ocurran fugas en las juntas.

En todos los casos, la capacidad mínima debe estar de acuerdo con la siguiente tabla:

Diámetro Nominal	Fuerza en Toneladas	Diámetro Nominal	Fuerza en Toneladas
750	3.75	1500	7.50
900	4.50	1600	8.00
1000	5.00	1700	8.50
1100	5.50	1800	9.00
1200	6.00	1900	9.50
1300	6.50	2000	10.00
1400	7.00	2100	10.50

3.6.11 JUEGO ENTRE TUBOS

Los tubos standard están previstos para un largo útil teórico de 7000 mm. dejando un cierto juego nominal entre tubos.

El colocador no debe tener en cuenta esta holgura nominal teórica sino enchufar la junta a tope con un esfuerzo sensiblemente igual a la fuerza indicada en la tabla precedente.

Una junta están enchufada a tope cuando el tubo recula ligeramente por el efecto elástico del hule cuando cesa el esfuerzo de enchufe y el cable del dispositivo de tracción queda flojo.

El juego entre tubos puede reducirse sin inconveniente a 5 mm. Por el contrario el juego máximo debe dejar el anillo de hule suficientemente protegido en el interior del enchufe (campana). Por tanto, la tabla siguiente indica las tolerancias, así como

la "máxima deflexión" referida al lado abierto de una junta - entre dos tubos con deflexión angular al máximo permitido:

DIAMETRO NOMINAL	J U E G O E N M M .		
	MINIMO	NOMINAL	MAXIMO ALINEAMIENTO O MAXIMA DEFLEXION
750-1100	5	10	24
1200-1400	5	10	30
1500-1600	5	10	33
1700-1800	5	10	35
1900-2100	5	10	38

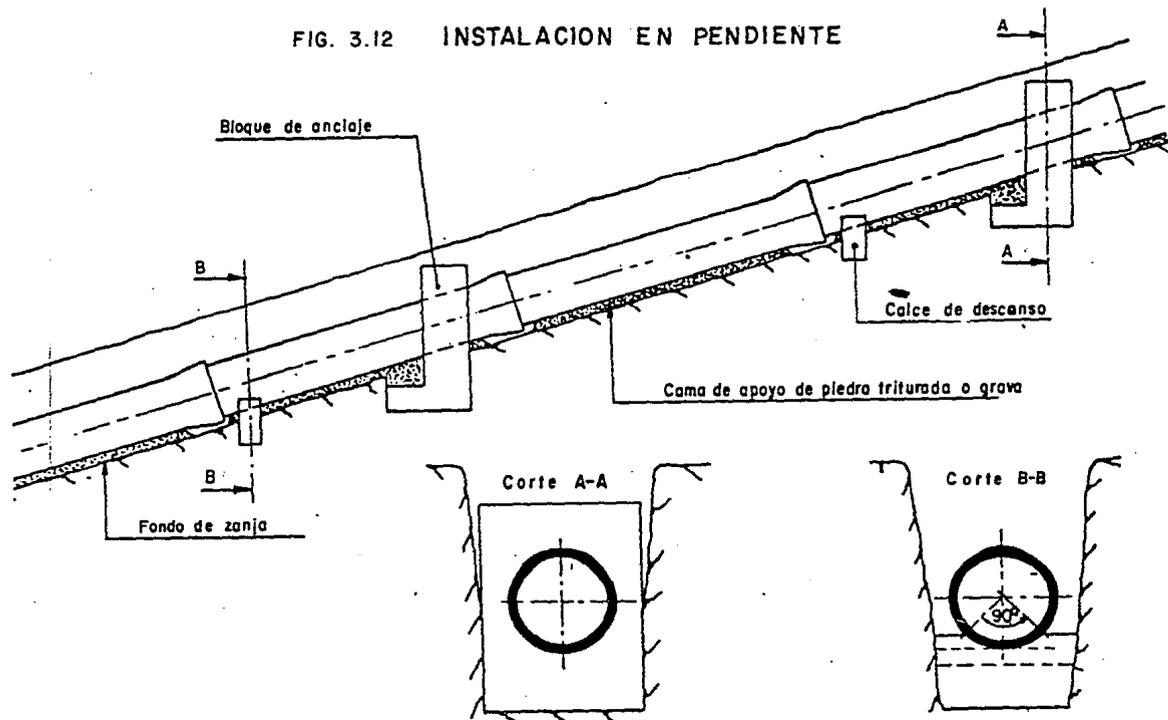
Cuando el juego alcanza el valor mínimo de 5mm. antes del enchufe a tope, el tubo en proceso de colocación debe ser retirado, el anillo de hule removido y:

- . Ser reemplazado por un anillo super grueso
- . Ser vuelto a colocar sobre una liga que cubra el fondo de la ranura del extremo macho.

Debe hacerse notar que la liga al igual que el anillo normal - debe encajarse en su lugar con un alargamiento de 20% en relación a su estado sin estiramiento en reposo.

Para permitir al jefe colocador un rápido control visual desde el exterior, es deseable que los tubos lleguen de fábrica con una marca sobre el extremo macho, indicando la proyección y el alineamiento de la cara exterior de la campana para el juego nominal.

FIG. 3.12 INSTALACION EN PENDIENTE

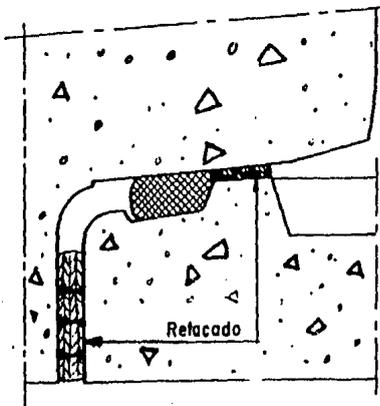


DIAMETRO NOMINAL	DISTANCIA CM.	DIAMETRO NOMINAL	DISTANCIA CM.
750- 900	13	1500-1600	16
1000-1100	13	1700-1800	17.5
1200-1400	15	1900-2100	19

3.6.12 PROTECCION DE LAS JUNTAS

En las condiciones habituales, el juego entre tubos, de uno y otro lado del anillo de hule permanece estático sin relleno, si bien algunos pliegos de especificaciones requieren un relleno de mástic bituminoso. Las condiciones peculiares de colocación en pendiente conducen a efectuar un retacado interior del espacio entre tubos. El material utilizado generalmente es un cordón de fibra que no se pudra (estopa alquitronada o asbesto).

En el caso de líneas de impulsión, sometidas a golpes de ariete que provoquen un vacío importante en el interior de los tubos, es deseable proceder desde la ejecución del enchufe a un calafateo del juego en el enchufe (Fig. 3.13).



Este retaque o calafateo actúa como filtro en relación con los elementos finos del relleno que podrían ser aspirados a causa de un vacío excepcional en la línea y perjudicarían la estanqueidad de la junta.

En forma accesoria, el retaque contribuye al centrado de la junta.

3.6.13 PEQUEÑAS OBRAS

En todo lo posible es preciso evitar que las pequeñas obras de concreto constituyan un condicionamiento para la instalación. Es también necesario evitar que las obras carguen sobre la línea. Las obras más usuales son cajas de ventosas y cajas de desfogues.

3.6.14 JUNTAS MECANICAS

La fijación sin precauciones de una junta mecánica puede acercar los dos elementos que une y provocar el desenchufe de las juntas adyacentes.

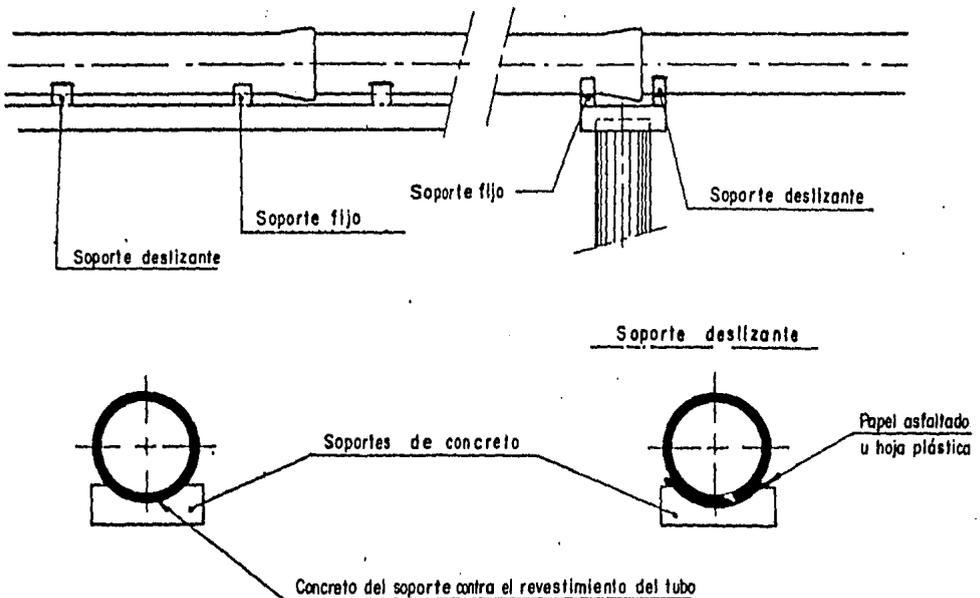
En servicio, una junta mecánica recibe, en general, un empuje hidráulico inferior al empuje sobre una junta de campana. Un elemento tubular comprendido entre una junta de campana y una junta mecánica tiene pues una tendencia a desplazarse.

Salvo casos particulares (juntas de dilatación) conviene bloquear las juntas mecánicas, al menos temporalmente.

3.6.15 COLOCACION AEREA

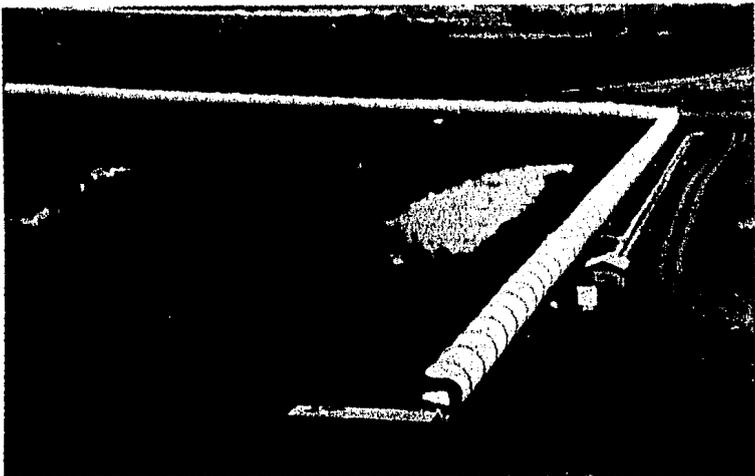
Aún cuando no es parte de esta tesis, por no ser un caso en el Acueducto Linares-Monterrey, es interesante tomar en cuenta que hay ocasiones en que la tubería debe ir aérea, sea por el cruce de un barranco, sea porque los suelos son muy agresivos (químicamente) y amenazan de corrosión al acero pretensado atacando al revestimiento de concreto, sea porque los suelos tienen muy poca capacidad de carga en profundidades normales de colocación y se requiere darle apoyo a los tubos con pilotes apoyados en capas resistentes más profundas. La Figura 3.14 ilustran los casos y se incluyen fotografías de un caso reciente en Altamina, Tams., en el cual participó el sustentante de la tesis.

FIG. 3.14 TUBOS AEREOS HORIZONTALES



Un caso de colocación aérea de tubería presforzada (en silletas de concreto).

El acueducto que abastece al Puerto Industrial de Altamira, Tamps. en el cual participó también el sustentante de la tesis.



CAPITULO IV

PRUEBA Y PUESTA EN MARCHA DE LAS TUBERIAS

Las tuberías son probadas en fábrica a presión interna. La prueba en zanja es una verificación suplementaria para asegurar el correcto funcionamiento de la conducción. Además de la prueba de juntas, debe realizarse una prueba de la línea ya colocada, que es la importante.

Los pasos subsecuentes que deberán efectuarse para la prueba de línea son los siguientes:

1. Llenar la conducción lentamente, purgando el aire que pudiera alojarse.
2. Levantar la presión desde el punto más bajo del tramo que se va a probar, a 2 Kg/cm^2 , dejando esta presión una semana como mínimo a fin de permitir el colmatado de la tubería.

3. Se purgará de nuevo el aire que pudiese tener y se procederá a levantar de nuevo presión hasta la carga prevista, - anotándose hora y cantidad de agua inyectada.

Con la válvula cerrada, la presión bajará por la absorción del concreto y por las fugas de la conducción; déjese bajar la presión a 1 Kg/cm^2 , e inyéctese de nuevo agua hasta restablecer la presión fijada inicialmente; anótese de nuevo la hora y la cantidad de agua inyectada; la diferencia con la lectura anterior dará la pérdida de agua en un lapso determinado, permitiendo de esta forma calcular la pérdida teórica en 24 horas.

Cuando las pérdidas de agua están dentro de la tolerancia, la prueba es satisfactoria.

4. Prueba en 24 horas: concluida la prueba anterior, deberá permanecer el manómetro con la presión sostenida durante - 24 horas al término de las cuales se inyectará y medirá el agua necesaria para reponer las pérdidas que acusa el manómetro al establecer la presión de prueba inicialmente admitida; esta cantidad de agua deberá ser igual o inferior - en 24 horas al $1/1000$ del volumen de la tubería

Adelante se detallan los procedimientos para ambas pruebas y, en la parte final del capítulo, se refiere la puesta en marcha de la tubería ya terminada.

4.1 PRUEBA INDIVIDUAL DE JUNTAS

La estanqueidad de las juntas puede ser verificada por -

prueba individual a baja presión (2 bars) (un bar = 1.01 kg/cm² aprox.). La prueba por un dispositivo según Fig. puede ser efectuada:

- Sobre un tramo terminado para detectar una fuga cuando el interior de la tubería es accesible.
- Para probar las juntas inmediatamente después de su colocación.

En este último caso la máquina de prueba debe avanzar al mismo tiempo que la colocación y afectar la tercera junta hacia atrás del frente de instalación. En efecto, la presión de 2 bars, - ejerce sobre los tubos un empuje axial de acuerdo con la siguiente tabla, empuje que podría provocar el desenchufe de las juntas, en ausencia de fricción suficiente de los tubos sobre la cama de apoyo.

DIAMETRO NOMINAL	EMPUJE Kg.	DIAMETRO NOMINAL	EMPUJE Kg.
750	4,600	1500	12,760
900	5,940	1600	14,130
1000	6,910	1700	15,565
1100	7,950	1800	17,130
1200	9,050	1900	18,700
1300	10,225	2000	20,335
1400	11,460	2100	22,040

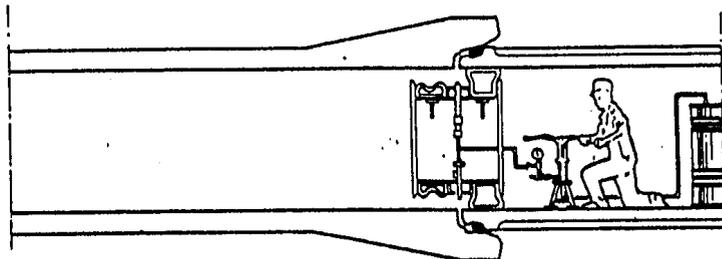
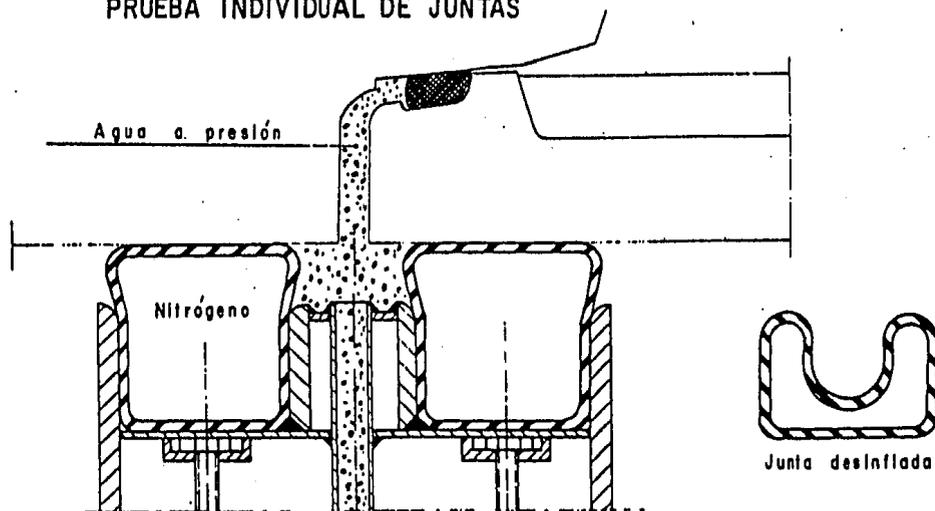


FIG. 4.1
PRUEBA INDIVIDUAL DE JUNTAS



La prueba de juntas no puede efectuarse sobre todas ellas, - pues la máquina no actúa en codos y debe -por tanto- ser retirada 3 tubos antes de cualquier codo.

Por otra parte su manejo es difícil cuando la línea tiene una inclinación apreciable.

Finalmente, la prueba constata la estanqueidad de una junta - en un momento dado, en general inmediatamente después de la - colocación y antes del relleno; de ahí que sea el relleno sin precaución o asentamiento excesivo de una cama de apoyo mal preparada lo que cauce el movimiento de las juntas y las fugas.

El empleo sistemático del aparato de prueba de las juntas no puede por tanto garantizar la estanqueidad de la conducción y no sirve para paliar los defectos de una instalación descuidada.

4.2 LLENADO Y PRUEBA DE LA LÍNEA

4.2.1 LLENADO PROGRESIVO

Jamás se insistirá bastante sobre la conveniencia de un llenado lento y progresivo de la conducción, comenzado -tan pronto sea posible- después de la colocación.

- . El concreto de los tubos, parcialmente seco antes de la colocación, recuperado de su contracción, mejora sus características mecánicas y de impermeabilidad.
- . El aire en la línea, en particular el confinado en las - juntas, se evacúa lenta y completamente.

- . La cama de apoyo se carga y asienta progresivamente.
- . La estabilidad de la conducción se mejora frente a los riesgos de flotación en caso de inundación de la zanja.
- . La capacidad requerida a los equipos de relleno (conexiones, bomba) se minimiza.
- . Las juntas con fugas pueden ser descubiertas a tiempo.
- . La prueba de la conducción puede ser ejecutada poco después de la instalación, lo que reduce el lapso de recepción y puesta en servicio.

4.2.2 TRAMOS DE PRUEBA

Las pruebas hidráulicas pueden ser efectuadas:

- : Entre válvulas de seccionamiento o entre atraques provisionales.
- : Sobre conducción no equipada taponada o -de preferencia- sobre conducción completamente equipada (ventosas, desfogues.
- : Sobre conducción parcial o completamente cubierta (pero es deseable dejar las juntas al descubierto).

El largo de los tramos es pues muy variable en función de las características de la conducción y de circunstancias muy diversas. Sin embargo, conviene seccionar suficientemente para descubrir a tiempo los eventuales defectos:

- : Fugas en juntas
- : Atraques o anclajes insuficientes

- : Válvulas no herméticas
- : Ventosas defectuosas, etc.

De acuerdo con nuestra experiencia el largo de los tramos ha variado de 500 m a 10 kms. la medida usual está comprendida entre 2 y 3 kms.

El seccionamiento debe igualmente tener en cuenta la distribución de las presiones de prueba cuando la línea hidráulica no es horizontal. En tal caso, es preciso comprobar que ningún tubo del tramo esté sometido a una presión superior a la que pueda soportar. (Fig. 4.2).

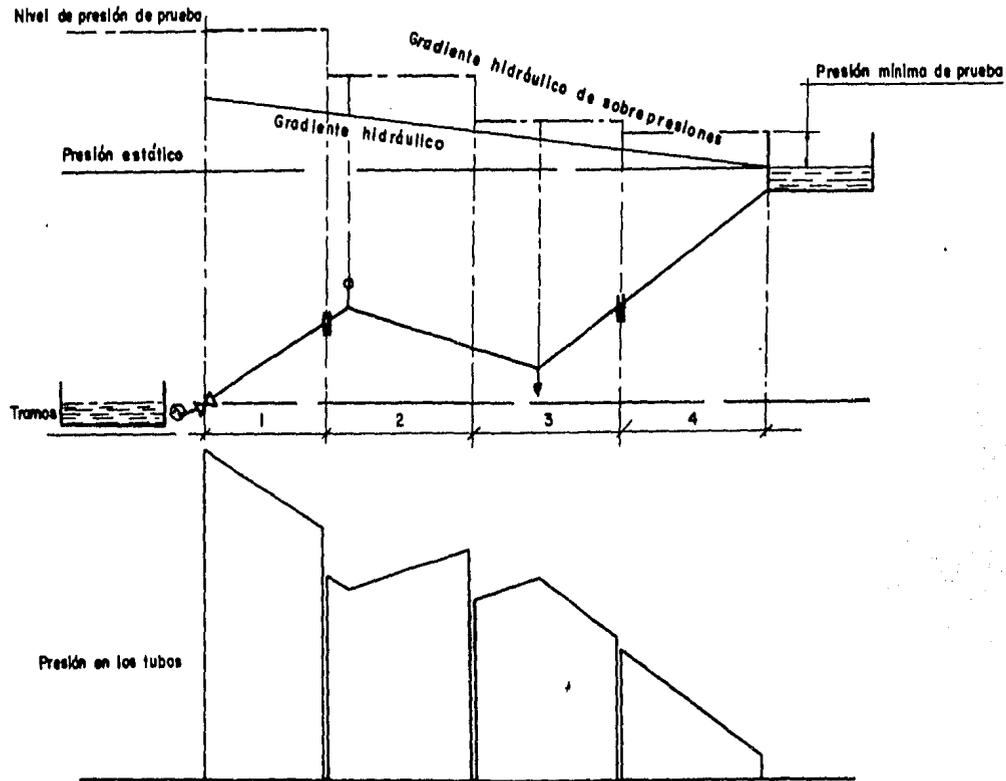
4.2.3 PRESION Y DURACION DE LA PRUEBA

La presión de prueba está precisada en el proyecto pero es oportuno mencionar los siguientes puntos:

- : Una presión de prueba más alta que la máxima presión de servicio incrementa la cantidad de concreto de las obras de atraques y anclajes.
- : Determinar la presión de prueba multiplicando la presión de servicio por un coeficiente constante (por ejemplo - 1.25) es irracional. En efecto, el coeficiente de seguridad podría ser excesivo para los tubos de clases de presión elevadas y -al mismo tiempo- insuficiente para los tubos de clases de baja presión.

En nuestra opinión la prueba debe realizarse en dos etapas, bajo dos diferentes presiones:

FIG. 4.2 TRAMOS DE PRUEBA - LINEA DE IMPULSION



a) Prueba de estabilidad de la línea

Es una prueba de corta duración a presión lo más próxima posible de la máxima de servicio. El valor de esta presión máxima de servicio tiene en cuenta las sobrepresiones estimadas de acuerdo con un serio estudio hidráulico en función de los dispositivos de protección previstos. La duración de esta prueba debe ser lo justamente suficiente para permitir recorrer el tramo y comprobar la ausencia de anormalidades.

b) Prueba de estanqueidad de la conducción

Prueba de más larga duración, a presión estática (o la presión más cercana posible de la presión máxima en régimen de escurrimiento permanente).

Esta prueba tiene por objeto medir la cantidad de agua a inyectar en la conducción para mantener la presión constante.

La prueba dura normalmente 24 horas en una línea no rellenada a fin de eliminar el efecto de las variaciones de temperatura en el curso de una jornada. Su duración puede ser reducida en el caso de una línea tapada a partir del momento donde la tasa de pérdidas se mantiene constante o regularmente decreciente.

4.2.4 CONDICIONES DE PRUEBA

La prueba de estanqueidad no alcanza su plena significación si no se produce después de:

- : Purga completa de aire en la línea
- : Saturación integral de agua en el concreto

Estas dos condiciones suponen que la línea ha sido:

- : Llenada lentamente
- : Mantenido llena por un período de una a tres semanas.

LLENADO DE LA CONDUCCION

Como ya se dijo, el llenado debe ser tan lento como sea posible, En caso de llenado rápido, conviene adoptar una tasa muy moderada.

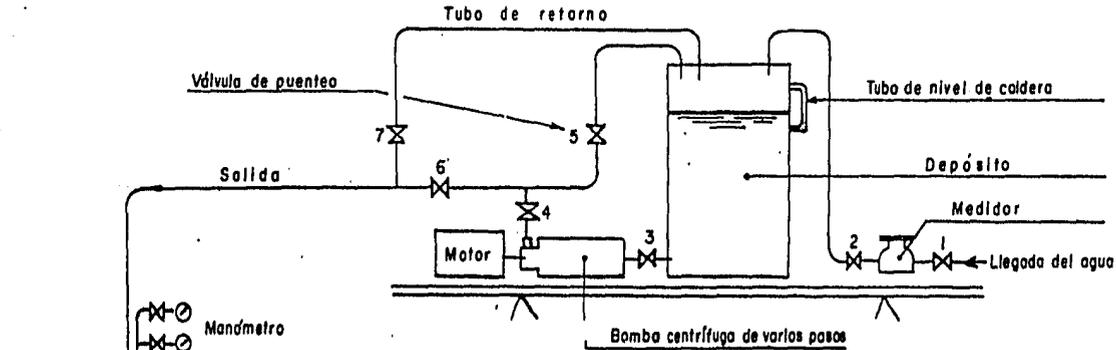
Como regla práctica puede decirse que la tasa de llenado no debe exceder del 6% del escurrimiento normal de la línea.

Para fijar el valor de la máxima tasa de llenado, consideramos - una velocidad de escurrimiento nominal de 1.50 metros por segundo y obtenemos la siguiente tabla:

DIAMETRO NOMINAL	Litros / Segundo	
	Escurrecimiento Nominal	Maximo de Llenado
750	662	40
900	954	60
1000	1178	73
1100	1425	85
1200	1696	102
1300	1991	120
1400	2309	140
1500	2651	160
1600	3016	180
1700	3405	205
1800	3817	230
1900	4253	255
2000	4712	285
2100	5195	315

FIG. 4.3

ESTACION DE PRUEBA



VALVULAS

- 1.- Bloqueo del medidor
- 2.- Rellenado del depósito
- 3.- Alimentación de la bomba de alta presión
- 4.- Descarga de la bomba
- 5.- Punteo de la bomba
- 6.- Alimentación de la conducción
- 7.- Retorno de la conducción

Relleno del depósito: 1 y 2 abiertos; 3 cerrada

Inyección en la línea: 3 y 6 abiertos; 4 y 5 maniobradas para mantener presión constante
7 cerrada

Extracción de agua de la línea: 6 cerrada; 7 maniobrada para mantener presión constante

PURGA DE AIRE

A medida que el llenado alcanza los puntos altos de la conducción, el personal encargado de las pruebas debe purgar cuidadosamente el aire de las tuberías:

- . Sea comprobado el buen funcionamiento de las ventosas "in situ".
- . Sea maniobrando las llaves de purga cuando las ventosas están reemplazadas provisionalmente por salidas tubulares.

COLMATADO

El colmatado es el período de empape de agua sobre el concreto -parcialmente desecado, para hacerle volver lentamente a un estado de saturación.

El personal no prevenido puede sorprenderse de las cantidades de agua absorbidas por una conducción en proceso colmatado.

Para dar una evaluación indicativa de esta cantidad, se necesita precisar que el concreto del tubo primario si estuviera completamente seco, para ser saturado de nuevo debería absorber una cantidad de agua igual a 3.50% aproximadamente del peso del concreto seco.

Suponiendo que el colmatado requiera 1.50% del peso del concreto, se establece la siguiente tabla:

Lo que vuelve a replantear que el colmatado puede absorber del orden de 1% del volumen de la conducción o -todavía- del orden de 1% por día.

DIAMETRO NOMINAL	TUBO SERIE NORMAL		TUBO SERIE REFORZADA	
	Volumen de la conducción m ³ /Km.	Colmatado m ³ /Km.	Volumen de la conducción m ³ /Km.	Colmatado m ³ /Km.
750	465	5.310	442	6.510
900	665	7.720	636	8.970
1000	817	9.120	785	10.695
1100	985	11.100	950	12.505
1200	1167	12.900	1130	14.325
1300	1368	14.865	1327	16.515
1400	1584	16.905	1539	18.705
1500	1815	19.320	1767	21.120
1600	2061	21.570	2010	23.670
1700	2323	24.210	2270	26.310
1800	2601	27.000	2545	29.475
1900	2895	29.940	2835	33.090
2000	3205	33.030	3142	36.780
2100	3530	35.520	3464	39.720

PERMEABILIDAD

El concreto centrifugado a pesar de su alta compacidad, presenta aún cierta permeabilidad.

Suponiendo el colmatado absolutamente terminado, la presión de prueba provocaría una débil filtración que iría disminuyendo con el tiempo.

Para estimar el valor de esta filtración o percolación, consideramos solamente el concreto primario, admitiendo:

- . Una permeabilidad aparente de 10^{-10} cm/s
- . Una presión de prueba de 10 kg/cm²
ó 10^4 cm de columna de agua

- . Una duración de 24 horas ó 8.64×10^4 segundos
- . Un tramo de 1 kilómetro

La pérdida de percolación se expresa por:

e : espesor primario en cm

S : superficie inferior en cm^2 de ducto por km.

$$S = \pi \times D \text{ cm}^3 \times 10^5$$

ENTONCES: $Q \text{ cm}^3 = 0.27 \times 10^5 \text{ D/e}$

O BIEN: $Q \text{ litros} = 27 \text{ D/e}$

De aquí las siguientes tablas:

SERIE NORMAL

DIAMETRO NOMINAL	DIAMETRO (D) cm.	ESPESOR (e) cm.	D/e	PERDIDA lt/Km.	VOLUMEN CONDUCCION $\text{m}^3/\text{Km}.$	PERDIDAS VOLUMEN %
750	77	4.75	16.21	438	465	0.94
900	92	5.5	16.73	452	665	0.68
1000	102	6.0	17.00	459	817	0.56
1100	112	6.5	17.23	465	985	0.47
1200	122	7.0	17.42	470	1167	0.40
1300	132	7.5	17.60	475	1368	0.35
1400	142	8.0	17.75	479	1584	0.30
1500	152	8.5	17.88	483	1815	0.27
1600	162	9.0	18.00	486	2061	0.24
1700	172	9.5	18.10	489	2323	0.21
1800	182	10.0	18.20	491	2601	0.19
1900	192	10.5	18.28	493	2895	0.17
2000	202	11.0	18.36	496	3205	0.15
2100	212	11.5	18.43	498	3530	0.14

SERIE REFORZADA

DIAMETRO NOMINAL	DIAMETRO (D) cm.	ESPESOR (e) cm.	D/e	PERDIDA lt/Km.	VOLUMEN CONDUCCION m ³ /Km.	PERDIDAS VOLUMEN %
750	75	5.75	13.04	352	442	0.80
900	90	6.5	13.85	374	636	0.59
1000	100	7.0	14.28	386	785	0.49
1100	110	7.5	14.67	396	950	0.42
1200	120	8.0	15.00	405	1130	0.35
1300	130	8.5	15.29	413	1327	0.31
1400	140	9.0	15.55	420	1539	0.27
1500	150	9.5	15.79	426	1767	0.24
1600	160	10.0	16.00	432	2010	0.21
1700	170	10.5	16.19	437	2270	0.19
1800	180	11.0	16.36	442	2545	0.17
1900	190	11.5	16.52	446	2835	0.16
2000	200	12.0	16.67	450	3142	0.14
2100	210	12.5	16.80	454	3464	0.13

CRITERIO DE RECEPCION

En el momento de la prueba de conducción, la pérdida registrada en 24 horas depende:

- . Del grado de saturación (colmatado)
- . De la evacuación del aire confinado en las juntas
- . De la permeabilidad del concreto

La pérdida debe disminuir con el tiempo.

La experiencia permite considerar en forma simple que la conducción es aceptable cuando la pérdida en 24 horas es inferior al 1/1000 del volumen de la conducción. De donde se deriva el criterio de recepción:

DIAMETRO NOMINAL	PERDIDA TOLERABLE EN 24 HORAS (lts./Km.)	
	SERIE NORMAL	SERIE REFORZADA
750	465	442
900	665	636
1000	817	785
1100	985	950
1200	1167	1130
1300	1368	1327
1400	1584	1539
1500	1815	1767
1600	2061	2010
1700	2323	2270
1800	2601	2545
1900	2895	2835
2000	3205	3142
2100	3520	3464

Puede observarse que:

- . Este criterio es más favorable a tubos de gran diámetro
- . Las pérdidas reales observadas después del colmatado decrecen hacia valores muy inferiores, del orden de 1/3000 a los 6 meses de servicios (en 24 h.) y 1/10000 a los 2 años de servicios (en 24 h.).

PROCESO DE LA PRUEBA

En la prueba de un tramo se procederá como sigue:

- . Llenando tan lento como sea posible (tasa máxima correspondiente a un llenado de 0.25 metros de conducción por segundo).
- . Purga cuidadosa de aire
- . Lento levantamiento de la presión hasta la presión de prueba de estanqueidad
 - Examen de la conducción y atraques
 - Medición oficiosa de pérdidas
- . Elevación progresiva de la presión hasta la máxima de prueba de estabilidad.
 - Examen del comportamiento de atraques

Baja lenta de la presión hasta la correspondiente a prueba de estanqueidad

- . Prueba oficial de estanqueidad en 24 horas
 - Mantemiento de la presión
 - Medición de pérdidas
- . Recepción del tramo cuando la pérdida en 24 horas es inferior al 1/1000 del volumen del tramo.

4.2.5 MATERIAL DE PRUEBA

Los extremos de la conducción son obturados con tapas de placa de acero herméticas con salidas tubulares:

- . De llenado
- . De purga de aire
- . De subida de presión

El llenado, efectuado -dentro de lo posible- durante la colocación se completa:

- . Por bomba o por conexión de una línea de presión existente.
- . Por tapones de las extremidades
- . Por conexión a una pieza tubular

El puesto de prueba se conectará a una pieza tubular en un punto fácilmente accesible de la conducción:

El puesto de prueba contará esencialmente con:

- . Una bomba de alta presión
- . Un dispositivo de medición

La figura 36 representa una instalación sencilla.

4.2.6 ATRAQUES DE PRUEBA

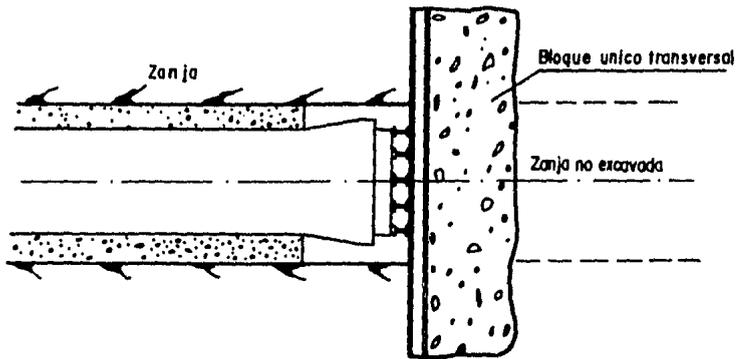
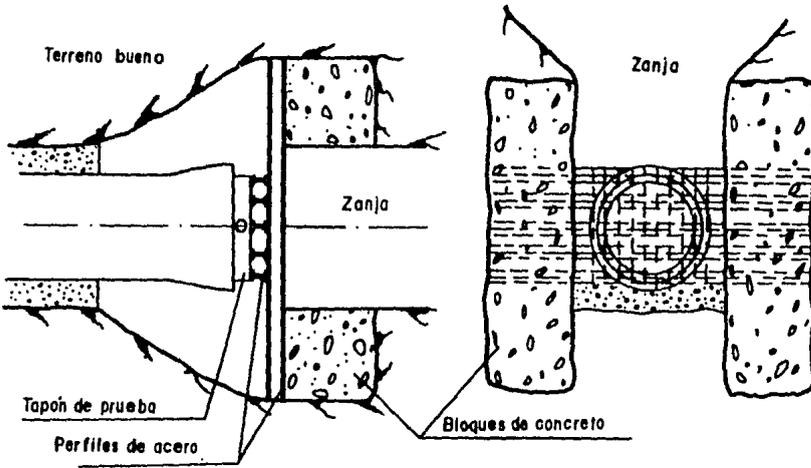
Los tapones finales de un tramo de prueba pueden ser atracados - contra el terreno o contra los terrenos vecinos.

ATRAQUES CONTRA EL TERRENO

Las figuras siguientes esquematizan dos casos de atraque contra el terreno.

La superficie de apoyo debe ser calculada de acuerdo con el empuje y la capacidad de reacción del terreno.

FIGS. 4.4y4.5 ATRAQUES DE PRUEBA



DIAMETRO NOMINAL	DIAMETRO EXTERIOR JUNTA GOMA	Empuje en kg. para presión de 10 Kg.cm ²		
		Nominal		sobretapones de prueba
		Serie Normal	Serie Reforzada	
750	925	46 750	44 180	67 200
900	1090	66 480	63 620	93 310
1000	1200	81 710	78 540	113 090
1100	1310	98 520	95 030	134 780
1200	1420.6	116 700	113 090	158 500
1300	1530.6	136 850	132 730	184 000
1400	1640.6	158 370	153 940	211 400
1500	1750.8	181 450	176 720	240 750
1600	1860.8	206 120	201 060	271 950
1700	1971.2	232 350	227 000	305 180
1800	2081.2	260 150	254 170	340 190
1900	2191.6	289 530	283 530	377 230
2000	2301.6	320 470	314 460	416 060
2100	2411.6	353 000	346 360	456 770

ATRAQUES CONTRA TRAMOS VECINOS

El atraque contra el terreno es el dispositivo habitual. Sin embargo, es posible atracar el tramo ensayado contra los tramos vecinos.

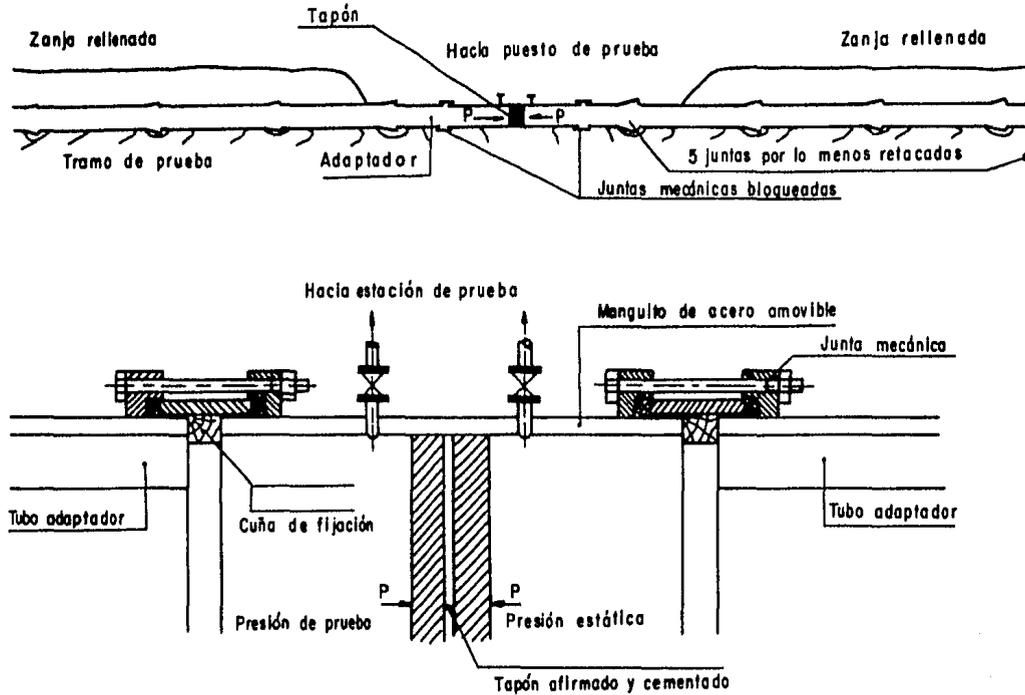
Este sistema ha sido utilizado en particular para conducciones recubiertas y que incluyan elementos desmontables.

La Fig. 4.6 representa el sistema de mamparo de atraque utilizado.

En tal caso se recomienda retacar el hueco de las juntas entre tubos por lo menos en 5 juntas de una y otra parte del mamparo.

FIG. 4.6

PRUEBAS-TAPONAMIENTO DE UNA CONDUCCION



Como ya se ha dicho, el retacado debe hacerse con un producto - fibroso imputrescible (cordel o cáñamo alquitranado, cuerda de asbesto).

4.2.7 CASO PARTICULAR DE AGUAS BLANDAS

Las aguas blandas o poco mineralizadas exigen precauciones especiales.

El colmatado debe ser particularmente lento y progresivo, de ahí la necesidad imperativa de un llenado de la conducción siguiendo de cerca la colocación.

Las líneas aéreas de conducción transportando aguas blandas pueden dar lugar a filtraciones, sin peligro si las aguas no son agresivas pero da una impresión desagradable.

Para tales cruces aéreos, conviene proceder como sigue:

- . Elegir tubos de calidad irreprochable
- . Mantener estos tubos húmedos hasta el momento de colocación.
- . Llenarlos inmediatamente después de colocados con agua - adicionada de silicato de sodio.
- . Subir la presión muy progresivamente
- . Observar un mantenimiento de presión (condición estable) si aparecen filtraciones.
- . Aumentar la presión solamente cuando las filtraciones se hayan secado.

C A P I T U L O V

PROCEDIMIENTOS DE CONSTRUCCION DE PLANTAS DE BOMBEO

El desnivel estático del Sistema es de 255.76 m que al incrementarse con las pérdidas de fricción se tienen 455.60 m de carga para gasto máximo del acueducto.

Para vencer esa carga se consideraron inicialmente cinco plantas de bombeo, que hubo que cambiar a seis plantas para reducir la altura de una de las torres de oscilación que presenta problemas geológicos para su cimentación. Las características de las 6 plantas son las siguientes:

	PB1	PB2	PB2A	PB3	PB4	PB5	TOTAL
Número de Bombas	4	5	5	5	6	6	31
Gasto de diseño (m ³ /s)	8	10	10	10	12	12	
Carga de diseño (m)	80	62	62	62	52	72	390
Potencia KW	7640	7100	7100	7100	7140	10200	46280

5.1 ARREGLO FUNCIONAL

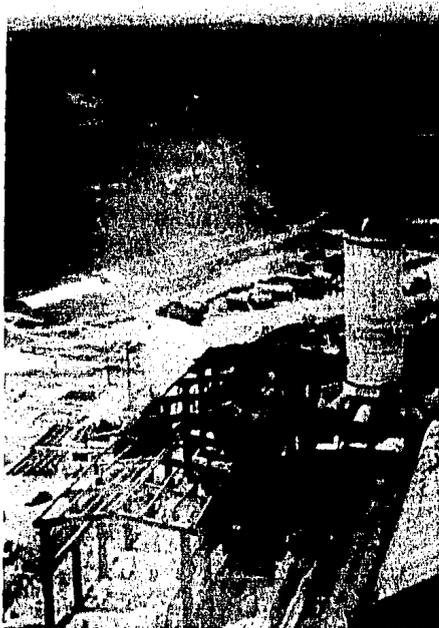
Los arreglos generales de cada una de las plantas de bombeo se presentan en las láminas respectivas.

Cada planta de bombeo se conforma con los siguientes elementos principales:

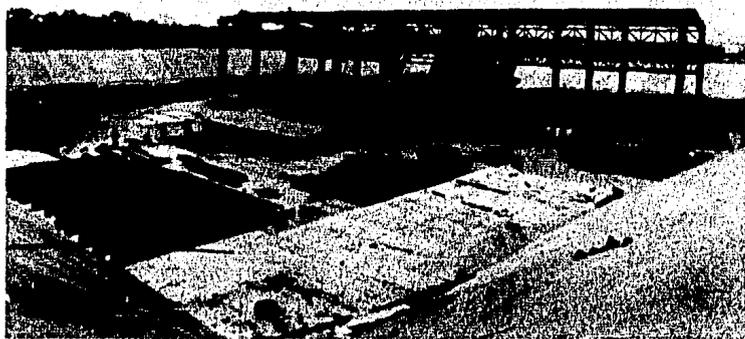
- Casa de Máquinas
- Taller
- Controles
- Subestación
- Patio de Maniobras
- Acceso

La casa de máquinas, el taller y el edificio de controles se integraron en una misma estructura.

Con el objeto de reducir el claro transversal, los múltiples de succión y descarga se dejaron fuera del edificio, además las sa



*Las plantas de
bombeo números
4 y 5 en plena
construcción.*



lidas de los múltiples son a 45° y antes de entrar a la casa de máquinas se tienen otros codos a 45° , de tal forma que el eje de cada módulo de bomba queda normal a los múltiples y ésto reduce aún más las dimensiones del edificio. Dentro de la casa de máquinas se tienen las válvulas, bombas y motores.

Se tienen módulos para cada uno de los equipos de bombeo, los módulos se dimensionaron en función del tamaño de los equipos y de las maniobras de montaje y mantenimiento de los mismos; se tiene un pasillo pegado al límite del edificio de todo lo largo de la casa de máquinas y a un nivel superior, el cual - permite fácil acceso a través de escaleras y se tienen a la - vista a todos los equipos.

El edificio de controles se tiene anexo a la casa de máquinas en uno de sus extremos; tiene cuatro niveles denominados de abajo hacia arriba: cables, arrancadores controles y servicios. Se tiene acceso físico y visual hacia el taller y a la casa de máquinas.

El taller se tiene en la cabecera de la casa de máquinas como un módulo más de la estructura.

El edificio de controles es de mayor 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.

El patio de maniobras tiene por objeto dar el espacio para el movimiento de vehículos encargados de transportar equipos y materiales de las plantas de bombeo durante el montaje, reparación o mantenimiento.

El acceso a las plantas de bombeo es a través del camino de -

construcción y operación.

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

Las estructuras complementarias para el buen funcionamiento de las plantas de bombeo son:

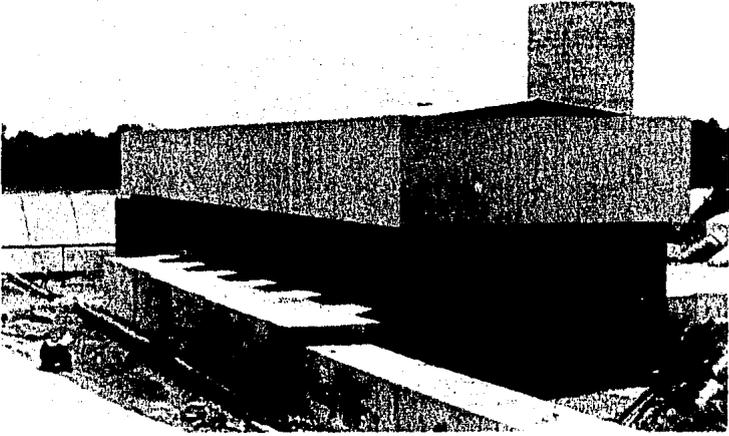
- Tanque de Regulación
- Torre de Sumergencia
- Tanque Unidireccional
- Torre de Oscilación

Tanques de Regulación se tienen en las Plantas de Bombeo 2A y 3; su objetivo es permitir que se puedan operar separadamente hasta cierto punto dos plantas contiguas, es decir no es necesaria una operación tan estrechamente coordinada entre dos plantas adyacentes, ya que la diferencia de gastos entre ellas se puede regular en esos tanques.

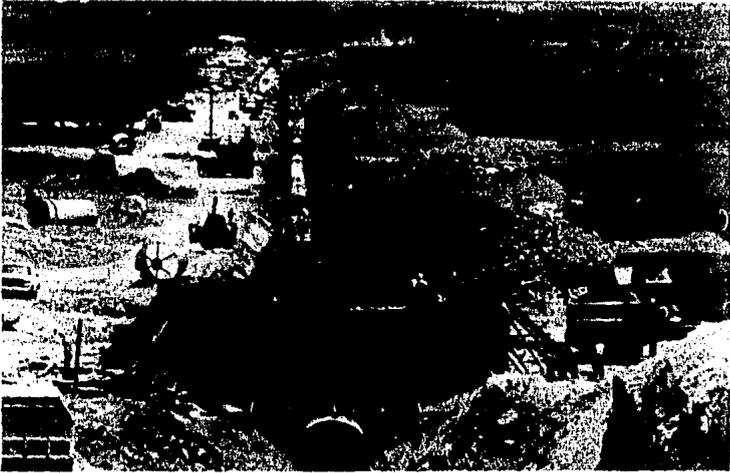
Los tanques de Sumergencia permiten almacenar o alimentar pequeños volúmenes de agua que sirven para aliviar sobrepresiones o subpresiones en la línea de succión de las bombas, su conexión al acueducto no presenta restricciones ni de entrada ni de salida.

Los Tanques Unidireccionales sirven para alimentar agua al acueducto cuando es necesario para aliviar bajas de presión en un punto.

Las Torres de Oscilación funcionan en las líneas de descarga de las bombas, de igual manera que los tanques de sumergencia en la succión.



Aspecto exterior de la planta de bombeo No.5.



Un tramo de muy alta presión, con tubería de acero, entre una planta de bombeo y una torre de oscilación (al frente).

5.2 TERRACERÍAS

Para definir las terracerías de las plantas de bombeo se tomaron en consideración las áreas y niveles que se requerían para alojar los elementos de arreglo de conjunto, la topografía de detalle y las características del suelo de cada sitio, lo cual define los taludes particulares con que se pueden diseñar las trazas de excavación.

Tratando de agrupar por tipos de topografía se puede decir que se tiene terreno plano en las plantas de bombeo 1, 2 y 5; terreno en ladera en la 2A y 3; y de pie de ladera en la 4.

Se consideraron drenes perimetrales para proteger las excavaciones de los escurrimientos de aguas pluviales; para las aguas pluviales del interior se tienen también drenes.

5.3 PROYECTO MECANICO

Tomando en cuenta los gastos del Sistema, se decidió modular las plantas de bombeo en equipos de $2 \text{ m}^3/\text{s}$, al definir las cargas que se tienen en cada una de las plantas de bombeo se observó que lo más conveniente es que fueran equipos horizontales.

Para definir el arreglo más adecuado, se analizaron diferentes alternativas en configuración, tipo de múltiples, fontanería y edificios.

El esquema de múltiples seleccionado consiste en múltiples telescópicos con ramales a 45° y codos adicionales en los ramales para quedar con los ramales a 90° de los múltiples.

En los ramales de succión de cada bomba se tienen válvulas de seccionamiento de mariposa y junta Dresser para proteger equipos y tuberías de cambios de temperatura y vibraciones.

Las bombas son accionadas por motores eléctricos y tienen - 2 m³/s de capacidad, son de un paso, doble succión y carcasa bipartida horizontalmente.

En los ramales de descarga se tienen válvulas de control esféricas y junta Dresser, adicionalmente en las plantas de bombeo 4 y 5 se tienen válvulas de mariposa para el seccionamiento.

Se instalaron acoplamientos especiales para conectar los ramales con la succión y descarga de las bombas, dado que los diámetros son diferentes.

5.4 PROYECTO ELECTRICO

La alimentación eléctrica al Sistema se tiene por dos lados para darle una mayor confiabilidad, el voltaje de las líneas es en 115 Kv; los equipos de bombeo son accionados por motores eléctricos, del tipo inducción jaula de ardilla, con voltaje de operación de 4.16 Kv en todas las plantas de bombeo, por lo cual se tienen subestaciones para bajar la tensión

En todas las plantas de bombeo se incluyen: tablero en 41.6 Kv, tablero en 440/220/127 v, distribución eléctrica de fuerza y red de tierras.

Los dos tipos de tableros se encuentran en el nivel de arranques y operan en un sistema de 60 Hz.

Todas las instalaciones eléctricas dentro de la casa de máquinas se encuentran visibles y sobrepuestas con el objeto de simplificar su operación y mantenimiento, para llevar los alimentadores de los tableros a los equipos se utilizan charolas de aluminio y en donde se requirió se utilizó tubería conduit de fierro galvanizado, pared gruesa.

Los cables que alimentan los equipos son de un calibre tal que permiten una caída de tensión máxima de 3%.

La red de tierras tiene dos mallas, una abarcará la casa de máquinas y la otra estará bajo el área que ocupa la subestación eléctrica. Estas dos mallas están interconectadas entre sí.

Se tienen conectados a tierra todos los elementos que integran la subestación, así como los centros de control, motores, múltiples y en general todo el equipo eléctrico.

5.5 PROYECTO DE INSTALACIONES

Para proyectar las instalaciones hidráulicas y sanitarias se consideró que se tienen 15 operarios por turno y 10 operarios en la caseta de vigilancia.

Para las instalaciones de agua potable se tiene la alimentación mediante una derivación de 8" del múltiple de succión, - siendo la distribución por gravedad y se tiene un tinaco en la parte alta.

Para la descarga de las aguas negras se consideró una fosa sép

tica prefabricada de asbesto-cemento y un pozo de absorción construido a base de tabiques en posición alternada para permitir la filtración del líquido.

El Sistema de desalojo de aguas pluviales consiste en coladeras en las azoteas, canalones de lámina longitudinales a ambos lados del edificio, bajadas de fierro fundido y canales para sacar el agua de la zona de la planta.

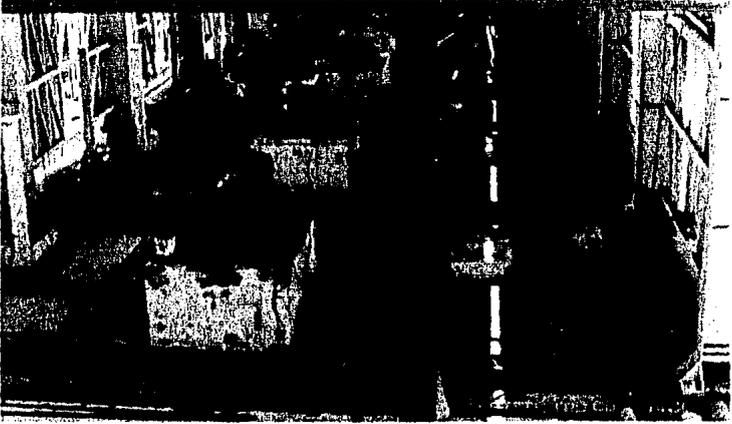
En el alumbrado, tanto interior como exterior, se tienen luminarias de vapor de mercurio y de vapor de sodio, alta presión. Los niveles de iluminación impartidos son los recomendados por la Sociedad Mexicana de Ingenieros de Iluminación.

En todo el alumbrado exterior se utilizaron luminarios tipo punta de poste, excepto en la fachada del edificio en donde se tienen reflectores, dispuestos a lo largo de los atraques de los múltiples.

La planta cuenta con un sistema de corriente directa para los equipos que lo requieran tal como: equipo de subestación, alumbrado de emergencia y la unidad terminal remota.

El sistema corriente directa es un banco de baterías a 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.

El alumbrado de emergencia puede alimentarse del rectificador si hay energía o de las baterías en caso de falla.



Interior de una planta de bombeo durante la construcción (arriba) y durante la instalación de las bombas y los controles (abajo).



5.6 SUBESTACION

La tensión de las dos líneas de las que se conecta el Sistema son en 115 Kv por lo cual las subestaciones son para bajar de esa tensión a 4.16 Kv que es el voltaje de los motores de los equipos de bombeo.

Las subestaciones son de tipo convencional es decir a la intemperie, con transformadores sumergidos en aceite, con enfriamiento OA-FA, y con la capacidad requerida en cada planta.

5.7 PROYECTO ESTRUCTURAL

El edificio de la casa de máquinas es con estructura metálica, con cubierta de elementos prefabricados tipo siporex. Se tiene un claro de 13 m en sentido transversal y a lo largo claros de 8 m en número variable dependiendo de la planta de bombeo de que se trate.

Se tiene una junta de contracción que divide la casa de máquinas en dos cuerpos independientes desde el punto de vista estructural, para evitar esfuerzos excesivos por cambios de temperatura.

El edificio de controles también se estructuró en acero.

La cimentación de todo el conjunto es con zapatas corridas con contratraveses.

Las cargas que se tomaron para el análisis fueron la carga muera

ta, una carga viva de 70 Kg/m^2 , la fuerza debida al viento, tanto en sentido longitudinal como transversal y las fuerzas producidas por la grúa.

El análisis y diseño se realizó siguiendo las recomendaciones del Manual de Diseño de Obras Civiles de la CFE, el ACI y - AISC.

Con base en los datos del fabricante de las bombas y motores, EBARA, se resolvió la cimentación de éstos como una cimentación de tipo masivo. Se realizó un análisis estático y un análisis dinámico del conjunto máquina-cimentación-suelo, calculando las frecuencias de vibración del conjunto y verificando que no coincidieran con las de los equipos.

En los múltiples se tienen atraques para soportar las fuerzas de empuje por cambio de sección y dirección.

CAPITULO VI

CONCLUSIONES

De acuerdo con los propósitos de esta tesis, las principales conclusiones son:

6.1 SOBRE LA CONCEPCIÓN, ANÁLISIS Y SELECCION DEL PROYECTO DE SOLUCIÓN.

El sistema Linares-Monterrey es, actualmente, el proyecto de conducción más grande de Latinoamérica. Se escogió como alternativa de entre varias opciones de solución para el abastecimiento de agua para la ciudad de Monterrey. La concepción, los anteproyectos y los análisis técnico y económico de las opciones fueron todos realizados por ingenieros y otros profesionales mexicanos. En

los criterios de análisis y selección fueron determinantes las condicionantes constructivas del proyecto.

6.2 SOBRE EL PROYECTO DEFINITIVO

Todo detalle del diseño de ingeniería hidráulica, estructural, - electromecánica, y demás disciplinas que involucra el proyecto, fué resuelto por profesionales y técnicos mexicanos. Señala ésto un punto de avance pues fué necesario hacer planteamientos - teóricos nunca antes aplicados en ninguna otra obra. Se utilizaron modelos computarizados para analizar la operación del sistema ante muy diversas posibles condiciones.

6.3 SOBRE LA CONSTRUCCIÓN MISMA

- No se requirió ningún equipo sofisticado ni, mucho menos, - de diseño especial para el caso.

Todas las condiciones de suelos y topografía fueron resueltas oportuna y acertadamente, no habiéndose registrado ningún caso de falla del diseño final.

- En ocasión de presentarse lluvias extraordinarias en la región, se tuvo el efecto de flotación de tuberías en varios tramos cortos de curva vertical, sin graves consecuencias. La mayor parte de los tubos pudieron recuperarse sin daño y se comprobó que no era económico tomar medidas preventivas más severas, cuyo costo hubiera sido varios cientos de veces mayor al de los daños.

6.4 SOBRE LA ADMINISTRACIÓN DEL PROYECTO

- Para la SARH, el proyecto representó un esfuerzo concentrado que requería personal altamente capacitado y en número suficiente para atender a detalle la realización de la obra en 120 Km de longitud. Esto pudo lograrse efectivamente, cuando el propio Subdirector General de la Dirección General de Captaciones y Conducciones se hizo cargo de la administración General del Proyecto.
- Los requerimientos de celeridad de trámite en generar estimaciones y, sobre todo, en su pago, fueron cumplidos en alto grado y fueron el factor clave para lograr la continuidad y la intensidad de realización de obra, amén de los resultados económicos tan favorables. Esta experiencia debiera aprovecharse para promover una modificación en los procedimientos administrativos del Sector Público en otras obras.

6.5 SOBRE LA FABRICACIÓN DE LA TUBERÍA

- Los rechazos de tubería no fueron significativos. Las dos técnicas de fabricación de tubería de concreto presforzado están completamente dominadas por los fabricantes nacionales. Previendo que este tipo de obras seguirá siendo importante en el futuro de México, es posible pensar en estimular a dichos fabricantes a realizar investigación aplicada nacional, que permita evitar la dependencia de esa tecnología extranjera y, probablemente, lograr una reducción de costos.