

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL



METODOLOGIA PARA EVALUAR  
LAS PERDIDAS DE AGUA  
EN LOS SISTEMAS DE  
ABASTECIMIENTO

INFORME DE INGENIERIA

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE  
Ingeniero Sanitario

JOSE SAUL ASCENCIOS GUTIERREZ

PROMOCION 1989-I

LIMA - PERU

1 993

## INDICE

### CAPITULO I : RESUMEN

### CAPITULO II : CONSIDERACIONES GENERALES

1. Introducción
2. Objetivos
3. Alcance

### CAPITULO III : METODOLOGIA DEL ESTUDIO

1. Introducción
2. Volumen suministrado
3. Fugas en los Reservorios
4. Fugas en las tuberías troncales
5. Fugas en las Redes de Distribución
  - 5.1. Control Pasivo
  - 5.2. Sondeo Regular
  - 5.3. Medición Distrital Intensiva
    - 5.3.1. Introducción
    - 5.3.2. Descripción breve del método
  - 5.4. Medición Distrital Básica
  - 5.5. Control de Presiones
  - 5.6. Predicción de Niveles de Fugas
6. Rebose de Reservorios
7. Medidores domiciliarios

- 7.1. Sondeo de las Conexiones Domiciliarias
- 7.2. Evaluación de Medidores Domiciliarios
- 7.3. Consumo Doméstico Nocturno
- 8. Zonas Piloto
- 9. Otros usos del Agua
  - 9.1. Servicio de Incendios
  - 9.2. Carros cisternas
  - 9.3. Riego de Zonas Verdes
  - 9.4. Lavado de calles
  - 9.5. Piletas
  - 9.6. Ornamentales y Recreativos
- 10. Balance Hidráulico

CAPITULO IV : EVALUACION DE LAS PERDIDAS DE AGUA EN  
LA CIUDAD DE TACNA

- 1. Sistema existente de agua potable
  - 1.1. Fuentes de Agua y distribución
  - 1.2. Control de Fugas
- 2. Pruebas de Campo
  - 2.1. Producción Total
    - 2.1.1. Datos de SEDATACNA
    - 2.1.2. Planta de Tratamiento de Calama
    - 2.1.3. Planta de Tratamiento de Alto Lima
    - 2.1.4. Pozos Sobraya
  - 2.2. Fugas de Reservorios

- 2.2.1. Reservorio R2
- 2.2.2. Reservorio R3
- 2.2.3. Reservorio R4
- 2.2.4. Reservorio R5
- 2.3. Fugas en las Tuberías Troncales
- 2.4. Fugas en las Zonas de Distribución
  - 2.4.1. General
  - 2.4.2. Zona 1 ( Pocollay )
  - 2.4.3. Zona 2A
  - 2.4.4. Zona 2A1
  - 2.4.5. Zona 2
  - 2.4.6. Zona 2B1
  - 2.4.7. Zona 3
  - 2.4.8. Zona 3A
  - 2.4.9. Zona 4
  - 2.4.10. Zona 5
- 2.5. Zonas Piloto
  - 2.5.1. Selección de Zonas
  - 2.5.2. Pueblo Joven Alto de la Alianza / San  
Martín
- 2.6. Medidores Domiciliarios y Consumo Facturado
- 2.7. Consumo Doméstico Nocturno
- 3. Balance de Agua
  - 3.1. Producción Total
  - 3.2. Fugas del Sistema
  - 3.3. Medidores y Facturación

- 3.4. Otros usos no controlados
- 3.5. Balance Hidráulico
- 4. Determinación de las Políticas Óptimas
  - 4.1. Control de Fugas en las Redes de Distribución
    - 4.1.1. Selección del Método
    - 4.1.2. Procedimiento de Sondeo
    - 4.1.3. Reducción de Fugas
  - 4.2. Rebose de Reservorios
  - 4.3. Medidores Domiciliarios
  - 4.4. Desperdicios en viviendas y otros edificios

## CAPITULO V : EQUIPOS E INSTRUMENTOS

- 1. Introducción
- 2. Equipos e Instrumentos utilizados
- 3. Equipos para medición y registro de caudales
  - 3.1. Tubo Pitot Modelo Simplex
    - 3.1.1. Varilla de Calibración
    - 3.1.2. Varilla de Pitot Simplex
    - 3.1.3. Manómetro Diferencial
    - 3.1.4. Líquidos Manométricos
  - 3.2. Medición de caudales en tubos Pitot, formula-  
ciones matemáticas y cálculos
    - 3.2.1. Velocidad en un punto
    - 3.2.2. Factor de velocidad
    - 3.2.3. Curva de velocidad

- 3.2.4. Velocidad al centro
    - 3.2.5. Cálculo del caudal instantáneo
  - 3.3. Registradores de caudal con célula Dri-Flo
    - 3.3.1. Descripción
    - 3.3.2. Principio de funcionamiento
    - 3.3.3. Operación del aparato
    - 3.3.4. Cálculo de los caudales
- 4. Equipos para medición y registro de presiones
  - 4.1. Manómetros metálicos con tubo Bourdon
    - 4.1.1. Descripción
    - 4.1.2. Selección del manómetro
    - 4.1.3. Transporte del manómetro
    - 4.1.4. Instalación del manómetro
    - 4.1.5. Lectura de la presión
    - 4.1.6. Referencias del punto de medición
  - 4.2. Reg                  de Presión Modelo 242E
    - 4.2.1. Descripción
    - 4.2.2. Instalación del registrador de presión
- 5. Equipos para detección de tuberías y cuerpos metálicos enterrados
  - 5.1. Localizador de Tubos Modelo TR-5A
    - 5.1.1. Descripción
    - 5.1.2. Principios de Operación
- 6. Equipos para localización de Fugas
  - 6.1. Geófonos Mecánicos
    - 6.1.1. Descripción

## 6.2. Varilla de Sondeo

CAPITULO VI : CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFIA.

## LISTA DE LAMINAS

<u>Número</u>	<u>Descripción</u>
3.1.	. Relación entre Fugas y Presiones
3.2.	. Predicción de Caudales Nocturnos
4.1.	. Plano Básico de la ciudad de Tacna
4.2.	. Esquema del Sistema de Distribución de Agua Potable de la ciudad de Tacna
	. Producción y Facturación de Agua Potable de la ciudad de Tacna ( 1984 - 1988 )
4.4.	. Ensayo de Producción de la Planta Calana - Tacna
4.5.	. Ensayo de Producción de la Planta Calana - Tacna
4.6.	. Calibración del canal de entrada del medidor Parshall, Planta Alto Lima - Tacna
	. Ensayo de Producción en Pozos de Sobraya, Tacna
4.8.	. Ensayo de Fugas en Reservorio R2 - Tacna
4.9.	. Ensayo de Fugas en Reservorio R3 - Tacna
4.10.	. Ensayo de Fugas en Reservorio R4 - Tacna
4.11.	. Ensayo de Fugas en Reservorio R5 - Tacna
4.12.	. Variación de presión. Zona No. 1 de estudio de fugas, Tacna
4.13.	. Ensayo de caudal de noche. Zona No. 4 de estudio de fugas, Tacna
4.14.	. Esquema de la red de distribución : Zona Piloto de Alianza / San Martín, Tacna
4.15.	. Ensayo de pasos de zona piloto de fugas de Alianza / San Martín



- 5.1. . Varilla de Calibración
- 5.2. . Tubo Pitot Modelo Simplex
- 5.3. . Cálculo de caudales con Pitómetros
- 5.4. . Corrección de la constante del Pitot Simplex para  $D \leq 150$  mm.
- 5.5. . Cartas Gráficas para el uso con registradores
- 5.6. . Elementos de la célula Dri-Flo
- 5.6. . Esquema de conexión del Registrador de Presión Diferencial al Tubo Pitot
- 5.8. . Manómetro con rango de presión de utilización
- 5.9. . Manómetro metálico instalado
- 5.10. . Registrador de Presión instalado
- 5.11. . Geófono Mecánico
- 5.12. . Varilla de Sondeo.

## LISTA DE CUADROS

<u>Número</u>	<u>Descripción</u>
4.1.	. Producción y consumo de agua en Tacna para los años 1984 - 1988
4.2.	. Datos de producción de SEDATACNA para 1988
4.3.	. Resultados de las pruebas de fugas en las redes de distribución de Tacna
4.4.	. Prueba de pasos de la zona piloto Alianza / San Martín
4.5.	. Detalles de las pruebas de medidores domiciliarios - Tacna
5.1.	. Factores de corrección de área de proyección de la válvula de incorporación ( $C_t$ )
5.2.	. Cálculo del caudal con Registradores.

## CAPITULO I

### RESUMEN

En un sistema de abastecimiento de agua, las pérdidas representan la diferencia que existe entre la medición de la cantidad de agua suministrada al sistema y el volumen de agua considerado como base para la facturación y cobro de los servicios.

A fin de cuantificar los distintos componentes de las pérdidas que se producen en los sistemas, se ha desarrollado la presente metodología que además proporciona datos importantes acerca de su funcionamiento.

Con el propósito de ilustrar la metodología desarrollada en este trabajo, se eligió el Sistema de Abastecimiento de Agua de la ciudad de Tacna para realizar

las pruebas que a continuación se resumen.

En primer lugar se efectuaron mediciones precisas de la producción de cada una de las fuentes de agua existentes en el sistema. <sup>x Calama y Pozos de Sobraya</sup> Luego, se utilizaron estos resultados para corregir, donde fuese necesario, las cifras de producción de la Empresa.

Las mediciones de la producción de la Planta de Tratamiento de Calama y los Pozos de Sobraya mostraron que la información de SEDATACNA sobre el rendimiento de estas dos fuentes no requiere <sup>n</sup> ~~de~~ ninguna corrección. Sin embargo, se ha utilizado la calibración modificada del canal de ingreso de <sup>la Planta de</sup> Alto Lima para recalcular las cifras de producción mensual (de la Planta de Alto Lima. Por lo tanto, la producción total de agua potable en Tacna, para 1988, es la siguiente :

* Planta Calama	7'401,000 m <sup>3</sup>	( 235 l./seg. )
Planta Alto Lima	2'323,000 m <sup>3</sup>	( 74 l./seg. )
* Pozos Sobraya	610,000 m <sup>3</sup>	( 19 l./seg. )
	<hr/>	<hr/>
Total	10'334,000 m <sup>3</sup>	328 l./seg.
	=====	=====

Se efectuaron pruebas de fugas en los reservorios, cerrando las válvulas de ingreso y salida, después de

haber sido llenados, y midiendo la caída del nivel de agua. Esto permitía verificar (la hermeticidad de) las estructuras.

Durante las pruebas se detectó fugas significativas en los reservorios R2 y R4 pero no así en R3 o R5. La pérdida total es de 3.4 l./seg., o sea el 1 % de la producción total.

Seguidamente se efectuaron pruebas de fugas en tuberías troncales escogidas, instalando medidores en los extremos de aguas arriba y de aguas abajo de la tubería, y comparando luego los caudales registrados por ambos medidores.

No se encontró ninguna fuga de importancia en tuberías troncales del sistema.

La evaluación de las fugas, en las redes de distribución, se efectuó dividiendo la ciudad en un número de zonas, aislándolos uno del otro por medio del cierre de las válvulas de frontera.

Se midió el caudal mínimo nocturno que ingresaba a cada zona, instalando medidores en los puntos de ingreso. También se puede medir el caudal mínimo nocturno abasteciendo a la zona desde un reservorio, observando luego la bajada del nivel de agua con el ingreso

al reservorio cerrado. Durante estas pruebas se registró el consumo nocturno de los grandes consumidores que existían dentro de la zona.

Así mismo, se midieron las presiones en puntos seleccionados de la red de distribución, a fin de evaluar las posibilidades para reducir las pérdidas de agua por fugas mediante la disminución de presiones en la red.

*eficacia*  
Complementariamente, se eligió una zona piloto en la red de distribución, aislándola del resto del sistema y dejando un solo punto de ingreso a la misma.

En esta tubería de ingreso se instalaron tubos Pitot con Registradores de Presión Diferencial, para medir los caudales mínimos nocturnos.

El propósito de la zona piloto fue investigar la eficacia de los distintos métodos de control de fugas presentados. La zona piloto se sondeó en su totalidad, utilizando varillas de sondeo y el geófono mecánico. Asimismo, se efectuó una prueba de pasos en la misma.

El caudal nocturno neto en la zona piloto fue de 76 l./conexión/hora. Este caudal nocturno corresponde a una situación hipotética en la que exista un abaste-

cimiento continuo durante 24 horas del con  
sumo nocturno en la zona piloto mostró que sólo el 44%  
del caudal nocturno se debe a fugas en la red. Como  
Alianza no es una zona típica de Tacna, se ha utiliza-  
do este porcentaje y no la cantidad en sí para aplicarse  
se a toda la ciudad.

Por lo tanto, la parte del caudal mínimo nocturno  
que se debe a fugas en las redes es 33.4 l./conexión/  
hora. Teniendo en cuenta las variaciones en las pre-  
siones, la cantidad promedio de pérdidas causadas por  
fugas en las redes, en el período de 18 horas durante  
las cuales hay servicio de agua, es de 23.3 l./cone-  
xión/hora. Esto equivale a 3'000,000 m<sup>3</sup>/año, o sea el  
29 % de la producción total.

En algunos reservorios de los sistemas se pierden  
cantidades significativas de agua a través del rebose  
de los reservorios, normalmente durante la noche. Pa-  
ra evaluar la magnitud de estas pérdidas se instalaron  
medidores de nivel en los reservorios seleccionados, y  
se hicieron lecturas durante períodos de 7 días, para  
determinar si el agua alcanzaba el nivel de rebose y  
durante cuántas horas cada día.

Se evaluaron los errores en los medidores domici-  
liarios. Para ello se instalaron medidores Kent en se

rie, con una selección de medidores existentes, y se efectuaron lecturas diarias en ambos medidores durante períodos mínimos de una semana.

Las pruebas de los medidores domiciliarios arrojan una amplia gama de resultados, incluyendo sobre-registro y sub-registro, las cifras para los cuales fueron aproximadamente balanceadas dentro de la muestra del estudio. Debido a que esto se aplicó a un pequeño porcentaje de los consumidores en Tacna, este aspecto del agua no controlada se ha ignorado.

De mayor importancia no facturado de aquellos consumidores quienes no tienen medidor en buen funcionamiento. En base a una pequeña muestra investigada durante el estudio, se calcula que en 1988 el consumo de estos usuarios se subestimó por una cantidad de 1'400,000 m<sup>3</sup>.

Los estimados de los otros componentes menores de las pérdidas de agua se obtuvieron en base a información proporcionada por SEDATACNA.

En resumen, el volumen total de agua no controlada en Tacna para 1988, se calcula de la siguiente manera :



Producción Total	10'330,000 m <sup>3</sup> /año
Consumo Facturado	5'880,000 m <sup>3</sup> /año
Agua no Controlada	4'450,000 m <sup>3</sup> /año =====

Por lo tanto, el agua no controlada en Tacna es 43 % de la producción total.

Resumiendo los estimados independientes de los distintos componentes del agua no controlada, calculados a través del presente trabajo, se tiene :

Fugas en Reservorios	100,000 m <sup>3</sup> /año
Fugas en Tuberías Troncales	0
Fugas en las Redes de Distribución	3'000,000 m <sup>3</sup> /año
Rebose de Reservorios	50,000 m <sup>3</sup> /año
Sub-estimación de consumo	1'400,000 m <sup>3</sup> /año
Abastecimiento a camiones cisternas	50,000 m <sup>3</sup> /año
Riego de parques	160,000 m <sup>3</sup> /año
Total de agua no controlada	4'760,000 m <sup>3</sup> /año -----

Este total está dentro del 2 % de la cifra que se obtuvo al calcular el volumen total de pérdidas de agua como la diferencia entre la producción total y el consumo total facturado.

## CAPITULO II

### CONSIDERACIONES GENERALES

#### 1.- INTRODUCCION

La presente metodología presenta el conjunto de actividades que debe realizar una Empresa, para alcanzar y mantener un nivel en que los componentes de pérdidas debido a fugas, rebosamientos, usos clandestinos de agua, desperdicios, consumos operacionales, consumos especiales, errores de medición y errores de estimación, sean los mínimos posibles en condiciones de viabilidad técnica, económica y financiera.

Estas actividades deben extenderse a todas las áreas de la empresa de agua, actuando principalmente en las áreas fin; es decir, operacional y comercial.

Los resultados que se obtendrán como consecuencia de la aplicación de la presente metodología, contribuirán a lograr una gestión empresarial eficiente, capaz de obtener en forma permanente sus objetivos al menor costo posible. Esta gestión empresarial está enmarcada en la consecución plena de las cinco premisas fundamentales siguientes :

- a) El sistema de abastecimiento de agua debe ser capaz de captar, bombear, conducir, tratar y distribuir volúmenes de agua suficientes para la atención de las demandas de la población ( cantidad ).
- b) El agua entregada a la población debe tener calidad dentro de los estándares de potabilización exigidos ( calidad ).
- c) El sistema de agua debe proveer a la población un servicio continuo, sin intermitencias ( continuidad ).
- d) Las variables capaces de influir en el abastecimiento de agua deben ser conocidas y dominadas por el personal de operación ( confiabilidad ).
- e) El costo de agua entregada a la población debe ser el menor posible ( costo ).

La inexistencia de una gestión empresarial eficiente conllevará a la reducción del alcance de los proyectos, con la consiguiente construcción de nuevos sistemas o de ampliaciones mucho antes del plazo previsto.

La toma de decisión en lo que se refiere a la ampliación del sistema de abastecimiento de agua casi siempre es motivada por deficiencias en el suministro, y casi nunca se basa en datos confiables y estudios de planificación adecuados que permitan conocer la magnitud de las pérdidas y de sus componentes, ya que no se cuenta con herramientas y metodologías adecuadas. Todo esto impide acciones gerenciales eficaces destinadas a su reducción, cargándose a los usuarios todos los costos adicionales resultantes de la ineficiencia empresarial.

Para un perfecto entendimiento de esta metodología, es necesario definir los elementos básicos de las pérdidas en un sistema de abastecimiento de agua.

En general, las pérdidas representan la diferencia que existe entre la medición de la cantidad de agua suministrada al sistema y el volumen de agua considerado como base para la facturación y cobro de los servicios.

Las pérdidas se componen de tres partes :

#### Pérdida de Agua.-

Representa el componente de las pérdidas debido al escape de agua que ocurre en los dispositivos de rebose de los tanques de almacenamiento del sistema de distribución, o el escape de agua que ocurre en tuberías y demás elementos del sistema de distribución por fallas en la hermeticidad de los mismos.

En esta categoría se encuentran las fugas en redes de distribución y conexiones prediales, así como los reboses en tanques de almacenamiento de agua.

También pertenecen a esta categoría las fugas y reboses de los sistemas prediales cuyas conexiones no son micromedidas.

#### Errores en Medición.-

Representan un componente importante de las pérdi das causado por la imprecisión de los equipos de medición de caudal de los sistemas de macromedición y micromedición. Caracterizan, por lo tanto, la calidad y eficiencia del sistema de medición, y se relacionan con aspectos de evaluación de cantidades de agua y no con pérdida de agua propiamente dicha.

### Usos no Facturables.-

Representan el componente de las pérdidas relativo a las cantidades de agua que, a pesar de ser utilizadas realmente, no revierten en facturación. En esta categoría están incluidos los consumos operacionales ( lavado y desinfección de tuberías, reservorios ), consumos especiales ( bomberos ) y los consumos clandestinos.

En un sistema de abastecimiento de agua, el control de reducción de las pérdidas se debe ~~de~~ efectuar tratando el problema con un enfoque integral considerando, además de los efectos de las pérdidas, sus causas, las que en muchos casos son institucionales.

## 2.- OBJETIVOS

Los objetivos de la presente metodología son :

- a) Determinar el volumen de pérdidas de los sistemas de abastecimiento de agua y cuantificar sus componentes.
- b) Identificar el método más apropiado para la detección y control de fugas de acuerdo a la realidad de los sistemas.
- c) Evaluar el potencial para reducción de fugas por medio de control de presión.

### 3.- ALCANCE

Las actividades descritas en la presente metodología tienen como finalidad servir de base para que las Empresas de Abastecimiento de Agua Potable puedan determinar las pérdidas de agua que ocurren en sus sistemas.

Con su aplicación se espera :

- Mostrar de manera objetiva y detallada la cantidad de agua que se pierde en los sistemas de suministro de agua potable.
- Proporcionar la base para conocer las causas que producen estas pérdidas.

Con el desarrollo de este trabajo se podrá obtener una visión de conjunto de las pérdidas de agua que ocurren en un sistema de abastecimiento. Por ello, no es deseable que su aplicación sea realizada aisladamente, sino que debe comprometer a todas las áreas de la Empresa.

A continuación se incluye una sección de carácter general, llamada "tipificación de pérdidas y del uso ineficiente del agua", que tiene por objetivo presentar algunos de los conceptos básicos utilizados en esta metodología para permitir su uso común sin equívoco.



### 3.1. TIPIFICACION DE PERDIDAS Y DEL USO INEFICIENTE DEL AGUA

En general, las pérdidas de un sistema de agua potable pueden clasificarse en :

A. Pérdidas Físicas

B. Pérdidas Comerciales

C. Desperdicios

A. Las pérdidas físicas disminuyen la disponibilidad de agua obligando a aumentar la oferta para satisfacer una demanda dada. Esto provoca un incremento en los costos del servicio. Se pueden clasificar como sigue :

A.1. Fugas en :

- . Conducciones
- . Estaciones de Bombeo
- . Plantas Potabilizadoras
- . Reservorios de Almacenamiento
- . Redes de Distribución
- . Conexiones Domiciliarias

A.2. Reboses en :

- . Canales Alimentadores
- . Plantas Potabilizadoras
- . Estaciones de Bombeo

- . Cajas de Regularización
- . Reservorios de Almacenamiento

A.3. Consumos excesivos de proceso por :

- . Lavado de Filtros y Decantadores
- . Descarga automática de decantadores
- . Purgas en conducciones
- . Purgas en la red de distribución
- . Limpieza y desinfección
- . Reparación de tuberías

A.4. Consumos extraordinarios por :

- . Combate de incendios
- . Lavado y desinfección de redes nuevas
- . Fuentes de ornato

B. Las pérdidas comerciales son aquéllas que impiden la recuperación plena de los ingresos previstos por la prestación de servicios. Pueden clasificarse como sigue

B.1. Consumos gratuitos de :

- . Edificios públicos
- . Areas verdes
- . Usuarios privados

B.2. Consumos clandestinos por :

- . Conexión clandestina

- . "Puente" ( by-pass ) del medidor

### B.3. Errores de Micromedición :

- . Desperfectos en medidores ( desde falta de calibración hasta fuera de servicio )
- . Inexactitud del medidor por dimen frente a volumen o caudal
- . Lectura de medidores

### B.4. Errores de estimación de consumos no medidos.

### B.5. Facturación y recaudación inadecuadas.

C. Los desperdicios son los consumos resultantes de la mala utilización del agua por el usuario. Ellos obligan a aumentar la oferta, implicando un incremento en los costos del servicio.

Los desperdicios están directamente relacionados con una tarifación inadecuada y la ausencia o insuficiencia de micromedición. Se producen en :

C.1. Hábitos de consumo

C.2. Instalación hidráulica interna del usuario

C.3. Muebles y accesorios intradomiciliarios

C.4. Equipos e instalaciones industriales y comerciales.

## CAPITULO III

### METODOLOGIA DEL ESTUDIO

#### 1.- INTRODUCCION

En el presente capítulo se describen los elementos que intervienen en el balance del consumo de agua potable, y se indica la metodología a seguir para obtener estos datos.

Es necesario señalar que las cantidades de agua potable que intervienen en los abastecimientos de una localidad pueden clasificarse en tres grandes grupos :

A. El agua captada, es decir la que se deriva de las fuentes aprovechadas para el servicio;

B. El agua suministrada, o sea la parte del volumen captado que entra al sistema de distribución de la ciudad; y,

C. El agua consumida, que es la recibida por los usuarios para satisfacer sus necesidades.

Aparentemente los tres grandes bloques deberían ser iguales. Sin embargo en la práctica, debido al proceso mismo de tratamiento, el agua suministrada es normalmente menor que la captada y a causa de diversos factores, el agua consumida por los usuarios es solamente una fracción de la que se suministra al sistema.

La magnitud de esas diferencias mide el rendimiento de los procesos correspondientes y la expresión de la forma cómo los factores que las originan se combinan para hacer que la suma de las aguas que entran sea igual a la de las que salen, constituye lo que se denomina "el balance de las aguas".

Debido a la secuencia que siguen las diferentes etapas en los procesos del abastecimiento, es posible plantear dos balances diferentes :

A. Balance de Producción, expresa cómo la suma de las aguas captadas es igual a la de las suministradas a la ciudad; y,

B. Balance de Consumo, expresa cómo la suma de las aguas suministradas a la ciudad es igual a la de las consumidas por los distintos conceptos.

El balance de la producción es de gran importancia para el control de los procesos previos del abastecimiento, pero el del consumo se considera vital para el servicio, ya que es la base de la comercialización del agua. Por esta razón, en el presente trabajo nos referiremos solamente a este balance del consumo y lo llamaremos simplemente "balance del agua".

## 2.- VOLUMEN SUMINISTRADO

Los datos utilizados corresponden a los volúmenes netos que suministra cada una de las fuentes de abastecimiento al sistema de distribución, es decir equivale al agua captada, restándole los consumos y fugas anteriores al ingreso de ella al sistema de distribución, tales como el del agua gastada en el tratamiento.

Debido a que el resultado obtenido constituye en sí mismo uno de los términos fundamentales del balance, es indispensable que :

A) Los volúmenes se establezcan por medio de aparatos medidores únicamente. No debe emplearse ningún sistema diferente de estimaciones porque los errores producidos con estos procedimientos le restan confiabilidad a cifras que la necesitan, ya que van a ser la base de todas las comparaciones.

Para efectos del presente trabajo se emplearon medidores tipo tubo Pitot. Adicionalmente, la prueba de producción se efectuó midiendo los niveles de agua en el reservorio existente aguas abajo de la planta, con la válvula de salida cerrada y la válvula de entrada abierta. Para ello se utilizó un medidor de nivel que nos proporcionaba la tasa de subida del nivel de agua que estaba ocurriendo en el reservorio. El área superficial neta del reservorio multiplica-

da por la tasa de subida del nivel de agua nos da como resultado un caudal promedio de salida de la planta que debe ser menor al de entrada debido a las varias pérdidas que ocurren dentro de la Planta de Tratamiento.

- B) Los medidores deben estar instalados en los puntos en que el flujo correspondiente entra al sistema de distribución, así su lectura de los volúmenes netos.
- C) Los medidores deben encontrarse calibrados de tal manera que, en el momento de hacer el balance, se garantice que están trabajando con una curva de errores conocida.

La toma sistemática de los datos del agua suministrada depende de las condiciones locales y puede hacerse diariamente o mensualmente. El procedimiento diario permite corregir oportunamente las fallas que se presenten, pero si hay almacenamientos flotantes en el sistema de distribución, el agua que éstos retengan o que suministren adicionalmente ocasiona errores que llegan a alcanzar órdenes de magnitud hasta del 25 %. Si es mensual, en cambio, el error causado no pasará del 1 % y con un proceso anual, será despreciable. En estas condiciones, un método recomendable consiste en tomar diariamente los datos y consolidarlos mensualmente.



### 3.- FUGAS EN LOS RESERVORIOS

La prueba de fugas en los reservorios se efectuó con la finalidad de conocer si se perdió agua por las rajaduras y/o permeabilidad de las paredes del reservorio.

La prueba consistió primero en llenar el reservorio y luego cerrar las válvulas de entrada y salida. La válvula de by-pass se mantuvo abierta para permitir que el agua que llegaba pase directamente, aguas abajo del reservorio.

Previamente, se sondearon las válvulas de ingreso y salida para verificar que cerraron herméticamente.

Se registró el cambio del nivel de agua en el Reservorio por medio de un medidor de nivel.

La caída del nivel de agua representa un caudal promedio de salida, el cual es equivalente a un porcentaje determinado del volumen diario del reservorio.

Se midió el diámetro interno de los reservorios existentes. Es necesario que esta prueba se realice en el momento apropiado ( generalmente en las noches ), de tal forma que se tenga un nivel apropiado.

Si no se detecta caída en el nivel de agua dentro del reservorio, se deducirá que no existen fugas en dicho reservorio.

#### 4.- FUGAS EN LAS TUBERIAS TRONCALES

Para evaluar las posibles fugas existentes en las tuberías troncales, se instalaron medidores tubos Pitot en los extremos de aguas arriba y de aguas abajo de la tubería, y se cerraron todas las conexiones laterales. El volumen de fuga se pudo calcular por medio de la comparación de caudales registradas por los dos medidores. Este procedimiento tiene la ventaja de no requerir el sacar de servicio la tubería que se está examinando.

Para eliminar cualquier error debido a la variación de las calibraciones de los medidores, se intercambiaron de lugar y se calculó el promedio de las fugas registradas.

Antes de empezar las pruebas, se debe de tener bien definido el concepto de tuberías principales, indicando su longitud, diámetros y laterales existentes.

Existen líneas que no se pueden aforar debido a que en dicha sección de la tubería, el agua no fluye bajo presión. Sin embargo, por la misma razón, es muy probable que las fugas en esta sección no sean significativas.

Se debe de hacer una inspección de los registros de la Empresa sobre roturas en tuberías troncales. Si

se asume que las fugas se producen en la misma proporción que las roturas, entonces, la pérdida total en tuberías troncales se puede calcular aplicando este mismo porcentaje.

En forma preliminar para detectar las fugas en las tuberías troncales, se camina siguiendo la ruta de la tubería y se hacen diversas observaciones, cualquiera de las cuales puede indicar la existencia de una fuga : suelo húmedo o pantanoso, diferencias en la vegetación, asentamiento del terreno debido a la erosión subterránea, aparición repentina, no registrada previamente, de agua en la superficie. En zonas que cuentan con un sistema de alcantarillado, los aumentos del volumen de las alcantarillas con agua clara pueden indicar que está ingresando agua en los desagües desde el sistema de abastecimiento de agua potable.

El volumen total de agua perdida en las tuberías troncales se expresa en l./seg., equivalentes a un número de  $m^3$  por año, o a un porcentaje de la producción total.

## 5.- FUGAS EN LAS REDES DE DISTRIBUCION

Para evaluar las fugas en las redes de distribución, se consideraron cinco métodos diferentes de control de fugas. Estos son : el control pasivo, el sondeo regular, la medición distrital básica e intensiva, y el control de presiones.

Los detalles de los procedimientos para cada método se describen a continuación :

### 5.1. CONTROL PASIVO

El control pasivo consiste solamente en la reparación de las fugas visibles. No se intenta detectar fugas, y las fugas son reportadas por los usuarios.

Es la forma menos intensa de control de fugas, y por lo tanto la más barata. Sin embargo, este método de control de fugas no es normalmente el más eficiente económicamente, excepto en áreas donde el agua es muy barata ( es decir, los costos de tratamiento y distribución son muy bajos ) y donde las condiciones del suelo son tales que las fugas subterráneas afloran rápidamente a la superficie.

## 5.2. SONDEO REGULAR

El control de fugas por medio del sondeo regular se basa en el hecho de que las fugas producen un ruido característico que puede transmitirse hasta cierta distancia por el material de la tubería.

En el sondeo regular, las fugas son ubicadas por equipos de técnicos que patrullan regularmente el sistema, sondeando en las llaves de paso, válvulas e hidrantes disponibles, escuchando el sonido de las fugas.

Los equipos utilizados en el sondeo fueron la varilla de sondeo y el geófono mecánico. La investigación de la fuga se realizó colocando un extremo de la varilla contra el suelo, o directamente en el tubo, y el otro contra el oído del operador, siendo posible de esta manera, escuchar el ruido de una posible fuga. En algunos casos el sondeo puede ser efectuado con la utilización de equipos electrónicos sofisticados, instalados en un vehículo. La utilización del "Laboratorio móvil" se justifica, para ciudades de gran tamaño, cuando se desea rapidez en la detección y reducción de las pérdidas.

La frecuencia de ejecución del sondeo varía de una empresa a otra, pero se recomienda realizarla una o dos veces por año.

El sondeo regular puede ser el método más apropiado en áreas donde los costos de tratamiento y distribución de agua no son altos, la mano de obra es barata y donde los medidores y otros equipos sofisticados son caros o su importación es dificultosa.

### 5.3. MEDICION DISTRITAL INTENSIVA

#### 5.3.1. Introducción

Este método consiste en la medición rutinaria de los caudales mínimos nocturnos en zonas aisladas.

Aunque el consumo varía considerablemente durante el día, y también de un día a otro, es un característico de la mayoría de las redes de distribución que el caudal de entrada a una zona caiga a un mínimo en la madrugada.

Este caudal mínimo se mantiene estable durante varias horas y es aproximadamente igual en noches sucesivas.

A estas horas de la noche existe muy poco consumo genuino y virtualmente todo el caudal que entra a la zona se debe a fugas en el sistema de distribución o en las propiedades de los consumidores.

Si las presiones de la zona se mantienen constantes durante este período, entonces los caudales de fugas se mantienen también constantes. Por lo tanto, el caudal mínimo nocturno es un buen indicador del nivel de fugas dentro de una zona.

### 5.3.2. Descripción breve del método

Inicialmente se seleccionó un sector de la red de distribución.

Este sector se aisló del resto del sistema por medio del cierre permanente de válvulas de frontera, dejando solamente un punto de ingreso de agua al sector, y ningún punto de salida.

Luego, se procedió a instalar un aparato registrador de caudal en el punto de entrada. Durante este período no puede haber interrupciones en el abastecimiento y el sector debe estar bien abastecido.

El siguiente paso fue medir los consumos mínimos nocturnos en pequeñas extensiones de la red.

Si el sector o distrito incluye grandes consumidores o consumidores que probablemente usen cantidades significativas de agua en la noche, se procederá a cerrar el servicio a estos consumidores durante la medición. Si esto no es posible,

cerá a registrar o leer su consumo durante el período de caudal mínimo y restar su consumo del caudal mínimo nocturno total.

Si el caudal mínimo nocturno es superior a un valor máximo admisible, establecido estadísticamente, o si ha aumentado significativamente desde la medición anterior, esto indica la existencia de fugas. Por lo tanto, se deberá enviar un equipo de inspección a la zona para detectar y ubicar las fugas. Esto se puede hacer por medio de uno de estos dos métodos o por la combinación de ambos :

- a) Sondeo de todo el distrito
- b) Una prueba de pasos, seguida de un sondeo selectivo.

Para efectuar una prueba de pasos, se subdivide temporalmente el distrito en varios sub-districtos ( típicamente 10 ) por medio del cierre de válvulas. Estos sub-districtos o pasos se cierran uno por uno, a intervalos de 10 a 15 minutos, empezando con el más lejano al medidor y concluyendo con el paso que incluye al medidor. Toda la prueba deberá realizarse durante el período del caudal mínimo nocturno.

El medidor registra el cambio del caudal nocturno que resulta del cierre de cada paso, el que indica el volumen de fuga o desperdicio dentro del pa-



so. Después de esto, el equipo de sondeo es enviado a trabajar solamente en aquellas áreas donde existen los mayores niveles de agua.

La medición distrital es el método más intenso de control de fugas, y obtiene el nivel más bajo de fugas. Sin embargo, es también el método más caro, y requiere de una inversión sustancial en medidores y otros equipos, así como gran cantidad de trabajo de campo para establecer los distritos e instalar los medidores.

Representa una política apropiada en áreas donde el costo del agua es alto, o donde el agua es es casa.

#### 5.4. MEDICION DISTRITAL BASICA

Este método representa una solución intermedia en tre el sondeo regular y la medición distrital intensiva.

En este caso se divide la ciudad en distritos de hasta 3,500 conexiones. En lugar de utilizar instalaciones permanentes de medidores para el aforo del caudal mínimo nocturno, se usan medidores tubo Pitot o se mide la caída del nivel de agua dentro de un reservorio. Los caudales nocturnos de cada zona se miden dos

o tres veces al año, y los resultados se utilizan para determinar las áreas donde deberán trabajar los equipos de sondeo. El aislamiento de los distritos no tiene que ser permanente, y generalmente, existirían algunas válvulas que se cerrarían solamente durante la medición del caudal nocturno.

Este método no será tan exitoso para reducir las fugas como lo es la medición distrital intensiva, debido a que los distritos son más grandes y la frecuencia de control es mucho menor. Sin embargo, esto asegura que los equipos de sondeo trabajen en las áreas de mayores fugas, y da una medición cuantitativa del éxito del esfuerzo hecho para el control de fugas. La ventaja principal es que requiere una menor inversión en medidores y otros equipos sofisticados y mucho menos trabajo preparatorio de campo. Tampoco requiere de un aislamiento permanente de los distritos.

#### 5.5. CONTROL DE PRESIONES

El volumen de agua que escapa por una fuga depende mucho de la presión en la tubería. La incidencia de fugas también puede estar afectada por las presiones. Por lo tanto, existe una fuerte relación entre las fugas y la presión dentro de una zona.

Esta relación se muestra en la Lámina 3.1.

Debido a que las fugas no dependen solamente de las presiones, la escala vertical en la lámina representa un índice adimensional de las fugas y no al caudal mismo de las fugas.

La Lámina 3.1 se basa en una gran cantidad de experimentos efectuados en el Reino Unido, pero puede igualmente aplicarse en el Perú. Por ejemplo, indica que una reducción del 40 % en la presión promedio de la zona daría como resultado una reducción del 50 % en las fugas.

En un sistema de distribución que presente una cierta regularidad en el suministro, parece que las nuevas fugas surgen casi independientemente de las acciones de reparación de las fugas antiguas.

Evidentemente, la incidencia de nuevas fugas puede aumentar con la reducción de la cantidad de fugas existentes en un determinado momento, debido al incremento de presiones en la red. Sin embargo, parece que ese incremento en la velocidad de surgimiento de nuevas fugas, debido a la propia reducción del volumen de agua perdido por este concepto, no es verdaderamente significativo. Se trata, además, de un fenómeno transitorio, ya que cuando se somete una red a un nuevo status de presión, hay una tendencia a que se produz-

can nuevas fugas, precisamente en los puntos flojos de la red. Reparadas esas fugas, el sistema debe acomodarse al status anterior.

Con el fin de identificar las zonas que podrían beneficiarse con el control de presiones, se deben de controlar las presiones en las redes de distribución durante 24 horas, bajo condiciones normales de operación, tr en lugares que cubran toda la ciudad. En base a estos registros se pueden identificar las zonas que podrían beneficiarse por una reducción de presiones en la red.

El control de presiones se logra normalmente por medio de válvulas reductoras de presión o por medio de tanques rompe-presión. También es posible el control por medio de la reducción de la carga de bombeo. El efecto en las fugas es inmediato.

En ciudades donde el terreno es más plano, generalmente las presiones son bajas, ofreciendo menos oportunidad para el control de presión.

Asimismo, cuando las viviendas en unas áreas son todavía muy nuevas, presentan presiones altas, ya que los servicios de agua no se encuentran aún muy bien desarrollados. En el futuro, a medida que se instalen más servicios internos en las casas, es probable que

aumente el consumo y disminuyan las presiones. Por eso se deben registrar las presiones a intervalos regulares con miras a una posible instalación de válvulas reductoras de presión para controlar las fugas.

Sin embargo, el control de presiones es un método pasivo para el control de fugas, ya que no involucra la detección o ubicación de las fugas. Por lo tanto, se le debe utilizar con uno de los otros métodos como una medida complementaria para el control de fugas.

#### 5.6. PREDICCIÓN DE NIVELES DE FUGAS

Los niveles de caudal mínimo nocturno que pueden lograrse por medio de los diferentes métodos de control de fugas se muestran gráficamente en la Lámina 3.2.

Para poder utilizar esta lámina, es preciso primero saber el caudal mínimo nocturno actual, correspondiente al método actual de control de fugas. Esto es suficiente para fijar la posición sobre el eje horizontal para una ciudad o zona dada. Por ejemplo, si la política existente es el control pasivo y si el caudal nocturno del momento es 26 l./conexión/hora, se procede a trazar una línea desde 26 l./conexión/hora hasta encontrar la línea de control pasivo. Desde este pun-

to se traza una línea vertical, mostrando que una política de sondeo regular puede lograr un caudal mínimo nocturno de 15 l./conexión/hora y que la medición distrital intensiva puede lograr 8.5 l./conexión/hora.

La Lámina 3.2 es resultado de un análisis intensivo de información en el Reino Unido. Sin embargo, las condiciones en el Reino Unido son diferentes a las del Perú. La mayor diferencia es que en el Perú una gran proporción del caudal mínimo nocturno se debe al desperdicio de agua en las propiedades de los consumidores, y, por lo tanto, no estaría afectado por ninguna de estas políticas de control de fugas. Este componente, en el Reino Unido, no es mayor a 2 l./conex./hora.

Sin embargo, si el caudal mínimo nocturno se puede dividir en sus dos componentes, que corresponden a las fugas en la red y al desperdicio en los domicilios respectivamente, se podría aplicar la Lámina 3.2 a aquella parte del caudal nocturno que se debe a las fugas en la red de distribución.

## 6.- REBOSE DE RESERVORIOS

En los reservorios se pierden cantidades significativas de agua debido a los reboses, usualmente en las noches, debido a la falta de control en la tubería de ingreso.

Para evaluar la magnitud de estas pérdidas, se pueden instalar medidores de nivel en algunos reservorios seleccionados durante períodos de siete días, para determinar si el agua alcanza el nivel de rebose.

Las cantidades de agua perdida pueden calcularse del ritmo de incremento del nivel del reservorio antes de iniciarse el rebose. Tanto el ritmo de incremento del nivel del reservorio, como el caudal de rebose se determinan por la diferencia entre los caudales de entrada y salida.

Los caudales de entrada son generalmente constantes, y son determinados o por los caudales de bombeo, o por la diferencia entre los niveles de dos reservorios.

En la noche, cuando usualmente ocurre el rebose, el caudal de salida es regularmente constante una vez que la zona ha alcanzado las condiciones de caudal mínimo nocturno.

Las pérdidas de agua causadas por el rebose de re-

servorios pueden eliminarse completamente instalando medidores de nivel adecuados, los mismos que se seleccionarán de acuerdo al grado de sofisticación exigido. Para los pequeños sistemas podrá ser suficiente una boya o un flotador, y en otros casos se podrán instalar válvulas de control en las tuberías de ingreso.

Las válvulas pueden ser automáticas tipo Clayton, activadas por una válvula piloto la cual es operada hidráulicamente por un flotador o por la presión de la profundidad del agua en el reservorio.

Algunas de estas válvulas no cierran y otras cierran muy rápidamente, causando golpes de ariete. Se sugiere que se instalen válvulas de bola en los ingresos de los reservorios. Estas válvulas tienen una serie de ventajas en comparación con las válvulas hidráulicas Clayton. Tienen un diseño mucho más simple, y su funcionamiento es totalmente mecánico. Su mantenimiento es sencillo y su velocidad de cierre se puede regular simplemente cambiando el largo del brazo del flotador. Además, cuestan menos que las válvulas Clay ton.

Se debe entender que el agua perdida por rebose incluye costo por la compañía de cloro.

A veces ocurre el rebose debido a un excesivo bom



beo. Las válvulas de bola pueden también usarse en reservorios abastecidos por bombeo, pero se debería instalar un manómetro y una alarma activada a presión en la salida de las bombas. El cierre de la válvula de bola ocasiona un aumento de la presión a la salida de las bombas. Esto pone al operador sobre aviso de que el reservorio está lleno y que se deben apagar las bombas. Alternativamente, las bombas pueden apagarse automáticamente por medio de un conmutador activado por presión.

## 7.- MEDIDORES DOMICILIARIOS

Las pérdidas en las instalaciones domiciliarias son comunmente denominadas desperdicios y ocurren generalmente por falta de concientización de la población por práctica de ciertos hábitos. Este problema es más serio en aquellas ciudades donde la cantidad de desperdicio es mayor y segundo porque hay escasez de agua.

Es claro que el nivel de pérdidas en estas instalaciones también estará ligado directamente a la calidad de los materiales empleados en las instalaciones domiciliarias, así como también a la ejecución de estas instalaciones bajo un Proyecto Técnico adecuado. Para esto son necesarios rigurosos ensayos de recibimiento de materiales.

En algunas ciudades, la raíz del problema es la falta de medidores. Cuando la facturación se realiza en base a volúmenes estimados, los consumidores no tienen ningún incentivo para reducir el desperdicio.

En muchas ciudades, muchos consumidores que tienen medidores pagan por un volumen mínimo fijo de agua, y su facturación se hace en base a su consumo real sólo si éste excede el volumen mínimo.

Esto presenta dos desventajas: Primero, los volúmenes anuales de consumo facturado que publican las Empresas incluyen estos volúmenes mínimos en vez de los volúmenes reales utilizados, de manera que los cálculos resultantes sobre el agua no controlada son erróneo. Segundo, muchos consumidores, incluso aquellos que tienen medidores en buen funcionamiento, no tienen ningún incentivo para reducir el desperdicio ya que su uso total se encuentra dentro de la cantidad mínima fija.

Una solución parcial es reducir las cantidades mínimas.

Una mejor solución es cambiar la estructura del sistema de tarifas, de manera que los consumidores paguen una cantidad fija más un recargo adicional en base a su consumo total. Esto significaría que cada metro cúbico utilizado resulte en un costo adicional para el consumidor.

Una vez que se hayan efectuado estas mejoras, se requiere de una campaña de publicidad por radio, televisión y en la prensa, para que los consumidores se den cuenta de que si desperdician agua sus costos aumentarán.

Deben ser desarrolladas campañas de educación sa-

nitaria con la utilización de todos los medios disponibles. Estas campañas deben dirigirse principalmente a escolares, procurando inculcar en ellos sentimientos de valorización del agua.

Es tan importante la reducción de las pérdidas en las instalaciones domiciliarias que las Empresas de Agua pueden asumir el reparo de los defectos de las instalaciones domiciliarias internas.

Sin embargo, solamente se obtendrán resultados en toda su plenitud, en el combate de desperdicios, si existe una concientización de la población.

Se constituye una buena medida la distribución de instrucciones que orienten a los propios usuarios, como detectar las fugas existentes en sus predios. Estas instrucciones deben ser claras y los métodos simples, de forma que puedan ser fácilmente asimilados.

La próxima etapa es la detección de los desperdicios. Hay dos métodos y ambos son simples y eficaces . Uno es el sondeo de las conexiones domiciliarias, y el otro es la evaluación de medidores domiciliarios.

#### 7.1. SONDEO DE LAS CONEXIONES DOMICILIARIAS

Este método es más práctico para edificios públicos, ( por ejemplo, colegios, mercados, hoteles, etc. )

en los cuales normalmente se presentan los casos más serios de desperdicios.

Los desperdicios verificados en las instalaciones domiciliarias pueden tener valores significativos del volumen total en algunos sistemas.

Estos desperdicios se producen normalmente debido a :

Defectos en las válvulas y cajas de descarga de aparatos sanitarios.

Defectos en registros, torneras, conexiones y tuberías.

Cisternas :

- . Rajaduras y permeabilidad de las paredes.
- . Defecto, inexistencia del flotador.
- . Proyecto inadecuado.
- . Especificaciones de materiales incorrectos.

Donde se detecte desperdicio, se debería notificar al consumidor, dándole un plazo fijo para efectuar las reparaciones correspondientes y eliminar el desperdicio. Si el consumidor hace caso omiso de esta notificación, se le podría cortar el servicio. Se sugiere que en algunos casos la empresa podría proporcionar mano de obra gratis, requiriendo que el consumidor pague sólo el costo de los accesorios.

A largo plazo, se necesita mejorar el control de calidad de los materiales y la mano de obra en la instalación de cañerías domésticas.

El procedimiento del sondeo en las conexiones domiciliarias se describe a continuación :

- a) Se escucha en la llave de paso con la varilla de sondeo;
- b) Si no hay ruido se pasa a la siguiente conexión;
- c) Si se oye ruido se le pide al propietario de la casa que cierre todos los caños y se escucha nuevamente;
- d) Si ya no hay ruido, se pasa a la siguiente conexión;
- e) Si el ruido persiste, se cierra la llave de paso y se escucha otra vez; y,
- f) Si el ruido aún persiste, esto demuestra que hay una fuga en la calle. Si no es así, es que la fuga se encuentra dentro de la casa.

El éxito del sondeo depende en gran medida en la experiencia del operador y es importante que cada operador use siempre el mismo instrumento.

El geófono es eficaz en la ubicación de la fuga una vez que ésta ha sido identificada por medio del sondeo.

## 7.2. EVALUACION DE MEDIDORES DOMICILIARIOS

Un problema conexo, el cual es severo en algunas ciudades, es la sub estimación del consumo de aquellos usuarios que no tienen medidores, particularmente en el caso de usuarios comerciales. Obviamente, la única solución a largo plazo es la instalación de medidores.

Así mismo, muchos usuarios que cuentan con sus medidores, sub-registran en caudales bajos. Estas pérdidas, debido a los errores de marcación de los medidores, pueden representar valores significativos.

Las causas más frecuentes de este sub-registro son :

- Inexistencia de un Plan de Mantenimiento preventivo eficiente.
- Pérdida de eficiencia del medidor, debido al tiempo de servicio.
- Imprecisión del medidor debido a desgaste.
- Imprecisión debido al subdimensionamiento del medidor.
- Utilización de medidor de límite inferior de exactitud inadecuado.
- Utilización de "By-Pass" (desvío fraudulento del agua que atraviesa el medidor).
- Acumulación de aire o suciedad alrededor del medidor.

Otro aspecto que debe ser considerado es la utili zación del medidor dentro de un rango de trabajo deter minado. Existe un tipo y un tamaño de medidor adecua do a cada consumidor. Así mismo, debe ser utilizado un medidor adecuado a cada sistema, tomando en conside raci ón los aspectos técnicos, económicos, financieros y sociales.

La contribución de los errores de los medidores domiciliarios en el agua no controlada se evaluaron por medio de pruebas in situ.

Se instalaron medidores volumétricos de alta pre cisión tipo Kent, en series con una selección de medi dores existentes, efectuándose lecturas diarias en los dos medidores durante una semana o más.

Para tener una mayor representatividad, la mues tra de medidores debe incluir todos los principales ti pos de medidores que se utilizan en la ciudad, y deben cubrir un rango de edades y áreas socio-económicas. Así mismo, se deben realizar en una variedad de niveles de vivienda y en diferentes partes de la ciudad.

Seguidamente se calculó el error promedio de la muestra de los medidores probados.

Es inevitable que dentro del alcance de un estu dio como el desarrollado, la muestra de medidores domi ni



ciliarios que se pueda investigar sea pequeña. Por lo tanto, se recomienda que las Empresas continúen con este tipo de pruebas.

Si la Empresa no dispone de medidores para una mayor cobertura, los pocos que tiene deben de instalarse en una selección de locales comerciales e industriales, así como en edificios públicos, por un período de un mes cada uno, para mejorar los estimados de consumo. Después del mes deberán retirarse e instalarse en otra muestra de consumidores.

En el laboratorio de medidores, los medidores no se deben de probar solamente con caudales altos, ya que con estos caudales la mayoría de los medidores funcionan razonablemente bien, pero en caudales más bajos muchos medidores o sub-registran o se traban por completo. Por lo tanto, cada medidor se debe someter a prueba sobre un rango de 4 ó 5 caudales diferentes.

En algunos casos se podría reducir el problema de sub-registro utilizando medidores de menor rango de caudal. Generalmente, los medidores están diseñados para medir 3 m<sup>3</sup>/hora, pero en casa pequeñas podría ser suficiente un medidor de 1.5 m<sup>3</sup>/hora.

### 7.3. CONSUMO DOMESTICO NOCTURNO

Durante las pruebas del caudal mínimo nocturno en las redes de distribución ( sección 5.3. ), es evidente que una porción significativa del caudal nocturno se debe a la fuga o desperdicio de agua dentro de las propiedades de los consumidores.

Con el fin de cuantificar este componente, se efectuó un estudio del consumo doméstico nocturno en un área típica de la ciudad que poseía un amplio rango de tipos y edades de viviendas.

Se realizaron lecturas de aproximadamente 350 medidores entre las 00:00 y 02:30 horas, y se volvió a leer estos mismos medidores en el mismo orden entre las 02:30 y 04:30 horas.

Previamente, se efectuó una lectura adicional en cada medidor algunos días antes de la prueba, para diferenciar entre los medidores con consumo nocturno y los medidores malogrados.

## 8.- ZONAS PILOTO

Con el fin de probar la eficacia de los varios métodos de control de fugas descritos anteriormente, se seleccionaron zonas piloto con aproximadamente 1,000 conexiones cada una.

Cada zona piloto se aisló del resto del sistema, por medio del cierre de válvulas donde fuera necesario, dejando una sola tubería de alimentación a la zona, en lo posible se seleccionaron zonas con límites naturales.

En las tuberías de alimentación de las zonas piloto, se instalaron medidores de alta precisión para registrar los caudales mínimos nocturnos.

Se deben de evitar zonas que incluyan grandes consumidores.

Dentro de cada zona se utilizaron tres métodos de detección de fugas, en el siguiente orden :

- a) Inspección visual.
- b) Sondeo de todos los hidrantes, válvulas y conexiones domiciliarias de fácil acceso, utilizando las varillas de sondeo y el geófono.
- c) Prueba de pasos.

Se deben mantener registros de todas las horas-nombre, horas-vehículos, materiales y herramientas utilizados en el establecimiento de las zonas, instalación de medidores, catastro de válvulas, sondeo y prueba de pasos, para evaluar los costos de cada elemento del trabajo en las zonas piloto.

## 9.- OTROS USOS DEL AGUA

Los otros usos no controlados del agua, tales como servicio de incendios, suministro a carros cisternas, riego de zonas verdes, lavado de calles, etc.; se deben de evaluar en base a la información proporcionada por las Empresas.

A continuación se describen dichos elementos :

### 9.1. SERVICIO DE INCENDIOS

Se debe llegar a un acuerdo con el cuerpo local de bomberos, de tal manera que ellos envíen un reporte por cada caso atendido, en el cual se consigne el volumen registrado por el medidor de las máquinas o una estimación a base del número de veces que se empleó el total de la cisterna.

### 9.2. CARROS CISTERNAS

El agua consumida por este concepto incluye :

- a) La que se vende o se entrega directamente por la Empresa y que debe ser medida, bien por un medidor que se instala en la tubería de suministro o por el volumen correspondiente al número de cisternas llenadas que se obtiene con el control de la operación.

- b) La que toman clandestinamente otros carros cisterna en los hidrantes para incendio. La estimación de ella requiere establecer el número posible de carros y la cantidad de agua que probablemente transporta diariamente cada uno.

### 9.3. RIESGO DE ZONAS VERDES

Debe procurarse que todas las conexiones correspondientes tengan medidor. Sin embargo, hay que considerar en la práctica tres casos :

- a) Con medidor, que se asimilan a las conexiones domiciliarias medidas.
- b) Sin medidor, que requieren determinar el consumo y los desperdicios.
- c) Las clandestinas, que requieren estimar el número, el consumo y los desperdicios.

### 9.4. LAVADO DE CALLES

Hay dos formas para su estimación :

- a) Llegar a un acuerdo con la entidad encargada de la operación correspondiente, para que produzca un reporte del mismo.
- b) Lo más indicado consiste en establecer llaves espe-

ciales para esto, evitando así que se empleen los hidrantes de incendio y permitiendo además la instalación de medidores.

#### 9.5. PILETAS

Conviene que todas tengan medidor. Sin embargo, en la práctica generalmente habrá que considerar los tres casos : con medidor, sin medidor y clandestinas.

#### 9.6. ORNAMENTALES Y RECREATIVOS

Incluye las fuentes públicas que adornan las plazas y avenidas y las piscinas. Deben considerarse los tres casos : con medidor, sin medidor y clandestinas.

## 10.- BALANCE HIDRAULICO

El volumen total de agua no controlada en un sistema para un determinado año, es calculado por las Empresas como la diferencia entre la producción total y el consumo total facturado.

Este volumen es expresado como un porcentaje de la producción total.

Como resultado de este trabajo, procederemos de la siguiente manera :

Una vez establecidos los distintos elementos enumerados anteriormente, procederemos a formar tres grandes grupos :

- a) Agua Suministrada, constituido por los datos de los aportes netos correspondientes a cada una de las fuentes.
- b) Agua Justificada, que se integra con la información de toda el agua registrada por los medidores y por la que se obtiene a base de estimaciones que correspondan a usos racionales de ella.

Concretamente serán los datos que arrojen los medidores que estén funcionando, es decir, el "agua medida".



También se incluirán las estimaciones, o sea, el "agua estimada" que se referirá solamente a aquellas que se hagan para evaluar el agua consumida racionalmente por :

- Las conexiones con medidor que no funcione;  
Las conexiones que no tengan medidor;
- Los hidrantes para incendios, gastada por los bomberos;
- Los carros cisternas a los cuales se entregue agua sin medidor;  
Las conexiones de riego no medidas;  
Las conexiones de lavado de calles también sin medidor;
- Las piletas en los barrios sin medición; y,  
Las conexiones para fuentes ornamentales y las piscinas que no sean clandestinas y que no estén medidas.

c) Agua no Justificada, en la cual se incluyen todos los demás datos obtenidos, es decir :

- Estimaciones sobre desperdicios en las conexiones domiciliarias sin medidor o con medidor dañado.
- Estimaciones correspondientes a conexiones de riego y piletas, ambas no medidas.
- Consumo estimado para los servicios clandestinos

correspondientes a conexiones domiciliarias, carros cisternas, conexiones de riego y piletas.

- El volumen perdido por las fugas en la red, ya sean superficiales o subterráneos.
- Errores de medición y errores de estimación.

Con los datos agrupados, como se acaba de indicar, se procede a realizar el balance, sumando el agua justificada con la no justificada y comparándola con el volumen del agua suministrada.

Este total debe encontrarse en el rango del 2% de la cifra mencionada anteriormente para el agua no controlada, para que los valores de los componentes individuales puedan aceptarse como razonablemente exactos.

## CAPITULO IV

### EVALUACION DE LAS PERDIDAS DE AGUA

#### EN LA CIUDAD DE TACNA

Para la aplicación práctica de la presente metodología, se eligió el sistema de abastecimiento de agua potable de la ciudad de Tacna.

A continuación se presenta la descripción del trabajo desarrollado.

#### 1.- SISTEMA EXISTENTE DE AGUA POTABLE

##### 1.1. FUENTES DE AGUA Y DISTRIBUCION

En la actualidad la ciudad de Tacna se ve afectada por la escasez de agua potable. El 94 % del abaste

cimiento actual se obtiene de los canales Caplina y Uchusuma, que por gravedad conducen agua cruda para el riego, así como para el abastecimiento a las dos plantas de tratamiento de la ciudad. Estos abastecimientos de agua poseen una variante concentración de sedimentos que pueden afectar seriamente la producción de agua potable en las plantas de tratamiento. El Plano básico de la ciudad se presenta en la Lamina 4.1, y la disposición esquemática del sistema de distribución se muestra en la Lamina 4.2.

La nueva planta de tratamiento de Calana puede recibir agua cruda procedente de ambos canales. Un medidor Venturi, en buen estado de operación, se encuentra ubicado en la entrada de la planta, no se le ha efectuado calibración desde su instalación original hace unos 10 años. Los registros de caudal son asumidos por SEDATACNA para obtener los caudales de entrada a la planta de tratamiento.

De este volumen se resta una cantidad para el lavado de los filtros y por pérdidas varias dentro de la planta para determinar los volúmenes de producción que salen de la planta. La planta tiene una capacidad nominal de tratamiento de 280 l/seg.

El agua tratada se conduce por gravedad hacia un reservorio de concreto armado de 2,000 m<sup>3</sup>. de capaci-

dad, pasando a través de un medidor Venturi ubicado en la salida de la planta. Este medidor Venturi no siempre está lleno, por lo que no puede registrar el volumen de agua tratada que sale de la planta.

El caudal de salida del reservorio R1 se conduce por gravedad hacia el tanque rompe-presión Calana de 150 m<sup>3</sup>. No existe valvula de control en la entrada al tanque por lo que el caudal de salida desde R1 debe controlarse por estrangulación de la válvula de salida del reservorio.

Desde el tanque Calana el agua fluye hacia el reservorio R2, así como también, por medio de tuberías separadas, hacia Pocollay y Ciudad Nueva.

El rebose desde el tanque puede ocurrir por medio de una tubería de rebose, o por la escotilla en el techo.

Durante el trabajo se pudo observar que el rebose ocurría en muchas ocasiones.

El caudal que llega al reservorio R2 se puede distribuir en tres formas :

- Directamente hacia el reservorio.
- Desviado hacia la tubería de abastecimiento al reservorio R4 de 4,000 m<sup>3</sup> ( Planta de tratamiento Alto Li

na ); y,

- Desviado hacia las redes del área entre R2 y R4.

El flujo hacia las redes se cierra normalmente desde las 20:00 horas hasta las 04:00 horas, y el flujo hacia el reservorio R4 se restringe durante el mismo período. Los objetivos de estas operaciones son el reducir las fugas en las redes durante la noche, y llenar ambos reservorios, el R2 y el R4.

El área de abastecimiento entre R2 y R4 se divide en dos sub-áreas de presión por medio de tres válvulas reductoras de presión.

La antigua planta de tratamiento de Alto Lima toma su agua cruda del canal Caplina, vía un canal de captación que posee un medidor Parshall.

El caudal de ingreso a la planta de tratamiento se calcula midiendo la profundidad en el Parshall. Los caudales calculados de esta manera se asumen como representativos de los caudales de ingreso a la planta. Una cantidad se deduce como fugas dentro de la planta, con el fin de obtener los volúmenes de producción. Los caudales de salida de la planta se derivan hacia el reservorio R4.

La producción nominal de la planta es de 50 l/seg.

El valor real depende enormemente de la turbidez que entra, así como también del caudal disponible en el canal.

Las dos salidas desde R4 se cierran normalmente entre las 20:00 horas y las 04:00 horas, similarmente a lo que ocurre en R2, para reducir las fugas en las redes durante la noche y permitir el llenado del reservorio R4.

El área de abastecimiento comprendida entre R4 y R5 se divide en dos sub-áreas de presión por medio de dos válvulas reductoras de presión.

El reservorio R5, de 600 m<sup>3</sup>. de capacidad, recibe su suministro del R4 vía una cámara rompe-presión. La válvula de salida de este reservorio se cierra normalmente entre las 20:00 horas y las 04:00 horas, y la válvula de entrada se restringe para minimizar el rebalse del reservorio.

Desde la salida del reservorio R5 se abastece a las zonas restantes de la ciudad.

El 6 % restante del abastecimiento a la ciudad proviene del campo de pozos de sobraya, actualmente operando con dos pozos que tienen una capacidad total, según su diseño original, de 50 l/seg. Los pozos bom-

bean continuamente para abastecer al reservorio R3, de 1,000 m . de capacidad. La salida del R3 hacia el área de abastecimiento de R2 se restringe entre las 17:00 horas y 05:00 horas.

Las redes de distribución en las zonas nuevas de la ciudad están constituidas principalmente por tuberías de asbesto-cemento, y la zona antigua de la ciudad posee una red de distribución compuesta en su mayoría por tubería de fierro fundido. Existe algunos tramos de mayor diámetro compuestos por tubería de concreto armado.

El sistema entero de distribución opera por gravedad. En los momentos de la demanda pico diaria las presiones residuales son normalmente tan bajas que el agua no alcanza a llegar más allá del primer piso de muchas viviendas.

A los consumidores se les factura mensualmente el agua sobre una base volumétrica. Debido a que la mayoría de los consumidores no poseen medidores, ya que muchos de los medidores existentes no funcionan, la mayor parte de la facturación debe estimarse.

La producción y consumo de agua en Tacna para los años 1984 - 1988 se resumen en el Cuadro 4.1 y en la Lámina 4.3 se grafica la producción y facturación.



SEDATACNA posee un laboratorio de pruebas de medidores, el que se encuentra en un estado muy deficiente por no contar con un abastecimiento de agua por bombeo. El abastecimiento actual por gravedad sólo permite obtener caudales de hasta 22 l/minuto.

Una cantidad apreciable de consumidores utilizan mangueras para regar áreas de tierra fuera de sus propiedades. Esta práctica debería restringirse en vista de la situación deficitaria de agua existente.

Durante el estudio se ha detectado un considerable desperdicio de agua por parte de los consumidores en sus propiedades. Esto se relaciona particularmente con llaves defectuosas, fugas en los baños y algunas uniones en mal estado que permiten un desperdicio continuo.

Debido a que muchas propiedades no poseen medidores, este desperdicio de agua no se registra en el consumo, por lo tanto, contribuye en incrementar los altos índices de pérdida de agua en Tacna.

## 1.2. CONTROL DE FUGAS

La política actual de control de fugas en Tacna es control pasivo, es decir, que las fugas se reparan solamente cuando éstas se hacen visibles y se les re-

porta. Las reparaciones de fugas se efectúan a un promedio de sólo una por semana. Adicionalmente, el abastecimiento a la mayor parte de la población se corta todas las noches durante 6 a 8 horas, en parte para reducir las cantidades de agua que se pierden por las fugas.

CUADRO 4.1

PRODUCCION Y CONSUMO EN TACNA ( DATOS DE SEDATACNA )

	1984	1985	1986	1987	1988
Producción total de agua (m <sup>3</sup> )	8'822,906	9'149,036	9'876,020	10'567,183	10'284,750
- Lavado de filtros estimado (m <sup>3</sup> )	-157,000	-157,000	-157,000	-157,000	-157,000
Total abastecido (m <sup>3</sup> )	8'665,206	8'991,336	9'718,320	10'409,483	10'127,050
No. conexiones con medidor	10,393	10,552	10,954	11,348	11,699
No. conexiones sin medidor	4,571	4,589	4,916	4,923	5,032
Total conexiones	14,964	15,141	15,870	16,271	16,731
Consumo autorizado total (m <sup>3</sup> )	4'406,078	4'414,216	4'842,170	5'010,680	5'884,374
Población abastecida de agua potable	115,223	116,586	122,199	125,287	128,250
Consumo neto promedio (l/p/d)	105	104	109	110	126
Consumo bruto promedio (l/p/d)	206	211	218	228	216
Agua no contabilizada (m <sup>3</sup> )	4'259,128	4'577,120	4'876,150	5'398,803	4'242,676
Agua no contabilizada (% de la prod.)	49	51	50	52	42
Agua no contabilizada (l/con./hora)	32	35	35	38	29

NOTAS : 1. Todos los datos fueron suministrados por SEDATACNA.

2. El agua no contabilizada se ha reducido considerablemente en el año 1988 por medio del mejor manejo de la facturación.

3. Se ha asumido que el servicio es de 18 horas al día.

## 2.- PRUEBAS DE CAMPO

### 2.1. PRODUCCION TOTAL

#### 2.1.1. Datos de SEDATACNA

Los estimados de producción de SEDATACNA para el año 1988, se reproducen a continuación como volúmenes mensuales en m<sup>3</sup>.

CUADRO 4.2

<u>Mes</u>	<u>Calana</u>	<u>Alto Lima</u>	<u>Poz</u>
Enero	646,462	176,164	44,806
Febrero	526,972	216,799	41,126
Marzo	613,889	236,920	44,806
Abril	475,047	172,798	43,364
Mayo	602,005	173,858	40,176
Junio	641,379	173,810	38,880
Julio	682,811	178,921	40,176
Agosto	687,286	176,899	66,960
Setiembre	531,979	166,719	64,800
Octubre	614,897	142,594	66,960
Noviembre	643,707	146,864	64,800
Diciembre	734,959	154,234	53,131
1988	7'401,392	2'116,580	609,985

El estimado total de SEDATACNA para Tacna Metropolitana, para 1988, es, por lo tanto, 10'127,957 m<sup>3</sup>.

Las tasas promedio de producción son las siguientes :

Planta de Tratamiento de Calana :	235 l/seg.
Planta de Tratamiento de Alto Lima:	67 l/seg.
Pozos Sobraya :	19 l/seg.
<b>TOTAL</b>	<b>321 l/seg.</b>

---

#### 2.1.2. Planta de Tratamiento de Calana

Inicialmente, se midió el caudal de salida de la Planta de Calana utilizando un tubo Pitot instalado sobre la tubería de salida hacia el tanque rompe presión de Calana. Sin embargo, los resultados mostraron que en este punto la tubería de entrada no fluye llena, y por lo tanto, no se hicieron mayores mediciones en este punto.

La Prueba de Producción se llevó a cabo midiendo los niveles de agua en R1 con la válvula de salida cerrada y la válvula de entrada abierta.

Las mediciones se realizaron en horas de la noche, utilizando un medidor de nivel, y con estos

datos se construyó una curva de tiempo vs. nivel del reservorio ( Lámina 4.4 ).

El área superficial neta de R1 y de los dos tanques interconectados de agua filtrada es de 582.4 m<sup>2</sup>. La tasa de subida del nivel de agua de R1 se asumió como similar a la de los tanques de agua filtrada, dando como resultado un caudal promedio de 321 l/seg. ( se considera un incremento en el nivel del Reservorio de 0.49 m. por cada 15 minutos ).

El caudal de ingreso promedio a la Planta de Tratamiento, según lo medido por el medidor Venturí, considerando el lapso de tiempo que toma el agua al pasar por la planta, fue de 305 l/seg.

El caudal de salida de la Planta debe ser menor al de entrada debido a las varias pérdidas que ocurren dentro de la Planta de Tratamiento. El medidor Venturí aparenta, por lo tanto, subestimar el caudal de entrada a la Planta.

En una prueba adicional, se midieron simultáneamente los niveles de agua tanto en R1 como en los dos tanques interconectados de agua filtrada, manteniendo la válvula de salida de R1 cerrada.

Los resultados se grafican en la Lámina

El nivel de agua en R1 incrementaba a una tasa de 1.8 m/hora, mientras que en los tanques de agua filtrada era ligeramente menor, esto es 1.72 m./hora.

El área neta de R1 es 380.2 m<sup>2</sup>., mientras que los tanques de agua filtrada tienen un área neta de 202.2 m<sup>2</sup>.

Considerando el producto de la tasa de incremento con las áreas respectivas, obtenemos un caudal promedio neto de 287 l./seg.

El caudal de entrada promedio según el medidor Venturi relacionado al mismo período fue 290 l./seg.

Por lo tanto, por motivos prácticos se consideró que los caudales registrados por el medidor Venturi en el ingreso pueden tomarse como representativos de los caudales que salen de la planta.

Por lo tanto, las cifras de producción de SEDATACNA para Calana, pueden aceptarse sin requerir modificación.

### 2.1.3. Planta de Tratamiento de Alto Lima

El agua producida por la Planta de Trata-

miento de Alto Lima es calculada por SEDATACNA por medio de una calibración teórica del medidor PARSHALL ubicado aguas arriba de la Planta. Esta había sido verificada por el personal de la Empresa por medio de una serie de aforos en el canal de entrada, utilizando un correntómetro prestado por el Ministerio de Agricultura.

La comparación de los aforos con la calibración teórica de SEDATACNA se grafica en la Lamina 4.6. La calibración de SEDATACNA generalmente subestimaba el caudal, y a mayores caudales esta subestimación tendía a ser el 20 %. Los caudales de 1988 de SEDATACNA han sido, por lo tanto, revisados utilizando los resultados de los aforos.

Los caudales de entrada revisados necesitan modificarse, con el fin de producir los caudales de salida de la planta. Las pérdidas ocurren debido a la evaporación y fugas desde las varias lagunas.

La poca información disponible para el área de Tacna indica que la evaporación en la planta es d  $0.63 \text{ l./seg.}$  Aplicando esta cifra a un área superficial de  $10,000 \text{ m}^2$ . da como resultado una pérdida por evaporación anual estimada de  $20,000 \text{ m}^3$ . (  $0.63 \text{ l./seg.}$  ), tomando una tolerancia adicional por



fugas y desperdicio desde las lagunas, la pérdida total de la planta asumida es de 1 l./seg.

Esta cifra se deduce de los caudales de entrada revisados, para obtener los caudales de producción corregidos que salen de la planta.

#### 2.1.4. Pozos Sobraya

Se llevó a cabo una medición de la producción de los dos pozos de Sobraya por medio del cierre de la salida del Reservorio R3 y registrando el incremento en el nivel de agua del reservorio. Los resultados se grafican en la Lámina 4.7. Una prueba separada ( sección 3.2 ) mostró que no existe fuga detectable desde el Reservorio R3.

El área superficial neto de R3 es 190.5 m<sup>2</sup>. Luego, la producción de los pozos se calculó en 25.4 l./seg.

Este aforo concuerda bien con los caudales mensuales promedio de SEDATACNA para el caso de ambos pozos en operación. Por lo tanto, no se propone cambio alguno a las cifras de producción de SEDATACNA.

Se recomienda que aforos similares se lleven a cabo mensualmente para investigar las posibles variaciones estacionales en el nivel del acuífero sub-

terráneo y, por lo tanto, en la producción de bombeo.

## 2.2. FUGAS DE RESERVORIOS

### 2.2.1. Reservorio R2

Se llevó a cabo una prueba de fugas en el Reservorio R2, primero llenando el reservorio y luego cerrando las válvulas de entrada y salida.

La válvula de by-pass se mantuvo abierta para permitir que el agua que llegaba pasara directamente hacia el Reservorio R4.

Se registró el cambio de nivel de agua en el Reservorio R2 por medio de un medidor de nivel, y los resultados se grafican en la Lamina 4.8.

Se midió el diámetro interno del reservorio, obteniéndose 18.0 m. Luego, el área neta del Reservorio R2 es de 254.4 m<sup>2</sup>.

La caída del nivel de agua que se observa en la Lamina 4.8 representa un caudal promedio de salida de 0.5 l./seg., el que es equivalente al 3 % del volumen diario del reservorio.

El reservorio se probó en un nivel que normalmente logra durante la noche, bajándose gradual-

mente durante el día.

Por lo tanto, la fuga desde el Reservorio R2 entonces, tiene un máximo de 0.5 l./seg.

### 2.2.2. Reservorio R3

Se llevó a cabo una prueba de fugas en el Reservorio R3 apagando la operación de los dos pozos de Sobraya y cerrando la válvula de salida después de haber llenado el Reservorio.

El cambio en el nivel de agua dentro del Reservorio R3 se midió por medio de un medidor de nivel y los resultados se grafican en la Lámina 4.9.

No se detectó caída en el nivel de agua dentro del reservorio, por lo que se deduce que no existe fugas en este reservorio. El reservorio se probó bajo las condiciones de nivel que ocurren solamente durante la noche, siendo gradualmente drenado durante el día.

### 2.2.3. Reservorio R4 ( Alto Lima )

Para la prueba de fugas en el Reservorio R4, se cerraron las dos válvulas de salida a las 20:00 horas para permitir el llenado parcial del reservorio antes de su prueba. Las dos entradas se cerraron lue-

go entre las 24:00 horas y las 04:00 horas, registrándose los niveles de agua dentro del Reservorio R4. Los resultados se grafican en la Lámina 4.10.

La caída en el nivel de agua indica un caudal de salida promedio de 2.9 l./seg. el que es equivalente al 6 % del volumen diario del reservorio. Se midió el área superficial del reservorio obteniéndose 914 m<sup>2</sup>.

Durante la prueba, las dos válvulas de drenaje tenían fugas, lo que conforma parte de las pérdidas de agua. El reservorio se probó bajo las condiciones de nivel de agua típicas de condiciones del día.

#### 2.2.4. Reservorio R5

Se llevó a cabo una prueba de fugas en el Reservorio R5 por medio del cierre de la válvula de salida a las 20:00 horas. La válvula de entrada se dejó abierta, pero debido a que el abastecimiento procedente desde R4 se cerró según lo normal a las 20:00 horas, el caudal de entrada cesó debido a que el sistema se vació en unas 1.5 horas.

El cambio en el nivel de agua se grafica en la Lámina 4.11. No se detectó fuga alguna desde el reservorio.

### 2.3. FUGAS EN LAS TUBERIAS TRONCALES

El concepto de tuberías principales no está bien definido en Tacna. La mayoría de las tuberías desde las plantas de tratamiento y los reservorios hacia las redes de distribución son relativamente cortos, con cambios de diámetro y normalmente tienen laterales.

Una de las pocas tuberías troncales apropiada para la prueba fue la de 10" de asbesto-cemento ubicada entre el tanque rompe-presión de Calana y Ciudad Nueva, que pasa a través del terreno del Reservorio R2.

Se instalaron dos tubos Pitot con registradores de velocidad en la tubería, uno a la entrada de Ciudad Nueva y el otro dentro del terreno del Reservorio R2.

Los dos puntos de medición distaban uno de otro 2.3 Kms. Se registraron los caudales durante un período de 20 horas.

Posteriormente, se intercambiaron los dos equipos y se continuó registrando el caudal por otras 20 horas.

Los resultados mostraron que los registradores se paralizaban durante la noche debido a la baja velocidad. Por lo tanto, no fue posible utilizar el cómputo automático de las fugas en la tubería troncal debido a que una proporción insuficiente del caudal ocurría por

encima de la velocidad mínima requerida de 0.3 m/seg.

La fuga en la tubería tuvo que estimarse de los registros de caudales, según se detalla a continuación :

	RESERVORIO R2		CIUDAD NUEVA	
	Caudal (m <sup>3</sup> )	Período (horas)	Caudal (m <sup>3</sup> )	Período (horas)
Pitot A	213.57	9	236.25	11
Pitot B	232.47	11	203.22	9
	446.04	20	439.47	20

$$\text{FUGA} = \frac{(446.04 - 439.47) \times 1,000}{20 \times 2.3} =$$

$$= 143 \text{ l./Km./hora o } 0.091 \text{ l/seg.}$$

Este valor es bajo para fugas en tuberías troncales, reflejando una buena mano de obra para una tubería relativamente nueva con presión intermedia (30 - 40 m. ).

## 2.4. FUGAS EN LAS ZONAS DE DISTRIBUCION

### 2.4.1. General

Los caudales mínimos nocturnos se registraron en 9 zonas separadas de distribución, que en conjunto conforman la totalidad de la ciudad de Tacna ( Lámina 4.2 ).

Los resultados se resumen en el Cuadro 4.3, y los detalles de las pruebas individuales se describen en los siguientes párrafos.

Los resultados de todas las pruebas de caudal mínimo nocturno ( excepto aquellos de Pocollay y Ciudad Nueva ) se refieren a áreas que normalmente no reciben abastecimiento de agua en las noches. Estos resultados indican lo que sería el caudal mínimo nocturno aparente de disponerse de un abastecimiento continuo durante las 24 horas del día.

### 2.4.2. Zona 1 ( Pocollay )

El área de Pocollay es una de las dos áreas de distribución de Tacna que cuentan con un abastecimiento continuo. Se instaló un medidor Pitot con un registrador de presión diferencial en la tubería de salida de 8" del tanque rompe-presión de Calana que abastece a Pocollay, y se cerró la salida de 4". Se regis

CUADRO 4.3

RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE FUGAS EN LAS REDES DE DISTRIBUCION DE TACNA

Zona	Número de conexiones	Materiales de tuberías	Caudal mínimo noct no		Consumo nocturno estimado (l/seg)	Caudal nocturno neto (l/seg)	Factor "T" (horas)	Volumen anual de fugas (m <sup>3</sup> )		
			Registrado (l/seg)	Modificado (l/seg)						
1 (Pocollay)	455	AC	12.7	12.7	4.3	8.4	66.5	23.0	254,000	
2A1 (Alianza/San Martín)	1,467	AC	9.0	9.0	0.8	8.2	20.1	8.9	96,000	
2A2	965	AC		38.1	12.9	25.2	94.0	8.9	295,000	
2B1 (Natividad)	1,118	PVC	24.4	24.4	0.0	24.4	78.6	12.8	410,000	
2B2	3,348	AC		83.5	7.5	76.0	81.7	12.8	1,278,000	
3A	6,913	AC/FF	339	303	91	212	110.4	12.2	3,399,000	
3B	1,404	AC		49	4.2	44.8	114.9	12.2	718,000	
4 (Zona del Reserv. R5)	1,507	AC	13.0	13.0	0.8	12.2	29.1	12.2	196,000	
5 (Ciudad Nueva)	2,320	AC	2.0	2.0	0.0	2.0	3.1	22.3	59,000	
<b>TACNA</b>							<b>19,497</b>	<b>76.3</b>		<b>6,705,000</b> <b>(53 l/con/hr)</b>

Notas: AC = asbesto cemento  
PVC = cloruro de polivinilo  
FF = fierro fundido

Se asume que el servicio de agua en Tacna es de 18 horas al día.

La derivación del factor "T", basado en la Lámina 2.1, se explica en la Referencia No. 1.



traron los caudales y presiones durante 24 horas.

El caudal mínimo nocturno promedio durante dos noches consecutivas, fue 12.7 l./seg., que ocurre aproximadamente a las 02:00 horas. Pruebas posteriores sirvieron para identificar el consumo nocturno de varios grandes consumidores, totalizando 4.3 l./seg. Por lo tanto, el caudal nocturno neto es de 8.4 l./seg. correspondiendo a 66.5 l./conex./hora, para las 455 conexiones domiciliarias. Se sabe que algunos consumidores de Pocollay captan agua continuamente durante la noche, llenando amplios tanques de almacenamiento para su uso en la irrigación, ya que las presiones son mayores que durante el día. Esto se verificó durante el transcurso del estudio.

La presión se midió simultáneamente en el único hidrante operativo de Pocollay. El desvío de todo el caudal hacia la tubería de 8" causó una reducción marginal de presión (aproximadamente 2 %) en el hidrante.

La presión registrada durante 24 horas varió desde 46 m. hasta 53 m. Los resultados se muestran en la Lámina 4.12.

### 2.4.3. Zona 2A ( Zonas 2A1 y 2A2 )

La zona 2A está conformada por la zona de presión superior del área abastecida por los reservorios R2 y R3. Se instaló un registrador de caudal en la tubería de salida del reservorio R2. La salida de R3 se cerró asegurando de esta manera que todo el caudal hacia la zona 2A fuese registrado en R2.

La zona se aisló por medio del cierre de una válvula en el Parque Industrial, así como las válvulas reductoras de presión dentro del Parque Industrial y dentro del terreno de la Planta Alto Lima. El cierre de válvulas ocasionó un incremento sustancial en las presiones de la zona 2A, según lo indicó el registrador de presión conectado a un hidrante ubicado en Alianza. La salida desde R2 se mantuvo abierta durante en vez de cerrarla como normalmente ocurre a las 20:00 horas.

El caudal mínimo nocturno de la zona 2A fue 93.5 l/seg., ocurriendo éste a las 01:30 horas. El caudal mínimo nocturno ajustado a las condiciones normales se calcula de la siguiente manera, utilizando el concepto de índice de fugas.

	Aguas Arriba (R2) (m)	Aguas Abajo (Alianza) (m)	Presión Promedio nocturno de zona	Indice de Fuga
Presión Nocturno Normal	3.0	20.0	11.5	6.7
Presión Nocturno de Prueba	4.4	38.0	21.2	13.3

$$\text{Caudal mínimo nocturno ajustado} = \frac{93.5 \times 6.7}{13.3} = 47.1 \text{ l./seg.}$$

El caudal nocturno neto se calculó como 32.1 l./seg. ( 48.0 l./conex./hora ).

Se identificaron varios grandes consumidores con captaciones irrestringidas de agua para tanques de almacenamiento. Las escuelas y colegios poseen llaves y baños con fugas continuas, y la mayoría de las válvulas aisladoras estaban inoperables. Por lo tanto, no fue posible cerrar estos servicios ni leer sus medidores durante el período de caudal nocturno. Por lo tanto, su consumo nocturno se estimó.

#### 2.4.4. Zona 2A1 ( Alianza/San Martín )

Se instaló un registrador de caudal en la tubería de entrada a la zona de Alianza, y se cerró la

entrada de 4" durante la prueba. Se registraron los caudales y presiones durante 24 horas.

El caudal mínimo nocturno registrado en Alianza fue de 9.0 l./seg., ocurriendo éste aproximadamente a las 02:00 horas. El caudal nocturno neto se calculó como 8.2 l./seg. ( 20 l./conex./hora ).

#### 2.4.5. Zona 2 ( Zonas 2A y 2B ) ( 2A1, 2A2, 2B1, 2B2 )

La zona 2 consiste todo el área abastecida por los reservorios R2 y R3. La prueba de la zona 2 se llevó a cabo en paralelo con la prueba de la zona 2A1 ( Alianza ) para economizar el uso de agua en la noche cuando el abastecimiento a las áreas estaría normalmente cerrado.

La disposición de la prueba fue el mismo que para la prueba de la zona 2A, excepto por el cierre de las válvulas que aislan la zona de presión baja.

El caudal nocturno mínimo registrado fue 155 l./seg., ocurriendo éste aproximadamente a las 01:30 horas. El caudal nocturno neto relacionado fue 130 l./seg. ( 68 l./conex./hora ).

#### 2.4.6. Zona 2B1 ( Natividad )

Se instaló un registrador de caudal en la

tubería de PVC que abastece al área de Natividad. Se registraron los caudales y presiones durante 24 horas. La tubería de salida desde R2 se mantuvo abierta durante la prueba.

Se comprobó que la tubería de salida desde Natividad hacia el Pueblo Joven Jesús María estuvo cerrada durante la prueba.

El caudal nocturno neto se calculó en 24.4 l./seg. ( 79 l./conex.hora ).

#### 2.4.7. Zona 3

La zona 3 comprende todo el área abastecida por el Reservorio R4 ( Alto Lima ). Se instaló un registrador de caudal en la salida del reservorio, y se registraron los caudales durante 24 horas. La salida de 12" se cerró a partir de las 23:00 horas por lo que toda la zona 3 se abasteció por medio de la tubería de 18". Las interconexiones entre las tuberías de 12" y 18" se mantuvieron abiertas. La zona se aisló por medio del cierre de la válvula de entrada al Reservorio R5. Esta operación no afectó significativamente las presiones en la zona.

El caudal mínimo nocturno registrado fue 352 l./seg., ocurriendo éste a las 02:00 horas. El cau

dal nocturno neto se calculó como 252 l./seg. ( 109 l./conex./hora ), asumiendo el consumo nocturno genuino de 100 l./seg.

Durante la prueba, los servicios a la fábrica de Coca Cola y al hospital principal se cortaron durante la noche. Se estimó el consumo nocturno de muchos hoteles, hostales y colegios dentro de la zona.

Debido a que esta zona es relativamente grande ( 8,317 conexiones ) con muchos grandes consumidores, se deberá tener cuidado al interpretar los resultados.

Se recomienda que SEDATACNA lleve a cabo investigaciones adicionales de esta área, utilizando zonas más pequeñas.

#### 2.4.8. Zona 3A

La zona 3A consiste de la zona de presión superior del área abastecida por el Reservorio R4. Nuevamente se instaló un registrador de caudal en la salida del Reservorio R4, y se cerró la salida de 12" a las 20:00 horas.

La zona se aisló por medio del cierre de dos grupos de válvulas reductoras de presión entre las partes alta y baja de la zona 3.

El cierre de válvulas incrementó ligeramente las presiones en la red. El caudal mínimo nocturno registrado fue 339 l./seg. a las 01:00 horas aproximadamente. El caudal mínimo nocturno ajustado se calculó como sigue :

	Presión Nocturna promedio de la zona (m)	Indice de fuga
- Presión Nocturna Normal	24	17
- Presión Nocturna de Prueba	26	19

$$\text{Caudal Nocturno Mínimo Ajustado} = \frac{339 \times 17}{19} = 303 \text{ l./seg.}$$

El caudal neto nocturno fue 212 l./seg.  
( 110 l./conex./hora ).

Debido a los muy altos caudales nocturnos y al hecho que el Reservorio R4 está bajo normalmente para finales de la tarde, una prueba nocturna normalmente priva a esta área de la ciudad del agua durante el siguiente día. Esto refuerza la recomendación que en el futuro se investiguen zonas más pequeñas dentro de la zona 3A, para que la cantidad de agua extraída

del Reservoirio R4 durante las pruebas sea menor.

#### 2.4.9. Zona 4

La zona 4 consiste de todo el área abastecida por el Reservoirio R5.

A diferencia de las otras zonas de distribución de Tacna, las fugas dentro de la zona 4 se investigaron por medio de la medición de la caída del nivel del Reservoirio R5. En las otras zonas esto no fue posible debido a la insuficiente capacidad del reservorio.

Se permitió llenar el reservorio hasta el cierre normal, alrededor de las 20:00 horas. La válvula de salida permaneció abierta para poder abastecer continuamente la zona 4 durante el período nocturno. Los resultados se muestran en la Lámina 4.13.

El caudal mínimo nocturno, que ocurre entre las 23:00 horas y las 02:00 horas, fue de 13 l./seg. No se identificaron grandes consumidores en esta zona.

Una prueba separada ( ver sección 2.2.4. ) mostró que no existe fuga detectable dentro del reservorio. Por lo tanto, el caudal mínimo nocturno de 13 l./seg. puede tomarse como correctamente representativo del caudal nocturno en la zona.



#### 2.4.10. Zona 5 ( Ciudad Nueva )

Se instaló un registrador de caudal en la tubería de entrada de Ciudad Nueva. Se registraron los caudales durante dos noches consecutivas.

El caudal fue generalmente bajo, y durante los períodos nocturnos la velocidad cayó por debajo de la velocidad crítica del registrador. Por lo tanto, el caudal mínimo nocturno tuvo que estimarse en solamente 2 l./seg. ( 3 l./conex./hora ) para las 2,320 conexiones. Este relativamente bajo caudal nocturno refleja pocas fugas en una red instalada hace poco, donde muchos consumidores aún no han instalado sus tuberías internas y accesorios.

### 2.5. ZONAS PILOTO

#### 2.5.1. Selección de Zonas

La red de distribución en el centro de Tacna fue tendida con tubería de fierro fundido durante el período 1940 - 1950. Esta área contiene ahora un 20 % de los consumidores servidos por SEDATACNA. El restante de la tubería se tendió a partir de 1970, en su mayor parte de asbesto-cemento.

Originalmente, se pretendió seleccionar dos zonas pilotos en Tacna, una en un área con tubería

de asbesto-cemento y la otra con tubería de fierro fundido. Sin embargo, la única zona piloto adecuada en el área antigua hubiese requerido del cierre de 14 válvulas de frontera para aislar la zona del sistema restante.

Muchas de estas válvulas no habían sido operadas por muchos años, y muchas no pudieron ser ubicadas sin requerir de excavación de áreas asfaltadas. El aislamiento completo de la zona hubiese sido muy difícil.

Por lo tanto, se abandonó la zona de tubería de fierro-fundido y se seleccionó una zona con tuberías de asbesto-cemento. La zona comprendió los pueblos jóvenes Alto de la Alianza y San Martín.

#### 2.5.2. Pueblo Joven Alto de la Alianza/San Martín

La red en la zona piloto de Alianza se muestra diagramáticamente en la Lámina 4.14. La red consiste en su totalidad de tubería de asbesto-cemento de hasta 12" de diámetro, tiene una antigüedad de unos 12 años y contiene 1,467 conexiones domiciliarias.

Se abastece por dos tuberías de alimentación de 12" y 4" de diámetro. Esta zona se escogió principalmente por ser una área aislada sin válvulas

de frontera ( aparte de las dos entradas ). Por lo tanto, cerrando una entrada se podía controlar en un punto el caudal total de entrada a la zona.

Una inspección inicial de la zona mostró que la mayoría de las válvulas de la red no podía ubicarse inmediatamente. 51 válvulas de las 95 mostradas en el plano de la zona, fueron identificadas como necesarias para la prueba de pasos. Estas pudieron eventualmente ubicarse en el campo mayormente por medio de excavación. Se requirió de un total de 60 hombres/día para ubicar, excavar, limpiar, probar y reparar, donde fuese necesario, las 51 válvulas.

Se llevó a cabo un sondeo de la mayoría de las conexiones domiciliarias durante una semana, utilizando varillas de sondeo.

Los resultados mostraron que un grupo de dos personas podría sondear las conexiones domiciliarias, válvulas e hidrantes a un ritmo de 150 por día; esto permitiría el sondeo de la red de Tacna tres veces por año por un equipo de dos personas.

El sondeo produjo también las siguientes estadísticas para Alianza :

- Conexiones con medidores operativos	:	76 %
- Conexiones con medidores malogrados	:	12 %
- Conexiones sin medidor	:	12 %
		100 %
- Conexiones con fuga visible (externa)	:	4 %
- Conexiones con desperdicio interno	:	5 %

A fin de conocer el rango de caudales que se encontrarían en esta zona, se instaló un tubo Pitot en la tubería de entrada de 12". Los datos obtenidos con este tubo Pitot indicaron que sería apropiado el uso de un registrador de presión diferencial de rango 0 - 10" de agua.

Una prueba de pasos se llevó a cabo utilizando el registrador seleccionado.

Previamente se verificaron o modificaron el estado de las 51 válvulas en la zona piloto antes de la prueba de pasos, para que se pudieran efectuar 11 pasos. Esta operación se llevó a cabo en dos días.

La prueba de pasos se efectuó por medio del cierre secuencial de 11 válvulas de paso para que se pudiese determinar el consumo en cada paso por me-

dio del registrador.

Los resultados de la prueba de paso se muestran en la Lámina 4.15 y se analizan en el Cuadro

Debido a que las condiciones hidráulicas del sistema en el momento de la prueba, no eran las que normalmente ocurren en esta zona, los resultados obtenidos no pueden ser tomados como representativos. Sin embargo, son útiles como un indicador de las cantidades relativas de fugas en cada paso y como guía sobre dónde SEDATACNA debería efectuar pruebas de detección de fugas adicionales.

Una inspección visual del desperdicio dentro de las propiedades domésticas, tales como llaves con goteo y baños en mal estado, indicaron que en general el volumen de desperdicio interno era mayor que el detectado como fuga externa. Esto se pudo confirmar por una investigación posterior de las escuelas en la zona piloto que también mostraron un desperdicio considerable desde las llaves de agua y baños.

CUADRO 4.4

PRUEBA DE PASOS DE LA ZONA PILOTO ALIANZA/SAN MARTIN

Paso No.	Número de conexiones domiciliarias	Cambio en el caudal	
		(l./seg.)	(l./conex./hora)
1	229	1.0	16.0
2	124	0.3	9.0
3	68	1.2	64.0
4	259	0.1	1.0
5	281	0.9	12.0
6	143	0.8	20.0
7	22	0.7	115.0
8	67	0.6	32.0
9	92	3.7	145.0
10	138	4.3	112.0
11	44	0.8	65.0
<b>TOTAL</b>	<b>1,467</b>	<b>14.4</b>	<b>35.0</b>

## 2.6. MEDIDORES DOMICILIARIOS Y CONSUMO FACTURADO

Se seleccionaron al azar varias propiedades de la ciudad para las pruebas de exactitud de los medidores domiciliarios de SEDATACNA, así como la exactitud en la facturación de consumo. Se instalaron medidores Kent PSML-T en serie con los medidores de SEDATACNA en 20 viviendas. Además, se hicieron mediciones de consumo en 9 propiedades privadas, comerciales e industriales donde no habían medidores, o aquellos existentes no funcionaban.

Todos los medidores de SEDATACNA investigados fueron del tipo turbina inferencial, ya sea Inca Mini ( chorro único ) o Inca 3VM ( chorro múltiple ).

Los errores de registro en los medidores de SEDATACNA detectados por las pruebas fueron muy variables, variando desde un sub-registro del 73 % hasta un sobre-registro del 354 %. El error promedio de los medidores de SEDATACNA se obtiene por comparación de volumen mensual total de los 20 consumidores según lo calculado de los medidores Kent, con lo registrado por los medidores de SEDATACNA, como se muestra en el cuadro siguiente :

- No. de consumidores	:	20
- Volumen mensual total de medidores de SEDATACNA	:	511.2 m <sup>3</sup>
- Volumen mensual total de medidores Kent	:	435.6 m <sup>3</sup>
- Error promedio en los medidores de SEDATACNA	:	+ 17 %

El error promedio es por lo tanto + 17 % para la muestra de consumidores domiciliarios, es decir los medidores de SEDATACNA en promedio sobre-estiman el consumo. Sin embargo, el resultado es influenciado considerablemente por el medidor que posee el mayor error de + 354 %. Si se omitiese este medidor de la muestra, el resultado sería un error promedio de - 4 %, es decir un consumo ligeramente sub-estimado.

De mayor importancia que el error en medición es el error en el consumo estimado en todas las tres categorías ( domiciliario, comercial e industrial ), para los consumidores sin medidor ( Cuadro 4.5 ).

El cuadro siguiente da una comparación entre el consumo mensual total según los medidores Kent, y los volúmenes mensuales actualmente facturados :



	Domic.	Comerc.	Indust.
No. de consumidores	22	6	1
Volumen total mensual, medidores Kent (m <sup>3</sup> )	1,699	6,087	5,289
Volumen total mensual, facturado (m <sup>3</sup> )	707	1,450	5,000
Error en la facturación de consumo (%)	- 58%	- 76%	- 5%

La prueba de medidores ha sido inevitablemente pequeña. Aun así, indica claramente una severa sub-fac turación.

## 2.7. CONSUMO DOMESTICO NOCTURNO

El caudal mínimo nocturno obtenido en la zona Pi-loto de Alto Alianza es relativamente alto.

Sin embargo, la cantidad de fugas visibles que ocurren en el sistema de distribución cada año es baja. Además, el número de fugas detectadas en las calles durante el sondeo de la zona piloto fue también bajo.

Es claro, por lo tanto, que una gran parte del caudal nocturno se debe al consumo o al desperdicio de agua dentro de las propiedades de los consumidores.

Por esta razón, se llevó a cabo un estudio nocturno del consumo doméstico en la zona piloto Alianza. Se

hicieron lecturas en 756 medidores ubicados dentro de la zona, entre las 0:00 horas y las 02:00 horas.

Luego, entre las 02:00 horas y las 04:00 se volvieron a leer los mismos medidores en el mismo orden. Esto representa una muestra del 55 % de todos los medidores dentro de la zona y al 52 % de todos los consumidores.

Se detectaron caudales en el 5 % de estos medidores, y el caudal nocturno promedio de toda la muestra fue 14.7 l./conex./hora.

El promedio de varias mediciones del caudal mínimo nocturno neto de toda la zona piloto fue 26.4 l./conexión./hora. La conclusión, por lo tanto, es que solamente un 44 % del consumo mínimo nocturno neto en la zona de Alianza se debe a fugas en las redes de distribución.

CUADRO 4.5

DETALLES DE LAS PRUEBAS DE MEDIDORES DOMICILIARIOS - TACNA

No. de Prueba	Dirección	No. de Habitantes	Tipo de Medidor	Error del Medidor (%)	Consumo mensual estimado (m <sup>3</sup> )	Consumo mensual facturado (m <sup>3</sup> )	Error de facturación (%)
DOMICILIARIOS:							
1	H.Rubios 1717, Natividad	5	Inca Mini	+11.3	32.3	20	-38.1
2	H.Rubios 1564, Natividad	8	Inca 3VM	+19.1	34.5	20	-42.0
3	Bourgainvillas 415, Pocollay	8	Inca 3VM	-28.5	42.8	30	-29.9
4	Bourgainvillas 424		Inca Mini	-20.0	11.5	20	+73.9
5	San Martín 10-22	4	Inca 3VM	+23.9	11.0	20	+81.8
6	San Martín 7-11	7	Inca 3VM	-23.7	66.0	20	-69.7
7	P.J. Alianza I-8	8	Inca 3VM	+48.7	7.5	20	+166.7
8	P.J. Alianza N-3	6	Inca 3VM	-72.8	49.5	20	-59.6
9	P.J. Alianza V-19	7	Inca 3VM	+102.0	6.2	20	222.6
10	P.J. Alianza V-21	10	Inca 3VM	+32.6	16.9	20	+18.3
11	A. Rázuri 395, Bolognesi	5	Inca Mini	-0.5	25.2	20	-20.6
12	A. Rázuri 385, Bolognesi	2	Inca Mini	-0.7	2.3	20	770.0
13	Italia 134, Espíritu Santo	4	Inca Mini	+10.4	42.4	40	-5.7
14	Italia 144, Espíritu Santo	3	Inca Mini	+ 7.7	25.1	24	-4.4

No. de Prueba	Dirección	No. de Habitantes	Tipo de Medidor	Error del Medidor (%)	Consumo mensual estimado (m <sup>3</sup> )	Consumo mensual facturado (m <sup>3</sup> )	Error de facturación (%)
15	Calana 4, Pocollay	10	--	-	62.6	60	-4.2
16	Santa Ana A-10	3	Inca Mini	-6.0	12.7	20	+57.5
17	Santa Ana B-11	4	--	-	33.0	33	0.0
18	Bolognesi 890	4	--	-	11.0	20	+81.8
19	P.Ch. Alcázar 1387	3	Inca 3VM	+36.7	7.2	20	+177.8
20	P.Ch. Alcázar 1361	2	Inca 3VM	+30.7	9.4	20	+112.8
21	J. Toribio 952	8	Inca 3VM	+146	7.1	20	+181.7
22	J. Toribio 962	4	Inca 3VM	+354	26.0	20	-23.1
COMERCIALES:							
23	Colegio Manuel Flores Calvo		--	-	1168	200	-82.9
24	Bodega Sauce, Carr Calana 26		--	-	45.2	30	-33.6
25	Bolívar 299		Inca Mini	+10.4	6.4	30	+368.8
26	Restaurante El Hueco, Pocollay		--	-	263	30	-88.6
27	Universidad, Pocollay		--	-	2722	500	-81.6
28	Restaurante Tacna de Antaño, Pocollay		--	-	168	60	-64.3
29	Centro Readaptación INDUSTRIAL:		--	-	2882	800	-72.2
30	Fábrica Coca Cola		--	-	5289	5000	-5.5

Nota: El consumo mensual estimado está calculado en base de los datos del medidor Kent.

### 3.- BALANCE DE AGUA

Para efectuar el balance de agua se consideró los volúmenes suministrados al sistema de distribución (S) y los correspondientes al uso racional del agua, o sea a los volúmenes justificados (J). Se expresa por esto como el porcentaje con relación a S del valor J y se denomina : "Porcentaje de agua justificada". Su diferencia con 100 constituye entonces el "Porcentaje de agua no justificada".

A continuación se identifican los elementos que intervienen en el balance, teniendo en cuenta que la suma de los volúmenes ingresados al sistema debe ser igual a la suma de los que salen de él.

#### 3.1. PRODUCCION TOTAL

De las mediciones de campo de la producción total, se concluye que no se requiere ninguna corrección en los datos de SEDATACNA sobre la producción en la Planta de Calana, ni en los pozos de Sobraya. Sin embargo, la calibración rectificadora del canal de ingreso de Alto Lima, se ha utilizado para recalcular las cifras de producción mensual para la planta de tratamiento de Alto Lima.

El estimado revisado del agua producida en 1988

se muestra en el Cuadro No. 4.12, expresado en m<sup>3</sup>. El resultado es una producción anual total de 10<sup>6</sup>334,154 m<sup>3</sup> ( 328 l./seg. ) que es un 2 % superior a la cifra estimada por SEDATACNA.

### 3.2. FUGAS DEL SISTEMA

3.2.1. Los resultados de las mediciones de fugas en los reservorios fueron los siguientes :

Reservorio R2 :	0.5 l./seg.	( 16,000 m <sup>3</sup> /año )
Reservorio R3 :	0.0 l./seg.	
Reservorio R4 :	2.9 l./seg.	( 91,000 m <sup>3</sup> /año )
Reservorio R5 :	0.0 l./seg.	
Reservorio R1 :	no se midió	
Total	<u>3.4 l./seg.</u>	<u>( 107,000 m<sup>3</sup>/año )</u>

3.2.2. La única tubería troncal analizada mostró pocas fugas, y debido a que Tacna posee muy pocas tuberías troncales, se puede asumir que este tipo de fugas es insignificante.

3.2.3. El caudal nocturno neto promedio ( caudal mínimo nocturno - consumo nocturno medido ) para toda la ciudad de Tacna fue 76 l./conexión/hora. Este cau-

CUADRO 4.6

MES	CALANA	ALTO LIMA	POZOS SOBAYA
Enero	646,462	191,692	44,806
Febrero	526,972	252,610	41,126
Marzo	613,889	275,068	44,806
Abril	475,047	188,990	43,364
Mayo	602,005	188,190	40,176
Junio	641,379	190,509	38,880
Julio	682,811	195,795	40,176
Agosto	687,286	192,713	66,960
Setiembre	531,979	179,813	64,800
Octubre	614,897	148,223	66,960
Noviembre	643,707	155,515	64,800
Diciembre	734,959	163,659	53,131
1988	7'401,392 m <sup>3</sup>	2'322,777 m <sup>3</sup>	609,985 m <sup>3</sup>
Caudal Promedio (l./seg.)	235	74	19

dal nocturno corresponde a la situación hipotética de un abastecimiento continuo de 24 horas a toda la ciudad. Cuando se toma en cuenta el efecto en las fugas de las presiones variantes sobre un período de 24 horas, esto corresponde a una tasa promedio de 53 l./conexión/hora durante las 18 horas en que el abastecimiento se efectúa.

Sin embargo, esta cifra incluye el desperdicio en las propiedades de los consumidores y el consumo nocturno real, así como las fugas en la red de distribución. El muestreo del consumo doméstico nocturno mostró que, en Alianza, solamente el 44 % del caudal nocturno neto se debe a fugas en la red.

Si esta relación se aplica a la ciudad de Tacna como conjunto, implicaría que las fugas de agua en la red de distribución sería de 23 l./conexión/hora.

Esto equivale a un volumen anual de 3'000,000 m<sup>3</sup>/año, o 29 % de la producción total.

### 3.3. MEDIDORES Y FACTURACION

Las pruebas de los medidores mostraron que aunque existe un amplio rango de sobre-registro y sub-registro, estos dos efectos podrían aproximadamente balancearse entre sí, por lo que el error promedio es peque



ño. Por lo tanto, ya que esto se aplicó sólo a un 20% de los consumidores del sistema, este aspecto del agua no controlada ha sido ignorado.

De mayor significado son los errores en la facturación del consumo de aquellos consumidores que no poseen medidores en operación. La muestra del estudio mostró una seria sub-estimación del consumo en la mayoría de los casos.

Una extrapolación de estos resultados a la ciudad de Tacna daría como resultado un consumo casi igual a la producción total. Por lo tanto, los errores en la facturación del consumo para la muestra aparentaría no ser típica para toda la ciudad.

Para fines de este trabajo, tentativamente se asumió que la subfacturación del consumo de todo Tacna sería :

Doméstico	:	-	20 %
Comercial	:	-	50 %
Industrial	:	-	5 %

Esto da como resultado una sub-facturación estimada del consumo de 1988 de 1'400,000 m<sup>3</sup>.

### 3.4. OTROS USOS NO CONTROLADOS

Aproximadamente unos 4,000 m<sup>3</sup>/mes o 50,000 m<sup>3</sup>/año de agua en la ciudad de Tacna se abastecen a camiones cisternas que sirven a las áreas que no poseen redes de distribución.

SEDATACNA ha estimado que aproximadamente unos 160,000 m<sup>3</sup>/año de agua potable se utilizan para la irrigación de parques dentro de la ciudad.

Aunque el rebose de los reservorios no es un problema grave en Tacna, se estima que unos 50,000 m<sup>3</sup>/año se pierden por el rebose en el tanque Rompe-presión de Calana.

### 3.5. BALANCE HIDRAULICO

De lo anterior, los componentes varios de la producción total y del agua no controlada, se pueden resumir de la siguiente manera :

- Producción total de 1988	:	10'330,000 m <sup>3</sup> /año
- Consumo facturado en 1988	:	5'880,000 m <sup>3</sup> /año
- Agua no controlada	:	4'450,000 m <sup>3</sup> /año =====
- Sub-facturación del consumo	:	1'400,000 m <sup>3</sup> /año
- Fugas en los reservorios	:	100,000 m <sup>3</sup> /año
- Abastecim. a camiones cisternas	:	50,000 m <sup>3</sup> /año
- Irrigación de Parques	:	160,000 m <sup>3</sup> /año
- Rebose en los Reservorios	:	50,000 m <sup>3</sup> /año
		1'760,000 m <sup>3</sup> /año

Por lo tanto, las fugas en las redes de distribución se estiman de la siguiente manera :

$$4^{\circ}450,000 - 1^{\circ}760,000 = 2^{\circ}690,000 \text{ m}^3/\text{año}$$

21 l./conexión/hora

Esto se asemeja bastante a la cifra de 23 l./conexión/hora calculada en la sección 3.2.3.

#### 4.- DETERMINACION DE LAS POLITICAS OPTIMAS

##### 4.1. CONTROL DE FUGAS EN LAS REDES DE DISTRIBUCION

###### 4.1.1. Selección del Método

Se han considerado cinco métodos básicamente distintos de control de fugas. Estos son control pasivo, sondeo regular, medición distrital básica e intensiva y control de presión. En cada método se requiere de un nivel diferente de personal y equipos, y por consecuencia los costos varían según el método. Sin embargo, los niveles de fugas que se pueden lograr con cada método también son diferentes. El método óptimo es aquel que resultara más eficiente en la reducción de fugas, tomando en cuenta los siguientes factores :

- a) Practibilidad bajo condiciones locales
- b) Limitaciones de personal
- c) Limitaciones económicas
- d) Dificultades en la importación de equipos
- e) Niveles adecuados de tecnología para el personal na  
cional
- f) Mantenimiento del equipo importado
- g) Beneficio económico neto global del método de con  
trol.

Las mediciones del caudal mínimo nocturno servirán para decidir en qué lugares debe trabajar el personal de sondeo. Estos deberían empezar en las zonas con los caudales mínimos nocturnos más altos ( en términos de l./conexión/hora ), pero en general deberían investigar cualquier zona con caudales mínimos nocturnos mayores de 20 lts./conexión/hora, reduciéndose luego a 15 lt./conexión/hora.

Con el tiempo, de adquirirse macromedidores se podrían reemplazar gradualmente los puntos de medición con Pitot y registradores por medidores permanentes. Esto permitiría que se efectuaran pruebas más frecuentes en cada zona y la realización de pruebas de pasos.

En Tacna las condiciones para la medición distrital son menos favorables, ya que una gran proporción del caudal mínimo nocturno se debe a fugas o desperdicios en casas y edificios. Debido a que esto tiende a variar de un día a otro, el caudal mínimo nocturno en Tacna no es un indicador tan confiable de fugas en la red.

En Tacna se acostumbra cortar el suministro a la mayor parte de la ciudad durante la noche, con el objeto de reducir las fugas y llenar los reservorios. Por consecuencia, cuando se mantuvo el suministro

tro durante toda la noche para las pruebas de fugas en las zonas, esto ocasionó que áreas extensas de la ciudad se quedaran sin agua el siguiente día. Más aún, el cierre de válvulas para subdividir zonas grandes en áreas más pequeñas algunas veces ocasionó aumentos considerables de presión, reduciendo así la validez de la prueba.

Por estas razones, la política de control de fugas recomendada para Tacna es sondeo regular. Se necesitaría un solo equipo, compuesto de un técnico y un asistente, empleados a tiempo completo para efectuar sondeos de rutina.

#### 4.1.2. Procedimiento de Sondeo

El trabajo efectuado en la zona piloto demostró que un equipo de dos hombres puede sondear 150 puntos al día. Sin embargo, no es necesario ni factible efectuar sondeos en todas las conexiones, válvulas e hidrantes contra incendios. Sólo se efectuarán sondeos en aquellos medidores o llaves de paso accesibles desde la calle.

Si los medidores se encuentran muy cercanos entre sí, sólo será necesario sondear las conexiones en un solo lado de la calle.

Sólo se sondearán las válvulas a cuyos vás

tagos se pudiera llegar sin necesidad de limpiarlos.

En los hidrantes se sondeó en la válvula si estaba limpia, pero si estaba con tierra se sondeó el hidrante. En las tuberías no metálicas fue necesario efectuar el sondeo a intervalos no mayores de 20 metros. Sin embargo, en las tuberías de fierro donde un sonido de fuga se transmite a mayores distancias, fue suficiente sondear a intervalos de hasta 50 metros.

El procedimiento en las conexiones domiciliarias se describe a continuación :

- a) Se escucha en la llave de paso con la varilla de sondeo.
- b) Si no hay ruido se pasa a la siguiente conexión.
- c) Si se oye ruido se le pide al propietario de la casa que cierre todos los caños y se escucha nuevamente.
- d) Si ya no hay ruido, se pasa a la siguiente conexión.
- e) Si el ruido persiste, se cierra la llave de paso y se escucha otra vez.
- f) Si el ruido aún persiste, esto demuestra que hay una fuga en la calle. Si no es así, es que la fuga se encuentra dentro de la casa.

El éxito del sondeo depende en gran medida en la experiencia del operador y es importante que cada operador use siempre el mismo instrumento.

#### 4.1.3. Reducción de Fugas

El caudal nocturno neto en Tacna es de 76 l./conexión/hora, de lo cual 33.4 l./conexión/hora o sea el 44 % se debe a fugas en las redes. Al aplicarse la relación en la Lámina 3.2 a esta cifra se puede ver que con sondeo regular esto se podría reducir a 19.4 l./conexión/hora. Por consiguiente, el caudal nocturno neto se reduciría de 76 a 62 l./conexión/hora, es decir una reducción de 14 l./conexión/hora. El ahorro promedio en fugas durante las 18 horas en las que hay abastecimiento sería de 9.8 l./conexión/hora, equivalente a un volumen anual de 1'251,000 m<sup>3</sup>, o sea el 12 % de la producción total. De esta manera, el agua no controlada bajaría de un 43 % de la producción total a un 31 %.

#### 4.2. REBOSE DE RESERVORIOS

Las pérdidas de agua causadas por el rebose de reservorios pueden eliminarse completamente instalando válvulas de control en las tuberías de ingreso. Se sugiere que se instalen válvulas de bola en los ingresos de todos los reservorios. Estas válvulas tienen un di



seño simple, y su funcionamiento es totalmente mecánico. Su mantenimiento es sencillo y su velocidad de cierre se puede regular simplemente cambiando el largo del brazo del flotador.

Las válvulas de bola pueden también usarse en reservorios abastecidos por bombeo, pero se debería instalar un manómetro y una alarma activada a presión en la salida de las bombas. El cierre de la válvula de bola ocasiona un aumento de la presión a la salida de las bombas. Esto pone al operador sobre aviso de que el reservorio está lleno y que se deben apagar las bombas. Alternativamente, las bombas pueden apagarse automáticamente por medio de un conmutador activado por presión.

#### 4.3. MEDIDORES DOMICILIARIOS

Es inevitable que dentro del alcance del estudio, la muestra de medidores domiciliarios probados fue pequeña. Por lo tanto, es esencial que SEDATACNA continúe con los programas de pruebas sultados más confiables.

En el laboratorio, los medidores se deben probar sobre un rango de 4 ó 5 caudales diferentes. Muchas veces los medidores se prueban sólo con caudales altos ( 1,500 l./hora ), funcionando razonablement

ro en caudales más bajos estos medidores o sub-registran o se traban por completo.

En algunos casos se podría reducir el problema de subregistro utilizando medidores de menor rango de caudal. Todos los medidores estudiados están diseñados para medir hasta 3 m<sup>3</sup>/hora, pero en casa pequeñas podría ser suficiente un medidor de 1.5 m<sup>3</sup>/hora.

#### 4.4. DESPERDICIOS EN VIVIENDAS Y OTROS EDIFICIOS

El problema de desperdicio en las propiedades de los consumidores es serio en Tacna, primeramente porque en Tacna la cantidad de desperdicio es grande, y segundo porque en Tacna hay escasez de agua.

En Tacna, la raíz del problema es la falta de medidores. Por lo menos dos tercios de los consumidores en Tacna no cuentan con un medidor en buen funcionamiento. Cuando la facturación se realiza en base a volúmenes estimados, los consumidores no tienen ningún incentivo para reducir el desperdicio. Esta claro que las áreas de Tacna con los caudales nocturnos más bajos son aquéllas con una buena cobertura de medidores.

En muchas ciudades muchos consumidores que tienen medidores pagan por un volumen mínimo fijo de agua, y su facturación se hace en base a su consumo real sólo

si éste excede el volumen mínimo. Esto presenta dos desventajas. Primero, los volúmenes anuales de consumo facturado que publican las empresas incluyen estos volúmenes mínimos en vez de los volúmenes reales utilizados, de manera que los cálculos resultantes sobre el agua no controlada son erróneos. Segundo, muchos consumidores, incluso aquéllos que tienen medidores en buen funcionamiento, no tienen ningún incentivo para reducir el desperdicio, ya que su uso total se encuentra dentro de la cantidad mínima fija.

Una solución parcial es reducir las cantidades mínimas. Una mejor solución es cambiar la estructura del sistema de tarifas, de manera que los consumidores paguen una cantidad fija más un recargo adicional en base a su consumo total. Esto significaría que cada metro cúbico utilizado resulte en un costo adicional para el consumidor.

Una vez que se hayan efectuado estas mejoras, se requiere de una campaña de publicidad por radio y televisión, y en la prensa, para que los consumidores se den cuenta de que si desperdician agua sus costos aumentarán.

La próxima etapa es la detección de desperdicio. Hay dos métodos y ambos son simples y eficaces. Uno es

el sondeo de las conexiones domiciliarias, tal como se describe en la sección 4.1.2., y el otro es la lectura nocturna de medidores. El segundo método es más práctico para edificios públicos ( por ejemplo, colegios ), en los cuales se detectaron los casos más serios de desperdicios durante el estudio. Donde se detecte desperdicio, se debería notificar al consumidor, dándole un plazo fijo para efectuar las reparaciones correspondientes y eliminar el desperdicio. Si el consumidor hace caso omiso de esta notificación, se le podría cortar el servicio. Se sugiere que en algunos casos la empresa podría proporcionar mano de obra gratis, requiriendo que el consumidor pague sólo el costo de los accesorios.

A largo plazo, se necesita mejorar el control de calidad de los materiales y la mano de obra en la instalación de cañerías domésticas.

Un problema conexo, el cual es severo en Tacna, es la sub-estimación del consumo de aquellos usuarios que no tienen medidores, particularmente en el caso de usuarios comerciales. Obviamente, la única solución a largo plazo es la instalación de medidores.

SEDATAACNA podría conseguir medidores en tamaños que varían de 1" a 4". Estos deberían instalarse en

una selección de locales comerciales e industriales, así como en edificios públicos, por un período de un mes cada uno, para mejorar los estimados de consumo. Después del mes deberían retirarse e instalarse en otra muestra de consumidores.

Las mediciones del caudal mínimo nocturno en las zonas de distribución deberían repetirse de tiempo en tiempo para monitorear las mejoras en las fugas y el desperdicio.

## CAPITULO V

### EQUIPOS E INSTRUMENTOS

#### 1.- INTRODUCCION

En este capítulo nos referiremos a los equipos e instrumentos de medición y registro de caudal y presión, detectores de tuberías y tapas metálicas, y detectores de fugas que fueron utilizados durante las pruebas de campo del presente trabajo.

Se debe indicar que estos equipos fueron adquiridos por SENAPA a fines de 1987 con fondos BID IV Etapa, según el convenio BID 431-DC-PE dentro del modulo de equipamiento, con el propósito de dar inicio al Programa Nacional de Control de Pérdidas I Etapa dentro de las acciones prioritarias del Sub-Sector Sanea

miento Urbano.

Para la selección del modelo y marca de estos equipos, SENAPA contó con el asesoramiento de la OPS, a través de su Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.

En la actualidad, SENAPA dispone de estos equipos en las ciudades de Chimbote, Tacna, Puno y Arequipa, además del existente en su Almacén Central de la ciudad de Lima, siendo el Área de Operación y Mantenimiento, de la Gerencia del Sistema Operacional, la encargada de efectuar la operación y mantenimiento de los mismos.

## 2.- EQUIPOS E INSTRUMENTOS UTILIZADOS

Los equipos e instrumentos que se utilizaron durante las pruebas de campo del presente trabajo, los podemos agrupar de la siguiente manera :

- A. Equipos para medición y registro de caudales.
- B. Equipos para medición y registro de presiones.
- C. Equipos para detección de tuberías y cuerpos metálicos enterrados.
- D. Equipos para localización de fugas.

A continuación se hace referencia a estos equipos y se describe su funcionamiento y operación.



### 3.- EQUIPOS PARA MEDICION Y REGISTRO DE CAUDALES

#### 3.1. TUBO PITOT MODELO SIMPLEX

El Pitómetro Simplex es fabricado por :

F.B. Leopold Co.

División of Sybron Corporation

227 South Division Street

Zelienople, Pa. 16063

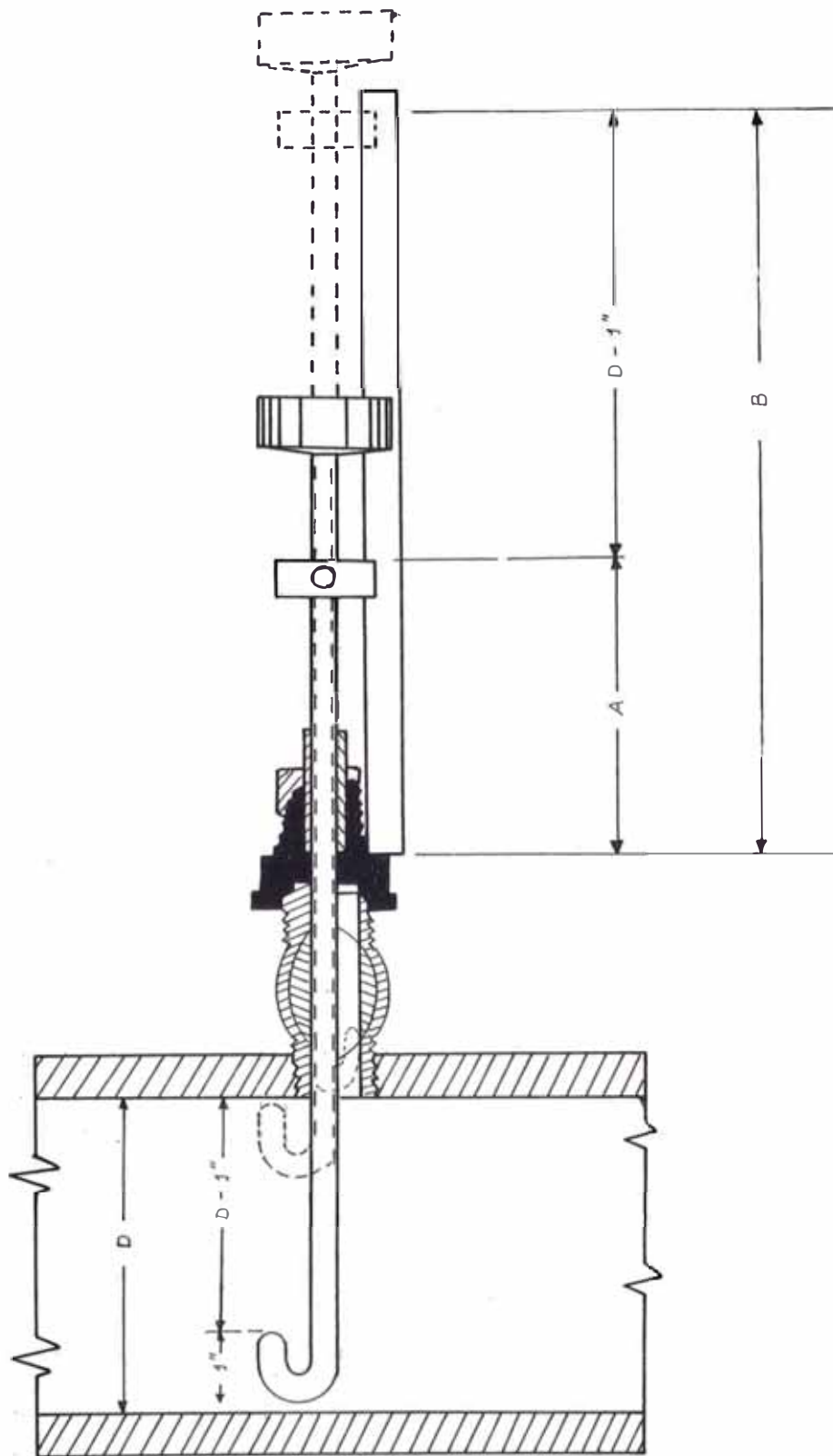
U.S.A.

El equipo completo consta de una varilla calibradora del diámetro interno del tubo, la varilla Pitot, un manómetro en U diferencial y un set de mangueras para unir de varilla Pitot con el manómetro en U. El equipo lo suministra el fabricante con un set de herramientas.

En esta parte nos referiremos a la descripción y operación del equipo y en el párrafo 3.2. se detallan los principios hidráulicos de operación y las formulaciones matemáticas.

##### 3.1.1. Varilla de Calibración

Este instrumento, figura 5.1, consiste en una varilla de bronce que pasa a través de una tuerca excéntrica que se enrosca a una válvula de incorpora-



VARILLA DE CALIBRACION

FIGURA 5.1

ción con rosca de 37 mm. ( 1 1/2" ) de salida, 12 hilos por cada 25 mm. ( 1" ), con 25 mm. de diámetro libre. Con esta válvula abierta la varilla puede penetrar en el tubo. El sello hidráulico se lleva a cabo mediante un empaque de cuero o de hule ubicado en el fondo de la tuerca.

El extremo inferior de la varilla tiene forma de gancho y en el superior tiene una rueda o manubrio para fácil operación. La varilla tiene un dispositivo o guía que se desplaza a lo largo de la misma y que se puede fijar mediante un tornillo y se utiliza como guía de medición.

### 3.1.2. Varilla de Pitot Simplex

La varilla de Pitot, figura 5.2, consiste en un par de tubos, ubicados dentro de una varilla metálica, uno de los cuales capta la carga de impacto o alta presión ( suma de la carga dinámica y carga de presión ) y el otro tubo capta la carga de referencia o baja presión. De la diferencia entre la carga de impacto y la carga de referencia se obtiene la carga dinámica, la cual es proporcional al cuadrado de la velocidad del flujo en movimiento.

La varilla Pitot tiene una gaza o fijador que la mantiene en posición, impidiendo que la presión

del agua la empuje hacia afuera. Bajo esta gaza se en encuentra un estopero que debe ser llenado con asbesto grafitado y que hace el sello hidráulico, impidiendo fugas de agua. Entre la tuerca de conexión a la válvula de incorporación y el estopero se encuentra una gaza con un dispositivo de asiento para la regla de medi da para efectuar la travesa.

Las dimensiones y especificaciones de las roscas de la tuerca de conexión son las mismas de la varilla de calibración.

### 3.1.3. Manómetro Diferencial

En principio este instrumento es un tubo en U. La cachera superior contiene cinco válvulas, fi gura 5.2, (r) e (i) para las entradas de las mangueras, (ai) y (ar) para la purga del aire, y la válvula (e) que conecta las líneas de alta y baja presión.

Asimismo, directamente sobre los extremos del tubo U contiene dos tuercas - tapones que se utilizan para cargar el líquido manométrico e introducir el cepillo de limpieza. Entre los dos brazos de tubos tiene una regla calibrada para medir las deflexiones.

### 3.1.4. Líquidos manométricos

Con el fin de evitar columnas de agua dema

siado altas que dificultarían la medida del diferencial de presión, es necesario utilizar líquidos manométricos adecuados.

Los líquidos manométricos utilizados fueron :

- Tetracloruro de carbono diluido con benceno y colorante; densidad igual a 1.11.
- Tetracloruro de carbono diluido con benceno y colorante; densidad igual a 1.25.
- Tetracloruro de carbono más colorante; densidad igual a 1.60.

### 3.2. MEDICION DE CAUDALES EN T FORMULACIONES MATEMATICAS Y CALCULOS

En este párrafo se presentan las fórmulas matemáticas que nos llevan al cálculo de caudales, así como las correcciones que deben introducirse.

#### 3.2.1. Velocidad en un punto

De la figura 5.2 se deduce la fórmula general para el cálculo de velocidad en un punto.

Considerando el e`

$$p + \frac{v^2}{2g} = p + h$$

despejando  $v$  resulta :

$$v = \sqrt{2gh} \quad \dots\dots\dots ( 5.1 )$$

donde :

$v$  = Velocidad media en m/seg.

$g$  = Aceleración de la gravedad en m/seg<sup>2</sup>.

$h$  = Carga dinámica usualmente llamada "diferencial de presión", en m.

En la fórmula ( 5.1 ) deberá introducirse un factor de corrección,  $C_o$ , que considera las características de los orificios, por lo que la fórmula general es :

$$v = C_o \sqrt{2gh} \quad \dots\dots\dots ( 5.2 )$$

En los pitómetros simplex de varilla plana, figura 5.2, este factor de corrección tiene un valor constante igual a 0.795.

### 3.2.2. Factor de Velocidad

Siendo el tubo Pitot un instrumento que mide velocidades puntuales y considerando que la veloci-

dad varía a lo largo de un diámetro cualquiera, es necesario determinar un coeficiente que relacione la velocidad media en la sección con la velocidad central medida con el tubo Pitot.

Luego :

$$C_v = \frac{V_p}{V_c} \dots\dots\dots ( 5.3 )$$

donde :

$C_v$  = Coeficiente de velocidad

$V_p$  = Velocidad promedio

$V_c$  = Velocidad al centro.

### 3.2.3. Curva de Velocidad ( Traversa )

La curva de velocidad se obtiene colocando los orificios del pitómetro en los radios medios de los anillos de igual área en que se divide la sección transversal, normalmente cinco anillos, y se ejecutan diez lecturas, cinco hacia arriba y cinco hacia abajo.

Como en la práctica el colocar el pitómetro en cada uno de los radios medios de cada área es difícil, se coloca en puntos que correspondan a décimas partes del diámetro nominal  $d_{10}$  y con estos valo

res se plotea la curva de velocidad : diámetro - deflexiones manométricas. En el mismo gráfico (figura 5.3) están dibujadas las divisiones, a trazo interrumpido, que corresponden a los radios medios de cada área igual pudiéndose leer sobre éstas las deflexiones correspondientes a los radios medios de igual área, d.

El coeficiente de velocidad se obtiene por medio de la siguiente fórmula :

$$C_v = \frac{\sum \sqrt{d / nd}}{\sqrt{d_c / nd}} \dots\dots\dots ( 5.4 )$$

donde :

d = Deflexiones en los puntos correspondientes a los radios de los anillos de igual área.

d<sub>c</sub> = Deflexiones al centro.

nd = Determinaciones ejecutadas, para d o d<sub>c</sub>.

Después de la lectura de la deflexión manométrica en cada punto, se ejecuta una lectura al centro, de donde se obtiene los valores d<sub>c</sub>.

#### 3.2.4. Velocidad al centro

La velocidad al centro se calcula con la fórmula ( 5.2 ) y el valor a utilizar será el promedio



de las velocidades obtenidas para los valores  $d_c$ .

Las deflexiones en el tubo U se leen cada 30 segundos durante un período de 10 minutos. A cada una de las 21 deflexiones le corresponde una velocidad.

### 3.2.5. Cálculo del caudal instantáneo

Considerando la ecuación de continuidad se tiene que :

$$Q = S_r \cdot V_r \quad \dots\dots\dots ( 5.5 )$$

siendo :

$Q$  = Caudal en  $m^3/seg.$

$S_r$  = Area de la tubería calculada en base al diámetro calibrado, deduciendo las obstrucciones causadas por el pitot ubicado en el eje de la tubería.

$V_r$  = Velocidad promedio en la sección transversal de la tubería.

se tiene :

$$S_r = C_c \cdot S_n \cdot C_t \cdot C_{diám.}$$

y

$$V_r = V_c \cdot C_v \cdot C_d$$

Por tanto, el caudal es :

$$Q = C_v \cdot V_c \cdot C_c \cdot S_n \cdot C_t \cdot C_{diám} \cdot C_d \quad \dots ( 5.6 )$$

siendo :

Q = Caudal en la sección transversal considerada en  $m^3/seg.$

$C_v$  = Coeficiente de velocidad ( adimensional ).

$V_c$  = Velocidad central ( m/seg ).

$C_c$  = Corrección del coeficiente de velocidad ( adimensional ).

$S_n$  = Area nominal (  $m^2$  )

$C_t$  = Corrección del área, debido a la obstrucción causada por la proyección de la válvula de incorporación ( adimensional ).

$C_{diám}$  = Corrección del diámetro ( adimensional ).

$C_d$  = Corrección de la densidad ( adimensional ).

Los componentes de esta ecuación pueden calcularse de la siguiente forma :

a) Cálculo del Coeficiente de Velocidad (  $C_v$  )

$$C_v = \frac{\sum V_{ri}}{10} \quad \dots \dots \dots ( 5.7 )$$

donde :

$V_{ri}$  = Velocidades reducidas en los centros de los semianillos de áreas iguales.

b) Cálculo de la velocidad central teórica (V)

La velocidad central teórica está dada por la ecuación :

$$V = C \sqrt{2gh(d-1)}$$

Siendo :

V = Velocidad central teórica (m/s)

C = Coeficiente del Pitot Simplex (0.795)

h = Deflexión (m)

d = Densidad nominal del líquido manométrico.

c) Cálculo de la corrección del coeficiente de velocidad (C<sub>c</sub>)

Para tuberías de diámetro inferior o igual a 150 mm. el coeficiente C del tubo Pitot simplex deja de ser constante y pasa a variar con la velocidad. La Fig. 5.4 permite calcular el valor C<sub>c</sub>, para tuberías con diámetros iguales o inferiores a 150 mm.

d) Cálculo del área nominal de la sección transversal de la tubería

El área nominal está dada por :

$$S_n = \frac{\pi D_n^2}{4} \dots\dots\dots ( 5.9 )$$

e) Cálculo de la corrección debida a la proyección de la válvula de incorporación ( $C_t$ )

Esta corrección se debe a la obstrucción parcial causada por la proyección de la válvula de incorporación. Puede determinarse a través de la Tabla 5.1.

f) Corrección del diámetro ( $C_{diám.}$ )

Está dada por la expresión :

$$C_{diám.} = \left( \frac{D_{cal}}{D_n} \right)^2 \dots\dots\dots ( 5.10 )$$

Siendo :

$D_{cal}$  = Diámetro calibrado

$D_n$  = Diámetro nominal

g) Cálculo de la corrección de la densidad

$$C_d = \sqrt{\frac{d_c - 1}{d_n - 1}} \dots\dots\dots ( 5.11 )$$

Siendo :

$C_d$  = Corrección de la densidad

$d_c$  = Densidad corregida

$d_n$  = Densidad nominal.

TABLA 5.1

**FACTORES DE CORRECCION DE AREA DE PROYECCION  
DE LA VALVULA DE INCORPORACION (Ct)**

PROYECCION (Ct) (mm)	DIAMETRO (mm)					
	100	125	150	200	250	300
	Valores de Ct					
1	0.9965	0.9975	0.9990	0.9995	0.9998	0.9999
2	0.9925	0.9945	0.9970	0.9980	0.9995	0.9998
3	0.9880	0.9910	0.9955	0.9975	0.9988	0.9993
4	0.9845	0.9883	0.9930	0.9965	0.9980	0.9988
5	0.9800	0.9850	0.9920	0.9955	0.9975	0.9985
6	0.9760	0.9820	0.9900	0.9945	0.9970	0.9980
7	0.9715	0.9785	0.9883	0.9935	0.9965	0.9975
8	0.9685	0.9765	0.9865	0.9928	0.9958	0.9970
9	0.9	0.9725	0.9850	0.9915	0.9953	0.9968
10	0.9600	0.9700	0.9830	0.9905	0.9945	0.9963
11	0.9565	0.9670	0.9815	0.9900	0.9940	0.9960
12	0.9525	0.9665	0.9800	0.9885	0.9935	0.9958
13	0.9483	0.9613	0.9780	0.9875	0.9933	0.9953
14	0.9443	0.9580	0.9765	0.9865	0.9923	0.9948
15	0.9405	0.9550	0.9745	0.9855	0.9915	0.9945

FUENTE DE INFORMACION : NORMA CETESB L4.250  
(MEDICION DE FLUJO DE AGUA POR MEDIO DE  
TUBO PITOT).

### 3.3. REGISTRADORES DE CAUDAL CON CELULA ORI - FLO ( MODELO 199 )

Estos instrumentos de medición y registro de caudal son fabricados por :

Fisher and Porter

Warminster, Pennsylvania 18974 U.S.A.

#### 3.3.1. Descripción

Los aparatos registradores con célula ORI-FLO que se utilizaron en las pruebas, son equipos portátiles que registran presiones diferenciales en una carta gráfica, cuya revolución completa puede regularse a 24 horas o 7 días.

Las presiones diferenciales se generaron utilizando un tubo Pitot Modelo Simplex.

El acople del Tubo Pitot al registrador se hizo por medio de mangueras flexibles de caucho.

Las cartas gráficas ( Figura 5.5 ) que se usaron son circulares y tienen un diámetro de 300 mm.

El cálculo de la velocidad puntual, a través del registrador acoplado al Pitot, se hizo por medio de la siguiente ecuación :

$$V = C \sqrt{2gh}$$

donde :

V = Velocidad puntual del agua en el conducto (m/s.)

C = Coeficiente de calibración del tubo Pitot

g = Aceleración de la gravedad (m/s.)

h = Presión diferencial (mca).

Determinada la velocidad central en el conducto, el cálculo del caudal se realizó con la siguiente ecuación :

$$Q = K \cdot V_c \dots\dots\dots ( 5.12 )$$

$$Y : \quad K = \left[ C_v \cdot S_n \cdot C_t \cdot C_{diám} \cdot C_c \right] \quad ( 5.13 )$$

donde :

Q = Caudal en m<sup>3</sup>/s.

K = Constante para cada estación pitométrica

C<sub>v</sub> = Coeficiente de velocidad

S<sub>n</sub> = Area nominal, m<sup>2</sup>.

C<sub>t</sub> = Coeficiente de corrección debido a la proyección de la válvula de incorporación en la sección transversal ( Tabla 4.1)

$C_{diám.}$  = Corrección debido a la diferencia entre el diámetro real y el diámetro nominal

$C_c$  = Corrección de la constante del Pitot Simplex cuando  $D_n \leq 150$  mm. Si  $D_n > 150$  mm. ,  
 $C = 1.$

( Fig. 5.4 ).

En caso de no tener datos previos es necesario realizar una o más mediciones instantáneas de caudal, de manera que permitan seleccionar el rango del aparato requerido para el caso. La selección del aparato debe ser tal que las presiones diferenciales no sobrepasen el 90 % del rango máximo y no sean inferiores al 10 % de dicho rango.

El límite superior se debe al margen de seguridad para que los picos eventuales de caudal no sobrepasen el extremo del rango máximo.

El límite inferior trata de evitar el funcionamiento del aparato en un rango caracterizado por baja precisión. El funcionamiento del aparato abajo del 10 % de la escala, ocasiona errores superiores a 2.5 % en el caudal.



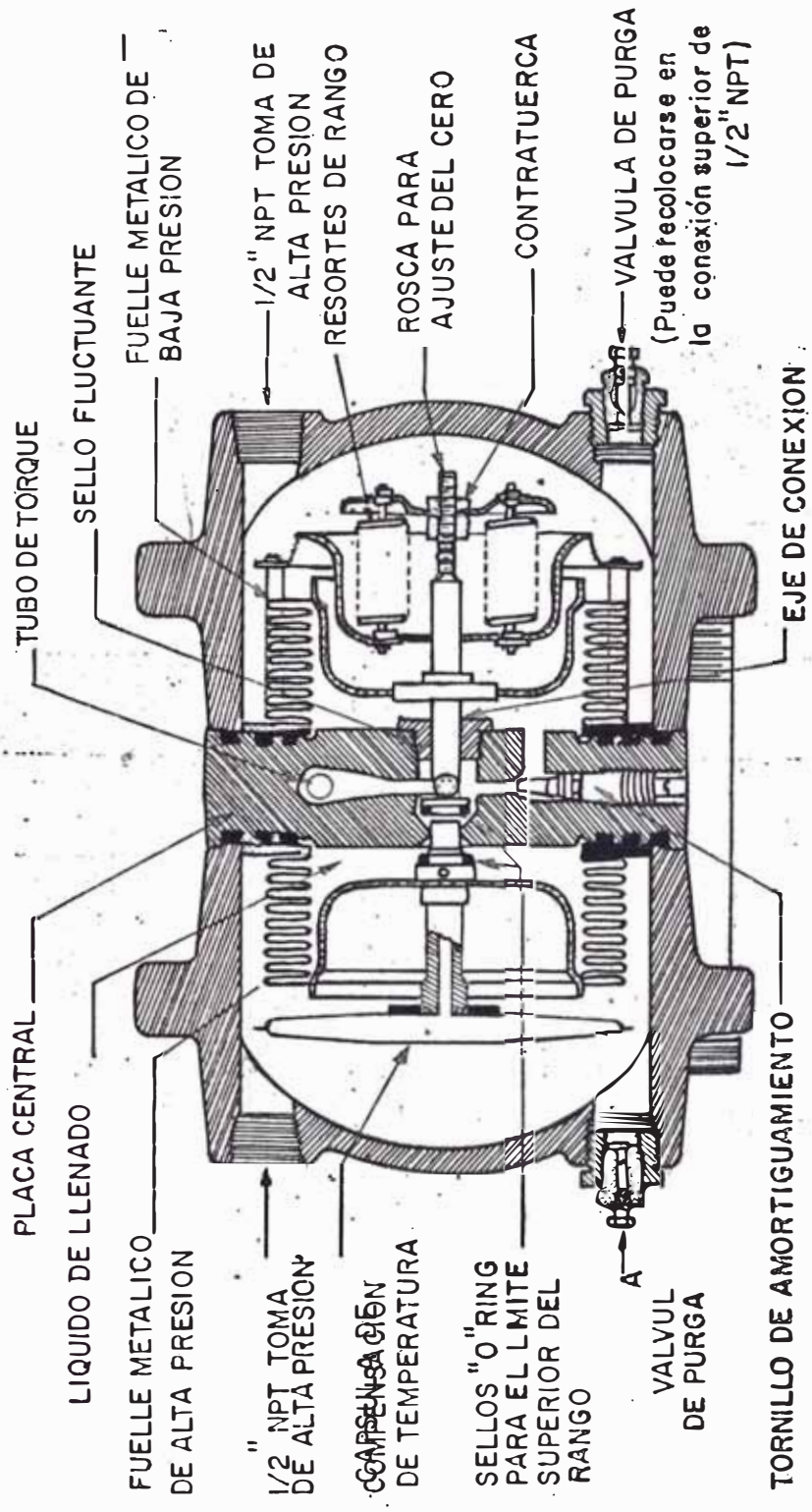
### 3.3.2. Principio de Funcionamiento

La célula Dri-Flo posee dos fuelles opuestos, encerrados en cámaras herméticamente aisladas, conectadas entre sí por un eje central ( Figura 5.6 ). Cuando se aplican diferentes presiones a las dos cámaras, el fuelle de la cámara de alta presión se contrae, moviendo el eje central en dirección de la cámara de baja presión, provocando una expansión del fuelle de baja presión.

Luego, el movimiento del eje se transmite a través de un tubo de torque al mecanismo de registro.

Al aumentar la presión diferencial, el líquido que llena los fuelles, denominado etileno-glicol, es forzado a pasar del fuelle de alta presión al de baja presión a través de un pasaje anular. Este mecanismo que restringe el desplazamiento del líquido tiene por finalidad, atenuar las pulsaciones provenientes de las variaciones de presión.

El caudal y flujo del líquido de llenado puede regularse por medio de un tornillo operable desde afuera. Este tornillo permite graduar el tiempo de respuesta del aparato.



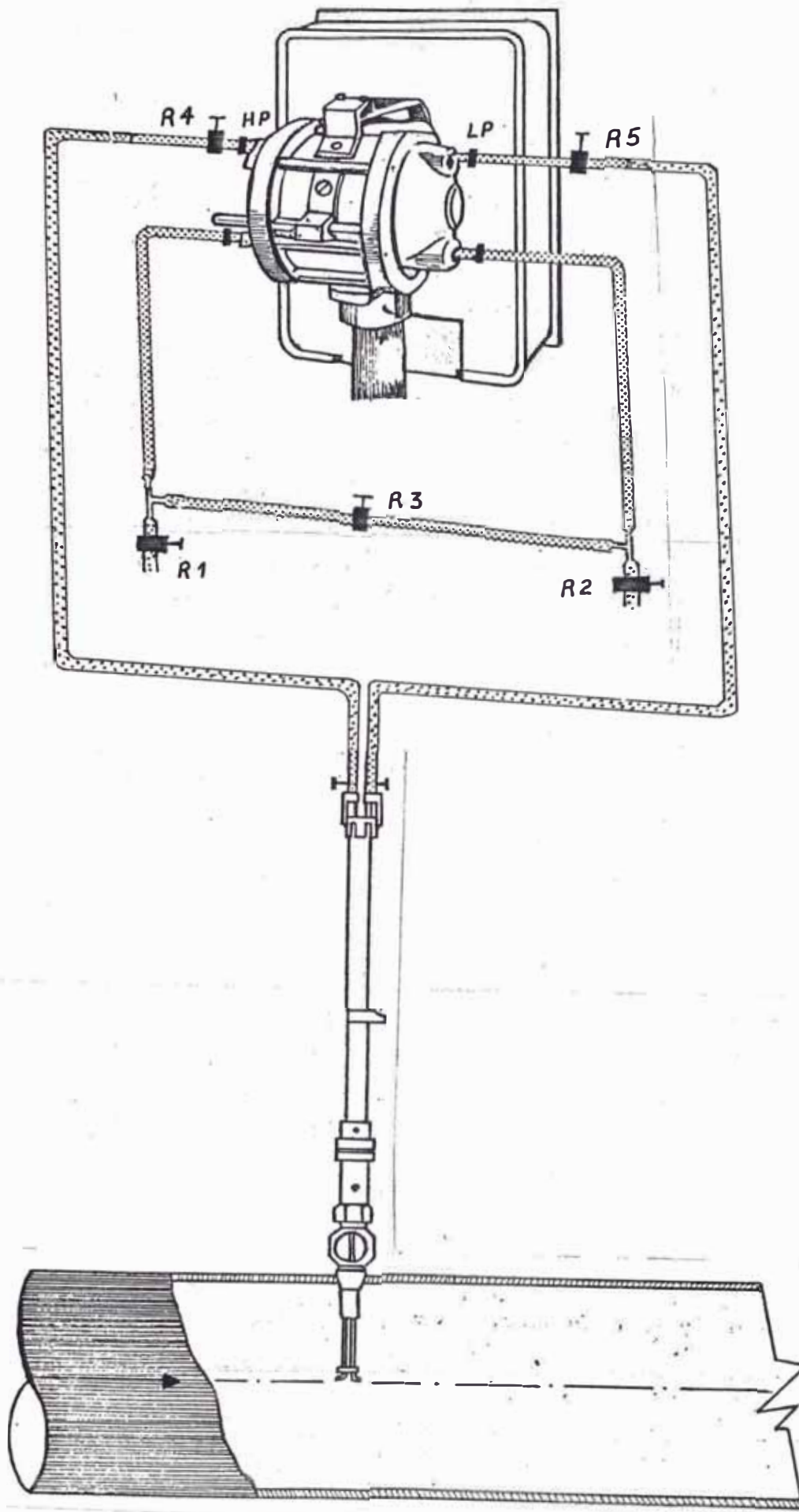
PARTES DE LA CELULA DRI-FLO  
 FIGURA 5.6

### 3.3.3. Operación del Aparato ( Fig. 5.7 )

- a) Instale el Tubo Pitot, conecte las mangueras al Pitot.
- b) Abra la puertecilla del frente, donde se encuentra el mecanismo de relojería y el de conexión del aparato, e instale una carta gráfica. Para esto, aleje la pluma moviendo el soporte de la misma y destrabe el fijador de la carta ubicado en el centro del soporte de esta última.
- c) Dé cuerda al aparato y ubique la carta de manera que la pluma quede situada en la hora correcta. Trababe el fijador de la carta, retire el soporte de la pluma y verifique si esta última está funcionando bien. Normalmente, las plumas son desechables y funcionan adecuadamente.
- d) Nivele el aparato cuidadosamente.
- e) Abrir la válvula R3 y cerrar R1 y R2 lentamente.
- f) Abrir lentamente la válvula R4. La pluma empezará a desplazarse del centro hacia afuera del límite de la escala del gráfico. En el punto que la pluma este cerca del límite superior de la escala del gráfico se empieza a abrir lenta y parcialmente la válvula R5. La pluma debe desplazarse ahora hacia el

ESQUEMA DE CONEXION DEL REGISTRADOR DE PRESION  
DIFERENCIAL AL TUBO PITOT

FIG. 5.7.



centro.

- g) Antes de que llegue en el límite inferior de la escala del gráfico, volver a abrir la válvula R4 y así sucesivamente hasta que las dos válvulas estén totalmente abiertas.
- h) Después de esta operación se debe aguardar todavía unos 5 ( cinco ) minutos para que la célula se llene completamente de agua.
- i) Se empieza la operación de purga del aire existente en el circuito. El procedimiento es el siguiente :
  - i.1) Se abre inicialmente la válvula R2 verificándose que la pluma no salga de los límites de la escala del gráfico. Esta operación debe ser efectuada lentamente.
  - i.2) Cuando la pluma esté llegando al límite superior del gráfico, se abre entonces la válvula R1 observando también que no sobrepase el límite inferior del gráfico.
  - i.3) Luego se vuelve a abrir R2 y así sucesivamente hasta que las dos válvulas estén completamente abiertas.
  - i.4) A continuación ejecutaremos el proceso de cie-

rre de las válvulas R1 y R2 observándose que debe ser efectuado alternadamente y manteniendo la pluma dentro de los límites de la escala del gráfico.

i.5) Nótese que si la pluma está desplazada hacia el límite superior del gráfico se debe cerrar la válvula R1 y viceversa.

i.6) Una vez cerradas las dos válvulas se cierra también R3 y se empieza a medir el caudal.

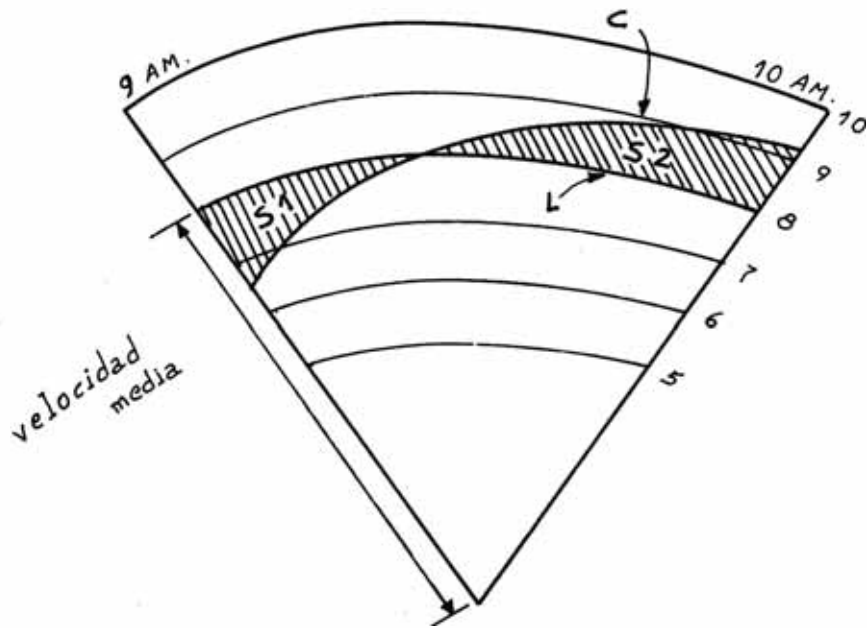
j) Anote en el gráfico todos los datos de interés, fecha y hora de inicio del registro de caudales.

#### 3.3.4. Cálculo de los Caudales

El cálculo de los caudales, con base en la carta gráfica, se hizo de la siguiente manera :

Se escogieron los intervalos de tiempo para el cálculo de las velocidades medias. Normalmente se determinaron las velocidades medias horarias.

Se halló la velocidad media para cada hora, lo que pudo hacerse de forma práctica, conforme se demuestra a continuación :



Siendo  $C$  la curva registrada, la velocidad media queda definida por la línea  $L$ , de tal modo que  $S_1 = S_2$ .

El caudal se calculó por la fórmula general del tubo Pitot.

Los caudales calculados se registraron en el Formato cálculo de caudal (Tabla 5.2).

TABLA 5.2

CALCULO DEL CAUDAL

1. Cálculo de la constante K

$FV =$

$S_n =$

$C_t =$

$C_{diám.} =$

$C_c =$

$K = FV \times S_n \times C_t \times C_{diám.} \times C_c$

2. Cálculo de V: extraído de la tabla de velocidades para registradores de presión diferencial.

3. Cálculo del caudal:

HORA	DIA	H (mm)	V (m/s)	Q = V. K	
				m <sup>3</sup> /s	(m <sup>3</sup> /h)
00:00-01:00					
01:00-02:00					
02:00-03:00					
03:00-04:00					
04:00-05:00					
05:00-06:00					
06:00-07:00					
07:00-08:00					
08:00-09:00					
09:00-10:00					
10:00-11:00					
11:00-12:00					
12:00-13:00					
13:00-14:00					
14:00-15:00					
15:00-16:00					
16:00-17:00					
17:00-18:00					
18:00-19:00					
19:00-20:00					
20:00-21:00					
21:00-22:00					
22:00-23:00					
23:00-24:00					



#### 4.- EQUIPOS PARA MEDICION Y REGISTRO DE PRESIONES

##### 4.1. MANOMETROS METALICOS CON TUBO BOURDON

###### 4.1.1. Descripción

El elemento que soporta la presión es un tubo bourdon, la cual se transmite por medio de conexiones mecánicas.

El tubo bourdon tiene un extremo abierto en contacto con el fluido cuya presión se desea medir, y el otro extremo cerrado, conectado a un mecanismo que mueve un puntero.

Cuando se aplica presión en su interior, éste se deforma provocando el desplazamiento del puntero en la escala graduada.

###### 4.1.2. Selección del manómetro

Uno de los primeros aspectos que debe considerarse para la selección de un manómetro, se refiere a su precisión. Partiendo del principio de que toda medición debe ser confiable, los manómetros utilizados deben presentar buena precisión.

En este caso se utilizaron manómetros con una precisión de  $\pm 1.0\%$  de la plena escala.

El problema de fatiga del elemento sensible también debe tenerse en cuenta en la selección del manómetro.

Para evitar este problema la Norma DIN 16129 recomienda :

- a) Para presiones intermitentes, el manómetro debe trabajar a  $2/3$  de la plena escala.
- b) Para presiones no intermitentes, el manómetro debe trabajar a  $3/4$  de la plena escala.

Observación : En la aplicación práctica, se adoptó como norma que el rango ideal de medición se sitúe entre 35 % y 75 % de la plena escala.

La Fig. 5.8 presenta el rango de presión de trabajo para un manómetro de 0-100 mca.

Otro punto que debe ser considerado se refiere al diámetro del manómetro.

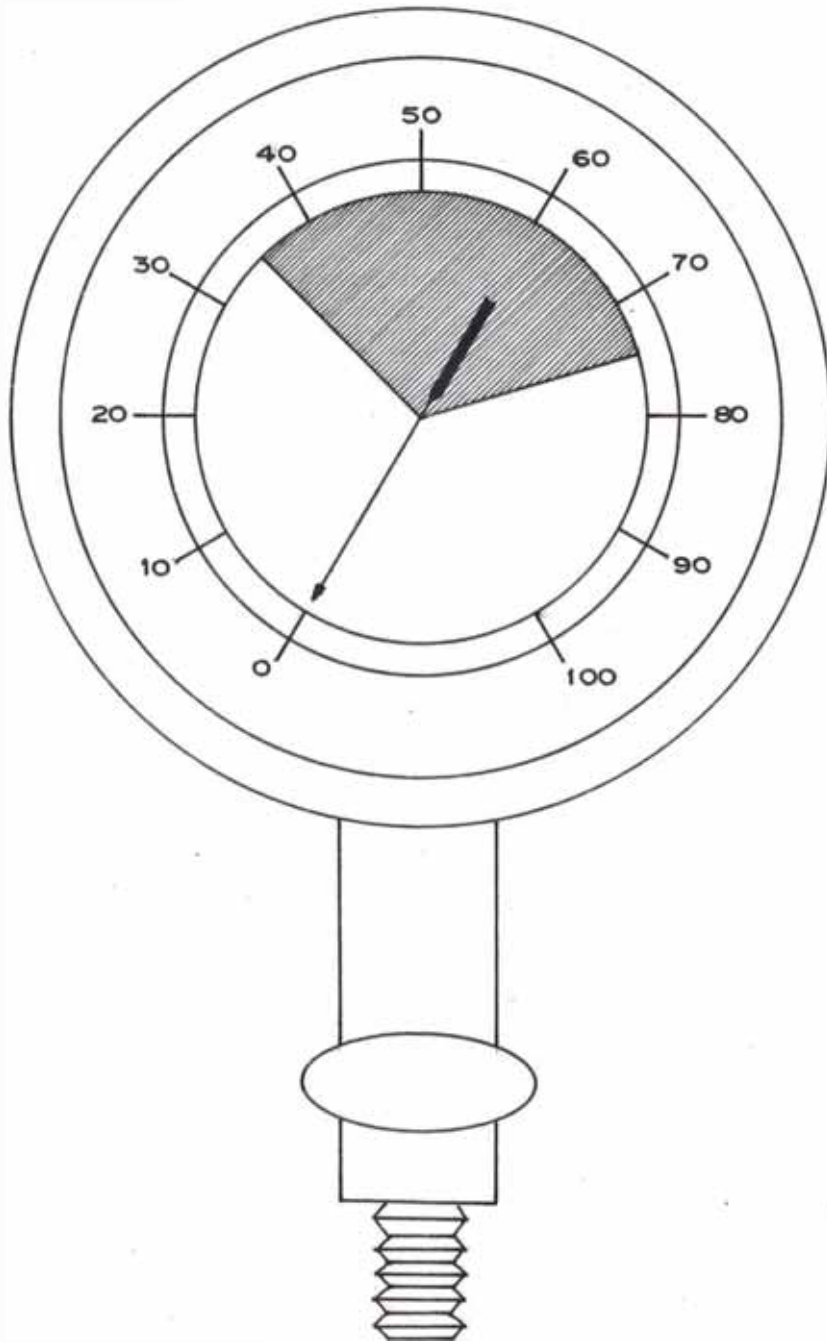
Como éste será "leído", cuanto más grande sea el visor, más correcta será la lectura.

#### 4.1.3. Transporte del manómetro

Los manómetros deben transportarse en ca-

FIGURA 5.8

MANOMETRO CON RANGO  
DE PRESION DE UTILIZACION



jas debidamente protegidas, forradas internamente con espuma de caucho.

El punto de la toma de presión del manómetro, en contacto con la atmósfera, debe cubrirse con una tapa mientras se transporta, o cuando no esté siendo utilizado.

#### 4.1.4. Instalación del Manómetro

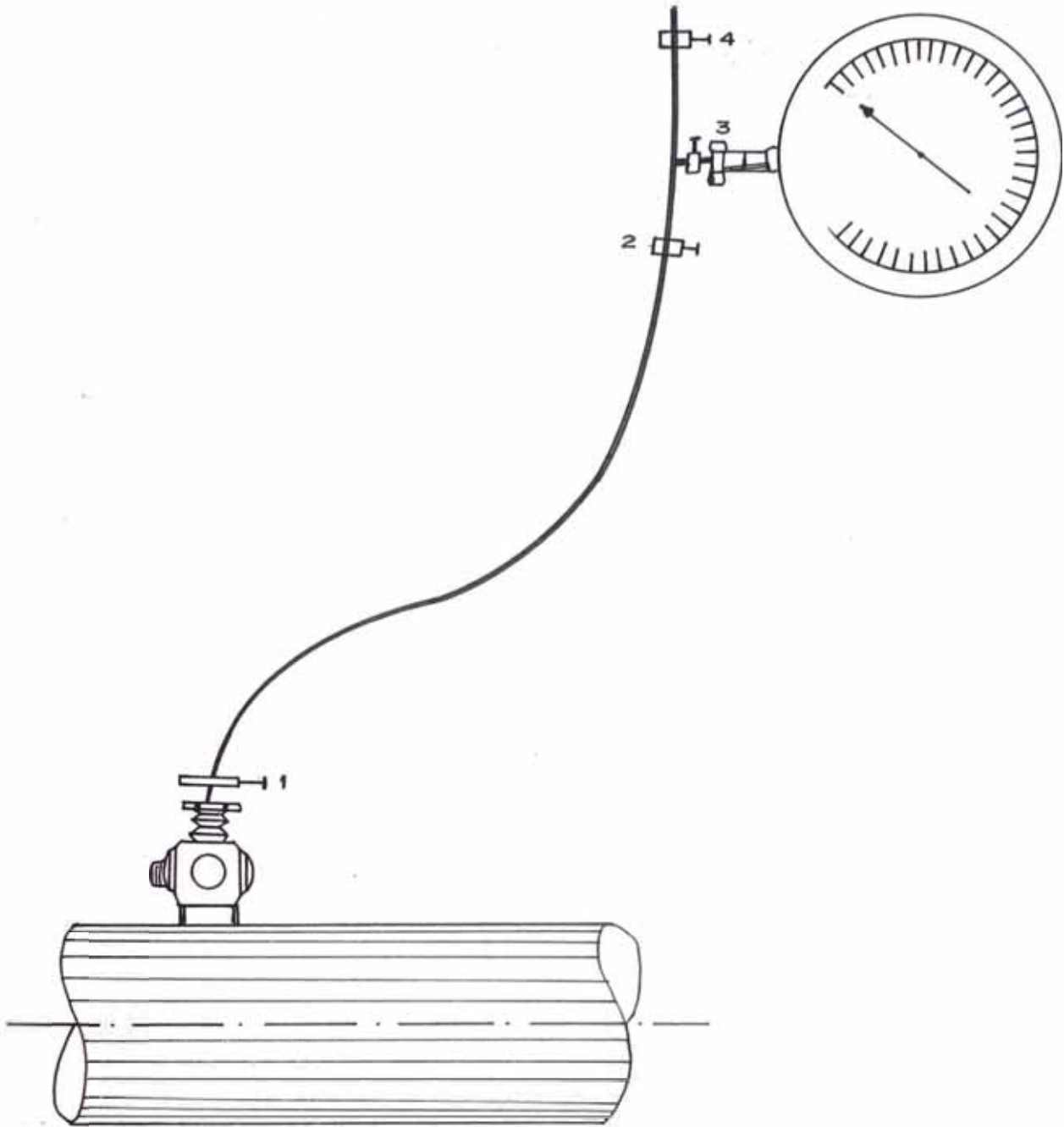
El manómetro puede ser instalado directamente en la toma de presión, o a través de mangueras de caucho flexible, con un diámetro interno de 1/4", provista de abrazaderas, estranguladores y derivación para la extracción de aire, de acuerdo a la Fig. 5.9.

El procedimiento es el siguiente :

- a) Colocar un adaptador en el punto en que se medirá la presión, con un terminal adecuado para el acoplamiento de la manguera.
- b) Acoplar la manguera en el terminal y sujetarla con una abrazadera.
- c) Con el estrangulador de la manguera ( N<sup>o</sup> 2, Figura 5.9 ) cerrado, abrir la toma de presión.
- d) Abrir parcialmente el estrangulador de la manguera y el de la derivación ( N<sup>o</sup> 4, Figura 5.9 ), dejando

FIGURA 5.9

MANOMETRO METALICO INSTALADO



salir el agua hasta que todo el aire del sistema ha  
ya sido extraído.

- e) Acoplar el extremo de la manguera al terminal del manómetro y sujetarla con la abrazadera.
- f) Cerrar gradualmente el estrangulador de la derivación y abrir totalmente el estrangulador de la manguera.

#### 4.1.5. Lectura de la presión

La lectura de los manómetros debe realizarse perpendicularmente al puntero y en una misma línea con el mismo, a fin de evitar errores debidos al paralaje.

#### 4.1.6. Referencias del punto de medición

En las mediciones de presión en tuberías, la altura del manómetro debe estar referida a la generatriz superior de la tubería.

La presión en ese punto será entonces la presión indicada en el manómetro, restado o aumentado del desnivel del manómetro en relación a la generatriz superior del tubo.

La colocación del manómetro directamente sobre la generatriz superior del tubo elimina medicio-

nes complementarias.

#### 4.2. REGISTRADOR DE PRESION MODELO 242E

Este equipo es fabricado por :

Municipal Equipment Exporters

P.O. Box 5443. Garden Grove, California 92645.  
U.S.A.

Viene equipado con sensor tipo Bourdon para medición y registro de presión, con reloj a cuerda mecánica para 8 días con rotación cada 24 horas.

Todo montado dentro de una caja de aluminio forjado a prueba de agua, polvo y humedad. Todas las partes móviles son de acero inoxidable.

##### 4.2.1. Descripción

El principio que rige su funcionamiento es idéntico al principio de funcionamiento de los manómetros indicadores.

La diferencia básica está en el extremo de la Linkage que en vez de comandar un puntero indicador, comanda una pluma que registra en una carta gráfica las presiones medidas.

#### 4.2.2. Instalación del registrador de presión ( Figura 5.10 )

Retire el aparato del casco y colóquelo próximo a la toma de presión, en un lugar adecuado para su instalación.

Antes de instalarlo, anote en la espalda de la carta gráfica los siguientes elementos :

- a) Hora en que se inició el funcionamiento
- b) Fecha de inicio
- c) Número o código del aparato
- d) Marca y tipo del aparato
- e) Rango del aparato
- f) Altura de la base del aparato en relación a la generatriz superior de la tubería
- g) Nombre del responsable
- h) Hora y fecha de término del funcionamiento.

Dé cuerda al aparato.

Aleje el brazo de la pluma con la varilla de alejamiento e introduzca la carta gráfica.

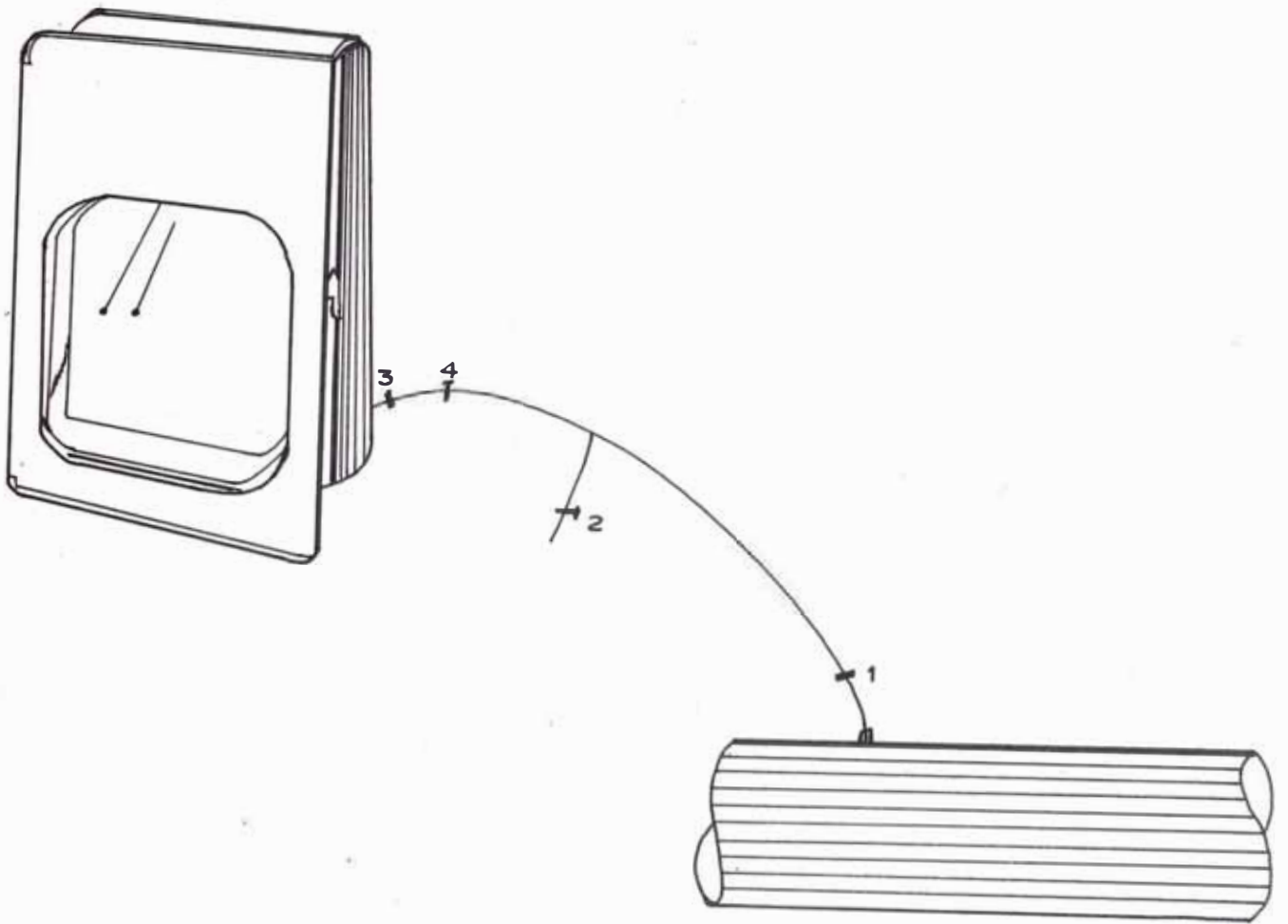
Instale el acoplador de la toma de presión con salida para acople a la manguera.

Acople uno de los extremos de la manguera al adaptador, sujétela firmemente por medio de la abra



FIGURA 5.10

REGISTRADOR DE PRESION INSTALADO



zadera 1.

Elimine el aire de la manguera abriendo el estrangulador 2 y dejando correr agua por algunos segundos.

Antes de acoplar la manguera al manómetro, verifique que éste sea adecuado al régimen de presiones que medirá.

Acople la manguera al manómetro, fije el acople por medio de una abrazadera.

Cierre la puerta del aparato para evitar que ingrese humedad.

Después que el aparato inicie su funcionamiento, inspecciónelo cada cierto intervalo de tiempo para verificar si el reloj está funcionando, si no ocurrió ruptura de la manguera, si la pluma está funcionando bien, o si se salió del rango.

5.- EQUIPOS PARA DETECCION DE TUBERIAS Y CUERPOS METALICOS ENTERRADOS

5.1. LOCALIZADOR DE TUBOS MODELO TR-5A

Este equipo es fabricado por :

Goldak / Udsec

547 west arden ave

Glendale, California 91203

U.S.A.

5.1.1. Descripción

El localizador electrónico de tubos Goldak modelo TR-5A consiste de un transmisor, receptor, accesorios sueltos y una caja para transporte.

Este equipo se utilizó para localizar objetos metálicos que se encuentren enterrados a profundidades hasta de 1.50 m.

El equipo se utilizó para localizar tuberías metálicas, cajas de registro; en fin, prácticamente todo objeto cuya conductibilidad sea mucho mayor que el medio donde se encuentra. El rango de detección varía un poco debido a las diferencias del tipo de suelo o del material involucrado, al tamaño, forma y área externa del objeto metálico enterrado.

Se debe indicar que debido principalmente al poco conocimiento que se tenía de estos equipos no se pudieron obtener resultados positivos durante las pruebas.

#### 5.1.2. Principios de Operación

Los dos métodos de operación son por inducción o por conducción. En cualquiera de los dos casos, cargando el transmisor ( inducción ) o manteniendo fijo el mismo ( conducción ); su posición debe ser siempre vertical y paralela a la supuesta dirección del objeto metálico que se espera ubicar.

## 6.- EQUIPOS PARA LOCALIZACION DE FUGAS

### 6.1. GEOFONOS MECANICOS

Este equipo es fabricado por :

Heath Consultants Incorporated

100 Tosca Drive

P.O. Box CS-200

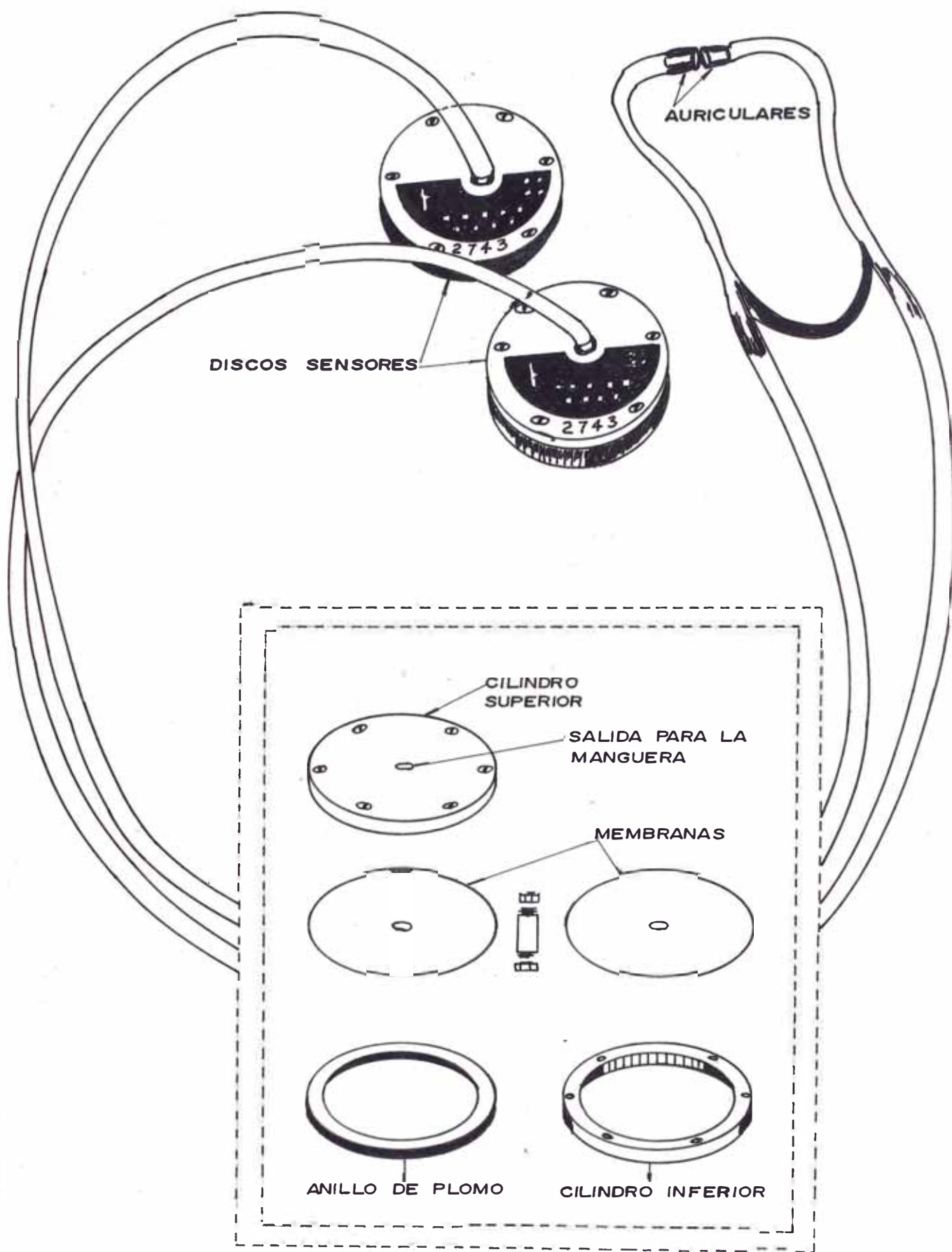
Stoughton, MA 02072

#### 6.1.1. Descripción

El geófono mecánico utilizado es un equipo compacto, robusto, simple y preciso, que detecta y localiza fugas invisibles, a través de la auscultación del suelo bajo el cual existe una tubería enterrada ( Figura 5.11 ).

El geófono consta de dos cilindros pesados, conectados a través de mangueras a un auricular, del mismo tipo que el utilizado en los estetoscopios médicos. En el interior de cada cilindro existen dos membranas finas de bronce, separadas por un anillo pesado de plomo, lo que forma una caja de resonancia. Cuando el cilindro se coloca en el suelo, capta las vibraciones emanadas de la fuga, lo que hace que vibre la membrana inferior y la membrana superior. Esta vibración

GEOFONO MECANICO



es luego transmitida al operador, a través de la propagación de las ondas sonoras a lo largo de las mangueras y el auricular.

Hay que tener presente que el geófono es un instrumento muy sensible, por lo que es mejor usarlo cuando el nivel del ruido en el área sea bajo. Tampoco hay que olvidar que el viento circulando por los tubos del instrumento, cuando es el caso, provoca sonidos, por lo que se deben de tomar las providencias necesarias para evitar este efecto.

Esos ruidos causarán interferencia al principio, pero conforme el operador vaya adquiriendo práctica, podrá trabajar a pesar de ellos.

Para precisar el lugar de una fuga es necesario conocer previamente la localización del tubo que la contiene; una vez logrado esto se colocan las cabezas del geófono tan separadas entre sí como lo permita el fácil manejo de éstas y se escucha a través del estetoscopio hasta captar el sonido que se busca. Entonces se adelanta una cabeza acercándola a la otra; enseguida se mueve esta última una distancia prudente, más lejos. Se continúa a lo largo de la línea y en algún punto el operador empezará a escuchar el sonido proveniente de una de las cabezas. Conforme se avance se

escuchará el sonido en ambas cabezas y la fuga se encontrará entre ellas.

## 6.2. VARILLA DE SONDEO

La varilla de sondeo SEBA HORCHGERAT se utilizó para realizar pruebas acústicas en las válvulas ( Figura 5.12 ).

La prueba consistió en colocar un extremo de la varilla contra el suelo, o directamente en el tubo o válvula, y los auriculares contra el oído del operador, siendo posible de esta forma escuchar el ruido de una eventual fuga.

Puede utilizarse una simple varilla metálica o varillas más sofisticadas como la de la figura 5.12. A estos modelos se les denomina como estetoscopios industriales.

La varilla de sondeo utilizada está compuesta de vulcanita en la punta inferior, la varilla de tubo de aluminio y el audífono de hule. Son fabricados en varios tamaños.

La varilla de sondeo puede ser prolongada de acuerdo a las necesidades, esto en el caso de tener que servirse de puntos de percusión situados a profundidad especial ( armaduras y tubos en pozos ).



Las diversas formas de operación de la varilla y del geófono sirven para resolver diferentes problemas:

La varilla sirve para exploración previa de la zona de supuestas fugas mediante la escucha de las partes metálicas de conductos que se encuentran próximos a la fuga.

El geófono localiza exactamente las fugas en las zonas previamente exploradas mediante la percusión en la superficie.

## CAPITULO VI

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. La aplicación de la presente metodología en los sistemas de abastecimiento, permitirá la optimización de la capacidad instalada y la extensión de la cobertura de servicios de agua potable.
2. El método desarrollado en este trabajo permite tener un conocimiento pleno del rendimiento técnico de la red, volumen medido / volumen producido, con lo cual se podrá tener un índice de las fugas del sistema.
3. SEDATACNA debería implementar en Tacna una política de Sondeo Regular para el control de fugas en las redes de distribución. Se debería emplear un Equi-

po de Sondeo a tiempo completo, compuesto de un técnico y un asistente, para trabajar bajo la dirección del Ingeniero de Control de Fugas. Este personal debería sondear sistemáticamente todas las redes de Tacna tres veces al año.

De este modo sería posible ahorrar 9.8 l./conexión/hora, equivalente a 1'251,000 m<sup>3</sup>/año, o sea el 12 % de la producción total.

4. Es necesario que los usuarios del sistema cuenten con sus medidores domiciliarios, a fin de que tengan posibilidad de controlar su consumo de agua y los desperdicios dentro de sus instalaciones interiores de su domicilio.

Cabe añadir que muchas veces estos desperdicios se deben a la mala calidad de los accesorios empleados, por lo que sería conveniente prever un Reglamento Nacional para el control de calidad de los accesorios sanitarios fabricados en el país y hacer cumplir las disposiciones que indique este Reglamento en forma efectiva.

5. Un programa extenso de instalación de medidores domiciliarios se debería llevar a cabo urgentemente en Tacna, con el fin de instalar 2,500 medidores al año durante un período de cinco años.

Hasta el momento en que se pueda lograr una cobertura total de medidores, se debería instalar un pequeño número de medidores de mayores diámetros en consumidores comerciales y edificios públicos seleccionados, durante períodos de un mes cada uno, con el objeto de verificar sus estimados de consumo.

6. Una vez que la mayoría de los consumidores tengan medidores, la estructura de tarifas debería modificarse, eliminando los volúmenes mínimos de facturación. En su lugar se debería cobrar a los consumidores un monto mensual fijo más un recargo adicional en base a su consumo medido.
7. Se debería llevar a cabo una campaña de publicidad con el fin de que el público se de cuenta de la necesidad de evitar el desperdicio de agua y del hecho de que al desperdiciar agua se aumenta el monto de sus facturas.
8. Se debería implementar un programa de detección y control de fugas y desperdicios en viviendas y edificios. Donde se detecte una fuga o desperdicio se debería notificar al consumidor, dándole un plazo fijo para efectuar la reparación correspondiente. Si el consumidor no cumple con esto, se le podría cortar el servicio. Se debería prestar especial

atención a colegios y otros edificios públicos. En algunos casos, SEDATACNA podría ofrecer mano de obra gratis para la reparación, requiriéndose que el consumidor sólo pague el costo de los accesorios.

9. Las mediciones del caudal mínimo nocturno en las zonas de distribución deberían repetirse de tiempo en tiempo, a fin de monitorear el éxito de los programas de control de fugas y desperdicios.
10. Las Empresas de agua deberían promover campañas a fin de mejorar el control de calidad en los materiales y mano de obra de cañerías domésticas.
11. SEDATACNA debería iniciar inmediatamente la actualización de los planos de las redes de distribución. Se debería entonces establecer un procedimiento permanente por el cual se asegure que toda obra futura se incluya inmediatamente en estos planos.
12. El medidor Venturi a la salida de la Planta de Tratamiento de Calana se debería retirar y reubicar en un punto precisamente aguas arriba del Reservorio R1, de manera que bajo condiciones normales la tubería esté llena.

### BIBLIOGRAFIA

1. BINNIE & PARTNERS, WATER RESEARCH CENTRE, SOUTHERN WATER : "Proyecto Control de Fugas".  
Lima, 1988, Páginas 4 - 20, 76 - 113.
2. FARRER, Herbert : "Manual sobre control de fugas y mediciones en redes de distribución de agua".  
Lima, Editorial CEPIS, 1980, Páginas 164 - 250.
3. HUEB, José Augusto : "Control de fugas en los sistemas de distribución de agua potable".  
Lima, Editorial CEPIS, 1985, Páginas 1 - 44, 71 - 107, 159 - 167, 203 - 252.
4. HUEB, José Augusto : "Pitometría".  
Lima, Editorial CEPIS, 1984, Páginas 72 - 109, 134 - 217, 229 - 237, 276 - 289, 384 - 405.
5. HUEB, José Augusto : "Macromedicación".  
Lima, Editorial CEPIS, 1985, Páginas 189 - 185, 318 - 351.

6. SANIDRO INGENIEROS CONSULTORES : "Estudio de Factibilidad del Proyecto de Agua Potable y Alcantarillado de la ciudad de Tacna".  
Volumenes 1, 2 y 3. Lima, 1985.
  
7. WATER RESEARCH CENTRE : "Leakage Control Policy and Practice".  
Report No. 26. 1980.