



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

División de Ingeniería Civil, Topográfica y Geodésica

*"CONTROL DE LOS TRANSITORIOS HIDRÁULICOS EN EL
ACUEDUCTO GONZÁLEZ ORTEGA II - UCUM II - CHETUMAL,
QUINTANA ROO"*

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL
PRESENTA :

JOSÉ ARTURO SÁNCHEZ HUERTA

DIRECTOR : M en I ALEJANDRO SÁNCHEZ HUERTA

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

MARZO DE 1998

29.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
60-1-161/97

Señor
JOSE ARTURO SANCHEZ HUERTA
Presente

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

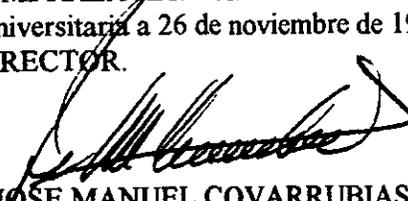
**"CONTROL DE LOS TRANSITORIOS HIDRAULICOS EN EL ACUEDUCTO GONZALEZ ORTEGA II
- UCUM II - CHETUMAL, QUINTANA ROO"**

- I. ANTECEDENTES
- II. DESCRIPCION GENERAL DEL ACUEDUCTO GONZALEZ ORTEGA II - UCUM II - CHETUMAL, QUINTANA ROO
- III. MEDICIONES EN CAMPO
- IV. ANALISIS HIDRAULICO PARA EL CONTROL DE TRANSITORIOS
- V. DIMENSIONAMIENTO DE LOS DISPOSITIVOS PARA EL CONTROL DE LOS TRANSITORIOS HIDRAULICOS
- VI. ESTUDIO DE MECANICA DE SUELOS PARA LA CIMENTACION DE LOS DISPOSITIVOS DE CONTROL
- VII. DISEÑO ESTRUCTURAL DE LOS DISPOSITIVOS DE CONTROL.
- VIII. CONCLUSIONES

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

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

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria a 26 de noviembre de 1997.
EL DIRECTOR.


ING. JOSE MANUEL COVARRUBIAS SOLIS

JMCS/GMP*lmf

RESUMEN

El acueducto *González Ortega II - Ucum II*, situado en la ciudad de Chetumal, Quintana Roo, ha presentado una serie de roturas en la tubería de polietileno de alta densidad ubicada aguas abajo de la planta de bombeo Ucum II.

El problema de rotura de tuberías en el acueducto está asociado, en gran medida, a las fuertes depresiones y sobrepresiones a las que se somete la línea de conducción luego del paro de emergencia de los equipos de bombeo.

Este trabajo analiza y propone algunos dispositivos para controlar y proteger adecuadamente al acueducto. Los análisis hidráulicos, estudios de mecánica de suelos y criterios de diseño estructural requeridos para la elaboración de los proyectos ejecutivos correspondientes, son el principal contenido del presente trabajo.

DEDICATORIA

Quiero agradecer a mis padres por darme la vida y enseñarme a ser un hombre de bien. A mis hermanos por ser un verdadero ejemplo para mi superación.

A todos aquellos que siempre creyeron que podría llegar a dar este pequeño paso, que me animaron y me impulsaron a seguir adelante. A ti.

Y sobre todo a Dios, porque me ha dado salud ha pesar de tantos contratiempos.

ÍNDICE

Resumen	II
Dedicatoria	III
Agradecimientos	IV
Índice	V
Introducción	1
Antecedentes	3
I. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ACUEDUCTO G.O. II - UCUM II - CHETUMAL, QUINTANA ROO	5
I.1 Rebombeo González Ortega II	5
I.2 Rebombeo Ucum II	6
II. MEDICIONES EN CAMPO	9
II.1 Descripción de los equipos de medición	9
II.1.1 Manómetro de tubo de Bourdón	10
II.1.2 Medidores Annubar	11
II.1.3 Tubo Pitot	14
II.2 Mediciones en flujo establecido para determinación de coeficientes de pérdida de carga	15
III. ANÁLISIS HIDRÁULICO PARA EL CONTROL DE TRANSITORIOS	22
III.1 Análisis en flujo establecido	22
III.2 Análisis en flujo transitorio	32

III.2.1	Parámetros para los análisis en flujo transitorio	32
III.2.2	Transitorio en el Rebombero González Ortega II	35
III.2.3	Transitorio en el Rebombero Ucum II	41
IV.	DIMENSIONAMIENTO DE LOS DISPOSITIVOS PARA EL CONTROL DE TRANSITORIOS HIDRÁULICOS	43
IV.1	Descripción y funcionamiento de los dispositivos para el control de transitorios hidráulicos	43
IV.1.1	Tanque de Oscilación	43
IV.1.2	Tanque Unidireccional	44
IV.1.3	Cámara de aire o Tanque Hidroneumático	44
IV.2	Análisis de alternativas para el control de transitorios	45
IV.3	Dimensionamiento de los dispositivos seleccionados	46
V.	ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS PARA LA CIMENTACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS DE CONTROL	54
V.1	Investigación del subsuelo	55
V.2	Estratigrafía y Propiedades	57
V.2.1	Ejido González Ortega (sondeo S-1)	57
V.2.2	Planta de bombeo Ucum II (sondeo S-2)	58
V.2.3	Lugar identificado como Km 21 (sondeo S-3)	58
V.2.4	Coefficiente sísmico	58
V.3	Análisis de la cimentación	59
V.3.1	Ejido González Ortega (sondeo S-1)	59
V.3.2	Planta de bombeo Ucum II (sondeo S-2)	60
V.3.3	Lugar identificado como Km 21 (sondeo S-3)	61

VI. DISEÑO ESTRUCTURAL DE LOS DISPOSITIVOS DE CONTROL	63
VI.1 Tanque Unidireccional	63
VI.1.1 Condiciones de carga en el tanque Unidireccional	63
VI.1.2 Criterio de diseño	64
VI.2 Cámaras de aire	64
VI.2.1 Cálculo de espesores	64
VI.2.1.1 Espesor del recipiente	65
VI.2.1.2 Espesor de la tapa y fondo hemisféricos	65
VI.2.2 Soldaduras en la tapa hemisféricas	65
VI.2.3 Soldaduras en el cuerpo de la cámara	66
VI.2.4 Estructura de soporte para las cámaras de aire	66
VI.3 Tanque de Cambio de Régimen (TCR)	66
VI.3.1 Condiciones de carga en el TCR	67
VI.3.2 Criterio de diseño	67
VII. CONCLUSIONES	68
BIBLIOGRAFÍA	71
ANEXO A FOTOGRAFÍAS	73
ANEXO B PLANOS. ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS	80
ANEXO C PLANO GENERAL Y PLANOS DE DISPOSITIVOS DE CONTROL	87

INTRODUCCIÓN

En la República Mexicana existen acueductos de gran importancia, tanto por su longitud como por su enorme capacidad de abastecimiento. El gran compromiso y trabajo que representa dotar a las poblaciones de agua potable, hace que cuando se está diseñando un acueducto se puedan descuidar aspectos esenciales, como lo es el proteger adecuadamente al sistema de posibles fenómenos transitorios, haciendo posteriormente más costosa la instalación de dispositivos de control. Tal es el caso del Acueducto González Ortega II - Ucum II - Chetumal, Quintana Roo, motivo del presente trabajo.

En el capítulo I se hace una descripción general de las principales características del acueducto, dividido en dos tramos: el Rebombero González Ortega II - Ucum II y el Rebombero Ucum II - Tanque Bachilleres.

Con el fin de determinar el coeficiente de pérdida de carga en ambos tramos de rebombero, en el capítulo II se exponen los resultados obtenidos en las mediciones de campo para flujo establecido. También se realiza la descripción de los equipos de medición y se hace una breve explicación de su funcionamiento y manejo.

En el capítulo III se muestra el análisis hidráulico para el control de transitorios. En primera instancia, se presenta el análisis en flujo establecido para la operación de los dos tramos del acueducto con el funcionamiento de 1, 2 y 3 equipos de bombeo. Se presentan los análisis en flujo transitorio para la condición de paro simultáneo de tres equipos de bombeo en ambos tramos del acueducto, indicando los parámetros que se utilizan en cada caso. Finalmente, se propone la instalación de un tanque unidireccional en el tramo Rebombero González Ortega II - Ucum II, y de un tanque de cambio de régimen, en el tramo Ucum II - Tanques Bachilleres.

Con base en los resultados obtenidos en los capítulos II y III, en el capítulo IV se realiza el dimensionamiento de los dispositivos para el control de transitorios hidráulicos. Primero se

ANTECEDENTES

La Ciudad de Chetumal, Estado de Quintana Roo, cuenta actualmente con tres acueductos para el abastecimiento de agua potable. El más reciente presenta como fuente de captación la zona de pozos denominada González Ortega II, y se ubica a unos 38 kilómetros al suroeste de la localidad.

Para transportar el agua a la Ciudad de Campeche, este acueducto cuenta con dos plantas de rebombeo denominadas González Ortega II (G.O. II) y Ucum II, permitiendo bombear ambas un gasto de 340 lps. La zona donde se ubican los pozos tienen mayor elevación que los tanques de entrega (Tanques Bachilleres), por lo que la carga que proporcionan las plantas de rebombeo se agrega al desnivel estático para vencer las pérdidas de carga en la conducción.

La primera planta de rebombeo G.O. II cuenta con cuatro equipos instalados (3 están en operación normal y uno para respaldo) y la segunda, el rebombeo Ucum II, suma tres equipos instalados (dos operando en forma continua y uno de manera intermitente).

La línea de conducción tiene un diámetro nominal de 24" y está formada por tubería de diversos materiales. En el tramo del rebombeo G.O. II al rebombeo Ucum II, con longitud de 13,488 m, la tubería es de polietileno de alta densidad. Por su parte, el tramo del rebombeo Ucum II a los Tanques Bachilleres presenta una longitud de 25,222 m, en tubería de polietileno de alta densidad y asbesto-cemento.

De acuerdo a informes proporcionados por el organismo encargado de la operación del acueducto (CAPA), se han presentado una serie de roturas en la tubería de polietileno de alta densidad, localizadas en una zona a tres kilómetros aguas abajo de la planta de rebombeo Ucum II. Según el organismo encargado, dichas fallas han sido detectadas

después del paro de emergencia, por corte de la energía eléctrica, de los equipos en el rebombeo Ucum II.

Adicionalmente al problema de rotura de tuberías, y por las características del perfil de la conducción, luego de los paros programados o de emergencia de los equipos de bombeo, se produce el vaciado de gran parte de la tubería en los dos tramos de conducción del acueducto.

Con base en análisis y mediciones de campo, se proponen algunas alternativas de protección del acueducto. Para el tramo del rebombeo G. O. II - Ucum II se sugiere instalar un tanque unidireccional en el cadenamiento 0+512 más una válvula de seccionamiento y una de alivio, ambas localizadas en la llegada al cárcamo de rebombeo de Ucum II.

En el cadenamiento 21+368 del tramo rebombeo Ucum II - Tanques Bachilleres, se sugiere la instalación de un tanque de cambio de régimen (TCR) como punto de control para la línea de cargas piezométricas. En este mismo tramo de rebombeo se ha recomendado la instalación de un sistema de control de transitorios hidráulicos, formado por dos cámaras de aire conectadas al múltiple de descarga del rebombeo Ucum II. Este sistema se recomienda para evitar los problemas de rotura de tuberías en dicho tramo del acueducto.

Es oportuno destacar que, de los dispositivos antes mencionados, sólo las cámaras de aire están dirigidas a evitar los problemas de rotura de tubería. El tanque unidireccional, las válvulas de seccionamiento y alivio y el tanque de cambio de régimen, son estructuras propuestas para ajustar y mejorar la operación del acueducto

CAPÍTULO I

DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ACUEDUCTO GONZÁLEZ ORTEGA II - UCUM II

CHETUMAL QUINTANA ROO

El Acueducto González Ortega II - Ucum II - Chetumal, Quintana Roo, con longitud total de 38,710 m, tiene como fuente de captación la zona de pozos denominada González Ortega II.

El acueducto está dividido en dos plantas de bombeo (González Ortega II y Ucum II) que bombean un gasto de 340 lps. El acueducto consta de dos tramos a saber: el primero que va del bombeo González Ortega II al bombeo Ucum II y el segundo del bombeo Ucum II a los Tanques Bachilleres.

Se describen a continuación cada uno de los dos tramos del acueducto.

1.1 Rebombero González Ortega II

La planta de bombeo González Ortega II cuenta con 4 equipos instalados (3 para operación normal y 1 de respaldo). Las bombas son de eje vertical marca Peerless, con un paso de impulsión, que permite dar una carga total del orden de 22 m, para un gasto de 109 lps por bomba.

Los motores empleados en la planta son marca US con potencia mecánica y velocidad de giro nominales de 50 HP y 1775 rpm, respectivamente. La alimentación de corriente es trifásica con un voltaje nominal de 460 volts.

Los equipos están colocados en paralelo, uniendo sus descargas mediante un múltiple de acero, entregando el agua a la línea principal de 24" de diámetro.

La línea de conducción hasta el rebombeo Ucum II es de polietileno de alta densidad (PEAD), con un diámetro nominal de 24" y 13,488 m de longitud. En la tabla I.1 se resumen las características de la tubería del tramo G.O II - Ucum II.

CADENAMIENTO (m)		LONGITUD	MATERIAL	D. INTERNO	PRESIÓN DE TRABAJO
INICIAL	FINAL	(m)		(m)	(kg/cm ²)
0+000	13+488	13,488	PEAD RD-32.5	0.5722	3.6

Tabla I.1

El nivel medio del agua en el cárcamo de rebombeo G.O. II se ubica en la cota 48.4 msnm, mientras que el nivel de descarga en el cárcamo de rebombeo Ucum II se ubica en la cota 32.7 msnm, por lo que este tramo de conducción tiene una carga de 15.7 m a favor del flujo.

I.2 Rebombeo Ucum II

La planta de rebombeo Ucum II presenta 3 equipos instalados (2 en operación continua y 1 en operación intermitente). Las bombas son similares a las del rebombeo González Ortega II, sólo que cuentan con dos pasos de impulsión, lo que permite dar una carga total del orden de 44 m (22 x 2) para un gasto de 112 lps por bomba.

Los motores empleados en esta planta también son marca US pero con potencia mecánica nominal de 125 HP. La alimentación de corriente es trifásica con un voltaje nominal de 440 volts.

Los equipos también están dispuestos en paralelo, uniendo sus descargas mediante un múltiple de acero, entregando el agua a la línea principal de 24" de diámetro.

La línea de conducción hasta el punto de entrega está compuesta por tubería de polietileno de alta densidad (PEAD) y de asbesto-cemento (AC), con un diámetro nominal de 24" y 25,222 m de longitud (ver Tabla I.2).

El nivel medio del agua en el cárcamo de rebombeo Ucum II se ubica en la cota 28.0 msnm, mientras que el nivel de descarga en el punto de entrega se ubica en la cota 18.1 msnm, por lo que este tramo de conducción tiene una carga de 9.9 m a favor del flujo.

Es importante señalar que, a diferencia del tramo anterior, en este tramo se presentan derivaciones en ruta, siendo la principal de ellas la correspondiente al cárcamo Subteniente López, ubicada alrededor del cadenamiento 33+880.

CADENAMIENTO (m)		LONGITUD	MATERIAL	D. INTERNO	PRESIÓN DE TRABAJO
INICIAL	FINAL	(m)		(m)	(kg/cm ²)
13+488	17+258	3,770	PEAD RD-17.0	0.5380	7.0
17+258	20+500	3,242	AC A-7	0.6096	7.0
20+500	21+000	500	PEAD RD-26.0	0.5628	4.5
21+000	23+758	2,758	AC A-7	0.6096	7.0
23+758	33+373	9,615	PEAD RD-26.0	0.5628	4.5
33+373	38+710	5,337	PEAD RD-32.5	0.5722	3.6

Tabla I.2

En el punto final de entrega, localizado en el cadenamiento 38+710, se tienen dos tanques de 1,000 m³ de capacidad cada uno, denominados Tanques Bachilleres.

La Figura I.1 muestra el perfil de toda la conducción y la localización de los puntos de mayor importancia.

Finalmente, es oportuno apuntar que en ninguno de los dos tramos de conducción existen dispositivos para el control de los transitorios hidráulicos.

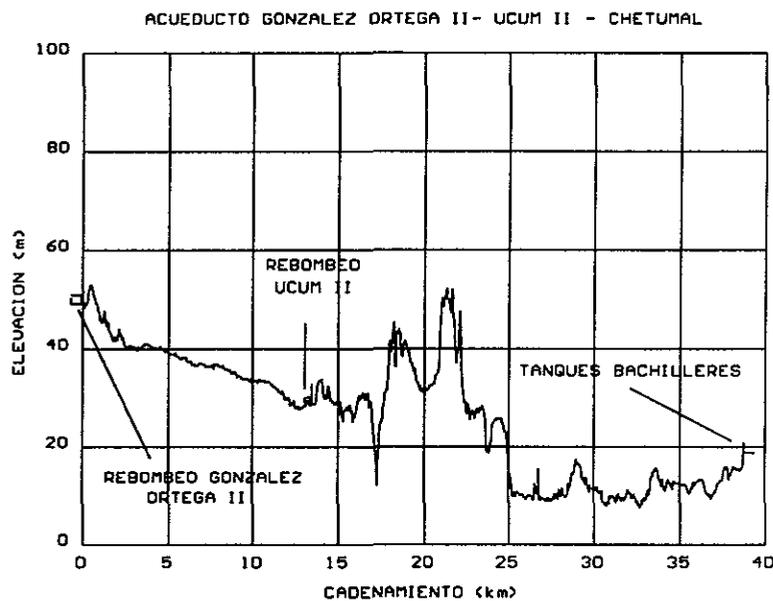


Figura I.1

CAPÍTULO II

MEDICIONES EN CAMPO

Durante los días 8 y 9 de agosto y 22 y 23 de octubre de 1996, se efectuaron visitas de inspección al acueducto con la finalidad de conocer el estado que guarda actualmente la infraestructura descrita en el capítulo anterior. En el Anexo A se muestran fotografías de los aspectos más importantes del acueducto.

Por otro lado, los días 22 y 23 de agosto de 1996, se efectuaron campañas de medición en los dos tramos del Acueducto González Ortega II - Ucum II - Chetumal. La finalidad de estas mediciones fue determinar las características de operación en flujo establecido y los valores actuales del coeficiente de pérdida de carga de la conducción.

El día 22 se llevó a cabo una inspección general del acueducto, identificando físicamente los puntos de medición. El día 23 se realizó la medición; primero en el tramo comprendido entre Ucum II y los Tanques Bachilleres y posteriormente en el tramo entre G.O. II y Ucum II. En ambos casos se determinó la línea de cargas piezométricas y el gasto correspondiente a la operación de los equipos de bombeo.

II.1 Descripción de los equipos de medición.

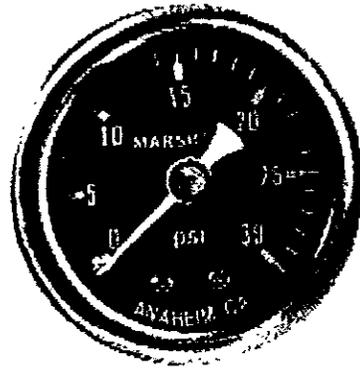
Para la determinación de la línea de cargas piezométricas, del gasto en la descarga de las plantas de bombeo, así como los aforos en la llegada de los Tanques Bachilleres, se instalaron diversas conexiones e instrumentos de medición.

II.1.1 Manómetro de tubo de Bourdón.

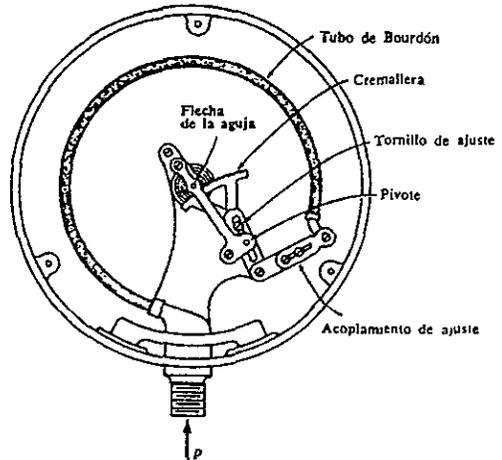
En el caso de la línea de cargas piezométricas, se instalaron conexiones para manómetro en las válvulas de admisión y expulsión de aire (VAEA).

El manómetro de tubo de Bourdón tiene como principal aplicación la medición de presión estática. Los manómetros de tubo de Bourdón generalmente presentan una sección transversal elíptica y una configuración en forma de "C". Su funcionamiento consiste en aplicar una presión a la entrada del tubo y como consecuencia se presenta una deformación elástica, la cual es idealmente proporcional a la presión aplicada.

El grado de linealidad depende de la calidad del tubo. Un extremo del tubo se conecta a un sistema de relojería que, además de amplificar el desplazamiento, lo transforma en una rotación angular que se detecta mediante una aguja sobre una carátula escalada. El acoplamiento entre el tubo de Bourdón y el sistema de relojería se construye de tal manera que se pueda ajustar la operación del mecanismo para producir una linealidad óptima, minimizando los efectos de histéresis; asimismo, sirve para compensar los efectos que puede ocasionar el desgaste. Además, el manómetro de tubo de Bourdón tiene una precisión de 0.1 % de la escala total, por lo que resulta muy confiable. Se ofrecen comercialmente en muchos tamaños (de 1 a 16" de diámetro de la carátula) y rangos (2 a 42 kg/cm²). En la Figura II.1-a se muestra una fotografía del manómetro y en la Figura II.1-b un esquema de las partes que lo forman.



(a)



(b)

Figura II.1. Aspectos externos e internos de un manómetro de Bourdón y sus partes constitutivas.

II.1.2 Medidores Annubar

Para el caso de la determinación del gasto, se efectuó la medición en la descarga de las plantas de bombeo, instrumentando los medidores Annubar instalados por el organismo operador.

El medidor Annubar es un dispositivo utilizado para determinar el gasto en una tubería. El principio que utiliza está basado en el registro de presiones diferenciales. La diferencial de presión se registra a través de un sensor de tubo con múltiples orificios y dos cámaras con una sección recta en forma de diamante.

Las medidas de presión diferencial presentan dos componentes: la presión alta (P_A) y la presión baja (P_B). Ver Figura II.2

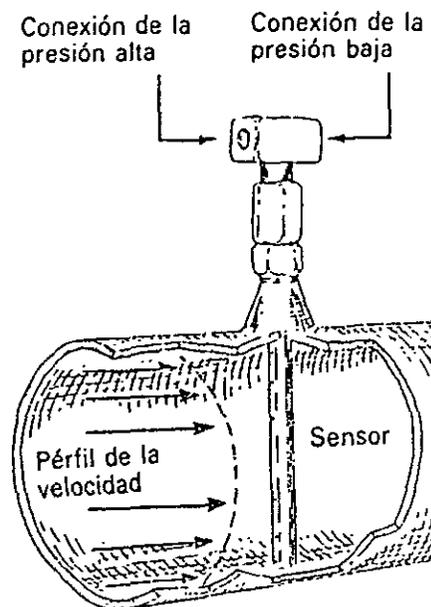


Figura II.2 Conexiones de un medidor Annubar

Por tanto, la presión diferencial esta dada por la expresión:

$$P_D = P_A - P_B \quad (\text{II.1})$$

La presión alta se produce por el impacto del perfil de velocidades sobre la parte frontal del sensor. Los múltiples orificios detectan la presión de impacto promedio de

la sección transversal.

Cuando el perfil de velocidades continúa su paso alrededor del sensor, crea un perfil de baja presión en los orificios localizados en la parte posterior del sensor (opuestos a los de alta presión). Igual que en el lado de alta presión, en la cámara de baja presión se obtendrá una presión promedio. El funcionamiento descrito se muestra de manera esquemática en la Figura II.3.

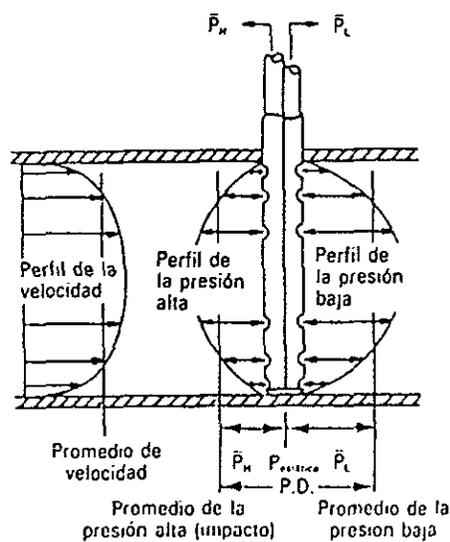


Figura II.3 Perfiles de velocidades, alta y baja presión producidas por un medidor Annubar.

En este caso, la diferencia de presión fue medida por el Instituto de Ingeniería utilizando un transductor diferencial de presión (dispositivo electrónico). Conocida la diferencia de presión, el fabricante del Annubar proporciona una ecuación para calcular el gasto. En este caso:

$$Q = 1.1 \cdot 10^{-7} K D^2 \sqrt{P_D} \quad (II.2)$$

donde:

Q , gasto en m^3/s

K , coeficiente del caudal (dado por el tipo de sensor y diámetro)

D , diámetro interior de la tubería en mm

P_D , presión diferencial en mm de columna de agua

II.1.3 Tubo Pitot

Por último, con el apoyo de la CAPA, se efectuaron aforos en la llegada a los Tanques Bachilleres durante las mediciones en el segundo tramo del acueducto; estos aforos se efectuaron utilizando tubo de Pitot.

El tubo Pitot es un dispositivo que permite medir las presiones estática y dinámica, y por consecuencia la carga de velocidad en un determinado punto, en el interior de un fluido. Este sistema es muy sencillo; consiste en un tubo de dos cámaras, el cual se inserta en la tubería. El tubo Pitot registra, como ya se dijo, dos tipos de presiones: una, llamada presión alta o de estancamiento, que se presenta en la punta del tubo (en contraflujo); la otra es la llamada presión baja que ocurre en una cara lateral al tubo Pitot. La diferencia de presión alta y baja se registra mediante un manómetro diferencial de mercurio, y es proporcional a la carga de velocidad en un determinado punto multiplicada por la constante del tubo Pitot.

En este caso, las diferencias de presión fueron registradas por la CAPA con un manómetro diferencial con tetracloruro de carbono como fluido de trabajo. La expresión para el cálculo de la velocidad es :

$$V = C_T \sqrt{2g\Delta H} \quad (II.3)$$

donde:

C_T , constante del Tubo Pitot (adimensional)

ΔH , diferencia de presión en mca

g , aceleración debida a la gravedad en m/s^2

V , velocidad en m/s

Finalmente, se midieron las velocidades a lo largo de la sección transversal vertical del tubo, obteniéndose el gasto mediante integración de velocidades en áreas iguales, correspondientes a semianillos concéntricos.

II.2 Mediciones en flujo establecido para determinación de coeficientes de pérdida de carga

Las Tablas II.1 y II.2 muestran, para cada tramo de conducción, un resumen de los resultados obtenidos. En el caso de las presiones y gastos medidos, se presentan los valores obtenidos considerando tanto el promedio de las lecturas realizadas como la calibración de los instrumentos utilizados. Por su parte, las Figuras II.1 y II.2 muestran el trazo de las líneas de cargas piezométricas.

En las tablas se observa que el gasto promedio aforado en el rebombeo González Ortega II es de 328 lps, mientras que en el rebombeo Ucum II es de 337 lps. Adicionalmente, el gasto aforado por la CAPA en los Tanques Bachilleres fue de 249 lps.

Acueducto González Ortega II - Ucum II - Chetumal, Quintana Roo.**Tramo González Ortega II - Ucum II****Mediciones en Flujo Establecido**

NÚMERO DE EQUIPOS = 3 NIVEL DE SUCCIÓN = 48.36 m GASTO AFORADO = 328 lps GASTO POR BOMBA = 109.333333 lps CARGA DE BOMBEO = 22 m MEDICIONES DE PRESIÓN A LO LARGO DE LA CONDUCCIÓN						
PUNTO (#)	UBICACIÓN	CAD. (m)	ELEV. T. N. (m)	ELEV. MAN. (m)	PRESIÓN (mca)	PIEZOM. (m)
1	G. O. II	0+000	49.18	51.65	18.47	70.12
2	VAEA 2	1+243	47.77	48.62	15.94	64.56
3	VAEA 4	3+304	40.67	41.54	17.77	59.31
4	VAEA 5	4+321	40.94	41.81	14.53	56.34
5	VAEA 6	5+898	38.9	39.76	12.19	51.95
6	VAEA 7	6+967	38.03	38.87	9.96	48.83
7	VAEA 8	7+986	37.36	38.19	7.82	46.01
8	VAEA 10	10+017	34.22	35.07	6.08	41.15
9	VAEA 11	11+644	32.03	32.93	4.3	37.23
10	VAEA 12	13+150	29.36	30.2	3.25	33.45
11	UCUM II	13+488	32.67	32.67	0	32.67
PENDIENTE DE FRICCIÓN = 0.002697 TIPO DE TUBERÍA : PEAD RD-32.5 DIÁMETRO INTERIOR = 0.5722 m FACTOR DE FRICCIÓN = 0.0186 RUGOSIDAD EQUIVALENTE = 0.392 mm						

Tabla II.1

Acueducto González Ortega II - Ucum II - Chetumal, Quintana Roo.**Tramo Ucum II - Tanques Bachilleres****Mediciones en Flujo Establecido**

NÚMERO DE EQUIPOS =	3	2
NIVEL DE SUCCIÓN =	27.96 m	28.7 m
GASTO AFORADO =	337 lps	248 lps
GASTO POR BOMBA =	112.333333 lps	124 lps
CARGA DE BOMBEO =	44.4 m	34.44 m
MEDICIONES DE PRESIÓN A LO LARGO DE LA CONDUCCIÓN		(3 equipos)

PUNTO (#)	UBICACIÓN	CAD. (m)	ELEV. T. N. (m)	ELEV. MAN. (m)	PRESIÓN (mca)	PIEZOM. (m)
1	UCUM II	13+488	29.65	32.57	39.76	72.33
2	VAEA 2	14+458	32.85	33.52	35.89	69.41
3	VAEA 3	15+270	26	26	41.24	67.24
4	VAEA 4	16+394	31.7	32.6	30.83	63.43
5	VAEA 5	16+652	31.6	31.6	30.88	62.48
6	VAEA 6	18+208	46.4	47.1	13.02	60.12
7	VAEA 7	18+532	44.6	45.87	13.46	59.33
8	VAEA 8	19+106	40.1	41.07	13.53	54.6
9	VAEA 9	21+359	52.7	52.7	0	52.7
10	VAEA 10	21+650	52.8	52.8	0	52.8

TUBERÍA DE PEAD RD-17 (13+488 a 17+258)

PENDIENTE DE FRICCIÓN =	0.003099
DIÁMETRO INTERIOR =	0.583 m
FACTOR DE FRICCIÓN =	0.0149
RUGOSIDAD EQUIVALENTE =	0.104 mm

TUBERÍA DE AC A-7 (17+258 a 20+500 y 21+000 a 23+758)

PENDIENTE DE FRICCIÓN =	0.001993
DIÁMETRO INTERIOR =	0.6096 m
FACTOR DE FRICCIÓN =	0.0179
RUGOSIDAD EQUIVALENTE =	0.342 mm

Tabla II.2

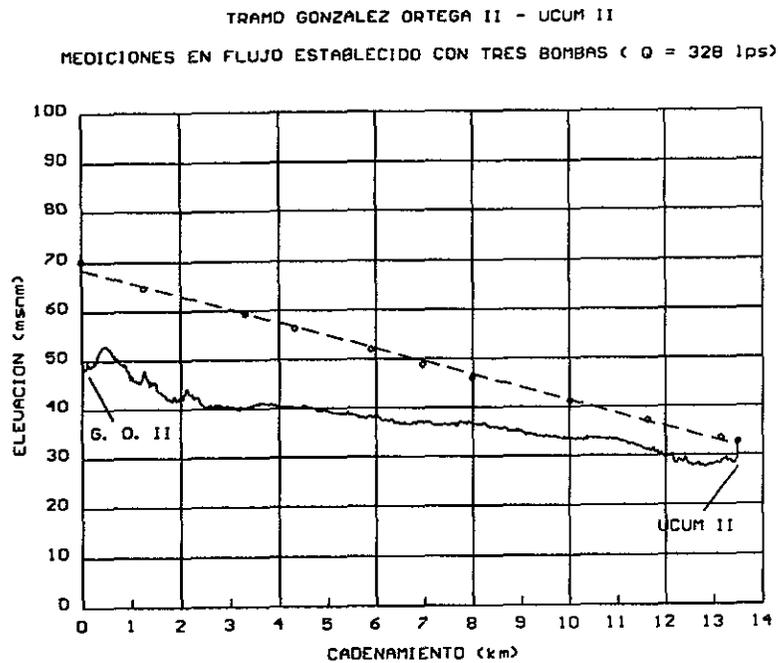


Figura II.1

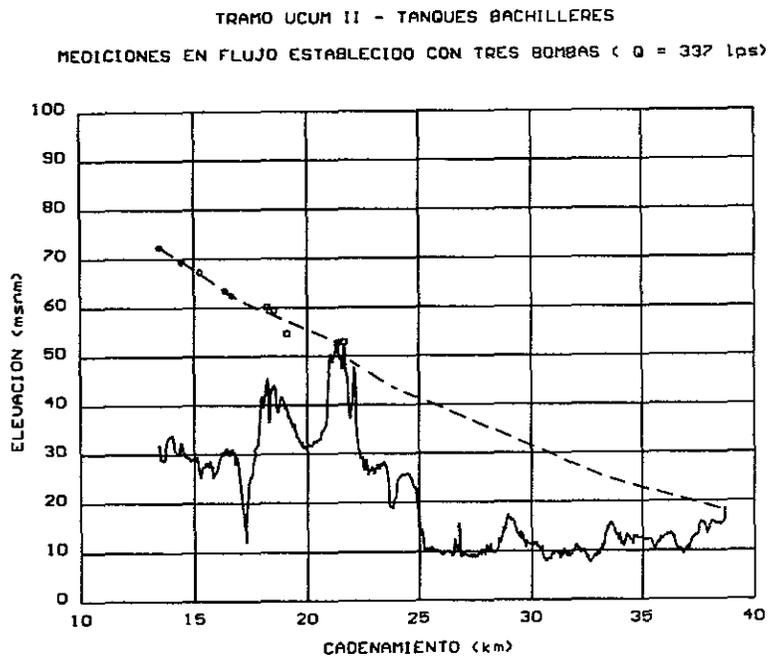


Figura II.2

La diferencia que existe entre los gastos aforados en los rebombes (9 lps) ocasiona que uno de los equipos del bombeo Ucum II trabaje en forma intermitente, parando por un intervalo aproximado de 30 minutos cada 7.5 horas. En el caso de la diferencia de gastos entre el bombeo Ucum II y los Tanque Bachilleres (88 lps) se debe a las derivaciones en ruta, particularmente la del cárcamo Subteniente López (cadenamiento 33 + 880).

Con los valores de las pendientes de fricción, obtenidos por mínimos cuadrados, los diferentes gastos aforados en cada tramo y las características de la tubería, se determinaron los factores de fricción. Según la fórmula de **Darcy - Weisbach**, el factor de fricción de un conducto circular está dado por :

$$f = \frac{g\pi^2 D^5 S_f}{8Q^2} \quad (\text{II.4})$$

donde :

- g, constante de aceleración debida a la gravedad en m/s^2
- π , constante geométrica (adimensional)
- D, diámetro de la conducción en m
- S_f , pendiente de fricción (adimensional)
- Q, gasto volumétrico en m^3/s

Asimismo, con estos datos se obtuvieron los valores de rugosidad equivalente con la expresión de Swamee y Jain (II.5). El valor del número de Reynolds se determinó considerando una viscosidad cinemática para el agua de $1.0 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$.

$$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{\varepsilon/D}{3.7} + \frac{5.74}{\text{Re}^{0.9}} \right) \right]^2} \quad \text{para } 5 \times 10^3 < \text{Re} < 1 \times 10^8 \quad (\text{II.5})$$

donde :

ε , rugosidad relativa en m

Re , número de Reynolds (adimensional)

f , coeficiente de pérdida por fricción (adimensional)

Los resultados obtenidos se presentan también en las Tablas II.1 y II.2.

Adicionalmente, y con la finalidad de conocer el funcionamiento actual de los equipos de bombeo, se realizó la determinación de la carga dinámica de operación. En el caso del rebombeo G.O. II se efectuaron mediciones con la operación de 3 equipos (ver Tabla II.1), mientras que en el rebombeo Ucum II se hicieron mediciones con la operación de 2 y 3 equipos (Tabla II.2). En este último caso se obtuvo un gasto de 124 lps por bomba para una carga de 34.44 m.

Como se puede observar en las Tablas II.1 y II.2, en el rebombeo G.O. II se tiene la mitad de la carga del rebombeo Ucum II cuando ambos operan con 3 equipos, esto obedece a que los equipos de bombeo de González Ortega II cuentan con sólo un paso de impulsión, a diferencia de los equipos del rebombeo Ucum II que presentan dos pasos de impulsión.

En el caso del rebombeo Ucum II, operando con dos equipos, se observa que la carga es menor, debido al incremento del gasto por equipo de bombeo.

La Figura II.3 muestra la curva de operación carga-gasto propuesta para los análisis de operación hidráulica que se presentan en el siguiente capítulo.

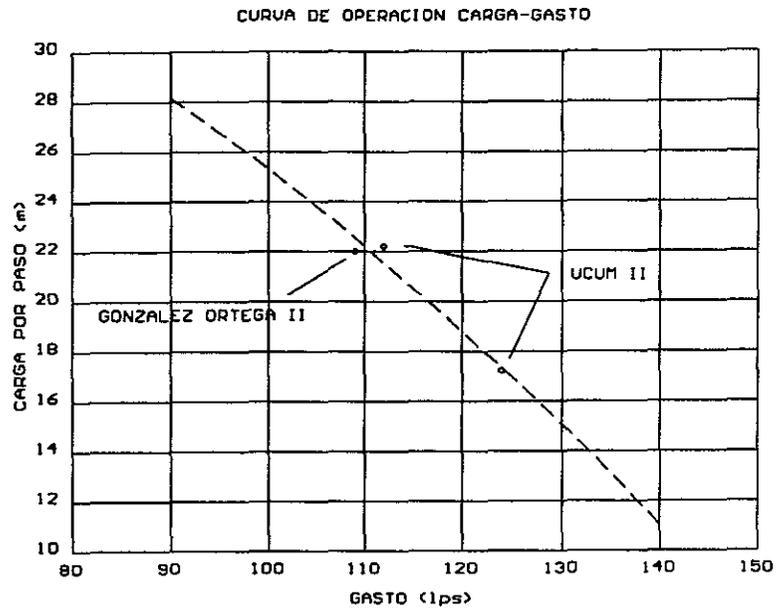


Figura II.3

CAPÍTULO III

ANÁLISIS HIDRÁULICO PARA EL CONTROL DE TRANSITORIOS

Con base en la información presentada en el capítulo I y a partir de los resultados obtenidos en las campañas de medición en los acueductos G.O. II y Ucum II (capítulo II), se presentan los análisis del funcionamiento hidráulico en flujo establecido así como los análisis del transitorio provocado por el paro accidental de los equipos de bombeo.

III.1 Análisis en flujo establecido

La operación en flujo establecido se produce cuando no se modifican las condiciones de funcionamiento del acueducto al tiempo que se alcanza la estabilización del bombeo después de cualquier maniobra (por ejemplo cambio en el número de bombas trabajando, abertura de válvulas, etc.)

Para los análisis en flujo establecido se consideró la operación de los dos tramos del acueducto con el funcionamiento de 1, 2 y 3 equipos de bombeo.

La Tabla III.1 presenta un resumen de los cálculos del funcionamiento hidráulico en el tramo G.O. II - Ucum II. Por su parte, la Figura III.1 muestra las líneas de carga piezométrica correspondientes.

Para la operación con 1 bomba se ha considerado una pérdida de carga de 16.3 m en la llegada al cárcamo de rebombeo Ucum II ya que, de no ser así, se produciría el vaciado parcial de la tubería aguas abajo del cadenamiento 0+512.

Acueducto González Ortega II - Ucum II - Chetumal, Quintana Roo.
Tramo González ortega II - Ucum II

Operación en Flujo Establecido

PIEZOMETRICA DE OPERACION CON TRES EQUIPOS DE BOMBEO

TRAMO (#)	CAD. INIC (m)	CAD. FINAL (m)	LONGITUD (m)	MATERIAL	DIAMETRO (m)	AREA (m ²)	RUGOSIDAD (mm)	e/D	GASTO (m ³ /s)	VELOCIDAD (m/s)	REYNOLDS	f	PERDIDA (m)	h INIC (m)	h FINAL (m)
1	0	512	512	EXT RD-32.5	0.5722	0.257149443	0.392	0.000685075	0.332	1.291078043	738754.8564	0.018588348	1.413163003	69.95243657	68.53927357
2	512	13488	12976	EXT RD-32.5	0.5722	0.257149443	0.392	0.000685075	0.332	1.291078043	738754.8564	0.018588348	35.81484987	68.53927357	32.724237
CARGA POR DISIPAR EN LA LLEGADA AL REBOMBEO UCUM II (m) = 0.05423666															

PIEZOMETRICA DE OPERACION CON DOS EQUIPOS DE BOMBEO

TRAMO (#)	CAD. INIC (m)	CAD. FINAL (m)	LONGITUD (m)	MATERIAL	DIAMETRO (m)	AREA (m ²)	RUGOSIDAD (mm)	e/D	GASTO (m ³ /s)	VELOCIDAD (m/s)	REYNOLDS	f	PERDIDA (m)	h INIC (m)	h FINAL (m)
1	0	512	512	EXT RD-32.5	0.5722	0.257149443	0.392	0.000685075	0.279	1.084972211	620821.0992	0.018692621	1.003530416	59.21860366	58.21507324
2	512	13488	12976	EXT RD-32.5	0.5722	0.257149443	0.392	0.000685075	0.279	1.084972211	620821.0992	0.018692621	25.43322399	58.21507324	32.78184925
CARGA POR DISIPAR EN LA LLEGADA AL REBOMBEO UCUM II (m) = 0.111849251															

PIEZOMETRICA DE OPERACION CON UN EQUIPO DE BOMBEO

TRAMO (#)	CAD. INIC (m)	CAD. FINAL (m)	LONGITUD (m)	MATERIAL	DIAMETRO (m)	AREA (m ²)	RUGOSIDAD (mm)	e/D	GASTO (m ³ /s)	VELOCIDAD (m/s)	REYNOLDS	f	PERDIDA (m)	h INIC (m)	h FINAL (m)
1	0	512	512	EXT RD-32.5	0.5722	0.257149443	0.392	0.000685075	0.146	0.567763236	324874.1236	0.019231073	0.282723007	56.45383948	56.17111647
2	512	13488	12976	EXT RD-32.5	0.5722	0.257149443	0.392	0.000685075	0.146	0.567763236	324874.1236	0.019231073	7.155261216	56.17111647	49.00858526

TABLA III I

TRAMO GONZALEZ ORTEGA II - UCUM II
OPERACION EN FLUJO ESTABLECIDO

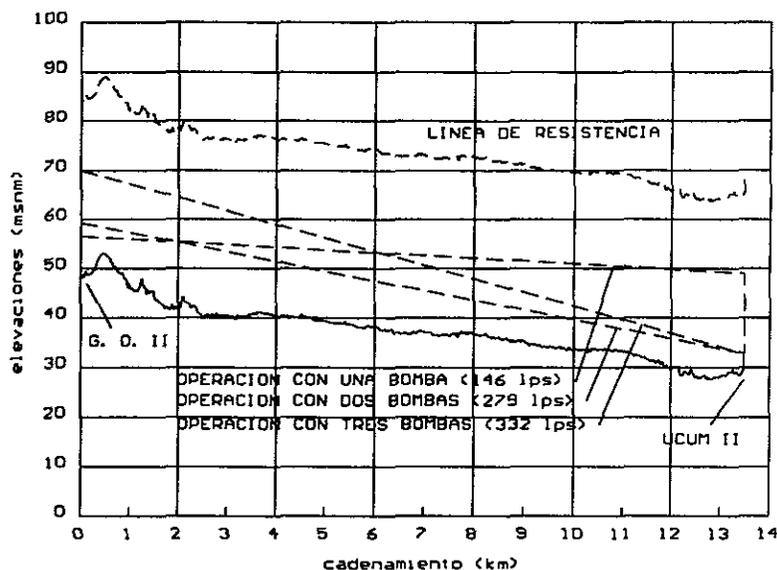


Figura III.1

El vaciado parcial en flujo establecido se puede presentar en tramos localizados aguas abajo de los puntos más altos del perfil de la conducción cuando la presión en su interior es menor que la atmosférica, permitiendo el ingreso de aire a través de las válvulas de admisión y expulsión de aire.

Una alternativa para evitar este vaciado, consiste en seccionar parcialmente una válvula localizada en la llegada al cárcamo de rebombeo Ucum II. Sin embargo, de llevarse a cabo el seccionamiento total de esta válvula, manteniendo en operación uno o más equipos de bombeo, se sobrepasaría la línea de resistencia de la tubería (ver Tabla III.2 y Figura III.2).

Por lo anterior, además de una válvula de seccionamiento de 24", recomendamos se instale en paralelo una válvula de alivio de 8" operada con presóstato para una presión de calibración de 2 kg/cm². Como se muestra en la Tabla III.2 y en la Figura III.2, aun con la operación con tres

Acueducto González Ortega II - Ucum II - Chetumal, Quintana Roo.
Tramo González Ortega II - Ucum II

Operación a Gasto Nulo

PIEZOMETRICA DE OPERACION CON TRES EQUIPOS DE BOMBEO A GASTO NULO

NIVEL DE SUCCION = 48.36 m
GASTO DE BOMBEO = 0 lps
NUMERO DE EQUIPOS = 3
GASTO POR BOMBA = 0 lps
CARGA DE BOMBEO = 40 m
PIEZOMETRICA INIC = 88.36 m

TRAMO (#)	CAD. INIC. (m)	CAD. FINAL (m)	LONGITUD (m)	MATERIAL	DIAMETRO (m)	AREA (m ²)	RUGOSIDAD (mm)	e/D	GASTO (m ³ /s)	VELOCIDAD (m/s)	REYNOLDS	f	PERDIDA (m)	h INIC. (m)	h FINAL (m)
1	0	512	512	EXT RD-32.5	0.5722	0.25714944	0.392	0.00068508	0	0	0	0	0	88.36	88.36
2	512	13488	12976	EXT RD-32.5	0.5722	0.25714944	0.392	0.00068508	0	0	0	0	0	88.36	88.36

CARGA POR DISIPAR EN LA LLEGADA AL REBOMBEO UCUM II (m) = 55.69

PIEZOMETRICA DE OPERACION CON TRES EQUIPOS DE BOMBEO A GASTO NULO Y ALIVIO EN LA LLEGADA A UCUM II

NIVEL DE SUCCION = 48.36 m
GASTO DE BOMBEO = 265 lps
NUMERO DE EQUIPOS = 3
GASTO POR BOMBA = 88.333333 lps
CARGA DE BOMBEO = 28.1899406 m
PIEZOMETRICA INIC = 76.5499406 m

TRAMO (#)	CAD INIC (m)	CAD. FINAL (m)	LONGITUD (m)	MATERIAL	DIAMETRO (m)	AREA (m ²)	RUGOSIDAD (mm)	e/D	GASTO (m ³ /s)	VELOCIDAD (m/s)	REYNOLDS	f	PERDIDA (m)	h INIC. (m)	h FINAL (m)
1	0	512	512	EXT RD-32.5	0.5722	0.25714944	0.392	0.00068508	0.265	1.03052916	589668.786	0.01872609	0.90696546	76.5499406	75.6429752
2	512	13488	12976	EXT RD-32.5	0.5722	0.25714944	0.392	0.00068508	0.265	1.03052916	589668.786	0.01872609	22.9859058	75.6429752	52.6570694

CARGA POR DISIPAR EN LA LLEGADA AL REBOMBEO UCUM II (m) = 19.9870694

TABLA III 2

equipos la válvula de alivio impediría se sobrepase la resistencia de la tubería, estableciendo un gasto de 265 lps.

Por otro lado, en las Tablas III.3 a III.5 se muestra un resumen de los cálculos del funcionamiento hidráulico en flujo establecido para la operación desde uno hasta tres equipos de bombeo, con y sin derivaciones en ruta, en el tramo Ucum II - Tanques Bachilleres. Las Figuras III.3 a III.5 muestra las líneas de carga piezométrica correspondientes.

Como puede observarse, para la operación con y sin derivaciones en ruta se tendría una piezométrica ubicada alrededor de la cota 56.00 msnm en el cadenamiento 21+368. Debido a que la elevación de la tubería en este punto se ubica en la cota 52.00 msnm, la carga de operación sería de sólo 4.0 mca. Por esta razón, se considera conveniente instalar una estructura abierta denominada tanque de cambio de régimen (TCR). Considerando que la plantilla de la estructura se localice en la cota 51.70 m, el tirante máximo en su interior sería de sólo 4.3 m.

Es importante señalar que, al operar este tramo del acueducto con la principal derivación en ruta (cárcamo Subteniente López), se produciría el vaciado parcial de la tubería aguas abajo del cadenamiento 21+368.

Una alternativa para evitar este vaciado, consiste en seccionar parcialmente la válvula existente en el cadenamiento 23+848 (cadenamiento 10+360 con origen en la planta de rebombeo Ucum II) tal como se muestra en las Figuras III.3 a III.5. Con excepción del funcionamiento con un equipo de bombeo (Figura III.3), la operación de esta válvula impediría el vaciado de la tubería en operación estacionaria.

Sin embargo, de llevarse a cabo el seccionamiento de la derivación al cárcamo Subteniente López, manteniendo parcialmente cerrada la válvula del km 23+848, se produciría el derrame de la tanque de cambio de régimen.

TRAMO GONZALEZ ORTEGA II - UCUM II
 PIEZOMETRICA A GASTO NULO CON BOMBEO Y SECCIONAMIENTO EN UCUM II

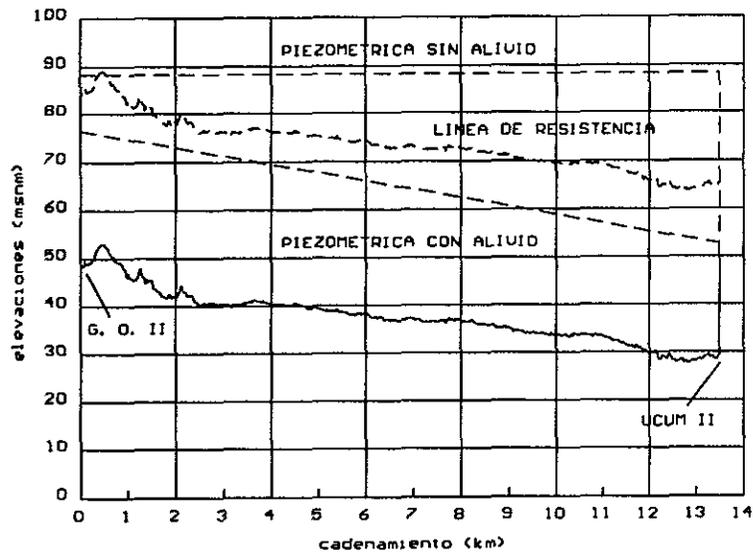


Figura III.2

TRAMO UCUM II - TANQUES BACHILLERES
 OPERACION EN FLUJO ESTABLECIDO UNA BOMBA (Q = 130 lps)

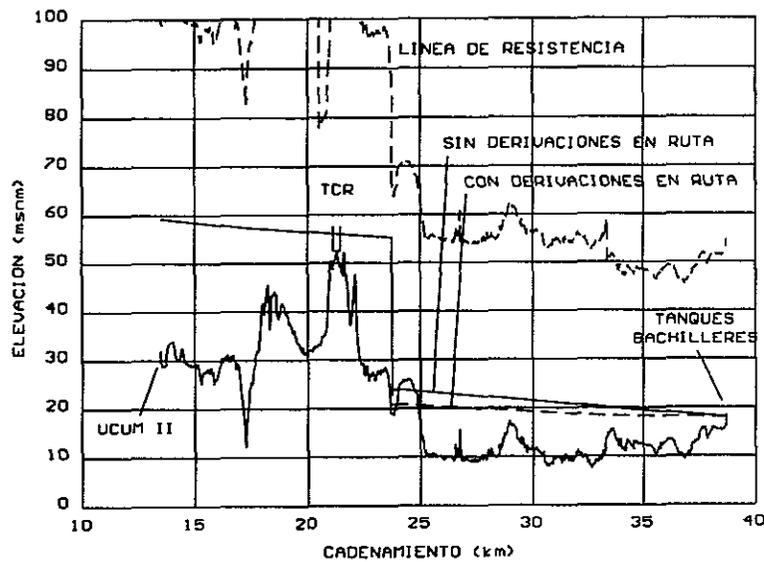


Figura III.3

Acueducto González Ortega II - Ucum II - Chetumal, Quintana Roo.
Tramo Ucum II - Tanques Bachilleres

Operación en Flujo Establecido

PIEZOMETRICA DE OPERACION CON UN EQUIPO DE BOMBEO Y CON DERIVACIONES EN RUTA

NIVEL DE SUCCION = 27.96 m
GASTO DE BOMBEO = 130.47 lps
NUMERO DE EQUIPOS = 1
GASTO POR BOMBA = 130.47 lps
CARGA DE BOMBEO = 31.2776819 m
PIEZOMETRICA INIC. = 59.2376819 m

TRAMO (#)	CAD. INIC. (m)	CAD. FINAL (m)	LONGITUD (m)	MATERIAL	DIAMETRO (m)	AREA (m ²)	RUGOSIDAD (mm)	e/D	GASTO (mcps)	VELOCIDAD (m/s)	REYNOLDS	f	PERDIDA (m)	h INIC. (m)	h FINAL (m)
1	13488	17258	3770	EXT RD-17	0.538	0.22732879	0.104	0.00019331	0.13047	0.57392644	308772.423	0.01620352	1.90625921	59.2376819	57.3314227
2	17258	20500	3242	A-C A-7	0.6096	0.29186351	0.342	0.00056102	0.13047	0.44702402	272505.845	0.0187929	1.01794561	57.3314227	56.3134771
3	20500	21000	500	EXT RD-26	0.5628	0.24877003	0.104	0.00018479	0.13047	0.52446028	295166.246	0.0162163	0.20197328	56.3134771	56.1115038
4	21000	21368	368	A-C A-7	0.6096	0.29186351	0.342	0.00056102	0.13047	0.44702402	272505.845	0.0187929	0.11554719	56.1115038	55.9959566
5	21368	23758	2390	A-C A-7	0.6096	0.29186351	0.342	0.00056102	0.13047	0.44702402	272505.845	0.0187929	0.75042875	55.9959566	55.2455279
6	23758	33373	9615	EXT RD-26	0.5628	0.24877003	0.104	0.00018479	0.10047	0.40386698	272936.335	0.01674046	2.37760874	20.83070738	18.4594651
7	33373	38710	5337	EXT RD-32.5	0.5722	0.25714944	0.104	0.00018175	0.05047	0.1962672	112304.089	0.01853742	0.33946509	18.4594651	18.12

(m) = 34.4084541

CARGA POR DISIPAR EN LA VALVULA DE SECCIONAMIENTO 23+848 m

PIEZOMETRICA DE OPERACION CON UN EQUIPO DE BOMBEO Y SIN DERIVACIONES EN RUTA

NIVEL DE SUCCION = 27.96 m
GASTO DE BOMBEO = 130.47 lps
NUMERO DE EQUIPOS = 1
GASTO POR BOMBA = 130.47 lps
CARGA DE BOMBEO = 31.2776819 m
PIEZOMETRICA INIC. = 59.2376819 m

TRAMO (#)	CAD. INIC. (m)	CAD. FINAL (m)	LONGITUD (m)	MATERIAL	DIAMETRO (m)	AREA (m ²)	RUGOSIDAD (mm)	e/D	GASTO (mcps)	VELOCIDAD (m/s)	REYNOLDS	f	PERDIDA (m)	h INIC. (m)	h FINAL (m)
1	13488	17258	3770	EXT RD-17	0.538	0.22732879	0.104	0.00019331	0.13047	0.57392644	308772.423	0.01620352	1.90625921	59.2376819	57.3314227
2	17258	20500	3242	A-C A-7	0.6096	0.29186351	0.342	0.00056102	0.13047	0.44702402	272505.845	0.0187929	1.01794561	57.3314227	56.3134771
3	20500	21000	500	EXT RD-26	0.5628	0.24877003	0.104	0.00018479	0.13047	0.52446028	295166.246	0.0162163	0.20197328	56.3134771	56.1115038
4	21000	21368	368	A-C A-7	0.6096	0.29186351	0.342	0.00056102	0.13047	0.44702402	272505.845	0.0187929	0.11554719	56.1115038	55.9959566
5	21368	23758	2390	A-C A-7	0.6096	0.29186351	0.342	0.00056102	0.13047	0.44702402	272505.845	0.0187929	0.75042875	55.9959566	55.2455279
6	23758	33373	9615	EXT RD-26	0.5628	0.24877003	0.104	0.00018479	0.13047	0.52446028	295166.246	0.0162163	3.88394612	23.982247	20.1052785
7	33373	38710	5337	EXT RD-32.5	0.5722	0.25714944	0.104	0.00018175	0.13047	0.50737034	290317.308	0.01622262	1.98527855	20.1052785	18.12

(m) = 31.2563032

CARGA POR DISIPAR EN LA VALVULA DE SECCIONAMIENTO 23+848 m

TABLA III.3

Acueducto González Ortega II - Ucum II - Chetumal, Quintana Roo.
Tramo Ucum II - Tanques Bachilleres

Operación en Flujo Establecido

PIEZOMETRICA DE OPERACION CON DOS EQUIPOS DE BOMBEO Y CON DERIVACIONES EN RUTA

NIVEL DE SUCCION = 27.96 m
GASTO DE BOMBEO = 241.4 lps
NUMERO DE EQUIPOS = 2
GASTO POR BOMBA = 120.7 lps
CARGA DE BOMBEO = 38.5813204 m
PIEZOMETRICA INIC. = 66.5413204 m

55.9931948

TRAMO (#)	CAD. INIC (m)	CAD. FINAL (m)	LONGITUD (m)	MATERIAL	DIAMETRO (m)	AREA (m ²)	RUGOSIDAD (mm)	e/D	GASTO (mcps)	VELOCIDAD (m/s)	REYNOLDS	f	PERDIDA (m)	h INIC (m)	h FINAL (m)
1	13488	17258	3770	EXT RD-17	0.538	0.22732879	0.104	0.00019331	0.2414	1.06189807	571301.164	0.01527599	6.15226459	66.5413204	60.3890558
2	17258	20500	3242	A-C A-7	0.6096	0.29186351	0.342	0.00056102	0.2414	0.82709895	504199.518	0.0181406	3.36384252	60.3890558	57.0252133
3	20500	21000	500	EXT RD-26	0.5628	0.24877003	0.104	0.00018479	0.2414	0.97037412	546126.557	0.01524908	0.6501882	57.0252133	56.3750251
4	21000	21368	368	A-C A-7	0.6096	0.29186351	0.342	0.00056102	0.2414	0.82709895	504199.518	0.0181406	0.38183037	56.3750251	55.9931948
5	21368	23758	2390	A-C A-7	0.6096	0.29186351	0.342	0.00056102	0.2414	0.82709895	504199.518	0.0181406	2.47982221	55.9931948	53.5133725
6	23758	33373	9615	EXT RD-26	0.5628	0.24877003	0.104	0.00018479	0.2114	0.84978082	478256.645	0.01542869	9.70150502	30.788489	21.086994
7	33373	38710	5337	EXT RD-32.5	0.5722	0.25714944	0.104	0.00018175	0.1614	0.62765059	359141.668	0.01584275	2.96699399	21.086994	18.12

CARGA POR DISIPAR EN LA VALVULA DE SECCIONAMIENTO 23+848 m (m) = 22.7248735

PIEZOMETRICA DE OPERACION CON DOS EQUIPOS DE BOMBEO Y SIN DERIVACIONES EN RUTA

NIVEL DE SUCCION = 27.96 m
GASTO DE BOMBEO = 241.4 lps
NUMERO DE EQUIPOS = 2
GASTO POR BOMBA = 120.7 lps
CARGA DE BOMBEO = 38.5813204 m
PIEZOMETRICA INIC = 66.5413204 m

55.9931948

TRAMO (#)	CAD. INIC (m)	CAD. FINAL (m)	LONGITUD (m)	MATERIAL	DIAMETRO (m)	AREA (m ²)	RUGOSIDAD (mm)	e/D	GASTO (mcps)	VELOCIDAD (m/s)	REYNOLDS	f	PERDIDA (m)	h INIC (m)	h FINAL (m)
1	13488	17258	3770	EXT RD-17	0.538	0.22732879	0.104	0.00019331	0.2414	1.06189807	571301.164	0.01527599	6.15226459	66.5413204	60.3890558
2	17258	20500	3242	A-C A-7	0.6096	0.29186351	0.342	0.00056102	0.2414	0.82709895	504199.518	0.0181406	3.36384252	60.3890558	57.0252133
3	20500	21000	500	EXT RD-26	0.5628	0.24877003	0.104	0.00018479	0.2414	0.97037412	546126.557	0.01524908	0.6501882	57.0252133	56.3750251
4	21000	21368	368	A-C A-7	0.6096	0.29186351	0.342	0.00056102	0.2414	0.82709895	504199.518	0.0181406	0.38183037	56.3750251	55.9931948
5	21368	23758	2390	A-C A-7	0.6096	0.29186351	0.342	0.00056102	0.2414	0.82709895	504199.518	0.0181406	2.47982221	55.9931948	53.5133725
6	23758	33373	9615	EXT RD-26	0.5628	0.24877003	0.104	0.00018479	0.2414	0.97037412	546126.557	0.01542869	12.5031192	37.0080834	24.5049642
7	33373	38710	5337	EXT RD-32.5	0.5722	0.25714944	0.104	0.00018175	0.2414	0.93875373	537154.887	0.01524069	6.38496423	24.5049642	18.12

CARGA POR DISIPAR EN LA VALVULA DE SECCIONAMIENTO 23+848 m (m) = 16.5052891

Acueducto González Ortega II - Ucum II - Chetumal, Quintana Roo
Tramo Ucum II - Tanques Bachilleres

Operación en Flujo Establecido

PIEZOMETRICA DE OPERACION CON TRES EQUIPOS DE BOMBEO Y CON DERIVACIONES EN RUTA

56.0026874

NIVEL DE SUCCION = 27.96 m
GASTO DE BOMBEO = 325.6 lps
NUMERO DE EQUIPOS = 3
GASTO POR BOMBA = 108.533333 lps
CARGA DE BOMBEO = 46.8747589 m
PIEZOMETRICA INIC. = 74.8347589 m

TRAMO (#)	CAD INIC (m)	CAD. FINAL (m)	LONGITUD (m)	MATERIAL	DIAMETRO (m)	AREA (m ²)	RUGOSIDAD (mm)	e/D	GASTO (m ³ /cps)	VELOCIDAD (m/s)	REYNOLDS	f	PERDIDA (m)	h INIC. (m)	h FINA (m)
1	13488	17258	3770	EXT RD-17	0.538	0.22732879	0.104	0.00019331	0.3256	1.43228671	770570.252	0.01493924	10.9458228	74.8347589	63.8889361
2	17258	20500	3242	A-C A-7	0.6096	0.29186351	0.342	0.00056102	0.3256	1.11558996	680063.641	0.01791818	6.04466308	63.8889361	57.844273
3	20500	21000	500	EXT RD-26	0.5628	0.24877003	0.104	0.00018479	0.3256	1.30889333	736614.776	0.01489578	1.15545484	57.844273	56.6889361
4	21000	21368	368	A-C A-7	0.6096	0.29186351	0.342	0.00056102	0.3256	1.11558996	680063.641	0.01791818	0.88613079	56.6889361	56.0026874
5	21368	23758	2390	A-C A-7	0.6096	0.29186351	0.342	0.00056102	0.3256	1.11558996	680063.641	0.01791818	4.45612115	56.0026874	51.5465222
6	23758	33373	9615	EXT RD-26	0.5628	0.24877003	0.104	0.00018479	0.2956	1.188224603	668744.864	0.01500247	18.4447067	43.163962	24.7192553
7	33373	38710	5337	EXT RD-32.5	0.5722	0.25714944	0.104	0.00018175	0.2456	0.95508665	546500.581	0.01521805	6.59925532	24.7192553	18.12

CARGA POR DISIPAR EN LA VALVULA DE SECCIONAMIENTO 23+848 m (m) = 8.38280422

PIEZOMETRICA DE OPERACION CON TRES EQUIPOS DE BOMBEO Y SIN DERIVACIONES EN RUTA

56.0845078

NIVEL DE SUCCION = 27.96 m
GASTO DE BOMBEO = 325.35 lps
NUMERO DE EQUIPOS = 3
GASTO POR BOMBA = 108.45 lps
CARGA DE BOMBEO = 46.9284963 m
PIEZOMETRICA INIC. = 74.8884963 m

TRAMO (#)	CAD INIC (m)	CAD. FINAL (m)	LONGITUD (m)	MATERIAL	DIAMETRO (m)	AREA (m ²)	RUGOSIDAD (mm)	e/D	GASTO (m ³ /cps)	VELOCIDAD (m/s)	REYNOLDS	f	PERDIDA (m)	h INIC. (m)	h FINA (m)
1	13488	17258	3770	EXT RD-17	0.538	0.22732879	0.104	0.00019331	0.32535	1.43118699	769978.598	0.01494002	10.9295919	74.8884963	63.9584963
2	17258	20500	3242	A-C A-7	0.6096	0.29186351	0.342	0.00056102	0.32535	1.1147334	679541.479	0.01791868	6.03555486	63.9584963	57.9234963
3	20500	21000	500	EXT RD-26	0.5628	0.24877003	0.104	0.00018479	0.32535	1.30783439	736048.193	0.01489661	1.15374476	57.9234963	56.7684963
4	21000	21368	368	A-C A-7	0.6096	0.29186351	0.342	0.00056102	0.32535	1.1147334	679541.479	0.01791868	0.68509691	56.7684963	56.0845078
5	21368	23758	2390	A-C A-7	0.6096	0.29186351	0.342	0.00056102	0.32535	1.1147334	679541.479	0.01791868	4.4940658	56.0845078	51.6351013
6	23758	33373	9615	EXT RD-26	0.5628	0.24877003	0.104	0.00018479	0.32535	1.30783439	736049.193	0.01489661	22.1865118	51.6351013	29.4451424
7	33373	38710	5337	EXT RD-32.5	0.5722	0.25714944	0.104	0.00018175	0.32535	1.26521759	723957.508	0.01488205	11.3251424	29.4451424	18.12

CARGA POR DISIPAR EN LA VALVULA DE SECCIONAMIENTO 23+848 m (m) = 0.00344702

TRAMO UCUM II - TANQUES BACHILLERES
 OPERACION EN FLUJO ESTABLECIDO CON DOS BOMBAS ($Q = 241 \text{ lps}$)

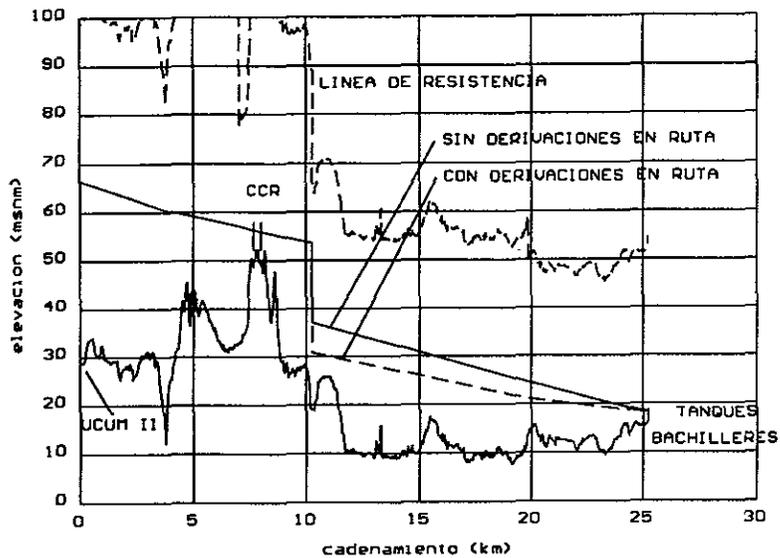


Figura III.4

TRAMO UCUM II - TANQUES BACHILLERES
 OPERACION EN FLUJO ESTABLECIDO CON TRES BOMBAS ($Q = 325 \text{ lps}$)

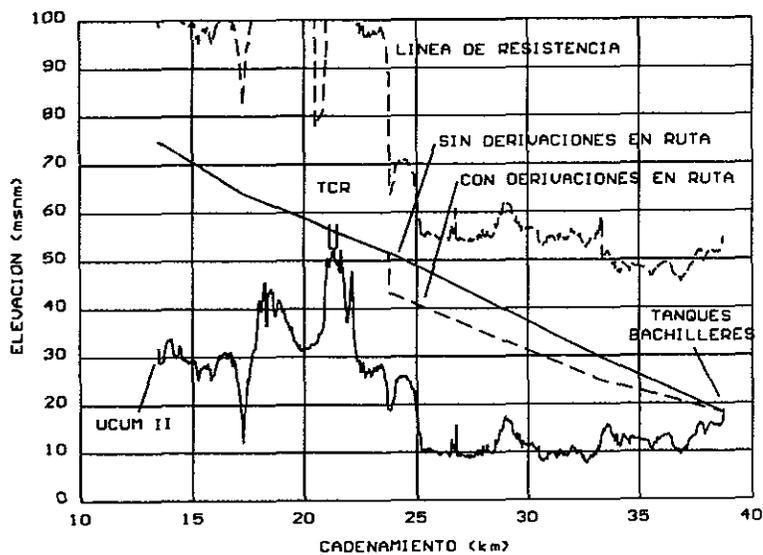


Figura III.5

Con base en lo anterior, recomendamos se analice la posibilidad de alimentar el cárcamo Subteniente López con derivaciones de los acueductos que corren en paralelo al de 24 pulgadas. Dichos análisis deberán contemplar el funcionamiento global de todos los tanques de entrega para distribución de agua en la Ciudad de Chetumal.

III.2 Análisis en flujo transitorio

El flujo transitorio es aquél que se presenta al pasar de un flujo establecido a otro mediante la modificación, voluntaria o involuntaria (emergencia), de las condiciones de operación del acueducto. Esta operación puede darse por: paro aislado o simultáneo de los equipos de bombeo, modificación de la posición de alguna válvula, etc.

Para efectuar los análisis en flujo transitorio es necesario primero establecer algunos parámetros de importancia.

III.2.1 Parámetros para los análisis en flujo transitorio

- Curvas adimensionales

El funcionamiento completo de una bomba se representa a través de las curvas Knapp de cuatro cuadrantes. Sin embargo, los programas numéricos utilizan esta información en forma resumida por medio de curvas adimensionales. En ausencia de esta información, pueden utilizarse las curvas adimensionales de bombas con igual velocidad específica (N_s):

$$N_s = \frac{N \cdot \sqrt{Q}}{H^{0.75}}$$

donde

N , velocidad de giro en rpm

Q , gasto por bomba en m^3/s

H , carga en m por paso de impulsión (condiciones de diseño)

Para los equipos instalados en los rebombes G.O. II y Ucum II se utilizaron los valores medidos para la operación con tres equipos (capítulo II), esto es:

$$N = 1775 \text{ rpm}$$

$$Q = 0.110 \text{ m}^3/\text{s} \text{ y}$$

$$H = 22.00 \text{ m por paso de impulsión,}$$

por lo que:

$$N_s = 58.0 \text{ (rpm, m}^3/\text{s, m)}$$

Se comparó esta velocidad específica con las correspondientes a un banco de datos, resultando conveniente el uso de curvas adimensionales con velocidad específica de 48 (rpm, m^3/s , m).

- Momento de inercia de las masas rotantes

Para determinar el momento de inercia de las masas rotantes (motor, bomba y agua), Thorley propone las siguientes expresiones:

Motor:

$$I_M = 0.0043 \left(\frac{P}{N} \right)^{1.48}$$

Bomba y agua:

$$I_B = 0.03768 \left(\frac{P}{N^3} \right)^{0.9536}$$

en donde P es la potencia mecánica en kw y N representa miles de revoluciones por minuto.

En el caso del rebombeo González Ortega II:

$$P = 28.6 \text{ kw y}$$

$$N = 1.775 \text{ miles de rpm}$$

Se consideró una eficiencia de $\eta = 0.83$

y, en el caso del rebombeo Ucum II:

$$P = 57.2 \text{ kw y}$$

$$N = 1.775 \text{ miles de rpm}$$

Se consideró una eficiencia de $\eta = 0.83$

Sustituyendo los datos en las ecuaciones y sumando se obtiene:

$$\text{Rebombeo González Ortega II: } I = 0.442 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$$

$$\text{Rebombeo Ucum II: } I = 1.082 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$$

- Celeridad de las ondas de presión

La magnitud y desarrollo de los fenómenos transitorios depende fuertemente de la capacidad que tenga la tubería para transmitir, a todo lo largo de la conducción, las perturbaciones generadas en alguna sección.

La velocidad de transmisión de las perturbaciones, conocida como celeridad, depende de las dimensiones y material de las tuberías.

La Tabla III.6 muestra un resumen del cálculo de celeridad para los diferentes tipos de tubería instalada en estos acueductos.

TIPO DE TUBERÍA	POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD			ASBESTO-CEMENTO A7
	RD-17	RD-26	RD 32.5	
MODULO DE ELASTICIDAD	8.83x10 ⁸ pa			2.4x10 ¹⁰ pa
RELACIÓN DE POISSON	0.35			0.15
DIÁMETRO INTERIOR	0.5380 m	0.5628 m	0.5722 m	0.6096 m
ESPESOR	0.0358 m	0.0234 m	0.0187 m	0.0345 m
CELERIDAD	263 m/s	209 m/s	185 m/s	930 m/s

Tabla III.6

III.2.2 Transitorio en el rebombeo González Ortega II

Utilizando el programa TRANS, desarrollado por el Instituto de Ingeniería de la UNAM, se realizaron cálculos numéricos para determinar el comportamiento transitorio para la condición de operación más crítica (paro simultáneo de tres equipos de bombeo), de acuerdo con las condiciones de flujo establecido descritas en el capítulo anterior.

La Figura III.6 muestra las envolventes de cargas transitorias (máximas y mínimas) provocadas por el paro de las bombas. Se observa que la envolvente de cargas máximas se ubica por debajo de la línea de resistencia de la tubería. Sin embargo, se observa que la envolvente de cargas mínimas se ubica por debajo del perfil de la tubería, por lo que se generarían fuertes depresiones y el fenómeno de separación de columna líquida, capaz de poner en peligro la integridad de la conducción a todo lo largo de la misma.

Afortunadamente, el acueducto cuenta con válvulas de admisión y expulsión de aire localizadas a lo largo de la conducción. La primera de ellas se ubica en el punto de mayor elevación (cadenamiento 0+512). Por esta razón, se realizó un segundo análisis considerando la operación de esta válvula. La Figura III.7 muestra las envolventes de cargas extremas correspondientes.

Como puede observarse, nuevamente las cargas máximas se ubican por debajo de la línea de resistencia de la tubería. Por lo que respecta a las depresiones, sólo se presentan en un tramo comprendido entre la planta de bombeo (0+000) y el punto de mayor elevación (0+512). Por la longitud tan corta de este tramo, y debido a que en él no se han reportado fallas, estas depresiones no son de consideración.

Por su mayor elevación, aguas abajo del cadenamiento 0+512 se produce el vaciado gradual de casi toda la conducción hacia el cárcamo del rebombeo Ucum II (razón por la que no fue necesario simular las demás válvulas de admisión y expulsión de aire). En la Figura III.7 no se representa este vaciado, ya que la envolvente de cargas mínimas corresponde al flujo máximo que se establecería a gravedad entre el punto alto y el cárcamo de rebombeo Ucum II (estimado en 262 lps).

Según los resultados anteriores, no existen elementos que permitan advertir problemas de colapso o rotura de tubería en el rebombeo G.O. II. Sin embargo, a fin de garantizar que no se presenten depresiones de consideración aguas abajo del cadenamiento 0+512, recomendamos verificar periódicamente el correcto funcionamiento de las válvulas de admisión y expulsión de aire instaladas.

En particular, recomendamos reforzar la capacidad de venteo en el cadenamiento 0+510, donde se localiza una válvula VAMEX A-3, con la instalación de una segunda válvula de características equivalentes en un arreglo de árbol en "Y". Con este arreglo y el correcto mantenimiento de las válvulas se garantizaría, con un factor de seguridad de dos, la adecuada admisión de aire en el punto alto, estimada en un valor máximo de 345 lps de aire (ver Figura III.8).

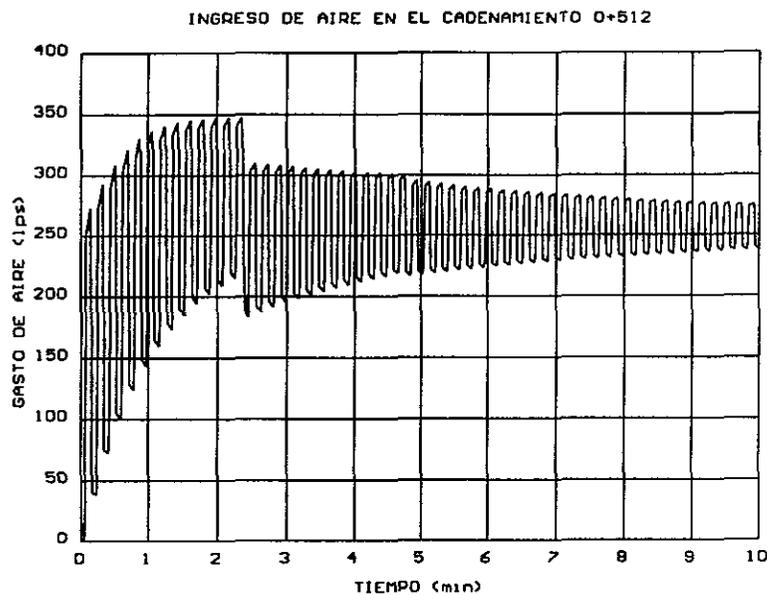


Figura III.8

Evidentemente el problema de vaciado de la conducción, aguas abajo del punto alto, quedaría aún sin resolver. La mejor alternativa para evitar este vaciado es la instalación de un tanque unidireccional, con un volumen de 315 m^3 , en el cadenamiento 0+512.

La Figura III.9 muestra las envolventes de cargas extremas correspondientes al transitorio hidráulico con la operación del tanque unidireccional. Por su parte la Figura III.10 presenta la evolución en el tiempo del gasto entregado por el tanque y el tirante en su interior.

Como se observa en esta última figura, se dispondría de un tiempo de 20 minutos para realizar el seccionamiento de la válvula de 24" propuesta para la descarga al cárcamo de rebombeo Ucum II (sección III.1) y evitar así el vaciado del tanque unidireccional y de la tubería localizada aguas abajo del cadenamiento 0+512.

TRAMO GONZALEZ ORTEGA II - UCUM II
 TRANSITORIO CON TRES BOMBAS (Q = 332 lps) Y CON TANQUE UNIDIRECCIONAL

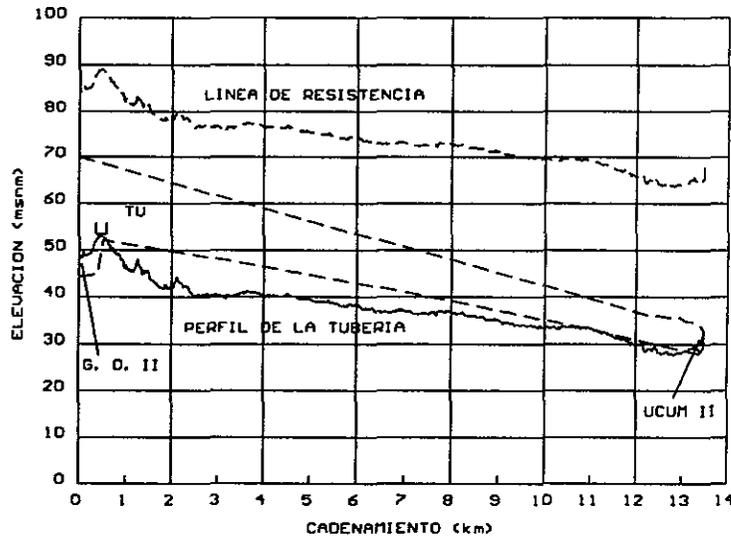


Figura III.9

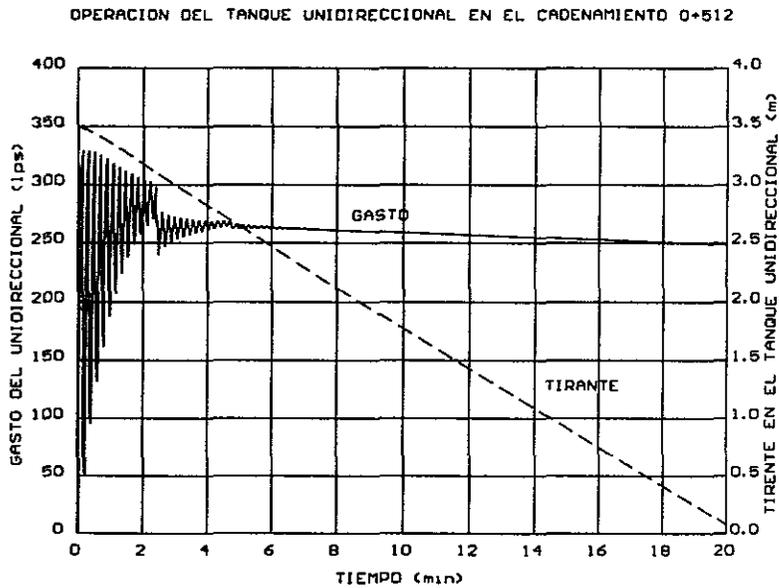


Figura III.10

Se analizó el transitorio con el cierre de la válvula de 24" a los 10 minutos de producido el disparo de las bombas. Se consideró un tiempo de cierre de 5 minutos y el funcionamiento de la válvula de alivio propuesta también en la sección III.1. La Figura III.11 muestra las envolventes de cargas extremas correspondientes y la Figura III.12 presenta la evolución en el tiempo del tirante en el tanque unidireccional.

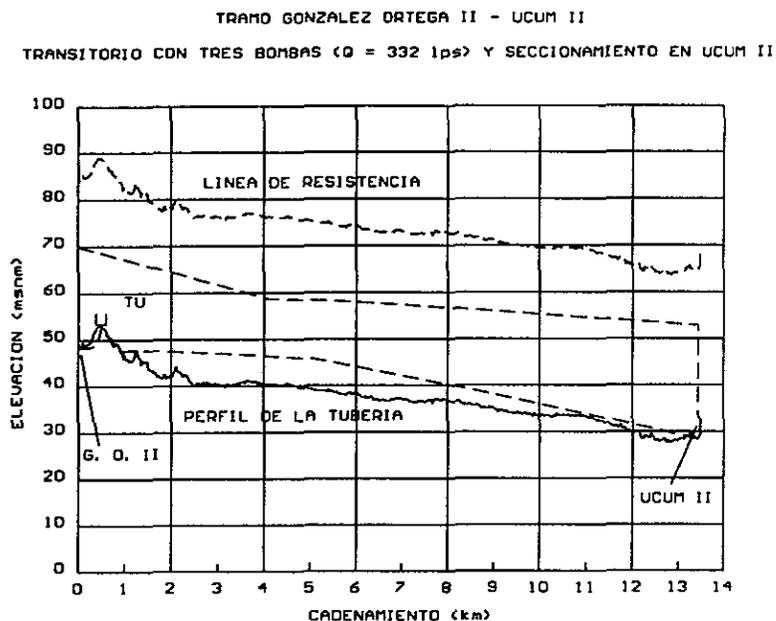


Figura III.11

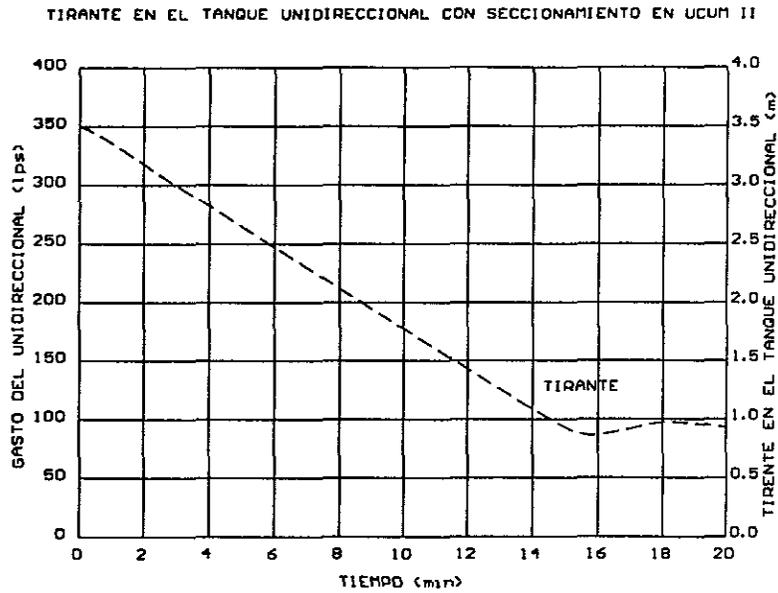


Figura III.12

Como puede observarse en la Figura III.11, el cierre de la válvula de 24" no generará problemas de sobrepresión y el tanque unidireccional mantendrá un tirante del orden de 90 cm (Figura III.12).

III.2.3 Transitorio en el rebombeo Ucum II

Al igual que en el caso anterior, se realizaron cálculos numéricos para determinar el comportamiento transitorio correspondiente al paro simultáneo de tres equipos de bombeo. La Figura III.13 muestra las envolventes de cargas transitorias extremas provocadas por el paro de las bombas.

Como se observa en esta figura, se producen sobrepresiones cuya magnitud es considerablemente superior a las correspondientes al flujo establecido (ver Figura III.5). Particularmente, la envolvente de cargas máximas se aproxima peligrosamente a la línea de resistencia de la tubería

aguas abajo del cadenamiento 15+000, lo que explica la aparición de fallas en este tramo del acueducto.

Es importante señalar que, aguas abajo del punto de mayor elevación de la conducción (localizado en el cadenamiento 21+368), sólo se presenta un vaciado gradual de la tubería semejante al descrito en el caso anterior.

Sin embargo el análisis de las sobrepresiones, aunado a la premura de dar una solución definitiva al problema de rotura de tuberías, indican claramente la necesidad de instalar un sistema de control de transitorios que proteja a la conducción. Dicho sistema debe limitar la generación de las ondas de depresión, que posteriormente se convierten en sobrepresión, debidas al disparo de los equipos de bombeo.

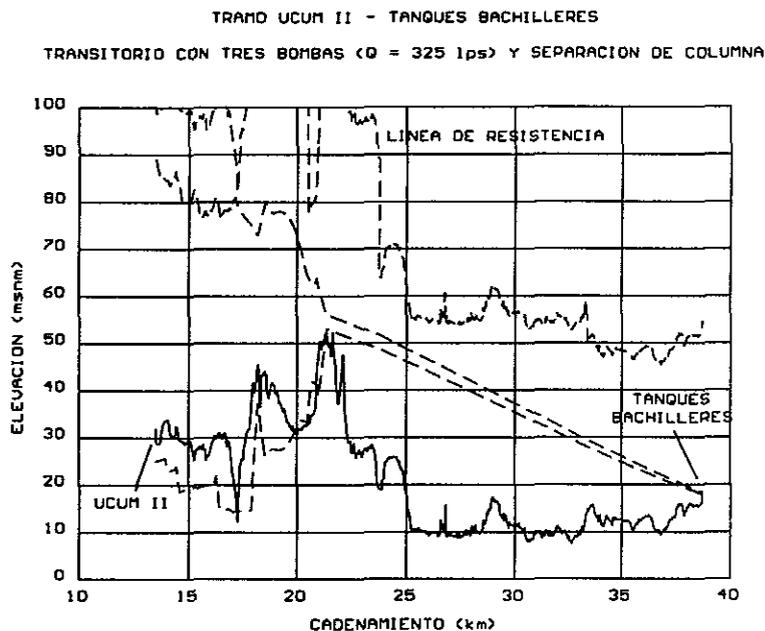


Figura III.13

CAPÍTULO IV

DIMENSIONAMIENTO DE LOS DISPOSITIVOS PARA EL CONTROL DE TRANSITORIOS HIDRÁULICOS

IV.1 Descripción y funcionamiento de los dispositivos para el control de transitorios.

Existen 3 dispositivos básicos para el control de depresiones transitorias por corte de bombeo: el tanque de oscilación, el tanque unidireccional y la cámara de aire. En este caso, la válvula de alivio no representa un dispositivo de control de presiones negativas, ya que está diseñada para evitar presiones superiores a las de operación normal, por lo que no podrá ser considerada para el tramo que aquí se analiza.

IV.1.1 Tanque de Oscilación

El tanque de oscilación es un tanque abierto que se conecta directamente a la tubería permitiendo que el agua alcance un nivel equivalente a la presión de la conducción. Para optimizar sus dimensiones debe instalarse en un punto alto de la conducción. Este tanque debe tener una sección recta de área sustancialmente mayor que el área de la tubería, siendo esta relación A_T / A mayor a 16.

Entre las ventajas que podemos tener con la instalación del tanque de oscilación es que no requiere mantenimiento mecánico y que el fenómeno de golpe de ariete no afecta el tramo de aguas abajo, despreocupándonos por la instalación de otros dispositivos. Sin embargo, las desventajas pueden ser dos: una, que el nivel de la corona debe de estar por encima del nivel de la piezométrica para gasto máximo (del punto donde se coloque el tanque), y su desplante debe de estar por debajo de la piezométrica correspondiente al gasto nulo, para que no se vacíe; la segunda, el tramo entre la planta de bombeo y el tanque está sometido a fuertes presiones, requiriéndose el análisis de la resistencia de la tubería en dicho tramo.

IV.1.2 Tanque Unidireccional

El tanque unidireccional es también un tanque abierto, pero se conecta a la conducción a través de válvulas de retención que permiten mantener un nivel de agua menor que la presión en la conducción. Protege a la conducción permitiendo la salida del agua en el momento que la presión cae y alcanza el nivel del agua dentro del tanque.

La operación del tanque unidireccional se produce cuando la piezométrica en el acueducto se abate por debajo del nivel de la superficie libre del tanque. En dicha situación, la válvula de retención se abre y fluye agua desde el tanque a la línea. Claro está que una vez que el tanque operó debe llenarse nuevamente para la próxima operación; éste deberá ser rápido y por medio de válvulas de llenado.

Entre las ventajas de instalar un tanque unidireccional se cita que su coronamiento está por debajo de la piezométrica para gasto máximo; asimismo, al reflejar parcialmente las ondas de depresión no genera sobre la máquina grandes sobrevelocidades en reversa.

Lamentablemente el tanque unidireccional sí requiere mantenimiento mecánico con regularidad para asegurar que las válvulas de retención y llenado funcionen adecuadamente. Por último, al reflejar la onda de depresión, la parte de la onda transmitida puede producir depresiones indeseables aguas abajo, lo que llevaría posiblemente a instalar otros tanques unidireccionales secundarios.

IV.1.3 Cámara de aire o Tanque Hidroneumático

A diferencia de los dispositivos anteriores, éste es un tanque cerrado que contiene aire comprimido conectado a la tubería por medio de un orificio cuya pérdida de carga crece para gastos de la línea a la cámara y decrece para gastos de la cámara a la línea. Cuando la cámara comienza a entrar en operación, la piezométrica en la planta de bombeo comienza a decrecer

hasta una posición intermedia y, por lo tanto, también disminuye la presión interior de la cámara y el aire se expande expulsando el mismo volumen de agua. Después, la piezométrica desciende a su nivel más bajo y el volumen de aire se ha expandido al máximo, quedando un nivel mínimo de agua dentro de la cámara.

Las ventajas que tienen las cámaras de aire es que reducen, a voluntad, la magnitud de la onda de depresión después del paro accidental de las bombas; además, la cámara puede colocarse siempre cerca de la planta de bombeo puesto que su efecto no depende de la cota inicial de la superficie libre del agua dentro de la cámara

Obviamente, la cámara de aire requiere de compresores para mantener el colchón de aire, lo que trae como consecuencia agregar a la planta de bombeo nuevos equipos para darle mantenimiento.

IV.2 Análisis de alternativas para el control de transitorios.

De entre los tres dispositivos antes mencionados la cámara de aire tiene grandes ventajas respecto a un tanque de oscilación o unidireccional. En la cámara de aire, el efecto sobre la onda no depende de la cota inicial de la superficie libre del agua dentro de la cámara; esta diferencia esencial respecto a ambos tanques permite que con la cámara se controle el golpe de ariete en topografías en las cuales no es conveniente colocar los tanques antes mencionados.

Asimismo, el volumen de agua estática dentro de la cámara es sustancialmente menor que en un tanque de oscilación o unidireccional, por lo que en zonas con clima frío es más fácil evitar la congelación mediante calentamiento.

Además, dadas las condiciones topográficas de la zona y la gran elevación que deberían tener los tanques de oscilación y unidireccional en el acueducto (que repercuten en el aspecto económico), la mejor alternativa resulta la instalación de un sistema de cámaras de aire de menores dimensiones.

IV.3 Dimensionamiento de los dispositivos seleccionados

El sistema de cámaras de aire propuesto podrá construirse con 2 tanques hidroneumáticos de 2.10 m de diámetro y altura total en su cuerpo principal de 6.90 m (considerando tapas hemisféricas). Dichas cámaras podrán conectarse al múltiple de descarga de las bombas. De esta manera, el sistema de control de transitorios quedaría concentrado en la misma planta de bombeo Ucum II facilitando las labores de inspección durante la operación.

Para la operación segura será necesario vigilar que la intercara agua-aire esté dentro del intervalo de operación permitido, ± 0.10 m alrededor del nivel de operación normal, considerado en la cota 34.00 msnm. Este nivel de operación sólo podrá ser modificado si durante la construcción de las cámaras se requiere modificar el nivel de su desplante (considerado para proyecto en la cota 29.40 msnm).

Se realizó la simulación del transitorio hidráulico con las cámaras propuestas. La Figura IV.1 muestra las envolventes de cargas máximas y mínimas que se presentarán por el paro simultáneo de los tres equipos de bombeo. Se observa que en ninguna sección de la conducción se generarán depresiones que pongan en riesgo la integridad del sistema y que las presiones máximas sólo superan ligeramente la presión de operación normal.

La Figura IV.2 muestra la variación del nivel del agua dentro de las cámaras, después de la suspensión del bombeo. Se observa que el volumen asignado a las cámaras es suficiente para evitar la salida del aire hacia la conducción principal, ya que el nivel mínimo transitorio del agua se ubica en la cota 32.10 msnm, es decir 0.75 m por arriba de la unión entre la tapa hemiesférica inferior y el cuerpo de la cámara (propuesta en la cota 31.35 msnm, aproximadamente).

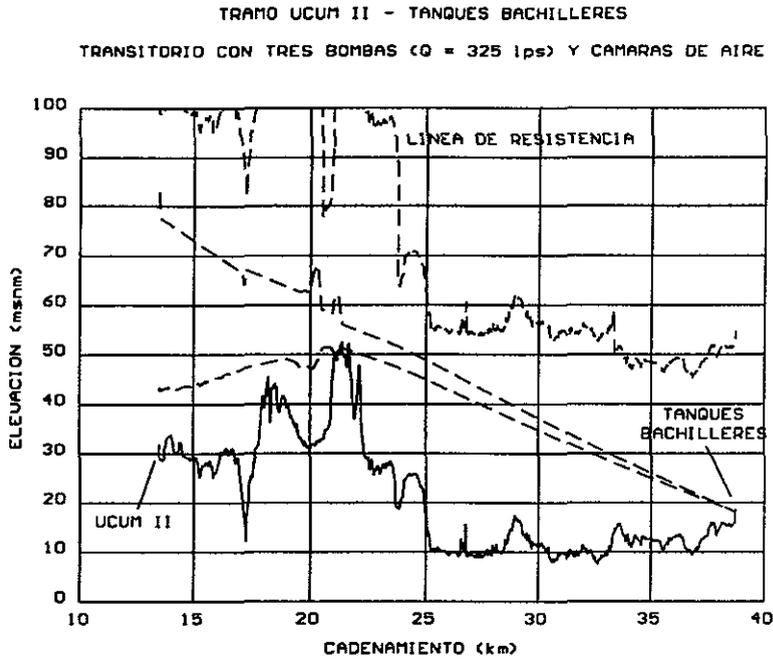


Figura IV.1

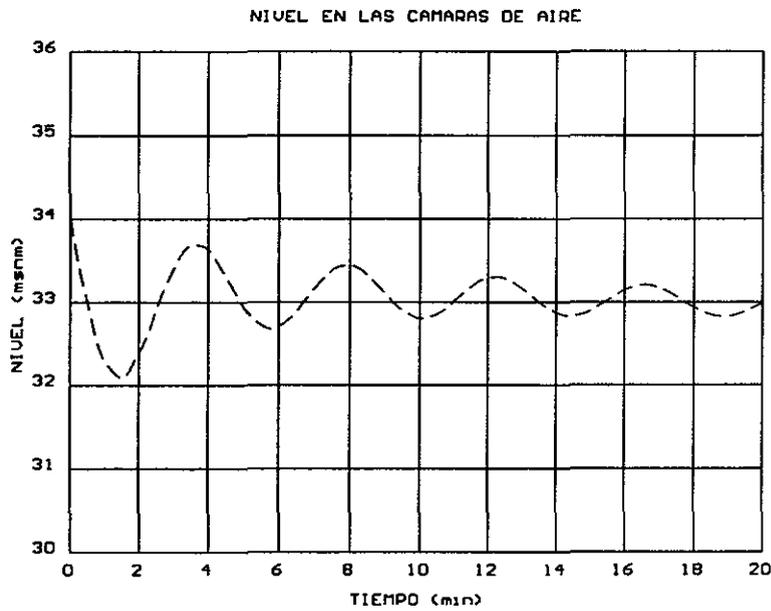


Figura IV.2

Si durante esta operación normal permitida (± 0.10 m considerado en la cota 34.00 msnm) se incrementa el nivel del agua en el interior de la cámara por arriba de la cota 34.10 msnm, el operador deberá inyectar aire comprimido a las cámaras.

En caso de que no se produzca la inyección de aire o que, por efecto de alguna fuga, ésta sea insuficiente para recuperar el nivel de operación normal, deberá activarse una alarma preventiva por falta de aire al llegar a la cota 34.30 msnm.

De continuar aumentando el nivel del agua en el interior de las cámaras hasta alcanzar la cota 34.50 msnm, deberá activarse una segunda alarma que indique al operador la necesidad de realizar el paro programado de los equipos de bombeo por falta de aire. La restitución del bombeo no podrá realizarse en tanto no se solucione el problema de inyección de aire.

La inyección de aire en las cámaras deberá suspenderse cuando, en operación normal con tres equipos de bombeo, se alcance nuevamente la cota 34.00 msnm. En instalaciones semejantes a la que aquí se propone, se ha visto que la maniobra de restitución del aire de las cámaras (después de asegurar que no haya fugas) no se realiza más de una vez por día.

Si por descuido del operador la inyección de aire continua, abatiendo el nivel del agua por debajo de la cota 33.90 en operación normal, deberá activarse una alarma preventiva de exceso de aire al llegar a la cota 33.70 msnm.

De continuar disminuyendo el nivel del agua en el interior de las cámaras durante la operación normal, hasta alcanzar la cota 33.50 msnm, deberá activarse una alarma que indique al operador la necesidad de realizar el paro programado de los equipos de bombeo por exceso de aire. La restitución del bombeo no podrá realizarse en tanto no se haya liberado el aire en exceso a través de una válvula de purga que deberá ser instalada en la misma tubería para inyección de aire.

Es muy importante observar que, como se muestra en la Figura IV.2, el nivel en las cámaras para gasto nulo en el acueducto tenderá a ubicarse alrededor de la cota 33.00 msnm, debido a la

reducción de la presión en el múltiple de descarga. Evidentemente, con este nivel se activaría la alarma de exceso de aire, pero esto no significa que sea necesario su evacuación.

La Figura IV.3 muestra un esquema de las cámaras de aire propuestas. En esta figura se presentan los niveles antes descritos.

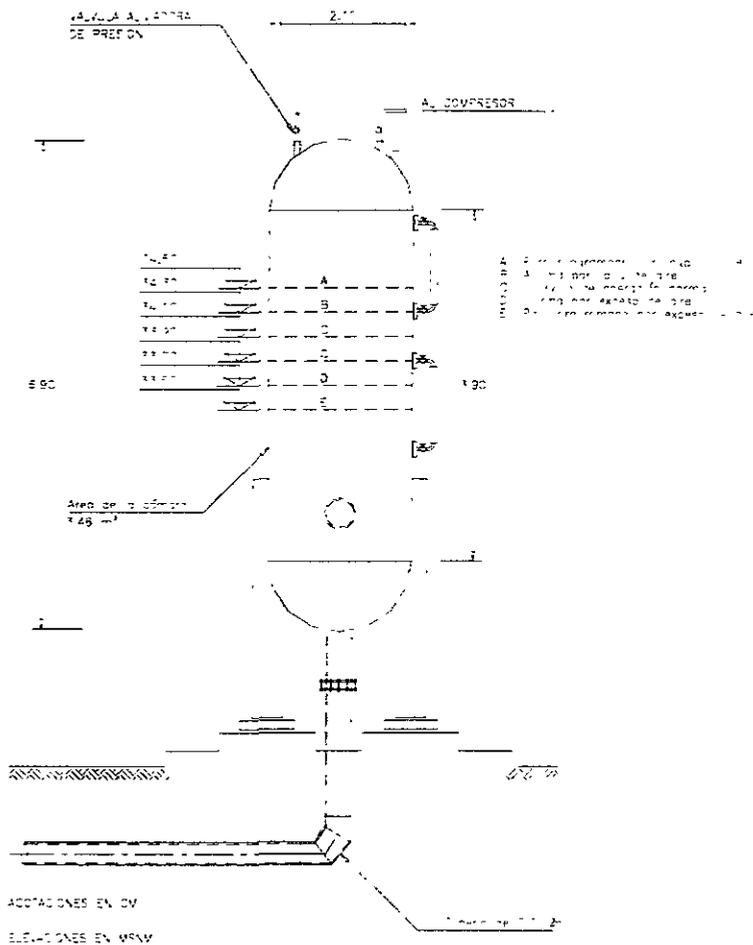


Figura IV.3

El sistema de control de transitorios ha sido diseñado con 2 cámaras con el propósito de darle mayor flexibilidad, pues al operar el rebombeo con dos equipos quedará eficientemente protegido

con una sola cámara de aire. Esto permitirá realizar maniobras independientes de inspección y mantenimiento a los tanques hidroneumáticos sin suspender el servicio.

Las Figuras IV.4 y IV.5 muestran las envolventes de piezométricas máximas y mínimas así como la variación del nivel del agua en la cámara en operación, durante el transitorio producido por el paro de dos bombas. El cálculo representa la protección que se obtiene con una sola cámara y puede verse que ésta resulta suficiente.

Por lo que respecta al problema de vaciado de la conducción aguas abajo del cadenamiento 21+368 (descrito en párrafos anteriores), en la sección III.1 se recomendó la instalación de un tanque de cambio de régimen. Considerando una superficie para el tanque de 140 m² la Figura IV.6 muestra que, de no llevarse a cabo un seccionamiento aguas abajo de este tanque, o bien de mantener las derivaciones en ruta, se produciría su vaciado en un tiempo estimado en casi media hora.

Con la finalidad de evitar este vaciado, suponiendo que no se tienen derivaciones en ruta, deberá realizarse el seccionamiento de dos válvulas existentes (cadenamientos 23+848 y 33+556). El cierre de estas válvulas deberá ser simultáneo y se recomienda que se realice en un tiempo no menor de 15 minutos, a fin de evitar sobrepresiones que superen la resistencia de la tubería.

Bajo ninguna circunstancia deberá realizarse el cierre de la válvula del cadenamiento 33+556 sin antes asegurarse que se ha iniciado el cierre de la válvula del cadenamiento 24+848, ya que se impondría una carga estática superior a la resistencia de la tubería aguas arriba del cadenamiento 33+556.

La Figura IV.7 muestra las envolventes de cargas extremas debidas al seccionamiento simultáneo de estas válvulas en un tiempo de 15 minutos. Por su parte la Figura IV.8 confirma que, con estas maniobras, se evitaría el vaciado del tanque de cambio de régimen. Evidentemente, para evitar derrames en el tanque de cambio de régimen, antes de restituir el bombeo deberán abrirse los seccionamientos.

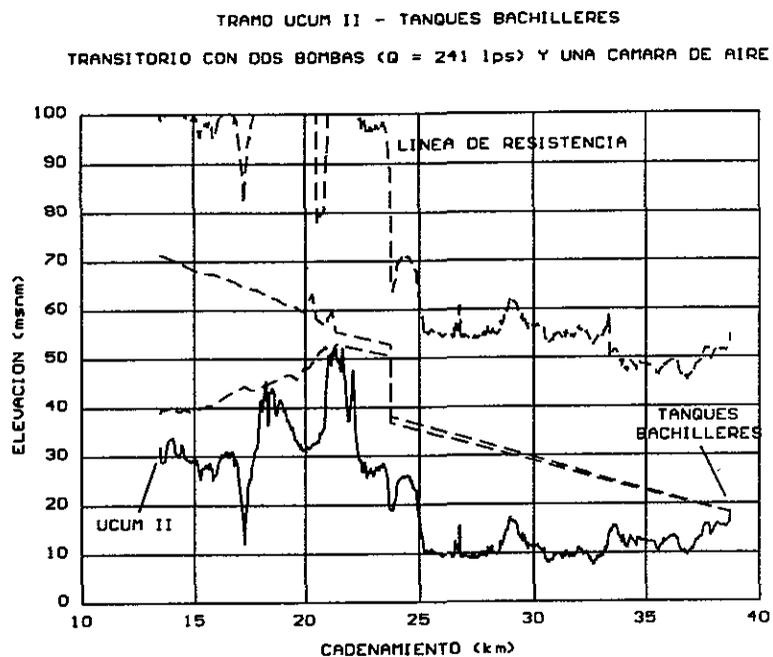


Figura IV.4

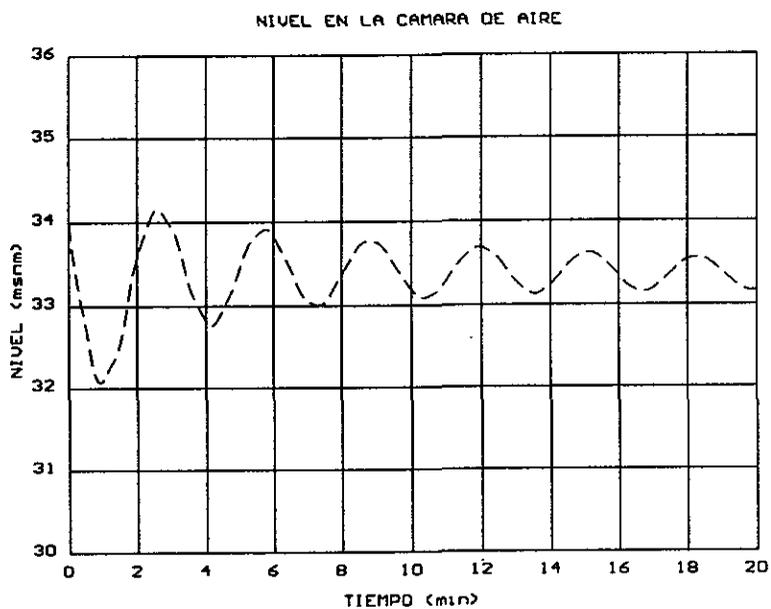


Figura IV.5

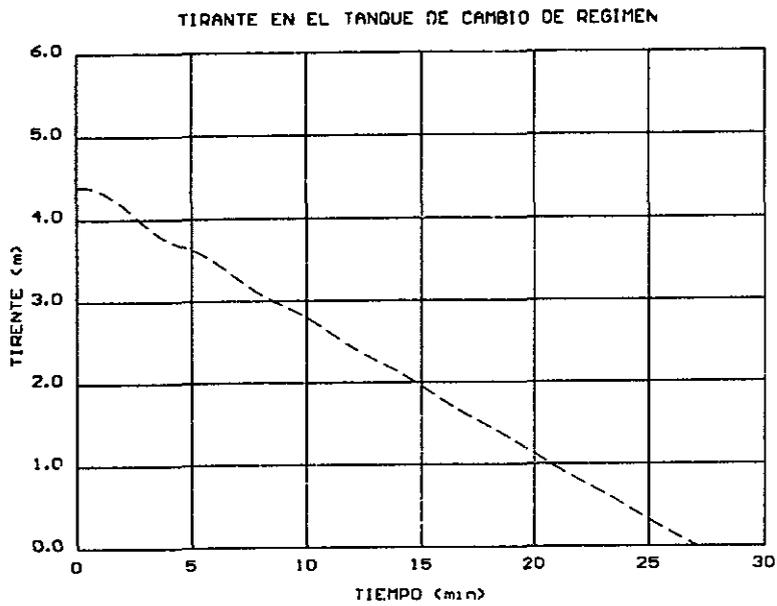


Figura IV.6

TRAMO UCUM II - TANQUES BACHILLERES
TRANSITORIO DEBIDO AL CIERRE DE LOS SECCIONAMIENTOS AGUAS ABAJO DEL TCR

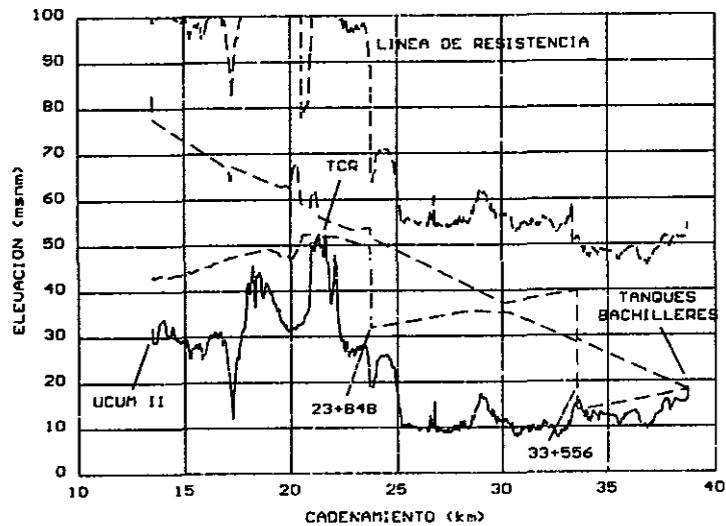


Figura IV.7

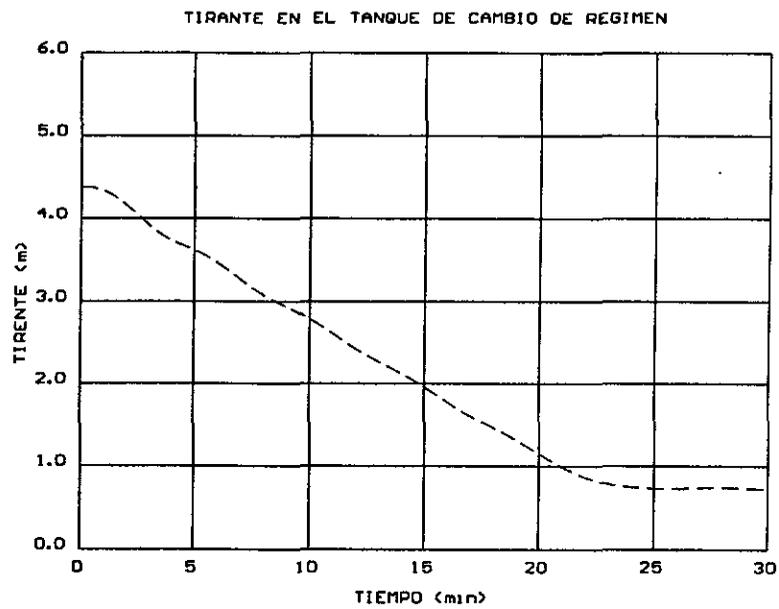


Figura IV.8

CAPÍTULO V
ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS
PARA LA CIMENTACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS DE CONTROL

A petición del Instituto de Ingeniería, la empresa Consultoría Yáñez-Taylor, S.A. de C.V., llevó a cabo un estudio de mecánica de suelos con el objeto de determinar el tipo de cimentación más apropiado para los dispositivos de control del transitorio hidráulico en el acueducto González Ortega II - Ucum II - Chetumal, Quintana Roo.

Los trabajos se apoyan en los datos generales de proyecto proporcionados a continuación :

La zona de estudio se extiende a lo largo de 20 km paralelos al acueducto encargado de suministrar parte del agua potable que se consume en la Ciudad de Chetumal, Q.R.. En el tramo de interés el acueducto corre en el lado sur de la carretera 186 que comunica las Ciudades de Escárcega y Chetumal.

Son tres los dispositivos de control proyectados cuya ubicación y descripción se mencionan en la Tabla V.1. En el plano MS-1 del Anexo B se ilustra la localización de los lugares investigados.

Desde el punto de vista geológico el área en estudio pertenece a la formación Estero Franco, donde aparecen masas de roca caliza del valle del Río Hondo con carbonatos amarillos en capas regulares delgadas muy cristalinas.

Se estima que la precipitación pluvial anual en el área es de 1,250 mm. El clima se clasifica como cálido húmedo y la temperatura media anual es de 26°C, siendo el mes de enero el menos cálido y los de abril y mayo los más calurosos.

Sitio	Ubicación	Dispositivo de control	Descripción	Peso unitario en t/m ²
1	Ejido González Ortega	tanque unidireccional	tanque de concreto reforzado con dimensiones en planta de 10 x 9.5 m y tirante de agua de 3.5 m.	5.0
2	Planta de bombeo Ucum II	cámaras de aire	dos tanques de acero con 2.1 m de diámetro y 6.90 m de altura, con una columna de agua interior de 4.8 m, instalados sobre una losa de cimentación	2.0
3	Identificado como Km 21	tanque para cambio de régimen	tanque de concreto reforzado con dimensiones en planta de 14 x 10 m y con 4.5 m de tirante de agua.	7.0

Tabla V.1

El sitio en cuestión se localiza en una zona de baja incidencia ciclónica, donde el viento puede alcanzar una velocidad máxima de 140 a 180 km/hr.

No resulta extraño que en la caliza aparezcan cavidades y conductos de disolución (morfología cárstica) que varían desde pequeños pozos hasta cavernas que dan origen a cenotes, akalchés, sartenejas, etc.

V.1 Investigación del subsuelo

En cada uno de los sitios mencionados (Tabla V.1) se efectuó un sondeo con la longitud y nomenclatura que se presenta en la Tabla V.2:

Sitio	Sondeo	Longitud (m)
1. Ejido González Ortega	S-1	11.88
2. Planta de bombeo Ucum II	S-2	12.00
3. Identificado como Km 21	S-3	8.50

Tabla V.2

La ejecución de los sondeos combinó el método de penetración estándar con la recuperación de muestras con barril y broca de tungsteno diámetro B; además, se recurrió al avance sin recuperación de muestras mediante broca tricónica de 7.5 cm de diámetro (2 15/16”).

El procedimiento de penetración estándar se apegó a lo establecido por la norma ASTM D-1586, recuperando muestras alteradas de suelos y midiendo su resistencia a la penetración. El número de golpes N se midió para los 30 cm correspondientes al tramo intermedio del muestreador. En suelos compactos se midió la longitud penetrada para un límite de 50 golpes.

La localización de los puntos explorados en cada sitio se presenta también en el plano MS-1 del Anexo B.

Es oportuno mencionar que en ninguno de los sondeos realizados se detectó el nivel de aguas freáticas en el intervalo explorado.

Las muestras de suelo fueron ensayadas en laboratorio para determinar el grupo del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) al cual pertenecen, así como también su contenido de agua (w). También se determinaron la composición granulométrica y los límites de consistencia (LL y LP) de muestras de suelos típicos. En

las muestras de roca se definió su clasificación geológica megascópica y, cuando fue posible, el índice de calidad ICR o RQD (rock quality designation).

La clasificación de los materiales, así como la variación de sus propiedades con la profundidad, se presentan en las Figuras 1 a 3 (del Anexo B).

El índice de calidad de la roca ICR o RQD es el porcentaje de recuperación de núcleos de roca mayores de 10 cm de longitud respecto al tramo de muestra.

Los trabajos de exploración no encontraron evidencias que permitan suponer la presencia de cavidades subterráneas en los sitios investigados.

V. 2 Estratigrafía y Propiedades

Los resultados de la investigación en cada zona se exponen a continuación:

V.2.1 Ejido González Ortega (sondeo S-1)

Este terreno lo cubre una capa vegetal de 0.1 m, bajo el cual se encuentra un estrato de 0.8 m de espesor formado por grava arcillosa compacta y arcilla con algunas gravas de consistencia firme, ambas de color café amarillento. Continúa hasta 2 m de profundidad un suelo limoso (ML) con poca arena fina y gravas aisladas, color café blanquizo, de consistencia muy firme.

Por ultimo, y hasta el final del sondeo, aparecen gravas subredondeadas con poca arcilla (GC), color café claro, de alta compacidad.

V.2.2 Planta de bombeo Ucum II (sondeo S-2)

En esta zona existe inicialmente una capa de suelo vegetal de 0.1 m que cubre el terreno. Enseguida, se distingue un depósito de arcilla café amarillento con muy poca arena fina (CH) que alcanza los 8.4 m de profundidad. La arcilla incrementa su resistencia conforme avanza la perforación, de tal manera que hasta 1.8 m de profundidad presenta una consistencia media a firme, entre 1.8 y 4.8 m de profundidad su consistencia es firme y, finalmente, entre 4.8 y 8.4 m de profundidad su consistencia es dura.

Al final, a partir de 8.4 m de profundidad y hasta la conclusión del barreno, reaparece suelo arcilloso (CH) pero con un contenido mayor de arena y gravas, color café amarillento de consistencia muy dura.

El contenido de agua (w) en los materiales arcillosos tiene un valor medio de 33.4% y valores extremos de 19 y 60%. El límite líquido (LL) muestra un valor promedio de 100.2%, oscilando entre 86 y 116%, mientras que el límite plástico (LP) reporta un valor medio de 28.7% y valores extremos de 26 a 33%.

V.2.3 Lugar identificado como Km 21 (sondeo S-3)

Este sitio se identifica por la presencia de roca caliza color café claro a blanquizco, con un fracturamiento moderado a intenso. La calidad de la roca define un ICR que varía entre 0 y 49%. Cubre el terreno una capa vegetal de 10 cm de espesor.

V.2.4 Coeficiente sísmico

Con base a la estratigrafía de los lugares en cuestión y acorde a lo recomendado por el Instituto de Ingeniería de la UNAM para el diseño por sismo, se propone el empleo de un

coeficiente sísmico básico para terreno tipo I de 0.08 en los sitios 1 y 3 (Ejido González Ortega y Km 21), y un coeficiente sísmico básico para terreno tipo III de 0.24 en el sitio 2 (planta de bombeo Ucum II).

V.3 Análisis de la cimentación

Tomando en cuenta las condiciones del subsuelo y las que imponen los diferentes proyectos, se considera que la cimentación más adecuada es de tipo superficial, empleando la losa de fondo o apoyo de las estructuras como losa de cimentación.

Es premisa del diseño asumir que el nivel de desplante de las estructuras es muy similar al nivel actual del terreno.

V.3.1 Ejido González Ortega (sondeo S-1)

El proyecto contempla la construcción de un tanque unidireccional de concreto reforzado con dimensiones en planta de 10 x 9.5 m y un tirante de agua de 3.5 m. El peso unitario de esta estructura se estima de 5 t/m².

Previamente al desplante de la losa de cimentación, debe removerse el terreno natural en un espesor de 1.2 m y remplazarlo por material controlado y compactado. La proyección en planta del área mejorada debe exceder 1 m, mínimo, el perímetro de la losa de fondo del tanque. Al colocar esta capa de material mejorado se pretende proporcionar una superficie de apoyo homogénea a la losa de cimentación, minimizando así el efecto de puntos o zonas locales débiles del terreno natural.

El material controlado debe provenir de un banco comercial de reconocido prestigio que cumpla con las normas de control. El material controlado debe compactarse al 100% de

su peso volumétrico seco máximo (PVSM) de acuerdo con la prueba de control que le corresponda según su naturaleza.

En la región abundan suelos residuales producto de la intemperización de la roca caliza denominados sahcab (tierra blanca), y que normalmente se clasifican como limos arenosos (ML) o arenas limosas (SM). Estos materiales deben colocarse en capas sueltas no mayores de 15 cm y compactarse al grado especificado respecto de la prueba de control AASHTO estándar. Asimismo, el material debe cumplir con las siguientes especificaciones.

Límite líquido	40%, máximo
Índice plástico	15%, máximo
Contracción lineal	5%, máximo

En estas condiciones, la capacidad portante del terreno bajo la losa estimada por el criterio de Terzaghi es elevada respecto al peso unitario de la estructura; sin embargo, se recomienda limitar el valor de la capacidad de carga total admisible del terreno a 20 t/m². Los asentamientos que puedan haber en el terreno bajo la estructura serán despreciables. En la Figura 4 (del Anexo B) se esquematiza la propuesta de cimentación descrita.

V.3.2 Planta de bombeo Ucum II (sondeo S-2)

En este sitio está contemplado instalar dos cámaras de aire compuestas por tanques de acero de 2.1 m de diámetro y 6.90 m de altura, con un nivel interior de agua de 4.8 m. El conjunto de cámaras se desplanta sobre una losa de cimentación que transmite al terreno un peso unitario de 2 t/m².

Como en el caso anterior, antes de proceder a la construcción de la losa de cimentación, debe removerse el terreno natural en un espesor de 2.0 m y reemplazarse por

material controlado y compactado. También en esta situación la proyección en planta del área mejorada debe exceder 1 m, mínimo, el perímetro de la losa de apoyo del conjunto.

Las características de calidad del material controlado deben apearse a lo indicado en este sentido en el subinciso *V.3.1*. El material controlado debe compactarse al 100% de su peso volumétrico seco máximo (PVSM) de acuerdo con la prueba de control que le corresponda según su naturaleza.

De esta manera, la capacidad portante del terreno bajo la losa se estima con el criterio de Terzaghi para suelos arcillosos con un valor conservador de la cohesión $c = 10 \text{ t/m}^2$, por lo que se recomienda emplear en el diseño una capacidad de carga total admisible de 17 t/m^2 . De nueva cuenta, en la Figura 4 (del Anexo B) se ilustra la sugerencia de cimentación comentada.

El asentamiento máximo a largo plazo del terreno bajo la losa del conjunto no será mayor de 3 cm. Para este análisis se consideró una descarga uniforme de 2 t/m^2 y la distribución de presiones bajo diferentes puntos de la losa que se ilustra en la Figura 5 (del Anexo B); además se emplearon, conservadoramente, coeficientes de variación volumétrica, m_v , de $0.02 \text{ cm}^2/\text{kg}$ hasta una profundidad de 4.8 m y de $0.01 \text{ cm}^2/\text{kg}$ entre 4.8 y 8.4 m de profundidad.

V.3.3 Lugar identificado como Km 21 (sondeo S-3)

Aquí se prevé la construcción de un tanque de cambio de régimen de concreto reforzado, con dimensiones en planta de $14 \times 10 \text{ m}$ y con tirante de agua de 4.5 m. El peso unitario de esta estructura se estima en 7 t/m^2 .

En esta ocasión la losa de fondo del tanque puede desplantarse directamente sobre la roca caliza fracturada que aflora en el sitio, previo despalle de la capa vegetal.

La capacidad de soporte del terreno es bastante elevada; sin embargo, y tomando en cuenta el peso unitario de las estructuras previstas, se aconseja limitar el valor de la capacidad de carga total admisible del terreno a 20 t/m^2 . Asimismo, también los asentamientos del terreno bajo la estructura serán despreciables.

CAPÍTULO VI

DISEÑO ESTRUCTURAL DE LOS DISPOSITIVOS DE CONTROL

Una vez presentados los trabajos de mecánica de suelos (capítulo V), se describe a continuación, y en forma breve, los principales lineamientos utilizados para el diseño estructural de los dispositivos de control.

VI.1 Tanque Unidireccional

El tanque unidireccional que tendrá como ubicación el cadenamiento 0+512 m del tramo G.O. II - Ucum II, estará formado por muros estructurales de concreto reforzado, los cuales se consideran empotrados en la losa de cimentación. En la parte superior de estos muros se apoya la losa de cubierta. La cimentación será una losa maciza con contratraveses alineadas con los contrafuertes centrales, los cuales se consideraron empotrados en la losa maciza para su análisis. El tanque tendrá una altura total de 4.10 m y dimensiones en planta de 11 x 12 m.

La losa de cubierta está apoyada en los muros perimetrales y en trabes centrales, que a su vez están apoyadas (empotramiento) en los contrafuertes y en un apoyo intermedio dado por una columna central.

Los muros están formando tableros delimitados por las dos losas y lateralmente por los contrafuertes, considerados para su análisis horizontal como muros continuos.

VI.1.1 Condiciones de carga en el Tanque unidireccional

La estructura se diseñó para la condición de tanque lleno con las presiones hidrostáticas del agua actuando sobre los muros y el peso del agua actuando sobre la losa de

cimentación. Asimismo, se revisó la condición de carga permanente más la carga por sismo, considerando 25% de aumento en la resistencia de los materiales.

VI.1.2 Criterio de diseño

Para el diseño de los elementos estructurales de concreto se consideró el Método Elástico dado que, para las obras hidráulicas, es el método que tradicionalmente se ha empleado con resultados satisfactorios. Así, las paredes (muros), la losa de cimentación y la losa de cubierta se dimensionaron sobre la base de esfuerzos permisibles en condiciones de servicio.

Finalmente, fueron cuidadas las recomendaciones para diseño y especificaciones de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) y la Comisión Nacional del Agua (CNA).

VI.2 Cámaras de aire

Conectadas al múltiple de descarga de la planta de bombeo Ucum II, estarán dos cámaras de aire. Estas cámaras están diseñadas en acero, utilizando las recomendaciones que, para tanques y depósitos trabajando a presión, han emitido diversas instituciones, tales como la CFE, ASTM, etc. Cada una de las cámaras de aire cuenta con una tapa y un fondo hemisférico, construido con placas a base de gajos.

VI.2.1 Cálculo de espesores

Para determinar el espesor de la pared del cuerpo de la cámara, la tapa y fondo hemisféricos, se tomó como base el "Manual de diseño de obras civiles" de la CFE.

VI.2.1.1 *Espesor del recipiente*

Para obtener el espesor del recipiente se utilizaron los siguientes datos: presión máxima de trabajo (p) de 4.8 kg/cm^2 ; radio interior del tanque (R) de 105 cm ; esfuerzo admisible a tensión (f) de 890 kg/cm^2 ; eficiencia de las uniones soldadas (E) de 0.9 y el espesor adicional por corrosión (c) de 0.25 cm . Con base en lo anterior se llegó a un espesor del recipiente (t_c) de 0.63 cm ($1/4$ "); sin embargo, para fines de construcción se optó redondear el espesor del recipiente a 0.95 cm ($3/8$ ").

VI.2.1.2 *Espesor de la tapa y fondo hemisféricos*

Se utilizaron los mismos datos para calcular el espesor del recipiente. Además, hay que tomar en cuenta que en la unión entre el cuerpo cilíndrico y la tapa que cierra el recipiente se presenta una concentración de esfuerzos. Los esfuerzos flexionantes que actúan cerca o sobre la unión, en tanques con tapas hemisféricas, son mucho menos significativos que en otro tipo de cubiertas. La relación óptima para tapas hemisféricas es de $t_h = 0.6 t_c$. Por lo anterior, tenemos un resultado de $t_h = 0.38 \text{ cm}$; sin embargo, para fines de construcción se optó redondear el espesor de la tapa y fondo hemisféricos a $t_{h \text{ final}} = 0.63 \text{ cm}$ ($1/4$ ").

VI.2.2 *Soldaduras en la tapa hemisférica*

Estará formada por cuatro gajos de igual tamaño y un casquete superior para formar la sección final. La tapa hemisférica tiene la particularidad de que los esfuerzos en la dirección axial y la dirección circunferencial poseen el mismo valor, excepto en la unión con el cuerpo. Se recomendó para la unión soldadura en "V", con electrodos E-60XX, para acero estructural al carbono (acero A-283-C).

VI.2.3 Soldaduras en el cuerpo de la cámara

El cuerpo de la cámara de aire está constituido por un cilindro de 2.1 m de diámetro y 3.9 m de altura. A su vez, este cilindro se forma con tres cilindros del mismo diámetro y 1.3 m de altura cada uno. Los tres cilindros estarán unidos por soldaduras verticales y horizontales. Para su diseño se utilizó el criterio del cilindro de pared delgada con el valor máximo circunferencial.

VI.2.4 Estructura de soporte para las cámaras de aire

Se propone que el tanque que forma a la cámara de aire se apoye en dos estructuras: un anillo circunferencial (faldón) y 4 apoyos a base de vigas "I". El peso de las dos tapas (w_t) es de 689.95 kg; el peso total del cuerpo (w_c) es de 1600.4 kg y, sumando el peso del agua (con tirante de 1.75 m) y el del volumen acumulado en el fondo hemisférico a los datos anteriores, dan un peso total (W_T) en los apoyos de 14.23 toneladas. Se supone, además, un peso adicional por otros aditamentos como escalera marina, plataforma para inspección de electroniveles y tuberías de inserción para aire y agua, de aproximadamente 500 kg, por lo que finalmente el peso será de $W_T = 14.75$ kg.

El anillo circunferencial y las columnas "I" están diseñadas en acero A-36, para evitar problemas de pandeo. Las columnas de sección "I" serán de 6" tipo pesado, con altura de 1.15 m.

VI.3 Tanque de Cambio de Régimen

En el sitio topográficamente más alto, aguas abajo de la planta de bombeo Ucum II, se ha propuesto la instalación de un tanque para cambio de régimen (TCR), el cual tiene capacidad para albergar un volumen total de 600 m³. Estructuralmente, la solución de

CAPITULO VII

CONCLUSIONES

Como resultado de las campañas de medición y análisis del funcionamiento hidráulico del Acueducto González Ortega II - Ucum II - Chetumal, Quintana Roo, se establecen las siguientes conclusiones:

- a) Las mediciones realizadas permitieron establecer que los rebombes González Ortega II y Ucum II permiten bombear gastos del orden de 330 lps. Adicionalmente, con base en dichas mediciones se determinaron las características de operación de los equipos de bombeo y los valores de los factores de fricción de las tuberías de conducción (capítulo II). Dichos factores de fricción corresponden a rugosidades equivalentes de 0.342 mm para los tramos de asbesto-cemento y de 0.104 a 0.392 mm para los tramos con tubería de polietileno de alta densidad.
- b) Cálculos del transitorio hidráulico, provocado por el disparo de los equipos de bombeo en el tramo Rebombes González Ortega II - Rebombes Ucum II, muestran que no hay riesgo de rotura de tuberías. Sin embargo, se produce el vaciado de la tubería localizada aguas abajo del cadenamiento 0+512 hacia el cárcamo del Rebombes Ucum II.
- c) Los cálculos del transitorio hidráulico en el tramo Rebombes Ucum II - Tanques Bachilleres muestran que existen sobrepresiones capaces de producir la falla de tuberías. Dichas sobrepresiones son producto de la compresión del aire admitido durante la fase de depresión del transitorio. Se establece entonces la necesidad de instalar un sistema de control de transitorios que proteja a la conducción evitando, principalmente, la generación de presiones negativas. Adicionalmente, se produce el vaciado de gran parte de la tubería localizada aguas abajo del cadenamiento 21+368.

De los análisis en flujo transitorio se establecen las siguientes recomendaciones:

al múltiple de descarga del Rebombero Ucum II. El sistema recomendado tiene la gran ventaja de quedar ubicado en el predio del Rebombero Ucum II, donde el mismo operador encargado de los equipos de bombeo podrá atenderlo.

Finalmente, es muy importante destacar que sólo la última recomendación (inciso ii) está dirigida a evitar los problemas de rotura de tubería. El tanque unidireccional (inciso i.1) y el tanque de cambio de régimen (inciso i.2) son estructuras propuestas para adecuar y mejorar la operación del acueducto. Por lo anterior, las cámaras de aire son los únicos dispositivos que están previstos en la primera etapa de construcción, próxima a entrar en operación. El tanque unidireccional y el tanque de cambio de régimen son estructuras que podrán ser contempladas a futuro.

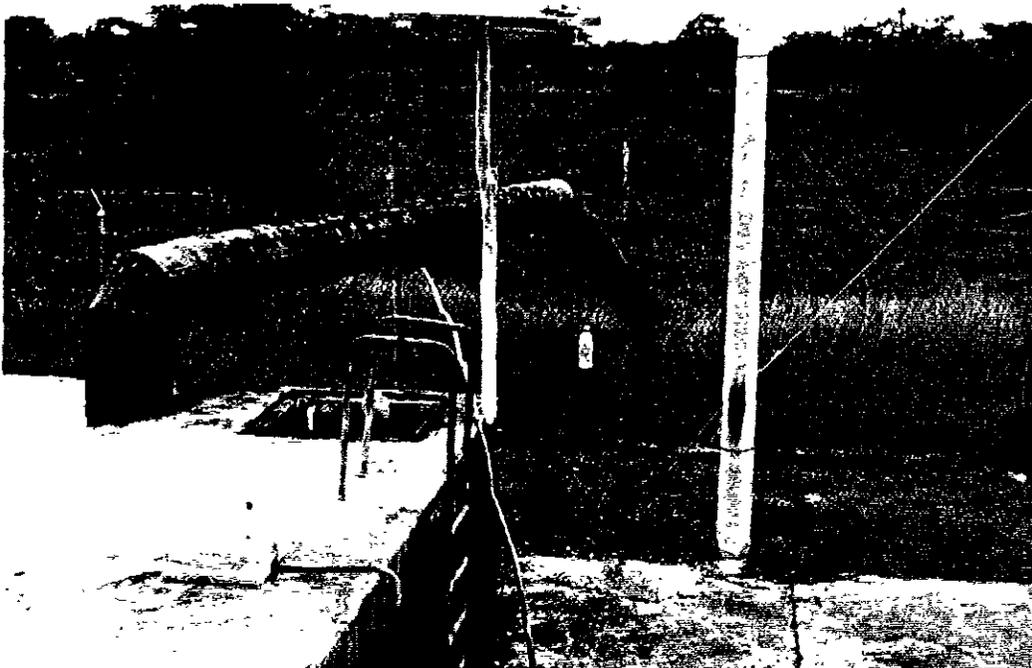
BIBLIOGRAFÍA

1. R. Carmona P., E. Rodal C., A. Sánchez H., F. Ibarra S., A. Sánchez G. y A. Sámano G.
Proyecto Ejecutivo de los Dispositivos para el Control del Transitorio Hidráulico en el Acueducto González Ortega II - Ucum II - Chetumal, Quintana Roo. Primer Informe parcial. Elaborado para la CNA en septiembre de 1996, Instituto de Ingeniería, UNAM.
2. A. Sánchez H.
Proyecto Ejecutivo de los Dispositivos para el Control del Transitorio Hidráulico en el Acueducto González Ortega II - Ucum II - Chetumal, Quintana Roo. Segundo Informe parcial. Elaborado para la CNA en noviembre de 1996, Instituto de Ingeniería, UNAM.
3. R. Carmona P., A. Sánchez H., S. Ramos T. y J.A. Sánchez H.
Proyecto Ejecutivo de los Dispositivos para el Control del Transitorio Hidráulico en el Acueducto González Ortega II - Ucum II - Chetumal, Quintana Roo. Informe Final. Elaborado para la CNA en diciembre de 1996, Instituto de Ingeniería de la UNAM.
4. R. Guarga F., J.L. Sánchez B., R. Carmona P. y L. Aguilar M
Diseño y Operación hidráulicos de conducciones de agua a presión. Fascículos II y IV. Elaborado para la SARH en diciembre de 1985, Instituto de Ingeniería, UNAM.
5. Holman J.P
Métodos Experimentales para Ingenieros, Agosto 1979, McGraw - Hill pp. 192-193.
6. Mott, Robert L.
Applied Fluid Mechanic, 1994, Prentice Hall Career & Technology Englenwood Cliffs, New Jersey 07632, pp 248.
7. Sotelo A. Gilberto.
Hidráulica General, Volumen 1. Abril 1991. Noriega Limusa.
8. Catálogo Dieterich Standard - Sensores de Caudal Annubar - Diamond II, Productos Industriales.

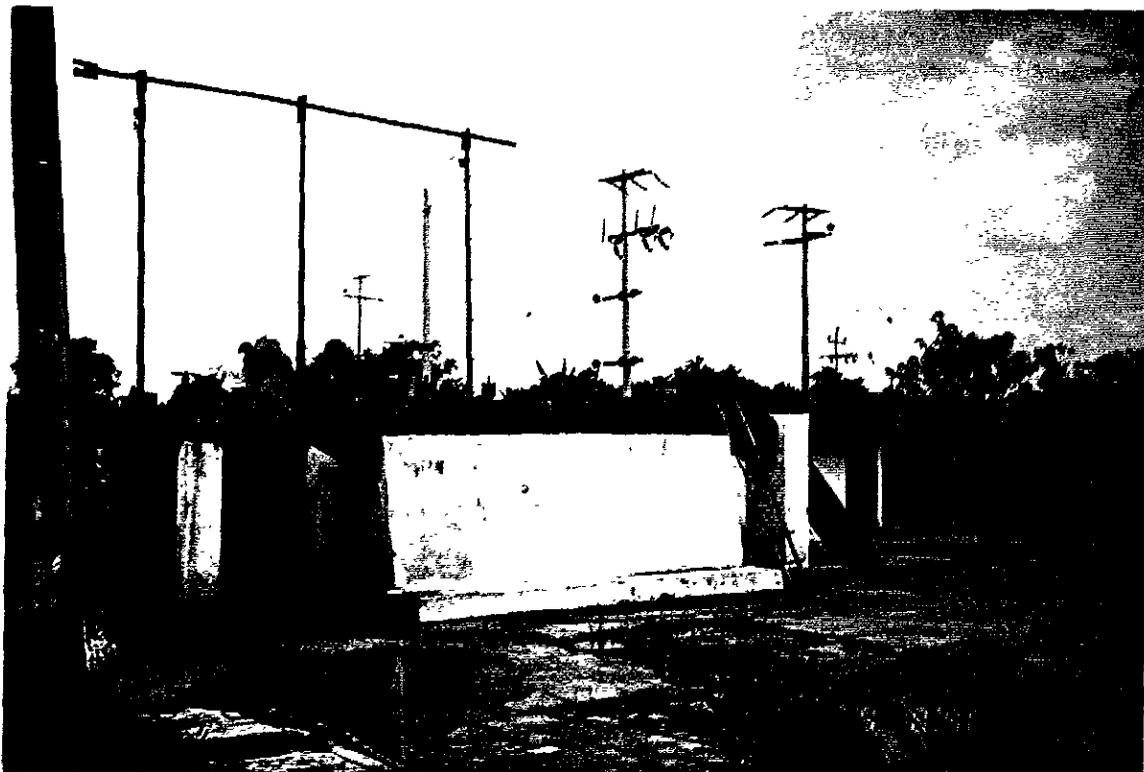
ANEXO A
FOTOGRAFÍAS



FOTOGRAFÍA 1. Cárcamo de rebomero González Ortega II



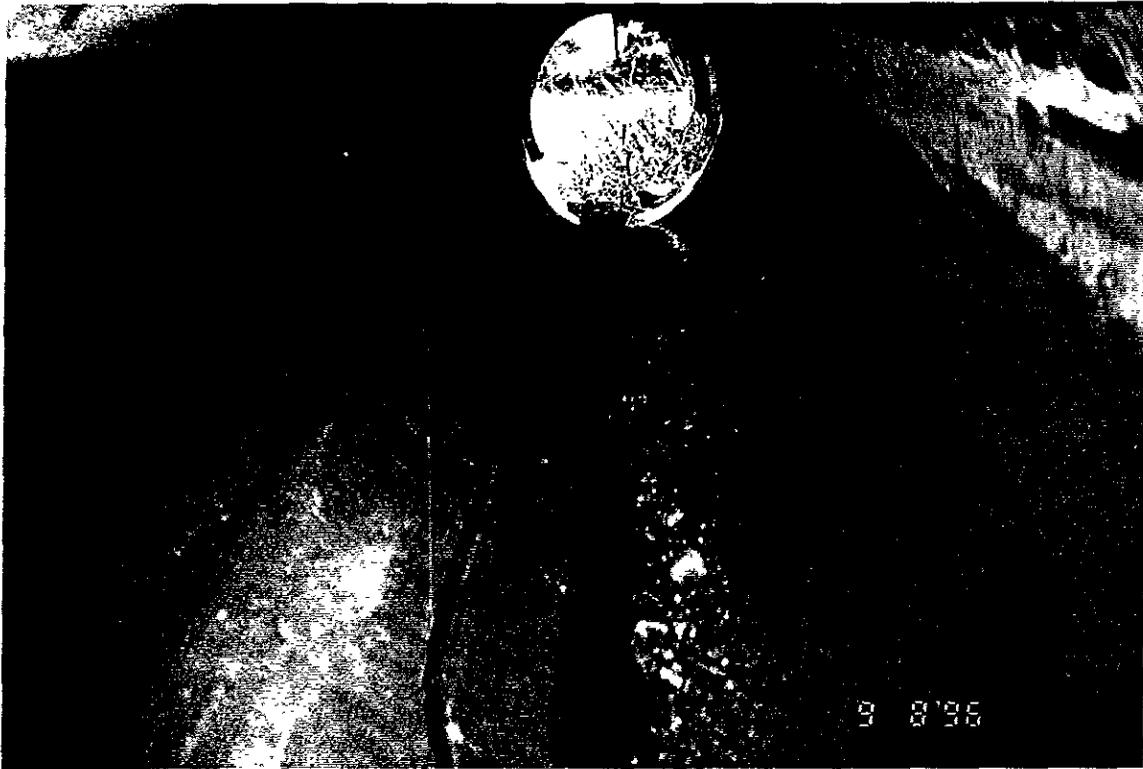
FOTOGRAFÍA 2. Aspecto de la llegada al cárcamo de rebomero Ucum II



FOTOGRAFÍA 3. Cárcamo de rebomdeo Ucum II



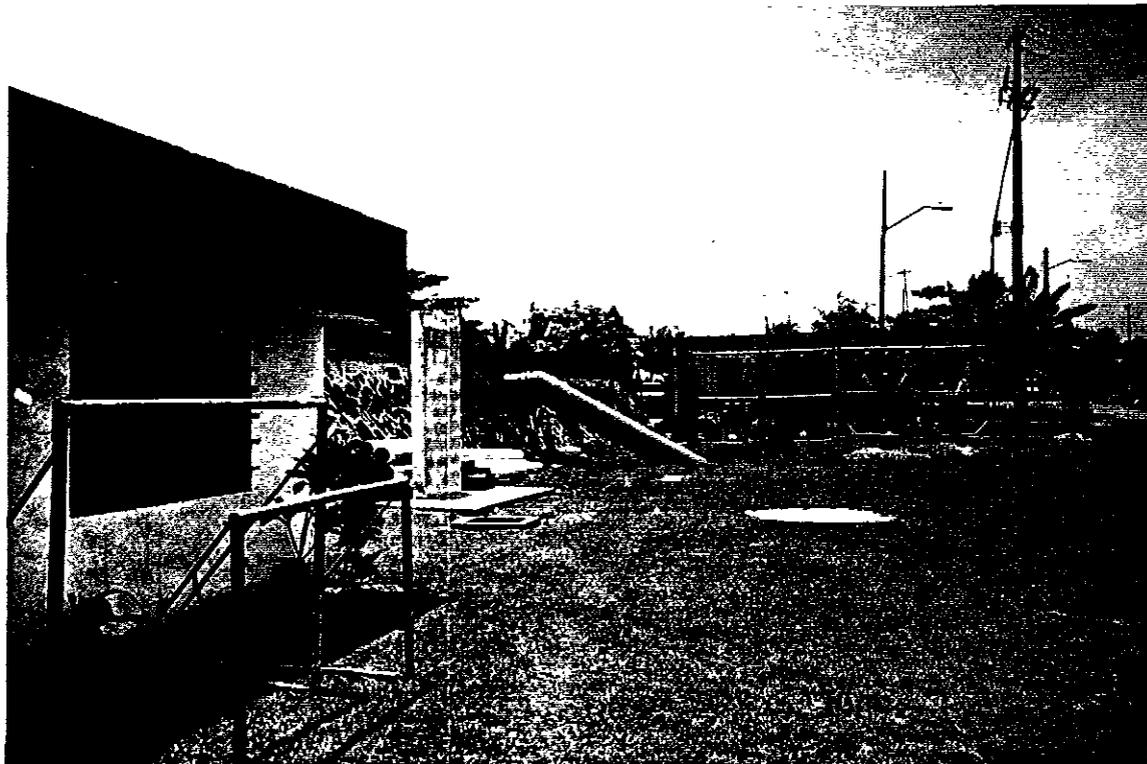
FOTOGRAFÍA 4. Aspecto de una válvula de admisión y expulsión de aire



FOTOGRAFÍA 5. Aspecto de la rotura de un tubo de PEAD



FOTOGRAFÍA 6. Reparación de una falla de tubería



FOTOGRAFÍA 7. Aspecto de la llegada a los Tanques Bachilleres



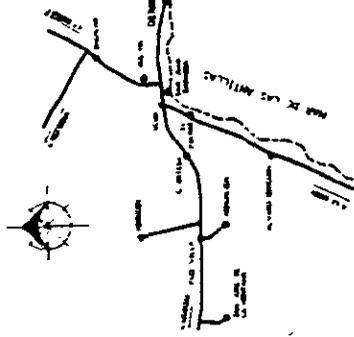
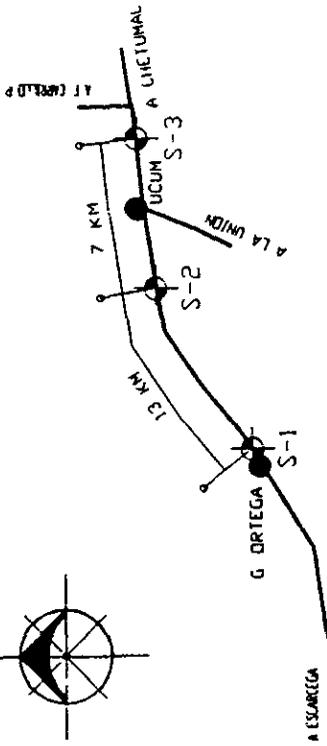
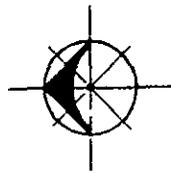
FOTOGRAFÍA 8. Manómetro instalado en una válvula de admisión y expulsión de aire



FOTOGRAFÍA 9. Instrumentación de los medidores Annubar para determinación del gasto en la descarga de los rebombes

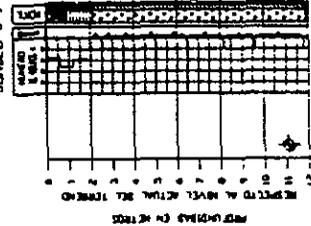
ANEXO B

PLANOS. ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS



UBICACION DEL AREA DE ESTUDIO

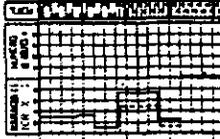
SONDED S-1



SONDED S-2



SONDED S-3

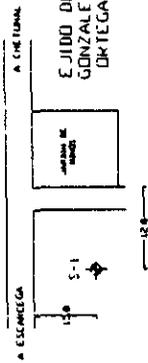


SIMBOLOGIA

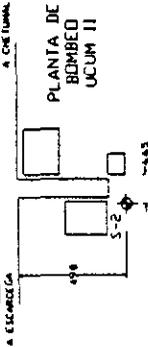
- ▨ TIPO DE SUELO
- ▧ TIPO DE SUELO
- ▩ TIPO DE SUELO
- TIPO DE SUELO
- TIPO DE SUELO
- ▬ TIPO DE SUELO
- ▭ TIPO DE SUELO
- ▮ TIPO DE SUELO
- ▯ TIPO DE SUELO
- ▰ TIPO DE SUELO
- ▱ TIPO DE SUELO
- ▲ TIPO DE SUELO
- △ TIPO DE SUELO
- ▴ TIPO DE SUELO
- ▵ TIPO DE SUELO
- ▶ TIPO DE SUELO
- ▷ TIPO DE SUELO
- TIPO DE SUELO
- TIPO DE SUELO
- TIPO DE SUELO
- ▻ TIPO DE SUELO
- ▼ TIPO DE SUELO
- ▽ TIPO DE SUELO
- ▾ TIPO DE SUELO
- ▿ TIPO DE SUELO
- ◀ TIPO DE SUELO
- ▶ TIPO DE SUELO
- ◂ TIPO DE SUELO
- ◃ TIPO DE SUELO
- ◄ TIPO DE SUELO
- ◅ TIPO DE SUELO
- ◆ TIPO DE SUELO
- ◇ TIPO DE SUELO
- ◈ TIPO DE SUELO
- ◉ TIPO DE SUELO
- ◊ TIPO DE SUELO
- ◌ TIPO DE SUELO
- ◍ TIPO DE SUELO
- ◎ TIPO DE SUELO
- TIPO DE SUELO
- ◐ TIPO DE SUELO
- ◑ TIPO DE SUELO
- ◒ TIPO DE SUELO
- ◓ TIPO DE SUELO
- ◔ TIPO DE SUELO
- ◕ TIPO DE SUELO
- ◖ TIPO DE SUELO
- ◗ TIPO DE SUELO
- ◘ TIPO DE SUELO
- ◙ TIPO DE SUELO
- ◚ TIPO DE SUELO
- ◛ TIPO DE SUELO
- ◜ TIPO DE SUELO
- ◝ TIPO DE SUELO
- ◞ TIPO DE SUELO
- ◟ TIPO DE SUELO
- ◠ TIPO DE SUELO
- ◡ TIPO DE SUELO
- ◢ TIPO DE SUELO
- ◣ TIPO DE SUELO
- ◤ TIPO DE SUELO
- ◥ TIPO DE SUELO
- TIPO DE SUELO
- ◧ TIPO DE SUELO
- ◨ TIPO DE SUELO
- ◩ TIPO DE SUELO
- ◪ TIPO DE SUELO
- ◫ TIPO DE SUELO
- ◬ TIPO DE SUELO
- ◭ TIPO DE SUELO
- ◮ TIPO DE SUELO
- ◯ TIPO DE SUELO
- ◰ TIPO DE SUELO
- ◱ TIPO DE SUELO
- ◲ TIPO DE SUELO
- ◳ TIPO DE SUELO
- ◴ TIPO DE SUELO
- ◵ TIPO DE SUELO
- ◶ TIPO DE SUELO
- ◷ TIPO DE SUELO
- ◸ TIPO DE SUELO
- ◹ TIPO DE SUELO
- ◺ TIPO DE SUELO
- ◻ TIPO DE SUELO
- ◼ TIPO DE SUELO
- ◽ TIPO DE SUELO
- ◾ TIPO DE SUELO
- ◿ TIPO DE SUELO
- ◀ TIPO DE SUELO
- ▶ TIPO DE SUELO
- ◂ TIPO DE SUELO
- ◃ TIPO DE SUELO
- ◄ TIPO DE SUELO
- ◅ TIPO DE SUELO
- ◆ TIPO DE SUELO
- ◇ TIPO DE SUELO
- ◈ TIPO DE SUELO
- ◉ TIPO DE SUELO
- ◊ TIPO DE SUELO
- ◌ TIPO DE SUELO
- ◍ TIPO DE SUELO
- ◎ TIPO DE SUELO
- TIPO DE SUELO
- ◐ TIPO DE SUELO
- ◑ TIPO DE SUELO
- ◒ TIPO DE SUELO
- ◓ TIPO DE SUELO
- ◔ TIPO DE SUELO
- ◕ TIPO DE SUELO
- ◖ TIPO DE SUELO
- ◗ TIPO DE SUELO
- ◘ TIPO DE SUELO
- ◙ TIPO DE SUELO
- ◚ TIPO DE SUELO
- ◛ TIPO DE SUELO
- ◜ TIPO DE SUELO
- ◝ TIPO DE SUELO
- ◞ TIPO DE SUELO
- ◟ TIPO DE SUELO
- ◠ TIPO DE SUELO
- ◡ TIPO DE SUELO
- ◢ TIPO DE SUELO
- ◣ TIPO DE SUELO
- ◤ TIPO DE SUELO
- ◥ TIPO DE SUELO
- TIPO DE SUELO
- ◧ TIPO DE SUELO
- ◨ TIPO DE SUELO
- ◩ TIPO DE SUELO
- ◪ TIPO DE SUELO
- ◫ TIPO DE SUELO
- ◬ TIPO DE SUELO
- ◭ TIPO DE SUELO
- ◮ TIPO DE SUELO
- ◯ TIPO DE SUELO
- ◰ TIPO DE SUELO
- ◱ TIPO DE SUELO
- ◲ TIPO DE SUELO
- ◳ TIPO DE SUELO
- ◴ TIPO DE SUELO
- ◵ TIPO DE SUELO
- ◶ TIPO DE SUELO
- ◷ TIPO DE SUELO
- ◸ TIPO DE SUELO
- ◹ TIPO DE SUELO
- ◺ TIPO DE SUELO
- ◻ TIPO DE SUELO
- ◼ TIPO DE SUELO
- ◽ TIPO DE SUELO
- ◾ TIPO DE SUELO
- ◿ TIPO DE SUELO

• COTAS EN METROS EN CROQUIS DE UBICACION

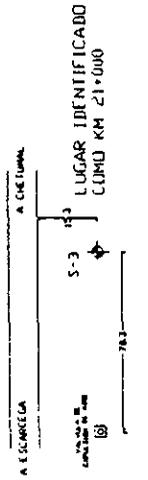
CROQUIS DE UBICACION



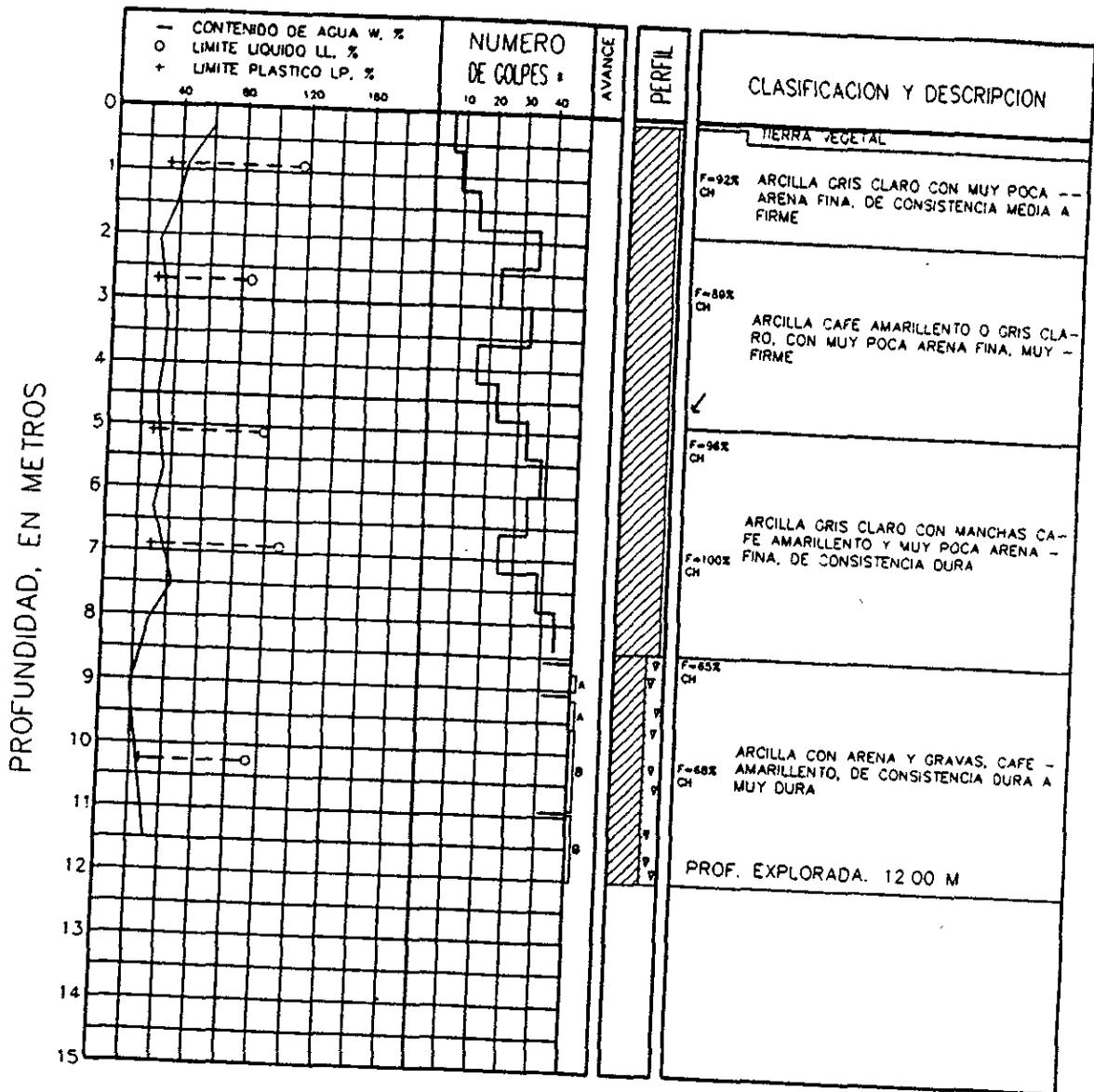
CROQUIS DE UBICACION



CROQUIS DE UBICACION



PLANO MS-1
 UBICACION DE SONDEOS EN LOS SITIOS ESTUDIADOS
 Y PERFILES ESTRATIGRAFICOS DEL SUBSUELO

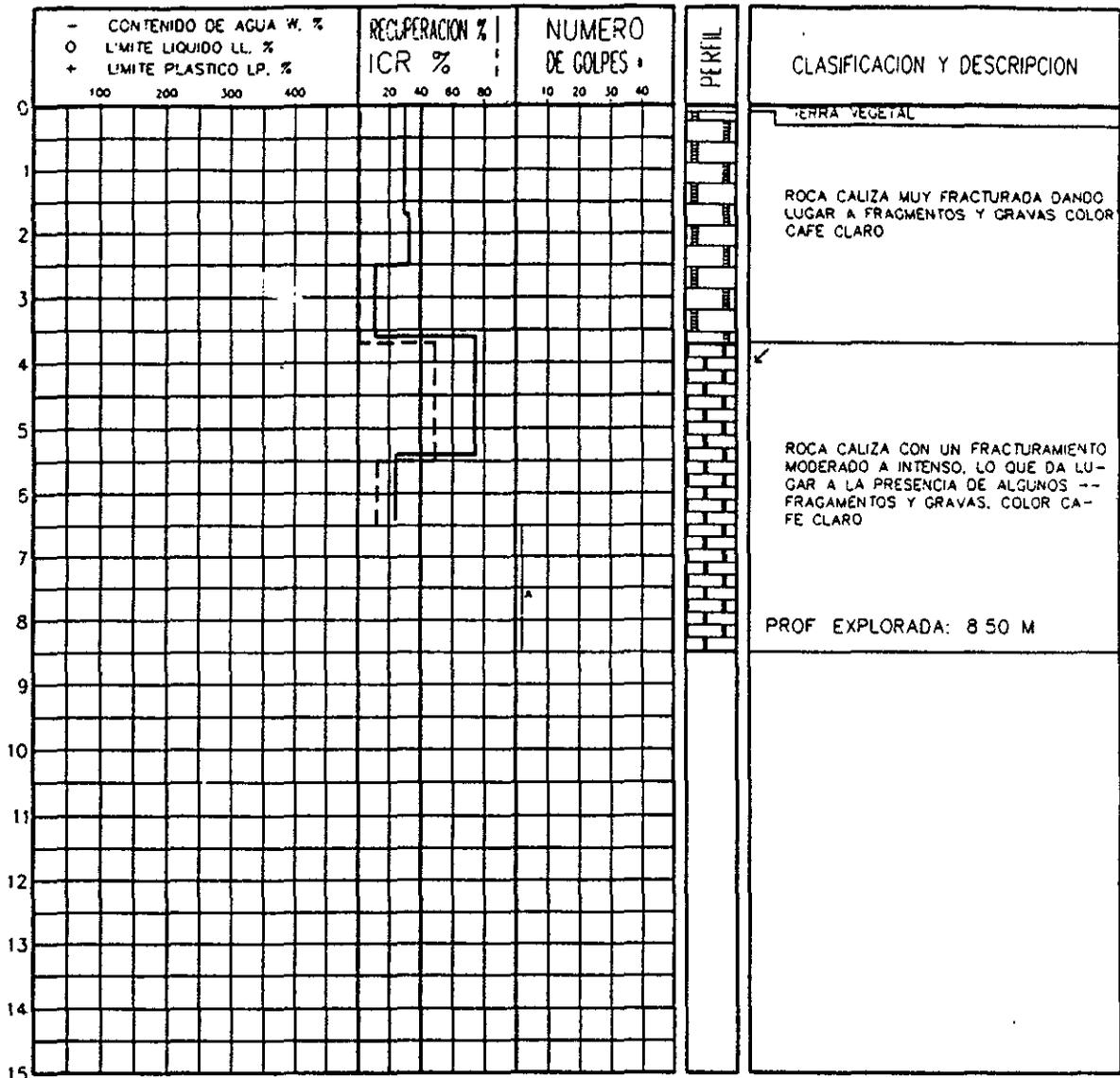


- ARCILLA
- GRAVA
- PENETRACION ESTANDAR
- B BARRIL BXL
- LIMO
- RELLENO
- MAS DE 50 GOLPES
- ✓ PROF DEL ADEME
- ARENA
- BOLEOS
- PP PENETRACION POR PESO PROPIO
- A AVANCE SIN MUESTREO

FIG.02 ESTRATIGRAFIA Y PROPIEDADES DEL SUBSUELO EN EL SONDEO S-02

ACUEDUCTO GONZALEZ ORTEGA II-UCUM II-CHETUMAL
ESTADO DE QUINTANA ROO
CONSULTORIA YAÑEZ-TAYLOR, S.A. DE C.V.

PROFUNDIDAD EN METROS

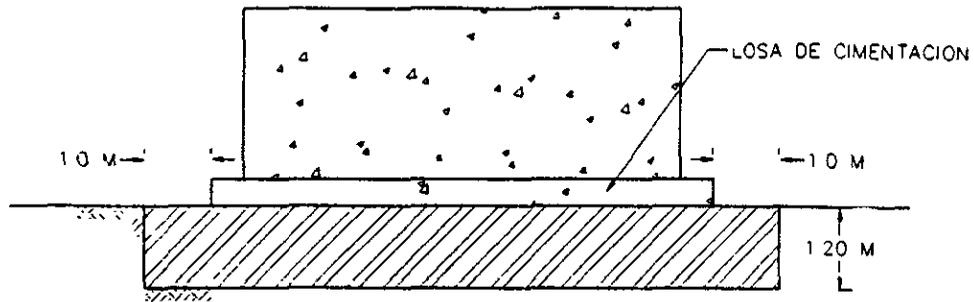


- | | | | |
|---------|---------|--------------------------------|------------------|
| ARCILLA | GRAVA | • PENETRACION ESTANDAR | B BARRIL BX |
| LIMO | RELLENO | — MAS DE 50 GOLPES | ✓ PROF DEL ADEME |
| ARENA | BOLEOS | PP PENETRACION POR PESO PROPIO | |
| | | A AVANCE SIN MUESTREO | |

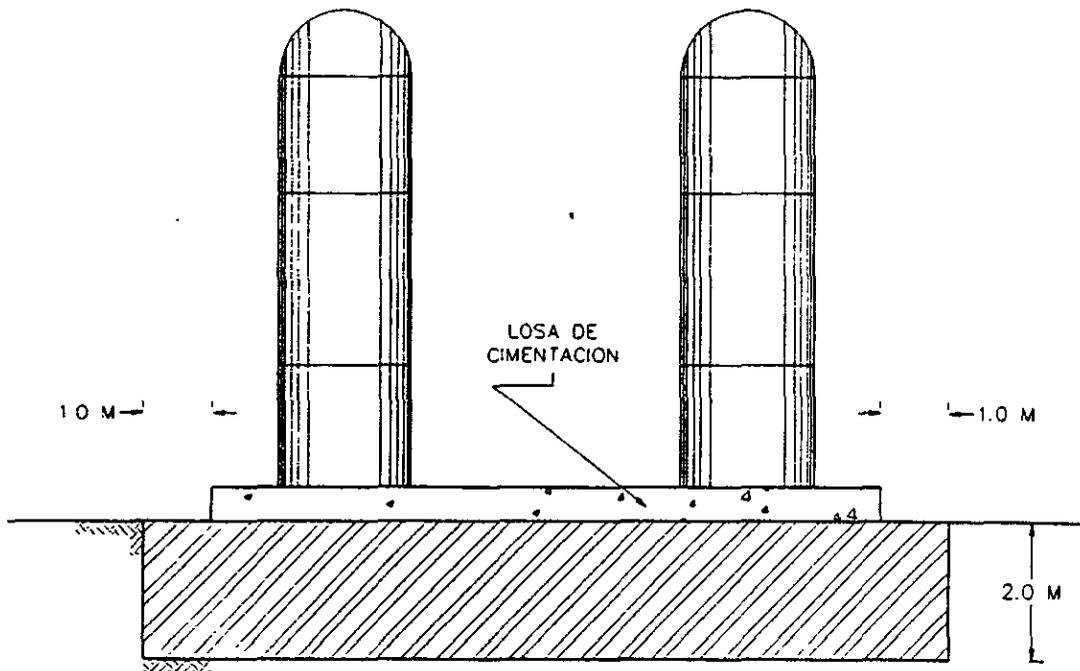
FIG.03 ESTRATIGRAFIA Y PROPIEDADES DEL SUBSUELO EN EL SONDEO S-03

ACUEDUCTO GONZALEZ ORTEGA II-UCUM II-CHETUMAL
ESTADO DE QUINTANA ROO
CONSULTORIA YAÑEZ-TAYLOR, S.A. DE C.V

TANQUE UNIDIRECCIONAL (S-1)



CAMARAS DE AIRE (S-2)



 MATERIAL CONTROLADO Y COMPACTADO AL 100% DE SU PVS M RESPECTO A LA PRUEBA AASHTO ESTANDAR

 TERRENO NATURAL

- EL CONTORNO DEL AREA MEJORADA DEBE EXCEDER 1 M EL PERIMETRO DE LA LOSA DE CIMENTACION
- DIBUJOS ESQUEMATICOS FUERA DE ESCALA

FIG.4 MEJORAMIENTO DEL TERRENO DE APOYO DE TANQUE Y CAMARAS

ACUEDUCTO GONZALEZ ORTEGA II-UCUM II-CHETUMAL
ESTADO DE QUINTANA ROO

CONSULTORIA YAÑEZ-TAYLOR, S.A. DE C.V

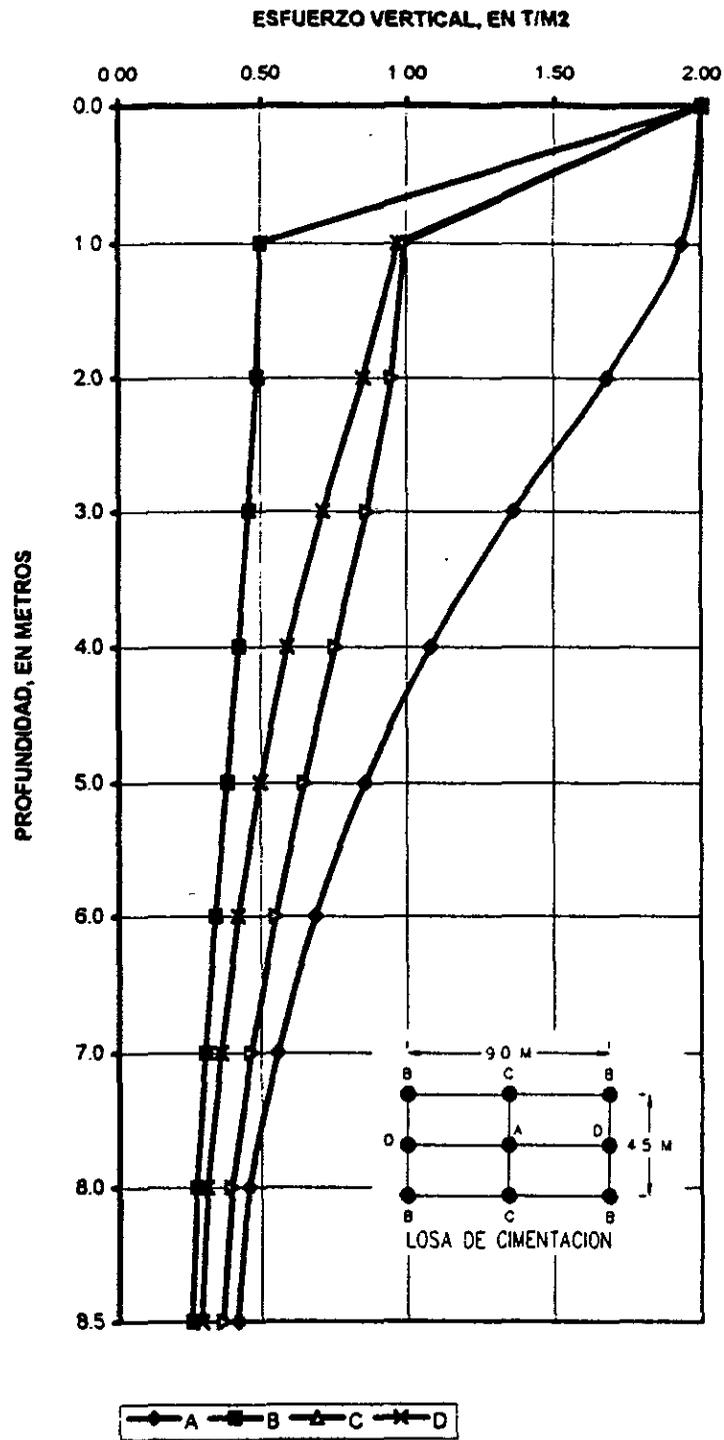


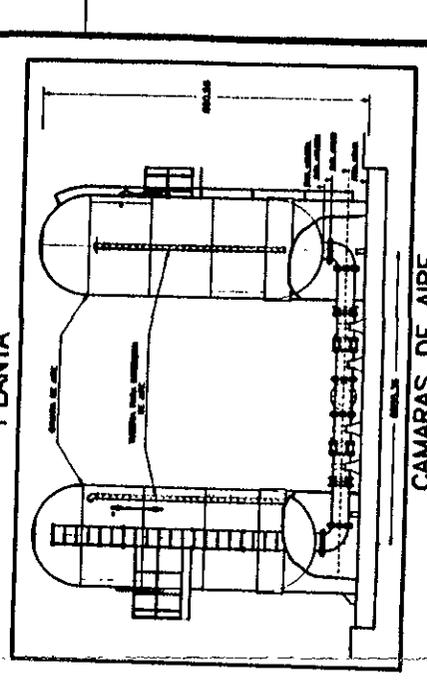
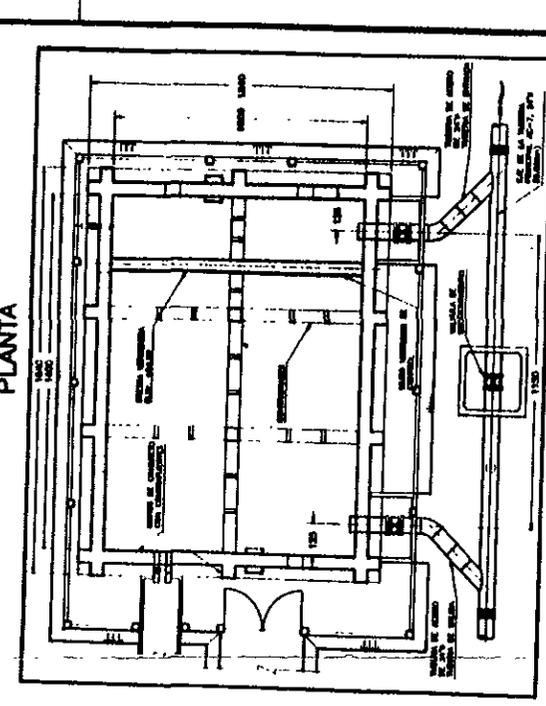
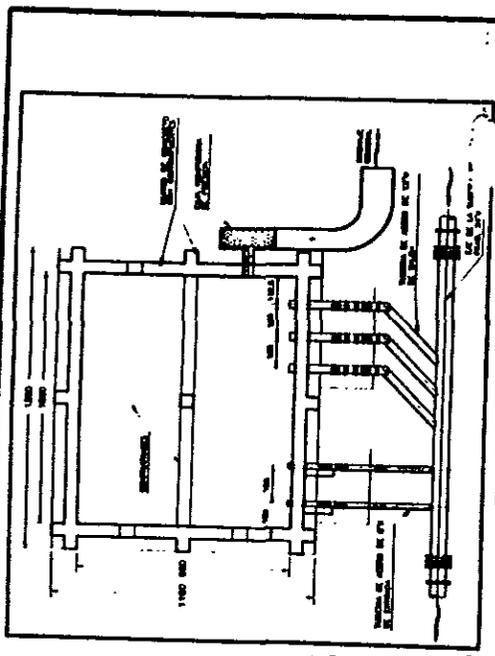
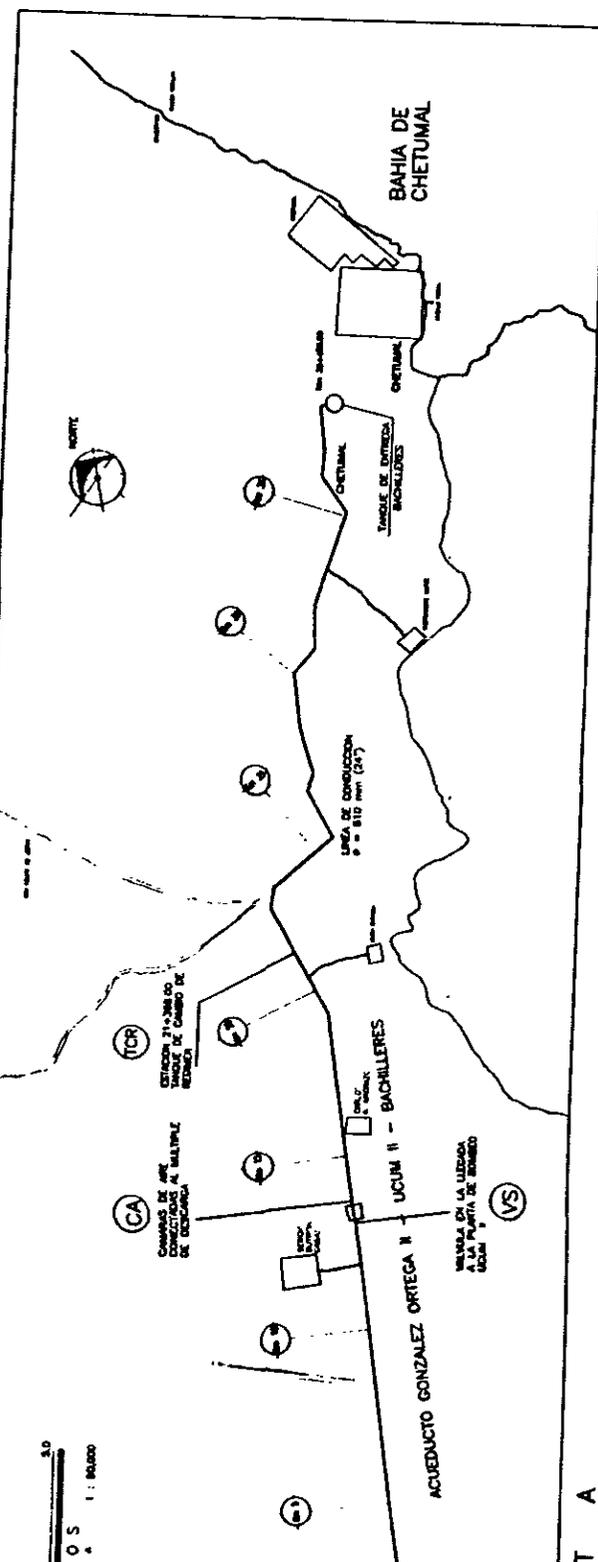
FIG.5 DISTRIBUCION DE PRESIONES BAJO LA LOSA DE CAMARAS DE AIRE (SITIO 2)

ACUEDUCTO GONZALEZ ORTEGA II-UCUM II-CHETUMAL
ESTADO DE QUINTANA ROO

CONSULTORIA YAÑEZ-TAYLOR, S.A. DE C V

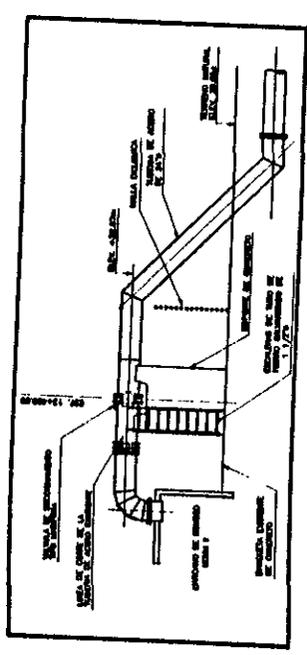
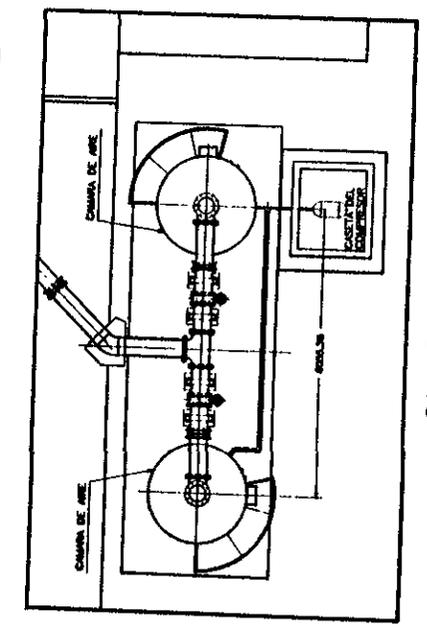
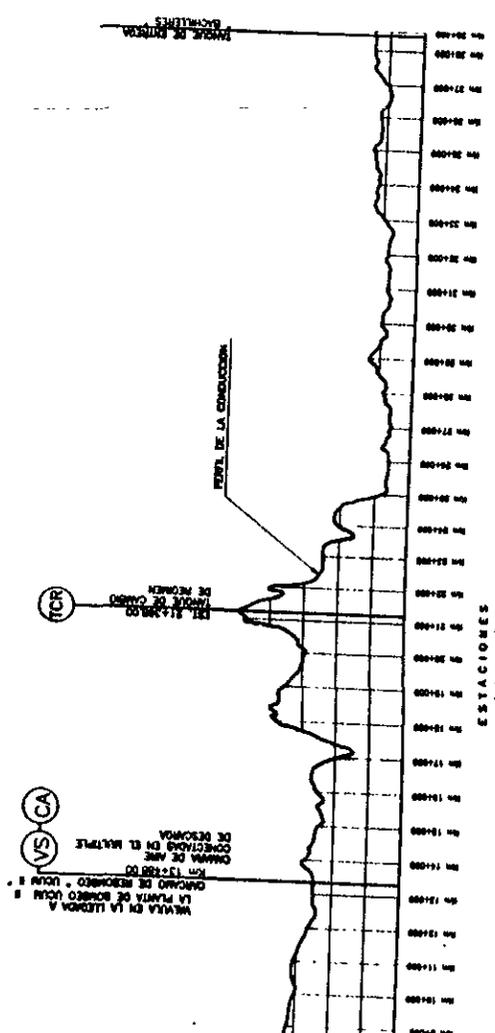
ANEXO C

PLANO GENERAL Y PLANOS DE DISPOSITIVOS DE CONTROL



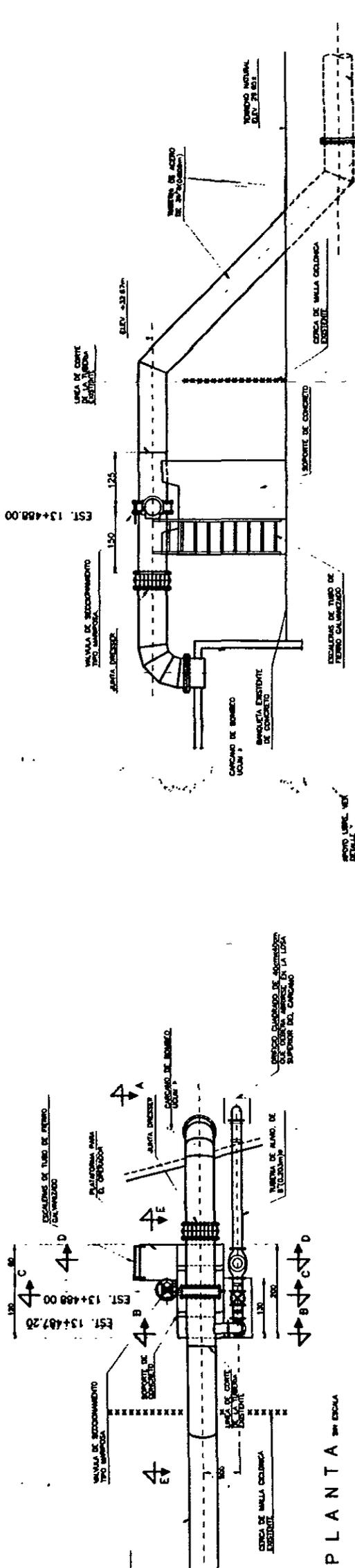
LISTA DE PLANOS

CLAVE	TITULO
PG - 001	PLANO GENERAL
	PLANO GENERAL Y LOCALIZACION
TCR - 001	TANQUE UNIDIRECCIONAL EN EL Km 04+512
TCR - 002	ARREGLO GENERAL
TCR - 003	PLANO ESTRUCTURAL - HOJA 1 - MUEBOS Y COMPONENTES
TCR - 004	PLANO ESTRUCTURAL - HOJA 2 - LOSA DE COBERTURA
TCR - 005	PLANO ESTRUCTURAL - HOJA 3 - LOSA DE APOYO Y DETALLES
TCR - 006	PORTAMENSA
VS - 001	VALVULA DE SECCIONAMIENTO Km 13+408
VS - 002	ARREGLO GENERAL Y DETALLES ESTRUCTURALES
VS - 003	PORTAMENSA
VS - 004	CAMARAS DE AIRE EN LA PLANTA DE BOMBEO UCUM II
VS - 005	ARREGLO GENERAL
VS - 006	PLANO ESTRUCTURAL - HOJA 1 - TUBERIA Y COMPONENTES
VS - 007	PLANO ESTRUCTURAL - HOJA 2 - LOSA DE COBERTURA
VS - 008	PLANO ESTRUCTURAL - HOJA 3 - APOYO DE LA CAMARA Y DETALLES
VS - 009	PLANO ESTRUCTURAL - HOJA 4 - LOSA DE COBERTURA Y DETALLES
VS - 010	PORTAMENSA
VS - 011	COSTA DEL COMPRESOR
TCR - 001	TANQUE DE CAMBIO DE REGIMEN EN Km 21+368
TCR - 002	ARREGLO GENERAL
TCR - 003	PLANO ESTRUCTURAL - HOJA 1 - MUEBOS Y COMPONENTES
TCR - 004	PLANO ESTRUCTURAL - HOJA 2 - LOSA DE COBERTURA
TCR - 005	PLANO ESTRUCTURAL - HOJA 3 - LOSA SUPERIOR Y DETALLES
TCR - 006	PORTAMENSA



PROS
C.C. 1: 5000

CON OTRA LITRINA.
DEL ACUEDUCTO
DE BACHILLERES
DE LA
COMUNIDAD
DE LA
COSTA DEL
MAYAB
EN P. MEXICO.
DISEÑADO Y DESARROLLADO



CANTIDADES ESTIMADAS DE OBRA

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD
EXTRUCCION	m ³	8.40
RELLENO DE MATERIAL COMPACTADO	m ³	4.40
CONCRETO REFORZADO f _c = 2800 kg/cm ²	m ³	8.10
ACERO DE REFORZADO f _y = 4200 kg/cm ²	kg	248.00
MALLA ELECTROREFORZADA GR. 10/14	m ²	10.30
TUBO DE FIERRO GALVANIZADO DE 1 1/2" φ (25.4 mm)	m	8.50
TUBO DE FIERRO GALVANIZADO DE 1" φ (25.4 mm)	m	5.40
BARROTA DE 2 1/2" φ (63.5 mm) y 10 cm DE LONGITUD, PASE INCLUIDO	kg	2.00

NOTAS :

ADICIONES EN CENTIMETROS, EXCEPTO LAS INDICADAS CON OTRA UNIDAD.

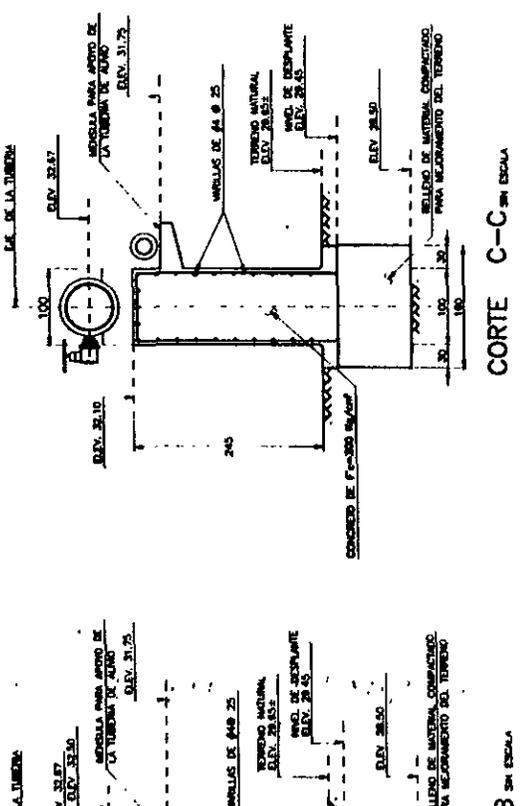
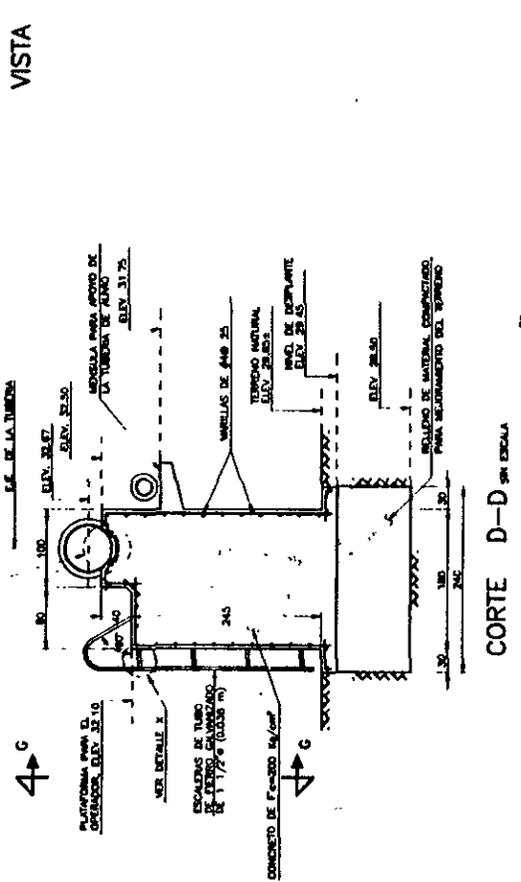
ESTACIONES Y ELEVACIONES EN METROS

USESE ACERO DE REFORZADO DE f_y = 4200 kg/cm².

LOS DETALLES DE FONTANERIA SE MUESTRA EN EL PLANO No. V5-002.

LAS CANTIDADES ESTIMADAS DE OBRA CORRESPONDEN ÚNICAMENTE A LA OBRA CIVIL. LOS CONCEPTOS DE OBRA Y CANTIDADES DE LOS ELEMENTOS DE FONTANERIA SE INDICAN EN EL PLANO No. V5-002.

LA DISPOSICION DE LA TUBERIA EXISTENTE DE 2 1/2" Y DEL CARGAMO DE BOMBEO UCUM II FUE TOMADA DEL PLANO TITULADO "LINEA DE CONDUCCION DE 2 1/2" GONZALEZ ORTEGA - CRETUNAL, PLANOS TOPOGRAFICOS, PLANO 3, TRAMO CARGAMO DE REBOMBEO UCUM - PLANTA POTABILIZADORA, FECHADO EN MAYO DE 1996, DE LA COMISION DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DEL GOBIERNO DEL ESTADO DE QUINTANA ROO.

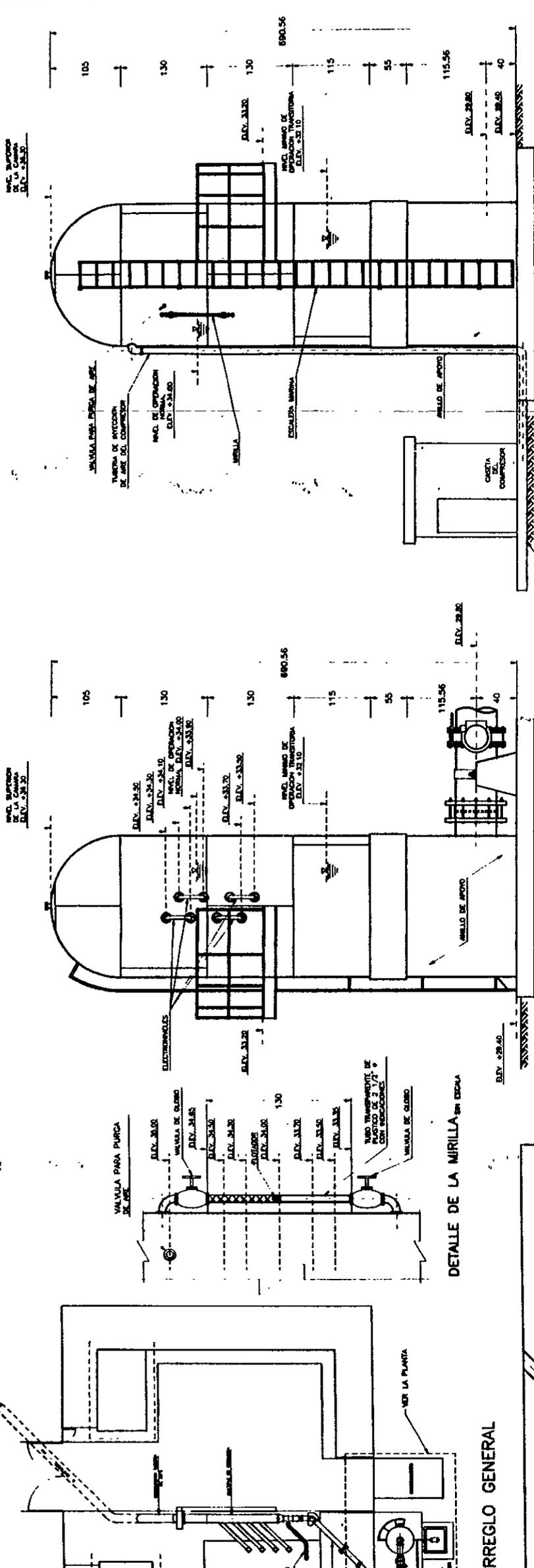


MENSULA PARA APOYO DE LA TUBERIA PARA ALIVIO 3M ESCALA

MENSULA PARA APOYO DE LA TUBERIA PARA ALIVIO 3M ESCALA

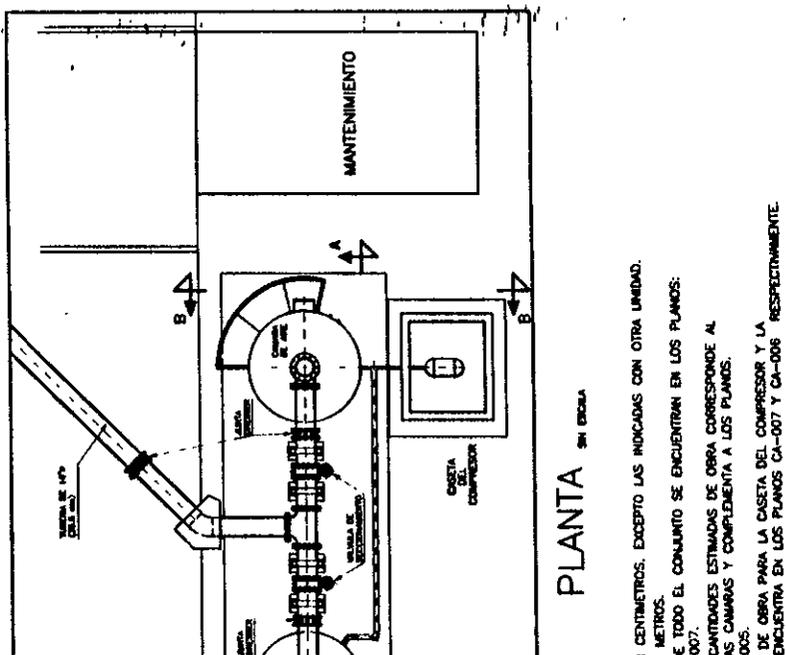
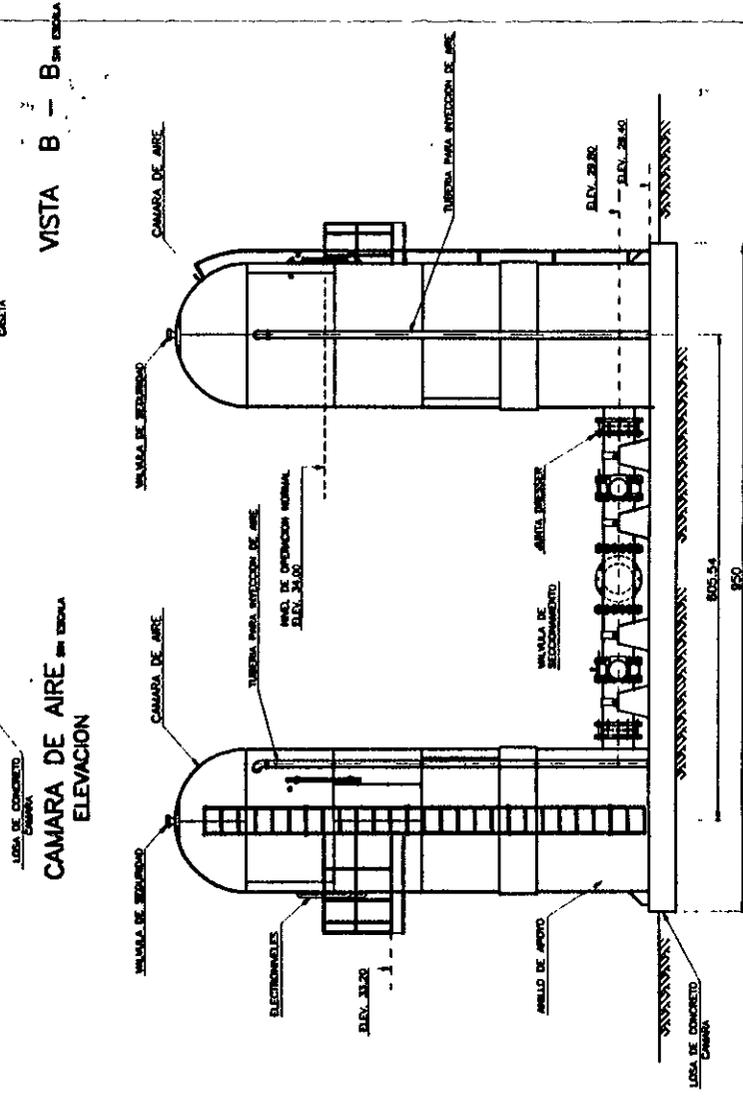
MENSULA PARA APOYO DE LA TUBERIA PARA ALIVIO 3M ESCALA

MENSULA PARA APOYO DE LA TUBERIA PARA ALIVIO 3M ESCALA



CANTIDADES ESTIMADAS DE OBRA

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD
PLACA DE ACERO A-36 ANCHO 6 DE 3/4" DE ESPESOR, 1.3 m DE ANCHO Y 6.8 m DE LONGITUD (TUBERO CLASIFICADO).	Kg	3945
PLACA DE ACERO A-36 ANCHO 6 DE 1/4" DE ESPESOR PARA FORMAR TUBO TRANSPARENT DE 2.1 m DE ANCHO Y REFUERZO EN LA INTERSECCION (TAPA VENTILADA).	Kg	1380
PLACA DE ACERO A-36 ANCHO 6 DE 3/4" DE ESPESOR, DE 2.12 m DE ANCHO Y 6.50 m DE ANCHO (TAPA EXTERIOR).	Kg	545
PLACA DE ACERO ESTAMPADO A-36 DE 3/4" DE ESPESOR, DE 1.81 m DE ANCHO Y 6.8 m DE LONGITUD (ANILLO DE APoyo).	Kg	1785
PLACA DE ACERO A-36 DE 1/2" DE ESPESOR, DE 2.1 m DE ANCHO Y 6.3 m DE ANCHO (ANILLO DE APoyo).	Kg	265
PLACA DE ACERO A-36 DE 1/2" DE ESPESOR, DE 0.25 m DE ANCHO Y 0.3 m DE LONGITUD (PLACA DE APoyo DE COLUMNITAS).	Kg	60
PIEDRA DE ACERO A-36 SECCION 85 DE 8" DE PERALTE Y 20.38 kg DE PESO (COLUMNITAS DE APoyo).	Kg	180
PIEDRA DE ACERO A-36 SECCION 85 DE 8" DE PERALTE Y 20.38 kg DE PESO (PIEDRA DE APoyo DE PLATAFORMA).	Kg	255
ANILLO DE ACERO A-36 DE 2 1/2" (PLATAFORMA Y PUNTALES).	Kg	145
ANILLO DE ACERO A-36 DE 2 1/4" (APERTURAS).	Kg	185
PLACA DE ACERO DE A-36 DE 3/4" Y 1/2" DE ESPESOR DE FORMA COMA Y DIFERENTES MEDIDAS PARA PUNCIÓN DE TUBO TRANSPARENT DE 2.1 m DE ANCHO Y PUNTALES.	Kg	120
PERFILES DE INCLAS DE ACERO A-36 DE 3/4" DE 6 Y 80 mm DE LONGITUD (PLACAS Y ANILLO DE APoyo).	Pro	80
ACERO ESTAMPADO A-36 DE 1 1/2" DE 6 Y 40 mm DE LONGITUD (COLUMNITAS).	Kg	195
PLACA DE ACERO A-36 DE 3/4" (1/2" (COLUMNITAS)	Kg	190
LAMINA ANTICORROSIONE CALBRE 11 (PLATAFORMA)	m ²	2.5
TUBO DE FIERRO FUNDIDO DE 1 1/2" DE 6 DE 5.4 kg/m ³ (BARRANDA DE PLATAFORMA).	Kg	150
CONCRETO DE F-1500 60/cm (LUSA DE CIMENTACION)	m ³	12.5
PLANTILLA DE CONCRETO PORME (BASE PARA LUSA DE CIMENTACION)	m ³	1.5
ACERO DE REFUERZO DE F-1200 60/cm ² DE 3/4" DE 6 (LUSA DE CIMENTACION).	Kg	1125
ACERO DE REFUERZO DE F-1200 60/cm ² DE 1/2" DE 6 (LUSA DE CIMENTACION).	Kg	170
ENCAMARON EN HERRERA COMAN (LUSA DE CIMENTACION)	m ³	120
BEDIZO CON MATERIAL LLEPO DE BLENCO (LUSA DE CIMENTACION)	m ³	107



EN CENTIMETROS. EXCEPTO LAS INDICADAS CON OTRA UNIDAD.
 EN METROS.
 DE TODO EL CONJUNTO SE ENCUENTRAN EN LOS PLANOS:
 -007.
 CANTIDADES ESTIMADAS DE OBRA CORRESPONDE AL
 LAS CAMARAS Y COMPLEMENTA A LOS PLANOS.
 -005.
 S DE OBRA PARA LA COSTA DEL COMPRESOR Y LA
 ENCUENTRA EN LOS PLANOS CA-007 Y CA-006 RESPECTIVAMENTE.

