

71
2011



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

REVISION HIDRAULICA DEL ACUEDUCTO
BENITO JUAREZ EN ZACATECAS, ZAC.

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A:
CARLOS GUSTAVO MARQUEZ QUINTANAR

DIRECTOR DE TESIS:
ING. ALFONSO MORALES GARCIA



MEXICO, D. F.

1997

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DEL
MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
60-1-064/95

Señor
CARLOS GUSTAVO MARQUEZ QUINTANAR
Presente.

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor
ING. ALFONSO MORALES GARCIA, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted
como tesis de su examen profesional de **INGENIERO CIVIL**.

"REVISION HIDRAULICA DEL ACUEDUCTO BENITO JUAREZ EN ZACATECAS, ZAC."

- I. INTRODUCCION
- II. TRABAJOS DE CAMPO
- III. MODELO MATEMATICO
- III. ANALISIS DE TRANSITORIOS
- IV. PROYECTO DE DISPOSITIVOS DE CONTROL
- V. 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 16 de mayo de 1995.
EL DIRECTOR



ING. JOSE MANUEL COVARRUBIAS SOLIS

JMCS/GMP*nl



COMISION NACIONAL
DEL AGUA

SUBDIRECCION GENERAL DE INFRAESTRUCTURA
HIDRAULICA URBANA E INDUSTRIAL
GERENCIA DE ESTUDIOS Y PROYECTOS

ASUNTO: Autorización para hacer uso de la
información correspondiente al contrato
SGIHUI - 95 - 700 D

México, D.F., a 24 de Mayo de 1995.

ING. ALFONSO MORALES GARCÍA
DIRECTOR DE ESTUDIOS Y PROYECTOS
DE LA EMPRESA DEMM CONSULTORES, S.A. DE C.V.
CHIAPAS No. 184 PISO 7
COL. ROMA

Con relación a su solicitud para la autorización de utilizar parte de la información del "Proyecto ejecutivo de los sistemas de agua potable de los sistemas Benito Juárez y Pimienta de la Ciudad de Zacatecas y Guadalupe en el Estado de Zacatecas" que su empresa está realizando para la Comisión Nacional del Agua, bajo contrato SGIHUI - 95 - 700 D, le comunico que el Sr. Carlos Gustavo Márquez Quintanar puede hacer uso de la información para realizar su tesis profesional

Sin más por el momento le envío un cordial saludo

ATENTAMENTE
EL GERENTE DE ESTUDIOS Y
PROYECTOS


ING. ANTONIO FERNANDEZ ESPARZA

C.c.p. Ing. Leopoldo Rodríguez Varela.- Subgerencia de Estudios y Proyectos Región Noreste.- Presente
Sr. Carlos Gustavo Márquez Quintanar.- Presente
Archivo

TE DOY LAS GRACIAS, SEÑOR, POR DARME
LA OPORTUNIDAD DE SALIR ADELANTE.

A LA FACULTAD DE INGENIERIA DE LA
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO.

GRACIAS AL ING. ALFONSO MORALES GARCIA
POR SU INCONDICIONAL APOYO Y GUIA.

A MIS PADRES, POR BRINDARME SIEMPRE
SU CARIÑO Y EJEMPLO.

A MIS ABUELOS, ANA MARIA Y GUSTAVO
(q. e. p. d), LOS QUIERO MUCHO.

A MI HERMANA CARMEN.

A MI FAMILIA, POR SUS PALABRAS
CONSTANTES DE APOYO.

A TODOS MIS AMIGOS, GRACIAS
POR SER COMO SON.

CON MUCHO CARIÑO, PARA JESSICA Y ANDREA.

INDICE GENERAL

INTRODUCCION

Antecedentes
Objetivos
Desarrollo del estudio
Motivación al tema

1. TRABAJOS DE CAMPO

- 1.1 Información obtenida
- 1.2 Levantamiento físico de tanques y líneas de conducción del Sistema Benito Juárez
 - 1.2.1 Nivelación diferencial
 - 1.2.2 Detalles de fontanería en pozos, tanques y rebombes
 - 1.3 Figuras

2. MODELO MATEMATICO

- 2.1 Objetivo
- 2.2 Conceptos fundamentales
 - 2.2.1 Flujo unidimensional
 - 2.2.2 Flujo permanente
 - 2.2.3 Flujo no permanente
 - 2.2.4 Flujo uniforme
 - 2.2.5 Flujo no uniforme
 - 2.2.6 Flujo incompresible y compresible
 - 2.2.7 Flujo transitorio
 - 2.2.8 Ecuaciones del golpe de ariete
 - 2.2.8.1 Ecuación dinámica
 - 2.2.8.2 Ecuación de continuidad
 - 2.2.9 Cavitación
 - 2.2.10 Niveles de bombeo
 - 2.2.10.1 Nivel estático

- 2.2.10.2 Nivel dinámico
- 2.2.11 Transitorio hidráulico en una línea de conducción
- 2.3 Condiciones de operación del Sistema Benito Juárez
- 2.4 Metodología para determinar las condiciones de operación en flujo establecido
- 2.5 Modelo matemático de las condiciones de frontera
Aplicación del método de las características
- 2.5.1 Pozo
- 2.5.2 Operación transitoria normal del pozo
- 2.5.3 Admisión de aire en el extremo del pozo
- 2.5.4 Compresión del aire en el extremo del pozo
- 2.5.5 Nudo
- 2.5.6 Tuberías en serie
- 2.5.7 Tanque a presión constante en el extremo aguas abajo
- 2.5.8 Cálculo del gasto y presión en los puntos interiores
- 2.6 Estructura del programa "POZOS33.EXE"
- 2.7 Estructura de los archivos de datos

3. ANALISIS DE TRANSITORIOS

- 3.1 Objetivos
- 3.2 Análisis de transitorios
- 3.2.1 Estructura de los archivos de datos
- 3.2.1.1 Archivo de datos para la red de pozos Benito Juárez 1, 2 y 4; archivo de datos para los pozos 5, 6, 7 y 8
- 3.2.2 Procesamiento de la información
- 3.2.3 Resultados obtenidos del estudio a la red de pozos del Sistema Benito Juárez

4. PROYECTO DE DISPOSITIVOS DE CONTROL

- 4.1 Objetivo
- 4.2 Dispositivos de control para las redes de interconexión de los pozos
- 4.2.1 Memoria de cálculo para la determinación del diámetro de las válvulas aliviadoras de presión necesarias en los pozos del Sistema Benito Juárez

- 4.3 Análisis de Transitorio en tramo del Rebomdeo uno al Rebomdeo dos
- 4.3.1 Proyecto de cámara de aire para la línea de interconexión entre el rebomdeo uno y el rebomdeo dos
- 4.4 Análisis de transitorio en tramo del Rebomdeo dos al Tanque de Cambio de Régimen

5. CONCLUSIONES

- 5.1 Conclusiones sobre el estudio realizado

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

INTRODUCCION

ANTECEDENTES

ZACATECAS. Estado de la República Mexicana situado entre la zona limítrofe de las llanuras boreales y la Mesa de Anáhuac dentro de la Altiplanicie. Tiene un área de 75,040 Km². 1,278,279 habitantes (según Resultados Preliminares del XI Censo General de Población y Vivienda, 1990). Es de configuración muy irregular. Limita por el Norte con el Estado de Coahuila, por el Este con San Luis Potosí, por el Sur con Aguascalientes y Jalisco y por el Noroeste con Durango.

Zacatecas es uno de los estados más montañosos de la República. Al Norte donde dominan extensas y áridas llanuras, lo atraviesan las Sierras del Calabazal, la Candelaria y las de Mazapil y Concepción del Oro. Las montañas más elevadas de esta región son las de Pico de Teyra, Tecolotes, el Oratorio. La altura media de estas sierras varía entre 2,400 y 3,000 m.s.n.m. . Hacia el Sur en la parte central se levantan las Sierras de Valparaíso y Valdecañas con las lomas de Plateros y Sartenejas, con yacimientos minerales. Hacia el Sur la Sierra de Zacatecas que parte de la Sierra Madre Occidental para terminar en la Sierra Madre Oriental, sirviendo de límite dentro de la Altiplanicie entre las llanuras boreales y la Mesa de Anáhuac.

Es digno de mención el Cerro de la Bufa en cuya falda se encuentra la ciudad de Zacatecas. Tiene una altura de cerca de 3,000 m.s.n.m. . Rodeando a la ciudad se hallan los cerros del Angel, del Grillo y de San Francisco. En la parte Sureste hacia el Occidente se encuentra la Sierra de los Angeles y a continuación la de los Pinos, la más elevada con una altura de 3,091 m.s.n.m., en la parte angosta del Estado comprendida entre Aguascalientes y San Luis Potosí. En la parte Suroeste las Sierras Fria, de Paloma y la de Morones. La mayor parte del territorio del Estado está

formado por rocas efusivas, únicamente en el Noreste hay formaciones del Pleistoceno y Reciente y en el Norte el Cretácico.

En cuanto al clima, al Noreste es de aridez acentuada con precipitaciones de 300 mm. La parte Sur es de clima templado con lluvias moderadas en verano, semejante al subtropical de altura; en el resto de la entidad es desértico tipo estepa con lluvia de menos de 500 mm.; en las partes más elevadas es frío.

Hidrografía. Se forman dos vertientes como consecuencia de la disposición de las sierras y montañas del Estado. Los ríos son de corriente irregular y de escaso caudal debido al régimen de las lluvias. Las aguas de la vertiente Sur pertenecen a el caudal del río Santiago. El río Juchipila nace en la Sierra de Palomos, se dirige hacia el Sur donde forma el cañón del mismo nombre y entra al Estado de Jalisco para desembocar en el Santiago. El río Tlaltenango tiene como afluentes el Teúl y el Coculiten y corre de Sur a Norte dentro de un profundo cañón cuyos taludes alcanzan alturas de 1,700 m. El río Jerez penetra en el Estado de Jalisco con el nombre de Bolaños y recoge las aguas de varios afluentes antes de desembocar en el Santiago. En la región Norte sólo se forman algunas corrientes en tiempo de lluvias y desagan en el río de Nieves, formador del Aguanaval, que nace en la Sierra de Valdecañas, atraviesa el municipio de Fresnillo y sirve de límite entre los Estados de Durango y Zacatecas, penetra en el Estado de Coahuila para desaguar en la laguna de Parras; 250 Km de su curso corresponden al Estado de Zacatecas. En la parte Noroeste del Estado el río Chalchihuites que penetra en el Estado de Durango con el nombre de río Suchil. Hay algunas lagunas intermitentes, la porción Noreste carece de corrientes permanentes superficiales y forma parte de la región de El Salado. En el Estado abundan los manantiales de aguas termales y aguas minerales, como Ojocaliente en el municipio del mismo nombre, Atotonilco en el municipio de Valparaíso, La Estanzuela en el de Nieves y el Obispo en el de Sombrerete.

En cuanto a recursos naturales, la ganadería es una de las actividades más importantes del Estado. Los terrenos susceptibles de cultivo son muy escasos dada la aridez del suelo y la erosión que es intensa en el Estado. Se han construido varias obras de riego como Santa Rosa y Trujillo en el municipio de Fresnillo; Casa Blanca en Guadalupe y Achoquen en Jalpa; además se han aprovechado aguas subterráneas. Los principales productos agrícolas son el maíz, el frijol, trigo, manzana, perón, alfalfa, caña de azúcar membrillo, durazno y cacahuete. Una superficie importante está cubierta de bosques en la parte alta de las montañas: encino, palo blanco, madroño, lináloe, pino, piñón, que por la falta de vías de comunicación se ha salvado. Entre las plantas de aprovechamiento industrial el sotol y la lechuguilla para fabricar jarcia, el maguey, el nopal. El medio es adecuado para la cría de ganado y ha habido interés por renovar las especies. La región de Pozo Hondo y de Guadalupe de las Corrientes se caracteriza por sus caballos de grande alzada. El ganado bovino cruzado con cebú, el porcino y el ganado menor de ovejas y carneros ha sido mejorado con raza merina y cachemira.

La minería es la principal fuente de riqueza del Estado. Las vetas principales de la Sierra de Zacatecas tienen minerales con leyes de oro, plata, cobre y magnesio. Las vetas de los minerales de Fresnillo son de plata. En las regiones de Sombrerete y Chalchihuites se encuentran plata y cobre; hacia la región de los Pinos, oro y plata. También se extrae hierro, zinc, manganeso, estaño y mercurio.

Vías de comunicación. El Ferrocarril Mexico - Cd. Juárez atraviesa el Estado de Zacatecas de Norte a Sur y por una rama de la Carretera Panamericana quedó ligada la entidad a Aguascalientes y a la ciudad de Durango; de la capital del Estado parte de la carretera que va hacia el Sur hasta Moyahua. En Jalpa hay un ramal para Aguascalientes y San Luis Portosí y otro de Mal Paso para Jerez, que se bifurca por un lado a Tlaltenango (Zac.) y por el otro para Bolaños (Jal.).

Industria. Hay plantas eléctricas, plantas metalúrgicas en Veta Grande, Fresnillo, Mazapil, Concepción del Oro y en las cercanías de la capital. Las principales industrias del Estado son: fabricación de azúcar y alcohol, queso de tuna, molinos de trigo, aceites y grasas vegetales, cerveza, hilados y tejidos de lana y algodón, fibras artificiales, curtido de pieles, jarcía, productos químicos básicos, siderurgia. Una industria relativamente nueva es el beneficio de los viejos jales dejados por las antiguas Haciendas de Beneficio de los cuales se obtiene por un procedimiento especial mercurio, plata y algo de oro. En el ramo minero cuenta con importantes yacimientos de manganeso, estaño, fierro, bismuto, wellastonita, calizas, mica y barita.

La ciudad de Zacatecas, Mpio. de Zacatecas se encuentra conurbada con la ciudad de Guadalupe, Mpio. de Guadalupe, disponiendo en la actualidad de una población cercana a los 200,000 habitantes entre ambas comunidades. Se encuentran localizadas a los 22° 45' de latitud Norte y 102° 35' de longitud Oeste, con una elevación media de la zona urbana de 2300 m.s.n.m.

El área de proyecto corresponde a la zona conurbada de las Ciudades de Zacatecas y Guadalupe, y se localizan en la porción centro sur del estado, abarcando una superficie de 1400 km². La explotación minera, con más de 400 años de actividad, es una de las industrias de más desarrollo en la entidad y por consecuencia es la que en mayor medida ha influido en la contaminación del agua del suelo y de la región.

La fuente de suministro de agua potable de estas ciudades son las aguas del subsuelo, provenientes de los acuíferos: Calera, Benito Juárez, Guadalupe, Bañuelos y Chupaderos.

El abastecimiento de agua potable para ambas comunidades proviene de diversas fuentes, localizadas en las inmediaciones de la zona conurbada.

Las principales fuentes son el Sistema Bañuelos-San Ramón, localizada al Sur de Guadalupe, con 13 pozos profundos y un gasto medio de 93.71 lps; los Sistemas la Joya y Morelos, al norte de Zacatecas, con 10 pozos profundos y un gasto medio de 201.83 lps; el Sistema Benito Juárez al Suroeste de Zacatecas con 7 pozos profundos y un gasto medio de 350 lps; pozos la Fe y Osiris (2) al Este de Guadalupe, con un gasto de 25.96 lps con problemas de contaminación y la Galería la Zacatecana al Sureste de Guadalupe con un gasto de 10.58 lps.

Se tiene previsto una nueva fuente localizada al Oeste de Zacatecas, denominado Sistema Pimienta, del cual se aprovecha un solo pozo de 50 lps que se suma al sistema la Joya. Este sistema aportará 150 lps adicionales por medio de tres pozos.

Los problemas de contaminación, así como la disminución de los caudales de los Sistemas Bañuelos-San Ramón y el crecimiento de la población hacen necesario disponer de proyectos para incrementar la disponibilidad de agua potable y verificar la eficiencia de los sistemas existentes instalados, razón por la que en los últimos años se ha venido estudiando las diversas fuentes alternas.

Dentro de estos estudios se encuentra la revisión del Sistema Benito Juárez en cuanto a fenómenos transitorios, esto con la finalidad de verificar su buen funcionamiento y en caso contrario señalar las posibles fallas y las acciones necesarias para corregir dichas deficiencias.

OBJETIVOS

En base a lo anterior, se procede a realizar el Análisis de Transitorios del Sistema Benito Juárez y actividades complementarias para cubrir en este trabajo los siguientes objetivos:

- Pasos a seguir en la revisión de una línea de conducción, mostrando la aplicación de los conocimientos adquiridos en hidráulica.
- Revisión del Sistema Benito Juárez y Proyecto de dispositivos para el control de transitorios.
- Conclusiones sobre el estudio realizado.

DESARROLLO DEL ESTUDIO

Para llevar a cabo la ejecución de lo anterior subdivido al estudio en los siguientes capítulos.

Capítulo 1 Trabajos de Campo.

Se capturó y analizó la información de que se dispone tanto en la Comisión Nacional del Agua (CNA), como en la Junta Intermunicipal de Agua Potable y Alcantarillado de Zacatecas (JIAPAZ) y otras dependencias locales y federales.

Esta información consiste en el levantamiento topográfico del Sistema Benito Juárez -existente y en operación- así como de las características de cada uno de los equipos instalados en los pozos que constituyen dicho sistema.

Capítulo 2 Modelo Matemático.

Los fenómenos no estacionarios o transitorios en las conducciones de agua a presión son un aspecto que debe ser tomado en cuenta tanto por el proyectista como por el operador de un acueducto, esto lleva a crear por parte del Ingeniero un modelo capaz de analizar dicho fenómeno.

En el estudio de transitorios en el Sistema Benito Juárez se utiliza un programa de computadora que lleva a cabo la solución de un sistema de ecuaciones en diferencias finitas que modelan el funcionamiento de tuberías y dispositivos de una línea de conducción; el sistema de ecuaciones diferenciales en derivadas parciales -Sistema hiperbólico- que describe el fenómeno ondulatorio en tuberías a presión puede escribirse como un sistema de ecuaciones en diferencias empleando el método de las características. El programa tiene la flexibilidad de aceptar las características propias de cada acueducto a través de la lectura de un archivo de datos.

Se procederá a explicar el fenómeno y las ecuaciones utilizadas para llevar a cabo el análisis del acueducto en estudio.

Capítulo 3 Análisis de Transitorios.

Para estudiar el funcionamiento hidráulico en condiciones de flujo establecido y no permanente del Sistema Benito Juárez, fué utilizado, como ya se mencionó un algoritmo que, con fundamento en las ecuaciones dinámica y de continuidad tiene su origen en la Sección de Hidromecánica de la Universidad Nacional Autónoma de México, y cuyo empleo requiere contar con la información que a continuación se indica de manera global:

- Curvas de aforo de cada uno de los pozos a considerar en el análisis.
- Curvas características de los equipos de bombeo instalados en cada pozo.
- Longitud, diámetro, espesor y material de las tuberías que forman las redes.
- Geometría de las redes en el plano horizontal y perfiles de las tuberías que las forman.
- Elevación, en la sección de descarga al tanque receptor de los caudales conducidos por cada red, de la tubería mediante la cual dicha descarga se efectúa.

Se procederá a obtener toda la información necesaria para poder utilizar el programa "POZOS88.EXE", así como la manera de armar el archivo de datos necesario para su ejecución y consideraciones.

Se mostrará la información obtenida con dicho análisis presentándose en tablas y gráficas así como la forma de interpretarla con el fin de llevar a cabo un plan que permita corregir las posibles fallas encontradas en el sistema.

Capítulo 4 Proyecto de dispositivos de control.

El Proyecto de dispositivos de control de la línea de conducción del Sistema Benito Juárez tendrá por finalidad mostrar las acciones necesarias sugeridas para su buen funcionamiento. Estos dispositivos tienen por objetivo (entre otros), evitar en lo posible las presiones mínimas por debajo del perfil de presión de vaporización y de ser posible que estas presiones queden por encima del perfil del terreno.

Capítulo 5 Conclusiones.

Se señalarán las observaciones que durante el estudio del Sistema Benito Juárez se realizan en cuanto a la aplicación del modelo matemático propuesto, así como de comentarios personales referentes a la obtención de información para realizar el trabajo, el uso de la computadora como herramienta para la obtención de resultados y su posterior análisis, el mantenimiento y operación del sistema tratado.

MOTIVACION AL TEMA

Una conducción a presión de agua potable es, por lo general, la parte del sistema de cualquier acueducto que requiere de mayor inversión inicial; el diseño de la conducción implica determinar el diámetro y la resistencia requerida en presiones mayores que las de operación normal y presiones menores que la atmosférica. La determinación del diámetro es un problema fundamentalmente económico. Si el diámetro es pequeño el costo inicial es menor pero el trabajo de fricción realizado contra la pared de la tubería es mayor y por lo tanto los costos de operación en energía se incrementan. Para resolver este problema usualmente calculamos un diámetro óptimo que minimiza el costo total del sistema.

Para determinar la resistencia requerida por la tubería ante sobrepresiones y depresiones se requiere de un análisis hidráulico el cual es presentado de una forma práctica en el análisis del Sistema Benito Juárez, en la Ciudad de Zacatecas.

En el diseño de un acueducto y en su operación es necesario saber evaluar el riesgo en cuanto a seguridad del sistema, de tomar una determinada decisión o no hacerlo. En el diseño, son muy variadas las instancias en las que debe decidirse entre una alternativa más segura pero más cara, que una menos segura.

El estudio del Sistema Benito Juárez es un ejemplo solamente de la aplicación de algunos conceptos teóricos -modelo numérico- para evaluar los fenómenos antes descritos, este punto llamó mi interés, ya que a partir de estos conceptos teóricos se puede definir lo fundamental en cada problema práctico -Sistema Benito Juárez-. El dominio de estos conceptos habilita al proyectista y/o al operador a resolver por sí mismo situaciones prácticas diferentes. Para el estudiante es una forma práctica de ver aplicados algunos conceptos vistos en clases de hidráulica.

Es mi intención, mostrar, no solo la forma de utilizar una herramienta de cálculo que ya existe y la cual fué desarrollada en esta H. Universidad (Universidad Nacional Autónoma de México), en el Instituto de Ingeniería, sino también justificar su uso y marcar la importancia que tiene el hecho de comprender lo que se está haciendo, razonándolo y de forma sencilla realizar su aplicación a problemas prácticos.

1.- TRABAJOS DE CAMPO

1.1 INFORMACION OBTENIDA

Para el desarrollo de la Tesis se procedió a recabar la información disponible, tanto en la Comisión Nacional del Agua (CNA) como en la Junta Intermunicipal de Agua Potable y Alcantarillado de Zacatecas (JIAPAZ).

En la CNA se recopiló información referente a proyectos existentes de las fuentes de abastecimiento y redes de distribución, estudios que se mencionan a continuación:

- 1) "Proyecto Ejecutivo para la sectorización de la red primaria de Distribución y de Agua Potable en la zona Urbana de Zacatecas y Guadalupe, Zac.", de 1993.
- 2) "Estudio de evaluación de Pérdidas en el sistema de distribución de agua potable de la ciudad de Zacatecas, Zac.", de 1992.
- 3) "Actualización Geohidrológica en la zona Benito Juárez para suministro de agua a la ciudad de Zacatecas, Zac." de 1988.
- 4) "Proyecto Ejecutivo del abastecimiento de agua potable y alcantarillado sanitario de la zona la Condesa en Zacatecas" de 1990.

El primero de ellos es un estudio de sectorización y funcionamiento de la red de distribución, con horizonte de proyecto al 2010, pero que requiere ajuste con la modificación de las fuentes de abastecimiento, por contaminación.

El segundo estudio fue realizado en la red de distribución de la ciudad y permite determinar sus parámetros.

El tercer estudio proporcionó información sobre la fuente de abastecimiento de los sistemas Benito Juárez y Pimienta.

El cuarto documento contiene información referente al Sistema la Condesa, que es una fuente de alimentación a la red de distribución, de reciente incorporación, y que se integra en el funcionamiento de la red de distribución.

Otra fuente de información fue el sistema operador de agua potable (JIAPAZ), de donde se recabó la siguiente información:

- 5) "Plan Maestro para el mejoramiento de los Servicios de agua potable, alcantarillado, saneamiento y consolidación y proyecto ejecutivo, de consolidación del Organismo Operador de Zacatecas, Zac." de 1992.

De este documento se obtuvo información referente a los sistemas actuales, su potencial y planeación, así como información de la red de interconexión de las fuentes y la red de distribución.

Adicionalmente a lo anterior, se proporcionó la información referente a la infraestructura existente, equipos, condiciones de operación, aforos, resultados de pitometría, etc. También se dieron facilidades para la visita e inspección a las estructuras, etc.

Otra fuente consultada fue INEGI para la obtención de cartografía, bancos de nivel; se consulta a SCT y CFE, con la finalidad de recabar información local, sobre bancos de nivel, referencias, etc.

La información recabada fue revisada y analizada para su utilización en el presente trabajo, tal y como se presenta a continuación en el levantamiento físico de tanques y líneas de conducción del Sistema Benito Juárez.

**1.2 LEVANTAMIENTO FISICO DE TANQUES Y LINEAS DE
CONDUCCION DEL SISTEMA BENITO JUAREZ**

Aquí se describen los trabajos de campo efectuados para lograr los objetivos que a continuación se mencionan:

- a) Determinar la posición relativa entre los elementos que integran al Sistema Benito Juárez para abastecimiento de agua potable.
- b) Verificar la información que, en cuanto a plantas y perfiles de las líneas de conducción que forman el sistema referido, haya sido proporcionada tanto por la CNA como por la JIAPAZ.
- c) Identificar los componentes de cada elemento, así como las correspondientes características constructivas e inherentes a su operación.

1.2.1 Nivelación diferencial

Con apoyo en el vértice topográfico que, establecido por el antiguo CEFENAL en la localidad de Benito Juárez municipio de Zatecas, es identificado con el número 1126 y cuya elevación es de 2193.200 m.s.n.m.m., se llevó a cabo una nivelación diferencial hasta un banco que se fijó en un clavo empotrado en la banqueta de la caseta de control del Pozo Benito Juárez 1, y que denominado como BN-1, resultó con una elevación de 2196.154 msnm.

Con la información obtenida fue posible generar un conjunto de datos que, en adición a los recabados por el desarrollo de las actividades de los detalles de fontanería en pozos, tanques y rebombeo, permitieron elaborar las figuras que se muestran al final del presente capítulo.

Se realizó un trabajo de nivelación diferencial orientado a verificar, rectificar y/o complementar la información obtenida del Sistema Benito Juárez.

Con el levantamiento topografico realizado se fundamenta la realización del análisis, ante flujos establecido y no permanente, de los componentes del Sistema Benito Juárez que funcionan por bombeo.

La metodología aplicada para realizar los trabajos de nivelación a los que hago referencia fue la de doble recorrido, empleándose un nivel fijo marca TOPCOM, automático, tipo basculante, con miras tipo INVAR, con bases para el apoyo de éstas y de las niveletas. Estos trabajos se realizaron con la finalidad de contar con un levantamiento de detalle de la línea de conducción y de los sistemas de pozos que componen al sistema y que servirá para realizar el estudio de transitorios del mismo.

1.2.2 Detalles de fontanería en pozos, tanques y rebombeo

Con objeto de complementar la información en la que pueda apoyarse, tanto el análisis de transitorios del sistema Benito Juárez y el proyecto de dispositivos de control, se realizaron visitas a las instalaciones que lo constituyen, es decir, a los pozos 1, 2, 3 (de observación), 4, 5, 6, 7 (en proceso de equipamiento y de conexión a la línea que conduce gastos del 5 y del 8) y 8, así como a los rebombos 1 (base 9), 2 (base 10) y a los tanques de cambio de régimen y 3000.

Durante cada visita, se procedió a identificar los elementos que integran a los equipamientos civil y electromecánico correspondientes, así como a determinar, según el elemento de que se tratara, lo siguiente:

- a) Motores de equipos de bombeo: Datos de placa con interés particular en la potencia nominal, el factor de servicio, la velocidad angular del rotor, la frecuencia y voltaje de la energía eléctrica a utilizar, la marca y el modelo.
- b) Bombas: Marca, modelo, tipo, velocidad de giro de los impulsores, y así mismo, gasto, carga dinámica total, potencia y eficiencia de diseño.
- c) Tuberías: Material y diámetro.
- d) Válvulas: Tipo, marca y diámetros.
- e) Subestación eléctrica: Tipo, número de transformadores y capacidad de los mismos.
- f) Control: Número de arrancadores y marca, modelo, potencia, voltaje y frecuencia inherentes a cada uno, y en cuanto a centros de carga, marca, modelo, intensidad de corriente y voltaje.
- g) Tanques y cárcamos: Dimensiones, capacidades y principales materiales utilizados en su construcción.

Se presenta a continuación una descripción de los mismos.

Pozo Benito Juárez 1

El motor del equipo de bombeo instalado, tiene una placa donde se registran los datos siguientes:

Marca: IEM
Trifásico de corriente alterna
CP: 100
Polos: 4
Tipo: VFHAPG
Armazón: 404 TP
Hertz: 60
Volts: 220/440
Amperes: 250/125
RPM: 1780
Factor de servicio : 1.15
Amps. a factor de servicio: 292/146
Clave KVA a rotor bloqueado: G
Temp. amb. máxima: 30 °C a 2300 msnm, 40 °C a 1000 msnm
ROD. FL. 6 INF: 6314C3
ROD. OP: 2 X 7222BG
Conexión: A
Diseño CCONNIE: B
Operación horas: 24
Aislam. clase: B
Modelo: 800166172
Temp. máx. total C_u: 130 °C
Serie: 9812003

La bomba instalada es vertical, marca NASSA JOHNSTON sin placa de datos.

- La fontanería de descarga de la bomba, hecha con tubería de acero de 8" Ø y conectada a un by pass para alivio de presiones, tiene como elementos complementarios básicos los siguientes:

. Manómetro ECONO Bourdon de bronce, con capacidad para medir entre 0 y 21 kg/cm² (0 y 300 PSI), conectado a la fontanería de descarga mediante un tubo de cobre de 1/2" Ø adaptado a una válvula esférica del mismo diámetro, de bronce, URREA (200 WOG, 125 SWP).

. Válvula de admisión y expulsión de aire, de 1" Ø, con válvula esférica IUSA (16,200 WOG) del mismo diámetro.

. Válvula de compuerta bridada, FERNANDEZ de 8" Ø.

. Medidor de gasto AZTECA, MA802752, 32055-014, Easy Read.

. Válvula de inserción para pitometría de bronce y 1" Ø.

. Válvula check bridada de 8" Ø, HMX, cuya posición no es la correcta porque se encuentra aguas abajo de la válvula de compuerta.

. Toma de agua que, para prelubricación de la bomba, está formada como a continuación se indica: Para conexión a la fontanería de descarga, por un primer tramo de FoGo, 1" Ø y adaptado a una válvula de globo del mismo diámetro, en tanto que después de ésta y hasta la conexión con el cuerpo de la bomba, se identifica un segundo tramo de FoGo pero con diámetro de 1/2".

- El by pass para alivio de presiones citado en el apartado anterior es de acero, su diámetro es de 3" y sus principales componentes son:

. Válvula de compuerta de 3" Ø, roscada. BRIGAM, (200 WOG).

. Válvula aliviadora de presión bridada, de 3" Ø, HYDROMEX (125 W).

- El sistema de fuerza y control está formado por lo siguiente:

. Subestación eléctrica tipo poste con un solo transformador de 112.5 KVA.

. Caseta de control donde se encuentran un arrancador K981 SIEMENS, un centro de carga SQUARE D QOD2 con alimentadores de 50 amp. y 127/220 VCA, un autotransformador 440-110 y un switch de seguridad General Duty de 30 amp. y 240 VAC.

Pozo Benito Juárez 2

- En el momento de la visita a este pozo, el motor original del equipo de bombeo había sido provisionalmente sustituido por uno sumergible, pero mediante información proporcionada por la Junta Intermunicipal de Agua Potable y Alcantarillado de Zacatecas (JIAPAZ), se determinó que el motor original -del tipo seco- será reinstalado y que sus datos de placa son:

.
. **Marca: IEM**
. **Trifásico de corriente alterna**
. **CP: 75**
. **Polos: 4**
. **Tipo: VFHAPG**
. **Armazón: 365 TP**
. **Hertz: 60**
. **Volts: 220/440**
. **Amperes: 186/93**
. **RPM: 1786**
. **Factor de servicio : 1.15**
. **Amps. a factor de servicio: 214/107**
. **Clave KVA a rotor bloqueado: F**
. **Temp. amb. máxima: 30 °C a 2300 msnm, 40 °C a 1000 msnm**
. **ROD. FL. ó INF: 6314-C3**
. **ROD. OP: 2 X 7219BG**
. **Conexión: Δ**
. **Diseño CCONNIE: B**
. **Operación horas: 24**
. **Aislam. clase: B**
. **Modelo: 134166162**
. **Temp. máx. total C_u: 130 °C**
. **Serie: 0901014**

- La bomba instalada es vertical, marca NASSA JOHNSTON sin placa de datos.

- La fontanería de descarga de la bomba, hecha con tubería de acero de 8" Ø se conecta a un by pass para alivio de presiones y cuenta con los elementos complementarios básicos que a continuación se describen:

Manómetro ECONO Bourdon de bronce, con capacidad para medir entre 0 y 21 kg/cm² (0 y 300 PSI), conectado a la fontanería de descarga mediante un tubo de cobre de 1/2" Ø adaptado a una válvula esférica del mismo diámetro, de bronce, URREA (200 WOG, 125 SWP). En el momento de la visita, la aguja indicadora vibraba mucho y a ello se asociaba ruido notable.

Medidor de gasto AZTECA, 32055-014, Easy Read.

Arreglo para admisión y expulsión de aire, de 1" Ø, que no cuenta con la válvula correspondiente. Así, está formado con niples y codos de FoGo adaptados a una válvula de esfera marca IUSA (16,200 WOG), del mismo diámetro citado, condición que implica la operación manual del arreglo.

Válvula check bridada de 8" Ø, PACIFIC (200 WOG, 125 SWP).

Válvula de compuerta bridada, FERNANDEZ de 8" Ø.

Válvula de inserción para pitometría de bronce y 1" Ø.

Toma de agua para prelubricación de la bomba, formada como se explica en lo que sigue: Para conexión a la fontanería de descarga, por un primer tramo de FoGo, 1" Ø y adaptado a una válvula de globo del mismo diámetro marca IUSA (600 WOG), en tanto que después de ésta y hasta la conexión con el cuerpo de la bomba, se identifica un segundo tramo de FoGo pero con diámetro de 1/2".

El by pass para alivio de presiones es de acero, de 3" Ø y sólo tiene una válvula de compuerta roscada del mismo diámetro, es decir, no cuenta con válvula aliviadora de presión.

El sistema de fuerza y control está integrado por los elementos siguientes:

Subestación eléctrica tipo poste con un solo transformador de 75 KVA.

Caseta de control con un arrancador SIEMENS K981, un centro de carga SQUARE D QOD2 con alimentadores de 50 amp. y 127/220 VCA, un autotransformador 440-110 y un switch de seguridad General Duty de 30 amp. y 240 VAC.

Pozo Benito Juárez 4

La placa del motor correspondiente al equipo de bombeo instalado, presenta los siguientes datos:

Marca: IEM
Trifásico de corriente alterna
CP: 75
Polos: 4
Tipo: VFHAPG
Armazón: 365 TP
Hertz: 60
Volts: 220/440
Amperes: 186/93
RPM: 1786
Factor de servicio : 1.15
Amps. a factor de servicio: 214/107
Clave KVA a rotor bloqueado: F

Temp. amb. máxima: 30 °C a 2300 msnm, 40 °C a 1000 msnm
ROD. FL. 6 INF: 6314C3
ROD. OP: 2 X 7219BG
Conexión: A
Diseño CONNIE: B
Operación horas: 24
Aislam. clase: B
Modelo: 334166162
Temp. máx. total C_u : 130 °C
Serie: 0902014

La bomba instalada es vertical, marca NASSA JOHNSTON sin placa de datos.

En cuanto a la fontanería de descarga de la bomba, fue construida con tubería de acero de 8" \emptyset y se encuentra conectada a un by pass para alivio de presiones, contando así mismo con los elementos complementarios básicos que a continuación se enuncian:

Manómetro ECONO Bourdon de bronce, con capacidad para medir entre 0 y 21 kg/cm^2 (0 y 300 PSI), conectado a la fontanería de descarga mediante un tubo de cobre de 1/2" \emptyset adaptado a una válvula esférica del mismo diámetro, de bronce, marca URREA.

Medidor de gasto AZTECA, MAB02754.

Arreglo para admisión y expulsión de aire sin la válvula correspondiente, por lo que está hecho con niples y codos de FoGo y 1" \emptyset adaptados a una válvula esférica del mismo diámetro, condición que hace necesaria la operación manual del arreglo.

Válvula check bridada, de 8" Ø, BRIGAM (125 SWP, 200 WOG).

Válvula de compuerta bridada, de 8" Ø marca F. FERNANDEZ.

Válvula de inserción para pitometría, de bronce y 1" Ø.

Toma de agua para prelubricación, formada de la siguiente forma: Para conexión a la fontanería de descarga, por un primer tramo de FoGo, 1" Ø y adaptado a una válvula de globo del mismo diámetro, en tanto que después de ésta y hasta la conexión con el cuerpo de la bomba, se identifica un segundo tramo de FoGo pero con diámetro de 1/2".

- El by pass para alivio de presiones es de acero, su diámetro es de 3" y está integrado por los elementos siguientes:

Válvula de compuerta bridada de 3" Ø (200 WOG).

Válvula aliviadora de presión bridada, de 3", marca HYDROMEX.

Tubería de desfogue de PVC RD-32.5, 3" Ø y 6.20 m de longitud, lo que permite que las descargas se hagan directamente al suelo fuera del predio que ocupan las instalaciones inherentes a este pozo.

- El sistema de fuerza y control está constituido por los componentes que enseguida se indican:

Subestación eléctrica tipo poste con un solo transformador de 75 KVA.

Caseta de control en donde se encuentran un centro de carga SQUARE D QOD2 con alimentadores de 50 amp. y 127/226 VCA, un switch de seguridad General Duty de 30 amp. y 240 VAC, un autotransformador 440-110 y un arrancador K981 SIEMENS, serie A3732, 75 HP, 440V, ajuste 90-120 A, 60 HZ y control a 440V.

Pozo Benito Juárez 5

Este pozo se encuentra equipado con una bomba y motor sumergibles, conjunto del que la Gerencia de Captación de la JIAPAZ proporcionó los datos siguientes:

Marca: KSB

Bomba modelo BPN 425/2a4

Motor tipo NB 1003, trifásico, con potencia nominal de 100 HP, para 440 volts, 60 HZ y 3500 RPM.

La fontanería de descarga de la bomba, está conectada a un by pass para alivio de presiones y fue construida, en sus primeros 2.00 m, con tubería de acero de 8" Ø, en tanto que para los 5.67 m restantes también se utilizó tubería de acero pero de 10" Ø. Por otra parte, también cuenta con los elementos complementarios básicos que a continuación se enuncian:

Válvula check de 10" Ø marca FERNANDEZ (10 1/2 K).

Válvula de compuerta de 10" Ø marca MYMACO (FBA, 09, 93, DGN, H8, 125V, 200A).

Válvula de inserción para pitometría de bronce y 1" Ø.

El by pass para alivio de presiones, de acero y 4" Ø, presenta además los componentes siguientes:

Válvula de compuerta bridada de 4" Ø, BRIGAM (125 SWP, 200 WOG).

Válvula aliviadora de presión bridada de 4" Ø, VAMEX.

El sistema de fuerza y control sólo cuenta con los elementos que a continuación se citan:

Subestación eléctrica tipo poste con un transformador de 112.5 KVA.

Caseta de control en donde sólo se encuentra un arrancador SIEMENS K981, 8 a 150/2B/N1/AB, serie 17857, 100 HP, 440V, ajuste 120-150 A, 60 HZ y control a 440V.

Pozo Benito Juárez 6

El motor del equipo de bombeo instalado, tiene una placa donde se registran los datos siguientes:

Marca: IEM
Trifásico de corriente alterna
CP: 100
Poles: 4
Tipo: VFHAPG
Armazón: 404 TP
Hertz: 60
Volts: 220/440
Amperes: 250/125
RPM: 1780
Factor de servicio : 1.15

Amps. a factor de servicio: 292/146
Clave KVA a rotor bloqueado: G
Temp. amb. máxima: 30 °C a 2300 msnm, 40 °C a 1000 msnm
ROD. FL. 6 INF: 6314C3
ROD. OP: 2 X 7222BG
Conexión: A
Diseño CONNIE: B
Operación horas: 24
Aislam. clase: B
Modelo: 166172
Temp. máx. total C_v: 130 °C
Serie: 1902001

- La bomba instalada es vertical, marca NASSA JOHNSTON sin placa de datos.

- La fontanería de descarga de la bomba, hecha con tubería de acero de 8" Ø y conectada a un by pass para alivio de presiones, tiene como elementos complementarios básicos los que enseguida se mencionan:

Manómetro ECONO Bourdon de bronce, con capacidad para medir entre 0 y 21 kg/cm² (0 y 300 PSI), conectado a la fontanería de descarga mediante un tubo de cobre de 1/2" Ø adaptado a una válvula esférica del mismo diámetro, URREA (200 WOG, 125 SWP).

Medidor de gasto AZTECA, MA802751, 32055-014, Easy Read.

Válvula para admisión y expulsión de aire de 1" Ø que está adaptada a una válvula de esfera del mismo diámetro, marca IUSA (16, 200 WOG).

Válvula check bridada, de 8" Ø, marca BRIGAM (125 SWP, 200 WOG).

Válvula de compuerta bridada, de 8" Ø, marca FERNANDEZ.

Toma de agua para prelubricación formada como a continuación se explica: Para conexión a la fontanería de descarga, por un primer tramo de FoGo, 1" Ø y adaptado a una válvula de globo del mismo diámetro, en tanto que después de ésta y hasta que se conecta con el cuerpo de la bomba, se identifica un segundo tramo de FoGo pero con diámetro de 1/2".

Válvula de inserción para pitometría, de bronce y 1" Ø.

El by pass para alivio de presiones, fue construido con tubería de acero, de 3" Ø y cuenta además con los componentes siguientes:

Válvula de compuerta roscada (200 WOG), de 3" Ø.

Válvula aliviadora de presión bridada, de 3" Ø, HYDROMEX (125 W), elemento que parece no estar calibrado correctamente, ya que ante la presión derivada de la operación en flujo establecido, se observa un flujo a superficie libre a través de la tubería de desfogue.

Tubería de desfogue de PVC RD-26, 3" Ø y 6.12 m de longitud, lo que permite que las descargas se hagan directamente al suelo fuera del predio que ocupan las instalaciones motivo de este inciso.

Del sistema de fuerza y control, sólo pudo observarse la subestación eléctrica tipo poste. Así, se determinó que la subestación está formada por un solo transformador de 112.5 KVA.

Pozo Benito Juárez 8

- Este pozo se encuentra equipado con una bomba y motor sumergibles, elementos de los que la Gerencia de Captación de la JIAPAZ proporcionó los datos siguientes:

. Marca: KSB

. Bomba modelo BPN 425/2

. Motor tipo NB 1253, trifásico, con potencia nominal de 125 HP, para 440 volts, 60 HZ y 3500 RPM.

- La fontanería de descarga de la bomba, está conectada a un by pass para alivio de presiones y fue construida, en sus primeros 1.99 m, con tubería de acero de 8" Ø, en tanto que para los 6.11 m restantes también se utilizó tubería de acero pero de 10" Ø. Por otra parte, también cuenta con los elementos complementarios básicos que a continuación se enuncian:

. Válvula check bridada de 10" Ø marca MYMACO (200 WOG, 125 SWP).

. Válvula de compuerta bridada de 10" Ø marca MYMACO (FBA, 01, 94, DGN, H8, 125 V, 200 A).

. Válvula de inserción para pitometría de bronce y 1" Ø.

- El by pass para alivio de presiones, de acero y 4" Ø, presenta además los componentes siguientes:

. Válvula de compuerta bridada de 4" Ø marca BRIGAM (125 SWP, 200 WOG).

- Válvula aliviadora de presión bridada de 4" Ø marca VAMEX.

- El sistema de fuerza y control sólo cuenta con los elementos que enseguida se mencionan:

- Subestación eléctrica tipo poste con un transformador de 150 KVA.

- Caseta de control en donde sólo se encuentra un arrancador SIEMENS K981, 8 a 160/2B/N1/AB, serie D930011-39, 125 HP, 440 V, ajuste 135-160 A, 60 HZ y control a 440 V.

Estación de Rebombeo Benito Juárez 1 (base 9)

a) En cuanto a equipos de bombeo, se encontraron tres instalados en paralelo y preparaciones para otros dos, además de que la revisión de las placas correspondientes a motores y bombas permitió obtener la información que a continuación se enuncia:

- Los tres motores tienen las siguientes características comunes:

• Marca: IEM
• Trifásico de corriente alterna
• CP: 300
• Polos: 4
• Tipo: VFSAPG
• Armazón: 449 TP
• Hertz: 60
• Volts: 440
• Factor de servicio: 1.10
• Clave KVA a rotor bloqueado: C

Temp. amb. máxima: 30°C a 2300 msnm, 40°C a 1000 msnm
ROD. OP: 2 x 7222 BG
Diseño CCONNIE: B
Operación horas: 24
Temp. máx. total Cu: 155°C

Si los tres motores se identifican, respectivamente, con los números 3, 2 y 1 según los vea, de izquierda a derecha, un observador parado con la caseta de control a su espalda, pueden darse en ese orden los siguientes datos adicionales de placa:

Amperes: 350, 346, 346
RPM: 1788, 1778, 1778
Amps. a factor de servicio: 385, 381, 381
ROD. FL. ó INF: 6314, 6314C3, 6314C3
Conexión: Estrella, delta, delta
Aislamiento clase: B, F, F
Modelo: 140130, 140620
Series: Ilegible, 0901004, 0901001

Las bombas asociadas a cada motor - autoconteridas - son verticales marca NASSA JOHNSTON, y sólo fue legible la placa de la acoplada al motor 1 según la identificación a que se refiere el apartado anterior. En estas condiciones, los datos recabados son los siguientes:

Modelo: NJ 14 CC.7
Gasto: 90 l/s
CDT: 190 mca
Potencia: 290 CP
Eficiencia: 78%
Vel: 1760 RPM
Serie No: 215491066
Ref: VDF 115

b) Las fontanerías de succión y descarga, cuyos componentes se citan a continuación, no presentan diferencias sustanciales de una bomba a otra:

La línea de succión está hecha con tubería de acero de 10" Ø, y cuenta con una válvula de compuerta bridada y del mismo diámetro (200 WOG, 125 SWP).

La fontanería de descarga, construida con tubería de acero y 8" Ø, está conectada a un by pass para alivio de presiones y cuenta con los elementos complementarios básicos que enseguida se indican:

Instalación para admisión y expulsión de aire sin la válvula correspondiente, lo que obliga a operarla manualmente siempre que se requiere. Para el caso de las bombas 1 y 3, dicha instalación es de 1" Ø y está formada con niples y codos de FoGo adaptados a una válvula esférica marca URREA (200 WOG, 125 SWP), en tanto que para la bomba restante se observó que la instalación referida está integrada por niples y codos de FoGo y 1/2" Ø, adaptados a una válvula de globo de bronce (150 WOG) y del mismo diámetro.

Válvula check bridada de 8" Ø, marca RENVAL, modelo No. RS8, serie No. 891133C251.

Válvula de compuerta bridada de 8" Ø (500 WOG, 250 SWP).

En la conexión YEE mediante la que se efectúa la unión entre la fontanería de descarga y el by pass para alivio de presiones, hay una preparación para manómetro con conexión de 1/2" Ø y válvula esférica del mismo diámetro. Según los operadores, en algún tiempo fueron instalados manómetros que posteriormente sufrieron daños lo suficientemente severos como para retirarlos.

- La fontanería de descarga de cada bomba se conecta a un múltiple de acero y 24" Ø.
- c)
- El by pass para alivio de presiones, hecho con tubería de acero y 4" Ø, presenta además los elementos constitutivos siguientes:
 - Válvula de compuerta bridada de 4" Ø (500 WOG, 250 SWP).
 - Válvula aliviadora de presión bridada de 4" Ø (500 W, 102 HMX, 35 A)
 - El by pass para alivio de presiones de cada bomba, se conecta a un múltiple de desfogue hecho con tubería de acero y 10" Ø, que descarga en el tanque de succión.
- d)
- El tanque de succión es de mampostería, tiene capacidad para 500 m³, sus dimensiones interiores son 16.00 x 15.00 x 2.50 m y recibe las descargas, además del múltiple de desfogue anteriormente citado, de las líneas que con diámetros de 20" y 18", conducen respectivamente los caudales del grupo de pozos Benito Juárez 5, 6 y 8 y, del grupo integrado por los pozos Benito Juárez 1, 2 y 4.
- e)
- El sistema de fuerza y control está constituido por los elementos que enseguida se mencionan:
 - Subestación eléctrica del tipo banco de transformadores, que cuenta con tres de éstos marca TESA de 300 KVA cada uno.
 - Caseta de control en la que se encuentran, por una parte, tres arrancadores SIEMENS K981 cuya placa no tiene ningún dato, y por otra, un centro de carga SQUARE D QOD2 con alimentadores de 50 amps. y 127 - 220 VCA.

Estación de Rebombéo Benito Juárez 2 (base 10)

- a) En cuanto a equipos de bombeo, se identificaron preparaciones para cuatro y tres que, instalados en paralelo, fueron identificados con los números 1, 2 y 3, según el orden en que se les encontró al entrar al área de la estación y caminar, sin cambiar sensiblemente de dirección, rumbo al fondo de la misma y con el cárcamo de bombeo a mano izquierda. Así, con la referencia indicada, se observó que ni el motor ni la bomba del equipo 1 tienen placa de datos y que no es legible la correspondiente a la bomba del equipo 3, por lo que a continuación sólo se enuncia la información obtenida de las placas disponibles en los equipos 2 y 3:

- Según las placas de los motores respectivos, sus características son las siguientes:

- . Marca: IEM (ambos)
- . Trifásico de corriente alterna (ambos)
- . CP: 300 (ambos)
- . Polos: 4 (ambos)
- . Tipo: VFSAPG (ambos)
- . Armazón: 449TP (ambos)
- . Hertz: 60 (ambos)
- . Volts: 440 (ambos)
- . Amperes: 350, 346
- . RPM: 1783, 1778
- . Factor de servicio: 1.10 (ambos)
- . Amps. a factor de servicio: 385,381
- . Clave KVA a rotor bloqueado: G (ambos)
- . Temp. amb. máxima: 30°C a 2300 msnm, 40°C a 1000 msnm (ambos)
- . ROD. FL. ó INF.: 6314, 6314C3
- . ROD. OP: 2 x 7222 BG (ambos)

Conexión: Estrella, delta
Operación horas: 24 (ambos)
Aislam. clase: B, F
Modelo: 140130, 140620
Temp. máx. total Cu: 130 °C, 155 °C
Series: 8806003, 0901002
Diseño CCONNIE: B (ambos)

- Las bombas asociadas a cada motor - autocontenidas - son verticales marca NASSA JOHNSTON, y como se mencionó anteriormente, sólo tiene placa de datos legible la del equipo 2, de donde fueron recabados los datos siguientes:

. Modelo: NJ 14 CC.7
. Gasto: 90 l/s
. CDT: 190 mca
. Potencia: 290 CP
. Serie: 215591067
. Vel: 1760 RPM
. Eficiencia: 78%
. Ref: VDF 115

b) Las fontanerías de succión y descarga, cuyos componentes se citan a continuación, no presentan diferencias sustanciales de una bomba a otra:

- La línea de succión está hecha con tubería de acero de 10" Ø, y cuenta con una válvula de compuerta bridada y del mismo diámetro marca PACIFIC (200 WOG, 125 SWP).

- La fontanería de descarga, construida con tubería de acero y 8" Ø, está conectada a un by pass para alivio de presiones y cuenta con los elementos complementarios básicos que enseguida se indican:

Instalación para admisión y expulsión de aire sin la válvula correspondiente, lo que obliga a operarla manualmente siempre que se requiere. Dicha instalación es de 1" Ø y está formada con niples y un codo de FoGo adaptados a una válvula esférica marca IUSA (400 WOG)

Válvula check bridada de 8" Ø, marca RENVAL, modelo No. RS 8C 250, serie No. 891130.

Válvula de compuerta bridada de 8" Ø (500 WOG, 250 SWP).

En la conexión YEE mediante la que se efectúa la unión entre la fontanería de descarga y el by pass para alivio de presiones, hay una preparación para manómetro con conexión de 1/2" Ø.

La fontanería de descarga de cada bomba se conecta a un múltiple de acero y 24" Ø.

c) El by pass para alivio de presiones, hecho con tubería de acero y 4" Ø, presenta además los elementos constitutivos siguientes:

Válvula de compuerta bridada de 4" Ø (500 WOG, 250 SWP).

Válvula aliviadora de presión bridada de 4" Ø (500 W, 102 HMX, 35 A).

El by pass para alivio de presiones de cada bomba, se conecta a un múltiple de desfogue hecho con tubería de acero y 10" Ø que descarga en el tanque de succión.

d) El tanque de succión es de mampostería, tiene capacidad para 1000 m³, sus dimensiones interiores son 23.00 x

15.00 x 3.30 m y recibe las descargas, además del múltiple de desfogue anteriormente citado, de la línea que con diámetro de 24" conduce los caudales bombeados desde la estación de rebombeo Benito Juárez 1.

e) El sistema de fuerza y control está constituido por los elementos que enseguida se mencionan:

- Subestación eléctrica del tipo banco de transformadores, que cuenta con tres de estos marca TESA de 300 KVA cada uno.
- Caseta de control en la que se encuentran tres arrancadores SQUARE D, clase 8606, tipo PPGL, 300 CP, 3 fases, 440 volts, 60 HZ y forma Y.

Tanque de cambio de régimen

Esta estructura es de mampostería, tiene capacidad para 250 m³, sus dimensiones interiores son 14.52 x 9.60 x 2.15 m y cuenta con la fontanería que a continuación se describe:

- Tubería de demasías, de acero y 8" Ø.
- Tubería mediante la que descargan, a esta estructura, los caudales bombeados desde la estación de rebombeo Benito Juárez 2. Esta tubería es de acero y 24" Ø.
- Descarga por gravedad hacia el tanque 3000, que está formada por los elementos siguientes:
 - Tubería de acero y 20" Ø que llega hasta el tanque 3000 y cuenta, para el control del flujo a través de ella, con una válvula de mariposa del mismo diámetro marca KEYSTONE, además de que presenta una válvula de inserción de bronce y 1" Ø para pitometría.

Tubería de acero y 20" Ø que es parte de una línea cuya construcción está por reiniciarse, de manera que a futuro sean dos conducciones entre la estructura objeto de este inciso y el tanque 3000. Esta tubería se encuentra conectada, en su origen, a una válvula de compuerta de 20" Ø, marca BRIGAM (100 SWP, 150 WOG), además de que también cuenta con una válvula de inserción para pitometría, de bronce y 1" Ø.

Tanque 3000

Esta estructura es de mampostería, tiene capacidad para 3000 m³ y cuenta con la fontanería siguiente:

- Tubería de acero y 10" Ø mediante la que recibe los caudales provenientes de los sistemas Benito Juárez y Bañuelos - San Ramón.
- Dos tuberías de 12" Ø y 20" Ø, de acero, mediante las que este tanque contribuye al sistema de distribución de la conurbación Zacatecas - Guadalupe.

1.3 FIGURAS

Como se indicó al inicio del capítulo, las siguientes figuras son el resultado de los trabajos de recopilación de datos y visitas realizadas al Sistema Benito Juárez, en la ciudad de Zacatecas, Zac.

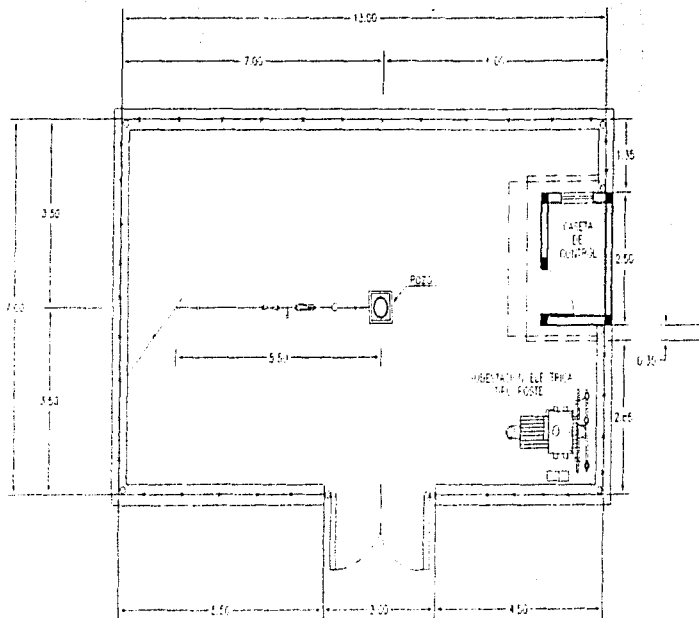
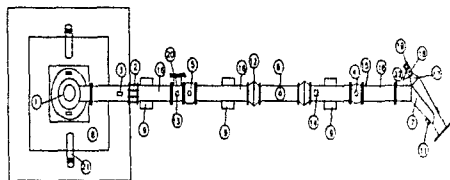


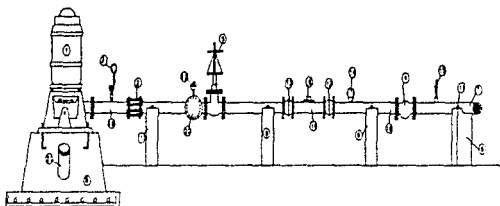
FIG. - 3.1 PLANTA DE DISTRIBUCION TIPO PARA EQUIPAMIENTO DE LOS POZOS DEL SISTEMA SINTO-JUAREZ.



- 1- BOMBA VERTICAL MARCA HANSA JOHNSTON CON MOTOR DE 100 HP
- 2- JUNTA DRESSER DE 1" #
- 3- MANÓMETRO CON CAPACIDAD ENTRE 0 Y 21 kg/cm² CON CONEXION DE 1/2" #
- 4- VALVULA CHECK BRONCA DE 1" #
- 5- VALVULA DE COMPUERTA DE 1" #
- 6- MEDIDOR DE GASTO DE EXTREMOS LISOS
- 7- CONEXION TEE DE ACERO Y 1" # CON BRIDAS SOLDADAS
- 8- BASE DE CONCRETO PARA BOMBA
- 9- BASE DE CONCRETO PARA APALANCA
- 11- PLACA DE SUELO
- 12- JUNTA D.B.A.L.T. DE 1" #
- 13- VALVULA DE ADMISION Y EXPANSION DE AIRE DE 1" # CON VALVULA ESFERICA DE 1" #
- 14- VALVULA DE INYECCION PARA PILOMETRIA DE BRONCE Y 1" #
- 15- TUBA DE AGUA PARA PRELUBRICACION DE FOLIO Y 1/2" # CON VALVULA DE SUELO ROSCADA DE 1" #
- 16- TUBO DE ACERO DE 1" # CON BRIDAS SOLDADAS
- 17- REDUCCION DE 1" # A 3" # DE ACERO BRIDAS SOLDADAS
- 18- VALVULA DE COMPUERTA DE 3" # ROSCADA
- 19- VALVULA REGULADORA DE PRESION BRONCA DE 3" # CON DESCARGA VERTICAL ATRAVES DE UN COPLE DE REPARACION DE PVC DE 3" #
- 20- TEE DE ACERO DE 1" # CON BRIDA SOLDADA Y TAPA CIEGA
- 21- TUBO ENFABADOR DE PVC DE 3" #
- 22- BRIDA ROSCADA CON TAPLE DE 3" #

P L A N T A

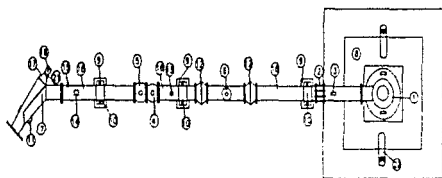
FIG. 1.2 FONTANERIA DE DESCARGA Y PARA
ALIVIO DE PRESIONES DEL POZO BENITO JUAREZ 1



- 1- BRANCA VERTICAL NUNCA NUNCA JOHNSON CON MOTOR DE 100 HP
- 2- MOTOR PRESSOR DE 1/2"
- 3- MANOMETRO CON CAPACIDAD ENTRE 0 Y 20 kg/cm² CON CONEJO DE 1/2"
- 4- VALVULA CHECK BRANCA DE 1"
- 5- VALVULA DE CERRAMIENTO DE 1"
- 6- MEDIDOR DE GASTO DE EXTREMOS USOS
- 7- CONEJON TEE DE ACERO 1 1/2" CON BRIDAS SOLDADAS
- 8- BASE DE CONCRETO PARA BRANCA
- 9- BASE DE CONCRETO PARA ARRANCADERA
- 10- ARRANCADERA
- 11- PLACA DE SUELO
- 12- ZANJA SIGNAL DE 1"
- 13- VALVULA DE ADMISION Y EXPULSION DE AIRE DE 1 1/2" CON VALVULA CHECK DE 1"
- 14- VALVULA DE INSPECCION PARA PIROMETRIA DE BRONCE 1 1/2"
- 15- TORNILLO DE AGUA PARA PRELUBRICACION DE 1/2" DE 1 1/2" CON VALVULA DE GASTO BRANCA DE 1"
- 16- TUBO DE ACERO DE 1" CON BRIDAS SOLDADAS
- 20- TUBO EXPULSION DE 1/2" DE 1"

P E R F I L

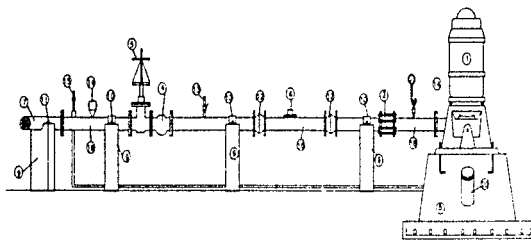
FIG. 1.3 FONTANERIA DE DESCARGA DEL POZO BENTO JUAREZ 1



- 1- BOMBA VERTICAL MARCA NASSA JOHNSON CON MOTOR DE 75 HP
- 2- JUNTA DRESSEAR DE 8" #
- 3- MANCHETEO CON CAPACIDAD ENTRE 0 + 21 kg/cm² Y CON CONEXION DE 1/2" #
- 4- VALVULA CHECK BRIGADA DE 8" #
- 5- VALVULA DE CIERRE DE 8" #
- 6- MEDIDOR DE GASTO DE EXTREMOS LISOS
- 7- CONEXION TEE DE ACERO Y 8" # CON BRIDAS SOLDADAS
- 8- BASE DE CONCRETO PARA BOMBA
- 9- BASE DE CONCRETO PARA ABRADERA
- 10- ABRADERA
- 11- PLACA DE SUJECION
- 12- JUNTA OBLIQUA DE 8" #
- 13- VALVULA DE ADMISION Y EXPULSION DE AIRE DE 1" # CON VALVULA ESTERNA DE 1" #
- 14- VALVULA DE INSERCIÓN PARA PIROMETRA, DE BRONCE Y 1" #
- 15- TOMA DE AGUA PARA PRELUBRICACION DE FOGO Y 1/2" # CON VALVULA DE CIERRE ROSADA DE 1" #
- 16- TUBO DE ACERO DE 8" # CON BRIDAS SOLDADAS
- 17- REDUCCION DE 8" # 3" # CILINDRO BRIDAS SOLDADAS
- 18- VALVULA DE CIERRE DE 3" # ROSADA
- 21- TUBO EMPALMADOR DE 10.50 DE 3" #
- 22- BRISA ROSADA CON ALOE DE 3" #

P L A N T A

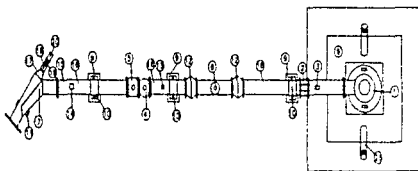
FIG. 1.4 FONTANERIA DE DESCARGA Y PARA
ALIVIO DE PRESIONES DEL POZO BENITO JUAREZ 2



- 1- BOMBA VERTICAL MARCA MASSA JOHNSON CON MOTOR DE
- 2- JUNTA DRESESS DE P" #
- 3- MANOMETRO CON CAPACIDAD ENTRE 0 Y 21 kg/cm² Y CON CONEXION DE 1 1/2"
- 4- VALVULA CHECK BRIGADA DE P" #
- 5- VALVULA DE CIERRE DE P" #
- 6- MEDIDOR DE GASTO DE EXTREMOS USOS
- 7- CONEXION YEE DE ACERO Y P" # CON BRIDAS SOLDADAS
- 8- BASE DE CONCRETO PARA BOMBA
- 9- BASE DE CONCRETO PARA ABRADADERA
- 10- HERRAJERA
- 11- PLACA DE SUELO
- 12- JUNTA OBRATE DE P" #
- 13- VALVULA DE ADMISION Y EXPULSION DE AIRE DE 1" # CON VALVULA ESFERICA DE P" #
- 14- VALVULA DE INYECCION PARA PROTECTOR DE BRONCE
- 15- TORNILLO DE AGUA PARA HERRAJERIA DE PISO 1 1/2" CON VALVULA DE GLOBO BRIGADA DE 1" #
- 16- TUBO DE ACERO DE P" # CON BRIDAS SOLDADAS
- 17- TUBO EXPANSOR DE P. GO. 1 1/2"

P E R F I L

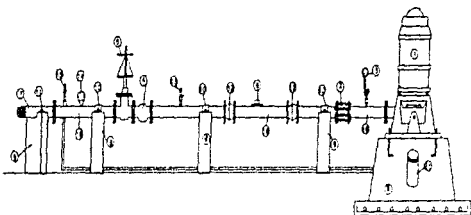
FIG. 1.5 FONTANERIA DE DESCARGA DEL POZO BENITO JUAREZ 2



- 1- BOMBA VERTICAL MARCA HASKA JOHNSTON CON MOTOR DE 75 HP
- 2- JUNTA DRESSER DE 8"
- 3- MANÓMETRO CON CAPACIDAD ENTRE 0 Y 21 KG/cm² Y CON CONEXION DE 1/2"
- 4- VALVULA CHECK BRIDADA DE 8"
- 5- VALVULA DE CIERRE DE 8"
- 6- MEDIDOR DE GASTO DE EXTREMOS USOS
- 7- CONEXION YEE DE ACERO Y 8" CON ORJAS SOLDADAS
- 8- BASE DE CONCRETO PARA BOMBA
- 9- BASE DE CONCRETO PARA ABRILAZADERA
- 10- ABRILAZADERA
- 11- PLATO DE PUSSEY
- 12- JUNTA GIBBS DE 8"
- 13- VALVULA DE AEROSION Y EXPULSION DE AIRE DE 1" CON ANILLAGA ESFERICA DE 1"
- 14- VALVULA DE MUESTRO PARA PITOMETRA DE BRONCE Y 1"
- 15- TOMA DE AGUA PARA PRELLEBRACION DE FUGA Y 1/2" CON ANILLAGA DE GIBBS RASCADA DE 1"
- 16- TUBO DE ACERO DE 8" CON BRIDAS SOLDADAS
- 17- REDUCCION DE 8" X 4" CON BRIDAS SOLDADAS
- 18- VALVULA DE CIERRE DE 4" X 3" PUSSEY
- 19- VALVULA REGULACION DE PRESION BRIDADA DE 3"
- 20- TUBERIA DE PVC 32.5 X 3"
- 21- TUBO ENGRABADOR DE FO 60 DE 3"

P L A N T A

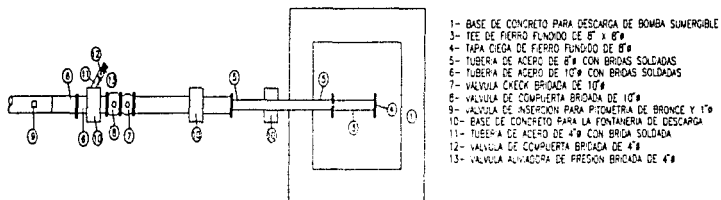
FIG. 1.6 FONTANERIA DE DESCARGA Y PARA
ALIVIO DE PRESIONES DEL POZO BENITO JUAREZ 4



- 1- BOMBA VERTICAL MARCA JAWHSTON CON MOTOR DE 75 HP
- 2- JUNTA DESLIZ DE 8"
- 3- MANOMETRO CON CAPACIDAD ENTRE 0 Y 21 kg/cm² Y CON CONEXION DE 1/2"
- 4- VALVULA CHECK BROMIDA DE 8"
- 5- VALVULA DE CERRADERA DE 8"
- 6- MOTOR DE CANTO DE ESTERILIZACION
- 7- CORDON TIE DE ACERO Y 8" CON DIFUSOR SOLDADO
- 8- BASE DE CONCRETO PARA BOMBA
- 9- BASE DE CONCRETO PARA AMPLIFICADOR
- 10- AMPLIFICADOR
- 11- PLACA DE SUELO
- 12- JUNTA CERRIL DE 8"
- 13- VALVULA DE ISOLACION Y EXPULSION DE AIRE DE 1 1/2" CON VALVULA ESTEREA DE 1"
- 14- VALVULA DE INSULACION PARA AISLAMIENTO DE BRONCE Y 1 1/2"
- 15- TORNILLO DE AGUA PARA REGULACION DE 1-50 Y 1/2" CON VALVULA DE ALUMINIO BROMIDA DE 1"
- 16- TUBO DE ACERO DE 8" CON BRIDAS SOLDADAS
- 21- C.B.O ENCHUFLADORA FO 027 5#

P E R F I L

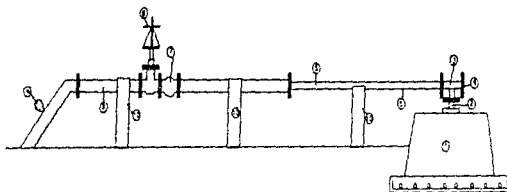
FIG. 1.7 FONTANERIA DE DESCARGA DEL POZO BENITO JUAREZ 4



- 1- BASE DE CONCRETO PARA DESCARGA DE BOMBA SUMERGIBLE
- 3- TEE DE FIERRO FUNDIDO DE 8" x 8"
- 4- TAPA CIEGA DE FIERRO FUNDIDO DE 8"
- 5- TUBERIA DE ACEPO DE 8" CON BRIDAS SOLDADAS
- 6- TUBERIA DE ACEPO DE 10" CON BRIDAS SOLDADAS
- 7- VALVULA CHECK BRONCEA DE 10"
- 8- VALVULA DE COMPUERTA BRONCEA DE 10"
- 9- VALVULA DE INSERCIÓN PARA PITOMETRIA DE BRONCE Y 10"
- 10- BASE DE CONCRETO PARA LA FONTANERIA DE DESCARGA
- 11- TUBERIA DE ACEPO DE 4" CON BRIDA SOLDADA
- 12- VALVULA DE COMPUERTA BRONCEA DE 4"
- 13- VALVULA ALIVACORA DE PRESION BRONCEA DE 4"

P L A N T A

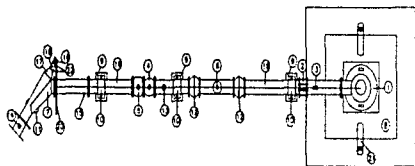
FIG. 1.8 FONTANERIA DE DESCARGA Y PARA
ALIVIO DE PRESIONES DEL POZO BENITO JUAREZ 5



- 1- BASE DE CONCRETO PARA DESCARGA DE BOMBA SUMERGIBLE
- 2- DESCARGA DE BOMBA SUMERGIBLE ANCHA 1500 CON MOTOR DE 100 HP
- 3- TEE DE FIERRO FUNDIDO DE 8" X 8"
- 4- TAPA-CIEN DE FIERRO LARGO DE 8"
- 5- TUBERIA DE ACERO DE 8" CON BRIDAS SOLDADAS
- 6- TUBERIA DE ACERO DE 12" CON BRIDAS SOLDADAS
- 7- VALVULA CHECK IMPULSA DE 12"
- 8- VALVULA DE COMPLETA BRINDA DE 12"
- 9- VALVULA DE INSERCIÓN PARA FICHERO DE BRINCE + 12"
- 10- BASE DE CONCRETO PARA LA FONTANERA DE DESCARGA

P E R F I L

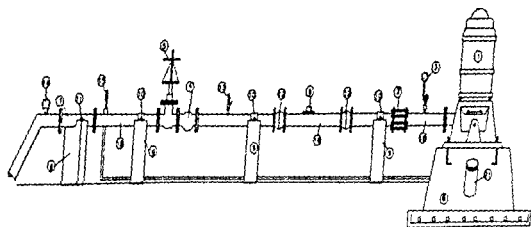
FIG. 1.9 FONTANERIA DE DESCARGA DEL POZO BENITO JUAREZ 5



- 1- BOMBA VERTICAL MARCA NASSA JOHNSON CON MOTOR DE 100 HP
- 2- JUNTA EPDM DE 8"
- 3- MANIFESTO CON CAPACIDAD ENTRE 0 y 2163/ cm³ CON CONEXION DE 1 1/2"
- 4- VALVULA CHECK BRINDA DE 8"
- 5- VALVULA DE COMPRESION DE 8"
- 6- MEDIDOR DE GASTO DE EXTREMOS LISOS
- 7- CONEXION YEE DE ACERO 1" Y 1/2" CON BRIDAS SOLDADAS
- 8- BASE DE CONCRETO PARA BOMBA
- 9- BASE DE CONCRETO PARA HORIZONTALIZADA
- 10- ABRAZADERA
- 11- PLACA DE SILENCIO
- 12- JUNTA O-RING DE 8"
- 13- VALVULA DE JOHNSON Y EXPULSION DE AIRE DE 1 1/2" CON VALVULA ESTERICA DE 1"
- 14- VALVULA DE INYECCION PARA PRIMERA DE BRONCE 1" Y 1/2"
- 15- TOMA DE AGUA PARA PRESURIZACION DE FICD Y 1 1/2" CON VALVULA DE CLOS. POSICION DE 1"
- 16- TUBO DE ACERO DE 8" Y 1/2" CON BRIDAS SOLDADAS
- 17- REDUCCION DE 8" Y 1/2" DE ACERO BRIDAS SOLDADAS
- 18- VALVULA DE COMPRESION DE 1" Y 1/2" INYECTORA
- 19- VALVULA ALIVIANTE DE PRESION BRINDA DE 1" Y 1/2" CON DESCARGA VERTICAL ATRAZAS DE UN CORTE DE REPARACION DE PVC DE 3"
- 20- APORTE DE SALIDA DE ALIVIO DE PRESION DE PVC 3" PARA DESCARGA DEL 8"-PES
- 21- TUBO EXPANSION DE PVC DE 8"
- 22- BRIDA ROSCADA CON NIPLE DE 1"

P L A N T A

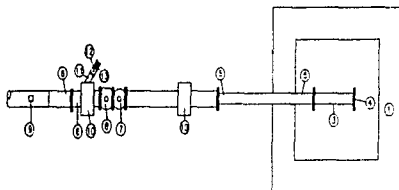
FIG. 1.10 FONTANERIA DE DESCARGA Y PARA
ALIVIO DE PRESIONES DEL POZO BENITO JUAREZ 6



- 1- BOMBA VERTICAL WATTS HASSA JOHNSTON CON MOTOR DE 100
- 2- JANA BRONCE DE 8"
- 3- MANÓMETRO CON CAPACIDAD ENTRE 0 Y 21 kg/cm² CON CON
DE 1/2"
- 4- VALVULA CHECK BRONCE DE 8"
- 5- VALVULA DE CIERRE DE 8"
- 6- MEDIDOR DE GASTO DE ENTRAMOS LUSOS
- 7- CONEXION TEE DE ACERO 1 1/2" CON BRIDAS SOLDADAS
- 8- BASE DE CONCRETO PARA BOMBA
- 9- BASE DE CONCRETO PARA ABRACAZERA
- 10- ABRACAZERA
- 11- JUNA DE SUELO
- 12- JUNA GLOBAL DE 8"
- 13- VALVULA DE ADMISION Y EXPULSION DE AIRE DE 1 1/2" CON
VALVULA EXTERNA DE 1"
- 14- VALVULA DE ASERCIÓN PARA PILOMETRIA DE BRONCE 1 1/2"
- 15- TAP DE AGUA PARA PRELUBRICACION DE TUBO 1/2" # 22
- 16- VALVULA DE GLOBO ROSCADA DE 1"
- 18- TUBO DE ACERO DE 8" CON BRIDAS SOLDADAS
- 21- TUBO ENROSCADA DE 1/2" # 21

P E R F I L

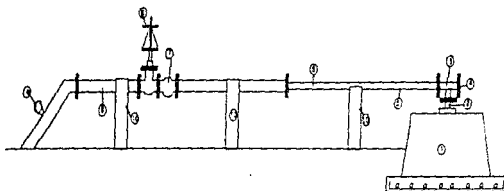
FIG. 1.11 FONTANERIA DE DESCARGA DEL POZO BENITO JUAREZ 6



- 1- BASE DE CONCRETO PARA DESCARGA DE BOMBA SUMERGIBLE
- 3- TEE DE FIERRO FUNDIDO DE 8" X 8"
- 4- TAPA CIEGA DE FIERRO FUNDIDO DE 10"
- 5- TUBERIA DE ACERO DE 6" CON BRIDAS SOLDADAS
- 6- VALVULA DE ACERO DE 10" CON BRIDAS SOLDADAS
- 7- VALVULA OREGON BRONCE DE 10"
- 8- VALVULA DE COMPUERTA BRONCE DE 10"
- 9- VALVULA DE INSERCIÓN PARA PILOMETRIA DE BRONCE Y 1"
- 10- BASE DE CONCRETO PARA LA FONTANERIA DE DESCARGA
- 11- TUBERIA DE ACERO DE 4" CON BRIDA SOLDADA
- 12- VALVULA DE COMPUERTA BRONCE DE 4"
- 13- VALVULA ALMADOPA DE PRESION BRIDA DE 4"

P L A N T A

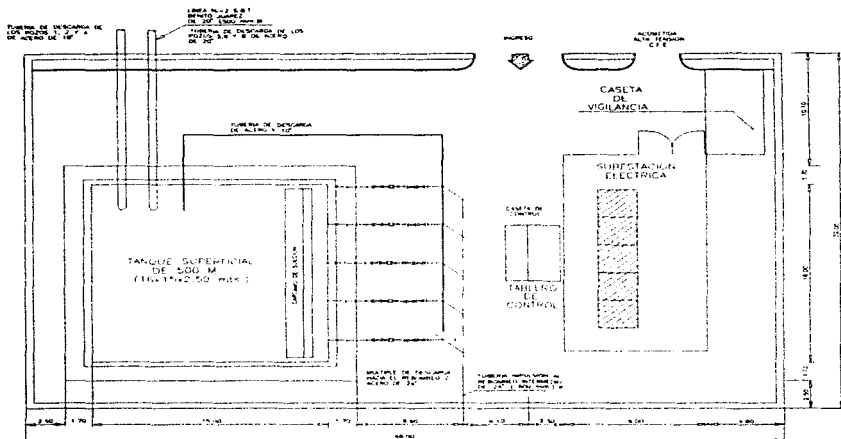
FIG. 1.12 FONTANERIA DE DESCARGA Y PARA
ALIVIO DE PRESIONES DEL POZO BENITO JUAREZ 8



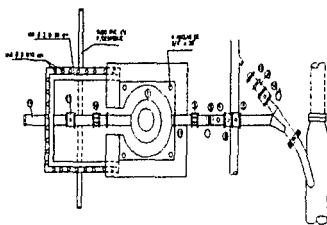
- 1- BASE DE CONCRETO PARA DESCARGA DE BOMBA SACROBLE
- 2- DESCARGA DE BOMBA SOMETIBLE MAPCA #381 CON MOTOR DE 125
- 3- TEE DE FIERRO FUNDIDO DE 8" X 8"
- 4- TAPA CIEGA DE FIERRO FUNDIDO DE 8"
- 5- TUBERIA DE ACERO DE 1 1/2" CON BRIDAS SOLDADAS
- 6- TUBERIA DE ACERO DE 1 1/2" CON BRIDAS SOLDADAS
- 7- VALVULA CHECK BRIDADA DE 1 1/2"
- 8- VALVULA DE COMPRESION BRIDADA DE 1 1/2"
- 9- VALVULA DE INSERCIÓN PARA PITOMETRA DE BRONCE Y 1 1/2"
- 10- BASE DE CONCRETO PARA LA FONTANERA DE DESCARGA

P E R F I L

FIG. 1.13 FONTANERIA DE DESCARGA DEL POZO BENITO JUAREZ 8



PLANTA GENERAL
 FIG. 1.14 PLANTA GENERAL DEL REBOMBEO BENITO JUAREZ 1

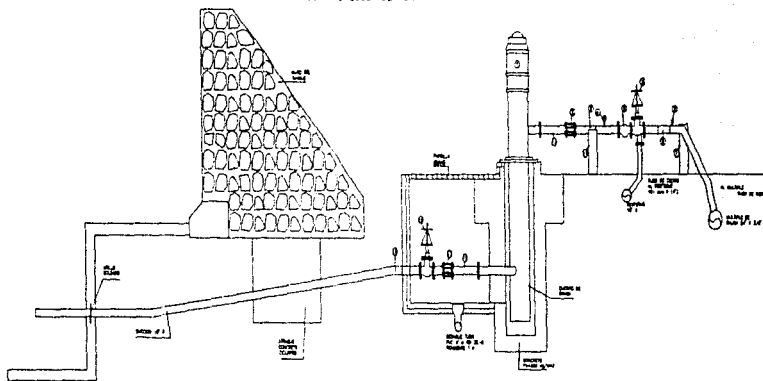


1. BASE DELA MACHINERIA DEL MOTOR DEL P.
2. MACHINERIA DEL MOTOR DEL MOTOR DEL P.
3. VALVULA DE ALIVIO DE PRESION DEL MOTOR DEL P.
4. VALVULA DE ALIVIO DE PRESION DEL MOTOR DEL P.
5. VALVULA DE ALIVIO DE PRESION DEL MOTOR DEL P.
6. VALVULA DE ALIVIO DE PRESION DEL MOTOR DEL P.
7. VALVULA DE ALIVIO DE PRESION DEL MOTOR DEL P.
8. VALVULA DE ALIVIO DE PRESION DEL MOTOR DEL P.
9. VALVULA DE ALIVIO DE PRESION DEL MOTOR DEL P.
10. VALVULA DE ALIVIO DE PRESION DEL MOTOR DEL P.
11. VALVULA DE ALIVIO DE PRESION DEL MOTOR DEL P.
12. VALVULA DE ALIVIO DE PRESION DEL MOTOR DEL P.
13. VALVULA DE ALIVIO DE PRESION DEL MOTOR DEL P.
14. VALVULA DE ALIVIO DE PRESION DEL MOTOR DEL P.
15. VALVULA DE ALIVIO DE PRESION DEL MOTOR DEL P.
16. VALVULA DE ALIVIO DE PRESION DEL MOTOR DEL P.
17. VALVULA DE ALIVIO DE PRESION DEL MOTOR DEL P.

FIG. 1.15

FONTANERIA TIPO DE DESCARGA Y ALIVIO DE PRESIONES
 PARA EL REBOMBEO BENITO JUAREZ 1 (BASE 9) PLANTA

- 1- BOMBA VERTICAL NASSA JOHNSTON CON MOTOR DE 230 H.P.
- 2- PREPARACION P/MANOMETRO CON CONEXION DE 1/2" #
- 3- JUNTA DRESSER DE 8" #
- 4- VALVULA DE A.E.A. 1" # C/VALVULA ESFERICA DE 1" # PARA BOMBEO 1 Y 3, PARA LA BOMBA 2 VALVULA DE A.E.A. DE 1/2" # C/VALVULA ESFERICA DE 1/2" #
- 5- VALVULA DE CUPIERTA BRIDADA DE 8" #
- 6- ABRAZADERA
- 7- ATRAQUE DE CONCRETO PARA CONEXION YEE
- 8- VALVULA CHECK BRIDADA DE 8" #
- 9- CONEXION YEE DE 8" # BRIDADAS SOLDADAS
- 10- BASE DE CONCRETO PARA ABRAZADERA
- 11- TUBO DE ACERO DE 10" # C/BRIDAS SOLDADAS
- 12- VALVULA DE CUPIERTA BRIDADA DE 10" #
- 13- JUNTA DRESSER DE 10" #



P E R F I L

FIG. 1.16 FONTANERIA TIPO DE DESCARGA Y ALIVIO DE PRESION PARA EL REBOMBEO BENITO JUAREZ 1 (BASE 9)

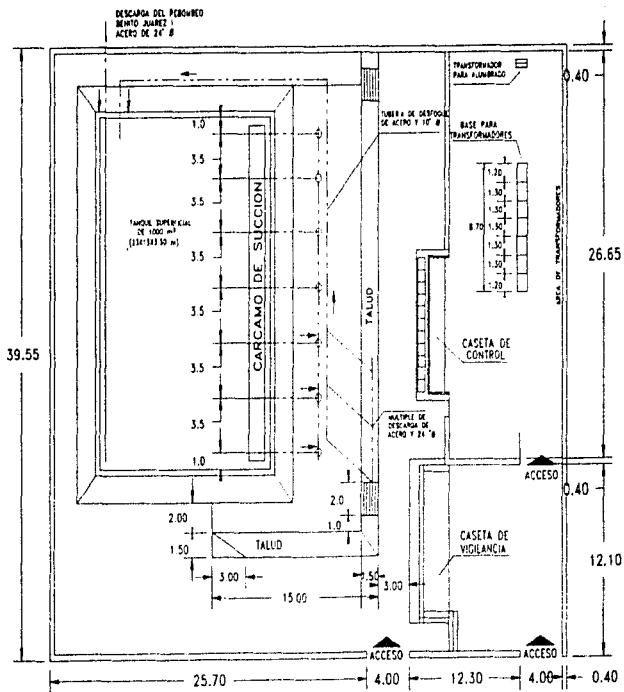


FIG. 1.17 PLANTA GENERAL DEL REBOMBO BENITO JUAREZ 2

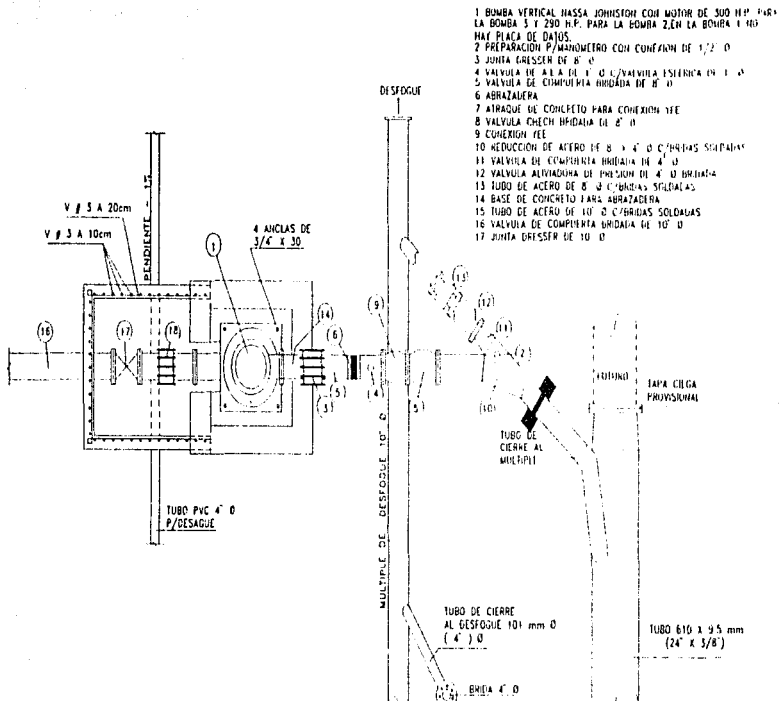
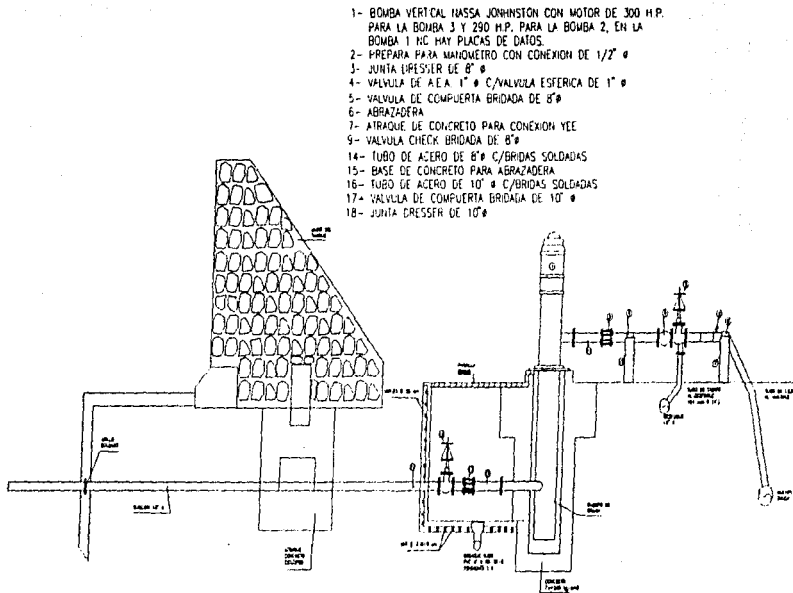


FIG. 1.18 FONTANERIA TIPO DE DESCARGA Y ALIVIO PARA EL REBOMBEO
 BENITO JUAREZ 1 (BASE 10) PLANTA



P E R F I L

FIG. 1.19 FONTANERIA TIPO DE DESCARGA Y ALIVIO DE PRESION PARA EL REBOMBEO BENITO JUAREZ 2 (BASE 1-

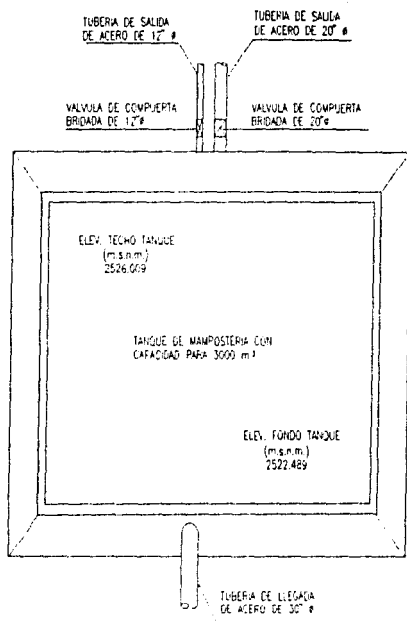


FIG. 1.20 FONTANERIA DE LLEGADA Y SALIDA DEL TANQUE 3000 CON CAPACIDAD DE 3000 m³

2.- MODELO MATEMATICO

2.1 OBJETIVO

Mostrar el modelo utilizado para el estudio del Sistema Benito Juárez ante condiciones a flujo establecido y funcionamiento transitorio por corte de bombeo. Como está estructurado el programa "POCOS88.EXE", y la forma en que se arman los archivos que permiten utilizar éste.

Para comenzar se mencionan algunas definiciones que ayuden a entender mejor el fenómeno que se estudiará.

2.2 CONCEPTOS FUNDAMENTALES

2.2.1 Flujo unidimensional

Un flujo es unidimensional cuando las características hidráulicas del mismo tales como la presión p , la velocidad V , y el gasto Q , son funciones del tiempo y varían respecto al mismo.

En realidad un flujo no es unidimensional del todo debido al efecto de la viscosidad que en un conducto da origen a una velocidad en las paredes del mismo igual a cero y en otros puntos es diferente de cero. Se puede considerar unidimensional al aceptar los valores medios de las características hidráulicas en una determinada sección representativa del mismo.

2.2.2. Flujo permanente

Flujo permanente es aquel en el que las características hidráulicas en una determinada sección del conducto permanecen constantes en cualquier instante y no varían con el tiempo.

$$\frac{\delta}{\delta t} (p, V, Q) = 0$$

2.2.3 Flujo no permanente

Flujo no permanente es aquel en el que las características hidráulicas en una determinada sección de un conducto varían de un instante a otro; puede representarse así:

$$\frac{\delta}{\delta t} (P, V, Q) = 0$$

2.2.4 Flujo uniforme

El flujo en un conducto es uniforme si la magnitud de la velocidad media en la dirección general del movimiento no varía de una sección a otra, así:

$$\frac{\delta V}{\delta x} = 0$$

2.2.5 Flujo no uniforme

El flujo en un conducto es no uniforme si la magnitud de la velocidad media en la dirección general del movimiento varían de una sección a otra.

$$\frac{\delta V}{\delta x} \neq 0$$

2.2.6 Flujo incompresible y compresible

Un flujo se considera incompresible, si al pasar de una sección a otra de un conducto los cambios en la densidad del agua son despreciables.

$$\delta p = 0$$

Un flujo es compresible, si al pasar de una sección a otra de un conducto los cambios en la densidad del agua no son despreciables.

$$\delta p \neq 0$$

2.2.7 Flujo transitorio

Se puede definir como el flujo no permanente intermedio que tiene lugar entre el permanente inicial y final de un conducto. Un ejemplo particularmente importante de este tipo de flujo es el fenómeno denominado como golpe de ariete.

2.2.8 Ecuaciones del golpe de ariete

El Golpe de Ariete puede ser simulado matemáticamente mediante un sistema de ecuaciones simultáneas, estas ecuaciones son la ecuación dinámica y la ecuación de continuidad; para poder establecerlas es necesario marcar algunas condiciones:

- 1.- Se considera que no hay fricción
- 2.- Deben tomarse en cuenta las deformaciones sufridas por la tubería y por el fluido contenido dentro de ella, ambas dentro del límite elástico.

3.- Existe una transformación de energía cinética a energía de presión, delimitada por el frente de onda.

4.- Las tuberías son de pared delgada

2.2.8.1 Ecuación Dinámica

Considerese un tramo de tubería de longitud δx , donde uno de sus extremos es el frente de onda de presión, el área original de la sección de la tubería es "A" y después de un tiempo δt se deforma y vale ahora "A + dA"; el peso específico γ es el de el fluido ya deformado por el exceso de presión debido al golpe de ariete, y el peso del tramo de tubo es dW . (ver figura 2.1).

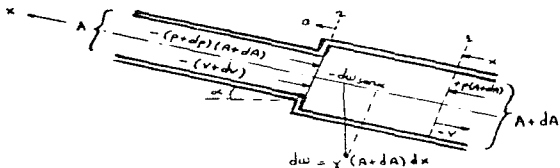


Fig. 2.1 Modelo de la ecuación dinámica

La ley de Newton $F = m \cdot a$, indica que mientras esté aplicada una fuerza a una masa "m" existe una aceleración "a" que desaparece simultáneamente con la fuerza. Cuanto mayor sea el tiempo de existencia de la aceleración tanto mayor será la variación de la velocidad, por lo que será interesante definir una magnitud en la que intervenga, junto con la fuerza, su tiempo de actuación, que es el de existencia de la aceleración. Dicha

magnitud es el impulso de la fuerza, que se define como un vector de igual dirección y sentido de la fuerza y cuyo módulo es el producto de la fuerza por el tiempo durante el cual actúa.

La masa del cuerpo móvil desempeña un papel primordial en los efectos del movimiento. También la velocidad desempeña un papel importante, por lo que se define a la "cantidad de movimiento" de un cuerpo como un vector de igual dirección y sentido que la velocidad y de módulo igual al producto de la masa por el módulo de la velocidad. Si la fuerza "F" actúa durante un tiempo " Δt ", originando una aceleración "a", la velocidad habrá variado en $\Delta v = a \Delta t$, lo que representa una variación de cantidad de movimiento $m\Delta v = ma\Delta t = F\Delta t$, en virtud de la ley de Newton. Luego, el impulso de una fuerza es igual a la variación de cantidad de movimiento que origina.

Si en lugar de un punto de masa "m" se considera un sistema de puntos al cual no se aplican fuerzas desde el exterior, el impulso exterior total será nulo y no habrá variación de la cantidad de movimiento total del sistema, es decir, cuando sobre un sistema no actúan fuerzas exteriores, la cantidad de movimiento total del sistema se conserva. Así, por ejemplo, en el disparo de un arma de fuego no intervienen más que fuerzas interiores al sistema por lo que la cantidad de movimiento se ha de conservar. Antes del disparo era nula, y después del disparo, como el proyectil tiene una cantidad de movimiento "mv" hacia adelante, el arma deberá llevar una cantidad de movimiento "MV" hacia atrás de igual valor, o sea que retrocede positivamente, del proyectil, y M, la masa del arma. De igual manera se explica el aumento de velocidad de un cohete en vuelo horizontal; la expulsión de un chorro va hacia atrás. Como no intervienen fuerzas exteriores al sistema cohete-chorro el cohete debe incrementar su velocidad para compensar esta disminución de la cantidad de movimiento del sistema.

Entonces, si se aplica la ley de impulso entre las secciones 1 y 2 de la figura 2.1, en la dirección del eje x, se tendrá lo siguiente:

$$[-(p+dp) + p - \gamma dx \operatorname{sen} \alpha](A+dA)dt = \frac{\gamma}{g} (A+dA)dx [-(V+dV) + V]$$

que puede simplificarse a:

$$\frac{dh}{dx} = \frac{1}{g} \frac{dv}{dt} - \operatorname{sen} \alpha$$

Las variables p y V son funciones rigurosas de x y t, pero un razonamiento basado en la teoría ya explicada permite ver que ambas son función, en forma significativa, únicamente de una variable, lo que permite escribir la ecuación anterior en derivadas parciales.

Respecto a la presión, si se llama x_p a la variable que señala el frente de onda, por definición de derivada total, se tiene que:

$$\frac{dp}{dx_p} = \frac{\delta p}{\delta x_p} + \frac{\delta p}{\delta t} \frac{dt}{dx_p}$$

donde $dt/dx_p = 1/a \approx 0.001$, y $\delta p/\delta t$ es la variación de la presión respecto al tiempo para una sección dada (x fija). Dicha variación se presenta sólo cada vez que el frente de onda pasa por la sección; entonces su valor no es muy significativo, y menos aún al estar dividido entre la celeridad. Por otro lado, $\delta p/\delta x_p$ es la variación de un lado y otro del frente de onda; este valor está afectado por la misma celeridad de la onda cuyo valor es del orden de 1000 m/s. Es decir, este primer término del miembro derecho de la ecuación resulta preponderante, por lo que es posible despreciar el segundo término y escribir:

$$\frac{dp}{dx} = \frac{\delta p}{\delta x}$$

Por otra parte, si x_v indica la posición de una partícula del fluido en movimiento dentro de la tubería, puede escribirse:

$$\frac{dv}{dt} = \frac{\delta v}{\delta t} + \frac{\delta v}{\delta x_v} \frac{\delta x_v}{\delta t}$$

donde el término dx_v/dt representa la velocidad del fluido en la tubería de presión que no sobrepasa los 7 m/s. Por lo que respecta a $\delta v/\delta x_v$, su valor es pequeño debido a que la poca compresibilidad del fluido garantiza que entre dos secciones contiguas, en cualquier instante su velocidad es prácticamente la misma. Esto quiere decir que el segundo término del miembro de la derecha es despreciable en relación con el primero que, como en el caso anterior, depende de la celeridad de la onda de presión, cuya magnitud es comparativamente mucho mayor, lo que permite simplificar la ecuación anterior a:

$$\frac{dv}{dt} = \frac{\delta v}{\delta t}$$

De acuerdo con lo anterior, la ecuación dinámica del golpe de ariete puede escribirse en derivadas parciales de la forma siguiente:

$$\frac{\delta h}{\delta x} = \frac{1}{g} \frac{\delta v}{\delta t} - \text{sena}$$

2.2.8.2 Ecuación de Continuidad

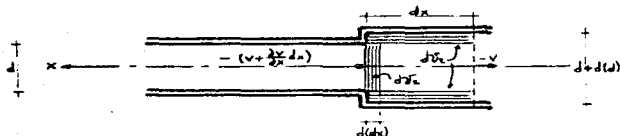


Fig. 2.2 Modelo de la Ecuación de Continuidad

En la figura 2.2 se representa un tramo de tubería de largo dx , pero ahora interesa conocer, en dicho tramo, el comportamiento del volumen del líquido que está sometido a un cambio dp en la presión, producido por el golpe de ariete durante un tiempo dt . El significado de los elementos diferenciales es:

- $d\delta_1$ es el elemento diferencial de volumen del fluido que se pierde por la deformación provocada por el incremento de presión dp en el tiempo dt .
- $d\delta_2$ es el elemento diferencial de volumen de la tubería que aumenta por efecto de la deformación producida por dp en el tiempo dt .

Por otro lado, debido a la compresibilidad del fluido y a la deformación de la tubería, el volumen que entra en el tramo deformado de ancho dx en el tiempo dt es mayor que el que sale de él en dicho tiempo. dS_3 es el volúmen que permanece en el tramo de ancho dx durante el tiempo dt , debido a las deformaciones del líquido y de la tubería, así : $dS_3 = dS_1 + dS_2$, estos elementos tienen según la figura 2.2 y lo dicho anteriormente los siguientes valores:

$$dS_1 = d(dx) - A$$

$$dS_2 = \frac{\pi}{4} [(d + d(d)^2 - d^2)] dx = \frac{\pi d}{2} - d(d) dx$$

$$dS_3 = [- (V + \frac{\delta V}{\delta x} dx) + V] (\lambda + d\lambda) dt = - \frac{\delta V}{\delta t} dx dt \lambda$$

Se presenta ahora el problema de determinar los valores de las deformaciones del fluido $d(dx)$ y de la tubería $d(d)$.

Si se llama e al módulo de elasticidad del líquido, y se acepta que su deformación se debe exclusivamente al exceso de presión, cuyo valor es:

$$dp = \frac{\delta p}{\delta t} dt$$

producido por el fenómeno en estudio; la ley de Hooke tiene la forma: $\frac{\delta p}{\delta t} dt = e \frac{d(dx)}{dx}$ por lo que $d(dx) = \frac{1}{e} \frac{\delta p}{\delta t} dt dx$ sustituyendo esta expresión en dS_1 se tiene:

$$dS_1 = \frac{A}{e} \frac{\delta p}{\delta t} dt dx$$

Por otro lado, haciendo referencia a la tubería, se tiene que el esfuerzo de trabajo del material es $f_s = \frac{pd}{2\delta}$, y el esfuerzo tomado por el incremento de presión dp es $df_s = \frac{d}{2\delta} dp = \frac{d}{2\delta} \frac{\delta p}{\delta t} dt$

Según la ley de Hooke, el exceso de esfuerzo que provocó la deformación $d(d)$, exclusivamente a consecuencia del golpe de ariete, tiene el valor $d_f = E \frac{d(d)}{d}$ donde E es el módulo de elasticidad del material de la tubería. Si se igualan las dos últimas expresiones y se despeja la deformación $d(d)$ debida al incremento de presión dp se tiene:

$$d(d) = \frac{d^2}{2\delta E} \frac{\delta p}{\delta t} dt$$

El valor anterior sustituido en dE_2 da como resultado:

$$dE_2 = \frac{\pi d^2}{4} \frac{d}{\delta E} \frac{\delta p}{\delta t} dt dx = \frac{Ad}{\delta E} \frac{\delta p}{\delta t} dt dx$$

Con estos valores (dE_1 , dE_2 y dE_3) y sustituyendo en $dE_3 = dE_1 + dE_2$ tendré:

$$- \frac{\delta V}{\delta x} dx dt \lambda = \frac{\lambda}{c} \frac{\delta p}{\delta t} dt dx + \frac{Ad}{\delta E} \frac{\delta p}{\delta t} dt dx$$

$$\text{que equivale a:} \quad - \frac{\delta V}{\delta x} = \left(\frac{1}{c} + \frac{d}{\delta E} \right) \frac{\delta p}{\delta t}$$

La celeridad de una onda de presión en un tubo con un fluido en su interior se define como:

$$a = \sqrt{\frac{g/\gamma}{\frac{1}{c} + \frac{d}{E\delta}}}$$

y con este concepto se puede escribir la ecuación anterior como sigue:

$$- \frac{\delta V}{\delta x} = \frac{g}{\gamma a^2} \frac{\delta p}{\delta t} = \frac{g}{a^2} \frac{\delta h}{\delta t}$$

La dirección del eje axial X exige que la velocidad del agua sea negativa cuando va del vaso hacia la válvula, sin embargo por simplicidad se considera positiva, lo que implica un cambio de signo en $\delta V/\delta x$ en la expresión anterior:

$$\frac{\delta V}{\delta x} = -\frac{g}{a^2} \frac{\delta h}{\delta t}$$

Esta es la ecuación de continuidad del golpe de ariete.

2.2.9 Cavitación

La cavitación es un fenómeno que se produce siempre que la presión absoluta en algún punto o zona de la corriente de un líquido desciende por debajo de un cierto valor mínimo admisible conocido como presión de vaporización del líquido P_v para la temperatura local del mismo. Una vez alcanzada esta presión el líquido entra en ebullición y se origina en su seno cavidades o burbujas de vapor, que son transportadas por la corriente hasta puntos donde la presión tiene un valor suficiente para que se produzca la condensación de las cavidades, esta tiene lugar en forma violenta y puede ocasionar graves daños en los componentes de un sistema hidráulico.

2.2.10 Niveles de bombeo

2.2.10.1 Nivel estático:

Es el nivel del agua en el pozo cuando no se está bombeando y es la distancia vertical medida a partir del brocal del pozo, hasta el espejo del agua.

2.2.10.2 Nivel dinámico:

El nivel estático del agua, en cualquier pozo se abate durante el proceso de bombeo hasta que se establece el equilibrio hidráulico entre la cantidad del agua que se extrae y la capacidad de producción del pozo. En este momento queda determinado el nivel dinámico del pozo y se mide a partir del brocal del pozo hasta el espejo del agua. (ver figura 2.3)

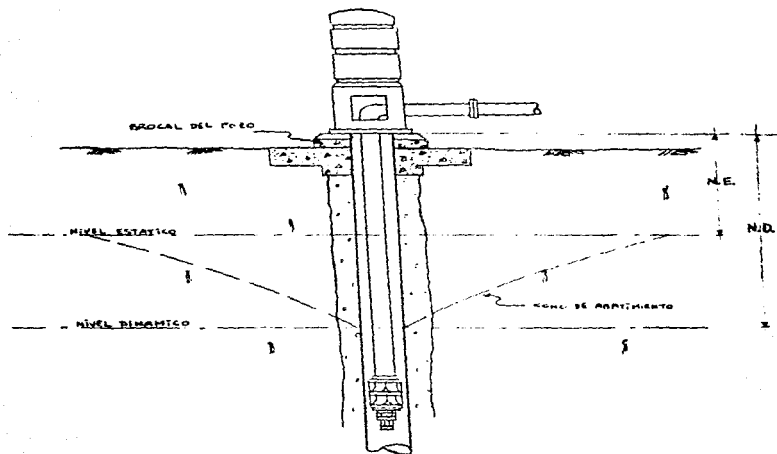


Fig. 2.3 Niveles de Bombeo

2.2.11 Transitorio hidráulico en una línea de conducción

El transitorio hidráulico rápido o golpe de ariete es definido como los procesos de variación rápida de la velocidad y presión que acompañan el cambio repentino de una condición de operación a otra en la línea de conducción. Estos fenómenos se producen por diversas causas:

- a) Cierre o apertura de una válvula al final o en puntos intermedios de una tubería.
- b) El arranque de las bombas.
- c) El paro repentino de las bombas.

Según sea el estado de la línea de conducción, los transitorios pueden presentar los siguientes problemas:

- 1.- Presiones muy altas que pueden llegar a reventar los tubos, sus juntas, o los accesorios en la línea.
- 2.- Presiones muy bajas (presiones negativas o vacíos). Una presión negativa en la tubería significa una presión menor que la atmosférica; el límite físicamente posible es de -10.0 metros de columna de agua (-1.0 Kg/cm^2). En la parte exterior de la tubería siempre está presente la presión atmosférica, igual que un empuje del terreno en caso de que la tubería esté enterrada; y si la rigidez del tubo no es suficiente para resistir la mayor presión externa éste podría llegar a colapsarse. Las presiones negativas no son lo más deseables pues estas pueden propiciar la introducción de aire en la conducción.

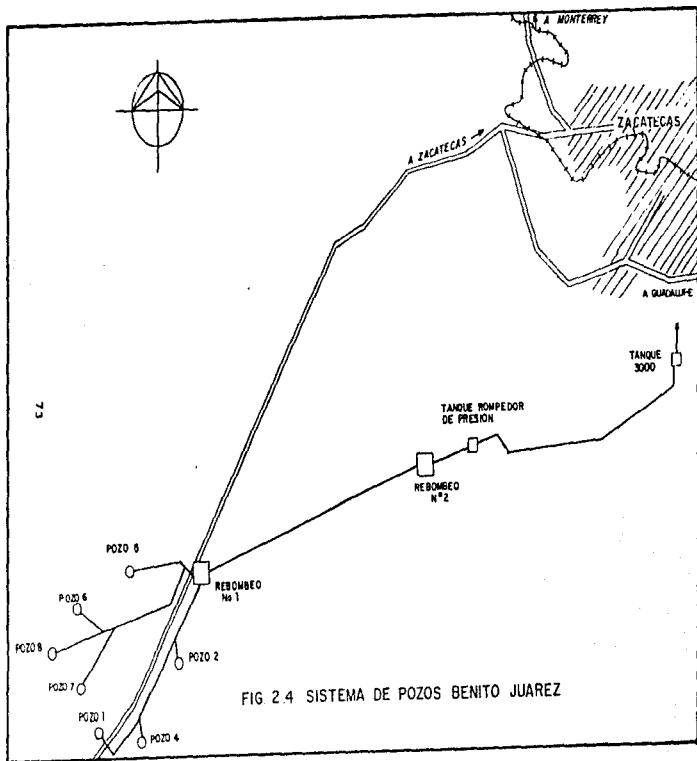
La magnitud de los transitorios depende de los siguientes factores:

- 1.- La rapidez del cierre (en caso de válvulas) o paro y arranque (en caso de bombeo).
- 2.- La velocidad del flujo en la conducción antes del transitorio. A mayor velocidad mayores sobrepresiones y depresiones.
- 3.- La rigidez de los tubos. Los transitorios son mas bruscos y de mayor magnitud en tubos de acero y asbesto cemento que en tubos de PVC y polietileno donde es de menor magnitud.
- 4.- La longitud de la conducción. Mientras más larga es una tubería más significativas son las sobrepresiones y depresiones debidas al transitorio. En tuberías cortas los transitorios son insignificantes.
- 5.- La topografía, en particular, en conducciones que se encuentran sobre topografía accidentada se producen presiones negativas o vacíos en los puntos altos.

El cierre (o apertura) de una válvula en tuberías por gravedad puede provocar un transitorio importante únicamente si el cierre es muy rápido. En sistemas rurales las válvulas, por lo general, son accionadas manualmente por lo cual no pueden cerrarse muy rápidamente, así que pocas veces el transitorio puede resultar importante.

El arranque de las bombas con válvulas abiertas puede generar transitorios no deseables, incluso peligrosos, como en los siguientes casos:

- 1.- En el arranque contra una tubería vacía (llenado de la línea) parcialmente cerrada en su final o en puntos intermedios. Durante el llenado las bombas operarían con una carga baja, y con gasto y velocidad de diseño. La detención brusca de la columna del agua por una válvula parcialmente cerrada puede generar sobrepresiones importantes.
- 2.- Para algunas bombas la carga con gasto cero puede ser mucho mayor de la carga de diseño. En los primeros instantes del arranque (contra una tubería llena con válvulas de no retorno en las bombas) se generaría la carga con gasto cero y una sobrepresión que se transmite por la tubería.
- 3.- Las bombas operadas por motores eléctricos se detienen bruscamente cuando se interrumpe el suministro de energía eléctrica. Si la conducción tiene una longitud considerable, el transitorio que se genera puede ser importante y debe de analizarse. Este es el caso del sistema que se va a analizar y del cual se hablará a continuación.



2.3 CONDICIONES DE OPERACION DEL SISTEMA BENITO JUAREZ

El Sistema Benito Juárez es un acueducto para el abastecimiento de agua cuya fuente de abastecimiento son acuíferos.

La captación del agua en los acuíferos se realiza mediante varios pozos convenientemente distribuidos (ver fig 2.4) y en los cuales se instala una "bomba centrífuga de pozo" que es accionada por un motor eléctrico.

Este tipo de instalaciones de bombeo debe protegerse adecuadamente contra el transitorio hidráulico provocado por la falla de energía eléctrica.

Para estudiar el funcionamiento hidráulico, en condiciones de flujo establecido y no permanente del Sistema Benito Juárez fué empleada una metodología que permitiera determinar las condiciones de operación asociadas a una red de pozos bajo estas condiciones. Posteriormente también se establecen las condiciones de frontera encontradas en el mismo.

El trabajo en el cual se basa el programa "POZOS88.EXE", aplicado al análisis del Sistema Benito Juárez es el "Estudio Teórico-Experimental del Transitorio Hidráulico en Instalaciones de Bombeo en Pozos para Abastecimiento de Agua" que fué elaborado para la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos en Octubre de 1987 por el Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, departamento de Hidromecánica; el programa de cómputo es la versión 2.0, México D.F., Junio 1988.

2.4 METODOLOGIA PARA DETERMINAR LAS CONDICIONES DE OPERACION EN FLUJO ESTABLECIDO

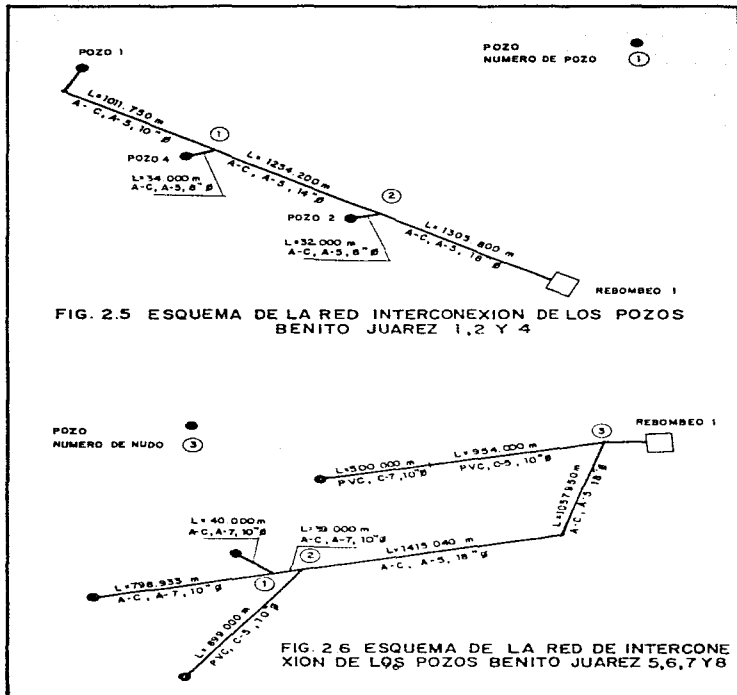
Para determinar las condiciones de operación en flujo establecido del sistema es necesario obtener la siguiente información:

1.-Obtención de la curva carga-gasto del pozo

La relación entre la presión en la descarga del pozo y el gasto extraído del mismo, puede ser hallado con base en el conocimiento de la curva característica H-Q, del impulsor empleado y de la curva de la variación del nivel dinámico en función del gasto de extracción (curva de abatimiento del nivel del agua en el pozo en función del gasto extraído). Para tener una relación entre la presión en la descarga del pozo y el gasto suministrado por éste debe restarse a la presión total de los impulsores el nivel dinámico en el pozo para el gasto considerado, en consecuencia, la curva carga-gasto del pozo puede caracterizarse mediante la siguiente expresión

$$H = a_{10} + a_{11}Q - a_{12}Q^2 \dots (2.1)$$

donde H es la presión en la descarga del pozo (m); Q es el gasto suministrado por el pozo (m^3/s); a_{10}, a_{11}, a_{12} son los coeficientes de ajuste de la curva carga-gasto del pozo.



2.-Obtencion del sistema de ecuaciones para determinar las condiciones de operación en flujo establecido en la red de pozos

Observando la red de pozos del acueducto Benito Juárez (ver figuras 2.5 y 2.6) se realizará la aplicación del método de análisis. En esencia, dicho método está basado en la aplicación de las ecuaciones de la energía y de continuidad en los diversos tramos de tubería y nudos que constituyen la red de pozos. Viendo la figura 2.5 se presenta un esquema de la red de pozos a utilizar para la aplicación de la metodología propuesta, así se tiene:



ESQUEMA DE LA RED DE INTERCONEXION DE LOS
POZOS BENITO JUAREZ 1, 4 Y 2

Viendo la figura arriba indicada y con la intención de llevar un orden al ir planteando las ecuaciones del ejemplo se renumeró en el esquema a los pozos, así, con base en la ecuación de la energía se obtienen las relaciones siguientes:

$$H_1 - H_A = K_1 Q_1^2 \dots (2.2)$$

$$H_2 - H_A = K_2 Q_2^2 \dots (2.3)$$

$$H_3 - H_B = K_3 Q_3^2 \dots (2.4)$$

$$H_A - H_B = K_4 Q_A^2 \dots (2.5)$$

$$H_B - H_O = K_5 Q_B^2 \dots (2.6)$$

Los valores de las constantes K_i dependen del factor de fricción de Darcy-Weisbach, y de la longitud y diámetro de la tubería del tramo correspondiente.

Aplicando la ecuación de continuidad a los nudos A y B se tiene:

$$Q_A = Q_1 + Q_2 \dots (2.7)$$

$$Q_B = Q_A + Q_3 \dots (2.8)$$

Teniendo en cuenta de las ecuaciones (2.2) a (2.4), que H_1 , H_2 y H_3 pueden escribirse mediante una relación similar a la presentada en la ecuación (2.1), el sistema de ecuaciones queda:

$$a_{10} + a_{11}Q_1 + a_{12}Q_1^2 - H_A - K_1 Q_1^2 = 0 \dots (2.9)$$

$$a_{20} + a_{21}Q_2 + a_{22}Q_2^2 - H_A - K_2 Q_2^2 = 0 \dots (2.10)$$

$$a_{30} + a_{31}Q_3 + a_{32}Q_3^2 - H_B - K_3 Q_3^2 = 0 \dots (2.11)$$

$$H_A - H_B - K_4 Q_A^2 = 0 \dots (2.12)$$

$$H_B - H_O - K_5 Q_B^2 = 0 \dots (2.13)$$

$$Q_1 + Q_2 - Q_A = 0 \dots (2.14)$$

$$Q_3 + Q_A - Q_B = 0 \dots (2.15)$$

Este es un sistema con el mismo número de ecuaciones y de incógnitas y mediante su solución queda definida la operación en flujo establecido de la red de pozos.

El sistema de ecuaciones obtenido es un sistema de ecuaciones algebraicas no lineales; para resolverlo se planteará el modelo numérico de Newton-Raphson.

Antes, para encontrar los polinomio que ajustan la curva carga-gasto en la descarga de los pozos y que tiene la forma:

$$H' = a_{10} + a_{11}Q + a_{12}Q^2$$

para ello se elaboró un programa llamado "MATRIZ" el cual se explica a continuación.

2.1 Programa "MATRIZ"

El programa "MATRIZ" permite obtener las expresiones que servirán para calcular la relación que hay entre la presión en la descarga de cada pozo y el gasto extraído del mismo. Esto se realiza con base en el conocimiento de la curva H-Q de los diferentes impulsores empleados y de la curva de la variación del nivel dinámico en función del gasto de extracción de los pozos.

Para el cálculo de la curva carga de bombeo-gasto, se cuenta con la información conseguida referente a los gastos de aforo ($Q_{af}^{(i)}$) de cada uno de los pozos que componen el sistema. Para hallar el valor de la carga de bombeo (H) se debe contar con lo siguiente:

P = profundidad del nivel dinámico con respecto al brocal (aforo del pozo).

z = distancia entre el brocal del pozo y el eje de la descarga.

ESTA TESIS HA DEBE
ESTAR EN LA BIBLIOTECA
VALDIZ

CDT = carga dinámica total contenida en la curva característica de cada uno de los pozos.

de esta forma, el valor de H será:

$$H = CDT - (P + z)$$

Como se mencionó, la curva carga de bombeo-gasto tiene una ecuación de la forma: $H' = a_{10} + a_{11}Q + a_{12}Q^2$

Separando dicha curva en dos partes se obtienen valores

$$\{(H_{11}, Q_{11}), (H_{12}, Q_{12}), \dots, (H_{1n}, Q_{1n})\}$$
$$\{(H_{21}, Q_{21}), (H_{22}, Q_{22}), \dots, (H_{2n}, Q_{2n})\}$$

Estas parejas de valores definen a los dos polinomios que permitirán encontrar los coeficientes de ajuste de la curva carga de bombeo-gasto:

$$\{a_{1'0}, a_{1'1}, a_{1'2}\} + \{a_{2'0}, a_{2'1}, a_{2'2}\} = a_0, a_1, a_2$$

Esta hoja de cálculo fué diseñada para resolver la ecuación de la forma $H' = a_0 + a_1Q + a_2Q^2$, también el programa, a través de una regresión resuelve la ecuación de la forma $H = a + bH'$. este análisis de correlación múltiple da la confianza de que los resultados obtenidos son buenos.

El sistema a resolver por la hoja de cálculo es de la forma

$$\begin{bmatrix} n & \Sigma x & \Sigma x^2 \\ \Sigma x & \Sigma x^2 & \Sigma x^3 \\ \Sigma x^2 & \Sigma x^3 & \Sigma x^4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Sigma y \\ \Sigma yx \\ \Sigma yx^2 \end{bmatrix}$$

donde n = parejas de datos H,Q (Carga de bombeo, Gasto de aforo)

x = Q (Gasto de aforo, en m³/s)

y = H (Carga de bombeo, en m)

a_0, a_1, a_2 = valores de las incógnitas a buscar

Una vez dados los valores H,Q la matriz quedará de la siguiente forma:

$$\begin{bmatrix} na_0 + \Sigma x a_1 + \Sigma x^2 a_2 & \Sigma y \\ \Sigma x a_0 + \Sigma x^2 a_1 + \Sigma x^3 a_2 & \Sigma yx \\ \Sigma x^2 a_0 + \Sigma x^3 a_1 + \Sigma x^4 a_2 & \Sigma yx^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & \Sigma y \\ & \Sigma yx \\ & \Sigma yx^2 \end{bmatrix}$$

La hoja de cálculo se divide en tres partes:

Parte uno

-Se piden parejas de valores H,Q los cuales irán calculando los parámetros n , Σx , Σx^2 , Σx^3 , Σx^4 , Σy , Σyx y Σyx^2 ; términos necesarios para el cálculo de a_0 , a_1 y a_2 .

Parte dos

-Se construye la matriz de datos de la forma

$$\begin{bmatrix} A & \Sigma y \\ & \Sigma yx \\ & \Sigma yx^2 \end{bmatrix}$$

-La forma final a la que se llegará será:

$$\left[\begin{array}{c|c} A^{-1} & \begin{array}{l} \Sigma y \\ \Sigma yx \\ \Sigma yx^2 \end{array} \end{array} \right]$$

-Realizando el producto de esta última forma obtengo el valor de las incógnitas buscadas a_0 , a_1 y a_2 . Al ser encontrados estos valores la columna $H' = a_0 + a_1Q + a_2Q^2$ de la parte uno es calculada.

Parte tres

-En esta parte se realiza la correlación entre una ecuación de la forma $H = a + bH'$, donde H y H' serán los valores a usarse en dicha correlación. El fin de la correlación es hacer $H = H'$ con el propósito de verificar que los resultados obtenidos son confiables y así poderlos aplicar.

Una vez encontradas estas incógnitas, para resolver el sistema de ecuaciones algebraicas no lineales que permiten conocer las condiciones de operación en flujo establecido de la red de pozos, considérese que se tiene un sistema de ecuaciones no lineales de la forma:

$$\begin{aligned} f_1(x_1, x_2, \dots, x_n) &= 0 \\ f_2(x_1, x_2, \dots, x_n) &= 0 \\ &\vdots \\ f_n(x_1, x_2, \dots, x_n) &= 0 \end{aligned} \quad \dots (2.16)$$

donde las incógnitas son las x_i . Según el método de Newton-Raphson, se plantea:

$$\begin{aligned} \frac{\delta f_1}{\delta x_1} \delta x_{1k} + \frac{\delta f_1}{\delta x_2} \delta x_{2k} + \dots + \frac{\delta f_1}{\delta x_n} \delta x_{nk} &= -f_1(x_k) \\ \frac{\delta f_2}{\delta x_1} \delta x_{1k} + \frac{\delta f_2}{\delta x_2} \delta x_{2k} + \dots + \frac{\delta f_2}{\delta x_n} \delta x_{nk} &= -f_2(x_k) \\ \vdots & \\ \frac{\delta f_1}{\delta x_1} \delta x_{1k} + \frac{\delta f_1}{\delta x_2} \delta x_{2k} + \dots + \frac{\delta f_1}{\delta x_n} \delta x_{nk} &= -f_1(x_k) \end{aligned}$$

... (2.17)

representado de forma matricial queda:

$$\begin{bmatrix} \Psi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta x_{1k} \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} f_{1k} \end{bmatrix} \dots (2.18)$$

donde δx_{1k} son los incrementos a los valores iniciales de las variables x_{1k-1} , mientras que las funciones $\frac{\delta f_1}{\delta x_1}$ y $-f(x_k)$ deben calcularse con los valores iniciales x_{1k-1} . El procedimiento iterativo del método de Newton-Raphson finaliza cuando los valores obtenidos de la ecuación (2.18), para los incrementos δx_{1k} resultan ser menores que la tolerancia asociada a la precisión requerida de la solución.

Aplicando la metodología anterior al sistema de ecuaciones con que se cuenta, se tiene lo siguiente:

$$f_1 = a_{10} + a_{11}Q_1 + a_{12}Q_1^2 - H_A - K_1Q_1^2$$

$$f_2 = a_{20} + a_{21}Q_2 + a_{22}Q_2^2 - H_A - K_2Q_2^2$$

$$f_3 = a_{30} + a_{31}Q_3 + a_{32}Q_3^2 - H_A - K_3Q_3^2$$

$$f_4 = H_A - H_B - K_4Q_4^2$$

$$f_5 = H_B - H_C - K_5Q_5^2$$

$$f_5 = Q_1 + Q_2 - Q_A$$

$$f_7 = Q_3 + Q_A - Q_B$$

... (2.19)

donde las incógnitas son Q_1 , Q_2 , Q_3 , Q_A , Q_B , H_A y H_B .

La valuación de $\frac{\delta f_i}{\delta x_i}$ para las funciones indicadas en (2.19) da como resultado:

$$\begin{aligned} \frac{\delta f_1}{\delta Q_1} &= a_{11} + 2a_{12}Q_2 - 2K_1Q_1; & \frac{\delta f_1}{\delta H_A} &= -1 \\ \frac{\delta f_2}{\delta Q_2} &= a_{21} + 2a_{22}Q_2 - 2K_2Q_2; & \frac{\delta f_2}{\delta H_A} &= -1 \\ \frac{\delta f_3}{\delta Q_3} &= a_{31} + 2a_{32}Q_3 - 2K_3Q_3; & \frac{\delta f_3}{\delta H_B} &= -1 \\ \frac{\delta f_4}{\delta H_A} &= 1; & \frac{\delta f_4}{\delta H_B} &= -1; & \frac{\delta f_4}{\delta Q_A} &= -2K_4Q_A \\ \frac{\delta f_5}{\delta H_B} &= 1; & \frac{\delta f_5}{\delta Q_B} &= -2K_5Q_B \\ \frac{\delta f_6}{\delta Q_1} &= \frac{\delta f_6}{\delta Q_2} = 1; & \frac{\delta f_6}{\delta Q_A} &= -1 \\ \frac{\delta f_7}{\delta Q_3} &= \frac{\delta f_7}{\delta Q_A} = 1; & \frac{\delta f_7}{\delta Q_B} &= -1 \end{aligned}$$

La matriz $[\Psi]$ de (2.18) se puede escribir como:

incognitas	δQ_1	δQ_2	δQ_3	Q_A	Q_B	H_A	H_B
1	$a_{11} + 2a_{12}Q_2$	$-2K_1Q_1$	0	0	0	-1	0
2	0	$a_{21} + 2a_{22}Q_2$	$-2K_2Q_2$	0	0	-1	0
3	0	0	$a_{31} + 2a_{32}Q_3$	$-2K_3Q_3$	0	0	-1
4	0	0	0	$-2K_4Q_A$	0	1	-1
5	0	0	0	0	$-2K_5Q_B$	0	1
6	1	1	0	-1	0	0	0
7	0	0	1	1	-1	0	0

donde: $Q_{1_{k-1}}$, $Q_{2_{k-1}}$, $Q_{3_{k-1}}$, $Q_{A_{k-1}}$ y $Q_{B_{k-1}}$ son los valores iniciales dados de estas variables.

La matriz $-[f_1]$ de la ecuación (2.18) para los valores iniciales de las incógnitas, queda:

$$\begin{bmatrix}
 a_{10} + a_{11}Q_{1,k-1} + a_{12}Q_{1,k-1}^2 - H_A - K_1Q_{1,k-1}^2 \\
 a_{20} + a_{21}Q_{2,k-1} + a_{22}Q_{2,k-1}^2 - H_A - K_2Q_{2,k-1}^2 \\
 a_{30} + a_{31}Q_{3,k-1} + a_{32}Q_{3,k-1}^2 - H_A - K_3Q_{3,k-1}^2 \\
 H_{A,k-1} - H_{B,k-1} - K_4Q_{A,k-1}^2 \\
 H_{B,k-1} - H_0 - K_5Q_{B,k-1}^2 \\
 Q_{1,k-1} + Q_{2,k-1} - Q_{A,k-1} \\
 Q_{3,k-1} + Q_{A,k-1} - Q_{B,k-1}
 \end{bmatrix}$$

Calculadas estas dos matrices para los valores iniciales de las incógnitas puede resolverse la ec. (2.18) para hallar los valores de los incrementos δx_{1k} y compararlos con la tolerancia de precisión establecida anteriormente; si todos los incrementos δx_{1k} , obtenidos cumplen con la tolerancia establecida, los valores correctos de las incógnitas son los valores actuales $x_{1,k-1}$. Si los incrementos no cumplen con la precisión fijada se deben sumar los valores de los incrementos δx_{1k} a los valores $x_{1,k-1}$ para resolver otra vez el sistema establecido en (2.18) actualizando las matrices $[\Psi]$ y $-[f_1]$ con los últimos valores obtenidos de las

incógnitas. Este proceso se repite hasta cumplir con la tolerancia fijada desde el principio.

Así, conocidas las variables Q_1 , Q_2 , Q_3 , Q_A , Q_B , H_A y H_B se puede conocer el valor de la presión en la descarga de los pozos mediante la ecuación (2.1) correspondiente a cada pozo; de esta manera se conocen las condiciones de operación en flujo establecido de la red de interconexión de los pozos Benito Juárez 1, 4 y 2. Esta metodología también es aplicada a la figura 2.6 (red de interconexión de los pozos Benito Juárez 5, 6, 7 y 8).

2.5 MODELOS MATEMATICOS DE LAS CONDICIONES DE FRONTERA APICACION DEL METODO DE LAS CARACTERISTICAS

Las ecuaciones asociadas a las condiciones de frontera correspondientes a una instalación de una red de pozos junto con el método de las características permiten establecer un procedimiento de cálculo del transitorio hidráulico para una red de pozos debido al corte de bombeo.

La base del método de las características consiste en transformar las ecuaciones diferenciales parciales dinámica y de continuidad en ecuaciones diferenciales ordinarias para posteriormente hallar la solución de las mismas mediante un esquema explícito de diferencias finitas.

2.5.1 Pozo

El comportamiento dinámico relacionado con la operación de un pozo durante el transitorio hidráulico se describe como:

- 1.- Operación transitoria normal del pozo
- 2.- Admisión del aire en el extremo del pozo
- 3.- Compresión del aire en el extremo del pozo

2.5.2 Operación transitoria normal del pozo

Se puede considerar la operación transitoria normal del pozo desde el final de la condición de operación en flujo establecido hasta el instante en el cual la cota piezométrica en la descarga del pozo sea un poco mayor que la presión atmosférica.

En esta fase se supone una variación lineal del gasto suministrado por el pozo de acuerdo a las siguientes relaciones:

$$Q = Q_o \left(1 - \frac{t}{t_c} \right) \quad \text{para } t < t_c \dots (2.20)$$

$$Q = 0 \quad \text{para } t \geq t_c \dots (2.21)$$

donde Q_o es el gasto de operación del pozo en flujo establecido y t_c es el tiempo de cierre de la válvula de retención ubicada en la descarga del pozo. Mientras no cierre la válvula de retención ($t < t_c$), las ecuaciones que el pozo impone como condición de frontera son:

$$Q_p = Q_o \left(1 - \frac{t}{t_c} \right) \dots (2.22)$$

(ECUACION CARACTERISTICA POSITIVA)

$$Q_p = C_n + C_* H_p \dots (2.23)$$

(ECUACION CARACTERISTICA NEGATIVA)

por tanto, dependiendo del instante de tiempo de cálculo durante el transitorio pueden determinarse Q_p de la ecuación (2.22) y luego H_p de la ecuación (2.23). Una vez que haya cerrado la válvula de retención ($t \geq t_c$), entonces las ecuaciones que impone la frontera son:

$$Q_p = 0 \dots (2.24)$$

$$Q_p = C_n + C_* H_p \dots (2.25)$$

es decir, son las ecuaciones de frontera correspondientes a un extremo cerrado aguas arriba de la conducción. De esta forma, el valor de H_p resultante de las ecuaciones anteriores queda:

$$H_p = -\frac{C_n}{C_a} \dots (2.26)$$

2.5.3 Admisión de aire en el extremo del pozo

Esta etapa inicia cuando la presión transitoria en la descarga del pozo alcanza una presión inferior a la presión atmosférica y esta a su vez provoca el ingreso de aire a la conducción por la válvula de admisión-expulsión de aire.

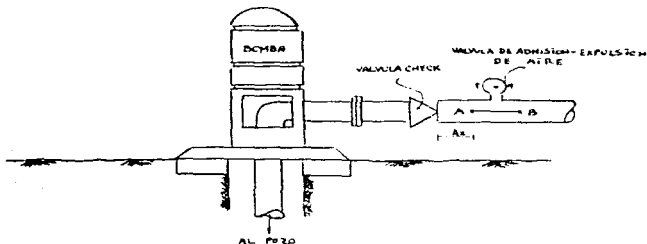


Fig. 2.8 Condición de frontera asociada a la válvula de admisión - expulsión de aire

La válvula de admisión generalmente se encuentra a pocos metros de la válvula de retención (check). La terminación de esta fase de ingreso de aire a la conducción se considera cuando el gasto se invierte en la tubería. Debe mencionarse que durante este proceso del transitorio hidráulico la presión mínima en la tubería corresponde a la presión atmosférica impuesta por el

ingreso de aire. Con base en la fig. 2.8, las ecuaciones que describen la condición de frontera asociada a la válvula de admisión de aire conectada a la tubería son:

$$H_{AP} = H_{BP} = Z \dots (2.27)$$

$$Q_{AP} = C_p - C_a Z \dots (2.28)$$

(CARACTERISTICA POSITIVA)

$$Q_{BP} = C_n + C_a Z \dots (2.29)$$

(CARACTERISTICA NEGATIVA)

$$V_p = v + \frac{\Delta t}{2} (Q_B - Q_A + Q_{BP} - Q_{AP}) \dots (2.30)$$

(ECUACION DE CONTINUIDAD)

donde Z es la elevación de la válvula de admisión por la cual ingresa el aire y v es el volúmen de aire dentro de la tubería en el instante anterior al cálculo (para el primer Δt de cálculo se tiene $v = 0$). Así, conocido el valor de Z se pueden determinar los valores de Q_{AP} , Q_{BP} y V_p de las ecuaciones (2.28), (2.29) y (2.30). Asimismo, si el gasto promedio dado por

$$Q_m = \frac{1}{2} (Q_n - Q_a + Q_{BP} - Q_{AP}) \dots (2.31)$$

resulta negativo, esto indica que el proceso de admisión de aire en el extremo del pozo ha finalizado, y en consecuencia el cálculo del transitorio hidráulico ya no debe efectuarse con las ecuaciones (2.27) a (2.30), sino con las que se indican a continuación.

2.5.4 Compresión del aire en el extremo del pozo

Una vez que termina el ingreso de aire en el extremo del pozo, se considera que todo el volumen de aire admitido a la tubería va a ser comprimido entre dos columnas líquidas.

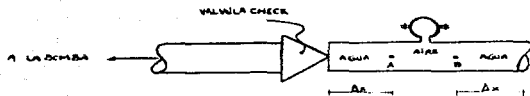


Fig. 2.9 Condición de frontera asociada a la compresión de la burbuja de aire

La compresión del aire se supone como una compresión de gas ideal a una temperatura constante, y el volumen inicial de aire a ser comprimido corresponde al volumen admitido a la tubería en la etapa anterior del transitorio hidráulico. De esta forma, con base en la ecuación de estado de un gas ideal aplicada entre el estado inicial de compresión y un estado posterior cualquiera del transitorio hidráulico queda:

$$H_p V_p = H_{atm} V_o \dots (2.32)$$

donde H_p es la presión absoluta del aire y V_o es el volumen de aire admitido a la tubería. Asimismo, la relación entre la presión piezométrica de las columnas líquidas y la presión manométrica de la burbuja de aire está dada por

$$H_A = H_{Bp} = H_p - H_{atm} + Z \dots (2.33)$$

donde se aclara que H_p es la presión absoluta del aire.

Para completar las ecuaciones que describen esta etapa de operación del pozo se debe agregar la ecuación de continuidad y las ecuaciones características:

$$v_p = v + \frac{\Delta t}{2} (Q_D - Q_A + Q_{BP} - Q_{Ap}) \dots (2.34)$$

(ECUACION DE CONTINUIDAD)

$$Q_{Ap} = C_p - C_a H_{Ap} \dots (2.35)$$

(CARACTERISTICA POSITIVA)

$$Q_{Bp} = C_n - C_a H_{Bp} \dots (2.36)$$

(CARACTERISTICA NEGATIVA)

Así, el sistema de ecuaciones (2.32) a (2.36) permite conocer las variaciones de presión, gasto y volumen de aire durante el proceso del transitorio hidráulico asociado a la compresión de la burbuja de aire en el extremo del pozo.

Para solucionar el sistema de ecuaciones antes mencionado, se sustituyen las ecuaciones (2.35) y (2.36) en la ecuación (2.34); luego en esta última ecuación resultante tener en cuenta las ecuaciones (2.32) y (2.33). Así, finalmente se obtiene:

$$v_p^2 - b v_p - c = 0 \dots (2.37)$$

donde:

$$b = v + \frac{\Delta t}{2} (Q_D - Q_A + C_n - C_p - 2 C_a H_{atm} + 2 C_a Z)$$

$$c = \Delta t C_a H_{atm} v_o$$

su solución es: $v_p = \frac{b}{2} + \left\{ \left(\frac{b}{2} \right)^2 + c \right\}^{(1/2)}$, la cual permite determinar la variación en el tiempo del volumen de aire dentro de la tubería. Así, conocido el valor de v_p y con base en las ecuaciones (2.32) y (2.33) se puede hallar el valor de H_{Ap} .

$$H_{Ap} = H_{Bp} = \frac{H_{atm} v_o}{v_p} - H_{atm} + Z$$

Posteriormente de las ecuaciones características se obtiene $Q_{Ap} = C_p - C_a H_{Ap}$ y $Q_{Bp} = C_n + C_a H_{Bp}$, así quedan conocidos los valores de v_p , H_{Ap} , H_{Bp} , Q_{Ap} y Q_{Bp} correspondientes a esta condición de frontera.

2.5.5 Nudo

Las conexiones de los ramales de los pozos a la línea principal de conducción dan lugar a otra condición de frontera denominada nudo.

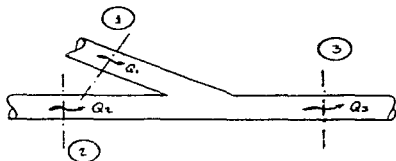


Fig. 2.10 Condición de frontera asociada al nudo

Teniendo en cuenta la figura 2.10 se tienen las ecuaciones resultantes de esta frontera:

$$Q_{3p} = Q_{1p} + Q_{2p} \dots (2.38)$$

(ECUACION DE CONTINUIDAD EN EL NUDO)

$$H_{1p} = H_{2p} = H_{3p} \dots (2.39), (2.40)$$

(ECUACION DE PRESION EN EL NUDO DESPRECIANDO LA PERDIDA LOCAL Y LA DIFERENCIA EN CARGAS DE VELOCIDAD)

$$Q_{1p} = C_{p1} - C_{a1} H_{1p} \dots (2.41)$$

$$Q_{2p} = C_{p2} - C_{a2} H_{2p} \dots (2.42)$$

$$Q_{3p} = C_{n3} + C_{a3} H_{3p} \dots (2.43)$$

(ECUACIONES CARACTERISTICAS)

en consecuencia, sustituyendo las ecuaciones (2.41) a (2.44) en (2.38) y teniendo en cuenta (2.39) y (2.40) resulta finalmente:

$$H_{3p} = (C_{p1} + C_{p2} - C_{n3}) / (C_{a1} + C_{a2} + C_{a3}) \dots (2.44)$$

por tanto, conocida la presión en el nudo, los gastos en cada tubo se calculan mediante las ecuaciones (2.41) a (2.43).

2.5.6 Tuberías en serie

Esta condición de frontera se tiene cuando existe un cambio en el diámetro de la tubería y/o en las propiedades elásticas de la conducción.

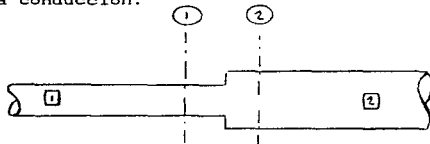


Fig. 2.11 Condición de frontera de tuberías en serie

Las ecuaciones correspondientes a esta frontera (fig. 2.11) son:

$$Q_{1p} = Q_{2p} \dots (2.45)$$

(ECUACION DE CONTINUIDAD)

$H_{1p} = H_{2p} \dots (2.46)$
 (ECUACION DINAMICA DESPRECIANDO TANTO LA PERDIDA LOCAL
 COMO LA DIFERENCIA DE CARGAS DE VELOCIDAD)

$$Q_{1p} = C_{p1} - C_{a1} H_{1p} \dots (2.47)$$

$$Q_{2p} = C_{n2} + C_{a2} H_{2p} \dots (2.48)$$

igualando (2.47) y (2.48) y teniendo en cuenta las ecuaciones
 (2.45) y (2.46) se obtiene:

$$H_{1p} = (C_{p1} - C_{n2}) / (C_{a1} + C_{a2}) \dots (2.49)$$

por consiguiente, hallada H_{1p} puede determinarse el gasto en la
 unión ya sea con la ecuación (2.47) o con (2.48).

2.5.7 Tanque a presión constante en el extremo aguas abajo

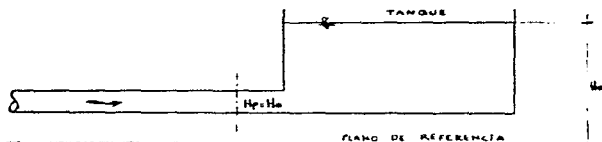


Fig. 2.12 Condición de frontera para un tanque a
 presión constante en el extremo aguas abajo

Las ecuaciones correspondientes a esta condición de frontera son:

$$H_p = H_o \dots (2.50)$$

(ECUACION DINAMICA)

$$Q_p = C_p - C_n H_o \dots (2.51)$$

(CARACTERISTICA NEGATIVA)

2.5.8 Cálculo de Q_p y H_p en los puntos interiores

La cuantificación del gasto y la presión durante el transitorio hidráulico para los puntos interiores de la tubería se realiza resolviendo simultáneamente las ecuaciones características positiva y negativa. Así, resulta:

$$Q_p = (1/2) \cdot (C_p + C_n) \dots (2.52)$$

$$H_p = (1/2C_n) \cdot (C_p - C_n) \dots (2.53)$$

Una vez conocidas las ecuaciones que imponen tanto las condiciones de frontera señaladas como los puntos interiores es posible evaluar el transitorio hidráulico de una red de pozos

2.6 ESTRUCTURA DEL PROGRAMA "POZOS88.EXE"

Este programa está compuesto por tres secciones:

- 1) Lectura del archivo de datos

Se dará la información requerida para caracterizar la red de pozos donde se examinará el transitorio hidráulico así como los datos necesarios para determinar las condiciones iniciales de operación en flujo establecido y las condiciones de análisis del transitorio hidráulico.

2) Cálculo de las condiciones de operación en flujo establecido

Se llevará a cabo la determinación del gasto y presión correspondiente a cada pozo y en cada uno de los ramales y tubos que conformen la red, así, conocidas las condiciones a flujo establecido, se podrá comenzar el cálculo del transitorio hidráulico.

3) Cálculo de las condiciones asociadas a flujo transitorio

Esta sección del programa se divide en seis subrutinas.

S.1. Aquí se calculan los valores de la presión y el gasto en todos los puntos interiores de la conducción; también se obtienen el gasto y la presión en los cambios de diámetro y nudos de la red de pozos.

S.2. Se resuelve el sistema de ecuaciones

$$H_p = a_{10} + a_{11} Q_p + a_{12} Q_p^2$$

$$Q_p = C_n + C_a H_p$$

para los pozos de la red que sigan operando.

S.3. Se resuelve el sistema de ecuaciones

$$Q_p = 0$$

$$Q_p = C_n + C_a H_p$$

para los pozos que antes del transitorio hidráulico no estaban en operación.

S.4. Dependiendo de la condición de operación en los pozos donde se corta el bombeo, se resuelve el sistema de ecuaciones correspondientes para hallar la presión y el gasto en la descarga de los pozos.

5.5. Se resuelve el sistema de ecuaciones correspondientes al arranque de pozos:

$$\begin{aligned}t = 0, Q_p &= 0 \text{ y } H_p = a_{10} \\t = 0, H_p &= a_{10} + a_{11} \frac{Q_p}{P} + a_{12} Q_p^2 \\t = 0, Q_p &= C_n + C_n^* H_p\end{aligned}$$

5.6. Se determina el gasto en el extremo aguas abajo de la conducción. En este extremo la presión se mantiene constante durante el transitorio hidráulico.

El programa cuenta con otra parte que realiza la selección y almacenamiento de las presiones máximas y mínimas en cada punto de la conducción, así como la escritura en el mismo archivo de las variables de interés para su posterior representación gráfica.

A continuación se da la forma de estructurar el archivo de datos que se requiere para utilizar el programa "POZOS88.EXE".

2.7 ESTRUCTURA DE LOS ARCHIVOS DE DATOS

La forma en que se arman los archivos de datos tipo texto requeridos para utilizar el programa de cálculo del transitorio hidráulico en una red de pozos tiene el siguiente orden.

- Primer renglón de datos:

En este renglón se debe dar el número total de pozos que componen el sistema que se va a analizar, así como el número de tubos, número de ramas para definir las envolventes de presión y el número de divisiones para el tubo de menor longitud.

- Segundo renglón de datos:

Aquí se proporcionan los coeficientes que representan la curva carga-gasto en cada pozo. El programa "MATRIZ" sirvió para obtener los dos polinomios de ajuste para dichas curvas. Así, los datos que se deben proporcionar serán: Coeficiente del término independiente del primer polinomio (a_0), coeficiente del término lineal del primer polinomio (a_1), coeficiente del término cuadrático del primer polinomio (a_2); de igual manera se dan los coeficientes para el segundo polinomio, además debe darse el gasto de intersección de ambos polinomios (m^3/s).

- Tercer renglón de datos:

Para cada rama de la red se debe proporcionar el número del tubo inicial de la rama, el número del tubo final de la rama y el tipo de rama, aquí se cuenta con varias opciones: si se marca 1 indica que se corta el bombeo en el pozo al inicio de la respectiva rama, si se indica 2 se está diciendo que el pozo al inicio de la respectiva rama no está en operación, si indico 3 significa que se mantiene en operación el pozo al inicio de la respectiva rama durante el transitorio hidráulico, 4 indica que el pozo al inicio de la respectiva rama entra en operación, el 5 indica que al inicio de la respectiva rama se tiene un nudo, 6 dice que al final de la respectiva rama se tiene un tanque de carga constante y por último, el 7 señala que además del tanque de carga constante principal existe otro ramal en cuyo extremo final también hay un tanque de carga constante. Debe proporcionarse además de estos tres datos el número con el que se está identificando al pozo, número del nudo inicial de la rama, número del nudo final de la rama y la cota del cabezal de descarga del pozo (m).

- Cuarto renglón de datos:

Para cada tubo que compone el sistema es necesario dar su longitud (m), su diámetro (m), la celeridad calculada (m/s) para dicho tramo, el coeficiente de fricción de Darcy-Weisbach y el tipo de singularidad en el extremo final del sistema (0 indica un tanque de carga constante, 1 indica tuberías en serie (cambio de diámetro) y 2 indica un nudo).

- Quinto renglón de datos:

Se deben identificar cada una de las "n" ramas que son empleadas para determinar las envolventes de presión.

- Sexto renglón de datos:

Para cada rama se requiere indicar el valor inicial de la carga piezométrica al inicio de la rama (m) y el valor inicial del gasto al inicio de la rama (m^3/s). En el trabajo se dió la carga estática por tanque de nivel constante y el gasto de operación recomendado para cada pozo como los valores para iniciar la solución del sistema de ecuaciones para flujo permanente.

- Séptimo renglón de datos:

Se da la carga piezométrica en el tanque principal de carga constante (m) (rama tipo 6).

- Octavo renglón de datos:

Dar el tiempo total de simulación del transitorio hidráulico (s). En el trabajo se propone un tiempo de simulación de 120 segundos. Además se debe dar el número de intervalos de tiempo (Δt) para escribir los resultados en el archivo, aquí el número de intervalos Δt que se dió fué igual a 20. Debe proporcionarse además el número de intervalos de longitud (Δx) para

escribir resultados en el archivo correspondiente a las envolventes de presión; por último se da el tipo de archivo de resultados requerido (0 indica archivo de cargas piezométricas y gastos, 1 indica archivo de cargas piezométricas y -1 indica archivo de gastos).

- Noveno renglón de datos:

Se da el tiempo de cierre de la válvula de la descarga de cada uno de los "j" pozos en los que se tendrá corte de bombeo, considerados en orden creciente según el número de rama (s).

De esta manera queda integrado el modelo matemático que será utilizado en el estudio del Sistema Benito Juárez.

3.- ANALISIS DE TRANSITORIOS

3.1 OBJETIVOS

Los trabajos cuya descripción constituyen el contenido del presente capítulo han sido realizados con el propósito de poder cumplir con los siguientes objetivos:

- a) Determinar las características del funcionamiento hidráulico -ante flujo permanente y transitorio- de los componentes del Sistema Benito Juárez. Se mostrará la forma en que fueron armados los archivos que permitieron realizar el análisis descrito para las redes de interconexión del sistema.
- b) Identificar, con base en los resultados asociados al cumplimiento del primer objetivo, las condiciones indeseables presentes o con alta probabilidad de incidir en el funcionamiento de los componentes referidos, y por otra, las acciones correctivas necesarias para posteriormente expresarlas en el capítulo 4 como el Proyecto de Dispositivos de Control.

3.2 ANALISIS DE TRANSITORIOS

3.2.1 Estructura de los archivos de datos

Para realizar el análisis, se procedió a armar los archivos de las líneas de interconexión del sistema en estudio que permitieran utilizar el programa "POZOSSB.EXE" el cual requiere de la siguiente información:

- Curvas de aforo de cada uno de los pozos a considerar en el análisis.

- Curvas características de los equipos de bombeo instalados en cada pozo.
- Longitud, diámetro, espesor y material de las tuberías que forman las redes.
- Geometría de las redes en el plano horizontal y perfiles de las tuberías que las forman.
- Elevación, en la sección de descarga al tanque receptor de los caudales conducidos por cada red, de la tubería mediante la cual dicha descarga se efectúa.

Para armar cada uno de los archivos fué necesario contar con varias herramientas de cómputo (paquetería diversa), que, junto con la información recabada, permitió realizar los cálculos necesarios para poder ir obteniendo los diferentes elementos que fueron estructurando los archivos de datos.

A continuación y a manera de ejemplo se mostrará la forma de integrar el archivo de datos tomando en cuenta el esquema de la red de interconexión de los pozos Benito Juárez 1, 2 y 4 (fig 2.5) así como la manera en la que se obtuvo esa información para finalmente presentar como queda el archivo de datos referente a dicho sistema. Posteriormente se dará de una forma más general la presentación del archivo de datos referente a el esquema de la red de interconexión de los pozos Benito Juárez 5, 6, 7 y 8 (fig. 2.6), haciendo referencia a algunas diferencias presentadas durante el armado del mismo con respecto al anterior. Por último se mostrará la información que se obtuvo del análisis de transitorios para todo el sistema de pozos.

CALCULO DE LA CURVA CARACTERISTICA
PARA EL EQUIPO DEL POZO BENITO JUAREZ 1

CURVA CARACTERISTICA DE LOS EQUIPOS
UN PASO Y DIAMETRO DE IMPULSOR DE 6 1/2"

CDT		GASTO		SIS PASOS	
[ft]	[m]	[GPM]	[l/s]	[m]	[l/s]
52.000	15.850	0.000	0.000	95.098	0.000
50.200	15.301	100.000	6.308	91.806	6.308
48.700	14.844	200.000	12.617	89.053	12.617
47.200	14.387	300.000	18.925	86.319	18.925
46.000	14.021	400.000	25.233	84.175	25.233
44.900	13.686	500.000	31.542	82.113	31.542
44.000	13.411	600.000	37.850	80.487	37.850
43.500	13.259	700.000	44.158	79.553	44.158
42.800	13.045	800.000	50.467	78.273	50.467
40.200	12.253	900.000	56.775	75.518	56.775
38.000	10.973	1000.000	63.083	69.837	63.083
31.200	9.510	1100.000	69.392	57.059	69.392
26.000	7.925	1200.000	75.700	47.549	75.700

TABLA 3.1

CURVA CARACTERISTICA
POZO BENITO JUAREZ 1 (6 PASOS)

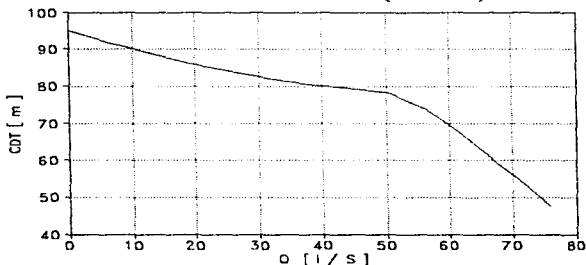


FIGURA 3.1

CALCULO DE LA CURVA CARGA DE BOMBEO EN LA DESCARGA - GASTO
PARA EL EQUIPO DEL POZO BENITO JUAREZ 1

ELEVACION DE BISCAL : 2188.448 m.s.n.m.
DIAMETRO EXTERIOR DE DESCARGA : 0.218 m.
ELEVACION DE FONDO DE TUBO : 2186.807 m.s.n.m.

Z = DISTANCIA ENTRE BISCAL Y L.E. DE DESCARGA
Z = 0.25345 m.
P = PROFUNDIDAD DEL NIVEL DINAMICO CON RESPECTO
AL BISCAL (AFONDO DEL POZO)

$D_0 = 66.00$ cm^2
 $P_0 = 40.10$ m

Q (AFONDO) [LPS]	COF [m]	P [m]	P+Z [m]	H [m]	Q/Q ₀	P/P ₀
0.0	95.08	34.00	34.25	60.84	0.00	0.85
39.0	82.60	36.00	36.25	48.35	0.43	0.80
34.4	81.30	36.20	36.45	44.85	0.51	0.80
39.3	80.07	36.40	36.65	43.37	0.58	0.81
43.6	79.50	36.50	36.75	42.75	0.64	0.81
47.5	78.60	36.70	36.95	41.85	0.70	0.82
52.8	76.00	36.80	37.15	38.85	0.78	0.82
57.5	72.30	36.25	38.50	33.80	0.85	0.85
60.5	69.00	39.44	39.69	29.31	0.89	0.98
64.5	62.90	39.70	39.95	22.95	0.95	0.89
68.0	58.80	40.10	40.35	18.45	1.00	1.00

TABLA 3.1 (Cont.)

CURVA CARGA DE BOMBEO-GASTO
POZO BENITO JUAREZ 1 (6 PASOS)

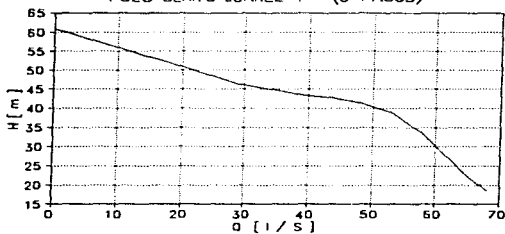


FIGURA 3.2

CÁLCULO DE LA CURVA CARACTERÍSTICA
PARA EL EQUIPO DEL POZO BENITO JUÁREZ 2

CURVA CARACTERÍSTICA DE LOS EQUIPOS
UN PASO Y DIÁMETRO DE IMPULSOR DE 6 1/4"

SIETE PASOS

CDT		GASTO		SIETE PASOS	
[ft]	[m]	[GPM]	[l/s]	CDT [m]	GASTO [l/s]
48.400	14.752	0.000	0.000	103.266	0.000
46.500	14.173	100.000	6.308	99.212	6.308
44.800	13.655	200.000	12.617	95.385	12.617
43.000	13.106	300.000	18.925	91.745	18.925
41.800	12.680	400.000	25.233	88.758	25.233
40.300	12.285	500.000	31.542	85.984	31.542
39.800	12.131	560.000	35.327	84.917	35.327
39.400	12.009	600.000	37.850	84.084	37.850
39.000	11.887	660.000	41.635	83.210	41.635
38.970	11.878	720.000	45.420	83.146	45.420
38.800	11.826	740.000	46.682	82.784	46.682
37.900	11.552	800.000	50.467	80.863	50.467
37.500	11.430	820.000	51.728	80.010	51.728
37.000	11.278	840.000	52.990	78.943	52.990
36.000	10.973	875.000	55.198	76.810	55.198
35.000	10.668	900.000	56.775	74.676	56.775
33.000	10.058	960.000	60.360	70.409	60.360
31.200	9.510	1000.000	63.083	66.568	63.083
26.400	8.047	1100.000	69.392	56.327	69.392
22.300	6.797	1180.000	74.438	47.579	74.438

TABLA 3.2

CURVA CARACTERÍSTICA
POZO BENITO JUÁREZ 2 (7 PASOS)

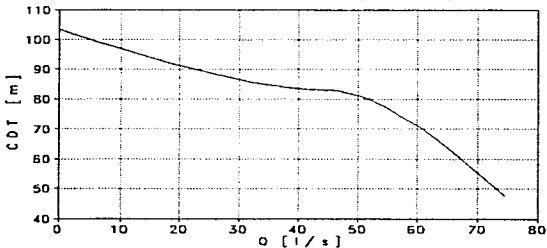


FIGURA 3.3

CALCULO DE LA CURVA CARGA DE BOMBEO EN LA DESCARGA - GASTO
PARA EL EQUIPO DEL POZO BENITO JUAREZ 2

ELEVACION DE BROCAL :	2214.754	m.s.n.m.	
DIAMETRO EXTERIOR :	0.219	m.	
ELEVACION DE LOMO DE TUBO :	2215.121	m.s.n.m.	
Z = DISTANCIA ENTRE EJE DE DESCARGA Y BROCAL :	0.257	m	$D_0 = 48.38$ V/s
Z = PROFUNDIDAD DEL NIVEL DINAMICO CON RESPECTO AL BROCAL (AFORO DEL POZO)			$P_0 = 77.00$ m

CDT [m]	C(AFORO) [V/s]	P [m]	P+Z [m]	H [m]	Q/Q ₀	P/P ₀
103.266	0.000	42.000	42.257	61.009	0.00	0.55
96.043	11.400	49.400	49.557	46.386	0.24	0.64
93.529	15.800	51.600	51.857	41.672	0.33	0.67
91.016	20.800	54.200	54.457	36.559	0.43	0.70
86.952	29.000	57.400	57.657	29.295	0.60	0.75
85.027	34.400	61.000	61.257	23.770	0.71	0.79
83.476	39.300	63.000	63.257	18.219	0.81	0.84
82.995	44.700	72.000	72.257	10.738	0.93	0.94
81.872	48.300	77.000	77.257	4.615	1.00	1.00

T A B L A 3.2 (Cont.)

CURVA CARGA DE BOMBEO-GASTO
POZO BENITO JUAREZ 2 (7 PASOS)

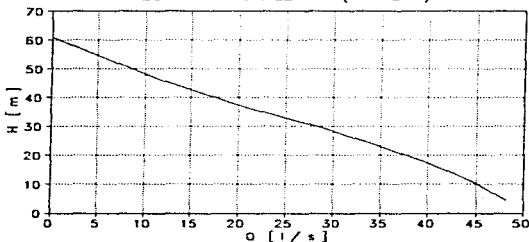


FIGURA 3.4

CALZADO DE LA CURVA CARACTERISTICA
 PARA EL EQUIPO DEL POZO BENITO JUAREZ 4

CURVA CARACTERISTICA DE LOS EQUIPOS
 UN PASO Y DIAMETRO DE IMPULSOR DE 5 1/4"

				SETE PASOS	
CDT	[m]	GASTO	[V/s]	CDT	GASTO
[ft]		[GPM]		[m]	[V/s]
48.400	14.752	0.000	0.000	103.286	0.000
46.500	14.173	100.000	6.308	99.212	6.308
44.800	13.655	200.000	12.617	95.585	12.617
43.000	13.106	300.000	18.925	91.745	18.925
41.500	12.680	400.000	25.233	88.798	25.233
40.300	12.285	500.000	31.542	85.984	31.542
38.800	12.131	560.000	35.327	84.917	35.327
38.400	12.009	600.000	37.850	84.064	37.850
38.000	11.887	660.000	41.635	83.210	41.635
38.070	11.879	720.000	45.420	83.146	45.420
38.800	11.826	740.000	46.687	82.784	46.687
37.900	11.552	800.000	50.467	80.863	50.467
37.500	11.450	820.000	51.728	80.010	51.728
37.000	11.278	840.000	52.980	79.943	52.980
36.000	10.873	875.000	55.198	78.810	55.198
35.000	10.668	900.000	56.775	74.676	56.775
33.000	10.059	960.000	60.560	70.409	60.560
31.200	9.510	1000.000	63.083	66.568	63.083
26.400	8.047	1100.000	69.392	56.327	69.392
22.500	6.797	1180.000	74.438	47.979	74.438

TARLA 33

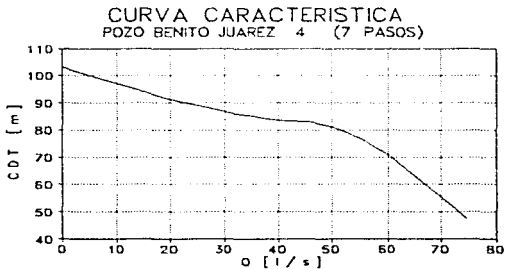


FIGURA 33

CALCULO DE LA CURVA CARGA DE BOMBEO EN LA DESCARGA - GASTO
 PARA EL EQUIPO DEL POZO BENITO JUAREZ 4

ELEVACION DE BRECIAL : 2205.389 m.s.n.m.
 DIAMETRO EXTERIOR DE DESCARGA : 0.219 m.
 ELEVACION DE FONDO DE TUBO : 2205.776 m.s.n.m.

Z = DISTANCIA ENTRE EJE DE DESCARGA Y BRECIAL

Z = 0.287 m
 P = PROFUNDIDAD DEL NIVEL DINAMICO CON RESPECTO
 AL BRECIAL (AFONDO DEL POZO)

Q₀ = 61.50 l/s

P₀ = 49.80 m

Q/T [m]	Q/A(FONDO) [l/s]	P [m]	P+Z [m]	H [m]	Q/Q ₀	P/P ₀
103.266	0.000	24.500	24.787	78.489	0.00	0.48
89.091	6.150	26.840	27.127	71.984	0.10	0.54
95.455	12.300	28.030	29.097	66.358	0.20	0.58
97.086	18.450	30.780	31.047	61.059	0.30	0.62
89.037	24.600	32.420	32.887	56.350	0.40	0.65
86.096	30.750	33.960	34.277	51.669	0.50	0.68
84.278	36.900	36.150	36.417	47.861	0.60	0.73
33.743	37.870	36.600	36.887	46.876	0.61	0.73
82.895	43.230	38.990	39.257	43.738	0.70	0.78
82.888	46.198	41.085	41.352	41.536	0.75	0.83
81.337	49.200	43.180	43.447	37.890	0.80	0.87
78.717	53.140	46.210	46.477	32.240	0.86	0.93
88.610	61.500	49.800	50.067	18.543	1.00	1.00

T A B L A 3.3 (Cont)

CURVA CARGA DE BOMBEO-GASTO
 POZO BENITO JUAREZ 4 (7 PASOS)

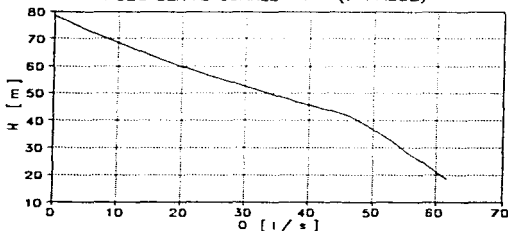


FIGURA 3.6

CALCULO DE LA CURVA CARACTERISTICA
 PARA EL EQUIPO DEL POZO BENITO JUAREZ 5

CURVA CARACTERISTICA DEL EQUIPO BPH 425/264 + NR 1003

COT [m]	CASTO [Vs]
91.818	35.000
90.000	40.000
88.727	45.000
85.818	50.000
82.909	55.000
79.091	60.000
74.727	65.000
68.182	70.000
60.000	75.000
50.909	80.000

T A B L A 3.6

CURVA CARACTERISTICA
 POZO BENITO JUAREZ 5

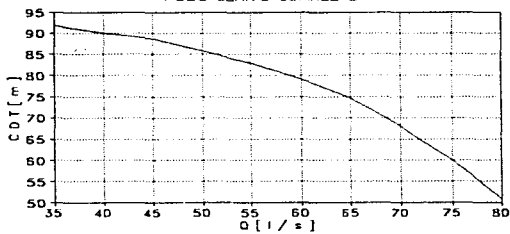


FIGURA 3.7

CALCULO DE LA CURVA CARGA DE BOMBEO EN LA DESCARGA - GASTO
PARA EL EQUIPO DEL POZO BENITO JUAREZ 5

ELEVACION DEL BROCAL : 2203.177 m.s.n.m.
DIAMETRO DE LA DESCARGA : 0.219 m.
ELEVACION LOMO DEL TURBO : 2203.909 m.s.n.m.

Z = DISTANCIA ENTRE I.E. DE DESCARGA Y BROCAL
Z = 0.622 m.
P = PROFUNDIDAD DEL NYL. BOMBEO CON RESPECTO
AL BROCAL (AFORO DEL POZO)

$D_n = 38.50 \sqrt{q}$
 $P_n = 45.60 \text{ m}$

Q (AFORO) [LPS]	COI [m]	Q/Dn	P/Pn	P [m]	P+Z [m]	H [m]
35.0	91.85	0.598	0.662	30.187	30.809	81.04
36.5	91.20	0.624	0.685	31.256	31.885	79.34
37.5	90.80	0.641	0.695	31.692	32.314	78.69
40.0	90.00	0.684	0.730	33.288	33.910	76.09
42.5	89.50	0.726	0.762	34.747	35.369	74.13
44.7	88.80	0.764	0.790	36.024	36.646	72.15
47.5	87.50	0.812	0.834	38.030	38.652	68.85
50.0	86.00	0.855	0.870	39.672	40.294	65.71
54.0	83.60	0.923	0.923	42.089	42.711	60.89
58.5	80.20	1.000	1.000	45.600	46.222	53.98

TA B L A 3.4 (Cont)

CURVA CARGA DE BOMBEO - GASTO
POZO BENITO JUAREZ 5

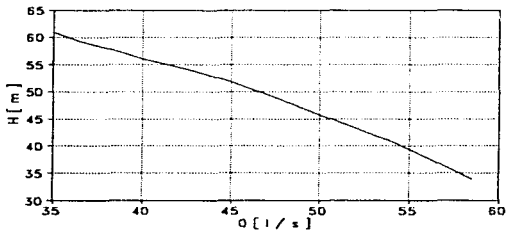


FIGURA 3.8

CALIDAD DE LA CURVA CARACTERISTICA
PARA EL EQUIPO DEL POZO BENITO JUAREZ 6

CURVA CARACTERISTICA DE LOS EQUIPOS
UN PASO Y DIAMETRO DE PULPION DE 6 1/4"

UN PASO Y DIAMETRO DE PULPION DE 6 1/4"				SIS PASOS	
COT	GASTO	COT	GASTO	COT	GASTO
[ft]	[m]	[OPM]	[l/s]	[m]	[l/s]
48.400	14.752	0.900	0.000	88.514	0.000
48.500	14.173	100.000	8.308	85.038	8.308
44.800	13.655	200.000	12.617	81.930	12.617
43.000	13.106	300.000	18.825	78.838	18.825
41.600	12.680	400.000	25.253	76.078	25.253
40.300	12.283	500.000	31.942	73.701	31.942
39.000	12.131	600.000	39.597	72.788	39.597
38.400	12.009	600.000	37.850	72.055	37.850
39.000	11.887	650.000	41.635	71.523	41.635
38.970	11.878	720.000	45.470	71.288	45.470
38.800	11.826	740.000	46.682	70.957	46.682
37.900	11.552	800.000	50.467	69.312	50.467
37.500	11.430	820.000	51.728	68.580	51.728
37.000	11.278	840.000	52.990	67.666	52.990
36.000	10.873	875.000	55.198	65.837	55.198
35.000	10.668	900.000	56.775	64.008	56.775
33.000	10.058	980.000	60.560	60.350	60.560
31.200	9.510	1000.000	63.083	57.059	63.083
26.400	8.047	1100.000	69.582	48.280	69.582
22.300	6.797	1180.000	74.438	40.782	74.438

TABLA 33

CURVA CARACTERISTICA
POZO BENITO JUAREZ 6 (6 PASOS)

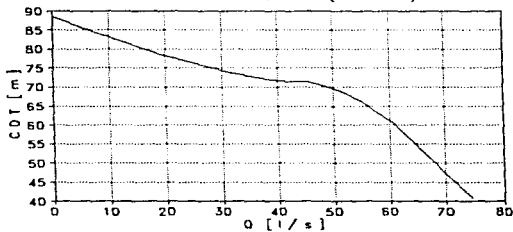


FIGURA 39

CALIDAD DE LA CURVA CARGA DE BOMBEO EN LA DESCARGA - GASTO
 PARA EL EQUIPO DEL POZO BENTO JUAREZ 6

ELEVACION DE BROCAL : 2214.754 M.A.S.N.
 DIAMETRO EXTERIOR DE DESCARGA : 0.218 m.
 ELEVACION DE LOMO DE TUBO : 2215.121 M.A.S.N.

Z=DISTANCIA ENTRE EJE DE DESCARGA Y BROCAL
 Z = 0.257 m

Di = 51.50 I/s
 Po = 48.80 m

P = PROFUNDIDAD DEL NIVEL (DINAMICO CON RESPECTO
 AL BROCAL (AFORO DEL POZO))

CSB [m]	Q(AFORO) [l/s]	P [m]	P+Z [m]	H [m]	Q/Qn	P/Pn
88.514	0.000	33.000	33.257	55.357	0.00	0.88
85.000	4.150	33.330	33.587	51.413	0.10	0.88
82.115	12.300	33.870	34.127	47.988	0.20	0.88
78.808	18.450	34.940	35.197	45.611	0.30	0.72
76.308	24.600	36.180	36.417	39.891	0.40	0.74
74.077	30.750	37.430	37.677	35.300	0.50	0.77
72.385	36.900	38.780	38.937	32.848	0.60	0.80
71.192	43.050	41.280	41.537	29.655	0.70	0.85
69.892	49.200	43.530	43.787	25.905	0.80	0.89
65.538	55.350	46.070	46.327	19.211	0.90	0.84
58.923	61.500	48.800	49.057	8.864	1.00	1.00

T A B L A 3.5 (Cont.)

CURVA CARGA DE BOMBEO-GASTO
 POZO BENTO JUAREZ 6 (6 PASOS)

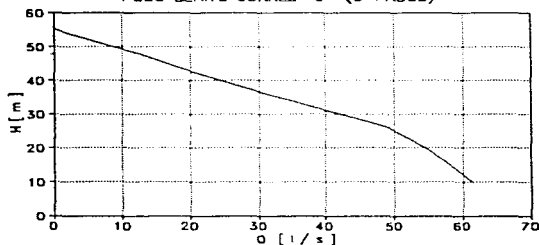


FIGURA 3.10

CALCULO DE LA CURVA CARACTERISTICA
 PARA EL EQUIPO DEL POZO BENITO JUAREZ 7

CURVA CARACTERISTICA DEL EQUIPO BPH 425/264 + NB 1003

CDT [m]	GASTO [l/s]
91.818	35.000
90.000	40.000
88.727	45.000
85.818	50.000
82.909	55.000
79.091	60.000
74.727	65.000
68.182	70.000
60.000	75.000
50.909	80.000

TABLA 3.6

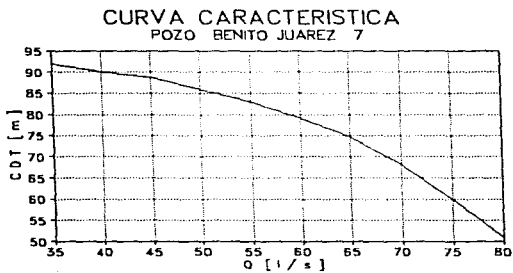


FIGURA 3.11

CALCULO DE LA CURVA CARGA DE BOMBEO EN LA DESCARGA - GASTO
PARA EL EQUIPO DEL POZO BENITO JUAREZ 7

ELEVACION DE BROCAL : 2194.403 msnnm
 DIAMETRO EXTERIOR DE DESCARGA : 0.219 m
 ELEVACION DE LOMO DE TURBO : 2193.383 msnnm

Z = DISTANCIA ENTRE L.O. DE DESCARGA Y BROCAL : $D_0 = 50.40 \text{ V/s}$
 $Z = 0.870 \text{ m}$ $P_0 = 47.80 \text{ m}$

P = PROFUNDIDAD DEL NIVEL DINAMICO CON RESPECTO AL BROCAL (AFORO DEL POZO)

EST [m]	D(AFORO) [V/s]	P [m]	P+Z [m]	H [m]	Q/D ₀	P/P ₀
81.731	35.300	35.200	36.070	55.681	0.700	0.738
80.862	37.198	35.754	36.624	54.338	0.738	0.748
80.789	38.000	36.400	37.270	52.999	0.774	0.762
80.554	40.805	37.805	38.775	50.879	0.810	0.793
80.331	42.800	38.800	40.670	48.961	0.849	0.823
80.769	44.808	41.777	42.647	46.122	0.891	0.874
87.423	47.100	44.100	44.970	42.453	0.935	0.923
86.538	48.831	46.031	46.901	39.637	0.969	0.963
85.500	50.400	47.800	48.670	36.850	1.000	1.000

T A B L A 3.6 (Cont.)

CURVA CARGA DE BOMBEO-GASTO
POZO BENITO JUAREZ 7

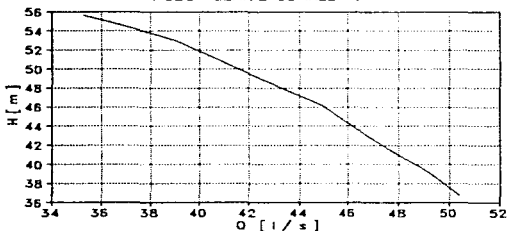


FIGURA 3.12

CALCULO DE LA CURVA CARACTERISTICA
 PARA EL EQUIPO DEL POZO BENITO JUAREZ 8

CURVA CARACTERISTICA DEL EQUIPO BPN A25/2 + NH 1253

COT [m]	CASIDO [l/s]
100.000	35.000
98.187	40.000
96.364	45.000
94.000	50.000
91.636	55.000
88.545	60.000
84.545	65.000
79.455	70.000
72.545	75.000
64.182	80.000
53.636	85.000

T A B L A 3.7

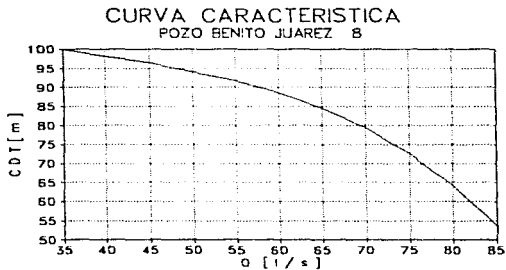


FIGURA 3.13

CALCULO DE LA CURVA CARGA DE BOMBEO EN LA DESCARGA - GASTO
PARA EL EQUIPO DEL POZO BENITO JUAREZ B

ELEVACION DE BROCAL : 2186.793 m.s.n.m.
 DIAMETRO EXTERIOR DE DESCARGA : 0.219 m.
 ELEVACION DE LOCHO DE TURBO : 2187.493 m.s.n.m.

Z = DISTANCIA ENTRE L.I.E. DE DESCARGA Y BROCAL $D_o = 63.50$ l/a
 Z = 0.590 m $P_o = 53.40$ m

P = PROFUNDIDAD DEL NIVEL DINAMICO CON RESPECTO
 AL BROCAL (AFORO DEL POZO)

Q/D _o [m]	D(AFORO) [l/a]	P [m]	P+Z [m]	H [m]	Q/D _o	P/P _o
100.000	35.000	36.953	37.543	62.457	0.551	0.692
98.712	38.100	38.550	39.140	58.572	0.600	0.722
97.576	41.438	40.103	40.693	56.883	0.653	0.751
96.439	44.450	41.810	42.400	54.039	0.700	0.783
94.974	47.875	43.681	44.271	50.653	0.754	0.816
93.523	50.800	45.440	46.030	47.493	0.800	0.851
92.083	54.125	47.312	47.902	44.181	0.852	0.886
90.189	57.150	49.280	49.880	40.309	0.900	0.923
88.093	60.406	51.317	51.907	36.186	0.951	0.961
85.603	63.500	53.400	53.990	31.613	1.000	1.000

T A B L A 3.7 (Cont.)

CURVA CARGA DE BOMBEO-GASTO
POZO BENITO JUAREZ B

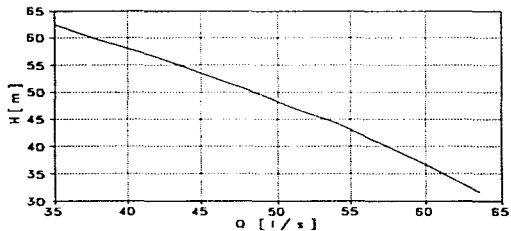


FIGURA 3.14

Presento los resultado que obtuve al utilizar la hoja de cálculo "MATRIZ", la cual me sirvió para obtener los coeficientes a0, a1 y a2 que representan la curva carga-gasto en los pozos Benito Juárez 1, 2 y 4 para cada uno de los polinomios dados.

PROGRAMA "MATRIZ"
 CALCULO DE LOS COEFICIENTES QUE REPRESENTAN LA CURVA
 CARGA-GASTO PARA EL POZO: BENITO JUAREZ UNO
 PRIMER POLINOMIO

PARTE #.1

n	H	Q	HQ	HQ ²	Q ²	Q ³	Q ⁴	H'
1	60.840	0.0000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	60.84074
2	46.350	0.0290	1.3441500	0.0389804	0.0008410	0.0000244	0.0000007	46.37699
3	44.850	0.0344	1.5428400	0.0531737	0.0011834	0.0000607	0.0000014	44.73181
4	43.370	0.0393	1.7046410	0.0669845	0.0015445	0.0000607	0.0000024	43.52371
5	42.750	0.0436	1.8639000	0.0812660	0.0019910	0.0000829	0.0000036	42.68674

SUMA : 238.160 0.1463 6.4553310 0.2403046 0.0054698 0.0002087 0.0000081

PROGRAMA "MATRIZ"
 CALCULO DE LOS COEFICIENTES QUE REPRESENTAN LA CURVA
 CARGA-GASTO PARA EL POZO: BENITO JUAREZ UNO
 PRIMER POLINOMIO

PARTE #.2

MATRIZ DE COEFICIENTES			VECTOR DE TERMINOS INDEPENDIENTES					
5.00000000	0.14630000	0.00546981	238.16000					
0.14630000	0.00546981	0.00020868	6.45533					
0.00546981	0.00020868	0.00000811	0.24030					
MATRIZ INVERSA			VECTOR DE TERMINOS INDEPENDIENTES			RESULTADOS :		
0.99668	-55.93155	765.91482	238.16000			6.084074E+01		(a0)
-55.93155	13314.61261	-304995.98705	6.45533			-6.623692E+02		(a1)
765.91482	-304995.98705	7457542.17975	0.24030			5.642044E+03		(a2)

PROGRAMA "MATRIZ"
CALCULO DE LOS COEFICIENTES QUE REPRESENTAN LA CURVA
CARGA-GASTO PARA EL POZO: BENITO JUAREZ UNO
PRIMER POLINOMIO

PARTE n.3

Salida de Regresión:	
Constante	4.40E-13
Err Estándar Est Y	0.1187810
R Cuadrado	0.9996125
Nº de Observaciones	5
Grados de Libertad	3
Coefficiente(s) X	1.000000000000
Err Estándar de Coef.	0.0079048643

PROGRAMA "MATRIZ"
 CALCULO DE LOS COEFICIENTES QUE REPRESENTAN LA CURVA
 CARGA-GASTO PARA EL POZO: BENITO JUAREZ UMO
 SEGUNDO POLINOMIO

PARTE b.1

n	H	Q	HQ	HQ ²	Q ²	Q ³	Q ⁴	H'
	cm	(m ³ /s)						
1	42.750	0.0436	1.8639000	0.0812660	0.0019010	0.0000829	0.0000036	42.96672
2	41.650	0.0475	1.9783750	0.0939728	0.0022563	0.0001072	0.0000051	41.67194
3	38.850	0.0529	2.0551650	0.1087182	0.0027986	0.0001480	0.0000078	38.16197
4	33.800	0.0575	1.9435000	0.1117513	0.0033063	0.0001901	0.0000109	33.60164
5	29.310	0.0605	1.7732550	0.1072819	0.0036603	0.0002214	0.0000134	29.84916
6	22.950	0.0646	1.4825700	0.0957740	0.0041732	0.0002696	0.0000174	23.72700
7	18.450	0.0680	1.2546000	0.0853128	0.0046240	0.0003144	0.0000214	17.77957

SUMA : 227.760 0.3946 12.3513650 0.6840771 0.0227193 0.0013337 0.0000797

PROGRAMA "MATRIZ"
 CALCULO DE LOS COEFICIENTES QUE REPRESENTAN LA CURVA
 CARGA-GASTO PARA EL POZO: BENITO JUAREZ UMO
 SEGUNDO POLINOMIO

PARTE b.2

MATRIZ DE COEFICIENTES			VECTOR DE TERMINOS INDEPENDIENTES	
7.00000000	0.39460000	0.02271928	227.76000	
0.39460000	0.02271928	0.00133366	12.35137	
0.02271928	0.00133366	0.00007966	0.68408	

MATRIZ INVERSA			VECTOR DE TERMINOS INDEPENDIENTES		RESULTADOS :	
406.82923	-14799.83344	131747.55727	227.76000		-1.3234266+01	(a0)
-14799.83344	540950.44083	-4835549.80010	12.35137		2.7774878+03	(a1)
131747.55727	-4835549.80010	43593762.92736	0.68408		-3.4138266+04	(a2)

PROGRAMA "MATRIZ"
CALCULO DE LOS COEFICIENTES QUE REPRESENTAN LA CURVA
CARGA-COSTO PARA EL POZO: BENITO JUAREZ LIND
SEGUNDO POLINOMIO

PARTE b.3

Salida de Regresión:	
Constante	6.70E-12
Err Estándar Est Y	0.6172646
R Cuadrado	0.9964028
Nº de Observaciones	7
Grados de Libertad	5
Coefficiente(s) X	1.000000000000
Err Estándar de Coef.	0.0268706754

PROGRAMA "MATRIZ"
 CALCULO DE LOS COEFICIENTES QUE REPRESENTAN LA CURVA
 CARGA-GASTO PARA EL POZO: BENITO JUAREZ DOS
 PRIMER POLINOMIO

PARTE a.1

n	H	Q	HQ	HQ ²	Q ²	Q ³	Q ⁴	H ⁴
	[m]	[m ³ /s]						
1	61.009	0.0000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	60.99554
2	46.386	0.0114	0.5288004	0.0060283	0.0001300	0.0000015	0.0000000	46.49127
3	41.672	0.0159	0.6625848	0.0105351	0.0002528	0.0000040	0.0000001	41.52721
4	36.559	0.0208	0.7604272	0.0158169	0.0004326	0.0000090	0.0000002	36.61199

SUMA 1 185.626 0.0481 1.9518124 0.0323803 0.0008154 0.0000145 0.0000003

PROGRAMA "MATRIZ"
 CALCULO DE LOS COEFICIENTES QUE REPRESENTAN LA CURVA
 CARGA-GASTO PARA EL POZO: BENITO JUAREZ DOS
 PRIMER POLINOMIO

PARTE a.2

MATRIZ DE COEFICIENTES			VECTOR DE TERMINOS INDEPENDIENTES	
4.00000000	0.04810000	0.00081541	185.62600	
0.04810000	0.00081541	0.00001450	1.95181	
0.00081541	0.00001450	0.00000027	0.03238	

MATRIZ INVERSA			VECTOR DE TERMINOS INDEPENDIENTES		RESULTADOS:	
0.99483	-128.42822	3922.07027	185.62600		6.099554E+01	C=0
-128.42822	49024.43514	-2261884.69388	1.95181		-1.395602E+03	C=1
3922.07027	-2261884.69388	114185958.83805	0.03238		1.064021E+04	C=2

PROGRAMA "MATRIZ"
CALCULO DE LOS COEFICIENTES QUE REPRESENTAN LA CURVA
CARGA-GASTO PARA EL POZO: BENITO JUAREZ DOS
PRIMER POLINOMIO

PARTE a.3

	Salida de Regresión:	
Constante		8.27E-13
Err Estándar Est Y		0.1323537
R Cuadrado		0.9998946
Nº de Observaciones		4
Grados de Libertad		2
Coefficiente(s) X	1.000000000000	
Err Estándar de Coef.	0.007257441674	

PROGRAMA "MATRIZ"
 CALCULO DE LOS COEFICIENTES QUE REPRESENTAN LA CURVA
 CARGA-GASTO PARA EL POZO: BENITO JUAREZ DOS
 SEGUNDO POLIGONO

PARTE b.1

n	h	g	h0	HQ^2	Q^2	Q^3	Q^4	M'
	[m]	[m^3/d]						
1	36.359	0.0206	0.760272	0.0158169	0.0004326	0.0000090	0.0000002	36.41160
2	29.295	0.0290	0.6495550	0.0246371	0.0008410	0.0000244	0.0000007	29.59665
3	23.770	0.0344	0.8176880	0.0281285	0.0011834	0.0000407	0.0000014	23.91028
4	18.219	0.0393	0.7160067	0.0281391	0.0015445	0.0000607	0.0000024	17.93068
5	10.738	0.0447	0.6799886	0.0214555	0.0019981	0.0000893	0.0000040	10.63617
6	4.615	0.0483	0.2229043	0.0107663	0.0023329	0.0001127	0.0000034	4.91242

SUMA : 123.196 0.2165 3.8465700 0.1289433 0.0083329 0.0003368 0.0000141

PROGRAMA "MATRIZ"
 CALCULO DE LOS COEFICIENTES QUE REPRESENTAN LA CURVA
 CARGA-GASTO PARA EL POZO: BENITO JUAREZ DOS
 SEGUNDO POLIGONO

PARTE b.2

MATRIZ DE COEFICIENTES			VECTOR DE TERMINOS INDEPENDIENTES	
6.00000000	0.21650000	0.00833247	123.19600	
0.21650000	0.00833247	0.00033679	3.84657	
0.00833247	0.00033679	0.00001411	0.12894	

MATRIZ INVERSA			VECTOR DE TERMINOS INDEPENDIENTES		RESULTADOS	
37.36315	-2227.49992	31092.20364	123.19600		4.366682E+01	(h0)
-2227.49992	136169.17619	-1934075.62509	3.84657		-2.088447E+01	(e1)
31092.20364	-1934075.62509	27863784.80979	0.12894		-1.627410E+04	(e2)

PROGRAMA "MATRIZ"
CALCULO DE LOS COEFICIENTES QUE REPRESENTAN LA CURVA
CARGA-GASTO PARA EL POZO: BENITO JUAREZ DOS
SEGUNDO POLINOMIO

PARTE b.3

Salida de Regresion:	
Constante	-1.13E-12
Err Estándar Est Y	0.3137556
R Cuadrado	0.9994364
Nº de Observaciones	6
Grados de Libertad	4
Coficiente(s) x	1.000000000000
Err Estándar de Coef.	0.011872688932

PROGRAMA "MATRIZ"
 CALCULO DE LOS COEFICIENTES QUE REPRESENTAN LA CURVA
 CARGA-GASTO PARA EL POZO: BENITO JUAREZ CUATRO
 PRIMER POLINOMIO

PARTE #.1

N	M	Q	HQ	HQ^2	Q^2	Q^3	Q^4	H'
1	78.499	0.0000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	78.22723
2	71.984	0.0062	0.4427016	0.0027226	0.0000378	0.0000002	0.0000000	72.19223
3	66.353	0.0133	0.8162036	0.0100393	0.0015132	0.0000019	0.0000000	66.32657
4	61.039	0.0185	1.1261696	0.0207778	0.0003406	0.0000063	0.0000001	61.22424
5	56.350	0.0246	1.3662100	0.0361008	0.0006052	0.0000149	0.0000004	56.29123
6	51.869	0.0308	1.5962718	0.0490654	0.0009456	0.0000291	0.0000009	51.72356
7	47.861	0.0369	1.7660709	0.0651680	0.0013616	0.0000502	0.0000019	47.52722
8	44.876	0.0378	1.7728503	0.0670692	0.0014304	0.0000541	0.0000020	44.93076
9	43.738	0.0432	1.8907937	0.0817390	0.0018668	0.0000808	0.0000035	43.58961
10	41.536	0.0462	1.9788601	0.0886484	0.0021343	0.0000986	0.0000046	41.87736

SUMA : 566.110 0.2564 12.7148514 0.4192905 0.0088753 0.0003361 0.0000133

PROGRAMA "MATRIZ"
 CALCULO DE LOS COEFICIENTES QUE REPRESENTAN LA CURVA
 CARGA-GASTO PARA EL POZO: BENITO JUAREZ CUATRO
 PRIMER POLINOMIO

PARTE #.2

MATRIZ DE COEFICIENTES			VECTOR DE TERMINOS INDEPENDIENTES	
10.0000000	0.25639800	0.00887520	566.11000	
0.25639800	0.00887520	0.00033606	12.71485	
0.00887520	0.00033606	0.00001335	0.41929	

MATRIZ INVERSA			VECTOR DE TERMINOS INDEPENDIENTES		RESULTADOS :	
0.47652	-53.81417	905.06200	566.11000		7.822723E-01	(a0)
-53.81417	6695.33634	-132787.70305	12.71485		-1.011164E-03	(a1)
905.06200	-132787.70305	2816345.96078	0.41929		4.855969E-03	(a2)

PROGRAMA "MATRIZ"
CALCULO DE LOS COEFICIENTES QUE REPRESENTAN LA CURVA
CARGA-GASTO PARA EL POZO: BENITO JUAREZ CUATRO
PRIMER POLINOMIO

PARTE a.3

Salida de Regresión:		
Constante		7.67E-13
Err Estándar Est Y		0.2388156
R Cuadrado		0.9996779
Nº de Observaciones		10
Grados de Libertad		9
Coefficiente(s) X	1.000000000000	
Err Estándar de Coef.	0.006345499654	

PROGRAMA "MATRIZ"
 CALCULO DE LOS COEFICIENTES QUE REPRESENTAN LA CURVA
 CARGA-GASTO PARA EL POGO: BENITO JUAREZ CUATRO
 SEGUNDO POLINOMIO

PARTE D.1

P	H (m)	Q (m ³ /s)	HQ	HQ ²	Q ²	Q ³	Q ⁴	H'
1	41.536	0.0462	1.9188601	0.0866486	0.0021343	0.0000996	0.0000046	41.57613
2	37.890	0.0402	1.5641850	0.0917180	0.0024206	0.0001191	0.0000059	37.80205
3	32.240	0.0531	1.7132336	0.0910412	0.0028239	0.0001501	0.0000080	32.29596
4	16.543	0.0615	1.1403945	0.0701343	0.0037823	0.0002326	0.0000143	18.53487

 SUMA : 130.209 0.2100 6.6366962 0.3415420 0.0111610 0.0006004 0.0000327

PROGRAMA "MATRIZ"
 CALCULO DE LOS COEFICIENTES QUE REPRESENTAN LA CURVA
 CARGA-GASTO PARA EL POGO: BENITO JUAREZ CUATRO
 SEGUNDO POLINOMIO

PARTE D.2

MATRIZ DE COEFICIENTES				VECTOR DE TERMINOS INDEPENDIENTES	
4.00000000	0.21003800	0.01116100	130.20900		
0.21003800	0.01116100	0.00060036	6.63670		
0.01116100	0.00060036	0.00003269	0.34154		

MATRIZ INVERSA				VECTOR DE TERMINOS INDEPENDIENTES	
3491.51207	-130100.09994	1197106.95931	130.20900		
-130100.09994	4853089.30642	-44740850.51779	6.63670		
1197106.95931	-44740850.51779	412942995.70680	0.34154		

RESULTADOS :

5.372017E+01	(a0)
6.707793E+02	(a1)
-2.020997E+06	(a2)

PROGRAMA "MATRIZ"
CALCULO DE LOS COEFICIENTES QUE REPRESENTAN LA CURVA
CARGA-GASTO PARA EL POZO: BENITO JUAREZ CUATRO
SEGUNDO POLINOMIO

PARTE b.3

	Salida de Regresión:	
Constante		1.04E-10
Err Estándar Est Y		0.0791942
R Cuadrado		0.9999589
N° de Observaciones		4
Grados de Libertad		2
Coefficiente(s) X		0.999999999999
Err Estándar de Coef.		0.004530613962

Los coeficientes a0, a1, y a2 que representan la curva
 carga de bombeo-gasto para los pozos Benito Juárez 5, 6,
 7 y 8 son los siguientes:

PROGRAMA "MATRIZ"
 CALCULO DE LOS COEFICIENTES QUE REPRESENTAN LA CURVA
 CARGA-GASTO PARA EL POZO: BENITO JUAREZ CINCO
 PRIMER POLINOMIO

PARTE a.1

n	H (m)	Q (m ³ /s)	Q0	Q0 ²	Q ²	Q ³	Q ⁴	H'
1	61.041	0.0350	2.1364350	0.0747732	0.0012250	0.0000429	0.0000015	60.96893
2	59.312	0.0365	2.1639830	0.0709394	0.0013328	0.0000486	0.0000018	59.46971
3	58.486	0.0375	2.1932250	0.0822459	0.0014363	0.0000527	0.0000020	58.47231
4	56.090	0.0400	2.2636000	0.0897440	0.0016000	0.0000640	0.0000026	56.16379
5	54.131	0.0425	2.3025675	0.0977741	0.0018063	0.0000766	0.0000033	53.96626
6	52.154	0.0447	2.3312838	0.1042084	0.0019981	0.0000893	0.0000040	52.22406

 SUMA : 341.244 0.2302 13.37109+3 0.5278060 0.0093678 0.0003743 0.0000151

PROGRAMA "MATRIZ"
 CALCULO DE LOS COEFICIENTES QUE REPRESENTAN LA CURVA
 CARGA-GASTO PARA EL POZO: BENITO JUAREZ CINCO
 PRIMER POLINOMIO

PARTE a.2

MATRIZ DE COEFICIENTES

MATRIZ DE COEFICIENTES			VECTOR DE TERMINOS INDEPENDIENTES
0.00000000	0.23620000	0.00936784	341.24400
0.23620000	0.00936784	0.00037432	0.52781
0.00936784	0.00037432	0.00001507	

MATRIZ INVERSA

3250.12031	-206790.01856	3313856.82533
-206790.01856	13309166.69608	-167494007.39583
3313856.82533	-167494007.39583	2100691685.05415

VECTOR DE
TERMINOS
INDEPENDIENTES

341.24400
13.37109
0.52781

RESULTADOS :

1.134173E+02	(a0)
-1.066363E+03	(a1)
1.336436E+04	(a2)

PROGRAMA "MATRIZ"
CALCULO DE LOS COEFICIENTES QUE REPRESENTAN LA CURVA
CARGA-GASTO PARA EL POZO: BENITO JUAREZ CINCO
PRIMER POLINOMIO

PARTE a.3

Salida de Regresión:	
Constante	0.00800000
Err Estándar Est Y	0.10769941
R Cuadrado	0.99917839
Nº de Observaciones	6
Grados de Libertad	4
Coefficiente(s) X	0.909990900000
Err Estándar de Coef.	0.014337741943

PROGRAMA "MATRIZ"
 CALCULO DE LOS COEFICIENTES QUE REPRESENTAN LA CURVA
 CARGA-GASTO PARA EL POZO: BENITO JUAREZ CINCO
 SEGUNDO POLINOMIO

PARTE D.1

n	H	Q	HQ	HQ^2	Q^2	Q^3	Q^4	N'
1	52.154	0.0447	2.3312838	0.1042084	0.0019981	0.0000893	0.0000040	52.06211
2	48.848	0.0476	2.3202800	0.1102135	0.0022563	0.0001072	0.0000051	48.92170
3	45.756	0.0500	2.2853000	0.1142650	0.0025000	0.0001250	0.0000063	45.89786
4	40.889	0.0540	2.2080640	0.1192323	0.0029160	0.0001575	0.0000085	40.82823
5	33.078	0.0585	1.9877130	0.1162812	0.0034223	0.0002002	0.0000117	34.06510

SUMA : 221.575 0.2547 11.1325828 0.5642002 0.0130926 0.0006792 0.0000355

PROGRAMA "MATRIZ"
 CALCULO DE LOS COEFICIENTES QUE REPRESENTAN LA CURVA
 CARGA-GASTO PARA EL POZO: BENITO JUAREZ CINCO
 SEGUNDO POLINOMIO

PARTE D.2

MATRIZ DE COEFICIENTES

5.00000000	0.25470000	0.01309259	221.57500
0.25470000	0.01309259	0.00067915	11.13258
0.01309259	0.00067915	0.00003555	0.56420

VECTOR DE
 TERMINOS
 INDEPENDIENTES

MATRIZ INVERSA

3405.87256	-140371.78942	1353768.19830	221.57500
-140371.78942	573018.22019	-52863397.81357	11.13258
1353768.19830	-52863397.81357	511303576.95006	0.56420

VECTOR DE
 TERMINOS
 INDEPENDIENTES

RESULTADOS :

0.695933E+01	(a)
4.085659E-02	(b)
-1.659591E-04	(c)

PROGRAMA "MATRIZ"
CALCULO DE LOS COEFICIENTES QUE REPRESENTAN LA CURVA
CARGA-GASTO PARA EL POZO: BEMITO JUAREZ CINCO
SEGUNDO POLINOMIO

PARTE b.3

Salida de Regresión:		
Constante		-3.0265E-10
Efr Estándar Est Y		0.2051612
R Cuadrado		0.999376501
Nº de Observaciones		5
Grados de Libertad		3
Coefficiente(s) X	1.000000000005	
Efr Estándar de Coef.	0.014420905188	

PROGRAMA "MATRIZ"
 CALCULO DE LOS COEFICIENTES QUE REPRESENTAN LA CURVA
 CARGA-GASTO PARA EL POZO: BENITO JUAREZ SEIS
 PRIMER POLINOMIO

PARTE A.1

n	h	C	H0	H0^2	0^2	0^3	0^4	H^4
1	55.257	0.0000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	55.36269
2	51.413	0.0062	0.1761900	0.0019444	0.0003378	0.0000000	0.0000000	51.44043
3	47.908	0.0123	0.1902524	0.0072601	0.0015113	0.0000019	0.0000000	47.57656
4	43.611	0.0185	0.8046230	0.0148453	0.0003404	0.0000063	0.0000001	43.77958
5	39.091	0.0246	0.9813186	0.0241406	0.0006092	0.0000149	0.0000004	40.02279
6	36.200	0.0308	1.1131500	0.0342294	0.0006456	0.0000291	0.0000009	36.33329
7	32.548	0.0369	1.2120912	0.0447262	0.0013616	0.0000502	0.0000019	32.70168

SUMA : 307.208 0.1292 5.0176251 0.1271459 0.0034418 0.0001026 0.0000033

PROGRAMA "MATRIZ"
 CALCULO DE LOS COEFICIENTES QUE REPRESENTAN LA CURVA
 CARGA-GASTO PARA EL POZO: BENITO JUAREZ SEIS
 PRIMER POLINOMIO

PARTE A.2

MATRIZ DE COEFICIENTES		VECTOR DE TERMINOS INDEPENDIENTES	
7.0000000	0.1291500	0.00344185	307.20800
0.1291500	0.00344185	0.0010258	5.01763
0.00344185	0.00010258	0.00000325	0.12715

MATRIZ INVERSA		VECTOR DE TERMINOS INDEPENDIENTES		RESULTADOS :	
0.76190	-75.49361	1573.76719	307.20800	5.536269E+01	(a0)
-75.49361	12279.38408	-307076.52478	5.01763	-6.626971E+02	(a1)
1573.76719	-307076.52478	8321837.03997	0.12715	7.692574E+02	(a2)

PROGRAMA "MATRIZ"
CALCULO DE LOS COEFICIENTES QUE REPRESENTAN LA CURVA
CARGA-GASTO PARA EL POZO: BENITO JUAREZ SEIS
PRIMER POLINOMIO

PARTE a.3

Salida de Regresión:	
Constante	2.6594E-14
Err Estándar Est Y	0.229460589
R Cuadrado	0.99934140
Nº de Observaciones	7
Grados de Libertad	5
Coefficiente(s) X	1.00000000000
Err Estándar de Coef.	0.011480692528

PROGRAMA "MATRIZ"
 CALCULO DE LOS COEFICIENTES QUE REPRESENTAN LA CURVA
 CARGA-GASTO PARA EL POZO: BENITO JUAREZ SEIS
 SEGUNDO POLINOMIO

PORTE b.1

n	h	Q	Q ²	Q ³	Q ⁴	Q ⁵	Q ⁶	h'
1	32.800	0.0300	1.2120912	0.047202	0.0013016	2.20000002	0.2000010	32.60031
2	29.650	0.0431	1.2766678	0.047907	0.0018533	2.2000798	0.2000036	30.22694
3	25.900	0.0492	1.275260	0.0627067	0.0024206	2.0004191	0.2000009	25.07320
4	19.210	0.0554	1.0633289	0.0380553	0.0030230	2.2001666	0.2000006	18.04534
5	9.860	0.0615	0.6067590	0.0373157	0.0037923	2.0002326	0.2000143	10.03711

SUMA : 117.485 0.2460 5.433528 0.258635 0.012481 2.0006513 0.0000348

PROGRAMA "MATRIZ"
 CALCULO DE LOS COEFICIENTES QUE REPRESENTAN LA CURVA
 CARGA-GASTO PARA EL POZO: BENITO JUAREZ SEIS
 SEGUNDO POLINOMIO

PORTE b.2

MATRIZ DE COEFICIENTES			VECTOR DE TERMINOS INDEPENDIENTES	
5.00000000	0.24600000	0.01248143	117.48500	
0.24600000	0.01248143	0.00065130	5.43335	
0.01248143	0.00065130	0.00003484	0.25856	

MATRIZ INVERSA			VECTOR DE TERMINOS INDEPENDIENTES		RESULTADOS :	
281.17163	-11051.56794	117088.27800	117.48500		1.006543E+00	(40)
-11051.56794	486105.20948	-4913224.39640	5.43335		1.916339E+03	(81)
117088.27800	-4913224.39640	49931142.23964	0.25856		-2.879610E+04	(82)

PROGRAMA "MATRIZ"
CALCULO DE LOS COEFICIENTES QUE REPRESENTAN LA CURVA
CARGA-GASTO PARA EL POZO: BENITO JUAREZ SEIS
SEGUNDO POLICRISTO

PARTE b.3

Salida de Regresión:		
Constante		-6.0038E-12
Err Estándar Est Y		0.4246918
R Cuadrado		0.9983866
Nº de Observaciones		5
Grados de Libertad		3
Coefficiente(s) X	1.00000000000	
Err Estándar de Coef.	0.023210545350	

PROGRAMA "MATRIZ"
 CALCULO DE LOS COEFICIENTES QUE REPRESENTAN LA CURVA
 CARGA-GASTO PARA EL POZO: BENITO JUAREZ SIETE
 PRIMER POLINOMIO

PARTE #.1

n	Q	Q	Q	Q	Q	Q	Q	Q	Q
	[m]	(m ² /s)							
1	51.367	0.0353	1.958333	1.2623366	0.0012461	0.0011440	0.0002016		55.65322
2	51.338	0.0372	2.2322649	1.2791870	0.0013837	0.0005155	0.0000019		94.39965
3	52.990	0.0390	2.2666910	1.2826115	0.0015210	0.0002593	0.0000023		52.86473
4	51.879	0.0428	2.2781176	1.2867160	0.0016650	0.0000679	0.0000028		50.99131
5	43.367	0.0428	2.2781176	1.2867160	0.0018318	0.0000786	0.0000035		48.52921

SUMA :
 262.438 0.1951 10.2775876 C.3988291 0.007677 0.0003211 0.0000119

PROGRAMA "MATRIZ"
 CALCULO DE LOS COEFICIENTES QUE REPRESENTAN LA CURVA
 CARGA-GASTO PARA EL POZO: BENITO JUAREZ SIETE
 PRIMER POLINOMIO

PARTE #.2

MATRIZ DE COEFICIENTES			VECTOR DE TERMINOS INDEPENDIENTES
5.0000000	0.1951030	0.0076767	262.43800
0.1951030	0.0076767	0.0003112	10.20759
0.0076767	0.0003112	0.0000119	0.39883

MATRIZ INVERSA	VECTOR DE TERMINOS INDEPENDIENTES	RESULTADOS :
13078.2223	262.43800	1.116250E+01 (a0)
-671702.43813	10.20759	3.08320E+03 (a1)
8505800.31113	0.39883	-5.16408E+04 (a2)

PROGRAMA "MATRIZ"
CALCULO DE LOS COEFICIENTES QUE REPRESENTAN LA CURVA
CARGA-GASTO PARA EL POZO: BENITO JUAREZ SIETE
PRIMER POLINOMIO

PARTE a.3

	Salida de Regresión:	
Constante		-0.0000000
Err Estándar Est Y		0.10873460
R Cuadrado		0.9988828
Nº de Observaciones		5
Grados de Libertad		3
Coefficiente(s) X	1.00000000045	
Err Estándar de Coef.	0.019300035612	

PROGRAMA "MATRIZ"
 CALCULO DE LOS COEFICIENTES QUE REPRESENTAN LA CURVA
 CARGA-GASTO PARA EL POZO: BENITO JUAREZ SIETE
 SEGUNDO POLINOMIO

PARTE D.1

n	H	Q	HQ	HQ ²	Q ²	Q ³	Q ⁴	H ⁴
1	48.561	0.0428	2.3784108	0.0809960	0.0018318	0.0000784	0.0000034	48.64478
2	46.122	0.0449	2.0712929	0.0930197	0.0020188	0.0000908	0.0000041	45.90329
3	42.453	0.0471	1.9049363	0.0941782	0.0022186	0.0001045	0.0000049	42.80549
4	39.837	0.0488	1.9359143	0.0945131	0.0023845	0.0001166	0.0000057	39.67598
5	36.830	0.0504	1.8562320	0.0935541	0.0025402	0.0001280	0.0000065	36.77348

SUMA : 213.603 0.2310 9.9409863 0.4642210 0.0109917 0.0005179 0.0000245

PROGRAMA "MATRIZ"
 CALCULO DE LOS COEFICIENTES QUE REPRESENTAN LA CURVA
 CARGA-GASTO PARA EL POZO: BENITO JUAREZ SIETE
 SEGUNDO POLINOMIO

PARTE D.2

MATRIZ DE COEFICIENTES

5.0000000	0.2310400	0.31099169	213.60300
0.2310400	0.01099169	0.00051792	9.94099
0.01099169	0.00051792	0.00002448	0.46422

VECTOR DE
 TERMINOS
 INDEPENDIENTES

MATRIZ INVERSA

26527.66632	-1141551.66101	12239369.91084
-1141551.66101	49132262.42785	-527291977.81370
12239369.91084	-527291977.81371	5659779117.55635

VECTOR DE
 TERMINOS
 INDEPENDIENTES

213.60300
9.94099
0.46422

RESULTADOS :

1.252527E+01	(a0)
2.887039E+03	(a1)
-4.773696E+04	(a2)

PROGRAMA "MATRIZ"
CALCULO DE LOS COEFICIENTES QUE REPRESENTAN LA CURVA
CARGA-GASTO PARA EL POZO: BENITO JUAREZ SIETE
SEGUNDO POLINOMIO

PARTE b.3

Salida de Regresión:		
Constante		-0.0000000
Err Estándar Est Y		0.16615040
R Cuadrado		0.9990794
Nº de Observaciones		3
Grados de Libertad		3
Coefficiente(s) X	1.0000000000000	
Err Estándar de Coef.	0.01752583357	

PROGRAMA "MATRIZ"
 CALCULO DE LOS COEFICIENTES QUE REPRESENTAN LA CURVA
 CARGA-GASTO PARA EL POZO: BENITO JUAREZ DCMO
 PRIMER POLINOMIO

PARTE #.1

N	H	Q	HQ	HQ^2	Q^2	Q^3	Q^4	H'
	[m]	[m ³ /s]						
1	62.457	0.0350	2.1859950	0.0765098	0.0012250	0.0000299	0.0000025	62.35404
2	59.572	0.0381	2.2694932	0.0864793	0.0014516	0.0000553	0.0000021	59.77713
3	56.883	0.0416	2.3571178	0.0974762	0.0017171	0.0000712	0.0000029	56.82294
4	54.039	0.0445	2.4023336	0.1067704	0.0019758	0.0000878	0.0000039	53.99757
5	50.653	0.0479	2.4257124	0.1166975	0.0022920	0.0001097	0.0000053	50.60070
6	47.493	0.0508	2.4126444	0.1256623	0.0025806	0.0001311	0.0000067	47.54463

SUMA : 331.097 0.2577 1.0524963 0.2660896 0.0112422 0.0004980 0.0000224

PROGRAMA "MATRIZ"
 CALCULO DE LOS COEFICIENTES QUE REPRESENTAN LA CURVA
 CARGA-GASTO PARA EL POZO: BENITO JUAREZ DCMO
 PRIMER POLINOMIO

PARTE #.2

MATRIZ DE COEFICIENTES			VECTOR DE TERMINOS INDEPENDIENTES
6.00000000	0.25766300	0.01124218	331.09700
0.25766300	0.01124218	0.00049799	14.05250
0.01124218	0.00049799	0.00002237	0.60609

MATRIZ INVERSA			VECTOR DE TERMINOS INDEPENDIENTES	RESULTADOS :
894.98713	-42130.56393	488034.05534	331.09700	8.031561E+01 (C0)
-42130.56393	1989585.51769	-23114670.18352	14.05250	-2.208648E+02 (C1)
488034.05534	-23114670.18352	209306488.33382	0.60609	-8.349880E+03 (C2)

PROGRAMA "MATRIZ"
CALCULO DE LOS COEFICIENTES QUE REPRESENTAN LA CURVA
CARGA-GASTO PARA EL POZO: BENITO JUAREZ OCHO
PRIMER POLINOMIO

PARTE a.3

Salida de Regresión:	
Constante	3.85E-12
Err Estándar Est Y	0.1259010
R Cuadrado	0.9995936
Nº de Observaciones	6
Grados de Libertad	4
Coefficiente(s) X	0.999999999999
Err Estándar de Coef.	0.010081221958

PROGRAMA "MATRIZ"
 CALCULO DE LOS COEFICIENTES QUE REPRESENTAN LA CURVA
 CARGA-GASTO PARA EL POZO: BENITO JUAREZ OCHO
 SEGUNDO POLINOMIO

PARTE b.1

n	H (m)	Q (m ³ /s)	Q	Q ²	Q ³	Q ⁴	Q ⁵	Q ⁶	Q ⁷	Q ⁸
1	47.493	0.0508	2.4126444	0.1227623	0.0029806	0.0001311	3.0000067			47.53530
2	44.181	0.0541	2.3912966	0.1254285	0.0029295	0.0015566	3.0000056			64.04377
3	40.309	0.0572	2.3036594	0.1316541	0.0032661	0.001867	3.0000107			40.45026
4	36.186	0.0624	2.1658515	0.1329385	0.003489	0.002204	3.0000133			36.13831
5	31.613	0.0635	2.0074295	0.1274715	0.0040323	0.0025669	3.0000163			31.61638

SUMA : 199.782 0.2860 11.3008774 0.6431555 0.0164574 0.0009528 0.0000555

PROGRAMA "MATRIZ"
 CALCULO DE LOS COEFICIENTES QUE REPRESENTAN LA CURVA
 CARGA-GASTO PARA EL POZO: BENITO JUAREZ OCHO
 SEGUNDO POLINOMIO

PARTE b.2

MATRIZ DE COEFICIENTES

MATRIZ DE COEFICIENTES			VECTOR DE TERMINOS INDEPENDIENTES	
5.0000000	0.28598100	0.01645741	199.78200	
0.28598100	0.01645741	0.00095278	11.30088	
0.01645741	0.00095278	0.00005548	0.64316	

MATRIZ INVERSA

MATRIZ INVERSA			VECTOR DE TERMINOS INDEPENDIENTES		RESULTADOS :	
7396.73125	-259819.29349	2267715.17639	199.78200		4.119696E+01	(a0)
-259819.29349	9154908.75285	-79835502.56103	11.30088		1.227833E+03	(a1)
2267715.17639	-79835502.56103	698339465.81898	0.64316		-2.170996E+04	(a2)

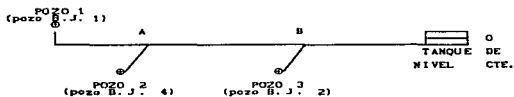
PROGRAMA "MATRIZ"
CALCULO DE LOS COEFICIENTES QUE REPRESENTAN LA CURVA
CARGA-GASTO PARA EL POZO: BENITO JUAREZ DCHO
SEGUNDO POLIMORFIO

PARTE b.3

Salida de Regresión:	
Constante	-0.000000
Err Estándar Est Y	0.119509
R Cuadrado	0.999750
Nº de Observaciones	5
Grados de Libertad	3
Coficiente(s) X	1.000000000004
Err Estándar de Coef.	0.009490889533

3.2.1.1 Archivo de datos para la red de pozos B.J. 1, 2 y 4

Viendo el esquema de la figura 2.5 y presentándolo aquí de una forma muy general se puede obtener lo siguiente:



1.- Primer renglón de datos

- 1) Número total de pozos: 3
- 2) Número de tubos: 5
- 3) Número de ramas para definir las envolventes de presión: 3
- 4) Número de divisiones para el tubo de menor longitud: 1

2.- Segundo renglón de datos

De acuerdo a la información obtenida en la Junta Intermunicipal de Agua Potable y Alcantarillado de Zacatecas en la Gerencia de Captación, en la Gerencia Técnica y además, de los aforos realizados a los pozos que componen el Sistema Benito Juárez fué posible armar las tablas 3.1 a 3.7. Se incluyen las figuras 3.1 a 3.14 que representan las diferentes curvas de cada pozo, tanto característica como la curva carga de bombeo-gasto.

Con la información obtenida, se armó el segundo renglón de la siguiente forma:

coef. del término primer grado del polinomio (a_0)	coef. del término segundo grado del polinomio (a_1)	coef. del término tercer grado del polinomio (a_2)
60.84074	-662.36920	5642.04400
78.22723	-1011.16400	4855.96900
60.99554	-1393.60200	10640.21000

coef. del término segundo grado del polinomio (a_0)	coef. del término tercer grado del polinomio (a_1)	coef. del término cuarto grado del polinomio (a_2)	valor absoluto de la desviación (m/a)
-13.23426	2777.48700	-34138.26000	0.043600
53.72017	670.77930	-20209.73000	0.046198
43.88682	-20.88447	-16274.10000	0.020800

3.- Tercer renglón de datos

Mti	Mtr	Tr	Np	Mnir	Mnfr	Cdp
1	1	1	1		1	2196.697
2	2	1	2		1	2205.666
3	3	5		1	2	
4	4	1	3		2	2215.011
5	5	6		2		

donde: Mti = número del tubo inicial de la rama
Mtr = número del tubo final de la rama
Tr = tipo de rama
Np = número del pozo
Mnir = número del nudo inicial de la rama
Mnfr = número del nudo final de la rama
Cdp = cota del cabezal de descarga del pozo (m)

Cabe señalar que al armar el archivo entre dato y dato se deja un espacio; al llegar a un renglón al que no sea necesario dar un determinado dato se recorrerán los demás cuando se escriba en el archivo; ejemplo.

Nti	Ntr	Tr	Np	Nnir	Nnfr	Cdp
1	1	1	1		1	2196.697
3	3	5		1	2	

Aquí se ve que falta el Nnir en el primer renglón y en el segundo falta Np y Cdp (estas diferencias son debidas a las características propias de cada rama que componen al sistema), sin embargo, al escribirlos en el archivo quedarán de la siguiente manera:

```

1 1 1 1 1 2196.697
3 3 5 1 2

```

4.- Cuarto renglón de datos

Juntando la información referente a esta parte del sistema se tiene la siguiente tabla:

TRAMO	LONGITUD	DIAMETRO	ESPESOR	MATERIAL	CELERIDAD CALCULADA
1	1011.75	0.250	0.0150	A-C,A-5	1015.819
2	34.00	0.200	0.0140	A-C,A-5	1056.708
3	1254.20	0.350	0.0200	A-C,A-5	1002.529
4	32.00	0.200	0.0140	A-C,A-5	1056.888
5	1305.80	0.450	0.0240	A-C,A-5	983.586

Tabla 3.8 -propiedades geométricas de la red de pozos Benito Juárez 1, 2 y 4

Observaciones

Cálculo de la celeridad

Para el cálculo de la celeridad se utilizó la siguiente fórmula:

$$a = \sqrt{\frac{1}{\rho_o \left(\frac{1}{k} + \frac{2c}{R} \right)}} \quad \dots (3.1)$$

donde:

a = celeridad [m/s]
 ρ_o = densidad del fluido.
 $\rho_o = \gamma/g$ [kgs²/m⁴]

$\gamma = 1000 \text{ kg/m}^3$
 $g = 9.81 \text{ m/s}^2$

k = es el módulo de compresibilidad volumétrica del fluido. En el trabajo se tomó:

Presión	Módulo de compresibilidad
(kg/cm ²)	volumétrica del agua
	K (kg/m ³)

1 a 20°C, k = 2.243 x 10¹¹

c = es una constante que depende del espesor de la pared del tubo, de su radio interior R, del módulo de Young E y del coeficiente de Poisson ν de la tubería y también del tipo de amarre que ésta tenga. En el trabajo se consideró una tubería de pared delgada, de espesor e, con juntas de expansión que eliminen las tensiones axiales, así, esta constante describirá el comportamiento elástico de la tubería.

$$c = R^2/Ee$$

si la tubería fuera rígida $c = 0$

R = radio interior de la tubería (m)

E = módulo de elasticidad, en el caso de Asbesto-Cemento $E = 330,000 \text{ Kg/cm}^2$. Para

PVC, $E = 2.81 \times 10^4 \text{ Kg/cm}^2$

e = espesor de la tubería (m)

al utilizar $c = R^2/Ee$ y sustituir en (3.1), ésta queda

$$a = \sqrt{\frac{1}{\rho_0 \left(\frac{1}{k} + \frac{2R}{Ee} \right)}} \quad \dots (3.2)$$

Cálculo de pérdidas de energía:

Ecuación de Darcy-Weisbach

El coeficiente de fricción es la variable de diseño que permite calcular las pérdidas de energía en el escurrimiento por un conducto. Se ha determinado que en el diseño de conductos a presión de sistemas de agua potable, para obtener las pérdidas de energía se utilice el modelo de Darcy-Weisbach; esto se debe a:

- El modelo de Darcy-Weisbach tiene un fundamento teórico, respecto al esfuerzo cortante entre la pared de la tubería y el líquido, así como a la viscosidad del mismo.

- Su rango de aplicación no se restringe a las variables experimentales de Hazen-Williams y Manning.

- Este modelo considera a los tres tipos de regímenes de flujo (laminar, transición y turbulento), lo cual no ocurre con el modelo empírico de Hazen-Williams.

La fórmula para el cálculo de pérdidas por fricción en el diseño de conductos a presión para agua potable es:

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} \dots (3.3)$$

donde:

- h_f = Pérdida de energía por "fricción", en m
- f = Coeficiente de "fricción", adimensional
- L = Longitud de la tubería, en m
- D = Diámetro interno del tubo, en m
- v = Velocidad media, en m/s
- g = Aceleración de la gravedad; en m/s²

Para encontrar el valor del coeficiente de fricción "f", se usa la fórmula:

$$\frac{1}{f} = -2 \log \left(\frac{c}{3.71 D} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right) \dots (3.4)$$

donde:

- f = Coeficiente de "fricción", adimensional
- c = Rugosidad, en mm. Se presenta a continuación una tabla que muestra algunos de los valores de la rugosidad.

MATERIAL	c en mm
Cobre,PVC,poliétileno de alta densidad	0.0015
Hierro fundido	0.005 a 0.013
Acero	0.04 a 0.10
Asbesto cemento	0.025
Concreto	0.16 a 2.0

Nota: -Para hierro fundido nuevo el valor de c será de 0.005; cuando se use hierro fundido oxidado será de 0.010.
 -Con concreto liso el valor de c será de 0.16; si se tiene concreto áspero c será de 2.0.

Tabla 3.9 Rugosidad c de algunos materiales

Re = Número de Reynolds, adimensional. El número de Reynolds está dado por la expresión

$$Re = \frac{vD}{\nu} \quad \dots (3.5)$$

donde:

v = Velocidad media en el conducto, en cm/s

D = Diámetro interno del tubo, en mm

ν = Viscosidad cinemática del agua, en cm^2/s . La viscosidad cinemática del agua para una temperatura de $20^\circ C$ es de $1 \times 10^{-6} m/s^2$.

La gráfica que relaciona a estas expresiones se le conoce como Diagrama de Moody.

Ecuación modificada de Colebrook-White

Debido a la dificultad que presenta la ecuación de Colebrook-White para obtener el valor de f , se utilizará la ecuación de Swamee y Jain que arroja resultados muy similares a los de la ecuación de Colebrook-White, esta es:

$$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{\left(\frac{e}{D} \right)}{3.71} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2} \quad \dots (3.6)$$

donde:

e = Rugosidad del material de la tubería, en m

D = Diámetro interior de la tubería, en m

Re = Número de Reynolds, adimensional

Para poder utilizar la expresión (3.6) y hallar el Número de Reynolds utilizamos la ecuación (3.5); sustituyendo en esta expresión el valor de la velocidad media en el conducto la cual se expresará en función del gasto y el área del conducto como:

$$v = \frac{4 Q}{\pi D^2} \dots (3.7)$$

Así, conocido el gasto que lleva el conducto en el sistema y que en este caso se propone para iniciar el cálculo, la expresión (3.5) queda:

$$Re = \frac{4 Q}{\pi D \nu} \dots (3.8)$$

Una vez encontrado el valor de f , se puede armar el cuarto renglón de la siguiente forma:

longitud del tubo (m)	diámetro del tubo (m)	cantidad de curvas	coef. de fricción de Darcy-Weisbach	tipo de extremo	single final
1011.75	0.250	1015.819	0.0158		2
34.00	0.200	1056.588	0.0155		2
1254.20	0.350	1002.488	0.0147		2
32.00	0.200	1056.588	0.0155		2
1305.80	0.450	983.586	0.0142		0

5.- Quinto renglón de datos

Como se mencionó en el capítulo 2 de esta tesis, en este renglón se definen que ramas son empleadas para determinar las envolventes de presión; en este caso, para la figura 2.5 las ramas que se utilizarán son la 1, 3 y 5. Para la figura 2.6 serán las ramas 2,4,5 y 7.

6.- Sexto renglón de datos

Valor inicial de la carga piezométrica al inicio de la rama. (m)	Valor inicial del gasto, al inicio de la rama. (m ³ /s)
2218.601	0.05
2218.601	0.05
2218.601	0.10
2218.601	0.05
2218.601	0.15

Los valores de las cargas piezométricas al inicio de cada rama son igual a la carga estática del tanque de nivel constante, los gastos de operación son los recomendados, según la información recabada para cada pozo. (Estos valores son propuestos para iniciar la solución del sistema de ecuaciones para flujo permanente).

- Séptimo renglón de datos

La carga piezométrica en el tanque principal de carga constante es: 2218.601 m

- Octavo renglón de datos

El tiempo de simulación de transitorio hidráulico propuesto es de ciento veinte segundos, tiempo que se considera suficiente para estudiar el fenómeno en cuestión, si este tiempo no fuera suficiente o se excediera, se está en libertad de modificarlo.

El número de intervalos de tiempo para escribir los resultados se escogió de veinte.

Número de intervalos (Δx) para escribir resultados en el archivo correspondientes a las envolventes de presión es igual a uno.

Los valores antes propuestos son el resultado del análisis que se hizo en cuanto a capacidad de memoria y disponibilidad de espacio del equipo de cómputo con el cual se contó para realizar el trabajo así como al estudio de los componentes del sistema.

El tipo de archivo de resultados requeridos, viendo el capítulo 2, en su parte referente a la estructura del archivo de datos, lleva a asignarle el número cero.

- Noveno renglón de datos

Determinación del intervalo Δt y Δx

El modelo numérico para la simulación de transitorios está formado por el sistema de ecuaciones características que describen el comportamiento ondulatorio en los puntos interiores de las tuberías junto con los modelos numéricos de los distintos dispositivos hidromecánicos que pueden colocarse entre dos tuberías o en los extremos de la conducción. El incremento de tiempo Δt , entre dos instantes sucesivos de integración del modelo numérico, intervienen explícitamente tanto en el sistema de ecuaciones características correspondientes a los puntos interiores de las tuberías como en los modelos de algunos dispositivos hidromecánicos, por lo que la elección de este parámetro influirá en ambas partes del modelo.

Una línea de conducción puede estar formada por tramos de tubería de diferentes valores en longitud, diámetro, material y celeridad. Para la simulación numérica de transitorios por el método de las características es necesario dividir cada tramo de tubería en un número entero de elementos, cada uno de longitud Δx .

Δt es directamente proporcional a la distancia entre dos puntos consecutivos de la tubería (Δx), en los que se calcula la evolución temporal de gastos y presiones, así

$$\Delta x = c \Delta t \dots (3.9)$$

donde:

c = Celeridad del movimiento ondulatorio.

Cuanto menor es Δt , menor es Δx y con ello será necesario considerar más puntos a lo largo de la tubería; igualmente, cuanto menor sea Δt , mayor es el tiempo de proceso para simular el transitorio deseado.

Así, con lo antes expuesto, da como resultado la determinación del paso de integración:

- 1.- Seleccionar el tamaño de Δx ; según la precisión deseada en el trazo de las envolventes de piezométricas máximas y mínimas.
- 2.- Cuando la conducción esté formada por varios tramos, asegurar que el Δx es mayor que o igual a la longitud del tramo más corto.
- 3.- Asegurar también que por el Δx elegido no se sature la capacidad de memoria de la computadora o la capacidad en memoria reservada en el programa.
- 4.- Calcular Δt como:

$$\Delta t = \frac{1}{c} \Delta x \dots (3.10)$$

- 5.- Verificar que Δt sea suficientemente pequeño para simular el comportamiento dinámico de los dispositivos hidromecánicos colocados a lo largo de la conducción.

En caso contrario, si la capacidad de memoria lo permite, deberá hacerse más pequeño, modificando Δx .

- 6.- Estimar el tiempo y el costo de proceso de la simulación a realizar. Si el valor de estos parámetros es alto y si la longitud del tramo más corto y la dinámica de los dispositivos hidromecánicos lo permite, deberá aumentarse Δx y Δt .
- 7.- Una vez que se ha elegido Δt y se ha hecho el cálculo numérico éste deberá repetirse con un valor menor de Δt (por ejemplo: $\Delta t/2$) para comparar resultados; si el resultado obtenido no difiere significativamente del obtenido con el Δt elegido, se aceptará esta primer elección.

El número de elementos en que se divide cada uno de los tramos de tubería se calcula redondeando al entero más próximo el valor del cociente $N_i = l_i / (c_i \Delta t) \dots (3.10)$.

donde:

$$N_i = \text{Entero más cercano a } \frac{l_i}{c_i \Delta t}$$

$c_i \Delta t = \Delta x_i$ para c_i original y Δt dado (en este caso $\Delta x_i = 1 \text{ m}$)

$l_i =$ Longitud del i -ésimo tramo de tubería
 $c_i =$ celeridad calculada

Determinado N_i , el tamaño de cada elemento del i -ésimo tramo de tubería (Δx_i) es:

$$\Delta x = \frac{l_i}{N_i} \dots (3.11)$$

Δx y Δt deben cumplir con la relación (3.9) en cada tramo de tubería, el valor de la celeridad en el i -ésimo tramo de tubería se tomará como

$$\bar{c}_i = \frac{\Delta x}{\Delta t} \dots (3.12)$$

Este cálculo puede diferir de la celeridad calculada -ó nominal- por la aproximación realizada en (3.10).

La diferencia entre \bar{c}_i y c_i es mayor cuanto mayor es el error entre el cociente $l_i/(c_i \Delta t)$ y N_i

$$\eta_i = \left| 1 - \frac{l_i}{N_i c_i \Delta t} \right| \dots (3.13)$$

Conviene que η_i sea lo más chico posible; η_i se anula cuando el cociente $l_i/(c_i \Delta t)$ es un número entero. Dicho cociente es un número entero cuando Δt es un divisor de l_i/c_i . (l_i/c_i) es el tiempo que tarda la onda en viajar de un extremo al otro del i -ésimo tramo de tubería).

En consecuencia, se recomienda que una vez evaluada la magnitud de Δt , se escoja del conjunto de divisores comunes de los cocientes l_i/c_i , para toda i (desde el primer tramo de tubería hasta el último), con el objeto de hacer $\eta_i = 0$ y $\bar{c}_i = c_i$ para todos los tramos de tubería.

Para la red de interconexión de los pozos Benito Juárez 1, 2 y 4, se tiene lo siguiente:

TRAMO	LONGITUD	CELERIDAD CALCULADA	Δt
1	1011.75	1015.819	0.9960
2	34.00	1056.708	0.0322
3	1254.20	1002.529	1.2510
4	32.00	1056.588	0.0303
5	1305.80	983.586	1.3276

donde:

$$\Delta t = \frac{\text{longitud del tramo}}{\text{celeridad calculada}} \Delta x_1$$

$\Delta x_1 = 1$ m. (distancia menor dada entre dos puntos de la línea en estudio).

Si se toma $\Delta t = \frac{\Delta t_{\text{menor}}}{2}$, esto con el fin de contar con suficiente memoria en la computadora que, como se observa, es una cuestión importante a tomarse a la hora de realizar la corrida de los archivos, además, con el fin de contar con resultados confiables, se propuso un Δt para iniciar los cálculos igual a: $\Delta t = 0.303/2 = 0.01515$ seg.

Considerando \bar{c}_1 y c_1 , se obtuvo que la diferencia entre ambos valores no es grande por lo que se aceptó el valor calculado c_1 , además, del conjunto de divisores comunes de los cocientes l/c_1 se vió que η_1 tiende a cero en todos los tramos del sistema, por lo que el Δt propuesto se considera adecuado.

Así, la información requerida para el noveno renglón queda:

tiempo de cierre de la válvula de la descarga de cada uno de los pozos en los que se tiene corte de bombeo. En este caso son tres pozos a considerar y el tiempo empleado para ellos es de 0.01515 segundos.

3.2.2 Procesamiento de la información

Una vez armado el archivo de datos se graba con un nombre no mayor de ocho caracteres y con la extensión ".DAT"; posteriormente se procede a armar un archivo que contendrá las características topográficas de la línea que servirá para definir las envolventes de presión, además de las características de las líneas restantes. Esta información se almacena en un archivo con la terminación ".PER"; este archivo está integrado

por la cantidad de tramos (Δx) en que se dividió la línea de conducción del sistema y auxiliará al archivo anterior ".DAT" en el análisis del transitorio.

3.2.3 Resultados obtenidos del estudio a la red de pozos Benito Juárez 1, 2, 4, 5, 6, 7 y 8

A continuación se presentan los archivos antes mencionados, además de los resultados obtenidos durante el análisis de transitorios del Sistema de pozos Benito Juárez presentado en tablas y figuras respectivas a dicho análisis para posteriormente entrar al Proyecto de Dispositivos de Control.

ARCHIVO PARA REALIZAR EL ANALISIS DE TRANSITORIOS
DE LA RED DE POZOS BENITO JUAREZ 1, 2 Y 4.

3 5 3 1							
60.841	-662.369	5642.044	-13.234	2777.487	-34138.260	0.044	
78.214	-1010.528	4848.952	53.720	670.779	-20209.730	0.046	
60.996	-1393.602	10640.210	43.887	-20.884	-16274.100	0.021	
1 1 1 1 1	2196.697						
2 2 1 2 1	2205.686						
3 3 5 1 2							
4 4 1 3 2	2215.011						
5 5 6 2							
1011.75	0.250	1015.819	0.0158	2			
34.00	0.200	1056.708	0.0155	2			
1254.2	0.350	1002.529	0.0147	2			
32.00	0.200	1056.588	0.0155	2			
1305.80	0.450	983.586	0.0142	0			
1 3 5							
2218.601	0.050						
2218.601	0.050						
2218.601	0.100						
2218.601	0.050						
2218.601	0.150						
2218.601							
120 20 1 0							
0.01515							
0.01515							
0.01515							

ARCHIVO PARA REALIZAR EL ANALISIS DE TRANSITORIOS
DE LA RED DE POZOS BENITO JUAREZ 5, 6, 7 Y 8.

4 8 4 1							
11.163	3093.284	-51640.880	12.525	2887.039	-47736.580	0.043	
80.314	-220.865	-8349.880	41.187	1227.833	-21709.960	0.051	
113.417	-1966.383	13364.360	66.959	408.566	-16595.910	0.045	
55.363	-642.497	769.257	1.097	1916.339	-28796.160	0.037	
1 1 1 3 2	2195.273						
2 2 1 2 1	2187.383						
3 3 1 3 1	2204.799						
4 4 5 1 2							
5 5 5 2 3							
6 7 4 3	2204.730						
8 8 6 3							
899.00	0.241	229.079	0.0148	2			
788.933	0.250	1064.015	0.0158	2			
40.00	0.250	1064.015	0.0158	2			
39.947	0.250	1064.015	0.0158	2			
2472.99	0.490	983.586	0.0142	2			
500.00	0.2374	270.073	0.0148	1			
954.00	0.241	229.079	0.0148	2			
65.00	0.500	987.006	0.0138	0			
2 4 5 7							
2218.651	0.050						
2218.651	0.050						
2218.651	0.100						
2218.651	0.150						
2218.651	0.050						
2218.651	0.200						
2218.651							
120 16 1 0							
0.0188							
0.0188							
0.0188							
0.0188							

TABLA 3.10
RED DE INTERCONEXIÓN DE LOS POZOS
BENITO JUÁREZ 1, 4 Y 2

Numero de pozos : 3
Numero de Ramas : 4
Numero de nodos : 5

TUBO	LONGITUD (m)	DIAMETRO (m)	CELERIDAD AJUSTADA (m/s)
1	1011.75	0.25000	1012.31
2	34.00	0.20000	1122.62
3	1254.20	0.35000	1010.04
4	32.00	0.20000	1056.59
5	1305.80	0.45000	979.90

RAMA #	PERDIDA DE CARGA POR FRICCIÓN	COEFICIENTE TOTAL DE
1	1.3525442763E+01	
2	1.3607610945E+02	
3	2.9004484003E+02	
4	1.2807162866E+02	
5	8.3027822743E+01	

NODO	TIPO	RAMAS DE ENTRADA	DE SALIDA
1	...UNION...	1	2
2	...UNION...	3	4

RAMAS INVERTIDAS DURANTE LA OPERACION NORMAL

Pozos que paran durante el transitorio :
rama tipo pozo : 1 se cierra en : 0.015150 seg.
rama tipo pozo : 2 se cierra en : 0.015150 seg.
rama tipo pozo : 4 se cierra en : 0.015150 seg.

TABLA 3 10 (Cont.)
 RED DE INTERCONEXION DE LOS POZOS
 BENITO JUAREZ 1, 4 Y 2

CONDICIONES A FLUJO ESTABLECIDO					
RAMA	TIPO	OPERACION TRANSIT.	GASTO (M ³ /S)	CARGAS	
				INICIAL (MCA)	FINAL (MCA)
1	POZO	... PARA ...	0.0581232	2229.57	2225.00
2	POZO	... PARA ...	0.0607767	2225.00	2225.00
3	POZO	... PARA ...	0.129000	2225.00	2220.90
4	POZO	... PARA ...	0.0474990	2221.19	2220.90
5	TANQUE	... DESCARGA ...	0.1663990	2220.90	2218.60

Delta t de : 0.030286 seg.

1	POZO	4	inicia	la	admisión	de	aire	en	t	==	0.000000
1	POZO	2	inicia	la	admisión	de	aire	en	t	==	0.000000
1	POZO	1	inicia	la	admisión	de	aire	en	t	==	0.060572
1	POZO	4	inicia	la	compresión	de	aire	en	t	==	14.688791
1	POZO	4	reinicio	la	admisión	en	t	==	14.719077		
1	POZO	4	reinicio	la	compresión	de	aire	en	t	==	14.840222
1	POZO	4	reinicio	la	compresión	de	aire	en	t	==	14.931080
1	POZO	4	reinicio	la	compresión	de	aire	en	t	==	14.931080
1	POZO	4	reinicio	la	admisión	en	t	==	14.961366		
1	POZO	2	reinicio	la	admisión	en	t	==	14.961366		
1	POZO	2	reinicio	la	compresión	de	aire	en	t	==	15.052225
1	POZO	4	reinicio	la	admisión	en	t	==	15.082511		
1	POZO	4	reinicio	la	compresión	de	aire	en	t	==	15.052225
1	POZO	4	reinicio	la	compresión	de	aire	en	t	==	15.173369
1	POZO	4	reinicio	la	compresión	de	aire	en	t	==	15.173369
1	POZO	2	reinicio	la	admisión	en	t	==	15.200356		
1	POZO	2	reinicio	la	compresión	de	aire	en	t	==	15.294514
1	POZO	2	reinicio	la	compresión	de	aire	en	t	==	15.294514
1	POZO	4	reinicio	la	admisión	en	t	==	15.322480		
1	POZO	4	reinicio	la	compresión	de	aire	en	t	==	15.400000
1	POZO	4	reinicio	la	compresión	de	aire	en	t	==	15.415659
1	POZO	4	reinicio	la	compresión	de	aire	en	t	==	15.415659
1	POZO	4	reinicio	la	admisión	en	t	==	15.445945		
1	POZO	4	reinicio	la	admisión	en	t	==	15.444954		
1	POZO	4	reinicio	la	admisión	en	t	==	15.444954		
1	POZO	1	inicia	la	compresión	de	aire	en	t	==	15.536803
1	POZO	1	inicia	la	compresión	de	aire	en	t	==	15.536803
1	POZO	1	inicia	la	compresión	de	aire	en	t	==	15.536803

FIG. 3.15
RED DE POZOS BENITO JUAREZ 1, 2 Y 4
CORTE DE BOMBEO EN LOS 3 POZOS

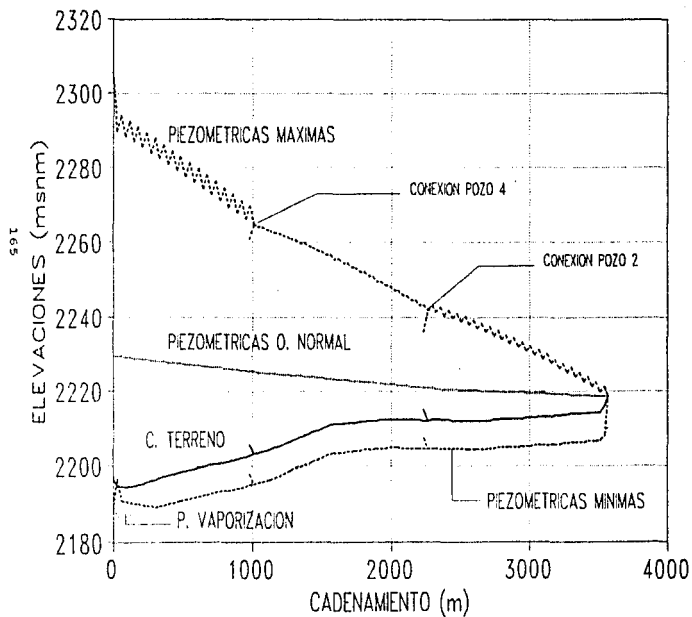
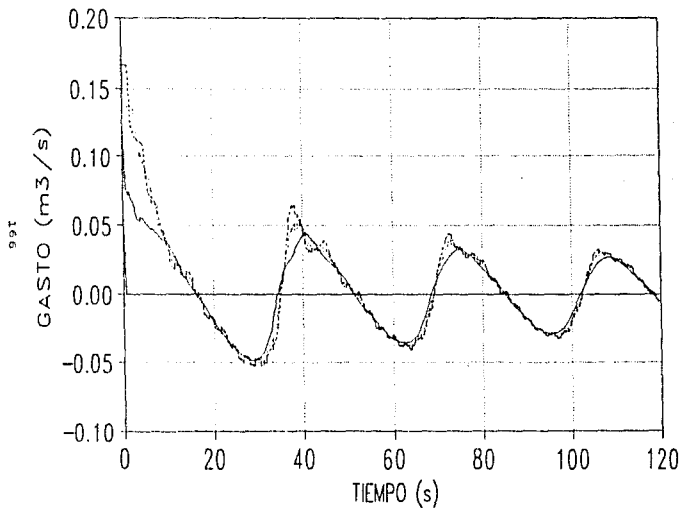


FIG. 3. 16
RED DE POZOS BENITO JUAREZ 1, 2 Y 4
VARIACION DEL GASTO EN EL TIEMPO



— NUDO 1 - - - NUDO 2 ···· TANQUE DE ENTREGA

FIG. 3.17
RED DE POZOS BENITO JUAREZ 1, 2 Y 4
VARIACION DE LA PRESION EN EL TIEMPO

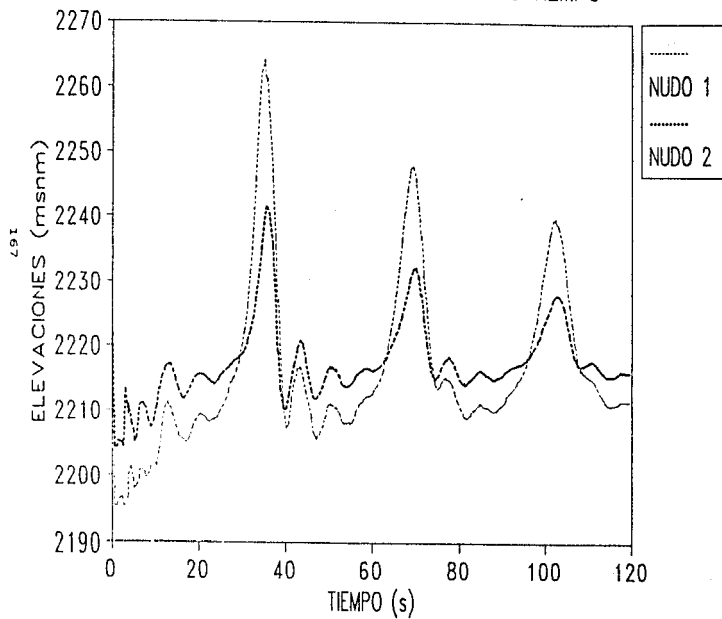


FIG. 3.18
RED DE POZOS BENITO JUAREZ 1, 2 Y 4
VARIACION DE LA PRESION EN EL TIEMPO

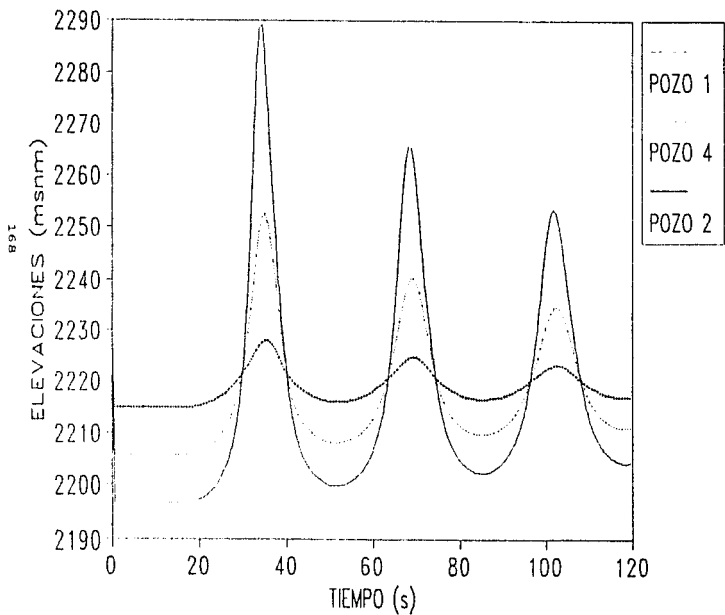


TABLA 3.11
RED DE INTERCONEXION DE LOS POZOS
BENITO JUAREZ 5, 6, 7 Y 8

Numero de pozos : 4
 Numero de ramas : 7
 Numero de nodos : 3
 Numero de tubos : 8

TUBO	LONGITUD (m)	DIAMETRO (m)	CELERIDAD AJUSTADA (m/s)
1	899.00	0.24100	228.05
2	798.93	0.25000	1064.01
3	40.00	0.25000	1065.43
4	19.95	0.25000	1064.01
5	2472.99	0.45000	983.13
6	500.00	0.23740	271.79
7	954.00	0.24100	228.92
8	65.00	0.50000	865.66

RAMA #	COEFICIENTE TOTAL DE PERDIDA DE CARGA POR FRICCIÓN
1	1.3522513649E+03
2	1.0680427539E+03
3	5.3473457921E+01
4	5.3402605589E+01
5	1.5724229358E+02
6	2.2458474119E+03
7	2.3717213091E+00

NODO	TIPO	RAMAS	
		DE ENTRADA	DE SALIDA
1	..UNION..	2	3
2	..UNION..	1	4
3	..UNION..	5	6

RAMAS INVERTIDAS DURANTE LA OPERACION NORMAL

Pozos que paran durante el transitorio :
 rama tipo pozo : 1 se cierra en : 0.018800 seg.
 rama tipo pozo : 2 se cierra en : 0.018800 seg.
 rama tipo pozo : 3 se cierra en : 0.018800 seg.
 rama tipo pozo : 6 se cierra en : 0.018800 seg.

TABLE 3.11 (Cont.)
RED DE INTERCONEXION DE LOS POZOS
BENITO JUAREZ 5, 6, 7 Y 8

CONDICIONES A FLUJO ESTABLECIDO					
				CARGAS	
RAMA	TIPO	OPERACION TRANSIT.	GASTO (M ³ /S)	INICIAL (MCA)	FINAL (MCA)
1	POZO 7	... PARA ...	0.0526807	2227.41	2223.66
2	POZO 8	... PARA ...	0.0570593	2227.95	2224.47
3	POZO 5	... PARA ...	0.0664062	2224.71	2224.47
4	NODO 1		0.1234654	2224.47	2223.66
5	NODO 2		0.1761461	2223.66	2218.78
6	POZO 6	... PARA ...	0.0540096	2225.33	2218.78
7	TANQUE	... DESCARGA ...	0.2301557	2218.78	2218.65

Delta t de : 0.037544 seg.

El pozo	5	inicia la admision de aire en t =	0.000000
El pozo	8	inicia la admision de aire en t =	0.075087
El pozo	6	inicia la admision de aire en t =	0.075087
El pozo	6	inicia la compresion de aire en t =	3.791908
El Pozo	6	reinicia admision en t =	3.829452
El pozo	6	inicia la compresion de aire en t =	3.942083
El Pozo	6	reinicia admision en t =	3.979626
El pozo	7	inicia la admision de aire en t =	4.054714
El pozo	6	inicia la compresion de aire en t =	4.092257
El Pozo	6	reinicia admision en t =	4.129801
El pozo	6	inicia la compresion de aire en t =	4.242432
El Pozo	6	reinicia admision en t =	4.279975
El pozo	6	inicia la compresion de aire en t =	4.392606
El Pozo	6	reinicia admision en t =	4.430150
El pozo	6	inicia la compresion de aire en t =	4.542781
El Pozo	6	reinicia admision en t =	4.580325
El pozo	6	inicia la compresion de aire en t =	4.692955
El Pozo	6	reinicia admision en t =	4.730499
El pozo	6	inicia la compresion de aire en t =	4.843130
El Pozo	6	reinicia admision en t =	4.880674
El pozo	6	inicia la compresion de aire en t =	4.993305
El Pozo	6	reinicia admision en t =	5.030848
El pozo	6	inicia la compresion de aire en t =	5.143479
El Pozo	6	reinicia admision en t =	5.181023
El pozo	6	inicia la compresion de aire en t =	5.293654
El Pozo	6	reinicia admision en t =	5.311197
El pozo	6	inicia la compresion de aire en t =	5.443828
El Pozo	6	reinicia admision en t =	5.481372
El pozo	6	inicia la compresion de aire en t =	5.594003
El Pozo	6	reinicia admision en t =	5.631547
El pozo	6	inicia la compresion de aire en t =	5.744177
El Pozo	6	reinicia admision en t =	5.781721
El pozo	6	inicia la compresion de aire en t =	5.894352

TABLA 3.11 (Cont.)
 RED DE INTERCONEXION DE LOS POZOS
 BENITO JUAREZ 5, 6, 7 Y 8

El Pozo	6	reinicia admision en t =	5.931896	
El pozo	6	inicia la compresion de aire en t =		6.044527
El Pozo	6	reinicia admision en t =	6.082070	
El pozo	8	inicia la compresion de aire en t =		7.996796
El Pozo	8	reinicia admision en t =	8.034340	
El pozo	8	inicia la compresion de aire en t =		8.146971
El Pozo	8	reinicia admision en t =	8.184514	
El pozo	8	inicia la compresion de aire en t =		8.297145
El Pozo	8	reinicia admision en t =	8.334689	
El pozo	8	inicia la compresion de aire en t =		8.447320
El Pozo	8	reinicia admision en t =	8.522407	
El pozo	8	inicia la compresion de aire en t =		8.597494
El Pozo	8	reinicia admision en t =	8.672582	
El pozo	8	inicia la compresion de aire en t =		8.747669
El Pozo	8	reinicia admision en t =	8.822756	
El pozo	8	inicia la compresion de aire en t =		8.860300
El Pozo	8	reinicia admision en t =	8.860300	
El pozo	8	inicia la compresion de aire en t =		8.897844
El Pozo	8	reinicia admision en t =	8.972931	
El pozo	8	inicia la compresion de aire en t =		9.010474
El pozo	5	inicia la compresion de aire en t =		9.949066
El Pozo	5	reinicia admision en t =	9.986609	
El pozo	5	inicia la compresion de aire en t =		10.099240
El Pozo	5	reinicia admision en t =	10.136784	
El pozo	5	inicia la compresion de aire en t =		10.249415
El Pozo	5	reinicia admision en t =	10.324502	
El pozo	5	inicia la compresion de aire en t =		10.399589
El Pozo	5	reinicia admision en t =	10.474677	
El pozo	5	inicia la compresion de aire en t =		10.549764
El Pozo	5	reinicia admision en t =	10.624851	
El pozo	5	inicia la compresion de aire en t =		10.662395
El Pozo	5	reinicia admision en t =	10.662395	
El pozo	5	inicia la compresion de aire en t =		10.699938
El Pozo	6	inicia la compresion de aire en t =		11.751160
El Pozo	6	reinicia admision en t =	11.788704	
El pozo	6	inicia la compresion de aire en t =		11.901335
El Pozo	6	reinicia admision en t =	11.938879	
El pozo	6	inicia la compresion de aire en t =		12.051510
El Pozo	6	reinicia admision en t =	12.089053	
El pozo	6	inicia la compresion de aire en t =		12.201684
El pozo	7	inicia la compresion de aire en t =		18.208667
El Pozo	7	reinicia admision en t =	18.246211	
El pozo	7	inicia la compresion de aire en t =		18.358842

FIG. 3.19
 RED DE POZOS BENITO JUAREZ 5, 6, 7 Y 8
 CORTE DE BOMBEO EN LOS 4 POZOS

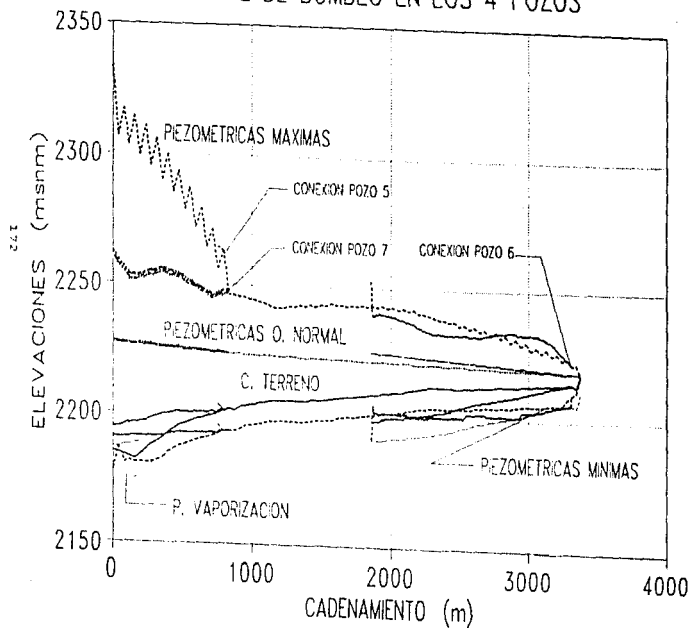


FIG. 3.20
RED DE POZOS BENITO JUAREZ 5, 6, 7 Y 8
VARIACION DEL GASTO EN EL TIEMPO

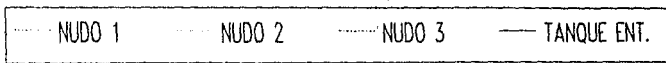
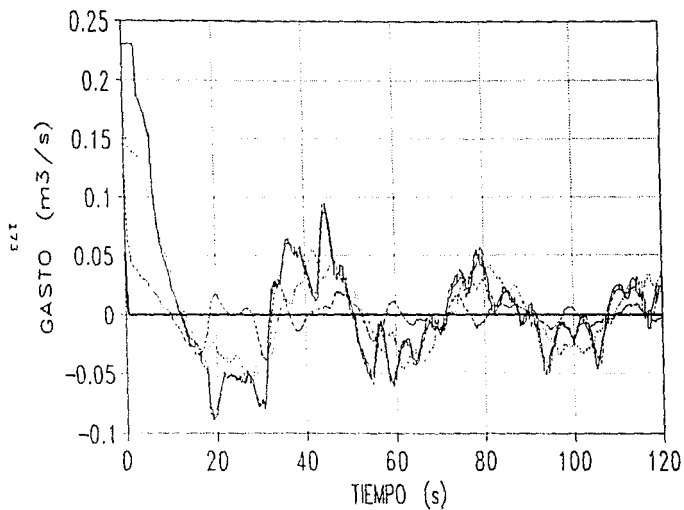


FIG. 3.21
RED DE POZOS BENITO JUAREZ 5, 6, 7 Y 8
CURVAS COTA PIEZOMETRICA-TIEMPO

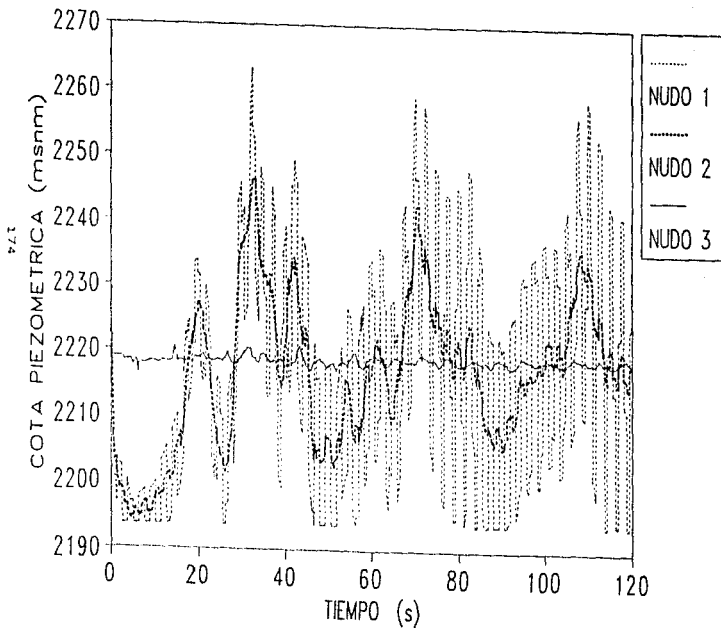
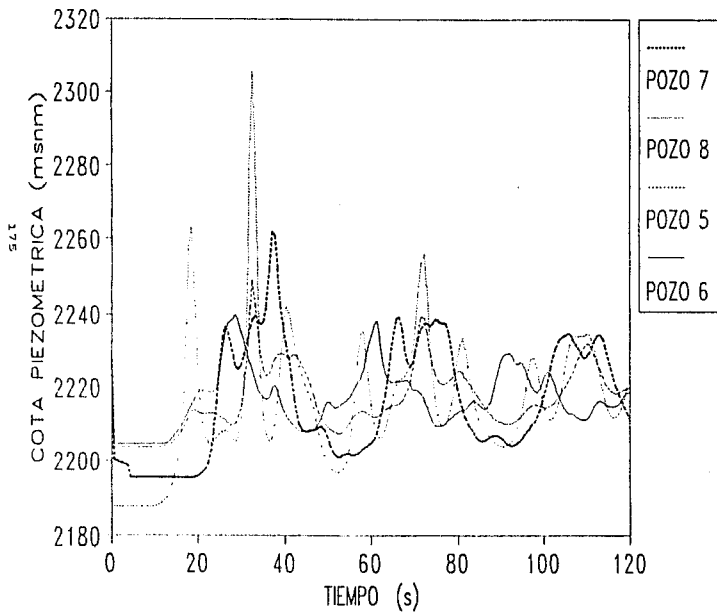


FIG. 3.22
RED DE POZOS BENITO JUAREZ 5, 6, 7 Y 8
CURVAS COTA PIEZOMETRICA-TIEMPO



4.- PROYECTO DE DISPOSITIVOS DE CONTROL

4.1 OBJETIVO

Una vez realizado el análisis a flujo establecido y transitorio de la red de pozos Benito Juárez y mostrados los resultados a los que se llegó, se procederá a interpretarlo y a definir la problemática encontrada para proponer la solución mas conveniente.

Así mismo, se realizará un análisis de transitorios de los componentes restantes del Sistema Benito Juárez como son la línea de conducción entre las estaciones del rebombero 1 (base 9) y el rebombero 2 (base 10), y la línea de conducción entre el rebombero 2 (base 10) y el tanque de cambio de régimen, proponiendo los dispositivos de control necesarios, que aseguren su buen funcionamiento.

4.2 DISPOSITIVOS DE CONTROL PARA LAS REDES DE INTERCONEXION DE LOS POZOS

Realizados los cálculos correspondientes a los archivos armados del Sistema Benito Juárez, se tiene con respecto a la red, como fuentes los pozos 1, 2 y 4. El examen de la figura 3.15 y de la tabla 3.10, estos indican que ante el corte accidental y simultáneo del bombeo en los tres pozos, en todas las ramas que la forman y prácticamente en toda la longitud de las mismas, se presentan presiones manométricas negativas de tal magnitud que el agua conducida a través de ellas pasa del estado líquido al estado gaseoso, situación que por la combinación de diámetro - espesor de las tuberías que forman tales ramas, no representa riesgo de que éstas se colapsen por aplastamiento.

Por otro lado, referente a las sobrepresiones relativas al proceso de compresión de las burbujas de vapor de agua, se determina que sólo habría riesgo de estallamiento en las líneas

con origen en los pozos 1 y 4, ya que ante el fenómeno analizado y teniendo en cuenta que ambas son de asbesto-cemento clase A-5, deberán recibir presiones mayores a la presión de trabajo de la tubería, en un máximo de 58.952 m.c.a. y 11.830 m.c.a. respectivamente, situación que puede ser solucionada con el aditamento de válvulas aliviadoras de presión.

La función principal de este tipo de válvulas es permitir la descarga a la atmósfera, de agua sometida a sobrepresión dentro de la tubería que la conduce; actúa con solo detectar una sobrepresión dentro de la línea, permitiendo la expulsión del agua hacia el exterior. En muchos casos posee sensores locales y remotos, que manejan señales de presión, gasto o nivel, para actuar previamente a la presencia de algún fenómeno diferente al deseado en condiciones normales de operación. El piloto de la válvula es hidráulico y acciona para abrir cuando la presión del fluido dentro de la tubería alcanza un valor no deseado (de sobrepresión) y opera para cerrar cuando se estabiliza. La válvula aliviadora de presión mantiene un balance interno (previamente calibrado) y cuando se altera este balance, originado por diferencia de presiones, el resultado se traduce en apertura o cierre de la misma; otro punto es que debido a que su instalación es al término de la tubería, normalmente no se considera su valor de caída de presión dentro de los cálculos de pérdidas totales (a diferencia de válvulas de flotador por ejemplo). Las principales ventajas de este tipo de válvulas son: acción rápida, operación remota, cierre hermético, facilidad de establecer la presión diferencial a la cual trabajará y es posible controlar la velocidad de apertura. Las desventajas son: instalación horizontal, espacio considerable para su montaje e instalación y requiere de válvula de seccionamiento antes de esta. En cuanto a su mantenimiento, este tipo de válvula es posible de ser reparada y desmantelada sin desmontarla de la línea de conducción para corregir problemas; generalmente requieren mantenimiento rutinario, la frecuencia del mismo va de acuerdo a la calidad de los componentes y accesorios propios de la válvula. La operación

de la válvula es mediante la presión diferencial entre la atmosférica y la sobrepresión dentro de la tubería. Cualquier variación del segundo parámetro hará que la válvula permita el paso del fluido. Estas válvulas tienen la ventaja de trabajar a distancias no necesariamente cercanas de los sistemas de bombeo, también son una alternativa segura para prevenir sobrepresiones, con consecuentes rompimientos o desprendimientos de los sistemas de tuberías.

Para la selección de este tipo de válvulas, se contó con información técnica de las mismas, así, se escogió la que fuera más adecuada para cada caso. Se muestra al final de este subcapítulo la memoria de cálculo para determinar el diámetro de las válvulas aliviadoras de presión en cada pozo; aquí, resumiendo: Para el pozo 1 resultó de 2" de diámetro, y para el pozo 4 de 1" de diámetro, dimensiones que, por la conveniencia de que la apertura de estas válvulas sea instantánea al corte de energía eléctrica, tendrán que cambiar a 4", debido a que tal coincidencia de instantes sólo es posible si las válvulas para alivio de presiones son operadas con válvulas solenoide, y 4" es el diámetro mínimo para aquéllas si se quiere contar con el control de apertura referido. Consecuentemente, si se opta por la solución expuesta, dado que el tren de descarga para los pozos 1 y 4 tiene un by-pass para alivio de presiones de 3" de diámetro, habrá que ajustarlo a 4" agregando una ampliación para recibir la válvula mencionada.

Los pozos 5, 6, 7 y 8 se revisaron de la misma forma (fig 3.19 y tabla 3.11), resultando presiones manométricas negativas similares a las descritas para la red de los pozos 1, 2 y 4. Para las sobrepresiones se determina que el riesgo de estallamiento se presentaría sólo en las líneas con origen en los pozos 7 y 8, ya que al estar construida la primera con tubos de PVC clase 5, y la segunda con tubos de asbesto-cemento A-7, resisten una presión inferior a la máxima calculada, la cual es rebasada en 23.508 m.c.a. y 78.521 m.c.a. respectivamente. Así, de acuerdo con la

memoria de cálculo anexa, para el pozo 7 se requiere una válvula aliviadora de presión de 2 1/2" de diámetro y para el pozo 8 una válvula de 2" de diámetro, dimensiones que tendrían que cambiarse a 4" si se desea la apertura instantánea con válvula de solenoide.

4.2.1 Memoria de cálculo para la determinación del diámetro de las válvulas aliviadoras de presión necesarias en los pozos del Sistema Benito Juárez

- Línea con origen en el pozo Benito Juárez 1

- . Máxima presión = 108.952 m.c.a.
- . Resistencia de la tubería = 50 m.c.a.
- . Presión de operación normal = 32.873 m.c.a.
- . $\Delta h = 108.952 - 50 = 58.952$ m.c.a.
- . $Q_{ext.} = \Delta h \frac{CA}{C}$; $Q_{ext.} = 58.952 \frac{9.81}{1015.819} \frac{\pi(0.250)^2}{4} = 0.028 \frac{m^3}{s}$
(164.042 ft, 443.857 GPM)

Con una válvula de alivio de cuerpo angular, modelo 20 WR y 2" Ø, para 164.042 ft es posible expulsar un gasto de 580 GPM que es mayor a 443.857 GPM.

- Línea para conexión del pozo Benito Juárez 4

- . Máxima presión = 61.830 m.c.a.
- . Resistencia de la tubería = 50 m.c.a.
- . Presión de operación normal = 22.054 m.c.a.
- . $\Delta h = 61.830 - 50 = 11.830$ m.c.a.

$$\begin{aligned}
 \cdot Q_{ext.} &= \Delta h \frac{gA}{C} ; Q_{ext.} = 11.830 \frac{9.81}{1056.708} \frac{\pi(0.200)^2}{4} = \\
 &= 0.003 \text{ m}^3/\text{s} \\
 &(164.042 \text{ ft}, 47.556 \text{ GPM})
 \end{aligned}$$

Con 164.042 ft, a través de una válvula de alivio de cuerpo angular, modelo 20 WR y de 1" de \emptyset , es posible expulsar 140 GPM que es mayor que 47.556 GPM.

- La línea para conexión del pozo Benito Juárez 2 no tiene problema por sobrepresión.

- Línea con origen en el pozo Benito Juárez 8

- . Máxima presión = 148.521 m.c.a.
- . Resistencia de la tubería = 70 m.c.a.
- . Presión de operación normal = 42.566 m.c.a.
- . $\Delta h = 148.521 - 70 = 78.521 \text{ m.c.a.}$
- . $Q_{ext.} = \Delta h \frac{gA}{C} ; Q_{ext.} = 78.521 \frac{9.81}{1064.015} \frac{\pi(0.250)^2}{4} =$
 $= 0.036 \text{ m}^3/\text{s}$
 (229.659 ft, 570.674 GPM)

Este punto sólo es posible localizarlo en la gráfica del modelo 20 WR de válvulas con cuerpo angular, aunque en términos estrictos no corresponde a ninguno de los diámetros ahí registrados. Así, si la horizontal correspondiente a 229.659 ft corta a la línea representativa de 2" de \emptyset , se deduce que el gasto descargado sería de aproximadamente 670 GPM, mayor que 570.674 GPM.

- Línea para conexión del pozo Benito Juárez 7

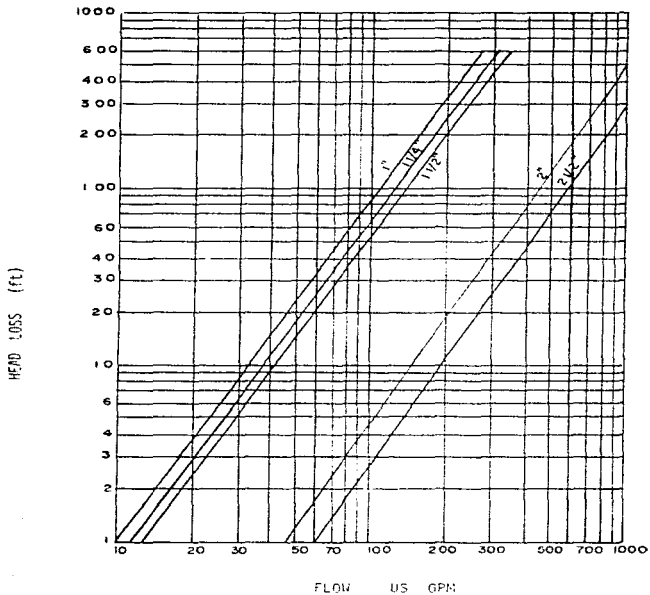
- . Máxima presión = 73.508 m.c.a.
- . Resistencia de la tubería = 50 m.c.a.
- . Presión de operación normal = 33.303 m.c.a.
- . $\Delta h = 73.508 - 50 = 23.508$ m.c.a.
- . $Q_{ext.} = \Delta h \frac{gA}{C}$; $Q_{ext.} = 23.508 \frac{9.81}{229.079} \frac{\pi(0.241)^2}{4} =$
 $= 0.046 \text{ m}^3/\text{s}$
(164.042 ft, 729.194 GPM)

Con una válvula de alivio de cuerpo angular, modelo 20 WR y 2 1/2" Ø, con 164.042 ft es posible expulsar 750 GPM > 729.194 GPM.

- Las líneas para conexión de los pozos Benito Juárez 5 y 6 no tienen problemas por sobrepresión.

FIG. 4.1

CURVAS DE PERDIDAS: VALVULA DE ALIVIO
DE CUERPO ANGULAR MOD. "ROSS" 20 WR.



4.3 ANALISIS DE TRANSITORIO EN TRAMO DEL REBOMBEO UNO AL REBOMBEO DOS

El criterio seguido para realizar este análisis está basado en el hecho de que el fenómeno transitorio producido por el paro accidental de una planta de bombeo se origina en la onda de depresión que genera ésta al irse deteniendo. De no existir algún dispositivo de control primario, esta onda avanzaría por el acueducto causando, en los puntos altos de la línea, depresiones que pueden colapsar la tubería, separar la columna líquida o introducir volúmenes importantes de aire que al ser expulsados, pueden producir fuertes aceleraciones del agua y el consiguiente golpe de ariete con origen en el punto de salida.

Para realizar el estudio de transitorios entre el Rebombeo uno y dos se estableció la relación existente de éste con los pozos Benito Juárez.

Como se ha mencionado, el sistema Benito Juárez está compuesto por 7 pozos en producción (pozos 1 a 8 excepto el 3 que es de observación), de los cuales el pozo 7 está equipándose para que empiece a operar.

Los 7 pozos descargan en el tanque de 500 m³ de capacidad del llamado Rebombeo Uno Benito Juárez (Base 9). Del rebombeo uno se envía el agua por bombeo al tanque de 1000 m³ de capacidad del llamado Rebombeo Dos Benito Juárez (Base 10), de donde se bombea nuevamente a un tanque de cambio de régimen de 250 m³ de capacidad.

El gasto que producen los 7 pozos en operación del Sistema Benito Juárez asciende a 350 l/s (gasto nominal), el cual fluctúa en base a la variación estacional de los niveles estático y dinámico de los pozos. En medición Pitométrica de Enero-Febrero de 1995 se determinó una producción de 292.78 l/s con los pozos 1

a 8 excepto 3 y 7; al ingresar el pozo Siete se incrementará el gasto a 343.18 l/s aproximadamente.

La estación de Rebombéo Uno dispone actualmente de 4 equipos con capacidad nominal de 90 l/s c/u, lo que representa un gasto nominal de 360 l/s, ligeramente superior al de los pozos. El gasto real, tomando en consideración las curvas de las bombas (fig. 4.2), las características de las tuberías y el desnivel entre obra de toma y descarga será de 348.02 l/s cuando trabajan los cuatro equipos (ver figura 4.3), lo que representa un diferencial de 4.84 l/s, que deberá ser regulado por el tanque de 500 m³ de capacidad (4.84 l/s = 418.2 m³/día), ya que es un diferencial menor al 2%.

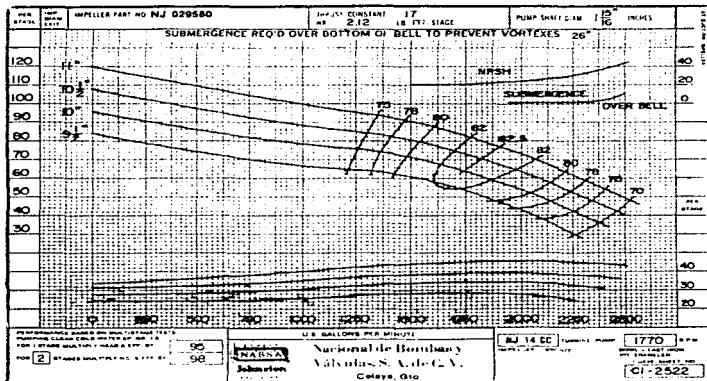
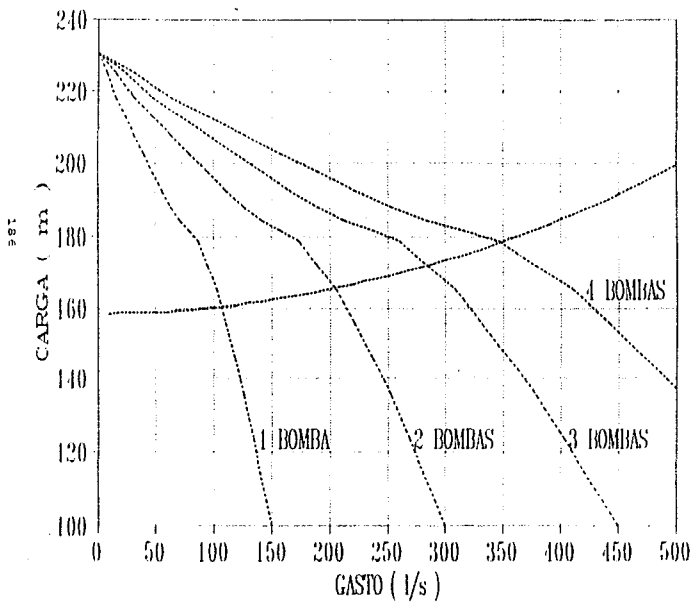


FIG. 4.2 CURVAS CARACTERISTICAS DEL EQUIPO DE BOMBEO
 INSTALADO EN EL REBOMBEO I DEL SISTEMA BENITO JUAREZ

FIG. 4.3

ACUEDUCTO BENITO JUAREZ - ZACATECAS
REHOMBEO 1



Para la determinación de lo anterior se procedió a acotar las condiciones operativas del acueducto que une ambos rebombos, estimando las pérdidas de carga en la línea con la fórmula de Darcy-Weisbach

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

donde: h_f = pérdida de carga por fricción, en m.
 f = Coeficiente de fricción, adimensional
 L = longitud de la tubería, en m.
 D = diámetro de la tubería, en m.
 V = velocidad media del flujo, en m/s
 g = aceleración de la gravedad, en m/s²

el coeficiente "f" se determinó en base a la expresión de Swamee y Jain

$$f = 0.25 / \{ \log [(c/D)/3.71 + 5.74/(Re^{0.9})] \}^2$$

donde: c = rugosidad absoluta del tubo, en mm
(0.1 mm en acero; 0.025 mm en asbesto-cemento)
 Re = Número de Reynolds, adimensional

La topografía de la línea de presión entre los rebombos uno y dos presenta un terreno plano en los primeros 4 km y lomerío de medio a fuerte el resto de la línea (1.7 km). Las clases de tubería se obtuvieron de información proporcionada por el organismo operador.

Con la información del gasto producido por el rebombos uno, la tubería existente y el desnivel entre ambos extremos de la tubería, se procedió a analizar el fenómeno transitorio factible de presentarse en el caso extremo de un paro súbito de los cuatro equipos de bombeo en condiciones actuales.

Para el análisis se determinó el coeficiente de pérdidas en las válvulas en base a gráficas que relacionan gasto y pérdida de carga para diferentes diámetros de válvulas de retención. El momento de inercia de los equipos de bombeo existentes no se dispone, por lo que se evaluó con las siguientes expresiones empíricas:

DONSKY:

$$WR^2 = 150 (P/N)^{1.435} \dots \dots \dots (4.1)$$

donde: WR^2 = momento de inercia de la masa giratoria (bomba, motor y fluido), en Kg-m^2
 P = potencia del motor, en HP
 N = velocidad de rotación, en RPM

THORLEY:

$$WR^2 = I_b + I_m \dots \dots \dots (4.2)$$

$$I_b = 0.03768 [P/(N^3)]^{0.9556} \dots \dots \dots (4.3)$$

$$I_m = 0.0043 [P/N]^{1.48} \dots \dots \dots (4.4)$$

$$P = \rho g Q H / (1000 \eta) \dots \dots \dots (4.5)$$

donde: I_b = momento de inercia de la bomba, en Kg-m^2
 I_m = momento de inercia del motor, en Kg-m^2
 P = potencia, en kW
 N = velocidad de rotación, en miles de RPM
 ρ = densidad del fluido, kg/m^3
 g = aceleración de la gravedad, en m/s^2
 Q = gasto de la bomba, en m^3/s
 η = eficiencia de la bomba, en decimal
 H = carga dinámica total de operación, en m

Aplicando ambos criterios se seleccionó el más desfavorable, el cual resultó ser el de Thorley.

La celeridad en los diferentes tramos en base a su material y diámetro interior se valuó con la expresión...

$$a = \{ 1 / [\rho_0 (1/K + 2C/R)] \}^{0.5}$$

donde: a = celeridad, en m/s
 ρ_0 = densidad de referencia, del agua en $\text{kg s}^2/\text{m}^4$
 K = módulo de compresibilidad volumétrica del agua, en kg/m^2
 C = constante $\approx R^2 / Ee$
 R = radio interior de la tubería, en m.
 E = módulo de elasticidad del material con que está hecha la tubería, en kg/m^2
 e = espesor de la tubería, en m

El resultado del análisis de transitorio se presenta en la fig. 4.4 y en la tabla 4.1, apreciándose que la presión máxima positiva será la cota 2510.4 m (29.58 kg/cm²) en el punto de descarga de las bombas, cuando que la presión máxima en operación corresponde a la cota 2394.11 m (17.95 kg/cm²).

Las presiones mínimas cortan el perfil del terreno en el tramo comprendido entre 2+900 y 5+740 y corta el perfil de presión de vaporización entre los cadenamientos 3+200 y 5+550, lo que representa succión en la tubería que producirá un aplastamiento de la misma.

FIG. 4.4

SISTEMA DE POZOS BENITO JUAREZ
REBOMBEO 1 AL 2 (Q=348 l/s S/ESTRUCT.)

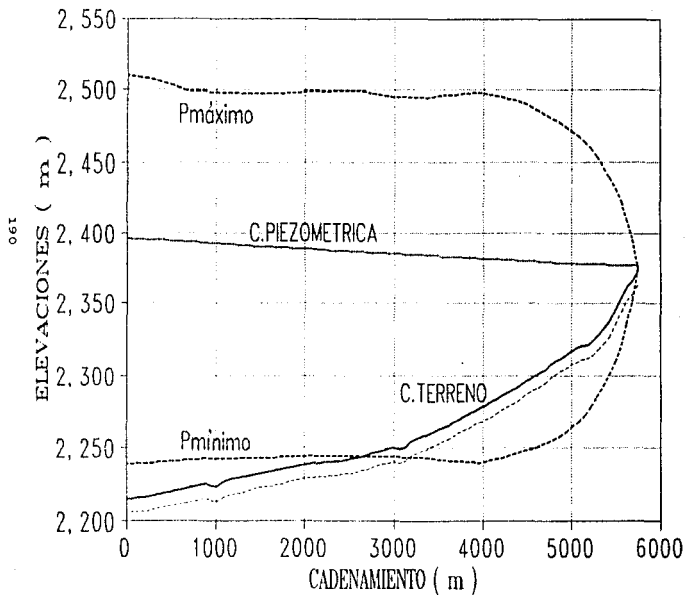


TABLA 4.1
REBOMBEO 1 A REBOMBEO 2, C O = 348 L/S S/ESTRUCTURA)

NUMERO DE TUBOS : 5
 NUM DE DIV EN EL ULTIMO TUBO : 5
 IMPRESION CADA : 50 DT
 GASTO EN OPERACION : .34802 M3/S
 TIEMPO DE SIMULACION : 600,000 SEG
 SINGULARIDAD INICIAL : -2
 POSICION DEL TANQUE DE SUCCION : .000 M
 NIVEL DE SUCCION : 2217,938 M

NUMERO DE BOMBRAS EN PARALELO : 4
 NUM. DE VALVULAS QUE NO CIERRAN: 0

VALVULAS DE RETENCION EN LA DESCARGA
 COEFICIENTE DE PERDIDA DE LAS VALVULAS 4.445220

NUMERO DE PUNTOS EN LA CURVA CARACTERISTICA = 19
 INTERVALO ANG. PARA ALMAC. DE LA CURVA CARAC. = 15.
 GASTO DE REFERENCIA = .0870 M3/S
 PRESION DE REFERENCIA = 178.3447 M
 VELOCIDAD DE REFERENCIA = 1770.0000 RPM
 EFICIENCIA DE BOMBEO = .7700
 MOMENTO DE INERCIA = 5.7049 KG-M2

PRESION CARACTERISTICA

-.574	-.403	.033	-.494	.964	1.232	1.498	1.452	1.418	1.366
1.250	1.105	.972	.780	.539	.425	.385	.268	.161	

MOMENTO CARACTERISTICO

-1.053	-.310	.197	.500	.681	.782	.790	.845	.926	1.221
1.422	1.394	1.262	1.078	.660	.352	-.130	-.659	-1.208	

# DE TUBO	LONGITUD (M)	DIAM (M)	VEL. DE ONDA (M/S)	FACTOR DE FRIC.	TIPO DE SING.
1	174.0	.59	1143.3	.0262	-1
2	3200.0	.60	1042.8	.0261	-1
3	480.0	.60	1156.6	-.0173	-1
4	140.0	.60	1049.8	-.0173	-1
5	180.0	.60	960.1	.0173	-1

INCREMENTO DE TIEMPO : .062 SEG

# DEL TUBO	AJUSTE	VEL. DE ONDA (M/S)
1		1160.1
2		1045.0
3		1097.2
4		1120.1
5		960.1

TABLA 4.1 (Cont.)
REBOMBEO 1 A REBOMBEO 2, (Q = 348 l/m S/ESTRUCTURA)

PRESTIONES AL INICIO DE CADA TUBO:

2394.1110000 2387.7490000 2376.7350000 2375.6640000
 2375.3510000

HRES = 2217.938 H

HRES = 2374.949 H

# DEL TUBO	PRESTION MAX. M	PRESTION MIN. M
1	2510.4	2237.9
2	2497.6	2243.0
3	2473.9	2260.9
4	2439.8	2301.1
5	2422.4	2322.8

Determinado lo anterior se procedió a analizar diversos dispositivos para evitar en lo posible las presiones mínimas por debajo del perfil de presión de vaporización y de ser posible que estas presiones queden por encima del perfil del terreno.

Se analizaron dos dispositivos: Tanque de oscilación y cámara de aire.

4.3.1 Tanque de oscilación

Es un dispositivo de alivio que puede utilizarse en una planta de bombeo para reducir el efecto producido por el golpe de ariete. Al haber un paro repentino en la planta de bombeo producido ya sea por una interrupción del suministro de energía eléctrica o alguna falla mecánica de alguna de las bombas, ante la reducción de carga en la planta, el nivel del agua en el tanque desciende y da lugar a una disminución en la variación del gasto en la tubería de descarga, disminuyendo también el valor de la depresión en la tubería; posteriormente, cuando se invierte el flujo en la tubería y cierra la válvula check (de no retorno), el nivel del agua en el tanque empieza a subir y se transforma la energía reduciéndose con esto el valor de la sobrepresión en la bomba y en la tubería de descarga.

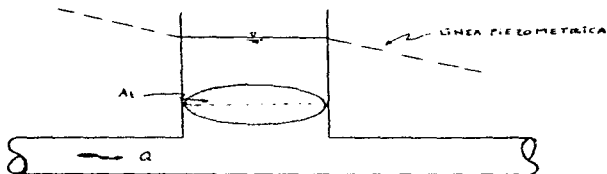


Fig. 4.5 Esquema de un tanque de oscilación

El área del tanque de oscilación "A." es mayor que el área de la tubería; la relación entre estas dos áreas debe ser lo suficientemente grande como para que los movimientos verticales del agua en el tanque, durante el fenómeno transitorio tengan aceleraciones despreciables frente al gradiente hidrostático que es la aceleración de la gravedad, esto es, se trata de que el tanque de oscilación trabaje como un tanque de carga constante durante el transitorio hidráulico, esto implica que la onda incidente se refleje completamente y que la tubería que sale del tanque y en la cual no se produce la perturbación se mantenga como zona no perturbada.

Las ventajas encontradas a este dispositivo de control es el que no requiere de mantenimiento mecánico, otra es que el fenómeno del golpe de ariete no afecta el tramo de aguas abajo lo cual evita instalar otros dispositivos secundarios. Sus desventajas: Su coronamiento debe estar por encima del nivel de la piezométrica para gasto máximo en el punto donde se coloque el tanque, y su desplante debe estar por debajo de la piezométrica correspondiente al gasto nulo para que no se vacíe; otra es que castiga el tramo entre la planta de bombeo y el tanque, requiriéndose en dicho tramo analizar la resistencia de las tuberías a las sobrepresiones, también puede observarse que este dispositivo castiga a las máquinas que deberán soportar fuertes velocidades en reversa.

Teniendo una visión general del comportamiento de un tanque de oscilación, para que este opere adecuadamente en caso de ser requerido como dispositivo de control en una planta de bombeo, se puede señalar lo siguiente: Este dispositivo actúa reflejando la onda de depresión como onda de sobrepresión. Si el dispositivo se encuentra a una distancia tal que la onda reflejada llega a la planta de bombeo mientras la presión sigue cayendo, la onda reflejada detiene la caída disminuyendo la magnitud de la onda de depresión generada por el paro; de esta manera, el tanque de oscilación deberá estar situado lo mas cerca posible de la planta

de bombeo ya que el efecto del golpe de ariete será de una intensidad mayor en el tramo de la conducción comprendido entre el tanque y la válvula de no retorno.

Tomando en consideración estos aspectos y considerando la pendiente de ascenso al rebombado, se analizó la posibilidad de ubicar un tanque elevado de entre 20 y 30 m de altura en las cercanías del punto de descarga, a fin de disminuir el efecto de las presiones mínimas respecto del perfil del terreno. El resultado, aunque indica mejoras en el comportamiento del sistema, no es el necesario para resolver el problema, por lo que fue desechado (ver fig. 4.6 y tabla 4.2.; Para un gasto inferior a 300 l/s sí es solución).

Con la propuesta anterior se plantean diversas alternativas para obtener una solución adecuada, pero la estructura necesaria deberá tener más de 50 m de altura, disminuir el gasto sensiblemente y con ello reducir la eficiencia de los equipos de bombeo ya que para que la piezométrica sea regulada por un tanque de más de 50 m en el sitio seleccionado, la carga a vencer por los equipos será mayor y con ello el gasto disminuye y la eficiencia también.

FIG. 4.6

SISTEMA DE POZOS BENITO JUAREZ

REBOMBEO 1 A TANQUE ELEVADO

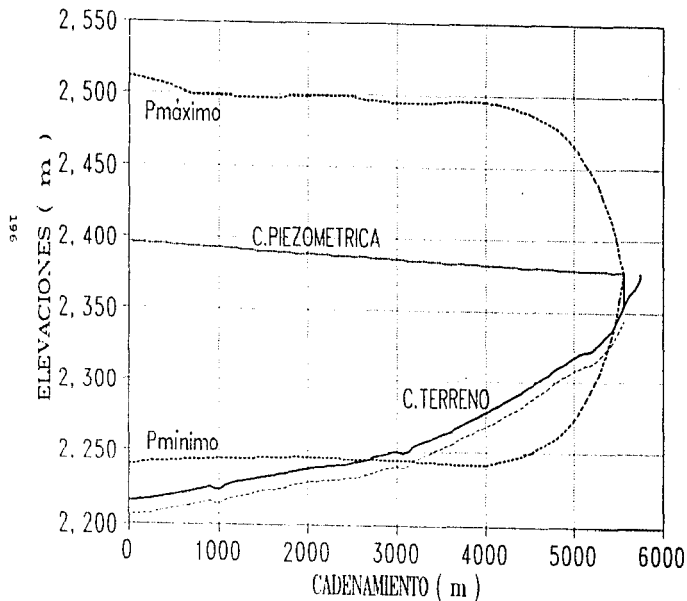


TABLE 4.2

REBOMBEO 1 A TANQUE ELEVADO

NUMERO DE TUBOS : 4
 NUM DE DIV EN EL ULTIMO TUBO : 3
 IMPRESION CADA : 16 DT
 GASTO EN OPERACION : .34802 M3/S
 TIEMPO DE SIMULACION : 120.000 SEG
 SINGULARIDAD INICIAL : -2
 POSICION DEL TANQUE DE SUCCION : .000 M
 NIVEL DE SUCCION : 2217.938 M

NUMERO DE BOMBAS EN PARALELO : 4
 NUM. DE VALVULAS QUE NO CIERRAN: 0

VALVULAS DE RETENCION EN LA DESCARGA
 COEFICIENTE DE PERDIDA DE LAS VALVULAS 4.445220

NUMERO DE PUNTOS EN LA CURVA CARACTERISTICA = 19
 INTERVALO ANG. PARA ALMAC. DE LA CURVA CARAC. = 15.
 GASTO DE REFERENCIA = .0070 M3/S
 PRESION DE REFERENCIA = 178.3447 M
 VELOCIDAD DE REFERENCIA = 1770.0000 RPM
 EFICIENCIA DE BOMBEO = .7700
 MOMENTO DE INERCIA = 11.0710 KG-M2

PRESION CARACTERISTICA

- .574	- .403	.033	.494	.964	1.232	1.498	1.452	1.418	1.366
1.250	1.105	.972	.750	.589	.425	.385	.268	.161	

MOMENTO CARACTERISTICO

-1.053	-.310	.197	.500	.681	.782	.790	.845	.926	1.221
1.422	1.394	1.262	1.078	.860	.352	-.130	-.659	-1.208	

DE TUBO LONGITUD DIAM. VEL. DE ONDA FACTOR DE FRIC. TIPO DE SING.

# DE TUBO	LONGITUD (M)	DIAM. (M)	VEL. DE ONDA (M/S)	FACTOR DE FRIC.	TIPO DE SING.
1	1740.0	.59	1143.3	.0262	-1
2	3200.0	.60	1042.8	.0261	-1
3	480.0	.60	1136.6	.0173	-1
4	140.0	.60	1049.8	.0173	-1

INCREMENTO DE TIEMPO : .004 SEG

DEL TUBO AJUSTE VEL. DE ONDA

# DEL TUBO	AJUSTE VEL. DE ONDA (M/S)
1	1151.3
2	1043.3
3	1079.8
4	1049.8

TABLA 4.2 (Cont.)
RESOMBO 1 A TANQUE ELEVADO

PRESIONES AL INICIO DE CADA TUBO:

2394.1110000 2387.7490000 2376.7350000 2375.6640000

HRES = 2217.938 M

HRES = 2375.351 M

# DEL TUBO	PRESION MAX. M	PRESION MIN. M
1	2494.1	2242.5
2	2491.0	2245.8
3	2440.9	2303.0
4	2396.8	2351.7

Por lo antes expuesto se desechó la solución y se analizó la instalación de un dispositivo, el cual por las características del perfil sería una cámara de aire.

4.3.2 Cámara de aire

Es un dispositivo para el control de las oscilaciones de carga originados en una planta de bombeo al presentarse un corte en el suministro de la energía eléctrica; esta se ubica generalmente muy cerca, aguas abajo de una válvula de no retorno colocada en la tubería de descarga.

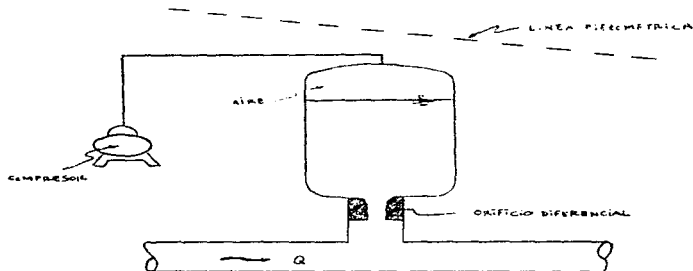


Fig. 4.7 Esquema de una cámara de aire

La parte inferior de la cámara contiene agua, mientras que la parte superior contiene aire que, para las condiciones de flujo permanente inicial, se encuentra comprimido bajo la carga de operación normal y almacena energía en forma análoga a la de un resorte. Cuando ocurre el corte en el suministro de energía eléctrica, la presión en las bombas disminuye, el aire se expande y el agua sale de la cámara a través de un orificio situado en el fondo de la misma reduciendo con esto el cambio de velocidad y la

caída de carga en la tubería, en otras palabras, para la cámara de aire interesa que la comunicación entre el agua almacenada en la misma y el acueducto introduzca las menores pérdidas posibles cuando el flujo es de la cámara al acueducto, por ejemplo. El coeficiente de pérdida de carga dependerá del sentido del flujo.

Así, la cámara de aire controla el transitorio hidráulico producido por el paro de la planta de bombeo reduciendo la variación de gasto $Q(t)$ después del paro accidental. Antes del paro accidental el gasto Q que entra a la tubería es igual a Q_1 gasto entregado por la bomba, ocurrido el paro accidental, cuando cae la piezométrica y la cámara expulsa el gasto $Q_2(t)$ entonces el gasto que entra a la tubería es $Q(t) = Q_1(t) + Q_2(t)$. Derivando respecto al tiempo se tiene:

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{dQ_1}{dt} + \frac{dQ_2}{dt}$$

siendo: $\frac{dQ_1}{dt} < 0$ (Q_1 decreciente)
 $\frac{dQ_2}{dt} > 0$ (Q_2 creciente)

así, se tiene : $\left| \frac{dQ}{dt} \right| < \left| \frac{dQ_1}{dt} \right|$ lo que indica que la variación absoluta por unidad de tiempo del gasto que entra a la tubería es menor que la variación absoluta por unidad de tiempo del gasto que sale de la bomba.

La acción de una cámara de aire al reducir $\frac{dQ}{dt}$ respecto al que produce la bomba, reduce la amplitud de la perturbación de presión correspondiente.

Las ventajas encontradas a una cámara de aire como dispositivo principal o primario para el control del golpe de ariete son:

- 1- Reduce a voluntad la magnitud de la onda de depresión que se produce luego del paro accidental de las bombas.
- 2- Su efecto sobre la onda no depende de la cota inicial de la superficie libre del agua dentro de la cámara.
- 3- El volúmen de agua quieta existente dentro de la cámara, es sustancialmente menor que en un tanque de oscilación o unidireccional, así, en zonas con clima frío es más sencillo evitar la congelación mediante calentamiento.
- 4- La cámara de aire 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; esto facilita su mantenimiento, alimentación de aire comprimido y calentamiento si fuese necesario.

Los problemas más significativos que presenta la cámara de aire son:

- 1- La cámara de aire debe ser abastecida constantemente con pequeñas dosis de aire comprimido para reemplazar el que se disuelve en el agua y por tanto requiere disponer de compresores para mantener ese colchón de aire necesario, esto implica agregar, en la planta de bombeo, nuevos equipos para darle mantenimiento.
- 2- El orificio diferencial habitualmente se construye mediante válvulas de retención, lo que implica que estas válvulas reciban mantenimiento para así asegurar su correcta operación.
- 3- La cámara de aire reduce, pero no suprime, la onda de depresión, ésta viaja en dirección aguas abajo; según sea la topografía, puede hacer necesaria la implementación de otros dispositivos de control secundarios, como pueden

ser otras cámaras de menor volúmen o tanques unidireccionales o de oscilación.

Entre los tipos de cámaras de aire se encuentran las cámaras con superficie libre, en las cuales el gas está en contacto con la superficie libre del agua, este contacto propicia la disolución del aire según la "ley de Henry" $p = Hx$ donde p es la presión absoluta del aire expresada en atmósferas, x la fracción molar del aire en el agua y H es una constante de proporcionalidad expresada en atmósferas por unidad de concentración molar del aire en el agua.

Otro tipo son las cámaras con membrana -como su nombre lo indica tienen una membrana en su interior de hule o neopreno- y separan el gas del agua, esto permite conservar el gas pues no hay pérdidas por solución en el agua, no requieren de compresor para su alimentación; habitualmente trabajan con gas nitrógeno provisto por tanques a alta presión conectados a la cámara mediante una válvula reductora de presión para así mantener la presión en la cámara aún cuando haya pequeñas fugas de gas a la atmósfera; pueden ser colocadas en lugares aislados y el intervalo para el cambio del tanque de nitrógeno puede ser de meses. Son de pequeño volúmen pues la membrana debe acompañar el movimiento de la superficie libre del agua, son utilizadas usualmente para evitar depresiones en tramos cortos.

La ubicación de la cámara de aire de proyecto se determinó a 180 m de la estación del bombeo uno, determinando los diversos parámetros necesarios para su simulación.

Con los parámetros determinados se realizó un análisis considerando esta estructura, resultando que la piezométrica máxima será la 2424.28 y las presiones mínimas no cortan el perfil del terreno con lo que se puede asegurar que no existirá aplastamiento de la tubería por este fenómeno (ver fig. 4.8 y tabla 4.3).

FIG. 4.8

SISTEMA DE POZOS BENITO JUAREZ
REBOMBEO 1 AL 2 CON CAMARA DE AIRE

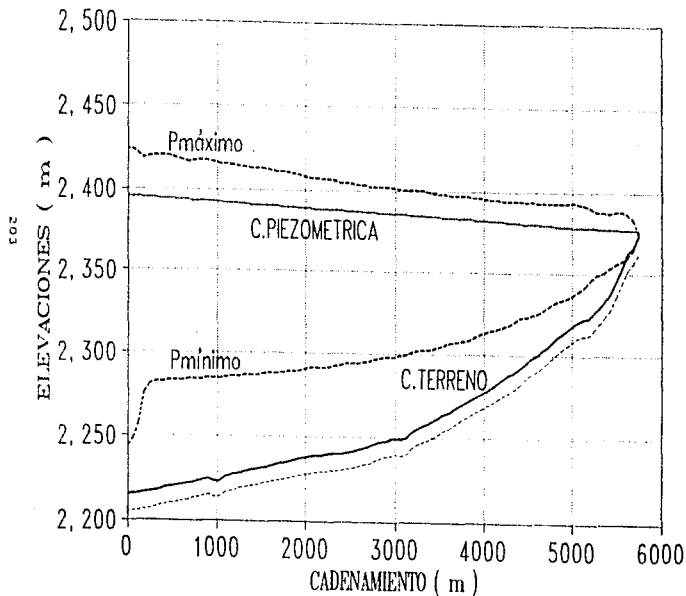


TABLA 4.3
REBOMBEO 1 A 2 CON CAMARA DE AIRE

NUMERO DE TUBOS : 6
 NUM DE DIV EN EL ULTIMO TUBO : 3
 IMPRESION CADA : 50 DT
 GASTO EN OPERACION : 34602 M3/S
 TIEMPO DE SIMULACION : 120.000 SEG
 SINGULARIDAD INICIAL : -2
 POSICION DEL TANQUE DE SUCCION : .000 M
 NIVEL DE SUCCION : 2217.938 M

NUMERO DE BOMBAS EN PARALELO : 4
 NUM. DE VALVULAS QUE NO CIERRAN: 0

VALVULAS DE RETENCION EN LA DESCARGA
 COEFICIENTE DE PERDIDA DE LAS VALVULAS 4.445220

NUMERO DE PUNTOS EN LA CURVA CARACTERISTICA = 19
 INTERVALO ANG. PARA ALRAC. DE LA CURVA CARAC. = 15.
 GASTO DE REFERENCIA = .0870 M3/S
 PRESION DE REFERENCIA = 178.3447 M
 VELOCIDAD DE REFERENCIA = 1770.0000 RPM
 EFICIENCIA DE BOMBEO = .7700
 MOMENTO DE INERCIA = 5.7649 KU-M2

PRESION CARACTERISTICA

-.574 -.403 .033 .494 .964 1.232 1.498 1.452 1.418 1.366
 1.250 1.105 .972 .780 .509 .425 .385 .268 .161

MOMENTO CARACTERISTICO

-1.053 -.310 .197 .500 .681 .782 .790 .845 .926 1.221
 1.422 1.394 1.262 1.078 .600 .352 -.130 -.659 -1.208

# DE TUBO	LONGITUD (M)	DIAM (M)	VEL. DE ONDA (M/S)	FACTOR DE FRIC.	TIPO DE BING.
1	180.0	.59	1143.3	.0262	-3
2	1560.0	.59	1143.3	.0262	-1
3	3200.0	.60	1042.8	.0261	-1
4	480.0	.60	1136.6	-.0173	-1
5	140.0	.60	1049.8	-.0173	-1
6	180.0	.60	960.1	-.0173	-1

K.SAL	V.AIRE	AREA	H.AGUA	K.ENT	LONG.CONEX.	DIAM.CONEX.
.0100	1.3000	1.1300	2223.6700	4000.0000	10.0000	.4500

INCREMENTO DE TIEMPO : .062 SEG

TABLA 4.3 (Cont.)
REBOMBEO 1 A 2 CON CAMARA DE AIRE

# DEL TUBO	AJUSTE	VEL. DE ONDA (M/S)
1		960.1
2		1134.6
3		1045.0
4		1097.2
5		1120.1
6		960.1

PRESIONES AL INICIO DE CADA TUBO:

2394.1110000	2393.4530000	2387.7490000	2376.7350000
2375.6640000	2375.3510000		

HRES = 2217.938 M

HRES = 2374.949 M

# DEL TUBO	PRESION MAX. M	PRESION MIN. M
1	2424.3	2244.2
2	2418.6	2276.1
3	2410.8	2288.0
4	2392.9	2334.9
5	2387.0	2353.7
6	2388.3	2358.2

Este análisis involucra una cámara de aire con geometría definida, volumen de aire determinado y coeficientes de pérdida por llenado y vaciado.

Una vez definida la necesidad de una cámara de aire como estructura necesaria para el control del fenómeno transitorio para el tramo entre los rebombes uno y dos del Sistema Benito Juárez, y por el efecto de planicie del primer tramo de la línea en cuestión, se definió la estación de bombeo, en un tramo recto, a la distancia en que no se presentan perturbaciones propias de la obra de toma.

Se determinó una cámara de superficie libre, determinando el gasto de aire y la geometría en base al gasto de operación, el desnivel estático y expresiones establecidas; con los datos anteriores se realizó la corrida del acueducto con el dispositivo (fig. 4.8 y tabla 4.3) obteniéndose un resultado favorable. Con lo anterior se procedió al diseño funcional de la cámara, tal y como se presenta a continuación.

MEMORIA DE CALCULO DE CAMARA DE AIRE PARA
 SISTEMA BENTO JUAREZ, TRAMO REBOSCO LINO AL DOS
 ZACATECAS-GUADALUPE, ZAC.

HOJA 1

DATOR DE PROYECTO DE LA CAMARA :

GASTO (Qo) 0.3480 m³/s
 CARGA EN OPERACION A VENCER (Hr) 176.75 m
 PRESTION ATMOSFERICA (Pa) 10.00 m
 PRESTION ABSOLUTA (Po) 186.75 m

CARACTERISTICAS DEL ADUODUCTO:

TRAMO	DIAM ² m	LONG. (L) m	E	ESPESOR m	CELER.(c) m/s	VEL m/s	Re	Epsilon mm	f Darcy
1	0.5906	1,740.0	2.1E+10	0.0095	1,143.232	1.270	742,805	0.1	0.0147
2	0.5969	3,200.0	2.1E+10	0.0064	1,044.804	1.244	734,965	0.1	0.0167
3	0.6000	480.0	3.3E+09	0.0600	1,136.560	1.231	731,167	0.025	0.0130
4	0.6000	140.0	3.3E+09	0.0420	1,049.829	1.231	731,167	0.025	0.0130
5	0.6000	180.0	3.3E+09	0.0300	960.068	1.231	731,167	0.025	0.0130

SUMA 5,740.0
 PROM 0.5954 m => AT = 0.2784 m² 1,079.780

DETERMINACION DEL VOLUMEN DE AIRE (Vo) = (2 L Qo) / (c_a [(Po/Pmfn)^{1/1.2} - 1]) =

Pmfn 39 m Vo = 1.376 m³

VOLUMEN ENTREGADO (Ve) = Vo [(Po/Pmfn)^{1/1.2} - 1] = 3.6999 m³ => He = 3.24

EL DIAMETRO DE LA CAMARA (Dc) = [(4/pi) Vo]^{1/3} = 1.2056 m

EL AREA DE LA CAMARA (Ac) = (pi/4) Dc² = 1.1416 m²

EL PERIODO DE LA CAMARA (Tc) = 2pi [(g AT / L Ac) (1 + Po (Ac/Vo))^{1/2}]^{-1/2} =
 Tc = 24.6465 seg

COEF. DE LLENADO (Kll) = (Dc + Pa - Pmfn)³ [Tc / (2Dz (Vmax - Vmfn))]² =
 Kll = 1.145 minimo

EL COEF. DA VACIADO (Kv) = 1.06

DISENO DE LAS PLACAS DE ORIFICIO EN LA RAMA DE LLENADO A LA CAMARA DE AIRE

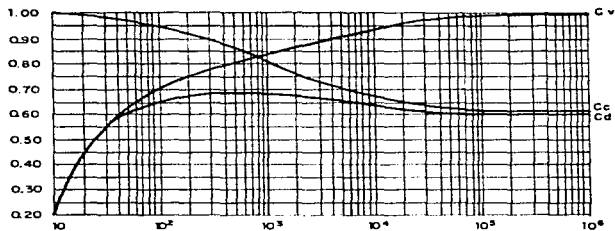
DISENO POR LLENADO

Dt = 0.4922 m Kllr = 994
 Do = 0.1450 m Ht = 31.49 m
 Q = 0.1500 m³/s qv = 0.15 m³
 Vt = 0.7883 m/s kv = 1.32
 BETA = 0.2946 qv = 0.15 m³
 E = 1.0038 ht = 0.0334 m
 Re = 386,183

REVISION POR VACIADO

L1 L2
 Dt = 0.4922 0.4922 m
 Do = 0.1450 m
 Q = 0.0044 0.1456 m³/s
 Vt = 0.0232 0.7651 m/s
 BETA = 0.2946
 E = 1.0038
 R = 11,313.7

0.033373



DONDE:

C_v = COEFICIENTE DE VELOCIDAD

C_c = COEFICIENTE DE CONTRACCION

C_d = COEFICIENTE DE GASTO

Re = NUMERO DE REYNOLDS

$$Re = \frac{VD}{\nu} = \frac{\sqrt{2gHD}}{\nu}$$

FIG. 4.9 VARIACION DE LOS COEFICIENTES DE VELOCIDAD CONTRACCION Y GASTO CON EL NUMERO DE REYNOLDS EN UN ORIFICIO CIRCULAR

TABLE 4.4 Orifice plate with corner tappings; flow coefficient =

Re D	β									
	5x10 ⁻³	10 ⁻⁴	2x10 ⁻⁴	3x10 ⁻⁴	5x10 ⁻⁴	7x10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	3x10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷
0.23	0.602 1	0.600 5	0.599 5	0.599 2	0.598 9	0.598 7	0.598 6	0.598 3	0.598 2	0.598 2
0.24	0.602 8	0.601 0	0.600 0	0.599 6	0.599 2	0.599 1	0.598 9	0.598 7	0.598 5	0.598 5
0.26	0.604 4	0.602 3	0.601 0	0.600 5	0.600 1	0.599 8	0.599 7	0.599 7	0.599 2	0.599 1
0.28	0.606 3	0.603 7	0.602 2	0.601 6	0.601 0	0.600 8	0.600 6	0.600 2	0.600 0	0.599 9
0.30	0.608 4	0.605 4	0.603 5	0.602 8	0.602 2	0.601 9	0.601 6	0.601 2	0.601 0	0.600 8
0.32	0.610 9	0.607 2	0.605 1	0.604 2	0.603 5	0.603 1	0.602 8	0.602 3	0.602 1	0.601 9
0.34	0.613 6	0.609 4	0.606 8	0.605 9	0.605 0	0.604 6	0.604 3	0.603 6	0.603 3	0.603 2
0.36	0.616 7	0.611 8	0.608 9	0.607 8	0.606 7	0.606 3	0.605 9	0.605 2	0.604 8	0.604 6
0.38	0.620 1	0.614 5	0.611 2	0.609 9	0.608 7	0.608 2	0.607 7	0.608 9	0.605 5	0.605 3
0.40	0.624 0	0.617 6	0.613 8	0.612 3	0.611 0	0.610 4	0.609 8	0.608 9	0.608 5	0.608 2
0.42	0.628 3	0.621 0	0.616 7	0.615 0	0.613 5	0.612 8	0.612 2	0.611 2	0.610 7	0.610 4
0.44	0.633 0	0.624 8	0.619 9	0.618 1	0.616 4	0.615 6	0.614 9	0.613 7	0.613 2	0.612 8
0.46	0.638 2	0.629 0	0.623 6	0.621 5	0.619 6	0.618 7	0.618 0	0.616 6	0.616 0	0.615 7
0.48	***	0.633 8	0.627 7	0.625 3	0.623 2	0.622 2	0.621 4	0.619 9	0.619 2	0.618 8
0.50	***	0.639 0	0.632 2	0.629 6	0.627 2	0.626 1	0.625 2	0.623 5	0.622 7	0.622 3
0.52	***	0.644 7	0.637 2	0.634 3	0.631 7	0.630 5	0.629 4	0.627 6	0.626 7	0.626 2
0.54	***	0.651 1	0.642 7	0.639 5	0.636 7	0.635 3	0.634 2	0.632 1	0.631 2	0.630 6
0.56	***	0.658 1	0.648 9	0.645 3	0.642 2	0.640 7	0.639 4	0.637 2	0.636 1	0.635 5
0.58	***	0.665 8	0.655 7	0.651 8	0.648 3	0.646 6	0.645 3	0.642 8	0.641 6	0.641 0
0.60	***	0.674 3	0.663 2	0.658 9	0.655 0	0.653 2	0.651 7	0.649 0	0.647 7	0.647 0
0.62	***	0.683 6	0.671 4	0.666 7	0.662 5	0.660 5	0.658 8	0.655 9	0.654 5	0.653 7
0.64	***	0.693 9	0.680 5	0.675 4	0.670 8	0.668 6	0.666 8	0.663 5	0.662 0	0.661 1
0.65	***	0.699 4	0.685 4	0.680 0	0.675 2	0.672 9	0.671 1	0.667 6	0.666 0	0.665 1
0.66	***	0.705 2	0.690 6	0.684 9	0.679 9	0.677 5	0.675 5	0.671 9	0.670 3	0.669 3
0.67	***	0.711 3	0.695 0	0.690 1	0.684 8	0.682 3	0.680 3	0.676 5	0.674 8	0.673 8
0.68	***	0.717 7	0.701 7	0.695 5	0.690 0	0.687 4	0.685 2	0.681 3	0.679 5	0.678 9
0.69	***	0.724 4	0.707 7	0.701 2	0.695 5	0.692 7	0.690 5	0.685 4	0.684 5	0.683 4
0.70	***	0.731 5	0.714 0	0.707 3	0.701 2	0.698 4	0.696 0	0.691 7	0.689 7	0.688 6
0.71	***	0.738 9	0.720 6	0.713 6	0.707 3	0.704 3	0.701 8	0.697 3	0.695 2	0.694 1
0.72	***	0.746 8	0.727 7	0.720 3	0.713 7	0.710 6	0.708 0	0.703 3	0.701 1	0.699 9
0.73	***	0.755 1	0.735 1	0.727 4	0.720 5	0.717 2	0.714 5	0.709 6	0.707 3	0.706 0
0.74	***	0.763 8	0.742 9	0.734 9	0.727 6	0.724 2	0.721 4	0.716 2	0.713 8	0.712 5
0.75	***	0.773 1	0.751 2	0.742 8	0.735 2	0.731 6	0.728 7	0.723 3	0.720 8	0.719 4
0.76	***	0.782 9	0.760 0	0.751 2	0.743 3	0.739 5	0.736 4	0.730 8	0.728 2	0.725 7
0.77	***	0.793 4	0.769 4	0.760 1	0.751 9	0.747 9	0.744 7	0.738 8	0.736 0	0.734 5
0.78	***	***	0.779 3	0.769 7	0.761 0	0.756 8	0.753 5	0.747 3	0.744 4	0.742 8
0.79	***	***	0.790 0	0.779 8	0.770 7	0.766 4	0.762 9	0.756 4	0.753 3	0.751 6
0.80	***	***	0.801 4	0.790 7	0.781 2	0.776 6	0.772 9	0.766 1	0.762 9	0.761 2

DE fig 4.9

Cc = 0.6040
 Ao = 0.0165 m²
 Vo = 9.0838 m³/s
 Dh = 11.4413 m

DE TABLA 4.4

ALFA = 0.6000
 Dw = 10.3087
 Kv = 0.3000
 Htot = 31.4865 m
 Hv = 0.0095 m
 Hpl = 31.4769 m
 Ho Pl = 3
 Hv = 0.0095 m
 Hpl = 30.9261 m
 Htot = 30.9356

DE fig 4.9

Cc = 0.6400
 Ao = 0.0165 m²
 Vo = 0.2675 m³/s
 Dh = 0.0088 m

DE TABLA 4.4

ALFA = 0.6040
 Dw = 0.0080
 Kvr = 0.80
 Hpl = 0.0239 0.0000 m
 Hvr = 0.0000 0.0239 m
 Hv = 0.0095 0.0095 m
 Htot = 0.0334 0.0334 m

POR LO QUE LAS PLACAS DE ORIFICIO SERAN SIETE, CON D_{OR} = 0.145 m

DETERMINACION DEL COMPRESOR PARA LA CAMARA DE AIRE :

CONSUMO DE AIRE (Qa) = (P1 H(D1) .00000131 Ac1 / (Po H(Do)) =

P1 = 182.0 m H(D1) = 0.000664 (20 grados C)
 Po = 65.0 m H(Do) = 0.000607 (15 grados C)

Qa = 4.58E-06 m³/s = 0.000162 ft³/s

CONSUMO DE AIRE POR HORA 0.0165 m³ = 0.5823 ft³
 CONSUMO DE AIRE POR 4 HORAS 0.0660 m³ = 2.3292 ft³
 CONSUMO DE AIRE POR 8 HORAS 0.1319 m³ = 4.6583 ft³
 CONSUMO DE AIRE POR DIA 0.3957 m³ = 13.9750 ft³

VOLUMEN DE AIRE DE DISEÑO (Vo) = 1.37 m³ ⇒ Po = 18.20 Kg/cm²AJUSTANDO EL VOLUMEN DE AIRE CADA 4 HORAS SE TIENE
VOLUMEN DE AIRE = Vo - 0.0658 = 1.3040 m³ ⇒ Po = 19.309 Kg/cm²AJUSTANDO EL VOLUMEN DE AIRE CADA 8 HORAS SE TIENE
VOLUMEN DE AIRE = Vo - 0.1316 = 1.2381 m³ ⇒ Po = 20.550 Kg/cm²AJUSTANDO EL VOLUMEN DE AIRE CADA DIA SE TIENE
VOLUMEN DE AIRE = Vo - 0.3947 = 0.9743 m³ ⇒ Po = 27.397 Kg/cm²

TOMANDO EN CUENTA LO ANTERIOR, SE SELECCIONA UN COMPRESOR PARA TRABAJAR A UNA PRESION DE 20.5 Kg/cm², QUE PRODUZCA UN VOLUMEN DE AIRE MINIMO DE 1.0 ft³/min, OPERANDOSE CADA 4 HORAS Y DISPONIENDO DE UN TANQUE PARA 151 LT (40 GAL) A MISMA PRESION.

DATOS DE DISEÑO DE LA CAMARA DE AIRE

DIAMETRO INTERIOR (DI)	1.181 m =	3.875 ft =	46.496 in
RADIO (RI) = DI/2	0.591 m =	1.937 ft =	23.248 in
ALTURA ENTRE TANGENTES (Ht)	3.406 m =	11.175 ft =	134.094 in = 4.8 psi
NIV. OPERACION MAXIMO (Ma)	2.506 m =	8.222 ft =	98.661 in = 3.6 psi
PRESION DE DISEÑO (Po)	24.480 Kg/cm ² =	348.2 psi	
TEMPERATURA DE DISEÑO	ATMOSFERICA		
EFICIENCIA EN CUERPO	0.850		
EFICIENCIA EN TAPAS	1.000		
CORROSION	NO		
DENSIDAD DE FLUIDO	1,000 Kg/m ³ =	62.428 Lb/ft ³	
MATERIAL	ACERO A-285-C		
ESF. PERMISIBLE DE DISEÑO (S)	13,800.0 psi		
TIPO DE TAPAS (Tc)	SEMIELIPICAS 2:1		
VEL. VIENTO DE DISEÑO (Vd)	149.5 km/hr		
COEF. SISMICO (Ca)	0.080		
ALTURA DE FALDON (Hf)	1.700 m =	5.577 ft =	66.929 in
ALTURA TOTAL (Htot)	5.106 m =	16.752 ft =	201.024 in

CALCULO DEL ESPESOR POR PRESION INTERNA

CUERPO DE LA CAMARA :

$$P = Po + Ma = 351.8 \text{ psi}$$

$$Tc = [PR / SE - 0.6P] + C = 0.7099 \text{ in} \Rightarrow 0.75 \text{ in}$$

$$C = 0$$

ESPESOR POR ESTABILIDAD DE FABRICACION

$$Tc = (DI + 100) / 1000 = 0.1465 \text{ in}$$

EN TAPAS DE LA CAMARA :

SUPERIOR

$$St = 0.85S = 11,730.0 \text{ psi}$$

$$Th = [Pod / (2StE - 0.2P)] + C = 0.692 \text{ in}$$

$$C = 0$$

INFERIOR

$$P = Po - Ht = 353.0 \text{ psi}$$

$$Th = [PD / (2StE - 0.2P)] + C = 0.702 \text{ in}$$

$$C = 0$$

POR LO QUE SE UTILIZARA EL MISMO ESPESOR EN TODA LA CAMARA = 0.75 in

DIAMETRO DE LA CAMARA (D)	1.200 m =	3.937 ft =	47.246 in
DIAMETRO EXTERIOR (De)	1.219 m =	4.000 ft =	47.996 in
RADIO DE LA CAMARA (R)	0.600 m =	1.969 ft =	23.623 in

VOLUMEN TOTAL
 $V_t = (\pi/4) D^2 H_t = (.00007601^{-3}) H_t = 147.041 \text{ ft}^3 = 4.164 \text{ m}^3$

VOLUMEN DE OPERACION
 $V_o = (\pi/4) D^2 H_o = (.00007601^{-3}) = 104.585 \text{ ft}^3 = 2.962 \text{ m}^3$

CALCULO DE PESOS SIN SOPORTES

VACIA :
 ALTURA ENTRE LINEAS DE SOLDADURA (Hs) = $H_t - 4 = 130.094 \text{ in}$
 DIAMETRO DE TAPAS SEMIELIPTICAS (Dt) = 60.813 in

CUERPO $(\pi/4 D H_t) \times 0.129 = 1,868.21 \text{ Kg}$
 TAPAS $(\pi/4) D^2 t \times 0.129 = 562.03 \text{ Kg}$
 BOKUILLAS Y ACCESORIOS = 400.00 Kg

 PESO VACIA = $2,830.24 \text{ Kg}$

LLENA DE AGUA :

AGUA $V_o \times \text{Densidad} = 2,961.52 \text{ Kg}$
 PESO LLENA (W_o) = $5,791.76 \text{ Kg} = 12,768.6 \text{ Lb}$

CALCULO DEL FALDON

PRESION DE VIENTO (P_v) = $0.0048 C G V_c^2 = 75.10 \text{ Kg/m}^2 = 15.4 \text{ psf}$
 $C = 0.7 \quad G = 1.0$

MOMENTO POR VIENTO (M_v) = $F H_{tot}/2 = (P_v A_p H_{tot})/2 = (P_v D_e H_{tot}^2)/2$

EN LA BASE M_{vb} = $8,632.0 \text{ Lb-ft}$

CORTANTE EN LA BASE (V) = $P_v D_e H_{tot} = 1,030.6 \text{ Lb}$

MOMENTO EN LA LINEA DE TANGENCIA (M_t) = $M_{vb} - H(V - 0.5 P_v D_e H_f) =$
 $M_t = 3,841.0 \text{ Lb-ft}$

CALCULO DEL ESPESOR DEL FALDON

$T_f = (12 M_{vb} / R_2 \text{ pl } S_{Ef}) + (W_o / D \text{ pl } S_f \text{ Ef}) = 0.006 \text{ in} < 1/16"$

$S_f = 18,000.0 \text{ psi (ESTRUCTURAL)}$
 $E_f = 1$

SOLDADURA DE UNION FALDON-TAPA INFERIOR
 $E_{sf} = 0.55$

$T_f = (12 M_{vb} / R_2 \text{ pl } S_{Esf}) + (W_o / D \text{ pl } S_f \text{ Esf}) = 0.011 \text{ in} < 1/16"$

SE PROPONE USAR UN FALDON DE (Tfo) 5/16" + 1/16" POR CORROSION AMBIENTAL (Tfr)

$$\begin{aligned} Tfo &= 0.3125 \text{ in} \\ Tfr &= 0.3750 \text{ in} \end{aligned}$$

$$\text{DIAMETRO EXTERIOR DEL FALDON (Def)} = 47.6211 \text{ in} = 1.210 \text{ m}$$

PESO DEL FALDON

$$Wf = (\pi D Hf Tfr) \times 0.129 = 480.56 \text{ Kg}$$

$$\text{PESO DE LA CAMARA VACIA Y FALDON (Wf)} = 3,310.80 \text{ Kg}$$

$$\text{PESO DE LA CAMARA EN OPERACION CON FALDON (Wof)} = 6,272.32 \text{ Kg} = 13,828.1 \text{ lb}$$

MOMENTO POR SISMO

$$M_s = (2 C_s Wof H_{tot})/3 = 12,354.5 \text{ Lb-ft} = 1,708.1 \text{ Kg-m}$$

EN LA LINEA DE TANGENCIA

$$M_{st} = [C_s Wof H_{t2} (3H_{tot} - H_{t2})] / (3 H_{tot}^2) = 6,412.5 \text{ Lb-ft}$$

CHEQUEO DE ESFUERZOS EN FALDON (A COMPRESION)

UTILIZAR EL MAYOR DE S_s Y S_v

$$S_v = (2 P_v Def H_{tot}^2) / (\pi D Def^2 Tfo) = 184.7 \text{ psi}$$

$$S_s = (3 C_s Wof H_{tot}) / (\pi Ref^2 Tfo) = 266.4 \text{ psi}$$

ESFUERZO POR PESO

$$S_w = Wof / (\pi D Def Tfo) = 295.8 \text{ psi}$$

ESFUERZO A LA COMPRESION

$$S_c = S_w + S_s = 562.1 \text{ psi}$$

ESFUERZO PERMISIBLE A LA COMPRESION

$$S_p = 1.5 \times 10^{-6} Tfo / Ref = 19,686.7 \text{ psi} > S_c$$

TAMANO Y NUMERO DE ANCLAS

$$\text{DIAMETRO EXTERIOR DE LA ZAPATA (Dex)} = Def + 2x(4") = 1.413 \text{ m}$$

$$\text{DIAMETRO INTERIOR DE LA ZAPATA (Diz)} = Def - 2x(1" - 2") = 1.089 \text{ m}$$

$$\text{DIAMETRO DE LAS ANCLAS (Da)} = Def + 2x(2") = 1.311 \text{ m}$$

$$\text{TENSIÓN MÁXIMA (T)} = [(M_s / A_b) - (M_f / C_b)] =$$

$$\begin{aligned} A_b &= (\pi/4) \cdot D_a^2 = 1.350 \text{ m}^2 = 2,092.88 \text{ in}^2 \\ C_b &= \pi/4 \cdot D_a = 4.119 \text{ m} = 162.172 \text{ in} \\ T &= 461.3 \text{ Kg/m} = 25.866 \text{ Lb/in} \end{aligned}$$

$$\text{ÁREA REQUERIDA DE ANCLA (B_a) = T \cdot C_b / S_b \cdot M =}$$

$$\begin{aligned} \text{Núm. DE ANCLAS (N)} &= 4 \\ S_b &= 892.9 \text{ Kg/cm}^2 = 12,700 \text{ psi} \\ B_a &= 0.532 \text{ cm}^2 = 0.082 \text{ in}^2 \\ \text{USAR ANCLAS DE } 0.5 \text{ in} &\Rightarrow \text{Draiz} = 0.425 \text{ in} \Rightarrow \text{Ara} = 0.162 \text{ in} \end{aligned}$$

$$\text{PLACA BASE DEL ANCLA (T1) = DD [3 b f_{cc} / B' f_{tmax}]^2 =$$

$$\begin{aligned} DD &= \text{Dex} - \text{Def} = 0.2032 \text{ m} = 8.00 \text{ in} \\ B' &= (\text{Dex} - \text{Diz})/2 = 0.1619 \text{ m} = 6.38 \text{ in} \\ f_{cc} &= 750 \text{ psi} \\ b &= (M / 3 \pi D^2 f_{cc}) + (W_0 / 12 \pi D f_{cc}) = 0.237 \text{ in} \\ f_{tmax} &= 18,000 \text{ psi} \end{aligned}$$

$$\text{USAR PLACA MÍNIMA DE } T1 = \begin{aligned} &0.545 \text{ in} \\ &0.5625 \text{ in (9/16")} \end{aligned}$$

$$\text{PLACA SUPERIOR DE ANCLA (T2) = 1.25 [3 L' \cdot BL / DD f_{tmax}]^2 =$$

$$\begin{aligned} L' &= \text{DIAM. NOMINAL DEL ANCLA} = 0.75 \text{ in} \\ BL &= A_f \cdot S_b = 1,801.7 \text{ Lb} \\ f_{tmaxb} &= 12,700 \text{ psi} \end{aligned}$$

$$\text{USAR PLACA MÍNIMA DE } T2 = \begin{aligned} &0.246 \text{ in} \\ &0.4375 \text{ in (7/16")} \end{aligned}$$

CHEQUEO DE REACCIÓN DE FALDÓN EN SILLETAS

$$f_t = BL / [f_{fo} (S_L' + 2H)] =$$

$$\begin{aligned} \text{ALTURA PROPUESTA (H)} &= 0.30 \text{ m} = 11.81 \text{ in} \\ f_t &= 222.8 \text{ psi} < f_{per} \quad 12,700 \text{ psi} \end{aligned}$$

4.4 ANALISIS DE TRANSITORIO EN TRAMO DEL REBOMBEO DOS AL TANQUE DE CAMBIO DE REGIMEN

El análisis del transitorio en este tramo está relacionado con los pozos de los Sistemas Benito Juárez y Pimienta, ya que el rebombeo dos recibe actualmente el gasto producido en el rebombeo 1 del Sistema Benito Juárez y se tiene en proyecto la recepción del gasto producido en el Sistema Pimienta.

Del Rebombeco uno B. Juárez se recibirá un gasto de hasta 343.18 l/s (7 pozos trabajando). Se dispone actualmente de cuatro equipos de bombeo para descargar en el tanque de Cambio de Régimen, con capacidad de 350.2 l/s (fig 4.10), lo que implica un diferencial entre suministro y descarga del 2% que será cubierto con la capacidad reguladora del cárcamo de bombeo. La determinación del gasto de descarga se obtuvo en base a la información disponible, y los demás parámetros se evaluaron con las expresiones indicadas.

La topografía de la línea de presión entre el Rebombeco dos y el tanque de Cambio de Régimen presenta un terreno de lomerío fuerte a montañoso, con una longitud de 1,140 m.

Con la información del gasto producido por el rebombeco dos, la tubería existente y el desnivel entre ambos extremos de la tubería, se procedió a analizar el fenómeno transitorio factible de presentarse en el caso extremo de un paro súbito de los cuatro equipos de bombeo siguiendo la metodología del inciso 4.3.

El resultado del análisis de transitorio se presenta en la fig. 4.11 y en la tabla 4.5, apreciándose que la presión máxima positiva será la cota 2649.716 (32.06 kg/cm²) en el punto de descarga de las bombas, cuando que la presión máxima en operación es la cota 2548.15 m (17.71 kg/cm²).

FIG. 4.10

ACUEDUCTO B. JUAREZ Y PIMIENTA-ZACATECAS
REBOMBEO 2

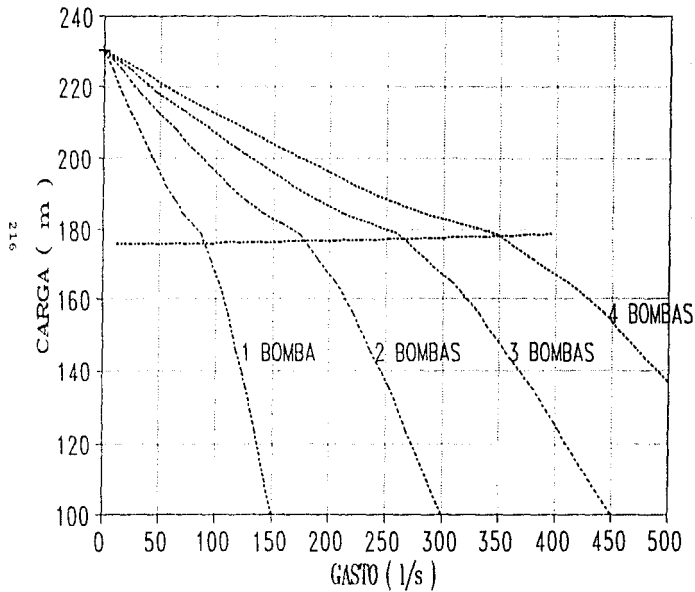


FIG. 4.11

SISTEMA DE POZOS BENITO JUAREZ

REBOMBEO 2 A T.CAMBIO REGIMEN (350 l/s)

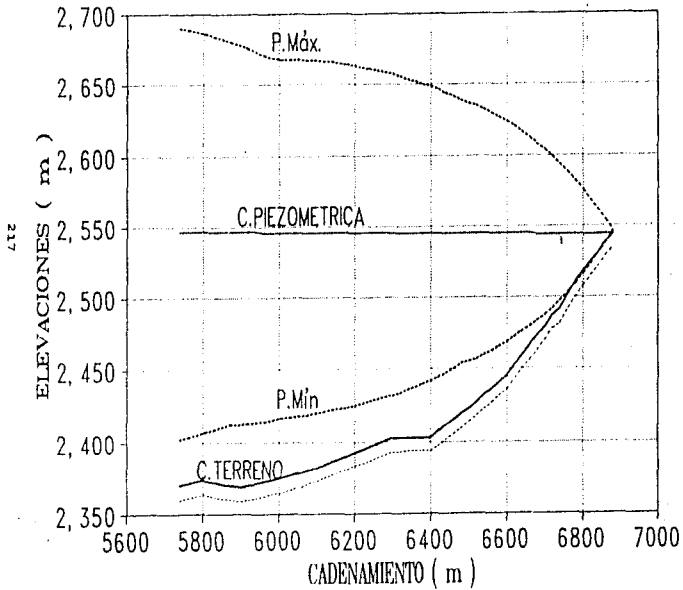


TABLA 4.5
REBOMBEO 2 A T. CAMBIO DE REGIMEN (350 L/A)

NUMERO DE TUBOS : 2
 NUM DE DIV EN EL ULTIMO TUBO : 37
 IMPRESION CADA : 50 DT
 GASTO EN OPERACION : .35020 M3/S
 TIEMPO DE SIMULACION : 120.000 SEG
 SINGULARIDAD INICIAL : -2
 POSICION DEL TANQUE DE SUCCION : .000 M
 NIVEL DE SUCCION : 2371.940 M

NUMERO DE BOMBAS EN PARALELO : 4
 NUM. DE VALVULAS QUE NO CIERRAN: 0

VALVULAS DE RETENCION EN LA DESCARGA
 COEFICIENTE DE PERDIDA DE LAS VALVULAS 2.907700

NUMERO DE PUNTOS EN LA CURVA CARACTERISTICA = 19
 INTERVALO ANG. PARA ALMAC. DE LA CURVA CARAC. = 15.
 GASTO DE REFERENCIA = .0875 M3/S
 PRESION DE REFERENCIA = 178.3700 M
 VELOCIDAD DE REFERENCIA = 1770.0000 RPM
 EFICIENCIA DE BOMBEO = .7500
 MOMENTO DE INERCIA = 11.7470 KG-M2

PRESION CARACTERISTICA

-1.574	-.403	.033	-.494	-.964	1.232	1.496	1.452	1.418	1.366
1.250	1.105	.972	.780	-.589	-.425	-.385	-.268	-.161	

MOMENTO CARACTERISTICO

-1.053	-.310	-.197	-.500	-.681	-.782	-.790	-.845	-.926	1.221
1.422	1.394	1.262	1.078	-.660	-.352	-.130	-.659	-1.208	

# DE TUBO	LONGITUD (M)	DIAM (M)	VEL. DE ONDA (M/S)	FACTOR DE FRIC.	TIPO DE SING.
1	400.0	-.59	1145.8	.0143	-1
2	740.0	-.60	1042.8	.0143	-1

INCREMENTO DE TIEMPO : .019 SEG

# DEL TUBO	AJUSTE VEL. DE ONDA (M/S)
1	1158.6
2	1042.8

TABLA 4.5 (Cont.)
BOMBEO 2 A T. CAMBIO DE REGIMEN (350 l/s)

PRESIONES AL INICIO DE CADA TUBO:

2548.1490000 2547.3410000

HRES = 2371.940 H

HRES = 2545.925 H

# DEL TUBO	PRESION MAX. M	PRESION MIN. M
1	2649.8	2431.1
2	2628.6	2454.4

Los resultados obtenidos determinan presiones máximas ligeramente superiores a las de resistencia en operación de algunos tramos de la tubería, pero por debajo de la resistencia de falla de las mismas, a condiciones instantáneas. En condiciones normales de operación, la resistencia de la tubería es superior a las necesidades del acueducto. Las presiones mínimas no cortan el perfil del terreno, lo que significa que el transitorio en estas condiciones no genera conflicto a la tubería existente. En base a lo anterior se concluye que este tramo en las condiciones analizadas no registra problema alguno.

Concluido lo anterior se procedió a realizar un segundo análisis, considerando el ingreso de los tres pozos del Sistema Pimienta al Rebombado, con lo que la capacidad de operación de éste se incrementará a 6 equipos de bombeo y un gasto máximo de 506.3 l/s (fig 4.12), recibiendo un gasto de 493.18 l/s (343.18 + 150.00 l/s), que significa un diferencial del 2.7%, el cual será regularizado en el cárcamo de bombeo.

Se procedió a realizar su análisis de funcionamiento transitorio cuando se presenta un paro súbito de los 6 equipos de bombeo, siguiendo la misma metodología que en el análisis anterior, mostrándose los resultados en la fig. 4.13 y en la tabla 4.6.

Del resultado del análisis de transitorio se determina que la presión máxima positiva será la cota 2676.8 m (30.78 kg/cm²) en el punto de descarga de las bombas y la presión máxima en operación es la cota 2547.24m (17.82 kg/cm²).

FIG. 4.12

ACUEDUCTO B. JUAREZ Y PIMIENTA-ZACATECAS
REBOMBEO 2

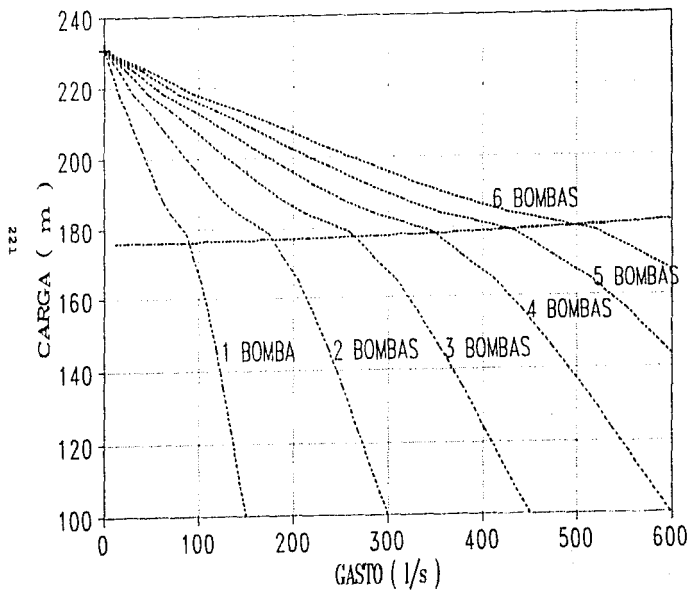


FIG. 4.13

SISTEMA DE POZOS B. JUAREZ Y PIMIENTA
REBOMBEO 2 A T. CAMBIO REGIMEN (506 l/s)

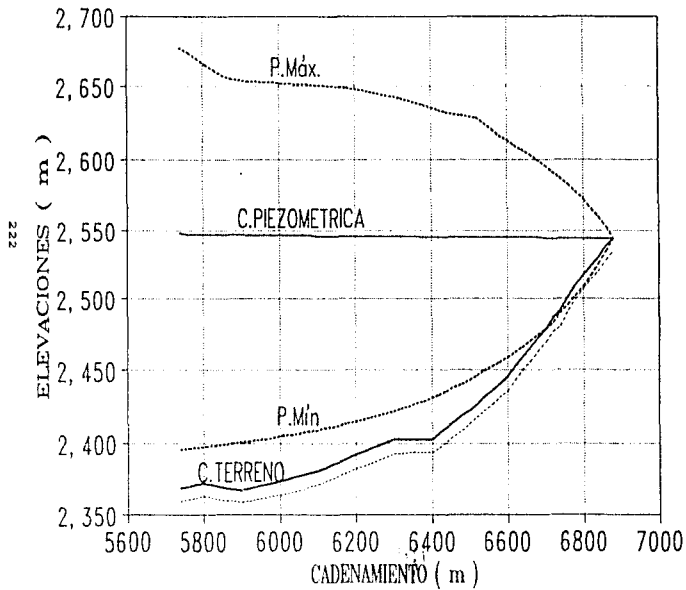


TABLA 4.6
RESUMEN 2 A T. CAMBIO DE REGIMEN (506 l/s)

NUMERO DE TUBOS : 2
 NUM DE DIV EN EL ULTIMO TUBO : 37
 IMPRESION CADA : 50 DT
 GASTO EN OPERACION : .50670 M3/S
 TIEMPO DE SIMULACION : 120.000 SEG
 SINGULARIDAD INICIAL : -2
 POSICION DEL TANQUE DE SUCCION : .000 M
 NIVEL DE SUCCION : 2371.940 M

NUMERO DE BOMBAS EN PARALELO : 6
 NUM. DE VALVULAS QUE NO CIERRAN: 0

VALVULAS DE RETENCION EN LA DESCARGA
 COEFICIENTE DE PERDIDA DE LAS VALVULAS 1.350000

NUMERO DE PUNTOS EN LA CURVA CARACTERISTICA = 19
 INTERVALO ANG. PARA ALMAC. DE LA CURVA CARAC. = 15.
 GASTO DE REFERENCIA = .0064 M3/S
 PRESION DE REFERENCIA = 178.3500 M
 VELOCIDAD DE REFERENCIA = 1770.0000 RPM
 EFICIENCIA DE BOMBEO = .7450
 MOMENTO DE INERCIA = 11.7470 KG-M2

PRESION CARACTERISTICA

-.574	-.403	.033	.404	.064	1.232	1.498	1.452	1.418	1.366
1.250	1.105	-.972	.780	.589	.425	.385	.268	.161	

MOMENTO CARACTERISTICO

-1.053	-.310	.197	.500	.681	.782	.790	.845	.926	1.221
1.422	1.394	1.262	1.078	.640	.352	-.130	-.659	-1.208	

# DE TUBO	LONGITUD (M)	DIAM (M)	VEL. DE ONDA (M/S)	FACTOR DE FRIC.	TIPO DE SING.
1	400.0	.59	1143.8	.0139	-1
2	740.0	.60	1042.8	.0139	-1

INCREMENTO DE TIEMPO : .019 SEG

# DEL TUBO	AJUSTE (M/S)	VEL. DE ONDA (M/S)
1		1158.6
2		1042.8

TABLA 4.6 (CONT.)
REBORNO 2 A T. CAMBIO DE REGIMEN (506 l/s)

PRESIONES AL INICIO DE CADA TUBO:

2548.666000 2547.021000

HRES = 2371.940 M

HRES = 2544.139 M

# DEL TUBO	PRESION MAX. M	PRESION MIN. M
1	2656.0	2423.5
2	2618.0	2444.3

Los resultados obtenidos determinan condiciones similares en ambas alternativas con presiones máximas ligeramente superiores a las de resistencia en operación de algunos tramos de la tubería, pero por debajo de la resistencia de falla de las mismas, a condiciones instantáneas. Las presiones mínimas son menores en este análisis pero tampoco cortan el perfil del terreno, lo que significa que el transitorio en estas condiciones no genera conflicto a la tubería existente. En base a lo anterior se concluye que este tramo en estas condiciones no registra problema alguno.

De lo anterior se concluye que el tramo comprendido entre el Rebombador y el Tanque de Cambio de Régimen para las condiciones actuales (3 bombas), para las condiciones extremas del sistema Benito Juárez (4 bombas; $Q=350.2$ l/s) y para la operación del sistema Benito Juárez con el Sistema Pimienta en condiciones extremas (6 bombas; $Q=506.7$ l/s) no presenta problemas operativos ante fenómenos transitorios, por lo que no se requiere estructuras especiales, reduciéndose solamente a mantenimiento preventivo y conservación de la infraestructura.

De esta forma se integra el proyecto de dispositivos de control que solucionan de una forma óptima y confiable el estudio de transitorios realizado al Sistema Benito Juárez.

5.- CONCLUSIONES

5.1 CONCLUSIONES SOBRE EL ESTUDIO REALIZADO

Como se indicó, para realizar la revisión hidráulica del Acueducto Benito Juárez se procedió a recabar la información con que se cuenta, tanto en la Comisión Nacional del Agua (CNA) como en la Junta Intermunicipal de Agua Potable y Alcantarillado de Zacatecas (JIAPAZ); obtener la información necesaria requirió de tiempo y de especificar bien que es lo que se estaba buscando. El contar con la mayor información relativa al trabajo que se va a efectuar facilita mucho el mismo, sin embargo, hay ocasiones en las que no se cuenta con suficiente información y es necesario realizar trabajos especiales enfocados a satisfacer la carencia de la misma. En el caso específico de este sistema fue necesario contar con la siguiente información:

1.- Línea de conexión entre pozos y conducciones, tanto en rebombes como a tanques de almacenamiento o de cambio de régimen.

2.- Trazo en planta y perfil con sus correspondientes datos topográficos: coordenadas en x, y, z, rumbos astronómicos y/o magnéticos, longitudes, deflexiones en los planos horizontal y vertical, cadenamientos, referencias, etc. Al no contarse con un registro topográfico del sistema fué necesario realizar el trabajo de levantamiento del mismo.

3.- Proyecto ejecutivo que permita determinar el material de las tuberías utilizadas para construir las líneas, los diámetros interiores y exteriores de las mismas, su resistencia a presiones internas y externas, la localización, tipo, cantidad, material, diámetro y resistencia de las piezas especiales y válvulas de desagüe, aire - vacío y otras que hayan sido empleadas, la localización y características de posibles estructuras especiales, y así mismo, la magnitud de las demandas que se previó satisfacer.

4.- Si alguna o algunas de las líneas referidas cruza ríos, carreteras, vías de ferrocarril, canales u otros elementos naturales o artificiales, se requiere el proyecto ejecutivo completo de tales cruces.

5.- En cuanto a las características de los pozos se requiere contar con la profundidad total y de los niveles estático y dinámico de cada uno, curvas gasto - abatimiento, proyecto ejecutivo del equipamiento mecánico y eléctrico de cada pozo, curvas características de los equipos de bombeo instalados, registros carga - gasto - tiempo del funcionamiento de cada equipo, políticas de operación e historial de niveles dinámico y estático de producción de pozos.

6.- Proyecto ejecutivo de la obra civil e hidráulica de los cárcamos de bombeo; proyecto ejecutivo del equipamiento mecánico y eléctrico, curvas características de las bombas instaladas, registros carga - gasto tiempo del funcionamiento de cada una y políticas de operación.

7.- Proyecto ejecutivo de las obras civil, hidráulica, mecánica y eléctrica de los tanques de cambio de régimen y/o estructuras de llegada o descarga, forma, dimensiones, capacidades con que cuentan, las cotas claramente referidas de sus desplantes y de la superficie libre del agua dentro de ellas, las características constructivas de la fontanería de llegada y de salida desde las mismas.

8.- Política de operación de la red de distribución existente, historial de consumos, dotaciones reales y deseables por tipo y nivel socioeconómico de los consumidores todo esto con el fin de conocer bien el papel que juega el sistema de pozos Benito Juárez en la dotación de agua potable a la población y las repercusiones que se tendrían si no funcionara en óptimas condiciones.

Otro punto importante es saber interpretar dicha información y tener criterio para utilizarla; es recomendable revisarla y verificar en algunos casos sus resultados con el fin de conocer su confiabilidad, además de realizar visitas al sitio de estudio, así se tendrá una idea mas clara de la problemática por resolver.

Al utilizar un método numérico para solucionar un modelo matemático se trata de utilizar procedimientos aritméticos sencillos que proporcionen una aproximación numérica a la solución del problema; una herramienta para resolver sistemas de ecuaciones que requieren de procesos iterativos para su solución es la computadora.

Esta herramienta facilita el trabajo en cuanto a tiempo y eficiencia en la solución del problema, esto lleva a revisar cuidadosamente la información resultante de tal forma que la magnitud de los errores en los que se incurra no sean tan significativos en la exactitud del resultado.

Entre los errores mas comunes en los que se puede incurrir están los errores propios de los datos, los cuales se producen al leer de algún dispositivo de medición un dato para representar alguna magnitud física y los cuales son debidos a la imprecisión del mismo dispositivo, por ejemplo: al medir en un manómetro la presión a la que está sometida una línea de conducción, lecturas en equipos de medición -pitometría, aforos, etc.- en una estación de bombeo, rebombeo. Errores producidos al utilizar series en los cálculos como pueden ser las series de funciones trigonométricas, la función π (pi), etc..., este tipo de funciones tienen un número infinito de términos de los cuales sólo se utilizan algunos truncándose el resto de ellos. Otro error es el producido al redondear una cifra al no poder utilizarse todos los términos en operaciones como la división o multiplicación, aproximándose al número máximo de dígitos con los que se cuenta para realizar el trabajo. Este tipo de errores, como se dijo, debe ser tal que no afecte la exactitud del resultado en mucho.

Se debe tener siempre presente la responsabilidad que debe tener el ingeniero al revisar e interpretar la información que le está simplificando su trabajo a la vez que debe entender bien lo que está haciendo con el fin de poder tomar decisiones correctas que se traduzcan en el buen funcionamiento y aprovechamiento óptimo del proyecto el cual llevará un fin de bienestar social; esto debe ser el objetivo primordial.

Tomando en cuenta lo anterior, para realizar el análisis de transitorios del Sistema Benito Juárez, se tuvo que generar una serie de archivos de datos que fueran permitiendo simular el comportamiento de las diferentes estructuras que lo componen, para ello fué necesario:

- primero* .- Analizar la información recabada, ordenándola y revisándola de manera que se pudiera contar con los datos necesarios para cada caso específico.

- segundo* .- Generar la información faltante en base a las características específicas de cada equipo, comprobando de una forma sencilla, que es confiable utilizar dichos resultados.

- tercero* .- Estudiar el funcionamiento de cada uno de los programas a aplicar, que información específica requieren, como funcionan y como se deben interpretar los datos que resultan de dicho estudio. Fué necesario contar con varios paquetes de cómputo los cuales fueron permitiendo ir generando cada uno de los archivos que se requerían, también permitieron ir modificando su estructura cuando ésta no era la adecuada, o requería correcciones; otra cuestión importante fué el contar con un equipo de cómputo moderno y con suficiente capacidad para realizar estos análisis.

Una vez interpretados los resultados obtenidos del estudio, se requirió estudiar las diversas alternativas de solución las cuales presentaron sus ventajas y desventajas; para el análisis de las mismas se convino en escoger la menos desfavorable, con esto se entiende el análisis tanto económico como constructivo de los dispositivos de control, también en cuanto a su funcionamiento hidráulico, de mantenimiento y operación.

Considero interesante el estudio del fenómeno de transitorios hidráulicos, el cual va aplicando diversos conocimientos de la hidráulica básica para su mejor comprensión y solución. La aplicación práctica vista en este trabajo es un ejemplo de las muchas aplicaciones que se tienen en la solución de problemas hidráulicos en ingeniería civil.

El adecuado uso de los recursos hidráulicos y económicos -entre muchos otros-, aunados a una buena política social, dejando atrás intereses personales o de grupos que no representen el bienestar común contribuirán a mejorar los niveles de vida de todos nosotros; debemos estar preparados y tomar cada uno nuestra responsabilidad como estudiantes y/o profesionistas.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

LIBRO: DICCIONARIO PORRUA
HISTORIA, BIOGRAFIA Y GEOGRAFIA DE MEXICO, O-Z
EDITORIAL: PORRUA, MEXICO, D.F.
CUARTA EDICION: 1976

AUTOR: J. FERNANDEZ FERRER
LIBRO: ATLAS DE FISICA
EDICIONES JOVER: MADRID, ESPAÑA, 1981

AUTOR: GILBERTO SOTELO AVILA
LIBRO: HIDRAULICA GENERAL, VOL. 1, FUNDAMENTOS
EDITORIAL: LIMUSA, MEXICO, D.F.
DECIMASEXTA REIMPRESION: 1995

AUTOR: URIEL MANCEBO DEL CASTILLO
LIBRO: TEORIA DEL GOLPE DE ARIETE Y SUS APLICACIONES EN
INGENIERIA HIDRAULICA
EDITORIAL: LIMUSA, MEXICO, D.F.
PRIMERA EDICION: 1987

AUTOR: HUMBERTO GARDEA VILLEGAS
LIBRO: APROVECHAMIENTOS HIDROELECTRICOS Y DE BOMBEO
EDITORIAL: TRILLAS, MEXICO, D.F.
PRIMERA EDICION: 1992

AUTOR: RAFAEL IRIARTE B.
HUGO E. BORRAS G.
ROSSYNELA DURAN C.
LIBRO: APUNTES DE METODOS NUMERICOS
FACULTAD DE INGENIERIA, UNAM
PRIMERA EDICION: 1983

INSTITUTO DE INGENIERIA UNAM

FASCICULOS: ESTUDIO TEORICO - EXPERIMENTAL DEL TRANSITORIO
HIDRAULICO EN INSTALACIONES DE BOMBEO EN POZOS PARA
ABASTECIMIENTO DE AGUA
OCTUBRE, 1987
DISEÑO Y OPERACION HIDRAULICOS DE CONDUCCIONES DE
AGUA A PRESION (FASCICULOS 1 A 7)
DICIEMBRE, 1985

AUTOR: COMISION NACIONAL DEL AGUA

LIBRO: GUIA PARA EVALUACION DE LA EFICIENCIA EN EQUIPOS
ELECTROMECAVICOS EN OPERACION PARA POZO PROFUNDO

EDICION: SUBDIRECCION GENERAL DE INFRAESTRUCTURA HIDRAULICA
URBANA E INDUSTRIAL, GERENCIA DE NORMAS TECNICAS

SEGUNDA EDICION: AGOSTO, 1993

AUTOR: COMISION NACIONAL DEL AGUA

LIBRO: DISEÑO DE INSTALACIONES MECANICAS Y SELECCION DEL EQUIPO
MECANICO, LIBRO V, 4.1, TOMO I

EDICION: SUBDIRECCION GENERAL DE INFRAESTRUCTURA HIDRAULICA
URBANA E INDUSTRIAL, GERENCIA DE NORMAS TECNICAS,
SEPTIEMBRE, 1994

AUTOR: COMISION NACIONAL DEL AGUA

LIBRO: MANUAL DE DISEÑO DE AGUA POTABLE, ALCANTARILLADO Y
SANEAMIENTO, SISTEMAS RURALES, LIBRO II, 1ª SECCION,
TEMA 6

EDICION: SUBDIRECCION GENERAL DE INFRAESTRUCTURA HIDRAULICA
URBANA E INDUSTRIAL, GERENCIA DE NORMAS TECNICAS, 1994

AUTOR: COMISION NACIONAL DEL AGUA

LIBRO: MANUAL DE DISEÑO DE AGUA POTABLE, ALCANTARILLADO Y
SANEAMIENTO, DATOS BASICOS, LIBRO V, 1ª SECCION, TEMA 1

EDICION: SUBDIRECCION GENERAL DE INFRAESTRUCTURA HIDRAULICA
URBANA E INDUSTRIAL, GERENCIA DE NORMAS TECNICAS, 1994