



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN  
INGENIERÍA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**“LA SECTORIZACIÓN HIDRÁULICA DE REDES DE DISTRIBUCIÓN  
DE AGUA POTABLE Y LA RECUPERACIÓN DE AGUA NO  
CONTABILIZADA”**

**T E S I S**

**QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:**

**MAESTRO EN INGENIERÍA HIDRÁULICA**

**PRESENTA**

**ING. JOSÉ ROBERTO CAGIGAS VELÁSQUEZ**

**DIRECTOR DE TESIS**

**DR. OSCAR ARTURO FUENTES MARILES**

**División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería**

**2014**

**JURADO ASIGNADO:**

Firma \_\_\_\_\_

Presidente: **DR. RAMÓN DOMINGUEZ MORA.**

Firma \_\_\_\_\_

Secretario: **DR. JESÚS GRACIA SÁNCHEZ.**

Firma \_\_\_\_\_

Vocal: **DR. OSCAR ARTURO FUENTES MARILES.**

Firma \_\_\_\_\_

1er. Suplente: **M. EN I. VICTOR FRANCO.**

Firma \_\_\_\_\_

2do. Suplente: **M. EN I. ALEJANDRO SÁNCHEZ HUERTA.**

Firma \_\_\_\_\_

Lugar donde se realizó la tesis: **UNAM, Programa de Maestría y Doctorado en Ingeniería.**

DIRECTOR DE TESIS

**DR. OSCAR ARTURO FUENTES MARILES.**

\_\_\_\_\_  
Firma

# ÍNDICE.

## 1. INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

1.2. OBJETIVOS

## 2. ANÁLISIS DE LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE.

### 2.1 ECUACIONES BÁSICAS DE FLUJO PERMANENTE

*2.1.1 Ecuación de continuidad.*

*2.1.2 Ecuación de la energía “Bernoulli”.*

*2.1.3. Pérdidas de energía por fricción.*

2.1.3.a. Ecuación de Darcy-Weisbach

2.1.3.b. Ecuación modificada de Colebrook-White.

2.1.3.c. Hazen – Williams.

*2.1.4 Pérdida de energía por accesorios.*

### 2.2. MODELOS NUMÉRICOS DE SIMULACIÓN HIDRÁULICA.

### 2.3. ECUACIONES PARA FLUJO NO PERMANENTE.

*2.3.1. Ecuación de conservación de cantidad de movimiento.*

## 2.4 CASOS DE APLICACIÓN

*2.4.1 Caso 1. Red de distribución planteamiento general.*

*2.4.2 Caso 2. Red con VRP.*

*2.4.3. Caso 3. Red con VRF (Válvula reguladora de flujo).*

## **3. DATOS BÁSICOS PARA EL ESTUDIO DE REDES DE AGUA POTABLE.**

### 3.1 INFORMACIÓN PRELIMINAR DISPONIBLE Y SU ANÁLISIS.

*3.1.1 Población y Dotación de Agua.*

*3.1.2 La Micromedición y su Cobertura.*

*3.1.3 Infraestructura Hidráulica.*

### 3.2 MEDICIONES DE CAMPO

*3.2.1 Mediciones de Presión y Gasto.*

*3.2.1.1 Mediciones SVRP.*

*3.2.1.2 Mediciones CVRP.*

### 3.3. MEDIDORES DOMICILIARIOS.

*3.3.1. Datos generales*

*3.3.2. Tabla de frecuencias*

*3.3.3. Parámetros estadísticos*

3.3.4. *Tamaño de la muestra*

3.3.5. *Error de la Micromedición.*

## **4. EL BALANCE HIDRÁULICO Y LA CALIBRACIÓN DEL MODELO NUMÉRICO**

### **4.1 BALANCE HIDRÁULICO.**

*4.1.1. Mediciones en Condiciones Originales de la Red.*

### **4.2 OBTENCIÓN DEL MODELO NUMÉRICO CALIBRADO DE LA RED.**

*4.2.1 Calibración Sector Maza.*

*4.2.2. Calibración Sector Barranco.*

## **5. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA**

### **5.1 EL PROYECTO DE SECTORIZACIÓN Y SU IMPLANTACIÓN.**

*5.1.1 Las propuestas de sectorización.*

*5.1.2. La Implantación del proyecto de sectorización.*

*5.1.2.1 Cajas para Macromedición.*

*5.1.2.2 Cajas con VRPs.*

*5.1.3. Pruebas de campo para ubicación de VRP's.*

5.1.3.1 Escenarios. Sector Maza

5.2 LA RECUPERACIÓN DEL ANC Y EL SECTOR EN OPERACIÓN.

*5.2.1 Balance en sector Maza.*

*5.2.2 Balance en sector Barranco.*

5.3 PROPUESTA METODOLÓGICA.

## **6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

6.1 CONCLUSIONES

6.2 RECOMENDACIONES.

## **7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

# CAPÍTULO 1.

## INTRODUCCIÓN.

### *1.1 ANTECEDENTES.*

Esta Tesis presenta en forma integral el Diseño y Puesta en Marcha de Sectorización de Redes Hidráulicas de Agua Potable, poniendo en acción los datos de distintas mediciones de presión y gasto realizado así como el análisis, calibración y diseño hidráulico, asistido con software de Modelación hidráulica.

Aún cuando es difícil afirmar que pueda existir una metodología, ya que cada proyecto tiene su propia complejidad que inicia con la configuración topográfica, hasta la particular forma de la operación hidráulica del sistema, frecuentemente empírica y la menor de las veces basada en procedimientos, que son resultados de análisis hidráulico diseñado por personal técnico calificado.

Sin embargo los requerimientos mínimos de información, siempre serán los mismos: Infraestructura, políticas de operación asociadas a las demandas de agua en cada área del núcleo Urbano, mediciones domiciliarias de consumo así como mediciones en las fuentes de explotación.

Los sistemas de distribución hidráulicos típicos candidatos para la Sectorización, poseen información y análisis básico, que apuntan a una condición: “entrega excesiva de agua a los usuarios, sin embargo, el volumen registrados en los medidores domiciliarios, así como los estimados en las áreas sin cobertura de medición, están señalando -Al Organismo-, la existencia de una importante cantidad de agua que no llega a los habitantes”. Ante esta situación, los servicios

tandeados de agua a la población deben presentarse como respuesta ante la “falta aparente de agua”.

Estos son los casos típicos a los que la Sectorización de la red de distribución de agua, puede ser una opción de atacar, resolver o detener el proceso de deterioro de los servicios de agua.

Un segundo caso, lo serían Organismos cuya limitada disponibilidad de agua, les empuja a desarrollar proyectos para un control de la demanda de agua, o bien una búsqueda de factores que están causando las pérdidas de agua, de tal forma que les permita ubicarlos y controlarlos hasta su eliminación económicamente factible. De acuerdo con el documento editado por CONAGUA, “Situación del Subsector Agua Potable Alcantarillado y Saneamiento”2012, *referencia 1*, existen en la Republica Mexicana una multitud de Organismos con porcentajes de ANC altos, con disponibilidad subterránea del recurso agua que sería necesario resolver, por dos importantes razones:

- La población y sus derechos al acceso al agua limpia.
- La reducción de las pérdidas de agua, permitiría reducir la explotación del acuífero, reduciendo el gasto y las horas del uso del bombeo, que impactarían en el menor consumo de energía para el Organismo.

Como puede observarse, se trata de un proceso en el cual se invierten recursos para atender un problema de ineficiencia, que al resolver parcial o totalmente la ineficiencia, siempre recuperará recursos.

El exceso de consumo de energía y la factura por pagar, puede reducir las pocas entradas de dinero al Organismo, orillándole a buscar programas federales a fin de obtener recursos para la ampliación de la red y en general para la

infraestructura de acuerdo con la *referencia 2*, e incluso para adquisiciones de equipos nuevos.

Al ingresar este tipo de Organismo a programas de Sectorización de redes, puede resultarle benéfico, si posee un alto porcentaje (80% o más) de los planos de infraestructura actualizados, así como el procesamiento en medio magnético de la infraestructura y padrón de usuarios, con registros disponibles de medición de consumos en usuarios y las fuentes.

De otra forma, la sola necesidad de actualizar la infraestructura, puede significar una importante cantidad de recursos y tiempo, que pondrían en riesgo la realización total del proyecto, por insuficiencia del presupuesto proyectado.

La Tesis describe la implementación de la sectorización de redes, proponiendo un esquema de realización, que recomienda iniciar con la verificación de la infraestructura hasta la puesta en marcha de los sectores; la medición de presiones y gastos a lo largo del desarrollo del proyecto hasta la puesta en marcha, permite conocer la evolución del ANC para distintos escenarios y obtener información de la evolución y cambios del ANC.

El seguimiento a través de las mediciones de presión y gasto en la red, así como en las entradas y salidas de agua para cada Sector, permite observar las variaciones del ANC en las diferentes fases de implantación del proyecto, que reunida con el comportamiento de la red, permite visualizar el impacto en el ANC por cada acción en la red; la propuesta metodológica, presenta unida las Medición de gastos y presiones como una actividad diaria, con las acciones desarrolladas en la red, ya que permite un mejor control en la implantación del proyecto, facilitando la corrección ante un funcionamiento no esperado.

Esto es usual, cuando, la información del catastro de redes, suele ser imprecisa, por lo que los ajustes al proyecto se vuelven frecuentes.

En esta tesis se muestra una secuencia de ubicación e instalación de una VRP s, con el apoyo de mediciones de presión.

Existen ya varias experiencias de la Sectorización de Redes en nuestro país, con medición de campo, que han sido escritas, constituyéndose hasta el día de hoy en documentos importantes, como lo es la *referencia 3*.

## *1.2 OBJETIVOS.*

En el capítulo 2, se abordan las ecuaciones principales de la hidráulica para flujo permanente en tuberías; son presentadas las ecuaciones de continuidad, energía y cantidad de movimiento.

Las más representativas ecuaciones para el cálculo de las pérdidas de fricción, así como las locales son mostradas.

El flujo no permanente en tuberías, es abordado, desarrollando 3 casos particulares de red con dispositivos de control de flujo y presión:

- Red de distribución típica.
- Red de distribución con dispositivo de Control de presiones.
- Red de distribución con dispositivo de Control de flujo.

Se abordan las ecuaciones de movimiento bajo un esquema dinámico implícito, desarrollado por Sánchez Bribiesca y Fuentes Mariles (1991). Para los casos presentados, se desarrollan las ecuaciones hasta el planteamiento del sistema de ecuaciones a resolver; mostrando la sencillez y fuerza del enfoque.

El contenido del capítulo 2, permitirá a los lectores interesados, una introducción al desarrollo de modelos numéricos para flujo no permanente en tuberías.

El capítulo 3, constituye el soporte de mediciones de éste trabajo, ya que se muestran las mediciones de gasto y presión realizada durante las actividades iniciales y a lo largo del proyecto, incluyendo todas las efectuadas en la puesta en marcha de los Sectores, describiendo en cada caso las condiciones operativas imperantes . Se agregan la información de medición domiciliaria su cobertura y consumos promedios.

En el capítulo 3, se abordan las condiciones originales de la infraestructura hidráulica de red y el proceso que ésta siguió, hasta volverla más confiable, la cual constituye un importante sustento del diseño.

En el capítulo 3, se muestra el procedimiento de diseño de muestras para los registros de consumos de medidores domiciliarios, en este caso para las dos zonas de estudio. Se muestra las características del medidor de un usuario medido, así como las condiciones de gasto mínimo y transición, según Norma Mexicana, para realizar la inspección de precisión del medidor.

Se muestra el registro de evolución del gasto de consumo, de un usuario del área de estudio, realizado durante 4 días.

En el capítulo 4, contiene los análisis de balances hidráulicos para las condiciones originales de la red, así como también , la calibración del modelo numérico.

Los resultados del balance señalan áreas de oportunidad, para la recuperación de pérdidas de agua.

El capítulo 5, contiene el desarrollo del proyecto de la sectorización, considerando un entorno limitado presupuestal, ya que las necesidades de ampliación de la infraestructura para lograr una mejor distribución del agua, compiten con las requeridas para poner en operación la sectorización, esto requirió de aplicar en una de las áreas de estudio, una inversión para mitigar las necesidades de ampliación y mejora de la infraestructura.

En capítulo 5, aún cuando la modelación numérica recomienda una posición y caída de presión para una VRP, se aborda un caso ejemplo del proceso de ubicación de VRP en campo, así como los beneficios de esta práctica.

Algunas estructuras importantes de la sectorización, son descritas por sus componentes en el capítulo 5, así como mostradas en su proceso de construcción y puesta en marcha.

Los balances hidráulicos con la sectorización en operación, son mostrados en el capítulo 5, se observa una recuperación significativa en el ANC, principalmente por la reducción de las presiones, por lo que se atribuye, en este caso, que las fugas, fueron el componente que más se redujo del valor original del ANC.

Las experiencias obtenidas tras el desarrollo e implementación del proyecto, son proyectadas en una propuesta metodológica, la cual es planteada al final del capítulo 5; esta es recomendada para casos similares, de sistemas de distribución con altas presiones y altos valores de ANC.

Las conclusiones y recomendaciones de la tesis, son abordadas en el capítulo 6, haciendo énfasis en la verificación de la infraestructura hidráulica, ya que cualquier inversión aplicada en este rubro, nunca será perdida. La medición de gastos y presiones, a todo lo largo de la ejecución del proyecto, garantizará que en la búsqueda de reducir el ANC, las decisiones serán siempre las correctas.

La sectorización, es el inicio de un proceso de búsqueda y corrección del ANC, e incluso, proporciona al organismo de servicios del agua, de los medios para controlar la demanda.

## **CAPÍTULO 2.**

### **ANÁLISIS DE LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE.**

Cuando se desea realizar el análisis de funcionamiento hidráulico estático y/o dinámico de una red de agua potable, en operación, es necesario el conocimiento de la infraestructura conectada y su funcionamiento, la existencia de los diferentes mecanismos de control tanto de presión como de gasto, como los son: válvulas, de control de flujo y presión, bombes y rebombes, tanques de almacenamiento, diámetros y materiales de las tuberías, edad y longitud, cobertura del servicio, los registros de consumos para los diferentes tipos de usuarios y su variación en el tiempo; como se muestra en la figura 2.1.

La variación en el tiempo en el funcionamiento hidráulico, debe ser obtenida a través de mediciones de presión y gasto, estas se deben a las variaciones en la demanda o la disponibilidad de agua y una consecuencia de ésta es la variación de las presiones. La disponibilidad de agua, está ligada a las políticas de operación hidráulica, y ésta consiste en aplicar la programación de operaciones de bombes, rebombes y apertura y cierres de válvulas.

La configuración topográfica que se obtiene con la topografía y verificación de la red, de toda el área que cubre la infraestructura hidráulica, permite asignar, a cualquier elemento de la infraestructura, una cota de elevación del terreno, o bien la energía de posición, para un plano de referencia predeterminado.

En los proyectos de sectorización hidráulica, los sistemas de redes de distribución: sus tuberías, diámetros, los materiales y rugosidades, cruceros de conexión y desconexión los almacenamientos, bombeos y re-bombeos, son integrados al sistema de información también conocidos como el “Catastro de Redes de Agua Potable”, esta base de datos constituye un importantísimo elemento, tan importante como el “Padrón de Usuarios”, ambas bases de datos, objetos de constantes inversiones económicas para su ampliación, actualización y mantenimiento.

Durante el proyecto e implementación de la Sectorización, la política de operación, es objeto de constantes campañas de medición de gasto y presión, a fin de observar y procesar el comportamiento de la red a partir de las mediciones en diferentes cruceros en la red, para distintas condiciones de operación.

De ser posible presupuestalmente, para la realización de éste tipo de proyectos, a cada política de operación debiera corresponder una campaña de medición.

La infra estructura, la configuración topográfica y los consumos promedio, son convertidos en el software de modelación numérica, permitiendo obtener una representación del funcionamiento hidráulico de la red, cercana a la real, esto para cada escenario de operación hidráulica.

La representación numérica de la red, se sujeta a la llamada “fase de calibración”; proceso que consiste en redistribuir la demanda de agua que incluye la dotación diaria más el ANC, manteniendo en todo momento el balance hidráulico del sector, hasta lograr que las presiones medidas y calculadas en los nodos, sean iguales o con un error aceptable.

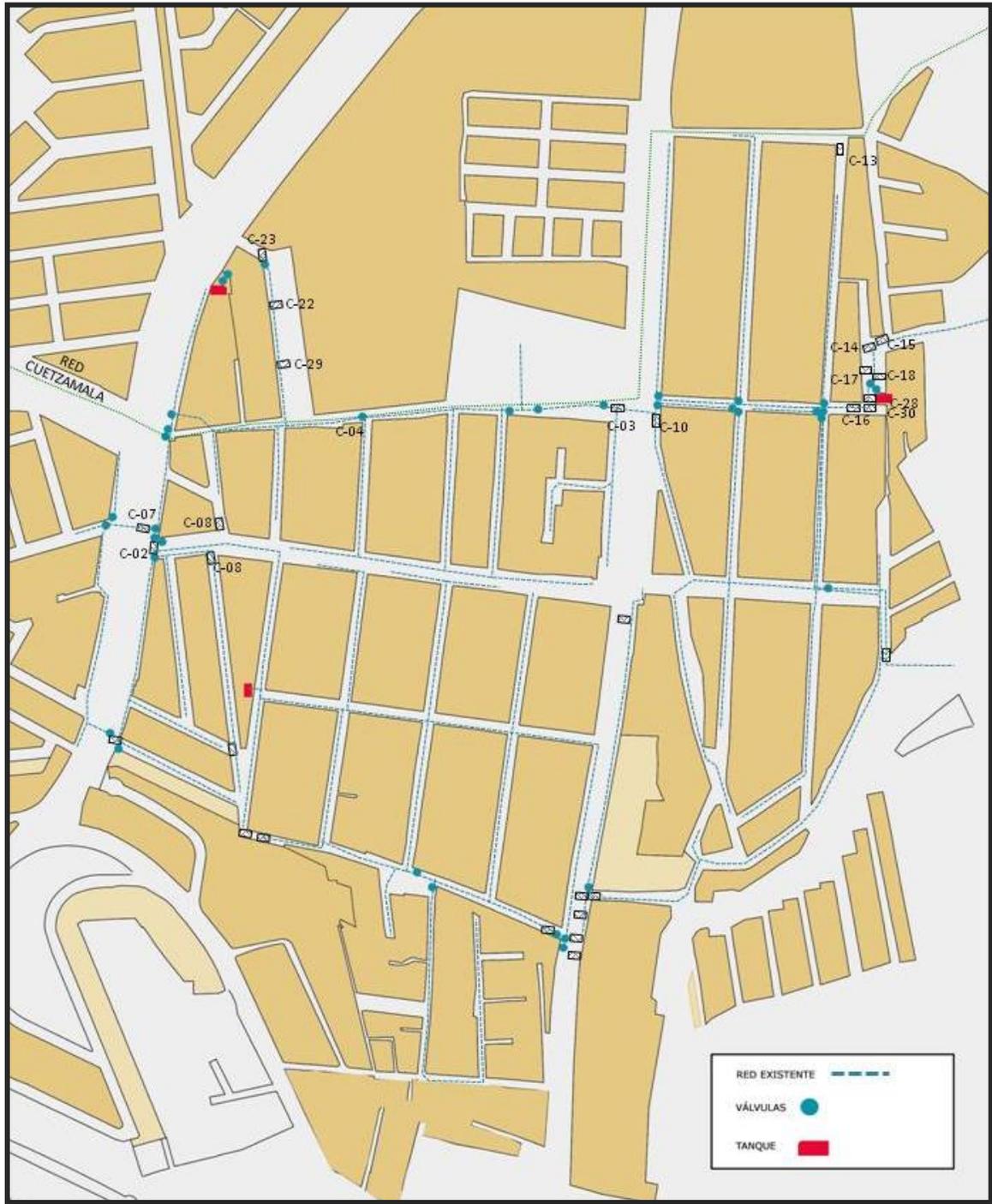
En el modelo numérico y dependiendo del software, las mediciones de gasto y presión (mediciones) a la entrada/ salida del sector, o bien mediciones en tramos, pueden ser ingresadas como condiciones de frontera a través del software; de esta

forma las presiones medidas en el tiempo en cruceros de la red, representan las condiciones a emular en el tiempo, se dice que “el modelo ha sido calibrado”, cuando las presiones calculadas por el modelo son iguales o similares a las medidas, por consecuencia, las condiciones de gasto y presión a la salida del sector, serán iguales o similares a las medidas.

Este procedimiento de “calibración”, puede ser muy accesible en algunos softwares, ya que los ajustes a la distribución de la demanda (dotación más ANC), pueden ser sugeridos por el software.

En la actualidad, el uso de software para el análisis de funcionamiento hidráulico es ya de uso generalizado, ya que permite en pocos segundos la obtención del funcionamiento del sistema para cualquier escenario operativo, ya sea a flujo permanente como dinámico (quasi-estático).

En los sub capítulos siguientes, se presentan las principales ecuaciones de hidráulica para flujo permanente y no permanente, se desarrollan casos prácticos, bajo un esquema implícito, hasta la presentación del sistema de ecuaciones y su propuesta de solución.



**Figura 2.1 Infraestructura Hidráulica (Red conectada).**

## 2.1 ECUACIONES BÁSICAS DE FLUJO PERMANENTE

### 2.1.1 Ecuación de continuidad.

Dada una sección genérica **A** figura 2.2 y un flujo que atraviesa con velocidad media perpendicular a la misma  $V$ , se define como gasto másico, (**G**) como la masa por unidad de tiempo que atraviesa dicha sección, por tanto el caudal (**Q**), se define como el volumen de fluido que atraviesa esa misma sección por unidad de tiempo, considerando el flujo incompresible, permanente e irrotacional referencia4:

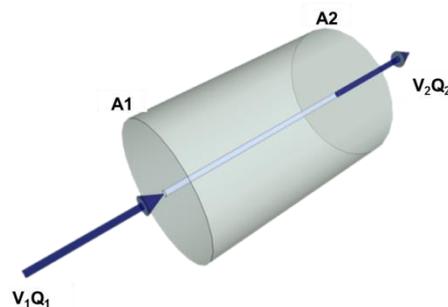
$$Q = VA \quad (2.1)$$

O bien el flujo en términos de las unidades de la densidad.

$$G = \rho VA \quad (2.2)$$

O bien, el flujo másico expresado en términos de la ecuación (2.1).

$$G = \rho Q \quad (2.3)$$



**Figura 2.2 Volumen de Control**

Donde

- V: es la velocidad media en una sección cualquiera (m/ s).
- A: es el área de la sección del ducto analizada (m<sup>2</sup>)
- Q: es el gasto de flujo que pasa por la sección. (m<sup>3</sup>/s)
- $\rho$ : es la densidad del fluido que pasa por la sección. (Kg/m<sup>3</sup>).
- G: es la cantidad de masa que pasa por la sección. (Kg/s).

Si el área de las secciones (1) y (2) son iguales, es decir;  $A_1 = A_2$ ; La velocidad es la misma en las dos secciones;

$$V=V_1=V_2 \quad (2.4)$$

La ecuación de continuidad resulta de aplicar el principio de conservación de la masa a un volumen de control, considerando que se trata de agua, con densidad constante, es decir incompresible, con flujo permanente e irrotacional referencia 1.

$$V_1 A_1 = V_2 \cdot A_2 = \text{Constante} \quad (2.5)$$

### 2.1.2 Ecuación de la energía “Bernoulli”.

La ecuación de Bernoulli, es obtenida a partir de la segunda Ley de Newton  $F=ma$ , aplicada a un pequeño volumen de control de área transversal  $\delta A$  y longitud  $\delta s$ .

Considerando que la velocidad del fluido se presenta a lo largo de la trayectorias, por lo que no existe fricción y las únicas fuerzas que actúan sobre el volumen de control en dirección del movimiento, son las fuerzas de presión y las debidas al peso. Puede escribirse la ecuación de Bernoulli;

$$gz + \frac{v^2}{2} + \frac{P}{\rho} = \text{Constante} \quad (2.6)$$

La constante de integración, llamada constante de Bernoulli, en general varía de una línea de corriente a otra, pero permanece constante a lo largo de la línea de corriente en estudio, para un flujo a régimen permanente, sin fricción e incompresible.

Cuando se aplica esta ecuación, deben mantenerse presente estas cuatro hipótesis.

Según el Sistema Internacional de Medidas, **SI** por sus siglas, las unidades de cada uno de los tres términos del lado izquierdo de la ecuación son: Energía por unidad de masa N.m/kg, o m<sup>2</sup>/s<sup>2</sup>.

Dividiendo la ecuación por la aceleración de la gravedad terrestre, se obtendría la ecuación siguiente, en la cual, cada uno de los tres términos del lado izquierdo de la ecuación, tendrían unidades de energía por unidad de peso, que en el Sistema Gravitacional de Medidas, las unidades serían metros.

$$z + \frac{v^2}{2g} + \frac{P}{\gamma} = \textit{Constante} \quad (2.6.a)$$

Donde:

$\frac{P}{\gamma}$  = Energía de Presión [N.m/N].

$\frac{v^2}{2g_o}$  = Energía Cinética, debido a la energía que lleva el fluido [N.m/N].

z = Energía Potencial, debida a la cota a la que está situada la partícula de fluido [N.m/N].

g<sub>o</sub>=9.81 [m/s<sup>2</sup>] aceleración de la gravedad terrestre.

### *2.1.3. Pérdidas de energía por fricción.*

Dentro de los modelos de ecuaciones más conocidos y difundidos para calcular las pérdidas de energía por fricción en tuberías existen las ecuaciones de Darcy-Weisbach, Hazen-Williams y Manning, expresiones que poseen adecuaciones que le permiten usarse en flujo turbulento y laminar.

### 2.1.3. a. Ecuación de Darcy-Weisbach.

De acuerdo con referencia4, la ecuación de pérdidas de energía debidas a la fricción para Darcy-Weisbach, se ha obtenido de la ecuación de Chezy, considerando un flujo permanente (sin aceleración), uniforme en una conducción a cielo abierto o una sección cerrada no circular, en donde el flujo ocurre como resultado de una reducción en la energía potencial, así como por una caída en la presión  $P_1 - P_2$ , aplicando la ecuación de cantidad de movimiento en dirección del flujo.

$$h_f = f \frac{L V^2}{D 2g} \quad (2.7)$$

Donde:

**D** es el diámetro del conducto; (m).

**g** es la aceleración de la gravedad; ( $m/s^2$ ).

**L** es la longitud de conducción (m).

**V** es la velocidad media (m/s).

$V^2/2g$  es la carga de velocidad (N-m/N)

**h<sub>f</sub>** son las pérdidas de carga debidas a la fricción(N-m/N).

**f** es el factor adimensional de fricción de Darcy- Weisbach.

Considerando a **S**, como la pérdida de Energía por unidad de peso, por unidad de longitud de la conducción (N.m/N )/m.

$$S = \frac{h_f}{L} = \frac{\lambda V^2}{R 2g} \quad (2.8)$$

Donde:

**R**= es el radio hidráulico

$\lambda$ = coeficiente de Chezy el cual se determina experimentalmente.

El factor **f** de Darcy es adimensional, la experimentación muestra que lo siguiente es cierto en los flujos turbulentos.

- La pérdida de carga varía directamente con la longitud de la tubería.
- La pérdida de carga varía casi con el cuadrado de la velocidad.
- La pérdida de carga varía inversamente con el diámetro.
- La pérdida de carga depende de la rugosidad en la superficie de la pared interior del tubo.
- La pérdida de carga depende de las propiedades de Densidad y Viscosidad del fluido.
- La pérdida de carga es **independiente de la presión**.

### 2.1.3. b. Ecuación modificada de Colebrook-White.

Esta ecuación modificada obtiene expresiones explícitas para el cálculo del coeficiente de pérdidas  $f$  ajustado a los resultados de la ecuación original de Colebrook-White, con lo cual podemos aprovechar las ventajas de esta expresión:

$$f = \frac{0.25}{\left[ \log \left( \frac{\varepsilon / D}{3.71} + \frac{G}{Re^T} \right) \right]^2} \quad (2.9)$$

Donde:

$Re$  = es el número de Reynolds.

$\varepsilon$  = es la rugosidad absoluta de la pared de la tubería en mm.

$G = 4.555$ y $T = 0.8764$	para	$400 \leq Re \leq 105$
$G = 6.732$ y $T = 0.9104$	para	$105 \leq Re \leq 3 \times 10^6$
$G = 8.982$ y $T = 0.93$	para	$3 \times 10^6 \leq Re \leq 10^8$

También, se pueden utilizar la siguiente ecuación de Swames y Jain, donde el factor  $f$  se encuentra;

$$f = \frac{0.25}{\left[ \log \left( \frac{\left( \frac{\varepsilon}{D} \right)}{3.71} + \frac{5.74}{\text{Re}} \right) \right]^2} \quad (2.10)$$

Donde:

$\varepsilon$  es la rugosidad absoluta de la pared de la tubería, expresada en mm.

$\nu$  es la viscosidad cinemática del fluido en  $\text{m}^2/\text{s}$ .

La viscosidad cinemática es utilizada para determinar el número de Reynolds.

MATERIAL DE LA TUBERÍA	ALTURA DE RUGOSIDAD ( $\varepsilon$ ) EN mm
Vidrio, cobre, plástico, hule	0.0015
Fierro fundido nuevo	0.005 a 0.01
Fierro fundido semi oxidado	0.010 a 0.015
Fierro fundido oxidado	0.015 a 0.030
Cemento liso	0.003 a 0.008
Acero	0.04 a 0.10
Asbesto cemento	0.025
Concreto	0.16 a 2.0

**Tabla 2.1** *Rugosidades de diferentes materiales de tubería.*

Las referencias 5, 6, 7 poseen amplia información para la determinación del valor del espesor de rugosidades de diversos materiales para la determinación del coeficiente de  $f$  Darcy. La referencia 6, contiene una cantidad importante de materiales y el espesor asociado de rugosidades.

### 2.1.3.c. Hazen – Williams.

Es la fórmula más común para tubos rugosos,  $C_H$ , es una incógnita que depende del material. De acuerdo con la referencia6, la ecuación, para  $h_f$ , en sistema métrico se escribe como sigue;

La tabla de algunos valores de  $C_H$ , se muestran a continuación y fueron tomados de referencia6.

$$h_f = \frac{V^{1.854}}{6.372 C_H^{1.854} D^{1.167}} \quad (2.11)$$

MATERIAL	$C_H$
Acero Corrugado	60
Acero con juntas "lock-bar" (nuevo)	135
Acero galvanizado (nuevo y usado)	125
Acero remachado (nuevo)	110
Acero remachado (usado)	85
Acero soldado o con remache avellanado y embutido (nuevo)	120
Acero soldado o con remache avellanado y embutido (usado)	90
Acero sin costura (nuevo)	---
Acero sin costura (usado)	---
Acero soldado, con revestimiento especial (nuevo y usado)	130
Fierro fundido limpio (nuevo)	130
Fierro fundido, sin incrustaciones (usado)	110
Fierro fundido, con incrustaciones (viejo)	90
Plástico	150
Asbesto-cemento (nuevo)	135
Cobre y latón	130
Conductos con acabado interior de cemento pulido	100
Concreto, acabado liso	130
Concreto, acabado común	120
Concreto monolítico, colado con cimbras deslizantes (D>1.25m)	---
Concreto monolítico, bien cimbrado y pulido (D>1.25m)	---
Concreto monolítico, bien cimbrado y sin pulir (D>1.25m)	---
Concreto con acabado tosco (D>1.25m)	---
Concreto con juntas de macho y campana (D>0.8m)	---
Concreto con juntas toscas (D>0.5m)	---
Concreto con juntas toscas (D<0.5m)	---
Conductos para alcantarillado	---
Tubos de barro vitrificado (drenes)	110
Túneles perforados en roca sin revestimiento	---
Madera cepillada o en duelas	120

**Tabla 2.2. Valores de  $C_H$ , Aplicables a las formulas de acuerdo con el material de que está construido el tubo.**

#### 2.1.4 Pérdida de energía por accesorios.

Cuando existan accesorios instalados en los sistemas de tuberías, deberán sumarse a las pérdidas por fricción, las pérdidas de energía (**pérdidas locales**) que ocasiona cada uno de los accesorios. La ecuación que se muestra, permite calcular la pérdida de carga debida a los accesorios, su valor, varía con el cuadrado de la velocidad, de acuerdo con referencia 4, esto es sustancialmente cierto para todos los casos de este tipo de pérdidas de carga.

En casi todos los casos de accesorios, la constante  $k$  se determina en forma experimental. La ecuación general para el cálculo de las pérdidas por accesorios, es:

$$h_f = k \frac{V^2}{2g} \quad (2.12)$$

Donde:

$h_f$  Pérdida de energía por unidad de peso, según accesorio ( N-m/ N).

$K$  Coeficiente de pérdida del accesorio, sin dimensiones.

$V$  Velocidad media del flujo sobre el accesorio, en m/s.

$g$  Aceleración de la gravedad, igual a  $9.81 \text{ m/s}^2$

$V^2/2g$  Energía cinemática por unidad de peso ( N-m/ N )

Las referencias 5, 6, 7 poseen información de valores de  $k$  para diferentes accesorios, sin embargo la referencia 6, es una magnífica opción para encontrar diversos accesorios y la forma para determinar  $k$ .

Es usual expresar las pérdidas locales en función de la longitud de pérdidas por fricción, es decir por una longitud equivalente  $L_e$ ; teniendo en cuenta que la pérdida de carga, tiene unidades de energía por unidad de peso según el **SI**, de N-m/N.

De esta forma, si se igualan la ecuación 2.7 y 2.12

$$f \frac{L_e V^2}{D 2g} = K \frac{V^2}{2g} \quad (2.13)$$

despejando a la longitud equivalente  $L_e$

$$L_e = \frac{KD}{f} \quad (2.14)$$

## 2.2. *MODELOS NUMÉRICOS DE SIMULACIÓN HIDRÁULICA.*

Los Software para la modelación numérica de Sistemas de redes de Distribución, se han vuelto populares, la totalidad de ellos está basado en las ecuaciones de movimiento dinámicas de la hidráulica; una vez definidas las ecuaciones a resolver, el "motor de cálculo" para la solución, podría variar entre los diferentes autores de software, permitiendo una mayor velocidad en la solución de los sistemas de ecuaciones, además de las posibles variantes en las prestaciones para el manejo de escenarios, facilidades para introducir modelos de demandas, o flexibilidad para el intercambio de datos y resultados con otros software, como es el caso de sistemas de información geográfica.

En los proyectos de sectorización de redes hidráulicas de agua potable, generalmente son aplicados en localidades y ciudades que tras una evaluación previa del ANC, se encuentra que ésta supera valores del 30% y mayores.

El ANC se define como la diferencia entre la cantidad de agua producida y el agua medida entregada a los domicilios (agua micro medida y el agua estimada entregada en domicilios sin medidor); o bien, ante un ambiente de recursos limitados del agua, las pérdidas provocan déficits en el servicio de suministro, el cual puede no ser tolerable para las actividades humanas. Bajo estas restricciones, la sectorización hidráulica, ofrece una mejor gestión del servicio y una política de operación hidráulica, tendiente al "control en la demanda de agua potable".

La planeación de acciones como la Sectorización de redes, las inversiones requeridas para la disminución del ANC del orden comentado en párrafos anteriores, siempre serán rentables, ya que los volúmenes de pérdidas diarias del ANC, pueden representar recursos perdidos por pagos en exceso de energía o costos comerciales valiosos para el Organismo de servicios del agua Municipales.

Para el proyecto de sectorización, en un ambiente con superávit de agua en producción, asegura que para las opciones de sectorización, en la distribución del agua, se recuperarán volúmenes desde el inicio de la puesta en marcha, sin los riesgos de desabasto de agua.

Los beneficios en este caso, al disponer de excedentes de agua, pueden ser utilizados para usuarios de nuevas colonias, o bien pueden reducirse los excedentes de producción, recuperando gastos por consumos de energía excesivos.

Por otra parte, en sistemas de distribución con déficit de agua, la modelación numérica y la gestión de medición de gastos y presión, solo serán posibles durante los días con servicio de agua; esto representa una condición necesaria para cualquier construcción del modelo numérico de una red de distribución de agua potable que se desee sectorizar. Esto significa que será necesario realizar las calibraciones de modelo hidráulico, en el mismo número de áreas con servicio tandeado de agua.

El uso de software para la elaboración de modelos dinámico de simulación, son muy populares en nuestro país desde la décadas de los 70s, primero en el diseño estático de redes y después la modelación dinámica de grandes redes de distribución. El software es diseñados, a partir de las ecuaciones de movimiento de los fluidos: la ecuación de continuidad y de cantidad de movimiento (conservación de la Energía) para flujo no permanente funcionando a presión.

Para ello, puede ser usado un esquema de diferencias finitas de tipo implícito según referencias 8 y 9, el cual es abordado – más adelante -, en sus partes más importantes, ya que representa una opción con el cual es posible el planteamiento del sistema de ecuaciones a resolver.

Las condiciones iniciales de gasto y carga en la red, pueden ser determinadas para una condición de flujo permanente, teniendo como datos, los gastos de

demandas en los nodos, así como las cargas en los tanques de almacenamiento y presiones en la red de distribución medidas. El método de Cross puede ser una alternativa para redes no mayores de 20 tubos.

De acuerdo con referencia 9, se pueden utilizar otros métodos como es el caso de: Sánchez y Fuentes (1991).

El método presentado en referencia9 por el Dr. Oscar Fuentes y M.I. Guadalupe Fuentes, es una excelente referencia para el desarrollo de modelos numéricos implícitos dinámicos.

### 2.3. ECUACIONES PARA FLUJO NO PERMANENTE.

A continuación se desarrolla para un esquema implícito, el sistema de ecuaciones que representa el movimiento del agua en una red de distribución, a partir de la ecuación dinámica de movimiento del agua en una red de distribución; el desarrollo y las aplicaciones prácticas están basadas en el planteamiento de las referencias 8 y 9 por el Dr Oscar Fuentes y el profesor SánchezBribiesca, esquema práctico y de sencillez en su desarrollo.

#### 2.3.1. Ecuación de conservación de cantidad de movimiento.

Esta ecuación parte de la Segunda Ley de Newton, como se muestra en referencia 4, "La suma vectorial de todas las fuerzas  $F$  que actúan sobre una masa de fluido es igual a la rapidez del cambio del vector lineal cantidad de movimiento de la masa de fluido".

Así en una red de distribución, según referencia 9, para un tubo  $j$  cualquiera con extremos  $j$  e  $i$ , como se muestra en figura 2.3, en donde se considera, como fuerzas a las fuerzas de cuerpo peso propio, y a las fuerzas tangenciales desarrolladas por el contacto de movimiento del fluido con las paredes, a las normales a la frontera de la masa, que se pueden evaluar en términos de las intensidades de presión sobre la misma  $\overline{\Delta P}$ ;

$$\overline{\Delta P} - \bar{F} = m \left( \frac{dv}{dt} \right) = \left( \frac{m}{a} \frac{dQ}{dt} \right) \quad (2.15)$$

En la ecuación, el movimiento del fluido se debe a las diferencias de la presión entre las secciones  $j$  e  $i$ , así como a la componente del peso del fluido en dirección opuesta al movimiento, de acuerdo con referencia 9,  $\Delta P$  es la diferencia entre las fuerzas debidas a la presión en las secciones transversales de los extremos del tubo  $j$ ,  $F$  la fuerza debidas a la resistencia, oponiéndose al movimiento del fluido,  $m$  la masa de agua dentro del tubo, la derivada de la velocidad respecto al tiempo,

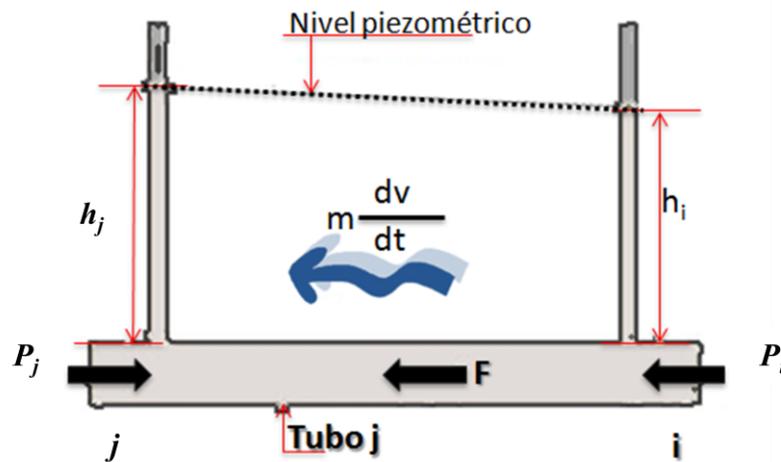
$A$  es el área de la sección transversal del tubo y  $\frac{dQ}{dt}$  la derivada del gasto  $Q$  respecto al tiempo.

La fuerza de resistencia al movimiento del flujo, debida a la fricción, se puede escribir, según referencia 9 a partir de la fórmula de Darcy–Weisbach como:

$$F = \rho g a \frac{lf}{2gD} v^2 = \rho g l C v^2 \quad (2.16)$$

Donde:

$$C = \frac{f}{2gD}$$



*Figura 2.3 Fuerzas actuantes.*

Donde  $\rho g$  el peso específico del agua  $h_j$  y  $h_i$  los niveles piezométricos en los extremos  $j$  e  $i$  del tubo, respectivamente,  $l$  la longitud del tubo,  $f$  el coeficiente de rugosidad de la fórmula de Darcy-Weisbach,  $D$  el diámetro de sección transversal de la tubería y  $C$  una constante, que engloba la fricción y la geometría del tubo  $j$ .

Para propósitos de integración numérica se propone expresar la ecuación 2.15 en diferencias finitas como:

$$\overline{\Delta P} - \overline{\Delta F} = \frac{\rho l}{\Delta t} [Q^K - Q^{K-1}] \quad (2.17)$$

Donde  $k$  un superíndice que indica el valor de la variable en el tiempo  $t=k \Delta t$ ,  $\Delta t$  es intervalo de tiempo. Las variables con barra significan el valor promedio temporal de la variable en el intervalo de tiempo. Los valores medios de las fuerzas, según referencia 8, en un intervalo de tiempo,  $\Delta P$  y  $\Delta F$  se expresan como:

$$\Delta P = \rho g A (h_2 - h_1) \quad (2.18)$$

Si

$$h = h(t) \quad (2.19)$$

Entonces:

$$\Delta P = \Delta p(t) \quad (2.20)$$

$$\Delta P(t) = \rho g A [h_2(t) - h_1(t)] \quad (2.21)$$

En diferencias finitas;

$$\Delta P(t - \Delta t) = \rho g A [h_2(t - \Delta t) - h_1(t - \Delta t)] \quad (2.22)$$

Simplificando las notaciones para  $t$ ,

$$h_2(t) = h_2^k \quad (2.23)$$

Simplificando las notaciones para  $t-\Delta t$ ;

$$h_2(t - \Delta t) = h_2^{k-1} \quad (2.24)$$

Reescribiendo;

$$\Delta P(t) = \rho g A (h_2^k - h_1^k) \quad (2.25)$$

$$\Delta P (t - \Delta t) = \rho g A = h_2^{k-1} - h_1^{k-1} \quad (2.26)$$

Si el promedio pesado para  $\Delta P$  se define como la mitad para el instante  $k-1$  y la mitad para el instante  $k$ :

$$\overline{\Delta P} = 0.5\Delta P^{k-1} + 0.5\Delta P^k \quad (2.27)$$

En forma general se puede escribir el promedio pesado como:

$$\overline{\Delta P} = (1 - \vartheta)\Delta P^{k-1} + \vartheta\Delta P^k \quad (2.28)$$

$\overline{\Delta P}$  es un promedio pesado entre los instantes  $k-1$  y  $k$ .

El valor en promedio pesado de  $\overline{\Delta P}$  se puede plantear de acuerdo con:

$$\overline{\Delta P} = (1 - \vartheta)\rho g A (h_2^{k-1} - h_1^{k-1}) + \vartheta\rho g A (h_2^k - h_1^k) \quad (2.29)$$

Para la fricción o fuerza  $F$  de la ecuación de Darcy:

$$F = \rho g l c v^2 \quad (2.30)$$

$$F (t - \Delta t) = F^{k-1} \quad (2.31)$$

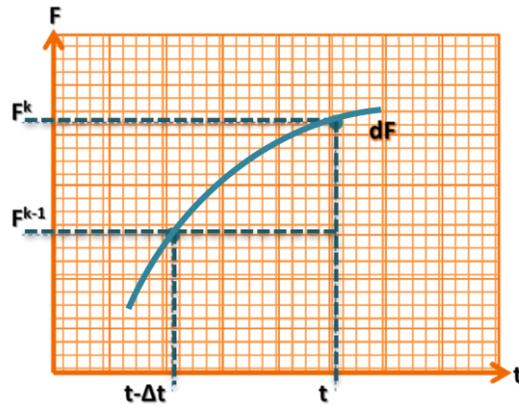
$$F (t) = F^k \quad (2.32)$$

De la misma forma que la fuerza debida a las presiones, el promedio pesado para  $\overline{F}$ :

$$\overline{F} = (1 - \vartheta)F^{k-1} + \vartheta F^k \quad (2.33)$$

$$F^k \approx F^{k-1} + \Delta t \left( \frac{dF}{dt} \right) \quad (2.34)$$

$$\frac{F^k - F^{k-1}}{\Delta t} = \frac{dF}{dt} \quad (2.35)$$



*Figura 2.4. Fuerza y primer derivada.*

$$\frac{dF}{dt} = \frac{d}{dt} (\rho g l c v^2) \quad (2.36)$$

$$\frac{dF}{dt} = \rho g l c \frac{d}{dt} (v^2) \quad (2.37)$$

$$\frac{dF}{dt} = 2 \rho g l c v \frac{dv}{dt} \quad (2.38)$$

En diferencias finitas;

$$dv = \Delta v$$

$$dt = \Delta t$$

$$\frac{dF}{dt} = 2 \rho g l c v \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad (2.39)$$

Reescribiendo  $F^k$

$$F^k \approx F^{k-1} + \Delta t \left( 2 \rho g l c v \frac{\Delta v}{\Delta t} \right) \quad (2.40)$$

$$\Delta v = v^k - v^{k-1}$$

Sustituyendo a  $\Delta v$

$$F^k = F^{k-1} + 2 \rho g l c v (v^k - v^{k-1}) \quad (2.41)$$

Considerando conveniente escribir  $v$  como  $v^{k-1}$

$$F^k = \rho g c l (v^{k-1})^2 + 2 \rho g c l v^{k-1} (v^k - v^{k-1}) \quad (2.42)$$

Escribiendo a la fuerza como promedio pesado, entre el tiempo  $k$  y  $k-1$ :

$$\bar{F} = (1 - \vartheta) \rho g l c (v^{k-1})^2 + \vartheta F^k \quad (2.43)$$

$$\bar{F} = (1 - \vartheta) \rho g l c (v^{k-1})^2 + \vartheta [\rho g l c (v^{k-1})^2 + 2 \rho g c l v^{k-1} (v^k - v^{k-1})] \quad (2.44)$$

Se puede escribir a la ecuación de conservación de cantidad de movimiento.

$$\overline{\Delta p} - \bar{F} = m a$$

$$\overline{\Delta p} - \bar{F} = m \frac{dv}{dt}$$

En diferencias finitas;

$$\frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{\Delta Q}{A \Delta t}$$

$$\overline{\Delta p} - \overline{\Delta F} = \rho \frac{l[Q^k - Q^{k-1}]}{\Delta t} \quad (2.45)$$

De acuerdo con las expresiones obtenidas para  $\overline{\Delta p}$  y  $\overline{\Delta F}$

$$[[ (1 - \vartheta) \rho g A (h_2^{k-1} - h_1^{k-1}) + \vartheta \rho g A (h_2^k - h_1^k) ] - [ (1 - \vartheta) \rho g l c (v^{k-1})^2 + 2 \rho g l c v^{k-1} (v^k - v^{k-1}) ] ] = \frac{\rho l (Q^k - Q^{k-1})}{\Delta t} \quad (2.46)$$

Adecuando la expresión para que esta solo se exprese en términos de  $h$  y  $Q$  dependiendo del instante  $k$  o  $k-1$ .

Despejando de la expresión a  $Q^k$  en términos de  $(h_2^k - h_1^k)$  o bien en forma general para el nodo  $j=zei=1$  y el tramo  $j$ .

Si

$$B_j^{k-1} = \frac{\rho g l c_j | Q_j^{k-1} | Q_j^{k-1}}{A_j^2} \quad (2.47)$$

$$\gamma_j^{k-1} = \frac{-\frac{\rho l_j Q_j^{k-1}}{\Delta t} + B_j^{k-1} + 2\vartheta B_j^{k-1}}{-\frac{\rho l_j}{\Delta t} + 2\vartheta B_j^{k-1} Q_j^{k-1}} - \frac{(1-\vartheta) \rho g A_j (h_j^{k-1} - h_i^{k-1})}{-\frac{\rho l_j}{\Delta t} + 2\vartheta B_j^{k-1} Q_j^{k-1}} \quad (2.48)$$

$$\alpha_j^{k-1} = -\frac{\vartheta \rho g A_j}{-\frac{\rho l_j}{\Delta t} + 2\vartheta B_j^{k-1} Q_j^{k-1}} \quad (2.49)$$

$Q_j^k$  en función de  $B_j^{k-1}$ ,  $\gamma_j^{k-1}$  y  $\alpha_j^{k-1}$

$$Q_j^k = \alpha_j^{k-1} (h_j^k - h_i^k) + \gamma_j^{k-1} \quad (2.50)$$

La ecuación relaciona a las cargas piezometricas de los extremos de la tubería con el gasto que circula por ella en el instante  $k$ , considerando que el flujo va del nodo  $j$  al nodo  $i$ .

En el esquema dinámico, se acepta que las 7 variables en el instante  $k-1$  son conocidas.

## 2.4 CASOS DE APLICACIÓN.

A fin de mostrar la sencillez del planteamiento de referencias 8 y 9, se desarrollaran a continuación tres casos, que parten de una red de distribución como la mostrada en la figura 2.5, consistente en 2 tramos y dos nodos, que forman un circuito. Se presentan tres casos.

### Caso 1. Red de Distribución General.

No se poseen controles de Flujo o presión, el flujo se mueve dependiendo solamente de la geometría de los tramos 1 y 2, así como de las condiciones de presión en la alimentación en el nodo 1.

### Caso 2. Red de Distribución con VRP.

Se desarrollara el planteamiento considerando en el tramo 2 una VRP en operaciones, el resto de la geometría de la red es igual a la del caso 1.

### Caso 3. Red de Distribución con VRF.

Se desarrollara el planteamiento considerando que en el tramo 2, ha sido instalada una válvula reguladora de flujo en operaciones; el resto de la geometría de la red es igual a la de los casos 1 y 2.

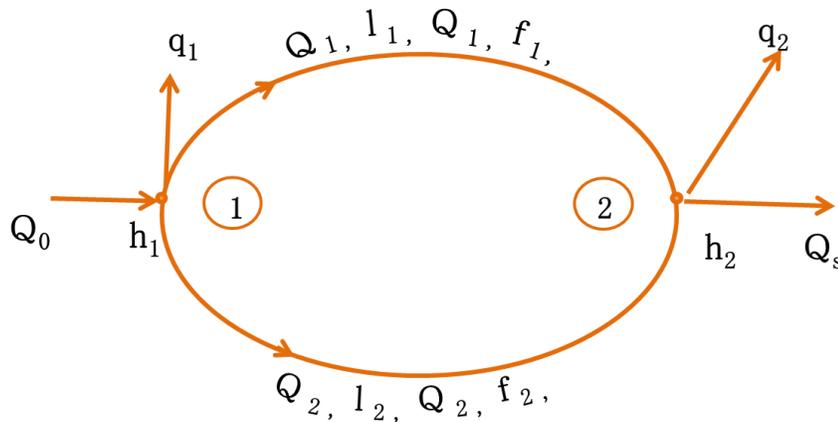
Se desarrollará el planteamiento del sistema de ecuaciones a resolver para la red de agua potable que se muestra en la figura 2.5, para las condiciones de la red y su valvulería, que se describen en los casos 1, 2 y 3.

### *Consideraciones Generales.*

Para la red de distribución que se muestra en figura 2.5, conocidos:  $Q_0^K$  (gasto que entra en l/s)  $q_1^K$  (gasto demandado en nodo 1 en l/s),  $q_2^K$  (gasto demandado en nodo 2 en l/s),  $l_1$  y  $l_2$  (longitud de los tramos 1 y 2 en m),  $Q_1$  y  $Q_2$  (diámetro de

tubería en los tramos 1 y 2 respectivamente en  $m$ ),  $f_1$  y  $f_2$  ( coeficientes de fricción de Darcy-Weissbach para los tramos 1 y 2 respectivamente).  $Q_s^k$  (El gasto que sale del circuito, el cual es función de los valores de  $Q_0^k, q_1^k$  y  $q_2^k$  en el tiempo en l/s).

#### 2.4.1 Caso I. Red de distribución planteamiento general.



**Figura 2.5 Red de distribución general.**

Para la red de distribución mostrada, se pide desarrollar las ecuaciones que permitan determinar los valores de  $h_1, h_2, Q_1, Q_2$ , conocidos:  $Q_0, q_1, q_2, Q_s, L_1, L_2, f_1, f_2$  y los diámetros de las tuberías  $D_1$  y  $D_2$ .

Desarrollando la ecuación de continuidad en el **nodo 1**.

$$Q_0 = q_1 + Q_1 + Q_2 \quad (2.51)$$

Desarrollando la ecuación de continuidad en el **nodo 2**.

$$Q_s = Q_1 + Q_2 - q_2 \quad (2.52)$$

Donde  $Q_0, Q_s, q_1, q_2$  son conocidas, ya sea en flujo permanente o dinámico.

Además  $l_1, l_2, D_1, D_2, f_1$  y  $f_2$  son características físicas de la red.

Desarrollando para  $Q_1$  y  $Q_2$  y según la expresión obtenida de segunda Ley de Newton.

$$Q_1^K = \alpha_1^{K-1} (h_1^k - h_2^k) + \gamma_1^{K-1} \quad (2.53)$$

$$Q_2^K = \alpha_2^{K-1} (h_1^k - h_2^k) + \gamma_2^{K-1} \quad (2.54)$$

Se tienen 4 ecuaciones con cuatro incógnitas:  $h_1^k, h_2^k, Q_1^K, Q_2^K$ . El sistema puede ser simplificado sustituyendo 2.54, 2.53 en 2.51;

$$Q_0^K = q_1^k + [\alpha_1^{K-1} (h_1^k - h_2^k) + \gamma_1^{K-1}] + [\alpha_2^{K-1} (h_1^k - h_2^k) + \gamma_2^{K-1}] \quad (2.55)$$

Agrupando términos a la derecha desconocidos y a la izquierda de la igualdad a las conocidas.

$$(\alpha_1^{K-1} + \alpha_2^{K-1})h_1^k - (\alpha_1^{K-1} + \alpha_2^{K-1})h_2^k = Q_0^K - q_1^k - \gamma_1^{K-1} - \gamma_2^{K-1} \quad (2.56)$$

Sustituyendo 2.53 y 2.54 en 2.52;

$$Q_s^K = \alpha_1^{K-1} (h_1^k - h_2^k) + \gamma_1^{K-1} + \alpha_2^{K-1} (h_1^k - h_2^k) + \gamma_2^{K-1} - q_2^k \quad (2.57)$$

Agrupando términos.

$$(\alpha_1^{K-1} + \alpha_2^{K-1})h_1^k - (\alpha_1^{K-1} + \alpha_2^{K-1})h_2^k = Q_s^K + q_2^k - \gamma_1^{K-1} - \gamma_2^{K-1} \quad (2.58)$$

La expresión se compacta si se considera lo siguiente:

$$\alpha_{1-2}^{k-1} = \alpha_1^{k-1} + \alpha_2^{k-1} \quad (2.59)$$

$$\gamma_{1-2}^{k-1} = \gamma_1^{k-1} + \gamma_2^{k-1} \quad (2.60)$$

El sistema a resolver fue sustituido por uno de dos incógnitas; con dos ecuaciones  $h_1^k, h_2^k$

$$\alpha_{1-2}^{k-1} h_1^K - \alpha_{1-2}^{k-1} h_2^K = Q_0^K - q_1^k - \gamma_{1-2}^{K-1} \quad (2.61)$$

$$\alpha_{1-2}^{k-1} h_1^K - \alpha_{1-2}^{k-1} h_2^K = Q_s^K - q_2^k - \gamma_{1-2}^{K-1} \quad (2.62)$$

Ya sea para un caso dinámico o estático, el sistema inicia su solución conocida las condiciones en el instante  $k-1$ , así como  $Q_0^k, Q_s^k, q_1^k$  y  $q_2^k$  de tal forma que resolviendo el sistema para  $h_1$  y  $h_2$  en el instante  $k$  se determinaran los valores de  $Q_1$  y  $Q_2$  para el instante  $k$ . la precisión de estos resultados pueden revisarse sustituyendo en 2.51 y 2.52.

### *Condiciones iniciales y procedimiento general de solución.*

Se observa que una vez resuelto el sistema de ecuaciones para  $h_1^k$  y  $h_2^k$  en el instante  $k$ , a partir de conocer el comportamiento en el instante  $k-1$  para  $h_1^{k-1}$ ,  $h_2^{k-1}$ ,  $Q_1^{k-1}$  y  $Q_2^{k-1}$  deberá determinar los nuevos valores de  $Q_1$  y  $Q_2$  en el instante  $k$  aplicando las ecuaciones 2.53 y 2.54 conocidas  $h_1^k$  y  $h_2^k$  así como  $\alpha_1^{k-1}$ ,  $\alpha_2^{k-1}$ ,  $\gamma_1^{k-1}$  y  $\gamma_2^{k-1}$ .

Los nuevos valores de  $h_1^k$  y  $h_2^k$  son ingresados como  $h_1^{k-1}$  y  $h_2^{k-1}$  hasta lograr que; para el instante ( $k$ ), los gastos en tramos, cumplan la ecuación de continuidad de nodo y circuitos con un error tolerable. Una vez cumplido esto, se procede al siguiente instante en el tiempo.

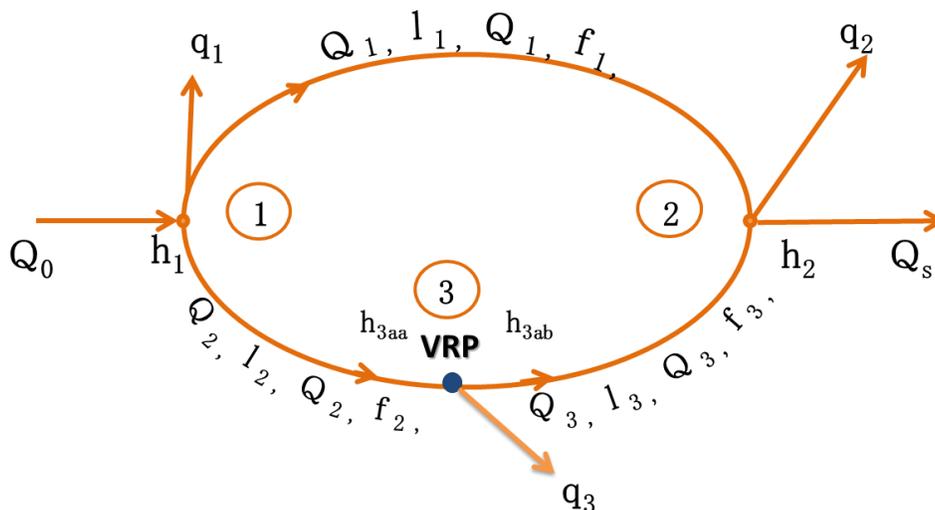
De otra forma, los errores en la consideración de  $h_1^k$  y  $h_2^k$  para  $k$  en el instante  $0$  se arrastrarán a todo lo largo del tiempo. Los software poseen estas rutinas integradas, para esta fase del cálculo.

#### 2.4.2 Caso 2. Red con VRP.

A la red se le ha adicionado una válvula reguladora de presión *VRP*, con presión de consigna  $h_c$  aguas abajo de la válvula, la cual ha sido instalada en el nodo 3, esta válvula ha sido adicionada a la geometría original del caso 1, a fin de colocar en este nodo las condiciones de presión antes y después de la válvula de control de presión. Sin embargo, la longitud total de tubería entre los nodos 0 y 3, y 3 a 2, continua siendo en magnitud igual a la longitud del tramo 2 del caso 1.

De la misma forma que en el caso 1, son conocidos:  $Q_0$ ,  $Q_s$ , y  $q_1, q_2$  y  $q_3=0.0$ .

La geometría de la red, es también conocida como el caso 1: los diámetros de las tuberías  $D_1, D_2, D_3$ ; son conocidas, así como también las longitudes de los tramos  $L_1, L_2, L_3$ ; los coeficientes de fricción para los tramos  $f_1, f_2, f_3$ .



**Figura 2.6 Red de Distribución con VRP's.**

La *VRP* condiciona las presiones aguas abajo del nodo 3 en  $h_{3ab}$  de la forma siguiente, ver referencia 10;

$$\left. \begin{array}{l} \text{si } \left. \begin{array}{l} h_{3aa}^k \geq h_c \\ h_{3ab}^k = h_c \end{array} \right\}; Q_2^k = Q_3^k \\ \text{si } \left. \begin{array}{l} h_{3aa}^k < h_c \\ h_{3ab}^k = h_{3aa}^k \end{array} \right\}; Q_2^k = Q_3^k \end{array} \right\} \quad (2.63)$$

Por otra parte la ecuación de continuidad en los nodos 1, 2 y 3.

$$Q_0^k = q_1^k + Q_1^k + Q_2^k \quad (2.64)$$

$$Q_s^k = Q_1^k + Q_3^k - q_2^k \quad (2.65)$$

$$Q_2^k = q_3^k + Q_3^k \quad (2.66)$$

De acuerdo con la ecuación 2.50, los gastos en los tramos 1 , 2 y 3, para el instante  $k$  pueden escribirse como;

$$Q_1^k = \alpha_1^{k-1} (h_1^k - h_2^k) + \gamma_1^{k-1} \quad (2.67)$$

$$Q_2^k = \alpha_2^{k-1} (h_1^k - h_{3aa}^k) + \gamma_2^{k-1} \quad (2.68)$$

$$Q_3^k = \alpha_3^{k-1} (h_{3ab}^k - h_2^k) + \gamma_3^{k-1} \quad (2.69)$$

De acuerdo con las ecuaciones, se tienen 7 incógnitas:  $Q_1^k, Q_2^k, Q_3^k, h_1^k, h_2^k, h_{3aa}^k, h_{3ab}^k$  para resolver se tienen las ecuaciones 2.63, 2.64, 2.65, 2.66, 2.67, 2.68 y 2.69, 7 ecuaciones en total.

Sustituyendo 2.67, 2.68, y 2.69 en 2.64.

$$Q_0^k = q_1^k + [\alpha_1^{k-1} (h_1^k - h_2^k) + \gamma_1^{k-1}] + [\alpha_2^{k-1} (h_1^k - h_{3aa}^k) + \gamma_2^{k-1}] \quad (2.70)$$

Agrupando.

$$(\alpha_1^{k-1} + \alpha_2^{k-1})h_1^k - \alpha_1^{k-1} h_2^k - \alpha_2^{k-1} h_{3aa}^k = Q_0^k - q_1^k - \gamma_1^{k-1} - \gamma_2^{k-1} \quad (2.71)$$

Para la ecuación 2.65.

$$Q_s^k = q_2^k + [\alpha_1^{k-1} (h_1^k - h_2^k) + \gamma_1^{k-1}] + [\alpha_3^{k-1} (h_{3ab}^k - h_2^k) + \gamma_3^{k-1}] \quad (2.72)$$

Agrupando.

$$\alpha_1^{k-1} h_1^k - (\alpha_1^{k-1} + \alpha_3^{k-1})h_2^k - \alpha_3^{k-1} h_{3ab}^k = Q_s^k - q_2^k - \gamma_1^{k-1} - \gamma_3^{k-1} \quad (2.73)$$

Para la ecuación 2.66.

$$Q_2^k - Q_3^k = q_3^k$$

$$[\alpha_2^{k-1} (h_1^k - h_{3aa}^k) + \gamma_2^{k-1}] - [\alpha_3^{k-1} (h_{3ab}^k - h_2^k) + \gamma_3^{k-1}] = q_3^k$$

$$\alpha_2^{k-1} h_1^k + \alpha_3^k h_2^k - \alpha_2^k h_{3aa}^k - \alpha_3^k h_{3ab}^k = q_3^k - \gamma_2^{k-1} + \gamma_3^{k-1} \quad (2.74)$$

El sistema se ha reducido a las siguientes incógnitas:  $h_1^k, h_2^k, h_{3aa}^k, h_{3ab}^k$ , cuatro en total, disponiéndose ahora de cuatro ecuaciones para resolver ;el sistema a resolver es el siguiente:

$$si \left. \begin{array}{l} h_{3aa}^k \geq h_c \\ h_{3ab}^k = h_c \end{array} \right\} ; Q_2^k = Q_3^k$$

$$\text{si } \left. \begin{array}{l} h_{3aa}^k < h_c \\ h_{3ab}^k = h_{3aa}^k \end{array} \right\} ; Q_2^k = Q_3^k \quad (2.75)$$

$$\alpha_{1-2}^{k-1} h_1^k - \alpha_1^{k-1} h_2^k - \alpha_2^{k-1} h_{3aa}^k = Q_0^k - q_1^k - (\gamma_{1-2}^{k-1}) \quad (2.76)$$

$$\alpha_1^{k-1} h_1^k - \alpha_{1-3}^{k-1} h_2^k - \alpha_3^{k-1} h_{3ab}^k = Q_s^k - q_2^k - (\gamma_{1-3}^{k-1}) \quad (2.77)$$

$$\alpha_2^{k-1} h_1^k + \alpha_3^{k-1} h_2^k - \alpha_2^{k-1} h_{3aa}^k - \alpha_3^{k-1} h_{3ab}^k = q_3^k - \gamma_2^{k-1} + \gamma_3^{k-1} \quad (2.78)$$

El procedimiento numérico para la solución, es el mismo al planteado en el caso 1.

### 2.4.3 Caso 3. Red con VRF (Válvula reguladora de flujo).

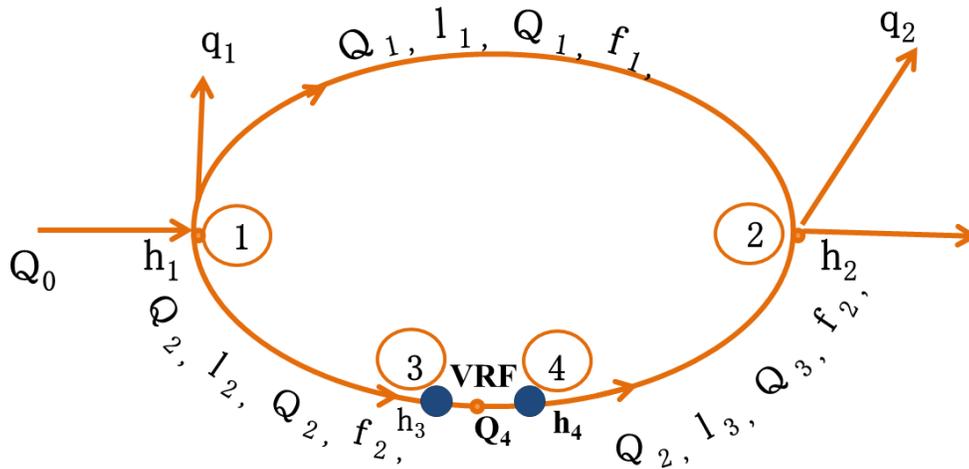


Figura 2.7 Red de Distribución con VRF.

Se ha instalado una válvula VRF, entre los nodos 0 y 3 de la red, VRF, es una válvula reguladora de flujo o gasto, con gasto de consigna  $Q_c$ .

El nodo 3 donde  $h_3$  es la carga, está ubicado aguas arriba de la válvula VRF y  $h_4$  es la carga en el nodo 4, ubicado aguas abajo de la válvula reguladora de flujo VRF.

La válvula VRF, condicionará el flujo que circule en los tramos 2 y 3, ver referencia 10, de forma tal que  $Q_2$ , siempre será menor o igual al gasto de consigna  $Q_c$ , como se describe a continuación;

$$Q_2^K \leq Q_c \quad (2.79)$$

De la misma forma que en los casos 1 y 2, la geometría de la red es conocida, es decir; los diámetros de las tuberías son conocidos,  $D_1, D_2, D_3$ , las longitudes también,  $L_1, L_2, L_3$ , los coeficientes de fricción de Darcy –Weissbach:  $f_1, f_2, f_3$ .

Es importante señalar que la distancia entre los nodos 3 y 4, puede despreciarse, ha sido propuesta para determinar la pérdida de carga por la válvula VRF.

Con relación a los gastos,  $Q_0, Q_s$ , y  $q_1, q_2$ , así como  $q_3, q_4 = 0$ , son conocidos.

Las variables incógnitas:  $h_1^k, h_2^k, h_3^k, h_4^k$  y  $Q_1^k, Q_2^k, Q_3^k, Q_4^k$  resultan un total de 8 incógnitas.

Aplicando la ecuación de continuidad en nodos 1, 2, 3 para el instante  $k$ .

**Nodo 1**

$$Q_0^k = q_1^k + Q_1^k + Q_2^k \quad (2.80)$$

**Nodo 2**

$$Q_s^k = -q_2^k + Q_1^k + Q_3^k \quad (2.81)$$

**Nodo 3**

$$Q_2^k = Q_4^k = Q_3^k \quad (2.82)$$

En los tramos, la ecuación 2.50 obtenida a partir de la ecuación de cantidad de movimiento, puede escribirse para el gasto en los tramos 1, 2 y 3.

$$Q_1^k = \alpha_1^{k-1} (h_1^k - h_2^k) + \gamma_1^{k-1} \quad (2.83)$$

$$Q_2^k = \alpha_2^{k-1} (h_1^k - h_3^k) + \gamma_2^{k-1} \quad (2.84)$$

$$Q_3^k = \alpha_3^{k-1} (h_4^k - h_2^k) + \gamma_3^{k-1} \quad (2.85)$$

Sustituyendo 2.83 y 2.84 en 2.80.

$$Q_4^k = \frac{2A^2 g}{K |Q_4^{k-1}|} (h_3^k - h_4^k) \quad (2.86)$$

$$Q_0^k = q_1^k + [\alpha_1^{k-1} (h_1^k - h_2^k) + \gamma_1^{k-1}] + [\alpha_2^{k-1} (h_1^k - h_3^k) + \gamma_2^{k-1}] \quad (2.87)$$

Sustituyendo las ecuaciones 2.83, 2.84, 2.85 y 2.86 en las ecuaciones 2.80, 2.81 y 2.82. Posteriormente agrupando se obtiene el sistema de ecuaciones.

$$\left. \begin{array}{l} Q_c \\ Q_2^k \leq Q_c \end{array} \right\} \quad (2.88)$$

$$\alpha_2^{k-1} (h_1^k - h_2^k) + \gamma_2^{k-1} \leq Q_c \quad (2.89)$$

$$\alpha_{1-2}^{k-1} h_1^k - \alpha_1^{k-1} h_2^k - \alpha_2^{k-1} h_3^k = Q_0^k - q_1^k - (\gamma_1^{k-1} + \gamma_2^{k-1}) \quad (2.90)$$

$$\alpha_1^{k-1} h_1^k - (\alpha_1^{k-1} + \alpha_3^{k-1}) h_2^k + \alpha_3^{k-1} h_4^k = Q_s^k - q_2^k - \gamma_1^{k-1} - \gamma_3^{k-1} \quad (2.91)$$

$$\alpha_2^{k-1} h_1^k - \left( \alpha_2^{k-1} + \frac{2A^2 g}{K | Q_4^{k-1} |} \right) h_3^k + \frac{2A^2 g}{K | Q_4^{k-1} |} h_4^k = - \gamma_2^{k-1} \quad (2.92)$$

Las incógnitas son  $h_1^k, h_2^k, h_3^k$  y  $h_4^k$  con cuatro ecuaciones para resolverlas 2.92, 2.91, 2.90 y 2.89.

El procedimiento de solución es el mismo planteado para el caso 1.

## **CAPÍTULO 3.**

### **DATOS BÁSICOS PARA EL ESTUDIO DE REDES DE AGUA POTABLE.**

La Sectorización de Redes Hidráulicas en nuestro país, dependen aún de la calidad de la información de la infraestructura, en un medio en el cual, la falta de medición es lo mas común, por lo que los trabajos básicos, deben partir precisamente con estos objetivos importantes: identificación de la infraestructura y dimensionamiento del ANC, este último a partir de mediciones.

La mayoría de los Organismos Municipales, aspira a que la Sectorización le permitir mejoras a las prácticas operativas en el servicio, distribuyendo mejor el agua y posteriormente ejercer el Control de la Demanda.

La presencia del ANC, tratándose de Organismos con alta incidencia de fugas, pueden tener su origen en las altas presiones que se presentan en la red de distribución con materiales en ramales cuyas especificaciones fueron rebasadas, o bien, presiones normales en la red, pero ramales con materiales de gran antigüedad o de pésima calidad y / o deficiente instalación.

En estos tipos de Organismos, el Control de la Presión puede resultar ser un primer paso hacia la reducción del ANC, combinados con acciones que impliquen una mayor cobertura de la micro medición y macro medición, ya que los balances de agua aplicados por áreas, permite identificar las zonas con mayor valor de ANC.

Los Organismos con recursos de agua limitados, generalmente desarrollan empresas con alta eficiencia comercial y física, por lo que disponen de recursos económicos y planean anticipadamente sus acciones. En este sentido, es posible encontrar en estas ciudades, una planeación urbana organizada, es decir, el uso de suelo permite diferenciar las zonas de la ciudad exclusivamente hoteleras, entre las de servicios públicos y habitacionales.

Por lo que la Sectorización, en este tipo de casos, es diseñada para iniciar un control en la demanda de agua, así como para uniformizar presiones de suministro en la red.

Atendiendo lo anterior, en cualquiera de los dos casos, el diseño de la Sectorización debe requerir de información básica con precisión adecuadas, o bien si esta no posee la precisión requeridas, deberá considerarse en el programa de ejecución de la sectorización los tiempos y recursos necesarios para su obtención.

La información básica fundamental para el adecuado desarrollo de la sectorización de redes es:

- a) Información de infraestructura hidráulica actualizada de la red, la cual debe ser confiable y cubrir un alto porcentaje del área en estudio.
- b) Información histórica de Padrón de Usuarios digitalizada, ubicación, tipos de usuarios, consumos históricos y planos de lotes.
- c) Documentos gráficos digitales, con las políticas de operación y mantenimiento de la red actualizada.

En el desarrollo del presente capítulo, se enfatiza la necesidad en la determinación de datos básicos necesarios en el desarrollo de la sectorización, se abordan las experiencias obtenidas y se describe la problemática cuando la información no resulta confiable y es necesario complementarla.

### *3.1 INFORMACIÓN PRELIMINAR DISPONIBLE Y SU ANÁLISIS.*

#### *3.1.1 Población y Dotación de Agua.*

En la figura 3.1, se muestra el área de estudio, con las dos zonas particulares de trabajo: Maza y Barranco, sus dimensiones, configuración topográfica e infraestructura hidráulica de agua potable y drenaje.

Las tendencias de crecimiento, así como la población actualizada según tendencias de crecimiento de la población, se pueden obtener en la base de datos del la CONAPO.

Las dos áreas de estudio forman parte urbana de la cabecera Municipal, por lo que la determinación de la población, fue estimada a partir de las tasas de crecimiento de la cabecera Municipal, como se muestra a continuación.

Por otra parte, teniendo en cuenta que el objetivo es la construcción del modelo numérico de la red y a partir de éste, el diseño de la sectorización de redes, es necesario determinar la demanda de agua, su magnitud, su variabilidad dentro del área de estudio y en el tiempo, estas condiciones de variaciones en el espacio y tiempo, pueden ser descritas en función del gasto medio.

La determinación del gasto medio, pueden ser obtenidos, utilizando los datos históricos de consumos medidos, disponibles en el registro de records de consumo de usuarios medido:  $m^3/ Bimestre$ .

El consumo: ( $m^3/ Bimestre$ ), está asociado a una toma o Usuario, ésta a su vez a un lote o casa habitación, comercio, u oficina, por lo que contiene el consumo de 3 o más habitantes. Esta concentración de habitantes por toma o Usuario, es en muchas ocasiones parecida al índice de Hacinamiento, el cual es la concentración de número de habitantes por vivienda.

De esta forma, conocida la base total de datos de los registros de consumo de los distintos tipos usuarios, y conocido el número de habitantes, es posible determinar el consumo por habitante, a partir de los registros de consumos del Organismo de Servicios Municipales del Agua.

La confiabilidad o precisión de este número, depende de los siguientes factores:

Cobertura del Padrón de Usuarios.

Esto significa que **cada uno de los habitantes y predios** consume agua a través de una toma legalmente registrada en el Organismo.

Cobertura de Medición de Consumos.

Esto significa **que todos los habitantes, a través de las tomas o usuarios tengan un medidor** en operaciones que reporte bimestralmente el consumo al Organismo.

Base de datos histórica de consumos.

Esto significa que el Organismo posee una **cuenta por cada usuario, que contiene una base de datos en donde se almacena cada uno de los consumos bimestrales del usuario**, así como otros importantes datos : contrato, numero de medidor, tipo de usuario, diámetro de la toma.

Por lo anterior, si el Padrón de Usuarios, Cobertura de Micro Medición y la base de datos de los consumos bimestrales está actualizada, el consumo por habitante obtenido de ésta, será muy confiable y preciso.

En la medida que la cobertura del Padrón de Usuarios cubra un numero menor de habitantes, así como la cobertura de medidores instalados disminuya y las bases de datos de registros de consumos disminuya, la precisión del estimado del gasto medio disminuirá radicalmente.

Una segunda vía aproximada, para la obtención del gasto medio por habitante, es mediante el uso de tablas de dotación de agua potable de la **CONAGUA**.

La **tabla 3.1** muestra los datos respecto a las dimensiones del área urbana en la Cabecera Municipal, así como las de las diferentes áreas de estudio para el proyecto de Sectorización. Adjunto a la Tabla, a partir de los cálculos poblacionales, proyectados al año 2012, se muestran los gastos medios requeridos para cada área de estudio, así como para diferentes dotaciones diarias de agua para cada habitante.

Es importante señalar, que los cálculos que se muestran, son los utilizados por las dependencias gubernamentales para los proyectos de desarrollos de infraestructura hidráulica.

La realización de proyectos en localidades en las que se posean los registros históricos de consumos, es recomendable revisar las necesidades de abastecimiento de agua del proyecto, a partir de los registros promedios de consumo, utilizando al máximo la información de records de lecturas registrados por el Organismo de Servicios de Agua.

Es de esperarse que mientras la cobertura y precisión de los micro medidores sea mayor, en esa dirección será la precisión en la estimación de las necesidades de agua.

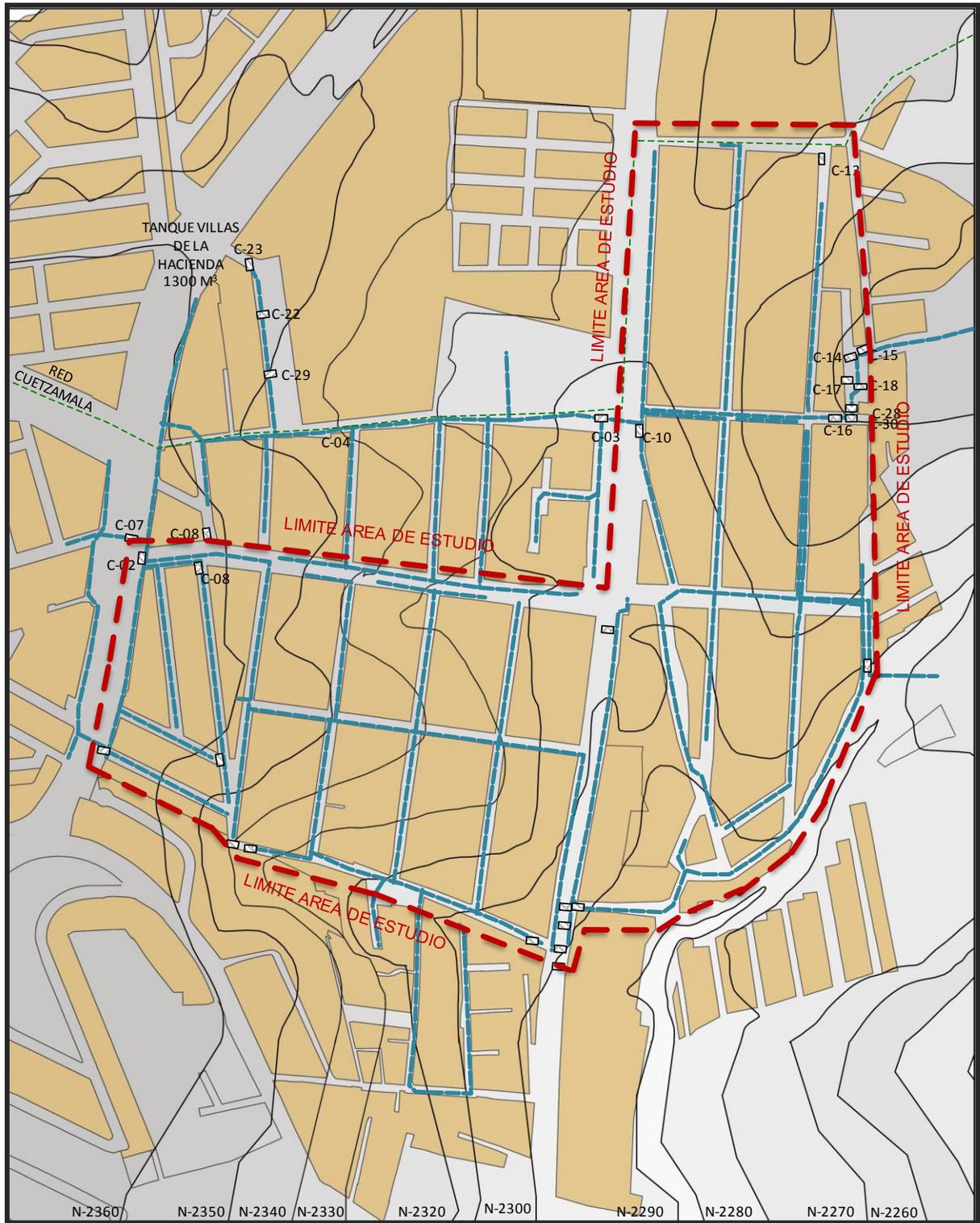
La dotación de acuerdo con las especificaciones de las Normas de Diseño de Agua Potable por la *CONAGUA*, contiene un porcentaje de fugas, que es la cantidad de agua que se considera perdida en el trayecto del almacenamiento a la toma domiciliaria de los usuarios, así que la dotación en normas debería ser mayor a la reportada por los medidores domiciliarios.

Se observa, en la **tabla 3.1**, que para la dotación de **200 litros /habitante/día**, el gasto necesario para llevar a los domicilios de los usuarios **es 2.61 l/ s y 3.23 l/s** para las áreas de estudio Maza y Barranco respectivamente.

Zona	Área total	Área urbana	Población (2000)	Densidad población (2000)	Proyección población (2012)	Densidad proyectada (2012)
Cabecera Municipal	97.7 km <sup>2</sup>	52.8 km	306,516.00	5800.8 Hab/Km <sup>2</sup>	384861.5 Hab	7283 Hab/Km <sup>2</sup>
Maza	0.1548 km <sup>2</sup>	—	1128	7286.8 Hab/km <sup>2</sup>	1416.3 Hab	9149.3 Hab/Km <sup>2</sup>
Serdán	0.1379 km <sup>2</sup>	—	1004	7280.7 Hab/km <sup>2</sup>	1260.7 Hab	9141.6 Hab/Km <sup>2</sup>
Barranco	0.1914 km <sup>2</sup>	—	1394	7283.1 Hab/km <sup>2</sup>	1750.3 Hab	9144.7 Hab/Km <sup>2</sup>

SUBSECTOR	ÁREA [km <sup>2</sup> ]	POBLACIÓN [Hab]	Q <sub>total</sub> [L/s]			Q <sub>per cápita</sub> [L/s]		
			DOTACION			DOTACION		
			150 [L/hab/dia]	200 [L/hab/dia]	250 [L/hab/dia]	150 [L/hab/dia]	200 [L/hab/dia]	250 [L/hab/dia]
SERDÁN	0.1379	1004	1.74	2.33	2.91	3.78	5.05	6.31
MAZA	0.1548	1128	1.96	2.61	3.26	4.25	5.66	7.08
BARRANCO	0.1914	1394	2.42	3.23	4.03	5.25	7.00	8.75

**Tabla 3.1. Información poblacional del área de estudio.**



*Figura 3.1. Plano de red existente del área de estudio.*

### *3.1.2 La Micromedición y su Cobertura.*

La **figura 3.2**, muestra el área geográfica de las zonas de estudios, en esta se han identificado por colores, los diferentes tipos de usuarios: doméstico Popular, Comercial, Industrial, Servicios, Baldíos y mixtos, para las áreas de estudio.

Es posible observar en la figura, de una gran mayoría de Usuarios domésticos populares.

Considerando un intervalo de tiempo de 24 horas, si al volumen de agua que entra al área en estudio, se le resta del volumen que sale del área de estudio en el mismo intervalo de tiempo, el volumen de agua resultante, es el que se queda en el Sector, transformándose en: consumo medido y el estimado, pérdidas físicas o fugas, consumos clandestinos, además de un volumen que es el resultado de los errores en la medición. Incluyendo en este, a los errores en los medidores domiciliarios.

La importancia del volumen de consumo medido, resalta en la determinación del ANC, la existencia de un número importante de medidores instalados a los diferentes tipos de usuarios. El análisis estadístico de los registros de consumo, permiten estimar los volúmenes consumidos por usuarios sin medidor.

La información obtenida del Padrón de Usuarios, permite identificar el número y ubicación de los diferentes tipos de usuarios. La **figura 3.2**, muestra la ubicación y tipos de usuarios en las dos áreas de estudio: Maza Y Barranco. La **figura 3.3**, muestra la ubicación de los usuarios con medidor instalado y en operaciones normales.

De forma similar, a partir de la información del Padrón de Usuarios, es posible elaborar la **tabla 3.2**, en la que después de realizar la estadística de los

consumos, muestra los promedios de consumo por cada tipo de usuario con medidor instalado y en operaciones del área de estudio **Maza**.

Los consumos promedios por cada tipo de usuario fueron obtenidos de los records de medición, también disponibles en la base de datos de Usuarios.

La información del Padrón de Usuarios, en particular la base de datos con los históricos de consumos, es de gran importancia para el conocimiento de los consumos y sus diferentes tipos.

En la construcción del modelo numérico de la red hidráulica, la ubicación a nivel de lote y usuario del medidor, así como su consumo promedio, permitió estimar las demandas por cada nodo de la red.

Para los lotes y usuarios sin medidor, el resultado del análisis estadístico de los consumos medidos, permitió asignársele, dependiendo del tipo de usuario, un consumo promedio en función del diámetro de la toma y el tipo de usuario.

Los casos de áreas en estudio que se abordan en esta tesis, no se detectaron la presencia de grandes usuarios, cuya demanda representase un importante volumen que afectara el comportamiento de la demanda.

En esta tesis se recomienda la ubicación precisa del o los grandes usuarios, de forma tal que su punto de conexión a la red, sea considerada un nodo de demanda.

Por otra parte, en los casos abordados en esta tesis, los usuarios contratados con clasificación de lote baldíos, que en las dos áreas de estudio, son un significativo número de lotes baldíos, que de acuerdo con los ejecutivos del Organismo, los propietarios, aunque no han desarrollado la construcción de casa habitación, pero han construido un pie de casa, el cual habita un miembro de la familia o un vigilante contratado, por lo que los lotes baldíos poseen contrato y servicios de agua y drenaje, se les asignó el consumo promedio de un usuario popular, este tipo de información resulta valiosa para la determinación de los consumos.

Como se observa en la tabla mencionada, los consumos de los usuarios no medidos, se han obtenido a partir de los promedios de consumos de los medidos. En la **tabla 3.2**, se observa que los usuarios no medidos, requieren un gasto estimado de **1.77 l/s**; para el total de usuarios **2.44 l/s**, este valor es el total de consumo para los usuarios medidos y no medidos, del área de estudio **Maza**.



*Figura 3.2. Tipos de usuarios según padrón en el área de estudio.*



*Figura 3.3. Usuarios con micro medición en área de proyecto.*

**USUARIOS CON MEDICION PARA SUBSECTOR MAZA**  
CONSUMO DIARIO POR USUARIO

TIPO DE USUARIO	CANTIDAD	CONSUMO					
		MINIMO (m3/Dia*Usuario)	PROMEDIO (m3/Dia*Usuario)	MAXIMO (m3/Dia*Usuario)	MINIMO (l/s*Usuario)	PROMEDIO (l/s*Usuario)	MAXIMO (l/s*Usuario)
POP_13	97	0.35	0.55	0.71	0.004	0.006	0.008
COM_13	7	0.36	0.48	0.59	0.004	0.006	0.007
SERV_13	2	0.30	0.78	0.92	0.003	0.009	0.011
<b>TOTAL</b>	<b>106</b>	<b>1.00</b>	<b>1.80</b>	<b>2.22</b>	<b>0.01</b>	<b>0.02</b>	<b>0.03</b>

**CONSUMO USUARIOS CON MEDICION PARA SUBSECTOR MAZA**  
CONSUMO DIARIO

TIPO DE USUARIO	CANTIDAD	CONSUMO					
		MINIMO (m3/Dia)	PROMEDIO (m3/Dia)	MAXIMO (m3/Dia)	MINIMO (l/s)	PROMEDIO (l/s)	MAXIMO (l/s)
POP_13	97	34.03	52.96	68.86	0.394	0.613	0.797
COM_13	7	2.50	3.37	4.14	0.029	0.039	0.048
SERV_13	2	0.59	1.55	1.84	0.007	0.018	0.021
<b>TOTAL</b>	<b>106</b>	<b>37.12</b>	<b>57.88</b>	<b>74.84</b>	<b>0.43</b>	<b>0.67</b>	<b>0.87</b>

**USUARIOS SIN MEDICION PARA SUBSECTOR MAZA**  
CONSUMO DIARIO POR USUARIO

TIPO DE USUARIO	CANTIDAD	CONSUMO					
		MINIMO (m3/Dia*Usuario)	PROMEDIO (m3/Dia*Usuario)	MAXIMO (m3/Dia*Usuario)	MINIMO (l/s*Usuario)	PROMEDIO (l/s*Usuario)	MAXIMO (l/s*Usuario)
POP_13	259	0.35	0.55	0.71	0.004	0.006	0.008
COM_13	12	0.36	0.48	0.59	0.004	0.006	0.007
BALDIO_13	10	0.35	0.55	0.71	0.004	0.006	0.008
<b>TOTAL</b>	<b>281</b>	<b>1.06</b>	<b>1.57</b>	<b>2.01</b>	<b>0.01</b>	<b>0.02</b>	<b>0.02</b>

**USUARIOS SIN MEDICION PARA SUBSECTOR MAZA**  
CONSUMO DIARIO

TIPO DE USUARIO	CANTIDAD	CONSUMO					
		MINIMO (m3/Dia)	PROMEDIO (m3/Dia)	MAXIMO (m3/Dia)	MINIMO (l/s)	PROMEDIO (l/s)	MAXIMO (l/s)
POP_13	259	90.86	141.42	183.85	1.052	1.637	2.128
COM_13	12	4.28	5.77	7.10	0.050	0.067	0.082
BALDIO_13	10	3.51	5.46	7.10	0.041	0.063	0.082
<b>TOTAL</b>	<b>281</b>	<b>98.65</b>	<b>152.65</b>	<b>198.05</b>	<b>1.14</b>	<b>1.77</b>	<b>2.29</b>

**USUARIOS TOTALES PARA SUBSECTOR MAZA**  
CONSUMO DIARIO

TIPO DE USUARIO	CANTIDAD	CONSUMO					
		MINIMO (m3/Dia)	PROMEDIO (m3/Dia)	MAXIMO (m3/Dia)	MINIMO (l/s)	PROMEDIO (l/s)	MAXIMO (l/s)
POP_13	356	124.89	194.38	252.71	1.445	2.250	2.925
COM_13	19	6.78	9.14	11.24	0.078	0.106	0.130
SERV_13	2	0.59	1.55	1.84	0.007	0.018	0.021
BALDIO_13	10	3.51	5.46	7.10	0.041	0.063	0.082
<b>TOTAL</b>	<b>387</b>	<b>135.77</b>	<b>210.53</b>	<b>272.89</b>	<b>1.57</b>	<b>2.44</b>	<b>3.16</b>

*Tabla 3.2. Base de datos de tipo de usuarios.*

En la **tabla 3.3**, se muestra el cálculo del consumo para el total de usuarios medidos y no medidos del área de estudio el **Barranco**; el valor de gasto medio es de **3.59 l/s**.

Se observa que el mayor número de usuarios, los son populares, en este caso los consumos promedios medidos de este tipo de usuarios entre las dos zonas es el mismo, y es de  $0.60 m^3 /usuario-día$ , este tipo de usuario representa el de **91.5%** y **56.4%** del consumo promedio medido  $m^3/día$  en **Maza** y **Barranco** respectivamente.

El tipo de usuario Comercial, es muy significativo en el sector el **Barranco**, ya que representa el **33.1%** del volumen consumido medido y estimado total en esa área de estudio.

En la **tabla 3.4**, se han reunido ambos totales de las dos áreas en estudio, Usuarios medidos y no medidos. Desde ese punto de vista, el número total de usuarios, **el 83.6%** es del tipo de usuario domestico popular, el comercial, representa el **11.2%** y el **5.2%** por los tipos de usuarios servicios (oficinas municipales, escuelas entre otros), baldíos y usos mixtos, domésticos y comerciales, es decir lotes en donde comparten el uso del agua una tienda de abarrotes y una casa habitación.

De acuerdo con lo anterior, el consumo del total de usuarios en cada área de estudio, medidos y estimados es de: **2.44 l/s** para el área de estudio **Maza** , como se observa en **tabla 3.2** y de **3.59 l/s** , como se observa en **tabla 3.3** para el área de estudio **Barranco**, esos consumos corresponden a la dotación de **200 litros/habitante/día**, según las Normas para Diseño de Redes de Agua Potable, como puede observarse en la **tabla 3.1**.

A fin de considerar las variaciones de los consumos en el área de estudio de cada caso, se procesó la información del organismo en cada área de estudio, a fin de ubicar la distribución de los diferentes tipos de usuarios en cada área de estudio.

A fin de facilitar la creación del modelo numérico de la red, se elaboraron planos en Cad, en donde se integró la red hidráulica actualizada y en estos los lotes con los consumos promedios históricos de usuarios con medidor, así como los usuarios sin medidor a los que se les asignó un promedio dependiendo del tipo de usuario y la región de estudio a la cual pertenece.

En la **figura 3.4**, se muestra un sector de plano Cad, con el tipo de información que fue integrada, los principales datos sobre el plano de lotes, tipo de usuario, si posee o no medidor domiciliario, tipo de consumo y clave de medidor.

Esta información en el plano cad, facilita el procesamiento de la demanda en los diferentes nodos de la red.

Adicionalmente, se observa que el área de estudio Maza, tiene una cobertura de medición del 27.4%, de los cuales 25.1% están instalados en los usuarios domésticos populares.

En el caso del área de estudio Barranco, el 18.94% de los usuarios tiene medidor, el 14.6 % son usuarios del tipo domestico popular con medidor y 3.6% son medidores para usuarios del tipo Comercial.

Considerando a los usuarios totales de las dos áreas en estudio, puede decirse que el 23% de los usuarios están medidos y de los cuales 19.65% son medidores colocados a usuarios del tipo domestico Popular.

Estas coberturas de micro medición representan un porcentaje muy parecido a ciudades importantes del país, que de acuerdo a las estadísticas del Organismo de Servicios de Agua como es el caso de Acapulco, con una cobertura en la medición domiciliaria cercana al 25% del total de usuarios.

**USUARIOS CON MEDICION PARA SUBSECTOR BARRANCO**  
CONSUMO DIARIO POR USUARIO

TIPO DE USUARIO	CANTIDAD	CONSUMO					
		MINIMO (m3/Dia*Usuario)	PROMEDIO (m3/Dia*Usuario)	MAXIMO (m3/Dia*Usuario)	MINIMO (l/s*Usuario)	PROMEDIO (l/s*Usuario)	MAXIMO (l/s*Usuario)
POP_13	61	0.35	0.57	0.78	0.004	0.007	0.009
COM_13	15	0.50	1.37	1.71	0.006	0.016	0.020
SERV_13	3	1.90	2.16	2.94	0.022	0.025	0.034
<b>TOTAL</b>	<b>79</b>	<b>2.74</b>	<b>4.11</b>	<b>5.43</b>	<b>0.03</b>	<b>0.05</b>	<b>0.06</b>

**CONSUMO USUARIOS CON MEDICION PARA SUBSECTOR BARRANCO**  
CONSUMO DIARIO

TIPO DE USUARIO	CANTIDAD	CONSUMO					
		MINIMO (m3/Dia)	PROMEDIO (m3/Dia)	MAXIMO (m3/Dia)	MINIMO (l/s)	PROMEDIO (l/s)	MAXIMO (l/s)
POP_13	61	21.42	35.04	47.35	0.248	0.406	0.548
COM_13	15	7.43	20.57	25.66	0.086	0.238	0.297
SERV_13	3	5.69	6.49	8.83	0.066	0.075	0.102
<b>TOTAL</b>	<b>79</b>	<b>34.53</b>	<b>62.10</b>	<b>81.84</b>	<b>0.40</b>	<b>0.72</b>	<b>0.95</b>

**USUARIOS SIN MEDICION PARA SUBSECTOR BARRANCO**  
CONSUMO DIARIO POR USUARIO

TIPO DE USUARIO	CANTIDAD	CONSUMO					
		MINIMO (m3/Dia*Usuario)	PROMEDIO (m3/Dia*Usuario)	MAXIMO (m3/Dia*Usuario)	MINIMO (l/s*Usuario)	PROMEDIO (l/s*Usuario)	MAXIMO (l/s*Usuario)
POP_13	255	0.35	0.57	0.78	0.004	0.007	0.009
COM_13	56	0.50	1.37	1.71	0.006	0.016	0.020
SERV_13	3	1.90	2.16	2.94	0.022	0.025	0.034
BALDIO_13	18	0.35	0.57	0.78	0.004	0.007	0.009
MIXTO_13	6	0.50	1.37	1.71	0.006	0.016	0.020
<b>TOTAL</b>	<b>338</b>	<b>3.59</b>	<b>6.06</b>	<b>7.92</b>	<b>0.04</b>	<b>0.07</b>	<b>0.09</b>

**USUARIOS SIN MEDICION PARA SUBSECTOR BARRANCO**  
CONSUMO DIARIO

TIPO DE USUARIO	CANTIDAD	CONSUMO					
		MINIMO (m3/Dia)	PROMEDIO (m3/Dia)	MAXIMO (m3/Dia)	MINIMO (l/s)	PROMEDIO (l/s)	MAXIMO (l/s)
POP_13	255	89.53	146.48	197.95	1.036	1.695	2.291
COM_13	56	27.74	76.79	95.79	0.321	0.889	1.109
SERV_13	3	5.69	6.49	8.83	0.066	0.075	0.102
BALDIO_13	18	6.32	10.34	13.97	0.073	0.120	0.162
MIXTO_13	6	2.97	8.23	10.26	0.034	0.095	0.119
<b>TOTAL</b>	<b>338</b>	<b>132.24</b>	<b>248.33</b>	<b>326.80</b>	<b>1.53</b>	<b>2.87</b>	<b>3.78</b>

**USUARIOS TOTALES PARA SUBSECTOR BARRANCO**  
CONSUMO DIARIO

TIPO DE USUARIO	CANTIDAD	CONSUMO					
		MINIMO (m3/Dia)	PROMEDIO (m3/Dia)	MAXIMO (m3/Dia)	MINIMO (l/s)	PROMEDIO (l/s)	MAXIMO (l/s)
POP_13	316	110.95	181.52	245.31	1.284	2.101	2.839
COM_13	71	35.17	97.36	121.45	0.407	1.127	1.406
SERV_13	6	11.37	12.98	17.65	0.132	0.150	0.204
BALDIO_13	18	6.32	10.34	13.97	0.073	0.120	0.162
MIXTO_13	6	2.97	8.23	10.26	0.034	0.095	0.119
<b>TOTAL</b>	<b>417</b>	<b>166.78</b>	<b>310.43</b>	<b>408.64</b>	<b>1.93</b>	<b>3.59</b>	<b>4.73</b>

*Tabla 3.3. Resumen base de datos de tipo de usuarios.*

**USUARIOS CON MEDICION PARA SUBSECTOR BARRANCO**  
CONSUMO DIARIO POR USUARIO

TIPO DE USUARIO	CANTIDAD	CONSUMO					
		MINIMO (m3/Dia*Usuario)	PROMEDIO (m3/Dia*Usuario)	MAXIMO (m3/Dia*Usuario)	MINIMO (l/s*Usuario)	PROMEDIO (l/s*Usuario)	MAXIMO (l/s*Usuario)
POP_13	61	0.35	0.57	0.78	0.004	0.007	0.009
COM_13	15	0.50	1.37	1.71	0.006	0.016	0.020
SERV_13	3	1.90	2.16	2.94	0.022	0.025	0.034
<b>TOTAL</b>	<b>79</b>	<b>2.74</b>	<b>4.11</b>	<b>5.43</b>	<b>0.03</b>	<b>0.05</b>	<b>0.06</b>

**CONSUMO USUARIOS CON MEDICION PARA SUBSECTOR BARRANCO**  
CONSUMO DIARIO

TIPO DE USUARIO	CANTIDAD	CONSUMO					
		MINIMO (m3/Dia)	PROMEDIO (m3/Dia)	MAXIMO (m3/Dia)	MINIMO (l/s)	PROMEDIO (l/s)	MAXIMO (l/s)
POP_13	61	21.42	35.04	47.35	0.248	0.406	0.548
COM_13	15	7.43	20.57	25.66	0.086	0.238	0.297
SERV_13	3	5.69	6.49	8.83	0.066	0.075	0.102
<b>TOTAL</b>	<b>79</b>	<b>34.53</b>	<b>62.10</b>	<b>81.84</b>	<b>0.40</b>	<b>0.72</b>	<b>0.95</b>

**USUARIOS SIN MEDICION PARA SUBSECTOR BARRANCO**  
CONSUMO DIARIO POR USUARIO

TIPO DE USUARIO	CANTIDAD	CONSUMO					
		MINIMO (m3/Dia*Usuario)	PROMEDIO (m3/Dia*Usuario)	MAXIMO (m3/Dia*Usuario)	MINIMO (l/s*Usuario)	PROMEDIO (l/s*Usuario)	MAXIMO (l/s*Usuario)
POP_13	255	0.35	0.57	0.78	0.004	0.007	0.009
COM_13	56	0.50	1.37	1.71	0.006	0.016	0.020
SERV_13	3	1.90	2.16	2.94	0.022	0.025	0.034
BALDIO_13	18	0.35	0.57	0.78	0.004	0.007	0.009
MIXTO_13	6	0.50	1.37	1.71	0.006	0.016	0.020
<b>TOTAL</b>	<b>338</b>	<b>3.59</b>	<b>6.06</b>	<b>7.92</b>	<b>0.04</b>	<b>0.07</b>	<b>0.09</b>

**USUARIOS SIN MEDICION PARA SUBSECTOR BARRANCO**  
CONSUMO DIARIO

TIPO DE USUARIO	CANTIDAD	CONSUMO					
		MINIMO (m3/Dia)	PROMEDIO (m3/Dia)	MAXIMO (m3/Dia)	MINIMO (l/s)	PROMEDIO (l/s)	MAXIMO (l/s)
POP_13	255	89.53	146.48	197.95	1.036	1.695	2.291
COM_13	56	27.74	76.79	95.79	0.321	0.889	1.109
SERV_13	3	5.69	6.49	8.83	0.066	0.075	0.102
BALDIO_13	18	6.32	10.34	13.97	0.073	0.120	0.162
MIXTO_13	6	2.97	8.23	10.26	0.034	0.095	0.119
<b>TOTAL</b>	<b>338</b>	<b>132.24</b>	<b>248.33</b>	<b>326.80</b>	<b>1.53</b>	<b>2.87</b>	<b>3.78</b>

**USUARIOS TOTALES PARA SUBSECTOR BARRANCO**  
CONSUMO DIARIO

TIPO DE USUARIO	CANTIDAD	CONSUMO					
		MINIMO (m3/Dia)	PROMEDIO (m3/Dia)	MAXIMO (m3/Dia)	MINIMO (l/s)	PROMEDIO (l/s)	MAXIMO (l/s)
POP_13	316	110.95	181.52	245.31	1.284	2.101	2.839
COM_13	71	35.17	97.36	121.45	0.407	1.127	1.406
SERV_13	6	11.37	12.98	17.65	0.132	0.150	0.204
BALDIO_13	18	6.32	10.34	13.97	0.073	0.120	0.162
MIXTO_13	6	2.97	8.23	10.26	0.034	0.095	0.119
<b>TOTAL</b>	<b>417</b>	<b>166.78</b>	<b>310.43</b>	<b>408.64</b>	<b>1.93</b>	<b>3.59</b>	<b>4.73</b>

**USUARIOS TOTALES PARA SUBSECTOR MAZA Y SUBSECTOR BARRANCO**  
CONSUMO DIARIO

TIPO DE USUARIO	CANTIDAD	CONSUMO					
		MINIMO (m3/Dia)	PROMEDIO (m3/Dia)	MAXIMO (m3/Dia)	MINIMO (l/s)	PROMEDIO (l/s)	MAXIMO (l/s)
POP_13	672	235.84	375.90	498.02	2.730	4.351	5.764
COM_13	90	41.95	106.50	132.69	0.485	1.233	1.536
SERV_13	8	11.97	14.54	19.49	0.138	0.168	0.226
BALDIO_13	28	9.83	15.80	21.07	0.114	0.183	0.244
MIXTO_13	6	2.97	8.23	10.26	0.034	0.095	0.119
<b>TOTAL</b>	<b>804</b>	<b>302.55</b>	<b>520.97</b>	<b>681.53</b>	<b>3.50</b>	<b>6.03</b>	<b>7.89</b>

*Tabla 3.4. Usuarios totales para subsector maza y subsector Barranco.*

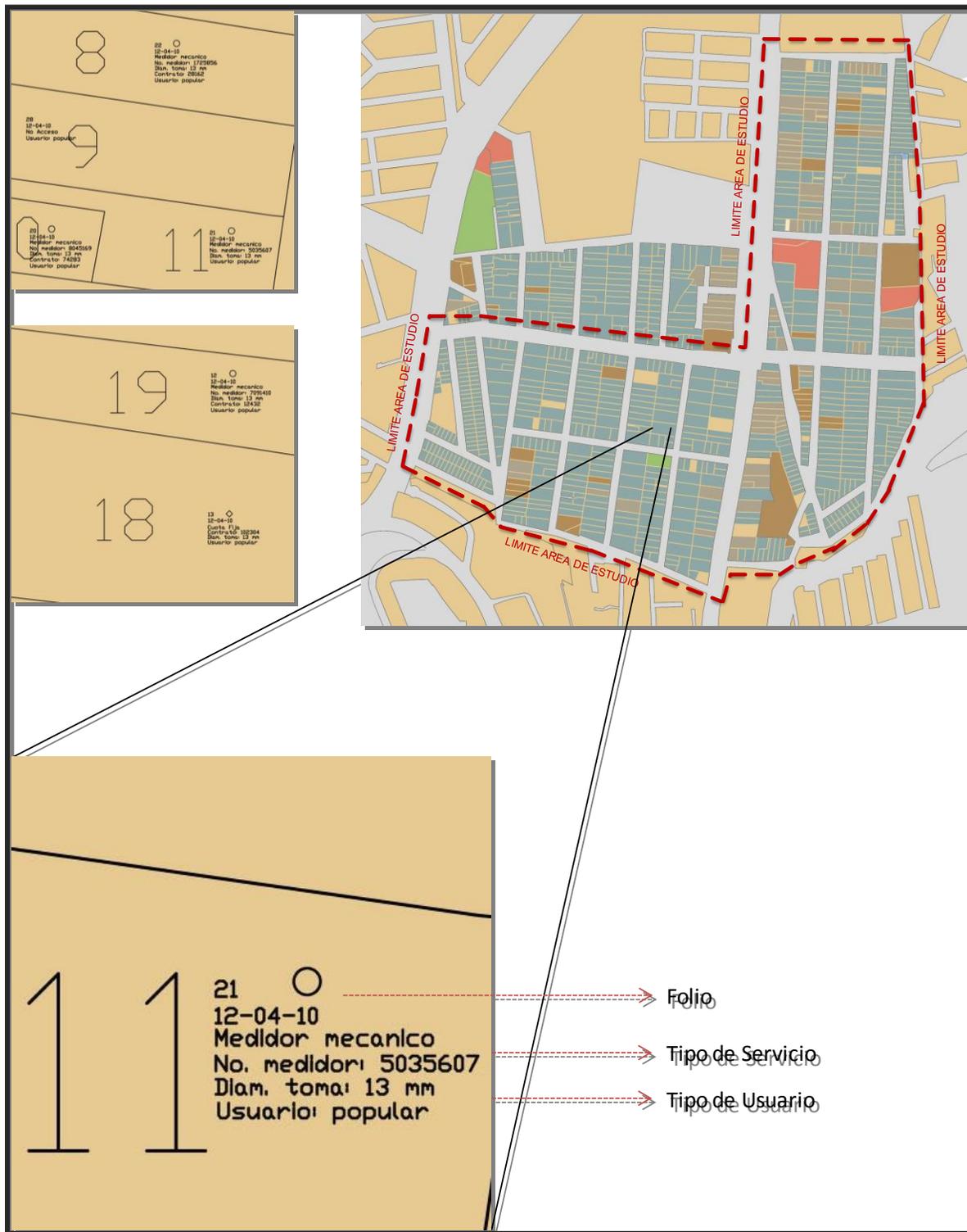


Figura 3.4. Base de datos del padrón de usuarios del área de estudio.

### *3.1.3 Infraestructura Hidráulica.*

En los proyectos de sectorización hidráulica de redes, es usual reunir la información proporcionada por el Organismo, la cual es sujeta a numerosas revisiones en campo para verificar su veracidad y precisión. Estas revisiones constituyen parte de los trabajos de verificación de infraestructura y topografía, sondeos de cajas, calas constructivas, cuyo resultado esperado es un plano con la información actualizada de la red.

En este plano de red hidráulica actualizada, son vertidas la información que corrige y actualiza conforme el proyecto se implementa.

Los resultados de la modelación numérica de la red , así como el planteamiento de los sitios de medición de presión y gastos y la primera versión de los límites de cada zona de estudio, así como otros aspectos de importancia para la sectorización que son abordados a continuación,

De acuerdo con la información de la infraestructura Municipal proporcionada, por el Organismo de servicios de Agua Potable , las áreas de estudio : Barranco (3), Maza ( 2)y Serdán(1), las redes se encuentran interconectadas por una conducción que cruza la Avenida Lago hacia la calle Serdán , y una segunda conexión de tubería alojada en Avenida Lago que se conecta al área de Maza , a través de la calle Miguel Hidalgo. Las áreas de proyecto de Maza y Serdán, también están conectadas entre sí, en un solo sitio.

De acuerdo con el reporte de fugas del Organismo, como se muestra en la **figura 3.5**, la manifestación de fugas es importante en Maza y Barranco, por lo que, fue objeto de observación al distribuirse el ANC en estas zonas y calles.

La **figura 3.6**, muestra un aspecto del plano de lotes de la zona en estudio, así como también los límites de cada una de las sub-zonas.

La **figura 3.7**, muestra el plano de infraestructura proporcionado por el Organismo, para Maza , que en lo sucesivo puede ser llamado *subsector 02* y para la zona de estudio Barranco, que en lo sucesivo puede ser llamado *subsector 03*.

La **figura 3.8** , muestra la red hidráulica obtenida por los trabajos de levantamiento de infraestructura y complemento de planimetría; en esta figura se muestra la ubicación de los tanques de almacenamientos fuera de operaciones , así como los cruceros que servían de alimentación a estos tanques, ambos ubicados en la zona de estudio Maza y Barranco.

Durante los trabajos de inspección de la infraestructura, los recorridos coordinados con el personal de operación hidráulica del Organismo, para verificar las diferencias encontradas con la información de infraestructura, durante la apertura e inspección de las tapas de cajas de válvulas, las diferencias encontradas , dio como resultado un plan complementario para la realización de excavaciones, hasta un total de 44 calas, para verificar la existencia de tuberías, materiales y diámetros; esta actividad enriqueció la precisión del plano de infraestructura; pero incremento el costo de los trabajos preliminares.

En la **figura 3.9** infraestructura hidráulica actualizada, se muestra la red de agua de distribución resultante; es importante señalar que en **figura 3.10** , se ubican las cajas de agua potable sondeadas y en la **figura 3.11**, la **ubicación** del total de 44 calas constructivas, para identificar conexiones y tuberías no registradas en el plano proporcionado por el Organismo.

El resultado de estas excavaciones permitió obtener un plano con la infraestructura correcta y actualizada.

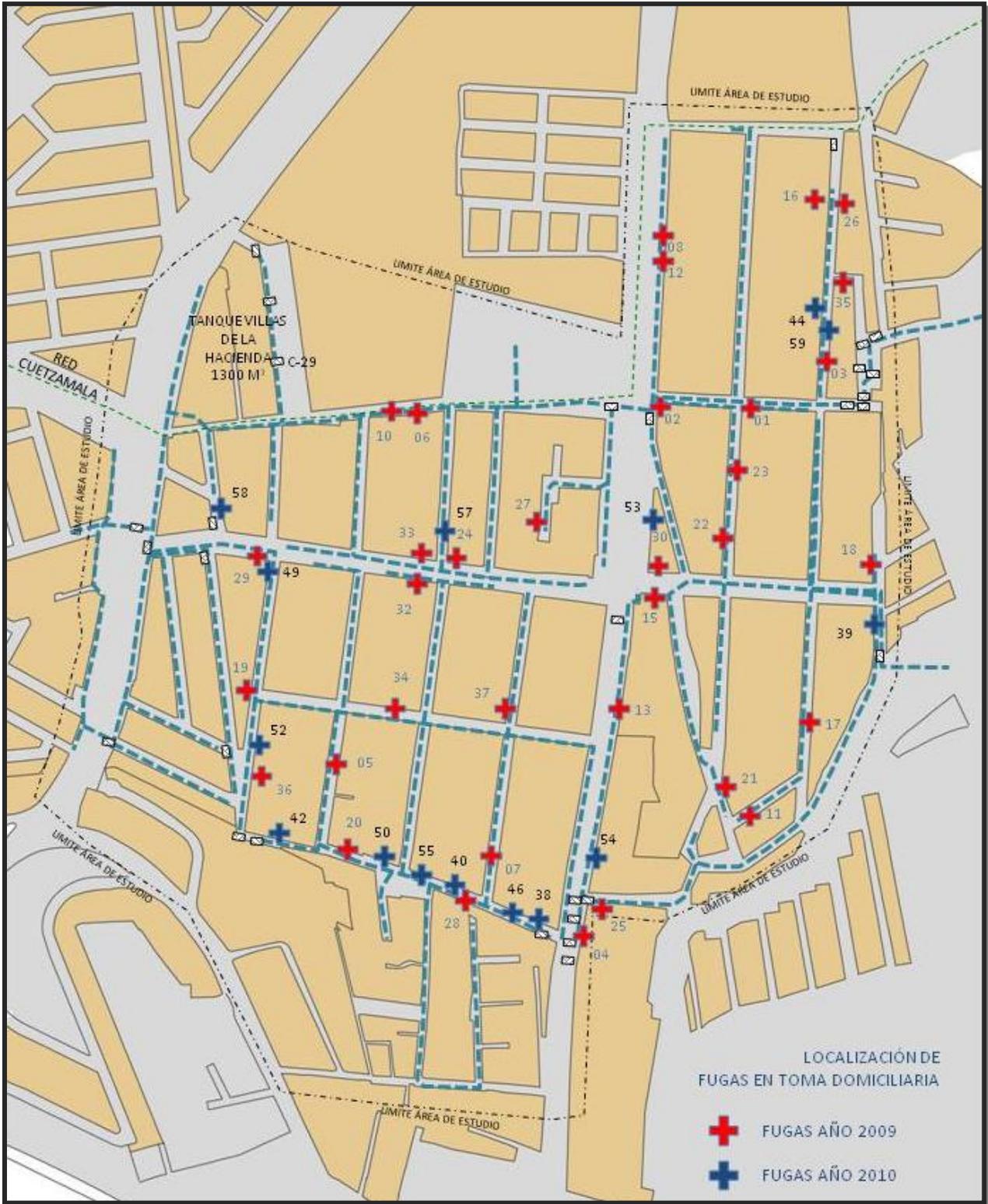


Figura 3.5 Información de fugas reincidentes en el área de estudio.

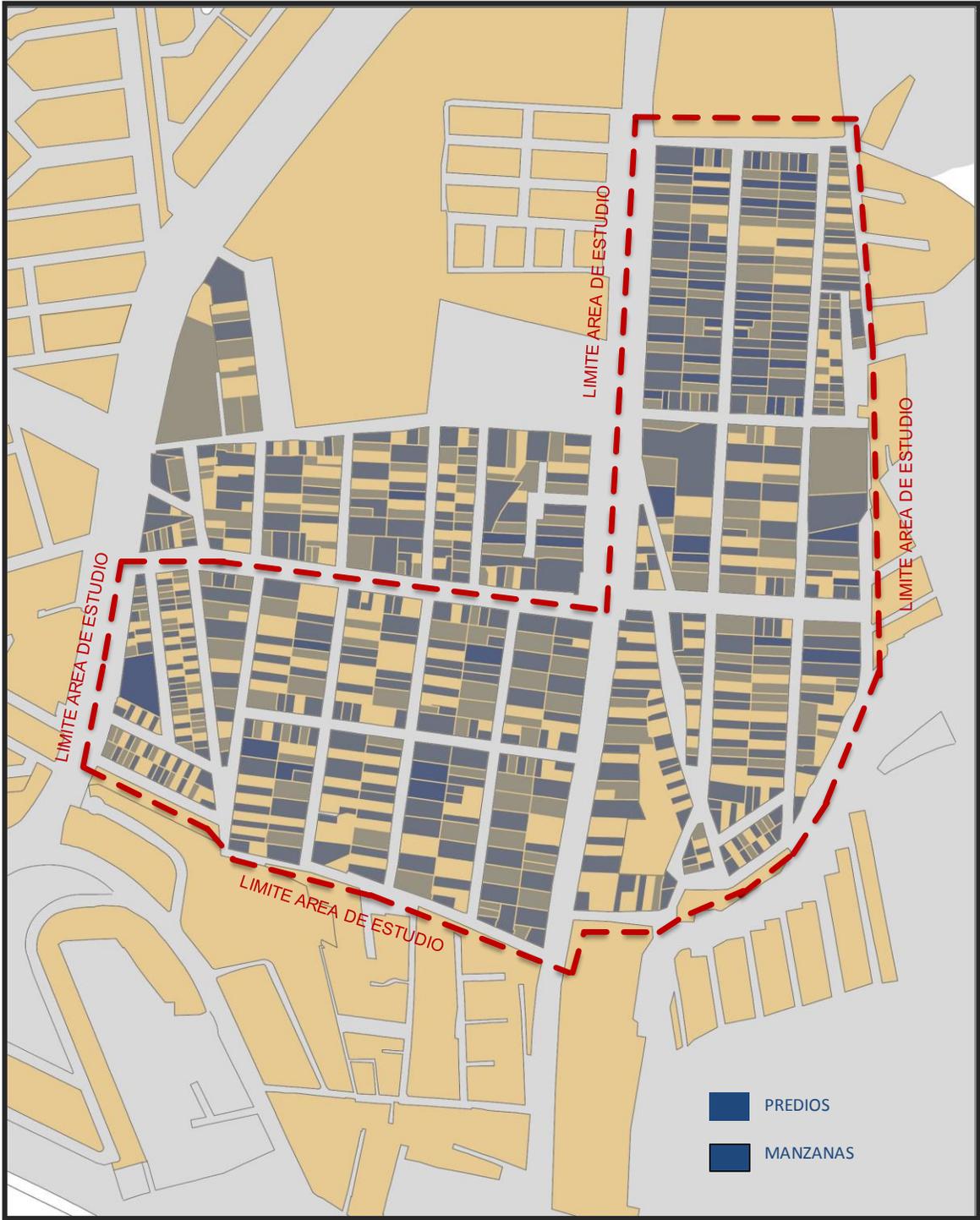


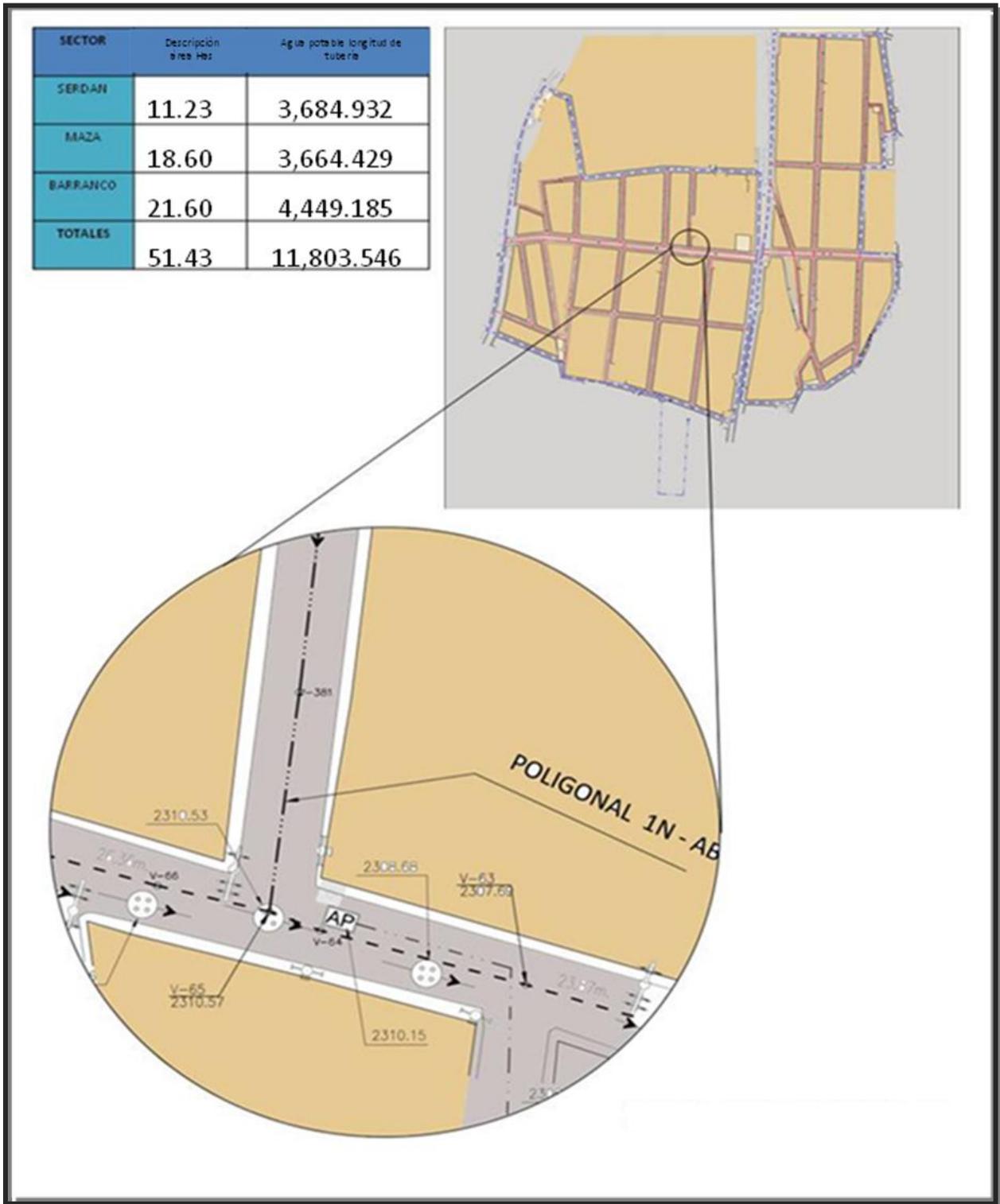
Figura 3.6 Plano de lotificación del área de estudio.



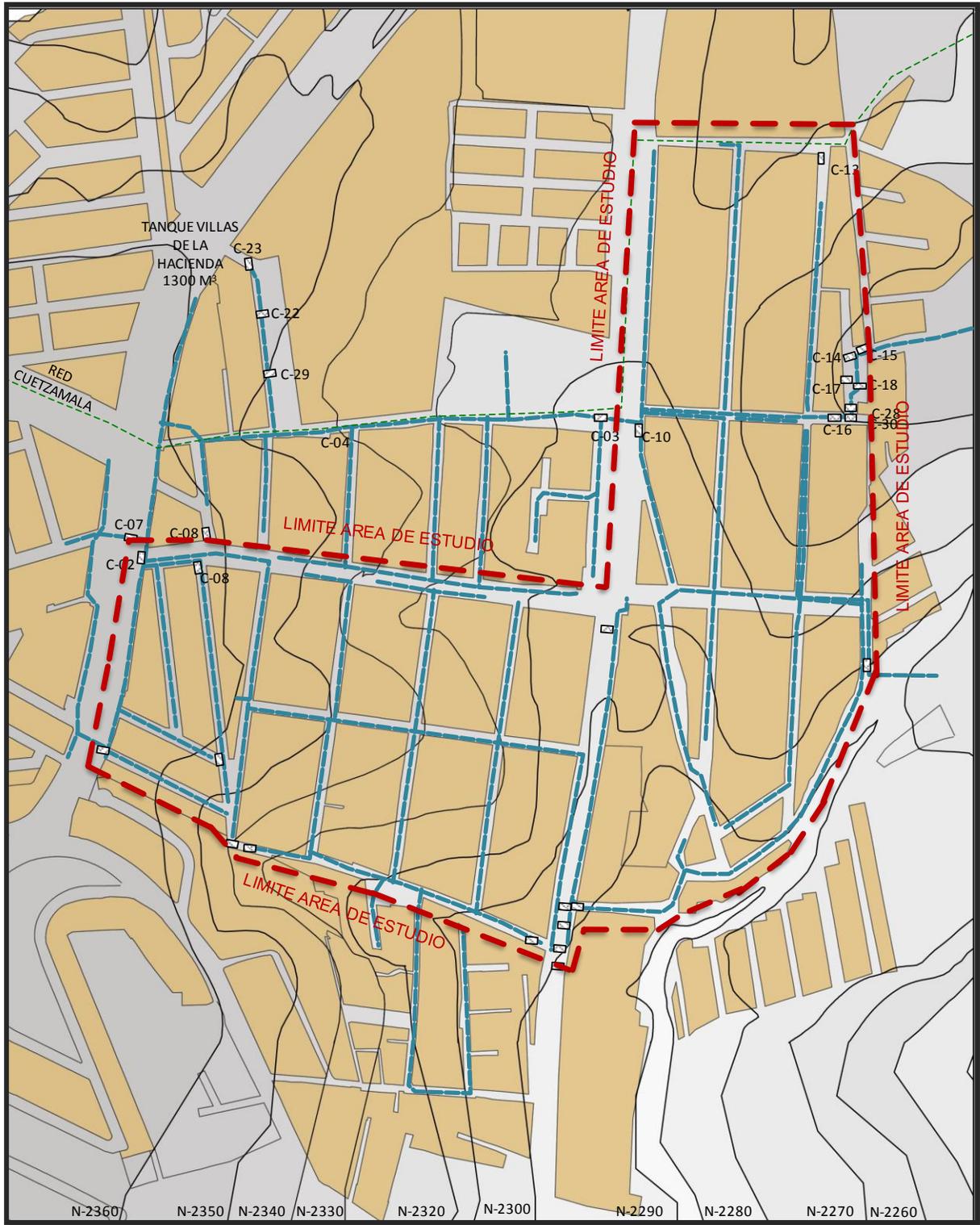
*Figura 3.7. Sector 02. Plano de información de infraestructura proporcionada por el organismo.*



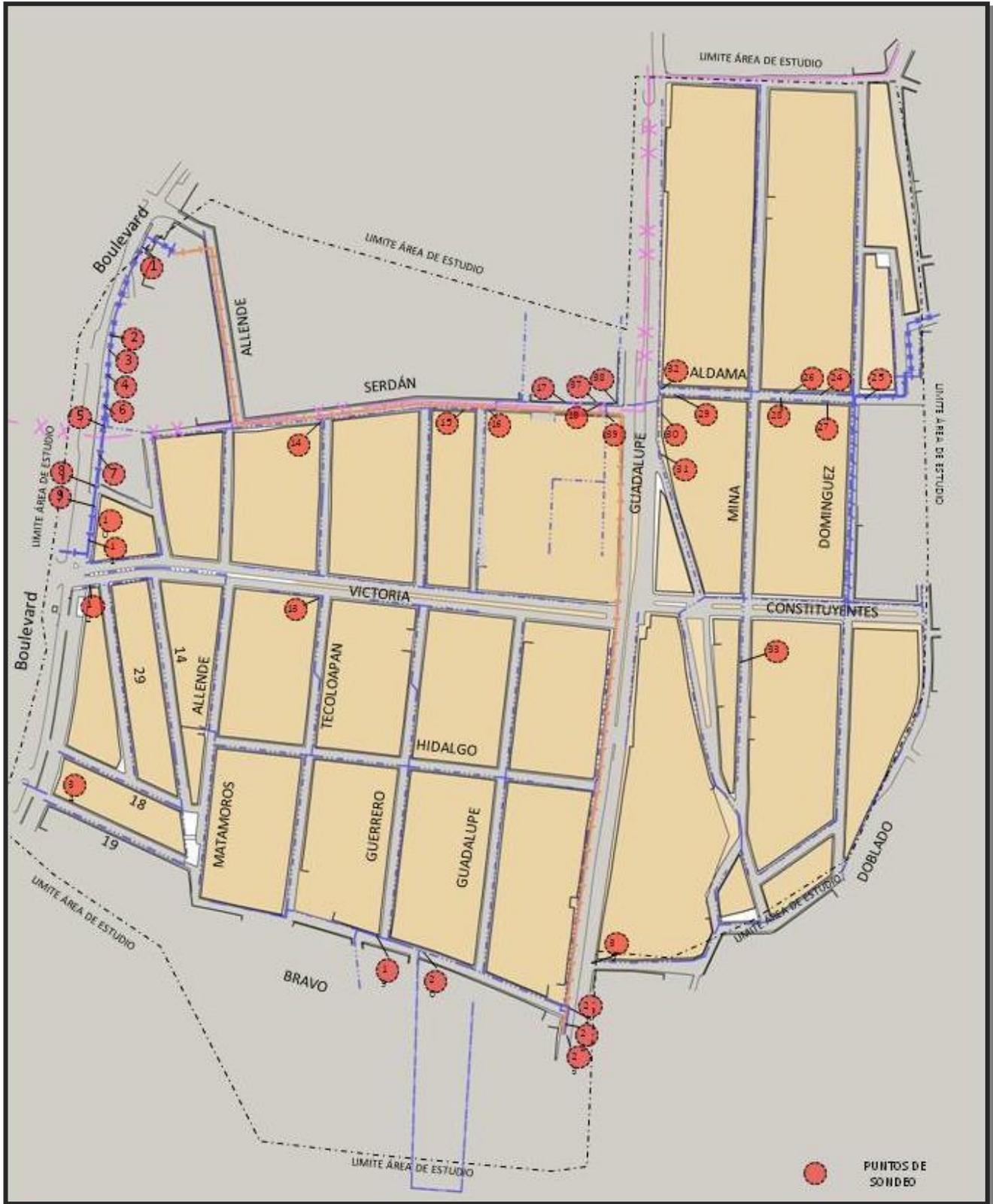
**Figura 3.7. Sector 03. Plano de información de infraestructura proporcionada por el organismo.**



*Figura 3.8. Infraestructura de redes del área de estudio y topografía.*



*Figura 3.9. Plano de red existente del área de estudio.*



*Figura 3.10. Sondeo por inspección de cajas de agua potable del área de estudio.*

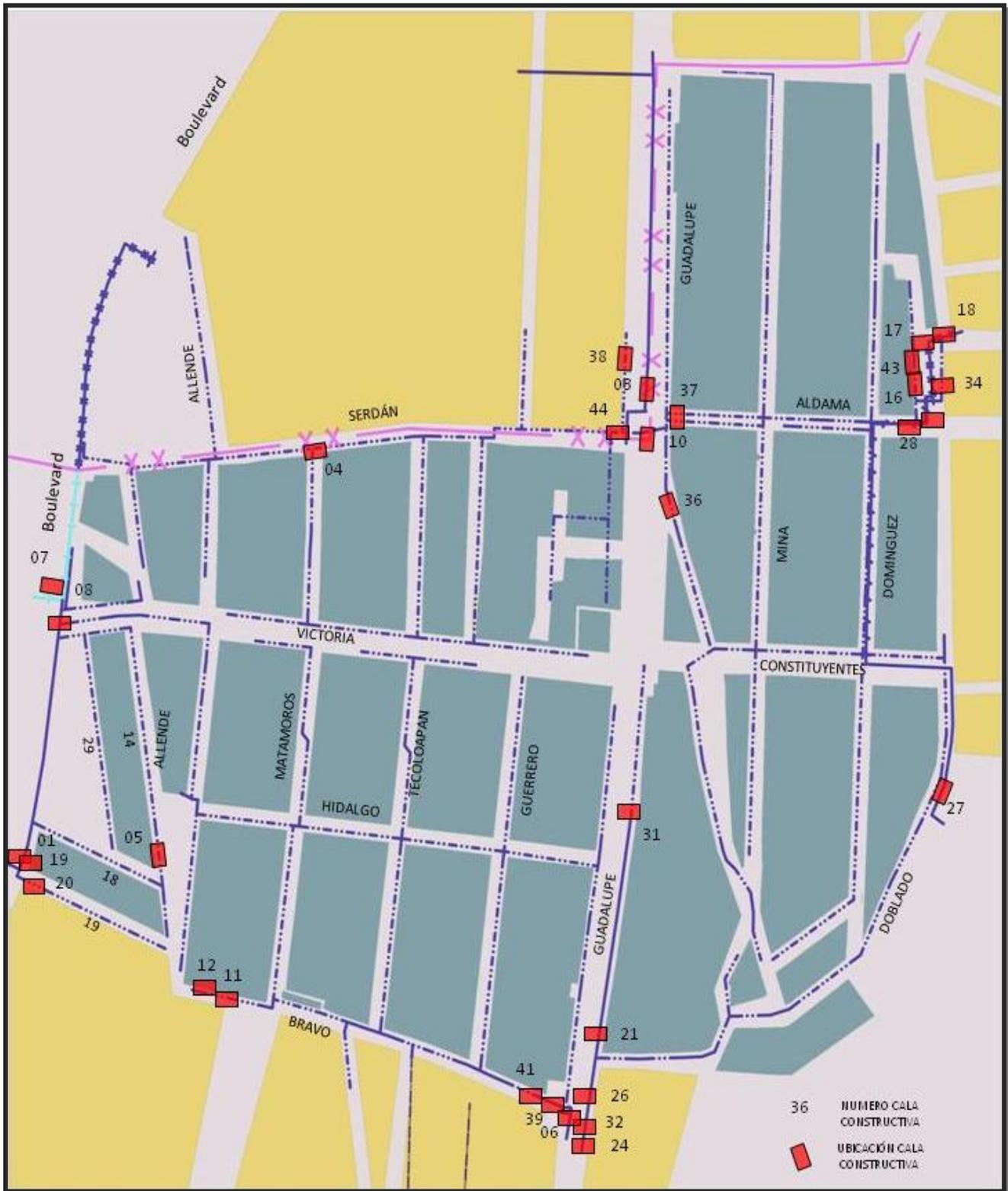


Figura 3.11. Calas constructivas en el área de estudio.

La **figura 3.12**, muestra el resultado del sondeo de una caja de válvulas, el sistema de información en formatos como este, permite tener archivos Word o power point manejables y portables, no es necesario que los técnicos de campo, aprendan un software como el auto cad para descargar un plano; de esta forma el total de la instalación es portable, al menos por el personal de operación hidráulica de la región.

El formato muestra el crucero de piezas y equipamientos especiales, una fotografía mostrando la ubicación urbana, un croquis de ubicación tipo guía roji, con las coordenadas del sitio. Al interior una fotografía con las condiciones del crucero. En la parte inferior del formato, se agrega información, relativa a la procedencia o importancia del crucero.

La **figura 3.13** muestra los detalles de una de las excavaciones para la verificación de la existencia de tubería, en el formato se dan particularidades geométricas de la excavación que fue necesaria para ubicar la tubería, el tipo de material encontrado durante la excavación, a fin de evaluar las herramientas necesarias para otra excavación en la zona. Se describen materiales y diámetro de la tubería, profundidad a la cual fue encontrada, todo esto en un reporte fotográfico.

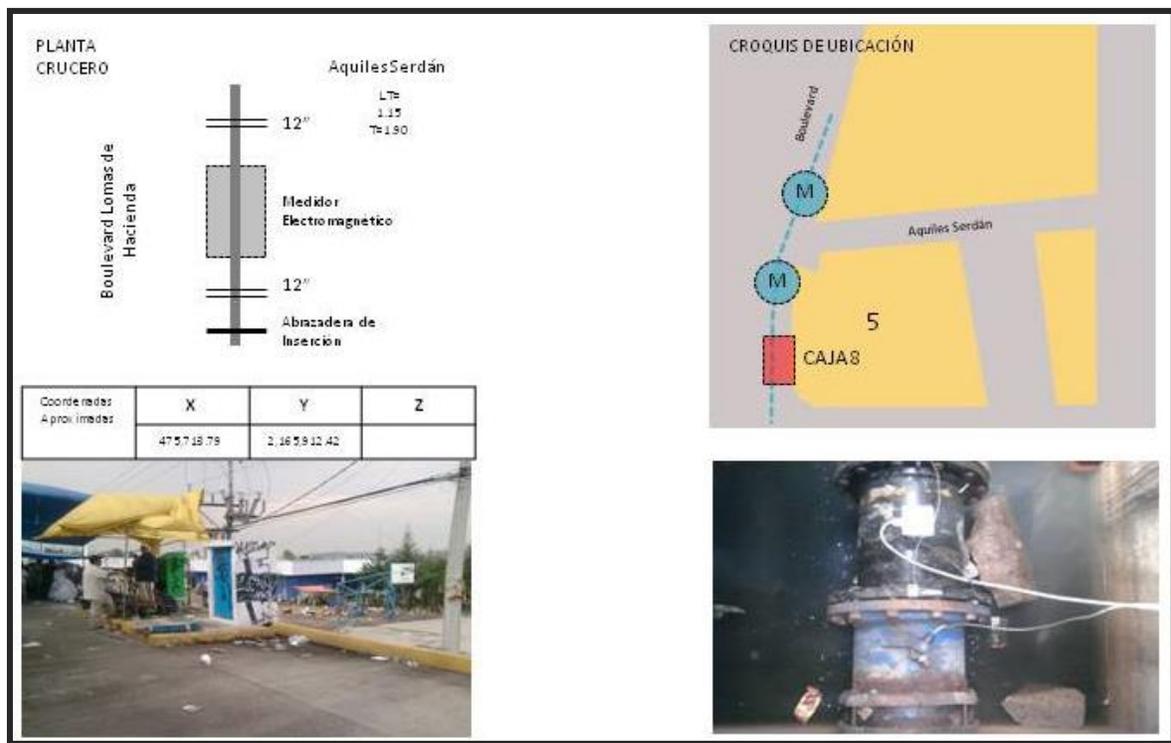
Se agrega el croquis tipo urbano con las coordenadas del levantamiento topográfico realizado.

En la **figura 3.14**, se muestra una excavación fallida en la cual no se encontró la tubería esperada, puede observarse que igual que la **figura 3.13**, se ha documentado totalmente el hallazgo. Los trabajos de sondeos de cajas de agua potable, las calas de inspección, como se muestra en la **figura 3.15**, señalan diferencias entre los trabajos de verificación realizados y la información original proporcionada por el Organismo. Si se comparan las infraestructuras entre los dos planos, se observan importantes diferencias, lo que resultaría en dos modelos numéricos de la misma red, pero distintos, provocando funcionamientos hidráulicos, distintos, por tanto las conclusiones a partir de la información original

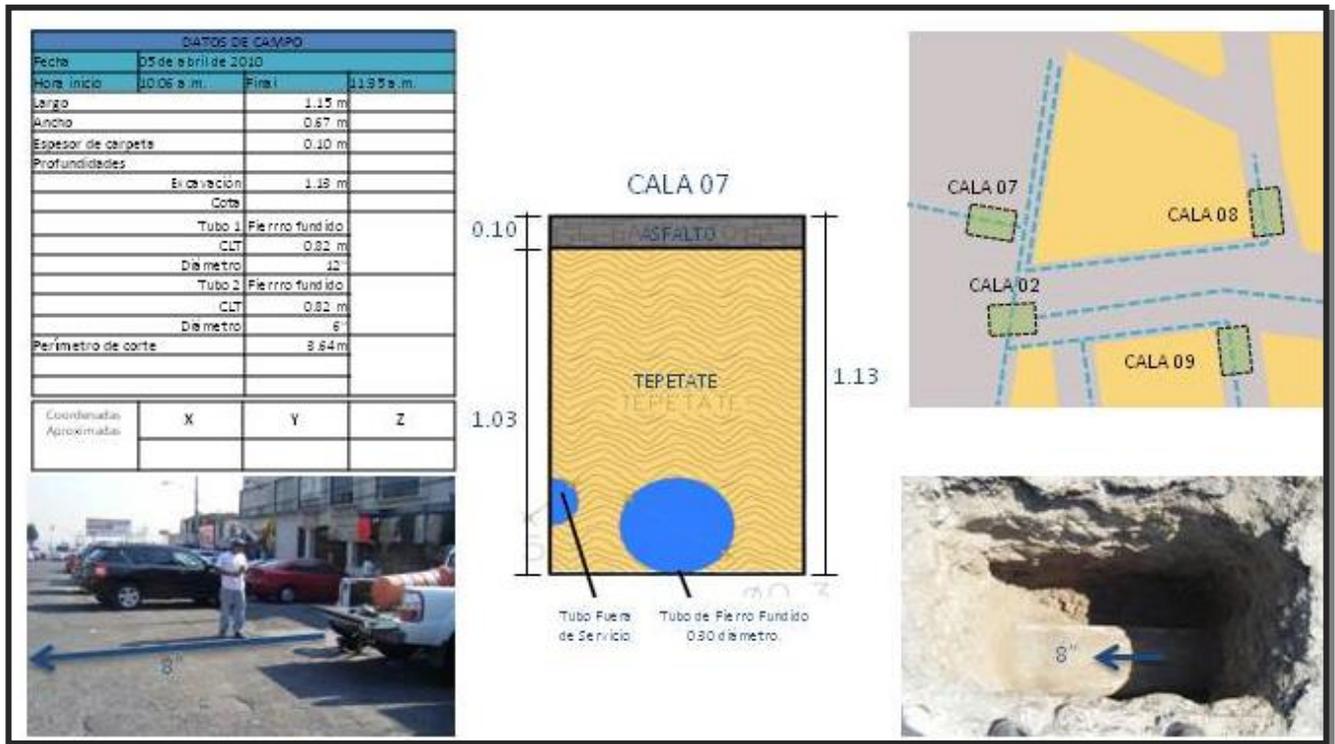
traerían consigo un proyecto de sectorización, que durante su implantación daría como resultado una gran cantidad de ajustes y obras necesarias distintas o adicionales a las del proyecto.

Una muestra de la magnitud de las diferencias encontradas entre los planos, se puede observar en **figura 3.16 a** y la **figura 3.17 a**; en este caso se presentan detalles de cruceros según el plano del organismo. En esta misma zona, a partir de los sondeos, los cruceros son distintos, en las **figuras 3.16 b y 3.17 b**, nos muestran las conexiones reales verificadas en campo.

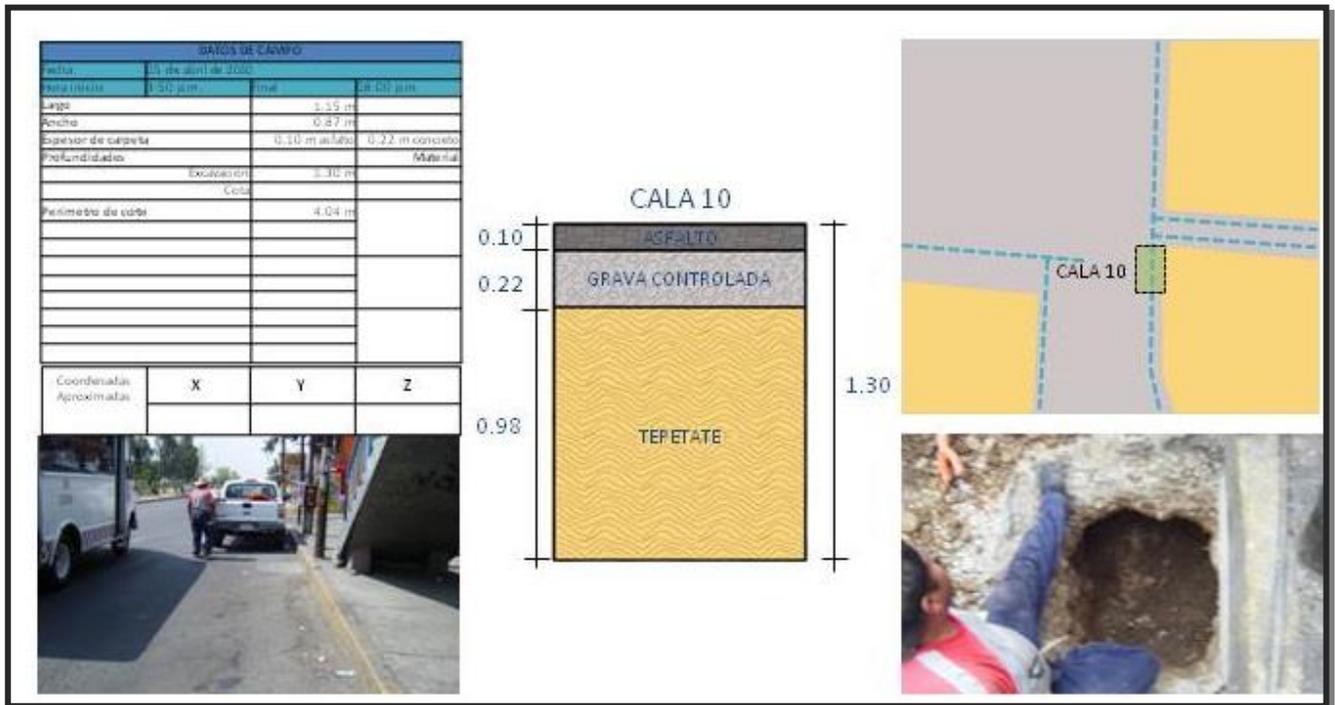
La red actualizada de la infraestructura hidráulica, mostrada en la **figura 3.9**, es la que finalmente se utilizó en la construcción del modelo numérico de la red de distribución, los materiales de las tuberías y sus diámetros inspeccionados, lo anterior significa que la inversión en tiempo y costos por las inspecciones son redituables, ya que la red que ha resultado, realmente ha evitado que se cometa errores costosos.



**Figura 3.12. Reporte tipo de inspección de cajas de válvulas.**



*Figura 3.13. Calat número 07.*



*Figura 3.14. Calat número 10.*



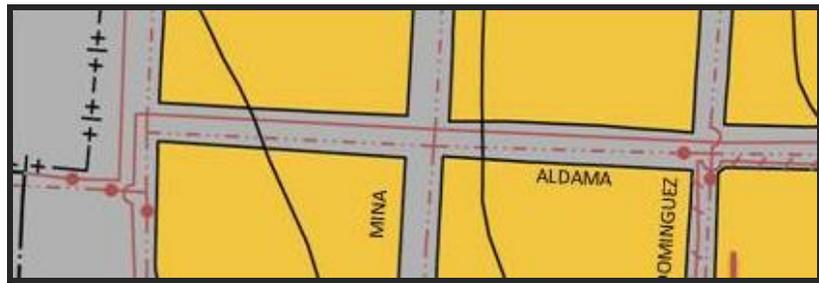
**Figura 3.15. Plano de diferencias encontradas en la red del área de estudio entre la red proporcionada por el organismo.**

La instalación para los sitios de medición de presión , es muy semejante a una instalación para ramal domiciliario como se muestra en la (Figura 3.19).

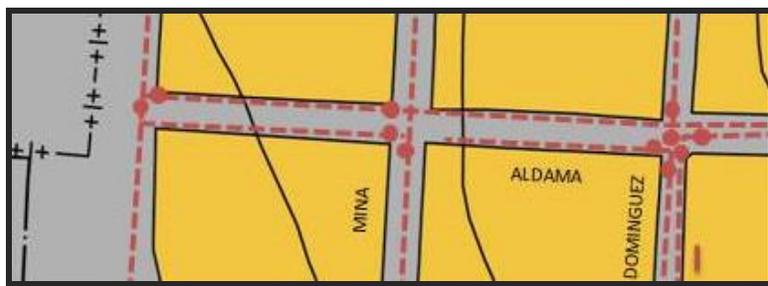
Las mediciones de gasto se llevaron a cabo con equipos ultrasónicos de las características, que se muestran en la (Tabla 3.5).

La (Figura 3.20), muestra el arreglo de instalación de los medidores ultrasónicos, así como una fotografía mostrando el equipo y el sistema de recolección de datos.

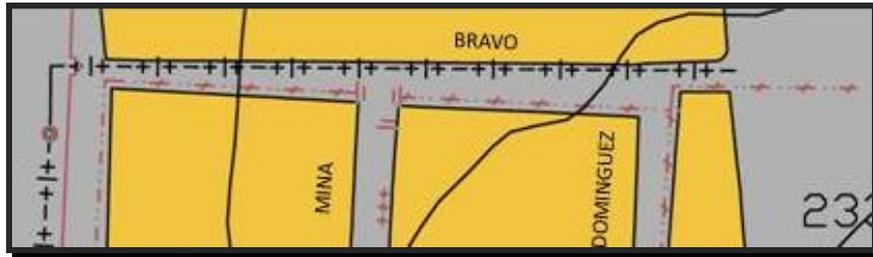
A continuación se muestran figuras en las que se indican los sitios de medición de gasto y presión realizados; las fechas y las condiciones en las que se encontraba la red, en este caso dos condiciones: Sin VRP y Con VRP.



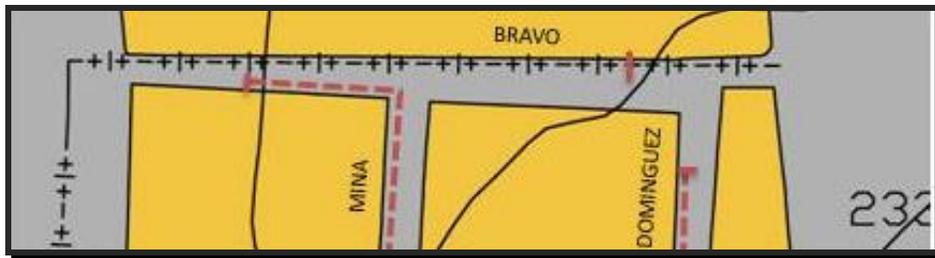
*Figura 3.16. A. Detalle de información de infraestructura proporcionada por el organismo.*



*Figura 3.16. B. Detalle de información de infraestructura después de mediciones.*



*Figura 3.17. A. Detalle de información de infraestructura proporcionada por el organismo.*



*Figura 3. 17. B. Detalle de información de infraestructura después de mediciones.*

### *3.2 MEDICIONES DE CAMPO.*

En este capítulo se presentan las mediciones de Gasto y Presión (  $Q/P$  ), realizadas en las áreas de estudio , las que permitieron conocer las variaciones en el tiempo de los gastos y presiones de entrada y salida de cada zona de estudio.

Se efectuaron mediciones de presión en diferentes puntos de la red de distribución, considerando la trayectoria de distribución del agua. Estos puntos fueron ajustándose en número y ubicación, conforme el proyecto avanzaba..

Los objetivos fueron obtener información para conocer el funcionamiento hidráulico de la red de distribución y realizar los balances hidráulicos para diferentes condiciones de entrada de agua , así como obtener información que permita la calibración del modelo numérico de la red.

- Conocer el funcionamiento hidráulico original de las áreas de estudio.
- Realizar los balances Hidráulicos particulares o en general.
- Obtener la calibración de los modelos numéricos de las redes.
- Realizar el proyecto de Sectorización de Redes hidráulicas.
- Seguimiento a la operación del sistema durante la construcción.
- Seguimiento a la operación durante pruebas de ubicación de VRPS.
- Revisión del funcionamiento Hidráulico con VRPS en funciones.
- Balance y obtención del ANC.

Las mediciones iniciales mostraron, la presencia de presiones excesivas en las partes bajas de las áreas en estudio en Maza y Barranco, cercanos a los  $7.0 \text{ kgf/cm}^2$  ; siendo de menor valor las sucedidas en la zona de estudio Serdán, esta información permitió ajustar la posición de los puntos de medición de presión.

La interconexión entre los Sectores Serdán y Barranco, fueron canceladas en común acuerdo con el área de operación hidráulica; esto permitió incrementar los sitios de presión, en los Sectores Maza y Barranco.

Se concluyó que era necesaria la medición simultánea de presiones a ambos extremos del punto de interconexión, a fin de determinar el momento de una operación no permitida.

Se descartaron las mediciones de presión en los cuadros domiciliarios, como se muestra en la **Figura 3.18**, ya que carecían de la válvula de cierre de paso al interior del domicilio y antes de esta, la llave de nariz la cual permitiría la instalación del manómetro de presión, este último para la lectura de presión en la red de distribución.

Por lo anterior, el resto de los sitios se construyeron en la vía pública, en donde la tubería fue encontrada a través de nuevas excavaciones y teniendo en cuenta los sondeos de cajas y excavaciones realizadas.



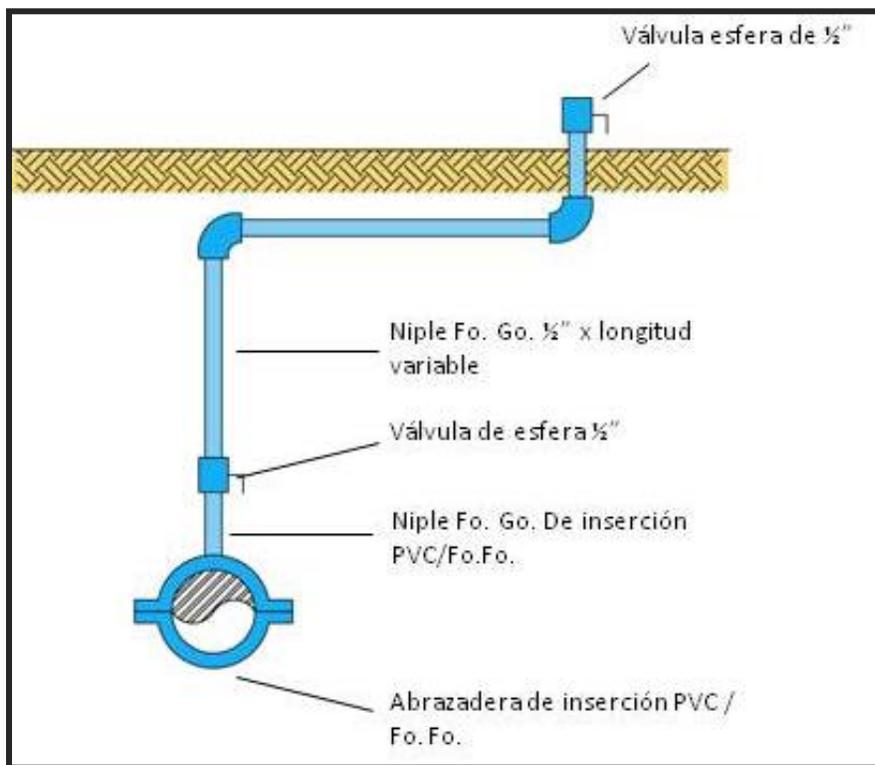
**Figura 3.18. Medición de presión en cuadros domiciliarios.**

La instalación es muy semejante a una instalación para ramal domiciliario como se muestra en la **figura 3.19**, en la válvula de esfera de 1/2" exterior, se lleva a cabo el purgado de aire de la instalación, una vez terminada la operación, se instala el manómetro de presión para su lectura

El equipo para medición de flujo, se realizaron con equipos ultrasónicos, con las características que se listan en la **tabla 3.5**.

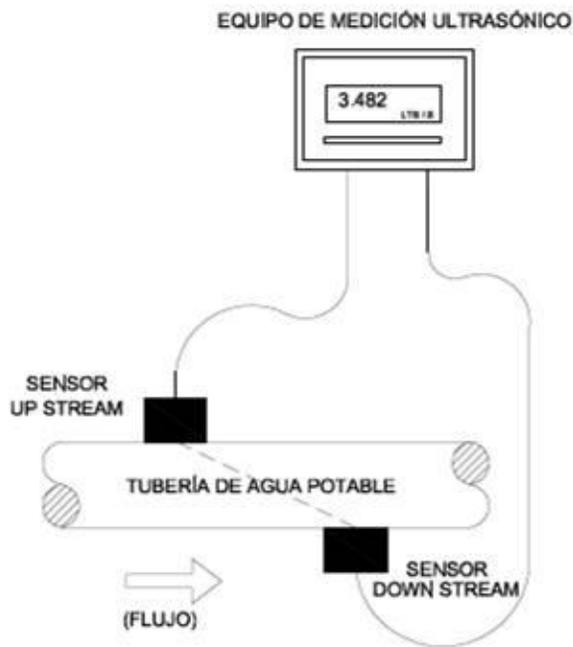
La **figura 3.20.a**, muestra el arreglo de instalación de los medidores ultrasónicos, así como una fotografía en la **figura 3.20.b** mostrando en equipo y el sistema de recolección de datos.

En el subcapítulo siguiente se abordan las mediciones realizadas de gasto y presión en diferentes fechas y condiciones de funcionamiento del sistema.



**Figura 3.19. Medición de presión directa en tubería de red.**

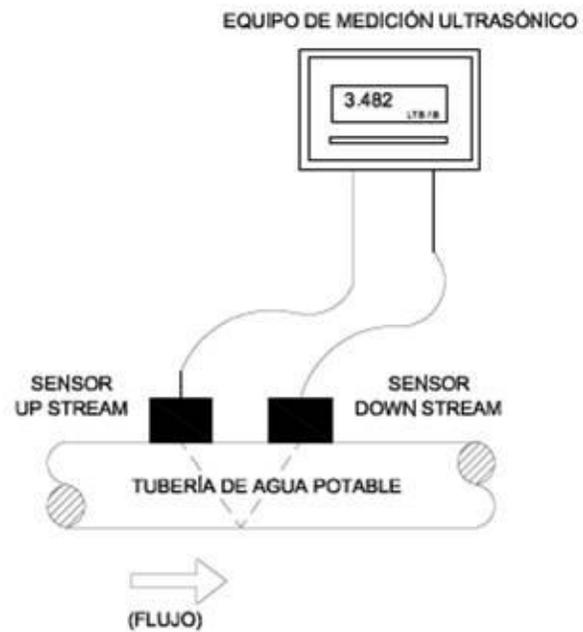
**EQUIPO DE MEDICIÓN ULTRASÓNICO.  
ARREGLO DE SENSORES EN "Z".**



TUBERÍA PVC DISTANCIA ENTRE SENSORES	
DIÁMETRO	DISTANCIA
2"	2.7 cm
2 1/2"	5.8 cm
3"	7.2 cm
4"	9.0 cm
6"	13.3 cm
8"	17.3 cm
10"	21.6 cm
12"	25.6 cm

Uso: Cuando es difícil obtener buena señal en tuberías muy viejas de acero y asbesto de pared gruesa.

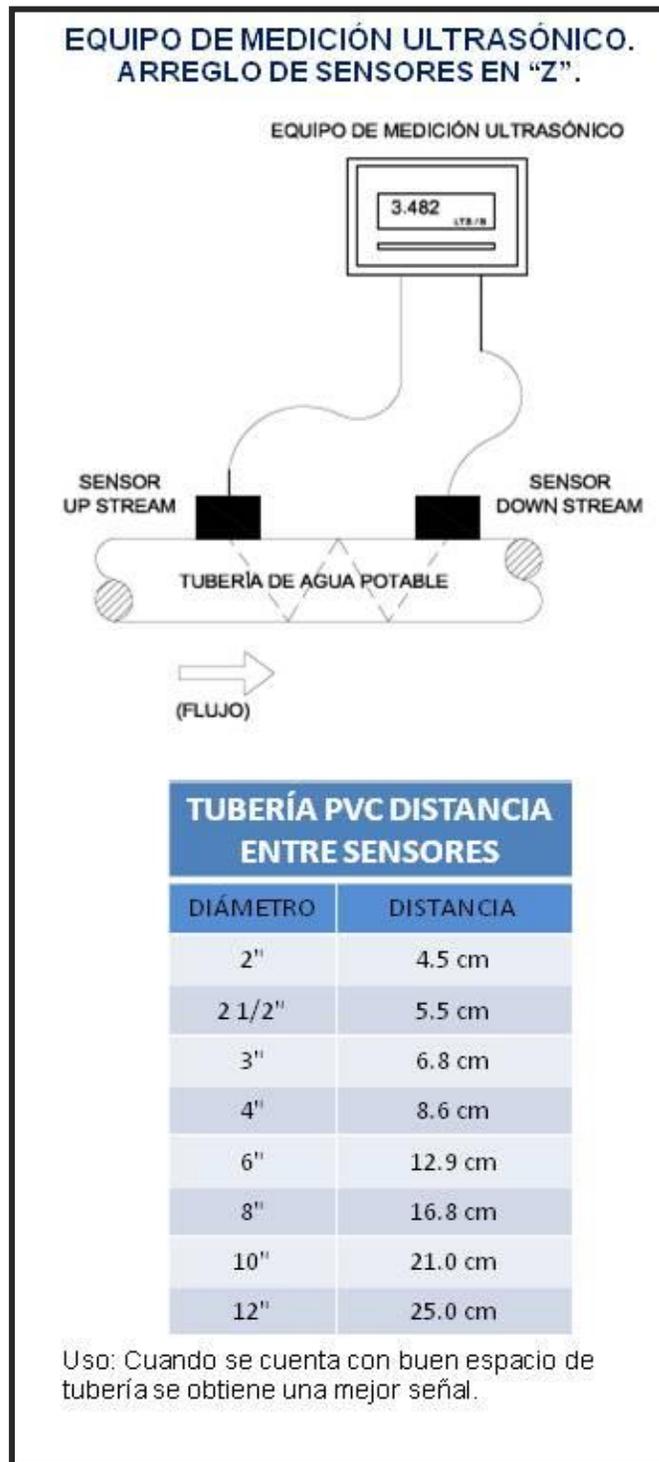
**EQUIPO DE MEDICIÓN ULTRASÓNICO.  
ARREGLO DE SENSORES EN "V".**



TUBERÍA PVC DISTANCIA ENTRE SENSORES	
DIÁMETRO	DISTANCIA
2"	5.1 cm
2 1/2"	6.2 cm
3"	7.4 cm
4"	9.4 cm
6"	18.8 cm
8"	18.0 cm
10"	22.3 cm
12"	26.3 cm

Uso: Cuando cuenta con poco espacio libre de tubería.

*Figura 3.20.a. Medidor ultrasónico instalado.*



*Figura 3.20.a. Medidor ultrasónico instalado.*



**MODELO: DTFXB-ZN-DKNN-FA.TIPO ULTRASÓNICO.PRECISIÓN: 1% EN RANGOS MAYORES A 0.3 m/s.**

*Figura 3.20.b. Medidor ultrasónico instalado.*

### *3.2.1 Mediciones de Presión y Gasto.*

Una vez obtenida la infraestructura de la red de agua potable, se iniciaron los trabajos para la instalación de los sitios de mediciones de gasto y presión en diferentes fases constructivas de la Sectorización en cada una de las áreas de estudio.

Las mediciones realizadas durante el 2010, fueron numerosas, sin embargo aquí se han reunido aquellas que abarcaron periodos de 24 horas, tanto las mediciones de gasto como las de presión. Las mediciones de 2010, fueron útiles para realizar el conocimiento del funcionamiento hidráulico de las dos áreas y la obtención del modelo numérico calibrado de la red.

La calibración, se abordara en los siguientes capítulos, para obtener el funcionamiento hidráulico, de la red original.

Para diferenciar el tipo de mediciones efectuadas, básicamente se consideraron dos condiciones en la infraestructura hidráulica y se diferenciarán con nomenclaturas, asociadas a la existencia o no de las válvulas reguladoras de presión:

- a) Mediciones con red de distribución en condiciones originales, sin VRP; de forma simplificada, la clasificación de la medición, será identificada con las siglas siguientes: **SVRP**.
  
- b) Mediciones con la red de distribución en condiciones modificadas, ya que han sido instalada la VRP. En forma simplificada, todas las mediciones serán identificadas con las siglas: CVRP.

De acuerdo con la infraestructura disponible, fueron necesarios mayores acciones en el área de estudio del Barranco, ya que existían recorridos excesivos del agua en la red de distribución. Se llevaron a cabo modificaciones a la red, a fin de medir el total que entra al Sector Barranco; así como la construcción de derivaciones a redes de distribución no integradas a la zona de estudio.

Los reforzamientos se llevaron a cabo en forma simultánea a la instalación de los sitios de medición de presión, así como las adaptaciones al punto de medición de entrada al Sector.

Posteriormente dentro del plan, se llevaron a cabo mediciones de gasto y presión adicionales para la ubicación de las válvulas reguladoras de presión; estas mediciones permitieron su correcta y más económica ubicación. Estas mediciones se abordan en el Capítulo del Proyecto.

Para el área de estudio Maza, en la **figura 3.21**, se muestran los sitios de medición de gasto y presión del **3 al 4 de agosto del 2010, 5 al 6 de agosto y 31 de agosto al 1 de septiembre del 2010**; todas estas mediciones sin la presencia de válvulas reguladoras de presión, por sus siglas **SVRP** (sin Válvula Reguladora de Presión).

En la **figura 3.22**, para el área de estudio el Barranco, se muestran los sitios de medición de gasto y presión para período del **3 al 4 de agosto del 2010, 5 al 6 de agosto y 31 de agosto al 1 de septiembre del 2010**, todas estas fechas sin la instalación de VRP, por sus siglas, **SVRP** (sin Válvula Reguladora de Presión).



**Figura. 3.21. Puntos de medición de presión y gastos SVRP. Subsector dos: Maza.**



Como se describió anteriormente, una vez terminados los reforzamientos a la red, se iniciaron los trabajos para la ubicación de las VRP s; en ambas áreas de estudio, posteriormente se realizó la construcción, el equipamiento y puesta en marcha de cada VRP.

En la **figura 3.23**, para la condición de **CVRP**, para el área de estudio Maza, se muestran los sitios de mediciones de Gasto y Presión, realizadas en el período del **7 al 8 de octubre del 2011 y 2 al 3 de abril del 2012**. En la **figura 3.24**, para la condición de **CVRP**, para el área de estudio el Barranco, se muestran los sitios de medición de gasto y presión, realizada en el período **del 7 al 8 de octubre del 2011 y 2 al 3 de Abril del 2012**.

Para el análisis de las mediciones y su selección, se ha considerado en las dos áreas de estudio Maza y Barranco, los sitios de medición de flujo y presión a la entrada de cada sector, como los **“representativos”**, para la selección de las horas con demanda máxima y mínimas.

Por lo anterior, para el caso del sector Maza, el sitio es: **Victoria**. De la misma forma para el sector Barranco, el sitio es: **Tanque**.

Las mediciones realizadas, fueron continuas y ejecutadas para 24 horas, por lo que se ha seleccionado la condición de horario con baja demanda de agua en la red y alta presión en la tubería, ya que esta condición es la que fomenta la presencia de fugas, componente importante en el comportamiento del ANC.

Es importante señalar que la distribución de las isobaras o presiones manométricas fueron obtenidas, mediante interpolación entre los puntos cercanos con datos. Las mediciones realizadas durante el 2012, como se observa en el caso del área de estudio Maza, fue puesta fuera de operación la VRP, por lo que la distribución de las presiones es muy semejante a las fechas de mediciones SVRP. Las mediciones de presión y gasto se realizaron, a fin de valorar las dimensiones **del ANC**.



**Figura. 3.23. Puntos de medición de presión y gastos CVRP  
Subsector dos: Maza.**



**Figura. 3.24. Puntos de medición de presión y gastos CVRP  
Subsector tres: Barranco.**

### *3.2.1.1 Mediciones SVRP.*

#### *Medición del 3 al 4 de Agosto del 2010.*

##### *Área de estudio Maza.*

Se registraron la evolución de los gastos de entrada en el sitio **Victoria** , **figura 3.25**, con un gasto de **5 l/s** para la condición de alta presión, **3.2kgf/cm<sup>2</sup>**. Los registros del agua que salió del área de estudio, se muestran en la **figura 3.26**, medidos en el sitio **esfuerzo**, los cuales fueron prácticamente nulos, al momento de presentarse la máxima presión.

La distribución de la presión máxima registrada a las **4:48** de la madrugada, de la fecha en medición, se muestra en la **figura 3.27**, puede observarse la presión excesiva de **6.7 kgf/cm<sup>2</sup>** en las zonas con mayores incidencias de fugas.

##### *Área de estudio Barranco.*

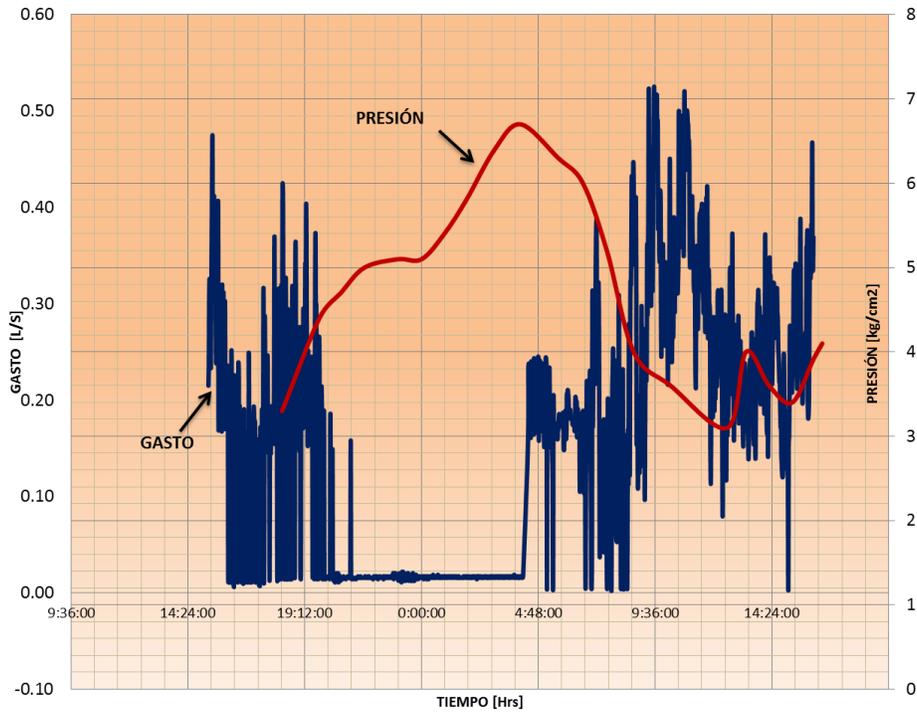
La **figura 3.28** muestra las variaciones del gasto de ingreso a la zona de estudio, en el sitio **tanque**, registrándose un gasto de **18 l/s**, para la condición de alta presión de **4.1 kgf/cm<sup>2</sup>**.

En el caso del sitio de salida, la **figura 3.29** muestra que el gasto reportado es de **2 l/s**, para la condición de máxima presión **de 7.3 kgf/cm<sup>2</sup>**.

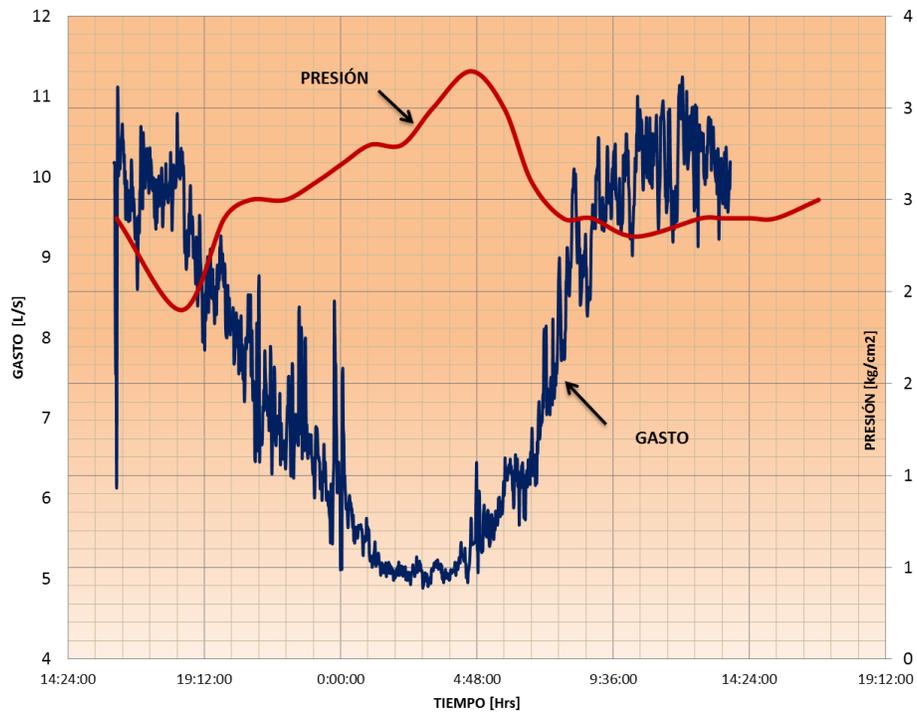
La distribución de las presiones se muestra en la **figura 3.30** en donde se observa que las altas presiones se presentan en Constituyentes y Aldama.

Es importante señalar que la tubería que entra al sector el “Barranco” es medida en el sitio el “Tanque”, cruza al sector y sólo realiza en su trayectoria al punto “Barranco” una derivación ala red, y sale del sector siendo medido en el punto el “Barranco”.

Por lo anterior, la presión medida en el “Barranco” es alta, ya que no le fue aplicada una reducción de presión.



*Figura. 3.25. Zona Maza. Sitio Esfuerzo.Salida.SVRP.*



*Figura 3.26. Zona Maza. Sitio Victoria SVRP .Entrada.*

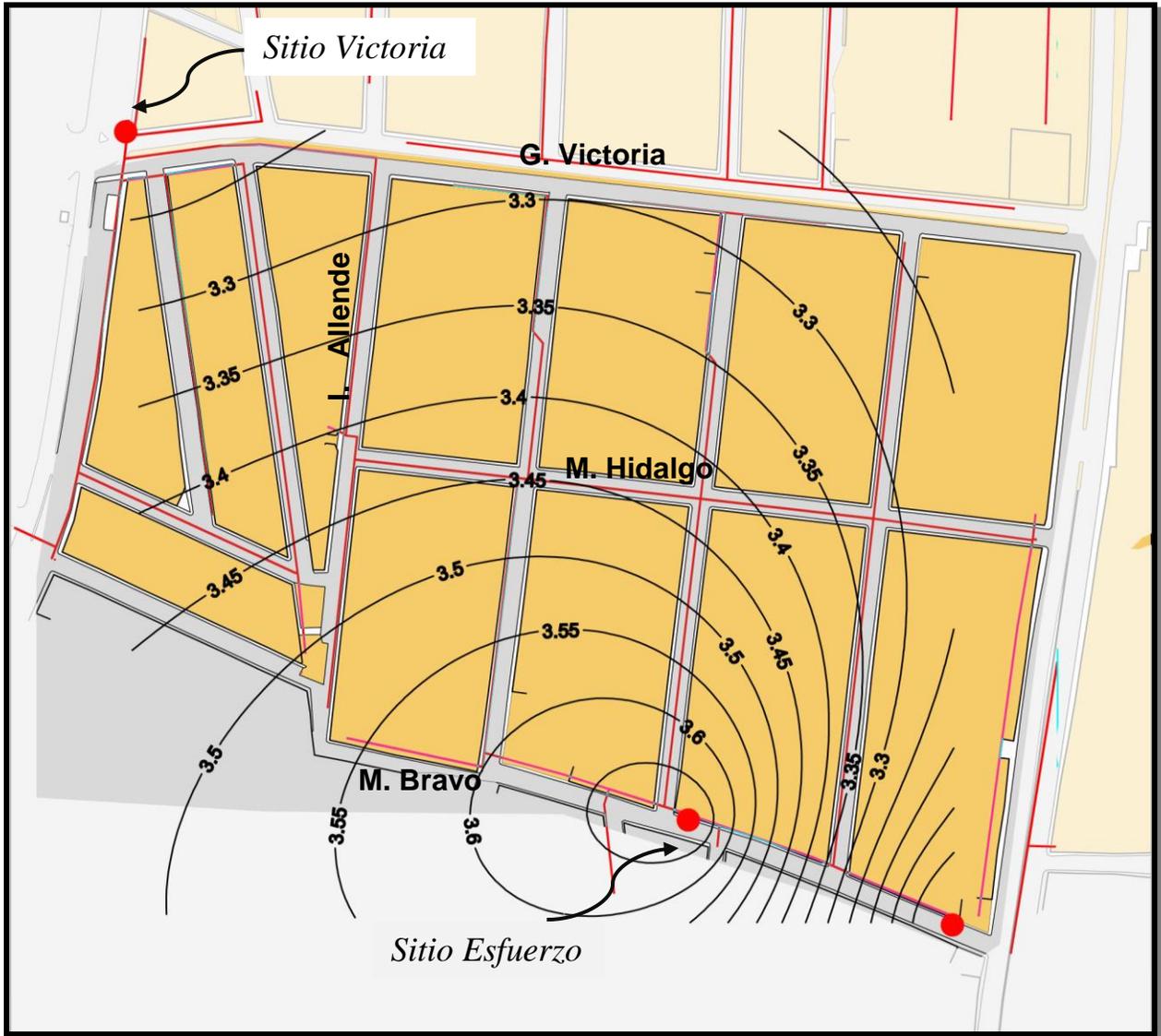
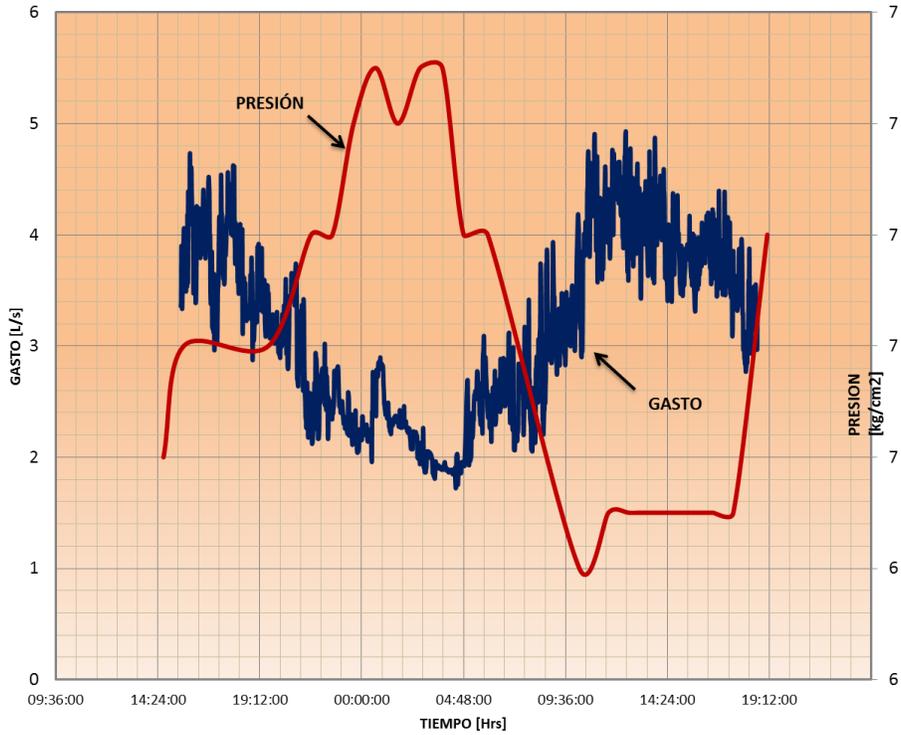
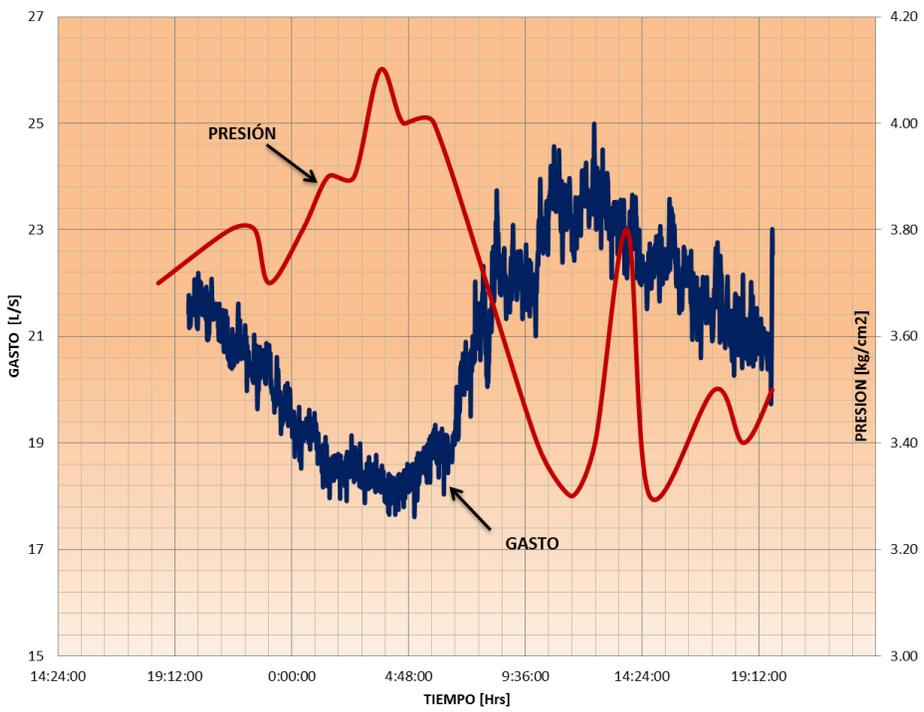


Figura 3.27. Zona Maza. Isóbaras 03 al 04 agosto 2010, SVRP, 4:48am.



**Figura 3.28. Zona Barranco. Sitio Barranco.Salida. 03 al 04 agosto 2010, SVRP.**



**Figura 3.29. Zona Barranco. Sitio Tanque.Entrada. 03 al 04 agosto 2010, SVRP.**

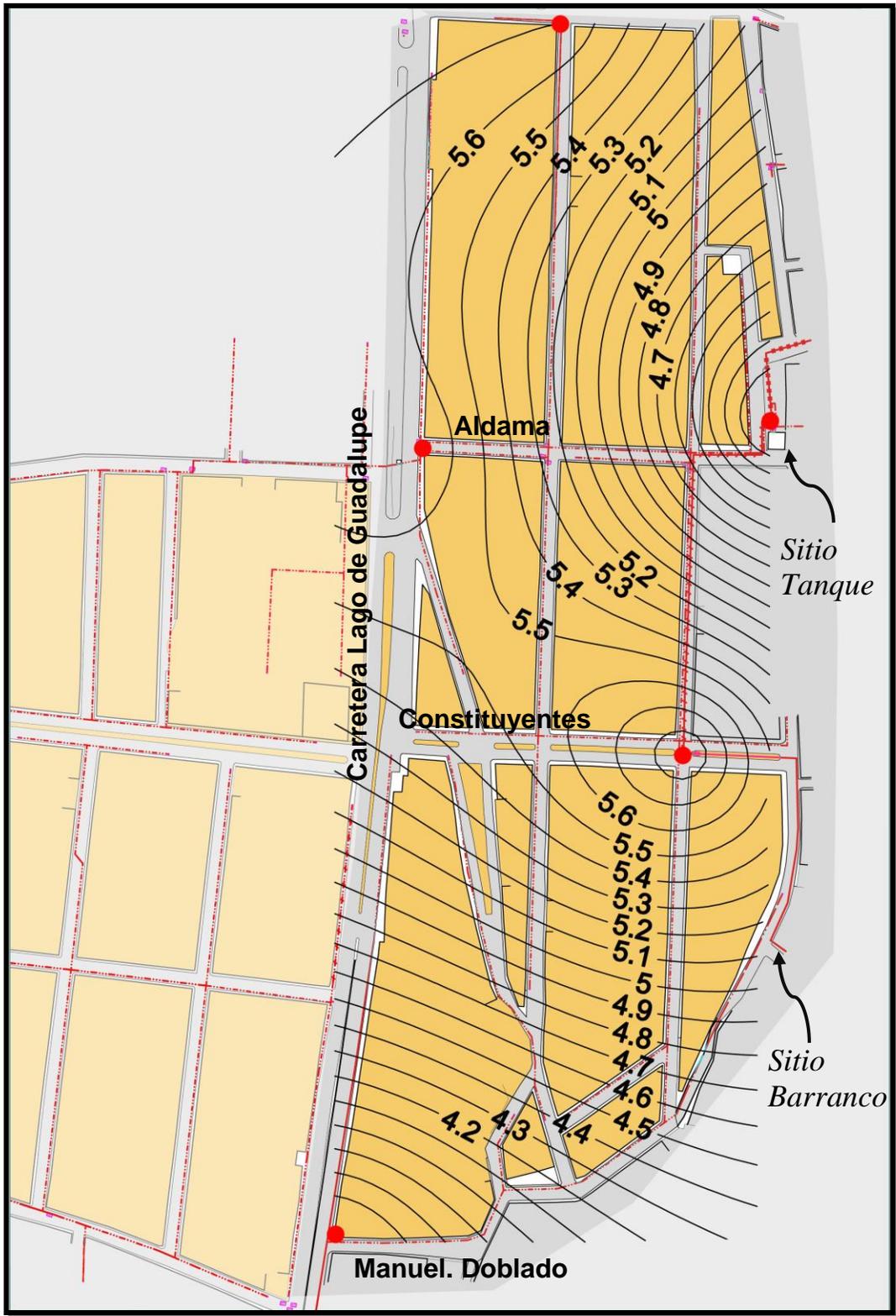


Figura 3.30. Zona Barranco. Isóbaras 03 al 04 agosto 2010, SVRP, 4:48am.

## *Medición del 5 de Agosto al 6 de Agosto del 2010.*

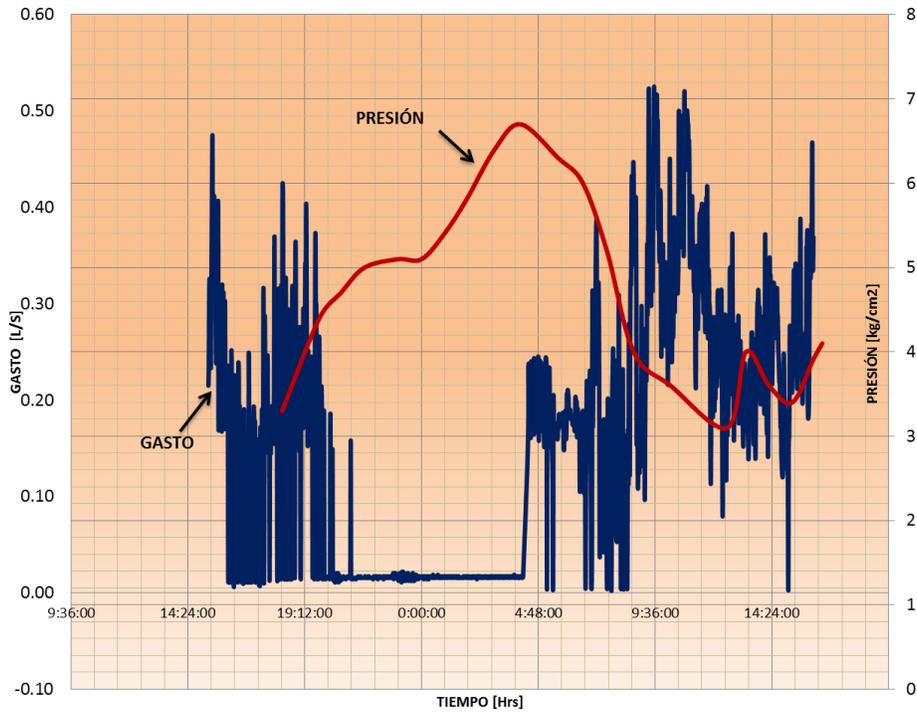
### *Área de estudio Maza.*

En esta área de estudio, considerando la hora de mayor presión en el sistema, las condiciones de flujo fueron similares a las obtenidas el día **3 al 4 de agosto**, tanto en los sitios de entrada y salidas de agua, como se muestran en las **figuras 3.31 y 3.32**.

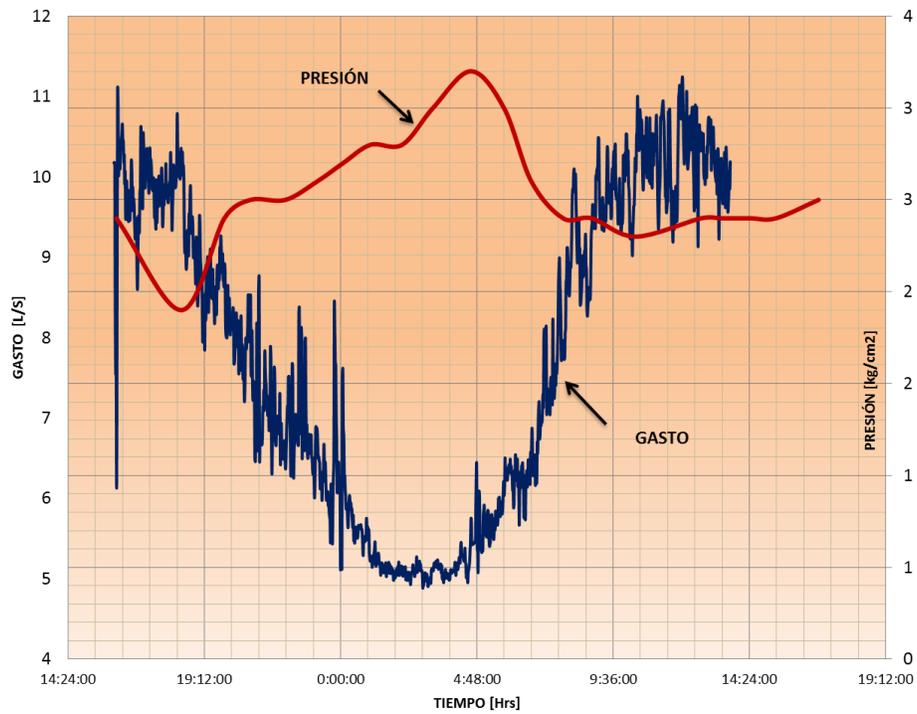
La **figura 3.33**, en donde se muestran la distribución de presiones, para el momento en que se registra la mayor presión, estas son sensiblemente parecidas a las del día **3 al 4 de agosto**.

### *Área de estudio Barranco.*

Para la condición de máxima presión, La distribución de gastos que entran y salen del área de estudio son sensiblemente parecidas a las obtenidas el 3 y 4 de agosto, como puede observarse en las (**Figuras 3.34 y 3.35**), Tanque y Barranco, respectivamente. La (**Figura 3.36**), muestra la distribución de presiones en la zona de estudio, también parecida a la ocurrida en este mismo sector el día 3 y 4 de agosto.



**Figura 3.31. Zona Maza. Sitio Esfuerzo,Salida. 05 al 06 agosto 2010, SVRP.**



**Figura 3.32. Zona Maza. Sitio Victoria.Entrada,05 al 06 agosto 2010, SVRP.**

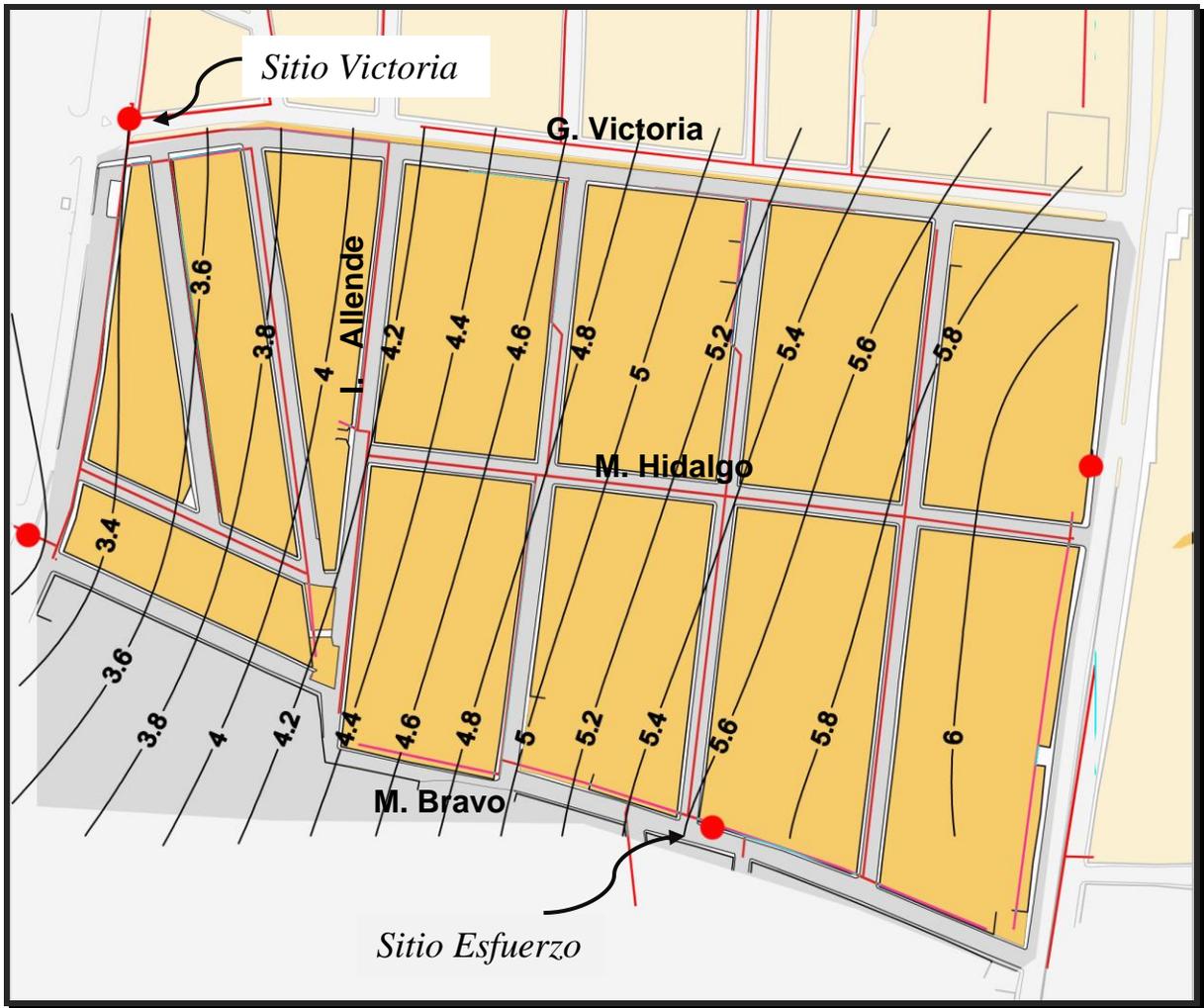
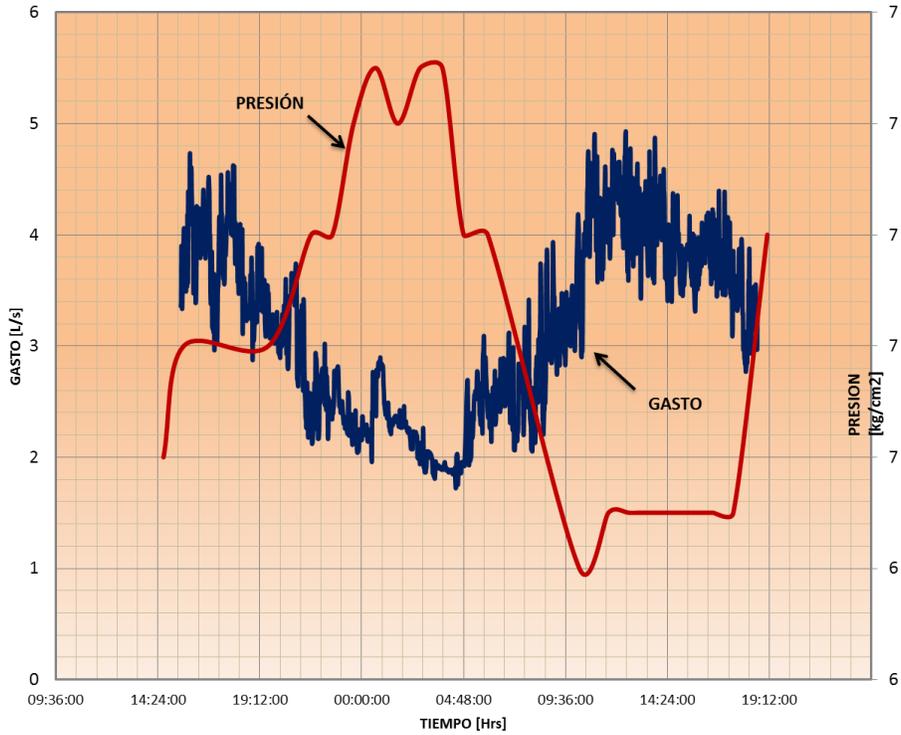
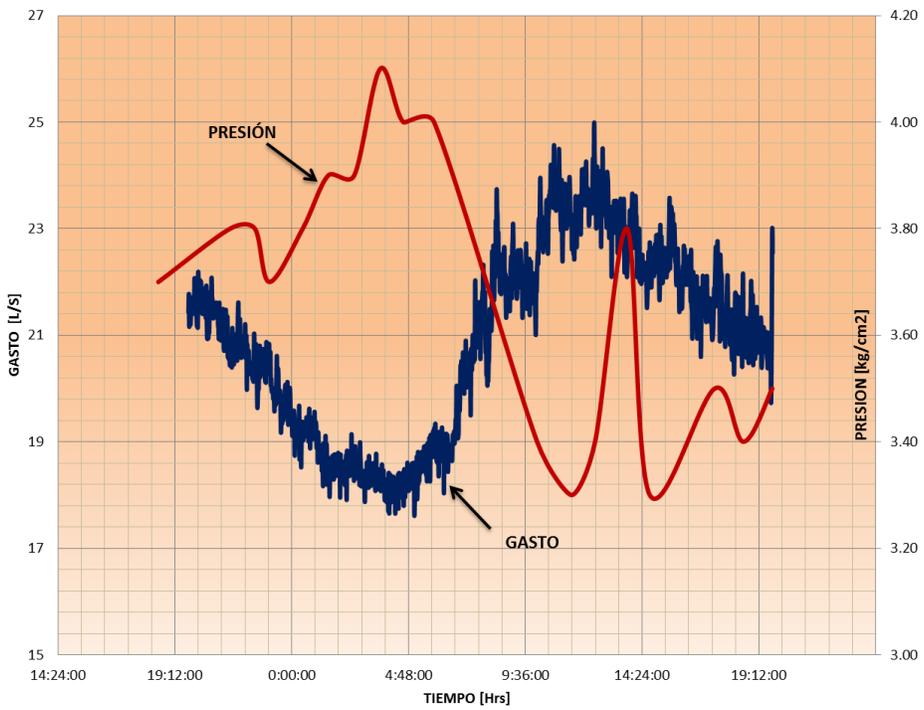


Figura 3.33. Zona Maza. Isobaras 05 al 06 agosto 2010, SVRP, 2.30 am.



*Figura 3.34. Zona Barranco. Sitio Barranco. Salida, 05 al 06 agosto 2010, SVRP.*



*Figura 3.35. Zona Barranco. Sitio Tanque. Entrada, 05 al 06 agosto 2010, SVRP.*

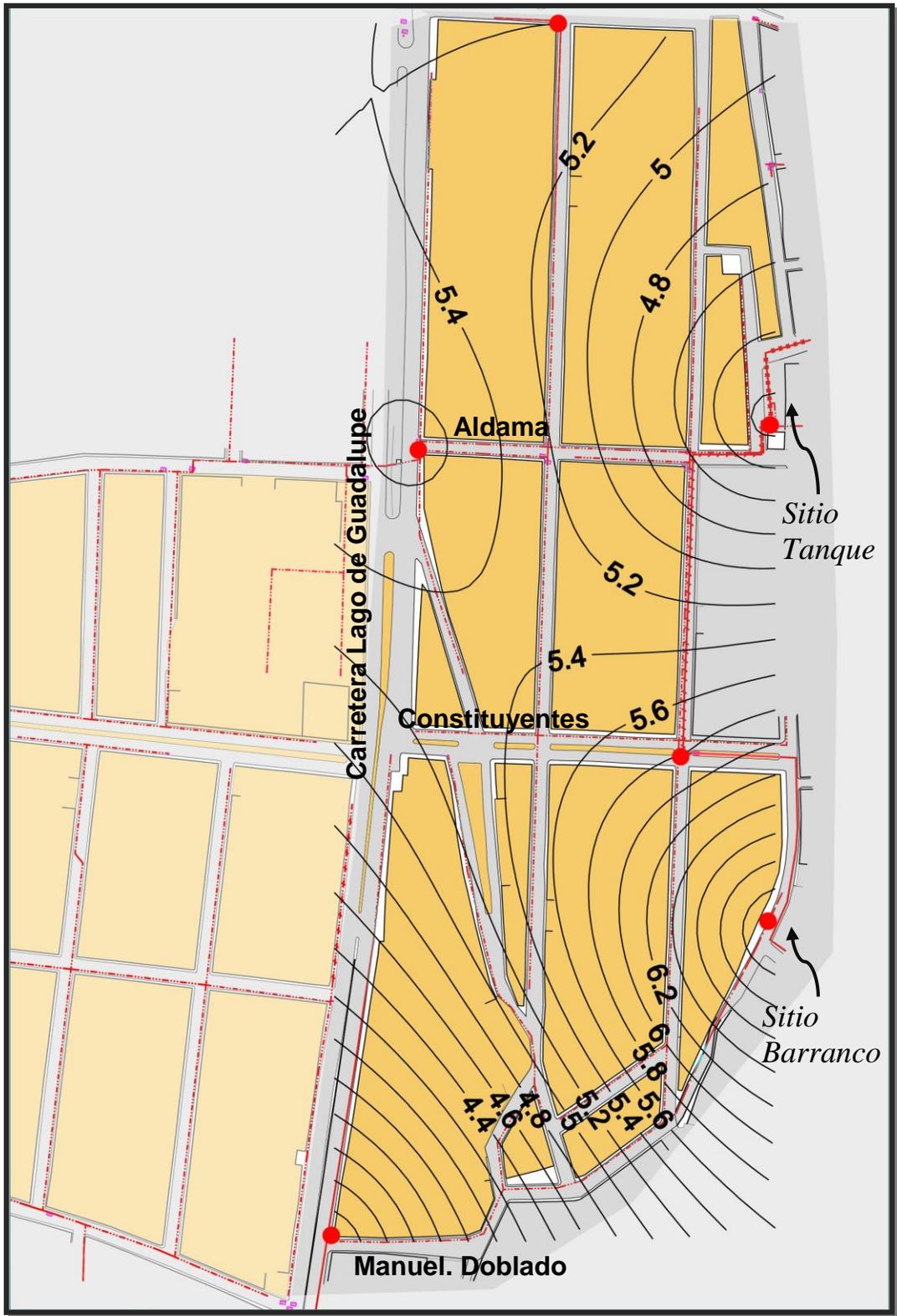


Figura 3.36. Zona Barranco. Isóbaras zona 05 al 06 agosto 2010, SVRP, 3: 30 am.

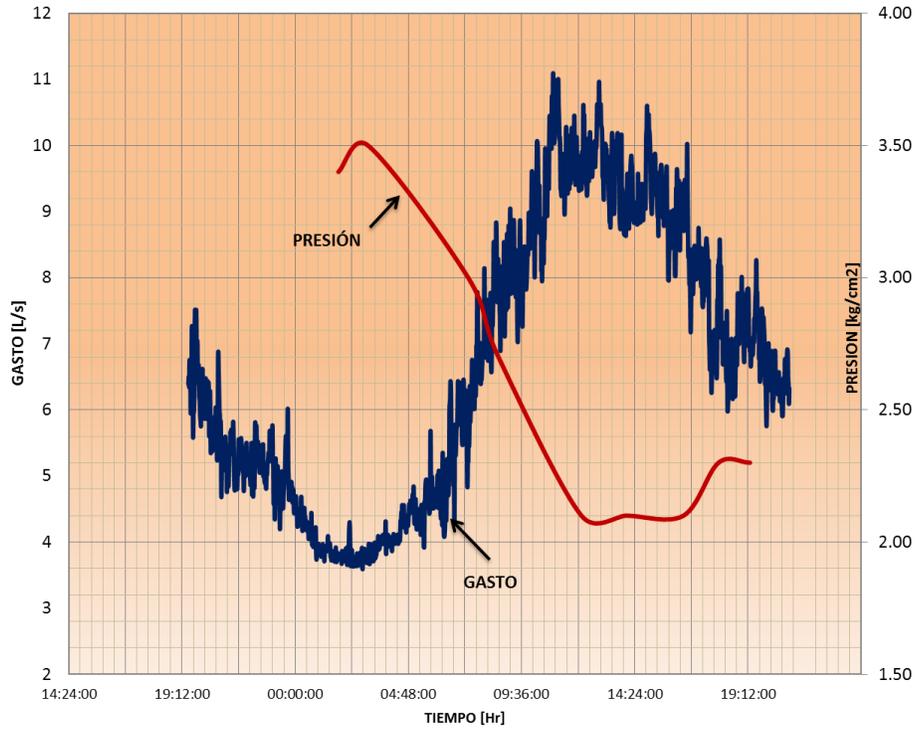
***Medición del 31 de Agosto al 1 de Septiembre del 2010.***

***Área de estudio Maza.***

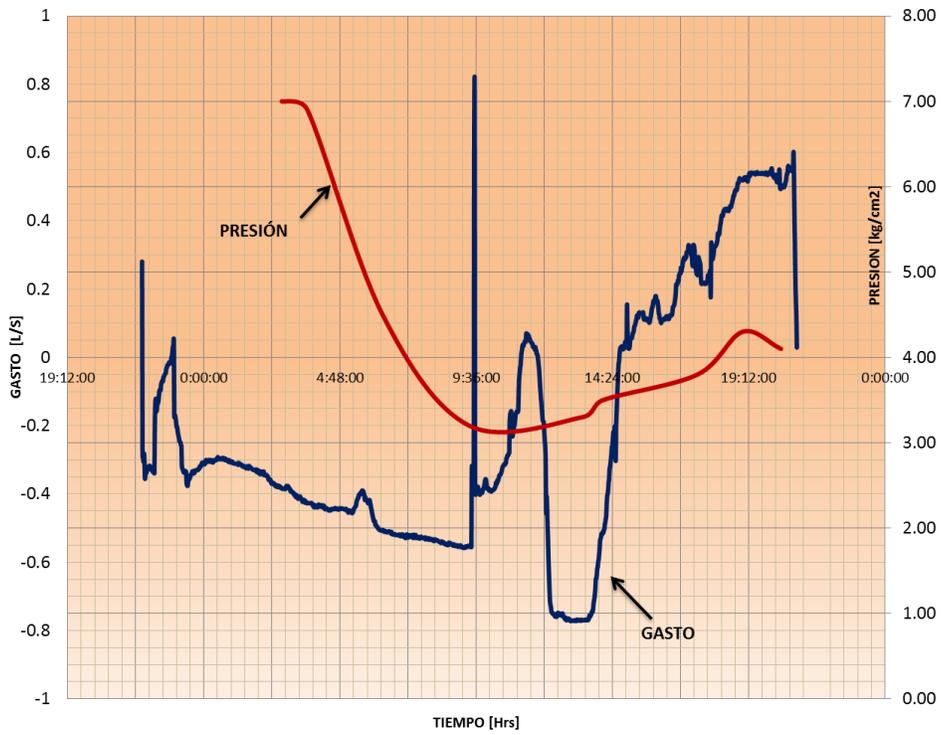
Considerando la hora de mayor presión; en forma similar a las fechas anteriores, las **figuras 3.37 y 3.38** contienen la evolución de los gastos de entrada y salida del área de estudio, registrándose al momento de mayor presión un gasto de **4 l/s**, en este caso se observa que las mediciones de presión iniciaron 3 a 4 horas después, respecto al inicio de los datos de flujo. La **figura 3.39**, muestra la distribución de presiones sobre el área de estudio, volviendo a presentarse altas presiones en las partes bajas del área, **7 kgf/cm<sup>2</sup>**.

***Área de estudio Barranco.***

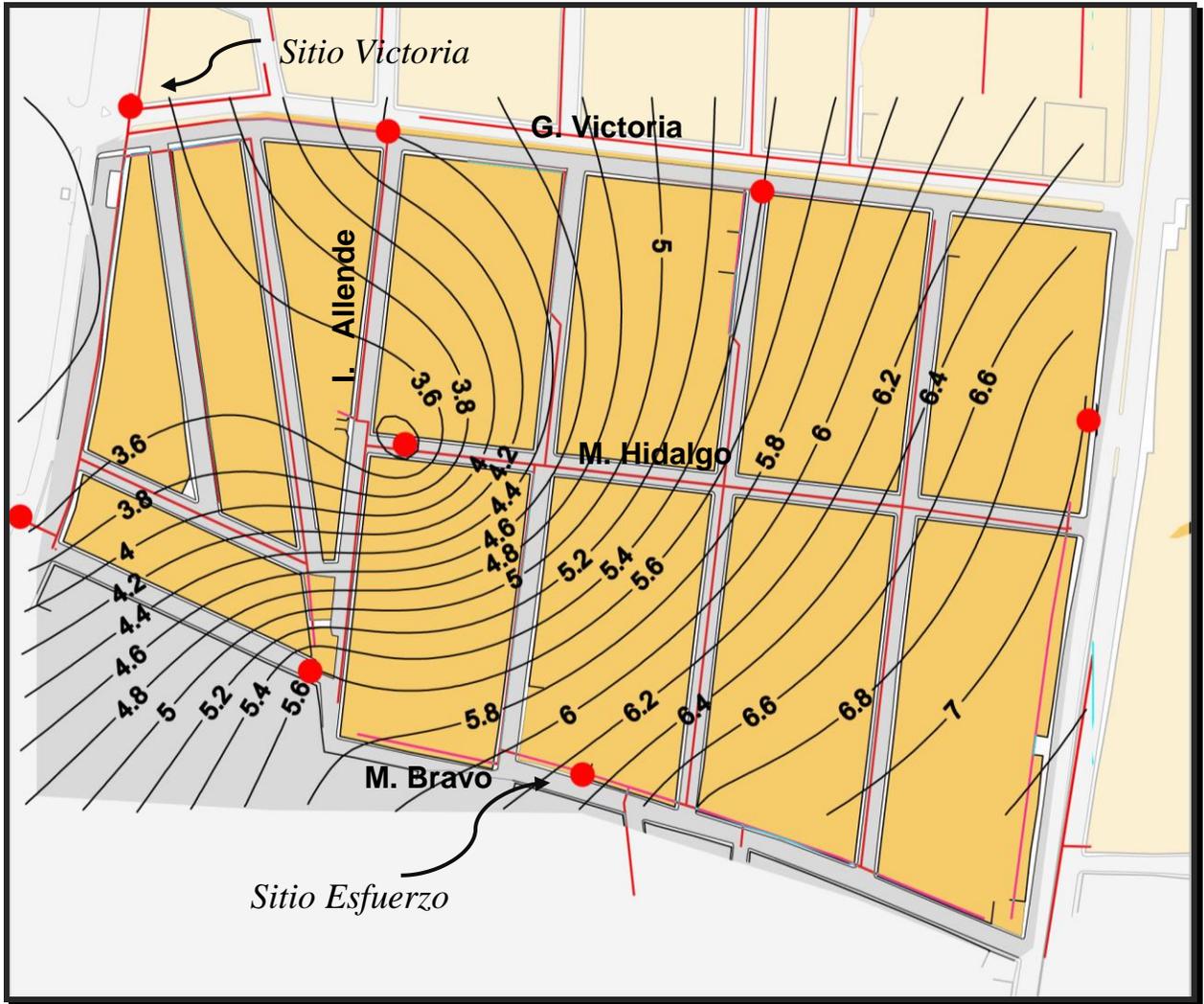
Para el momento de presión máxima y gasto mínimo, se observan las condiciones prevalecientes en los sitios de entrada y salida de agua del área de estudio, el gasto de entrada fue de **10 l/s** y el de salida resulto de **1 l/s**. Esto se muestra en las **figuras 3.40 y 3.41**. En la **figura 3.42**, se muestra que para el instante de mayor presión y menor consumo, la mayor presión es registrada en las cercanías del sitio 8 de presiones, registrándose cerca de **7 kgf/cm<sup>2</sup>**.



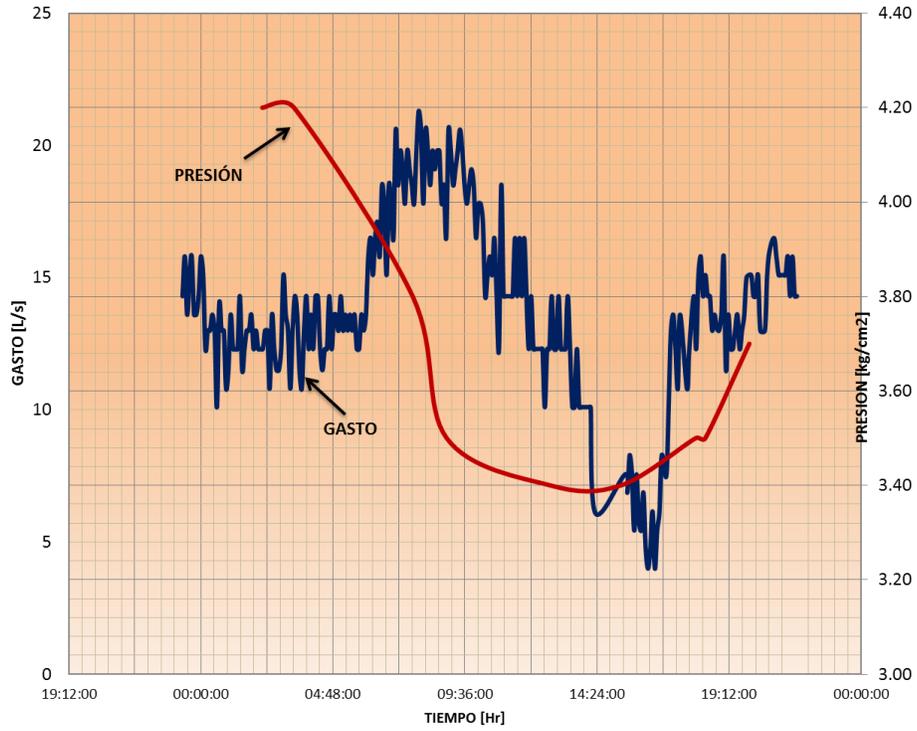
**Figura 3.37. Zona Maza. Sitio Victoria. Entrada, 31 agosto al 01 septiembre 2010, SVRP.**



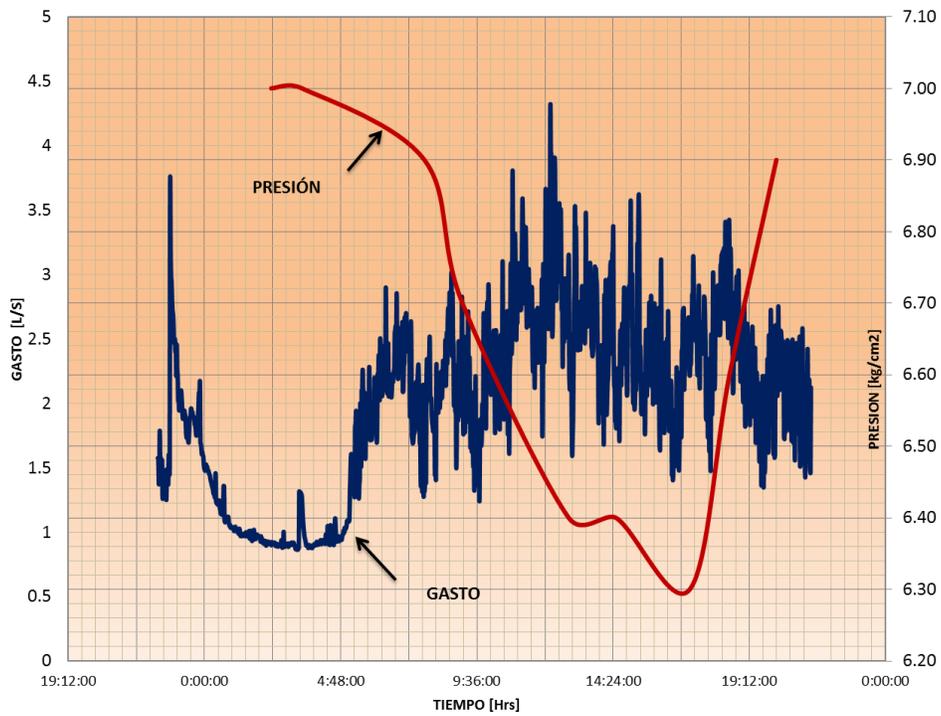
**Figura 3.38. Zona Maza. Sitio esfuerzo. Salida, 31 agosto al 01 septiembre 2010, SVRP.**



*Figura 3.39. Isóbaras zona Maza. 31 agosto al 01 septiembre 2010, SVRP, 3.30 am.*



**Figura 3.40. Zona Barranco. Sitio Tanque.Entrada, 31 agosto al 01 septiembre 2010, SVRP.**



**Figura 3.41. Zona Barranco. Sitio Barranco.Salida, 31 agosto al 01 septiembre 2010, SVRP.**

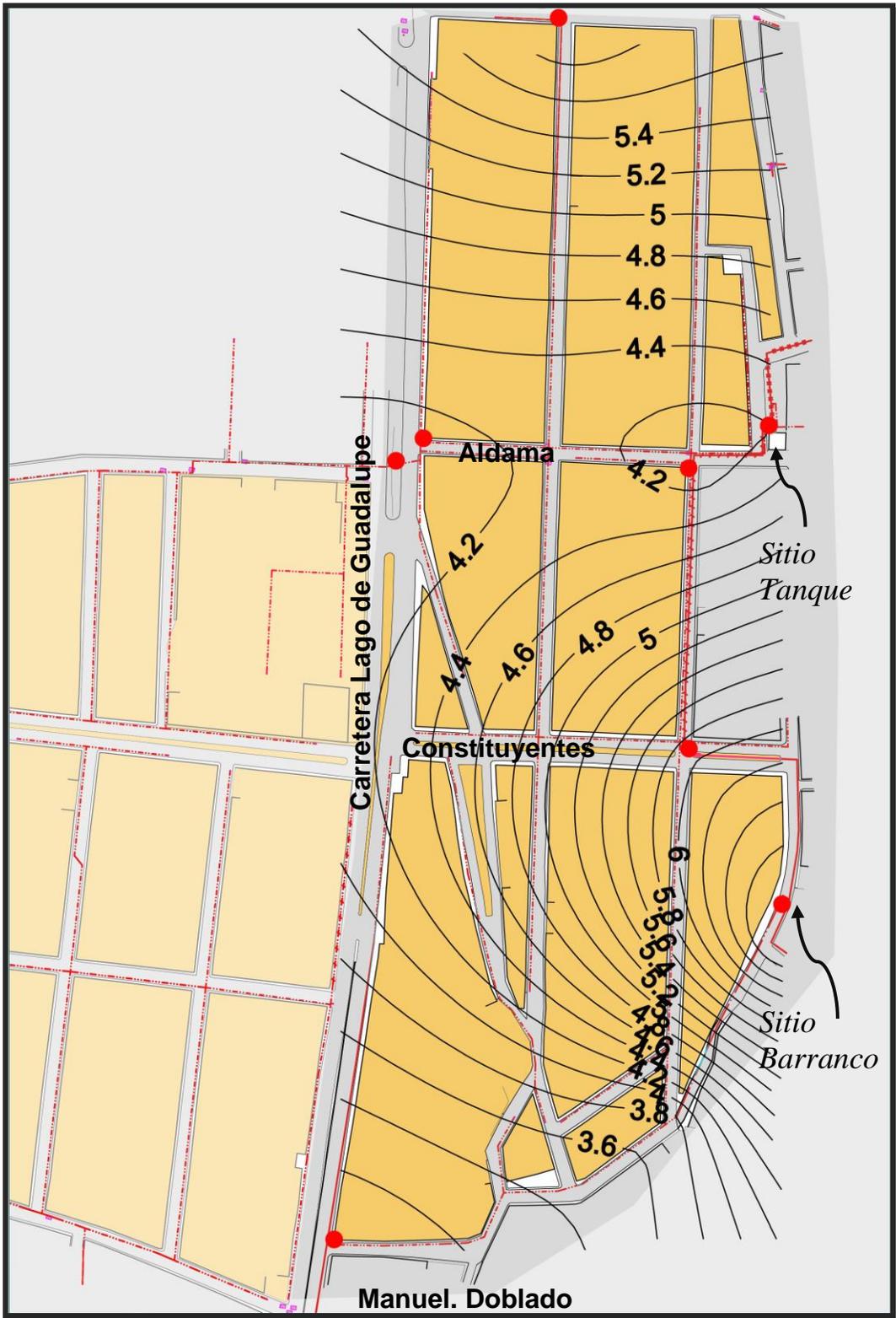


Figura 3.42. Isóbaras zona Tanque. 31 agosto al 01 septiembre 2010, SVRP, 3.30 am.

### *3.2.1.2 Mediciones CVRP.*

Para estas condiciones, pudo llevarse a cabo dos mediciones continuas de 24 horas, sin embargo, la más reciente, **2 al 3 de abril del 2012**, la VRP, del área de estudio Maza, fue puesta fuera de servicio de operaciones por el daño de una de sus partes. Por lo que la medición obtenida, podría ser considerada como : SVRP.

#### *Medición del 7 de Octubre al 8 de Octubre del 2011.*

##### *Área de estudio Maza.*

Considerando la hora de mayor presión; en forma similar a las fechas anteriores, las **figuras 3.43** y **3.44** contienen la evolución de los gastos de entrada y salida del área de estudio. Así se observa que el gasto de consumo mínimo es de **4 l/s**, con una presión de **2.3 kgf/cm<sup>2</sup>**. Para el caso de esfuerzo, el gasto mínimo registrado es de **0.25 l/s** y la presión de **5 kgf/cm<sup>2</sup>**, esto se puede observar en la **figura 3.44**.

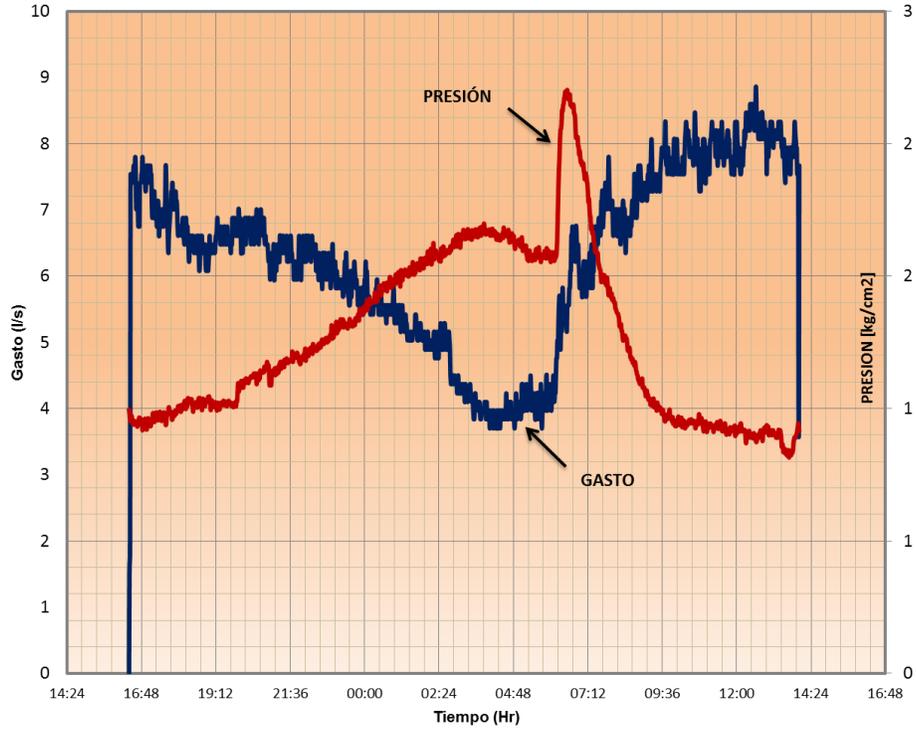
La **figura 3.45**, muestra la distribución de presiones en el área de estudio, puede observarse, la influencia de la **VRP**, reduciendo las presiones en la parte baja del área de estudio, hasta el valor de **3.4 kgf/cm<sup>2</sup>**.

##### *Área de estudio Barranco.*

En forma semejante, para el sector Barranco, las **figuras 3.46** y **3.47**, muestran la evolución de los gastos de entrada y salida del sector Barranco, con un valor de **8 l/s** para la condición de máxima presión de **4.2 kgf/cm<sup>2</sup>** y salida del sector, con un gasto de **0.8 l/s** y una presión en ese mismo instante de **7.2 kgf/cm<sup>2</sup>**.

La **figura 3.48**, muestra el impacto de las presiones que han pasado de **5.6 kgf/cm<sup>2</sup>**, a valores de **3.5 kgf/cm<sup>2</sup>**, principalmente en las calles de constituyentes y Aldama.

La reducción en las presiones es evidente, por lo que se espera una disminución del ANC.



**Figura 3.43. Zona Maza. Sitio Esfuerzo.Salida, 07 al 08 octubre 2011, CVRP.**



**Figura 3.44. Zona Maza. Sitio Victoria.Entrada, 07 al 08 octubre 2011, CVRP.**

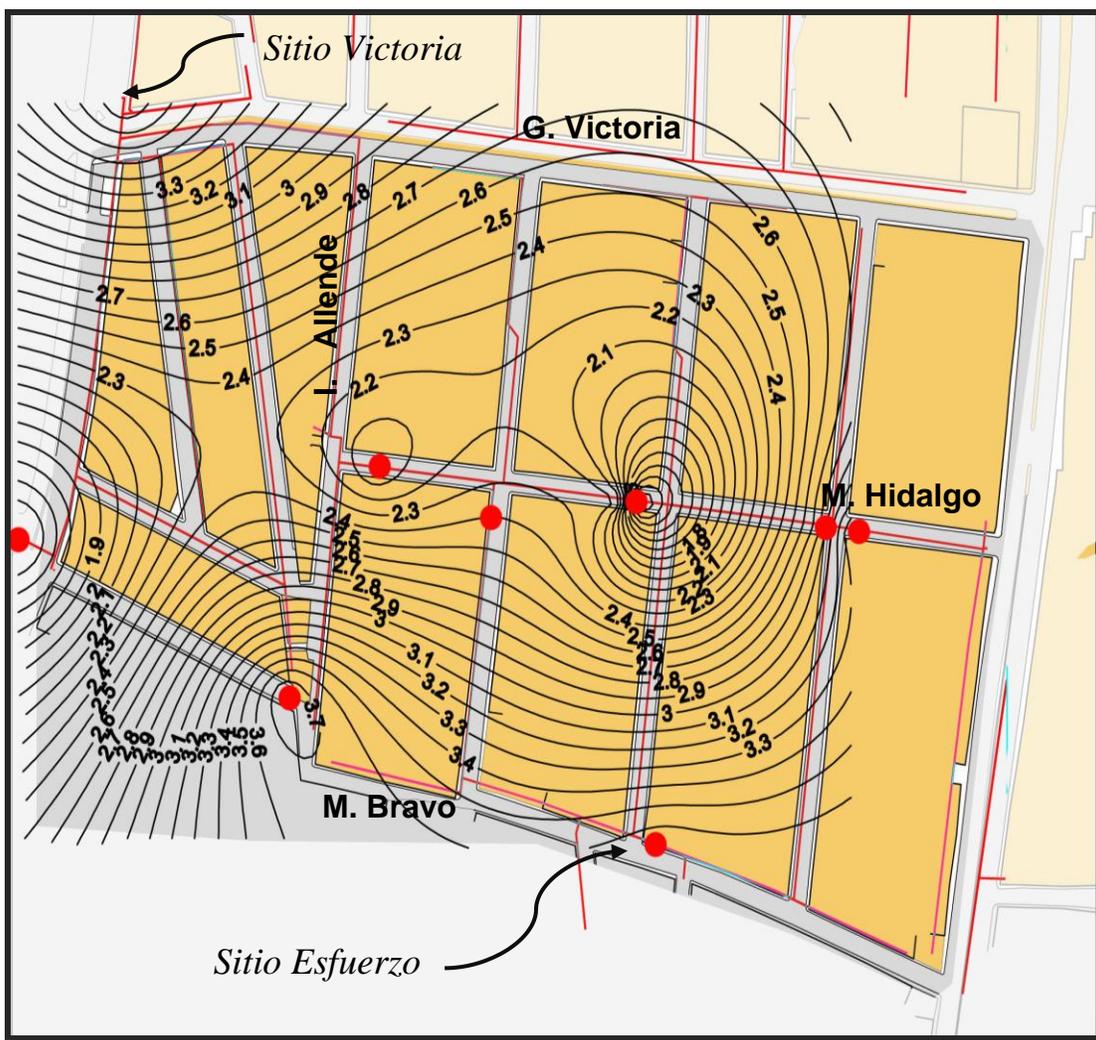
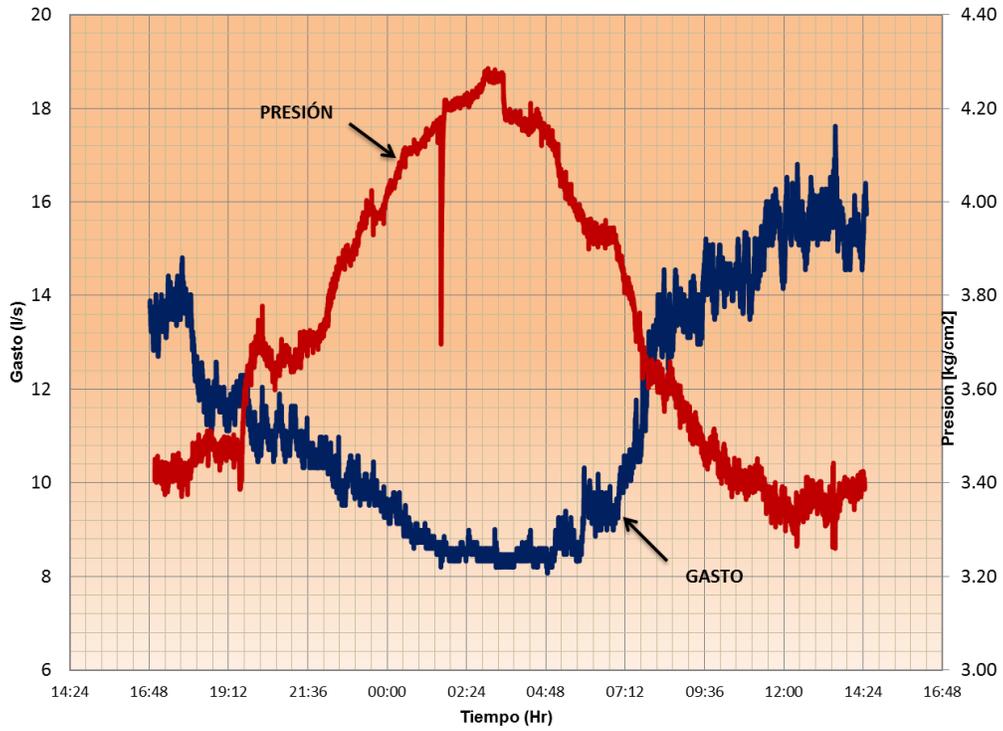
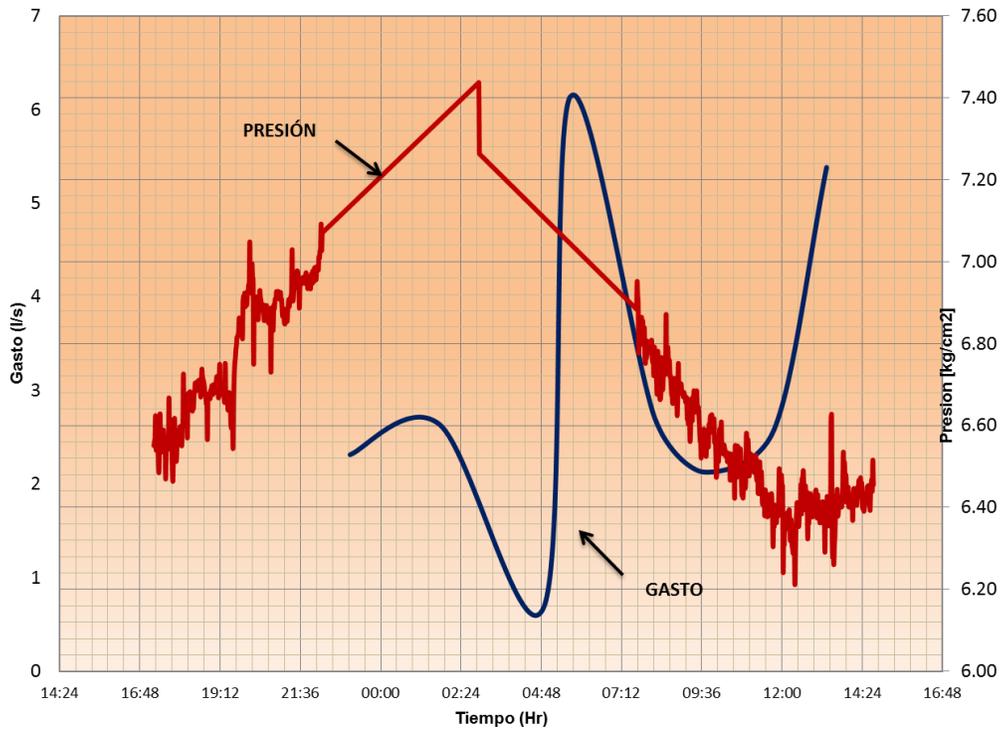


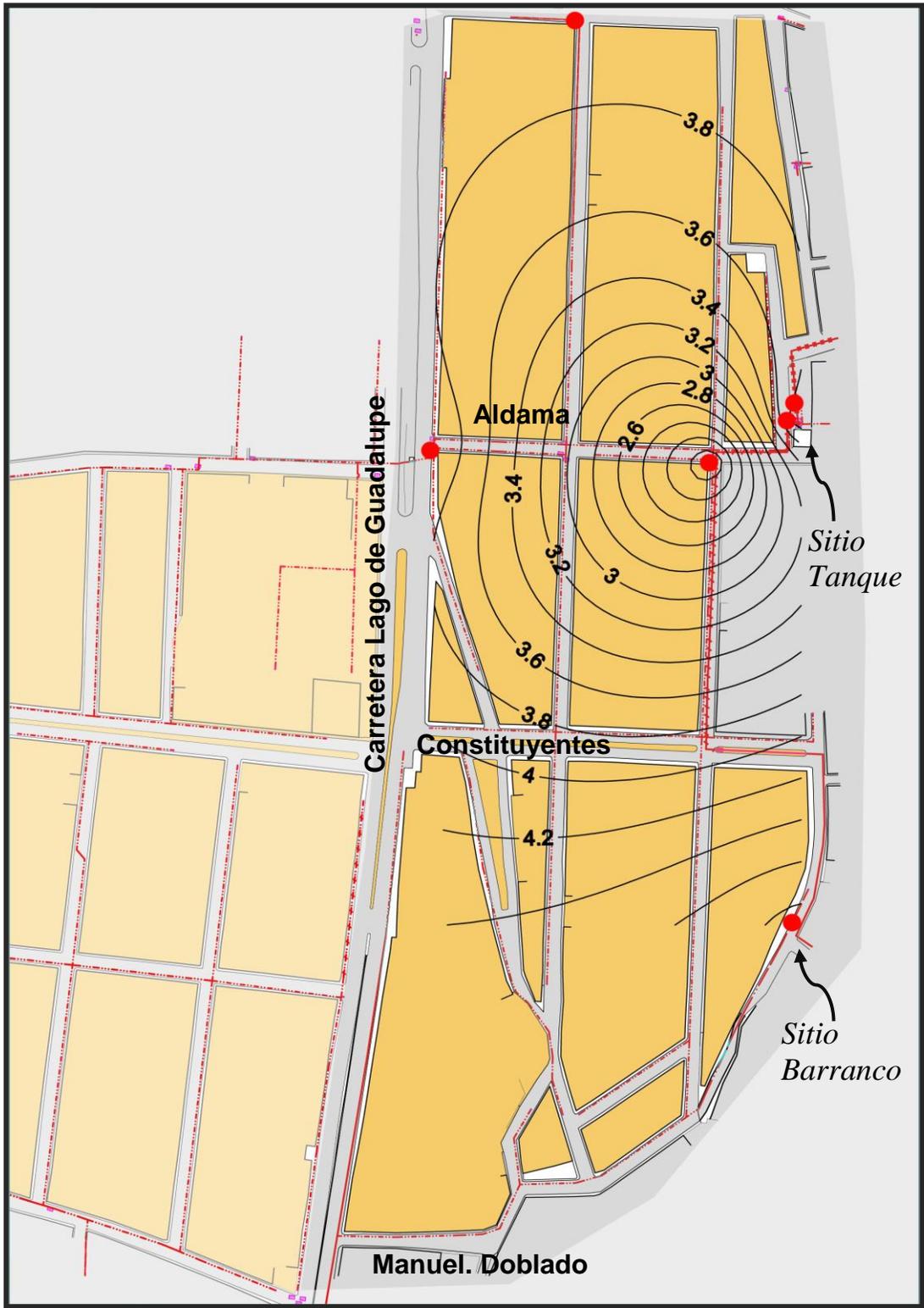
Figura 3.45. Isóbara. Zona Maza. 07 al 08 octubre 2011, CVRP, 6:00 am.



**Figura 3.46. Zona Barranco. Sitio Tanque.Entrada. 07 al 08 octubre 2011, CVRP.**



**Figura 3.47. Zona Barranco. Sitio Barranco.Salida. 07 al 08 octubre 2011, CVRP.**



*Figura 3.48. Isóbara. Zona Barranco. 07 al 08 octubre 2011, CVRP, 6:00 am.*

*Medición del 2 de Abril al 3 de Abril del 2012.*

### *Área de estudio Maza*

En esta fecha, la VRP alojada en la calle e hidalgo fue puesta fuera de operaciones, utilizando el by pass, asignado para estas maniobras operativas.

Las **figuras 3.49 y 3.50**, muestran la evolución de los gastos de entrada y salida para esa fecha, se observa, la **figura 3.51**, nos muestra como la acción de la **VRP** ha sido cancelada, ya que la distribución de presiones es muy similar a las mediciones obtenidas en fechas antes a la instalación de las **VRP**.

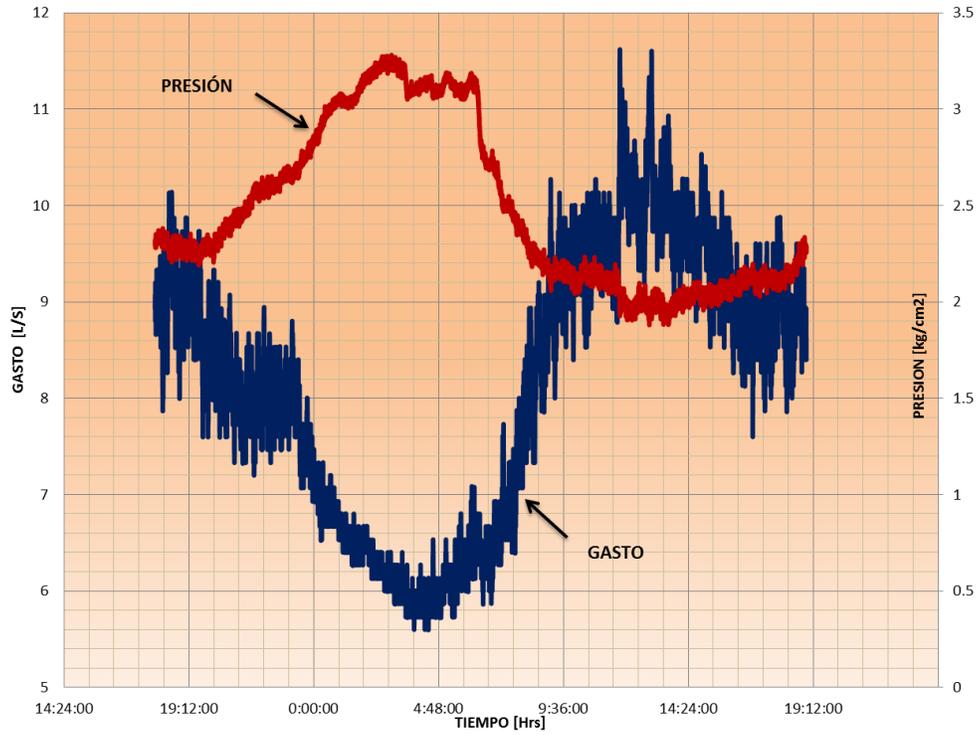
### *Área de estudio Barranco.*

En esta área de estudio, la VRP, se ha mantenido en operaciones, por lo que los **gráficos 3.52 y 3.53**, muestran la evolución de los gastos de entrada y salida de agua del área de estudio.

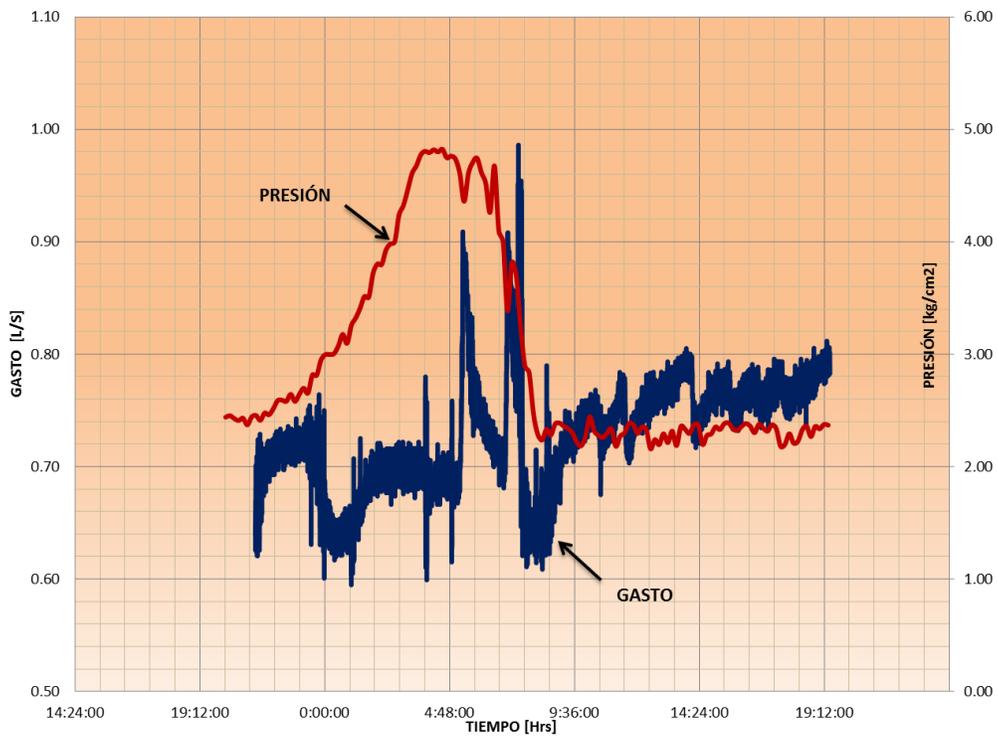
En la entrada se registra un gasto mínimo de 8 l/s a las 4:48 am y una presión máxima para esta hora de 4.2 kgf/cm<sup>2</sup>. A la salida, se observa un gasto mínimo de 1.2 a 2.2 l/s , una presión máxima de 7.2 kgf/cm<sup>2</sup>, esta última , es una presión que sólo se presenta en la línea de conducción que sale del sector "Barranco".

La **figura 3.54**, se observa que en Constituyentes la presión sigue siendo menor a las observadas, en fechas anteriores a la **VRP** instalada.

Las mediciones antes y después de ser instaladas las **VRP**, serán procesadas en los capítulos siguientes del balance, a fin de determinar el comportamiento del ANC, antes y después de instalarse las **VRP**, se espera que la disminución de las presiones, impacten en el consumo de los usuarios, además del volumen debido a las fugas.



**Figura 3.49. Zona Maza. Sitio Victoria. Entrada, 02 al 03 abril 2012, CVRP.**



**Figura 3.50. Zona Maza. Sitio Esfuerzo. Salida, 02 al 03 abril 2012, CVRP.**

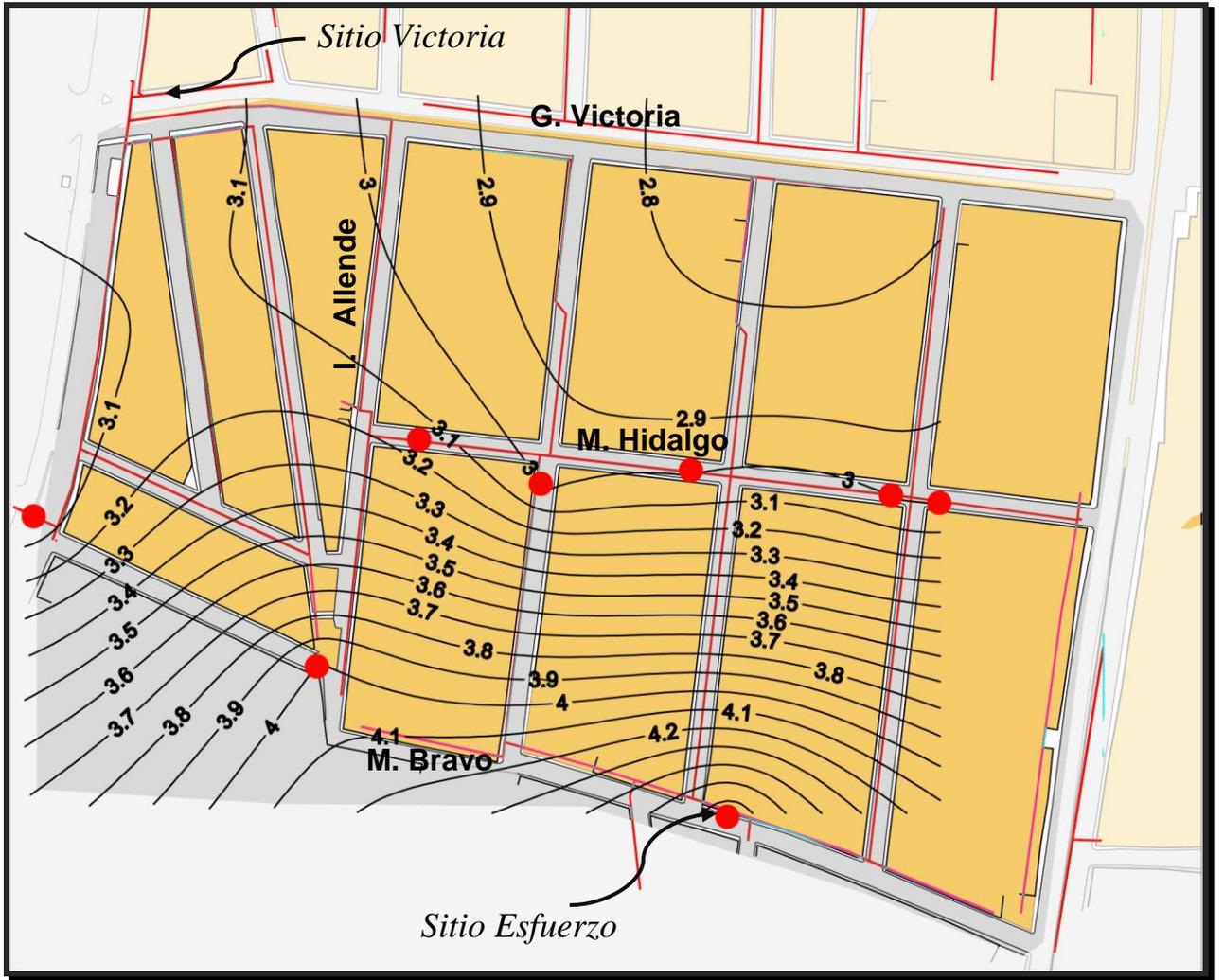
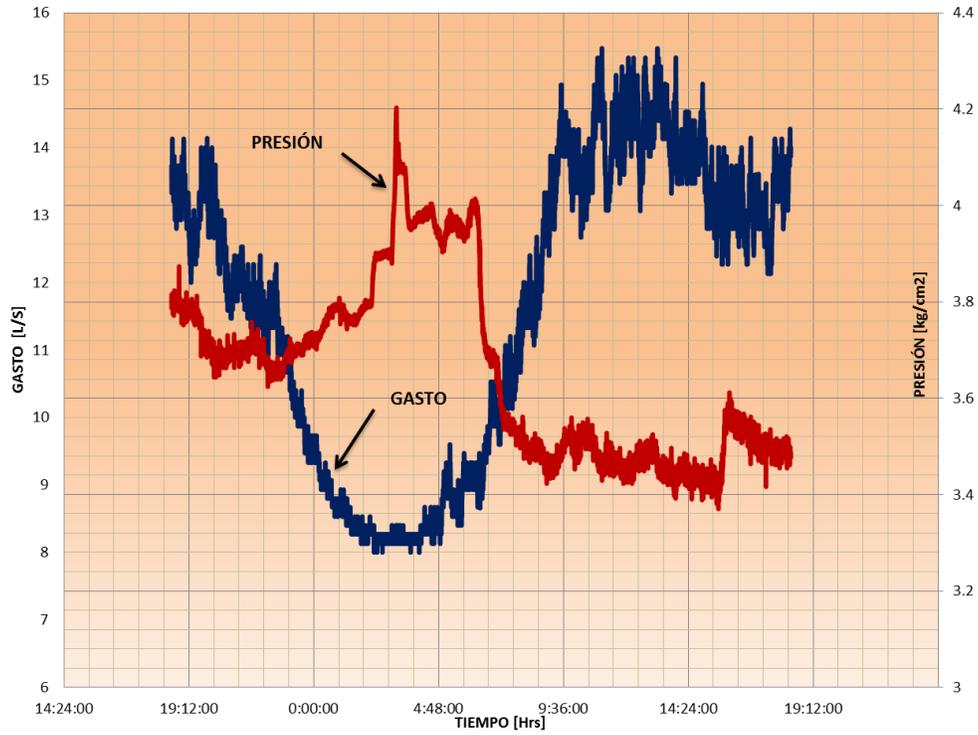
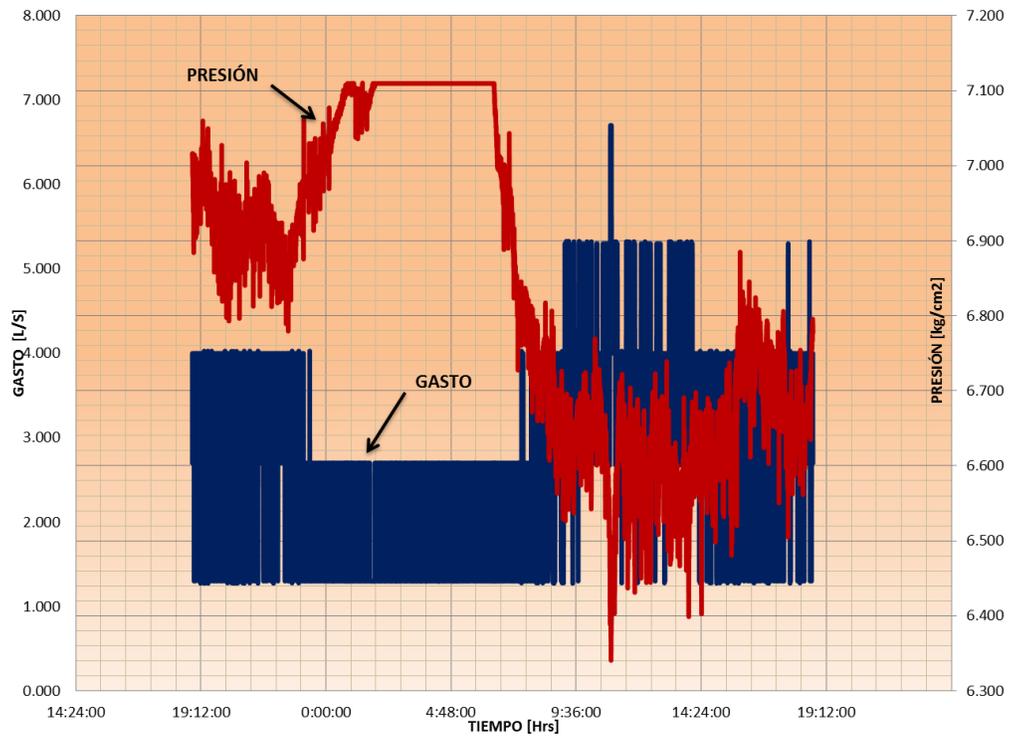


Figura 3.51. Isóbara. Zona Maza. 02 al 03 abril 2012, CVRP, 3:30 am.



**Figura 3.52. Zona Barranco. Sitio Tanque .Entrada. 02 al 03 abril 2012, CVRP.**



**Figura 3.53. Zona Barranco. Sitio Barranco.Salida. 02 al 03 abril 2012, CVRP**

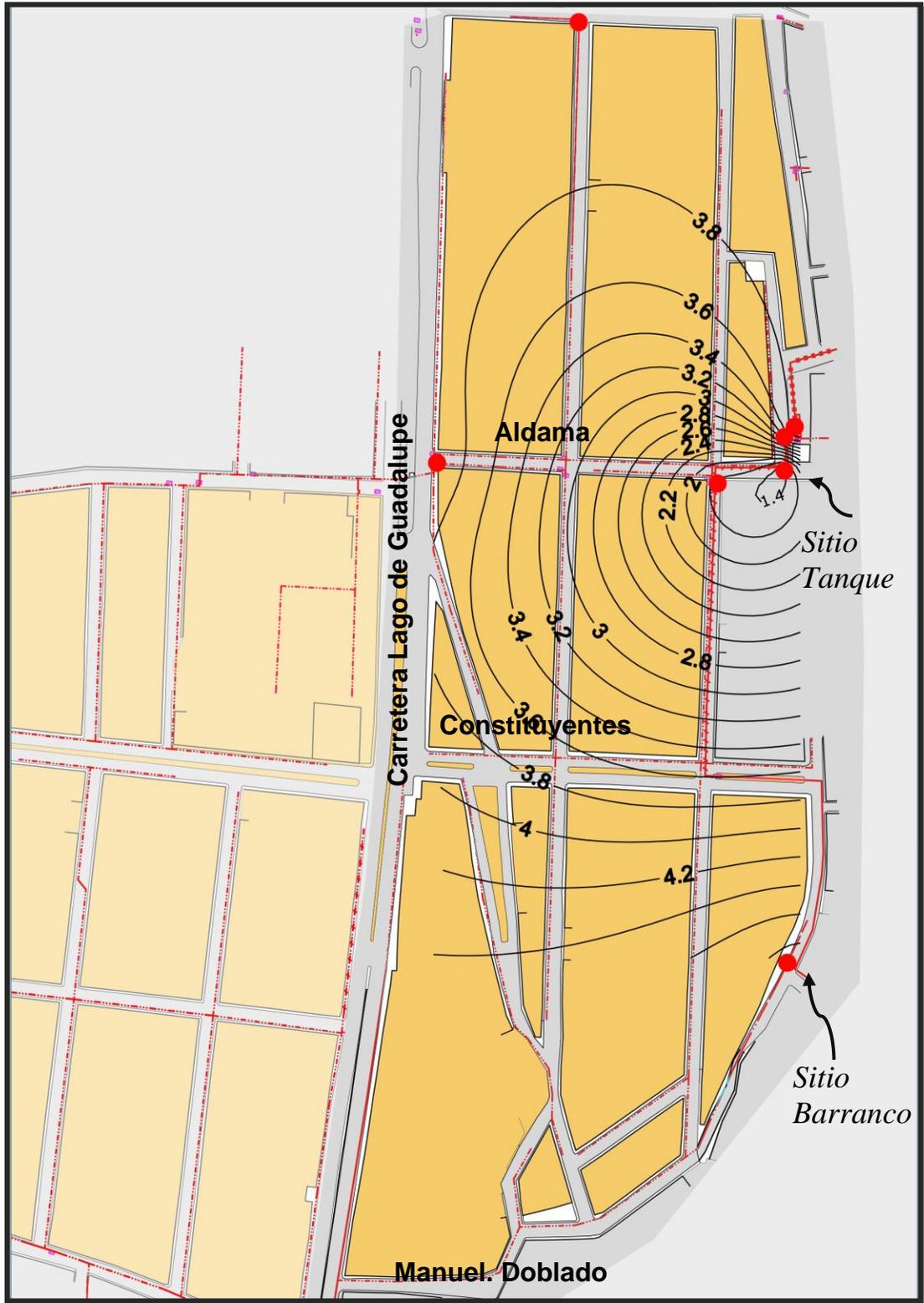


Figura 3.54. Isóbara. Zona Barranco. 02 al 03 abril 2012, CVRP, 3:54 am.

### *3.3. MEDICIÓN DOMICILIARIA.*

La precisión de los micro medidores instalados y en lectura, debe ser periódicamente revisada, a fin de identificar los medidores con precisión errónea, a fin de establecer planes para su reparación o eliminación. Este tipo de información permite tomar la decisión del momento para dar mantenimiento a los medidores o sustituirlos.

La revisión de la precisión de medidores domiciliarios, se realiza mediante un tamaño de muestra representativa de lotes de medidor en función, considerando las siguientes variables: **Rango de consumo, tipo de usuario, diámetro del medidor y toma entre otras.** Cuando se posee información como antigüedad, marca, materiales del interior, la muestra tendría un mejor diseño.

El diseño de la muestra está en función de diferentes características de los usuarios, como: tipo de usuario, consumo medido en un determinado periodo, diámetro del medidor, etc., incluso, en caso de disponerse de la información, se puede hacer intervenir la marca del medidor, número de habitantes por vivienda, estrato económico, etc.

A continuación se describe el diseño de una muestra con los datos reales de un padrón de usuarios de un sector hidrométrico de una importante ciudad del país, en función de la confiabilidad requerida, posteriormente para las zonas en estudio Maza y Barranco, se muestran los resultados del análisis estadístico por rangos de consumo de los usuarios totales en las dos áreas de estudio. Se seleccionó 4 de los rangos de consumo obtenidos, se eligió un usuario( popular ) representativo, de cada uno de los 4 rangos seleccionados, como sigue : rango ; 50 a 60 m<sup>3</sup>/Bim, usuario 1, rango 40 a 50 m<sup>3</sup>/Bim , usuario 2; rango; 30 a 40 m<sup>3</sup>/Bim, usuario 3, rango ; 20 a 30 m<sup>3</sup>/Bim, usuario 4.

Es importante señalar que se muestreó la precisión de los medidores domiciliarios en una muestra total de las dos áreas, con un tamaño final de **96 usuarios / medidor**.

De acuerdo con los resultados de la precisión obtenida, se estimó el error para el rango de consumo de **50 a 60m<sup>3</sup>/Bimestre**, a partir de los resultados de medición **del Usuario 1**.

### ***3.3.1. Datos generales***

De acuerdo con la información comercial, se procede a separar al total de usuarios pertenecientes al padrón por su diámetro de toma, y a su vez cada diámetro se divide en función del tipo de usuario, en este caso se tienen diámetros diferentes (**13, 19, 25, 38 y 51 mm**) y 3 diferentes clasificaciones para tipo de usuario: Doméstico, No doméstico y Mixto. Este primer criterio de agrupamiento arrojó los siguientes resultados:

*Total de Usuarios = 2,728 con medidor de 13 mm*

Domésticos = 2,302

No Domésticos = 192

Mixtos = 234

*Total de Usuarios = 353 con medidor de 19 mm*

Domésticos = 331

No Domésticos = 18

Mixtos = 4

*Total de Usuarios = 28 con medidor de 25 mm*

Domésticos = 23

No Domésticos = 0

Mixtos = 5

*Total de Usuarios = 3 con medidor de 38 mm*

Domésticos = 1

No Domésticos = 2

Mixtos = 0

*Total de Usuarios = 3 con medidor de 51 mm*

Domésticos = 2

No Domésticos = 0

Mixtos = 1

En cada padrón de usuarios se pueden encontrar diferentes clasificaciones para los tipos usuarios, como son: industrial, público, comercial, etc., por lo que la cantidad de clasificaciones cambiará de acuerdo a las existentes en el padrón que se está estudiando y esto impactará en el tamaño de la muestra diseñada.

### *3.3. 2. Tabla de frecuencias*

Para la determinación del tamaño de muestra, es necesario agrupar a los usuarios por cada una de las categorías de acuerdo a su consumo en un periodo de tiempo (por ejemplo un bimestre de consumo), esta separación se debe hacer por rangos de consumo o intervalos.

Se recomienda que deban de ser de igual ancho, para hacer más sencilla la interpretación visual de los resultados, es necesario un criterio para seleccionar el número de intervalos, a fin de proporcionar una presentación razonable. El número de intervalos empleados depende del número de observaciones (en este caso es el número de usuarios) y de la cantidad de dispersión de los datos (en nuestro caso el consumo por usuario). De acuerdo con **referencia 11**, el número de intervalos aproximadamente igual a la raíz cuadrada del tamaño de la población o de la muestra, a menudo funciona bien en la práctica.

Como se puede observar en la **tabla 3.6**, el intervalo de consumo que se decidió proponer para agrupar a los usuarios tiene un ancho de **10 [m<sup>3</sup>/bimestre]**, esto permitió reducir la cantidad de datos por analizar, sin afectar la precisión de los resultados.

Con estos rangos se creará una tabla de frecuencias como la que se muestra a continuación, ver **tabla 3.6**, donde se exponen los resultados obtenidos para usuarios domésticos con toma de **13 mm**, esta tabla se realizó para un bimestre de consumo, para cada organismo operador este intervalo puede modificarse de acuerdo a la disponibilidad de los registros.

La tabla de frecuencias **tabla 3.6** se calculó con las siguientes expresiones, para cada una de las columnas:

$$Valormedio = \frac{Ls + Li}{2} \quad (3.1)$$

Donde:

**LS** límite superior del intervalo

**LI** límite inferior del intervalo

**F<sub>i</sub>** Valor medio, número intermedio del intervalo

**F<sub>i</sub>** Frecuencia, cantidad de usuarios contenidos en el intervalo de consumo.

Consumo<sub>i</sub> = Σ Consumo de cada usuario del intervalo de consumo.

Frecuencia acumulada= Frecuencia Acumulada Anterior + F<sub>i</sub>

Consumo acumulado [m3/Bim]= Consumo acumulado Anterior + Consumo<sub>i</sub>

Consumo Acumulado [%]= Consumo Acumulado/Total de Consumo.

RANGO	VALOR MEDIO	F <sub>i</sub>	CONSUMO	FRECUENCIA ACUMULADA	CONSUMO ACUMULADO	CONSUMO ACUMULADO
[m3/Bim]		[Usuarios]	[m3/Bim]	[Usuario]	[m3/Bim]	[%]
0-10	5.00	264.00	808.32	264.00	808.32	0.59
10-20	15.00	217.00	3,330.85	481.00	4,139.17	3.00
20-30	25.00	264.00	6,709.23	745.00	10,848.40	7.87
30-40	35.00	253.00	8,688.38	998.00	19,536.78	14.17
40-50	45.00	330.00	14,899.05	1,328.00	34,435.83	24.98
50-60	55.00	247.00	13,408.44	1,575.00	47,844.27	34.71
60-70	65.00	128.00	8,263.97	1,703.00	56,108.24	40.71
70-80	75.00	128.00	9,553.64	1,831.00	65,661.88	47.64
80-90	85.00	85.00	7,213.82	1,916.00	72,875.70	52.88
90-100	95.00	73.00	6,878.24	1,989.00	79,753.94	57.87
100-110	105.00	61.00	6,382.92	2,050.00	86,136.86	62.50
110-120	115.00	34.00	3,906.98	2,084.00	90,043.84	65.33
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
1440-1450	1,445.00	0.00	0.00	2,301.00	136,373.24	98.95
1450-1460	1,455.00	1.00	1,452.99	2,302.00	137,826.23	100.00

TOTALES	2,302.00	137,826.23
---------	----------	------------

*Tabla 3.6. Tabla de frecuencias (caso numérico)*

### 3.3. 3. Parámetros estadísticos

Con el objetivo de hacer más eficiente el cálculo del tamaño de la muestra, se dividen los resultados en deciles, con base en el Consumo Acumulado, en forma de porcentaje; esto es, cada **10%** del consumo acumulado forma un nuevo intervalo, estos intervalos están señalados en la **tabla 3.6** con un color diferente para cada uno, este color sirve como referencia con las **tablas 3.2 y 3.8**, para ubicar los cálculos correspondientes a cada uno.

Para cada uno de los deciles, se calculan los parámetros estadísticos de la Media y Desviación estándar, las fórmulas para calcularlos son:

(3.2)

$$\text{Media} = \frac{\text{Consumo total del decil}}{\text{Número de usuarios del decil}}$$

$$\text{Desv} = \sqrt{\frac{\sum (C_i - \text{Media})^2}{N}}$$

Donde:

**C<sub>i</sub>** Consumo de cada usuario del decil

**N** Número de usuarios del decil

**Desv** Desviación estándar del decil

### 3.3. 4. *Tamaño de la muestra*

Con estos dos parámetros y la cantidad de usuarios contenida en cada decil, se determina el tamaño de la muestra por decil, el cual también está en función de la incertidumbre permitida.

(3.3)

$$n = \left( \frac{2 * Desv}{Media * e} \right)^2$$

**e** incertidumbre de la muestra en decimales

**n** número de usuarios de la muestra (tamaño de la muestra)

Como se puede apreciar en la **tabla 3.7 y 3.8**, el tamaño de la muestra está en función de la incertidumbre permitida, esto es, mientras menor sea la incertidumbre, mayor será el tamaño de la muestra necesaria. Para el caso que se analice del área de estudio, en la **figura 3.3** se mostró la ubicación de los usuarios con medidor.

La **tabla 3.9**, tabla de frecuencias Maza y Barranco, muestra los deciles para cada tipo de usuario y rango de consumo, así como el tamaño de las muestras teóricas y reales seleccionada para cada grado de incertidumbre. La **tabla 3.10**, se observa el tamaño de la muestra, la cual fue diseñada para un **92% de certidumbre**, pero desafortunadamente, aun cuando al lote de usuarios seleccionados era superior a la muestra del **95%** de certidumbre, solo se llevaron a cabo un total de **96 usuarios**, a los que se aplicó la prueba de precisión.

Por lo que se concluyó que la muestra tendría entre el **95% y 92%** de certidumbre.

Para el caso que se muestra en la **tabla 3.7**, se muestran los resultados obtenidos para los usuarios domésticos con toma de **13 mm**, tomando un bimestre de consumo. En la tabla se muestra como al hacer el cálculo del número de usuarios por muestrear, pueden obtenerse resultados mayores al número de usuarios que forman el padrón, en estos casos se debe tomar el número de usuarios totales del decil, como se muestra en la **tabla 3.8**. para el caso mostrado.

DECIL	MEDIA	DESV	No. DE USUARIOS	TAMAÑO DE LA MUESTRA				
				e= 2 %	e= 5 %	e= 8 %	e= 10 %	e= 15 %
1	17.32	8.33	626	2311	370	144	92	41
2	34.34	3.05	253	79	13	5	3	1
3	45.15	2.35	330	27	4	2	1	0
4	57.79	5.59	375	93	15	6	4	2
5	74.64	3.21	128	18	3	1	1	0
6	89.19	5.4	158	37	6	2	1	1
7	113.15	8.86	136	61	10	4	2	1
8	154.31	17.54	96	129	21	8	5	2
9	242.28	39.52	58	266	43	17	11	5
10	575.76	255.46	23	1969	315	123	79	35
<b>TEORICO</b>				<b>4990</b>	<b>800</b>	<b>312</b>	<b>199</b>	<b>88</b>

**Tabla 3.7. Tamaño de la muestra final.**

Decil	Media	Desv.	No. Usuarios	Consumo M3/Bim	Muestra	Incertidumbre				
						2%	5%	8%	10%	15%
0 a 10	6.00	0.00	1	6	Teórica	0	0	0	0	0
					Real	0	0	0	0	0
10 a 20	14.50	2.47	2	29	Teórica	291	47	18	12	5
					Real	2	2	2	2	2
20 a 30	23.67	1.25	3	71	Teórica	28	4	2	1	0
					Real	3	3	2	1	0
30 a 40	35.67	1.80	6	214	Teórica	25	4	2	1	0
					Real	6	4	2	1	0
40 a 50										
50 a 60	55.00	0.00	1	55	Teórica	0	0	0	0	0
					Real	0	0	0	0	0
60 a 70										
70 a 80										
80 a 90										
90 a 100	91.50	1.50	2	183	Teórica	3	0	0	0	0
					Real	2	0	0	0	0
580 a 590										
590 a 600	597.00	0.00	1	597	Teórica	0	0	0	0	0
					Real	0	0	0	0	0
<b>72.19</b>			<b>16</b>	<b>1155</b>	<b>MUESTRA REAL</b>	13	9	6	4	2
		<b>Usuarios</b>	<b>Vol/m3 - Comercial</b>	2%		5%	8%	10%	15%	

Tabla 3.8. Tamaño de la muestra comercial 13 mm Frecuencia Maza y Barranco.

Tipo de Usuario	Número de Usuarios	% Usuarios con micromedidor	Volumen Consumido [m3/ Bimestre]	% Volumen Consumido en el Bimestre	Incertidumbre [Usuarios]				
					2%	5%	8%	10%	15%
Popular	313	91.25	11147	79.76	203	119	72	58	48
Comercial	23	6.71	1471	10.53	21	14	8	6	3
Público	5	1.46	752	5.38	5	5	5	5	5
Industrial	2	0.58	605	4.33	2	2	2	2	2
<b>TOTAL</b>	<b>343.00</b>	<b>100.00 %</b>	<b>13,975.00</b>	<b>100.00 %</b>	<b>231</b>	<b>140</b>	<b>87</b>	<b>71</b>	<b>58</b>

Tabla 3.9. Tamaño de la muestra final para las áreas de estudio de Maza y Barranco.

### *3.3.5 Error de la Micromedición.*

Se instalaron 4 medidores auditores en 4 usuarios distintos, cada uno de ellos seleccionado de cada uno de los 4 rangos de consumo descrito en subcapítulo anterior.

Las mediciones se efectuaron durante 4 días, obteniéndose la evolución de la demanda de agua en cada medidor domiciliario para 3,6 y 24 horas. Las tablas 3.10 a 3.13 muestran la evolución en el tiempo de la demanda.

Por otra parte, de acuerdo con los datos del medidor “residente” del “usuario 1”, según la Norma Oficial Mexicana NOM-012-5CFI-1994, las condiciones de gastos a ser probados son los siguientes:

$Q_{\min} = 30.0$  l/hr, o  $Q_{\min} = 0.0083$  l/s; duración de prueba,  $t = 40$  minutos.

$Q_{\text{transición}} = 120.0$  l/hr, o  $Q_{\text{transición}} = 0.0333$  l/s; duración prueba,  $t = 10$  minutos.

Los datos metrológicos del micromedidor son los que aparecen a continuación.

1. Diámetro Nominal (DN) = 15 [mm].
2. Designación (N) = 1.5 [m<sup>3</sup>/h].
3. Clase: B.
4. Marca/Modelo: Cicasa/MMD-15LR.

La duración de la prueba considera el uso de un depósito aforador de 20 litros.

Las necesidades de tiempo para ejecución de las pruebas, nunca son aceptadas por los Usuarios, por lo que las pruebas son realizadas con gastos mayores a los especificados, el error en la micro medición y su cálculo parten de estas condiciones.

A continuación, se desarrolla el análisis del error en la micromedición.

## **Usuario 1.**

Este usuario, es del tipo consumo popular, al cual se le ubicó en el rango de consumo de **50 a 60 m<sup>3</sup>/Bimestre**. El volumen consumido por los usuarios de este rango, representa el **8.6 %** del volumen total medido en el área de estudio, incluyendo los sectores Maza Y Barranco.

El usuario fue ubicado a partir de los análisis estadísticos de consumos históricos en ese rango de consumo.

Como puede verse en la tabla **3.10**, el consumo medido promedio diario obtenido ser **de 0.90 m<sup>3</sup>/ día**, confirma el rango en el cual fue ubicado.

Los gráficos para **3, 6 y 24** horas, se muestran en las figuras **3.56 , 3.57, 3.58, en estas** figuras, puede observarse que los gastos máximos registrados es de **0.04 l/s** , para el grafico de 3 horas, de **0.023 l/s** para el caso de 6 horas y de **0.021l/s** para 24 horas.

Durante la prueba de precisión del medidor, el gasto mínimo registrado fue de **0.212 l/s** , el máximo de **0.371 l/s**. Observando los gráficos para 3,6 y 24 horas, significa que durante la medición del consumo, la mayor rapidez registrada y graficada , es cinco veces menor al registrado durante la prueba de precisión de tabla 3.11, por lo que el error registrado en este medidor puede considerarse que tiene una lectura de 0.5% de mas a la lectura correcta.

Si la rapidez de consumo superase a 0.37 l/s, la lectura sería de 7.5% de mas a la lectura correcta; sin embargo esto sería muy difícil de ocurrir en periodos demasiados cortos.

La tabla 3.11, muestra el formato de resultados de la prueba de precisión, concluyéndose que el total de los registros de consumo, estarían por debajo del  $Q_{min}$  de prueba, por lo que el volumen total de consumo se registraría con este porcentaje de error.

De acuerdo con lo anterior, el volumen de error por el consumo diario del Usuario 1, sería:

$$V_{\text{error dia}} = 0.0045 \text{ m}^3/\text{dia.}$$

$$V_{\text{error Bim}} = 0.274 \text{ m}^3/\text{Bim.}$$

Para el total de consumo del rango, 50 a 60  $\text{m}^3/\text{Bimestre}$ , sosteniendo las conclusiones antes descritas, el volumen de error al bimestre sería;

$$V_{\text{error Bimestre}} = 4.09 \text{ m}^3/\text{Bim}$$

Un procedimiento similar sería aplicado para los otros tres usuarios a los que se llevo a cabo la instalación de los medidores auditores.

Es importante señalar, que las pruebas de precisión debería ser acompañadas de una medición con medidor auditor, con registros de demanda en intervalos más reducidos de tiempo, con esto podrían diseñarse las pruebas de precisión del medidor domiciliario, con rango de gastos más probables de ocurrir en el proceso de consumo del usuario en estudio.

## Usuario 1

No.	FECHA	HORA	TIEMPO [Hr]	LECTURA DIARIA [m <sup>3</sup> ]	VOLUMEN CONSUMIDO [m <sup>3</sup> ]	VOLUMEN ACUMULADO [m <sup>3</sup> ]	GASTO [L/s]	Δ t [s]	VOLUMEN [m <sup>3</sup> ]	VOLUMEN ACUMULADO [m <sup>3</sup> ]
1	22/10/2010	22/10/2010 09:50	0.00	1.00						
2	23/10/2010	23/10/2010 09:50	24.00	2.80	1.80	1.80	0.021	86400.00	0.90	0.90
3	24/10/2010	24/10/2010 09:50	48.00	4.00	1.20	3.00	0.014	86400.00	1.50	2.40
4	25/10/2010	25/10/2010 09:50	72.00	5.20	1.20	4.20	0.014	86400.00	1.20	3.60
5	26/10/2010	26/10/2010 09:50	96.00	5.60	0.40	4.60	0.005	86400.00	0.80	4.40
No.	FECHA	HORA	TIEMPO [Hr]	LECTURA CADA 3 HORAS [m <sup>3</sup> ]	VOLUMEN CONSUMIDO [m <sup>3</sup> ]	VOLUMEN ACUMULADO [m <sup>3</sup> ]	GASTO [L/s]	Δ t [s]	VOLUMEN [m <sup>3</sup> ]	VOLUMEN ACUMULADO [m <sup>3</sup> ]
1	25/10/2010	25/10/2010 06:50	0.00	4.80						
2	25/10/2010	25/10/2010 09:50	3.00	5.20	0.40	0.40	0.037	10800.00	0.20	0.20
3	25/10/2010	25/10/2010 12:50	6.00	5.20	0.00	0.40	0.000	10800.00	0.20	0.40
4	25/10/2010	25/10/2010 15:50	9.00	5.20	0.00	0.40	0.000	10800.00	0.00	0.40
5	25/10/2010	25/10/2010 18:50	12.00	5.30	0.10	0.50	0.009	10800.00	0.05	0.45
6	25/10/2010	25/10/2010 21:50	15.00	5.40	0.10	0.60	0.009	10800.00	0.10	0.55
7	26/10/2010	26/10/2010 00:50	18.00	5.50	0.10	0.70	0.009	10800.00	0.10	0.65
8	26/10/2010	26/10/2010 03:50	21.00	5.60	0.10	0.80	0.009	10800.00	0.10	0.75
9	26/10/2010	26/10/2010 06:50	24.00	5.60	0.00	0.80	0.000	10800.00	0.05	0.80
10	26/10/2010	26/10/2010 09:50	27.00	5.60	0.00	0.80	0.000	10800.00	0.00	0.80
No.	FECHA	HORA	TIEMPO [Hr]	LECTURA CADA 6 HORAS [m <sup>3</sup> ]	VOLUMEN CONSUMIDO [m <sup>3</sup> ]	VOLUMEN ACUMULADO [m <sup>3</sup> ]	GASTO [L/s]	Δ t [s]	VOLUMEN [m <sup>3</sup> ]	VOLUMEN ACUMULADO [m <sup>3</sup> ]
1	25/10/2010	25/10/2010 03:50	0.00	4.70						
2	25/10/2010	25/10/2010 09:50	6.00	5.20	0.50	0.50	0.023	21600.00	0.25	0.25
3	25/10/2010	25/10/2010 15:50	12.00	5.20	0.00	0.50	0.000	21600.00	0.25	0.50
4	25/10/2010	25/10/2010 21:50	18.00	5.40	0.20	0.70	0.009	21600.00	0.10	0.60
5	26/10/2010	26/10/2010 03:50	24.00	5.60	0.20	0.90	0.009	21600.00	0.20	0.80
6	26/10/2010	26/10/2010 09:50	30.00	5.60	0.00	0.90	0.000	21600.00	0.10	0.90

*Tabla 3.10. Micromedición Análisis de curva de demanda por usuario. En prueba de precisión  $Q_{min}=0.212$  Us  $Q_{max}= 0.371$  Us.*

**PRUEBA DE PRECISIÓN VOLUMÉTRICA MICROMEDICIÓN INSTALADA Y EN OPERACIÓN ( 20 LITROS )  
SECTOR MAZA.**

NOMBRE USUARIO:	<input type="text" value="USUARIO 1"/>	TIPO USUARIO:	<input type="text" value="Doméstico"/>	DIÁMETRO TOMA:	<input type="text" value="13mm"/>
NÚMERO CONTRATO:	<input type="text" value="28110"/>	FECHA PRUEBA:	<input type="text" value="04/06/2010"/>	NÚMERO MICROMEDID:	<input type="text" value="1741172"/>
MARCA MICROMEDIDO:	<input type="text" value="Cicasa"/>	MODELO MICROMEDID:	<input type="text" value="Delaunet"/>		

**PRUEBA GASTO MÍNIMO  
( 20 LITROS )**

LECTURA INICIAL MICROMEDIDOR	<input type="text" value="1679.6732"/>						
TIEMPO LLENADO ( 20 LITROS )	<table border="1"><tr><td><input type="text" value="1"/></td><td><input type="text" value="33"/></td><td><input type="text" value="93"/></td></tr><tr><td>MIN</td><td>SEG</td><td>SEGUNDOS</td></tr></table>	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="33"/>	<input type="text" value="93"/>	MIN	SEG	SEGUNDOS
<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="33"/>	<input type="text" value="93"/>					
MIN	SEG	SEGUNDOS					
LECTURA FINAL MICROMEDIDOR	<input type="text" value="1679.6933"/>						
VOLUMEN MICROMEDIDO	<input type="text" value="20.1"/> LITROS						
VOLUMEN AFORO	<input type="text" value="20"/> Litros						
ERROR( vol micro-vol aforo)	<input type="text" value="0.1"/> litros						
ERROR(%)	<input type="text" value="0.5 %"/>						

NEGATIVO LEE DE MENOS  
POSITIVO LEE DE MAS  
CERO PRECISO

**PRUEBA GASTO MÁXIMO.  
( 20 LITROS )**

LECTURA INICIAL MICROMEDIDOR	<input type="text" value="1679.6933"/>						
TIEMPO LLENADO ( 20 LITROS )	<table border="1"><tr><td><input type="text" value="0"/></td><td><input type="text" value="58"/></td><td><input type="text" value="58"/></td></tr><tr><td>MIN</td><td>SEG</td><td>SEGUNDOS</td></tr></table>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="58"/>	<input type="text" value="58"/>	MIN	SEG	SEGUNDOS
<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="58"/>	<input type="text" value="58"/>					
MIN	SEG	SEGUNDOS					
LECTURA FINAL MICROMEDIDOR	<input type="text" value="1679.7148"/>						
VOLUMEN MICROMEDIDO	<input type="text" value="21.5"/> LITROS						
VOLUMEN AFORO	<input type="text" value="20"/> Litros						
ERROR( vol micro-vol aforo)	<input type="text" value="1.5"/> litros						
ERROR(%)	<input type="text" value="7.5 %"/>						

NEGATIVO LEE DE MENOS  
POSITIVO LEE DE MAS  
CERO PRECISO

**FOTO CUADRO MICROMEDIDOR**

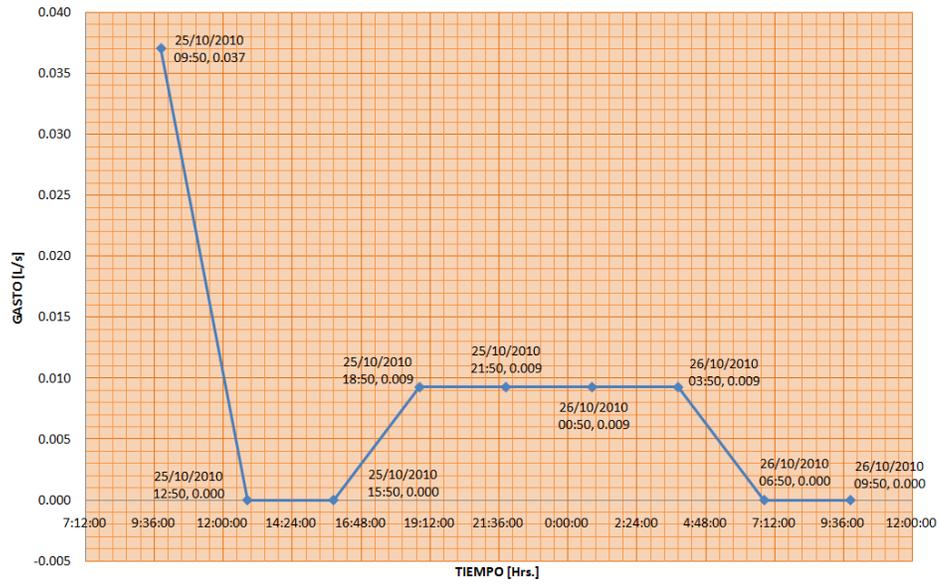


**FOTO PROCESO DE PRUEBA**



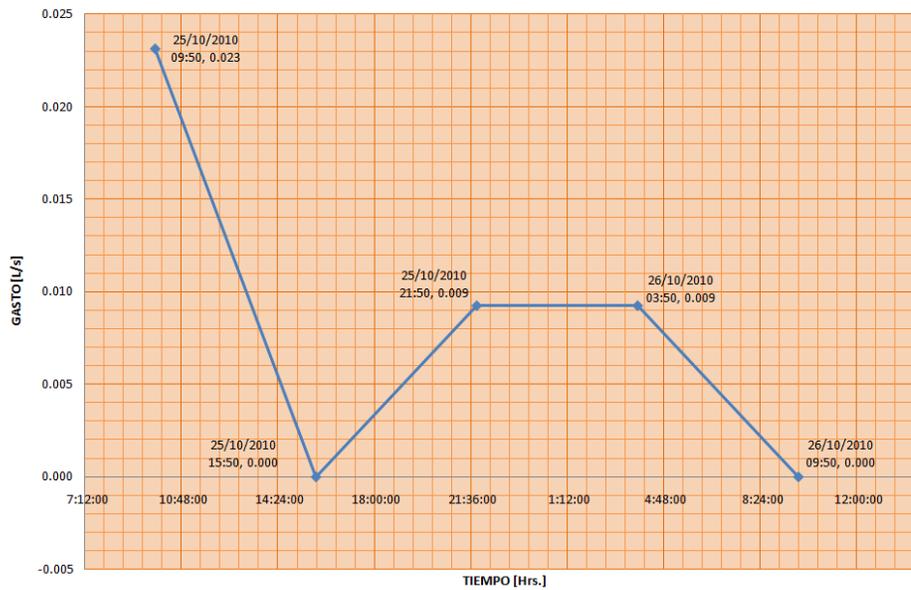
**Tabla 3.11 Usuario 1. Prueba de precisión al medidor domiciliario.**

**Curva de consumo. Usuario 1.**



**Figura 3.55 a. Usuario 1. Curva de demanda con lecturas cada 3 Horas.**

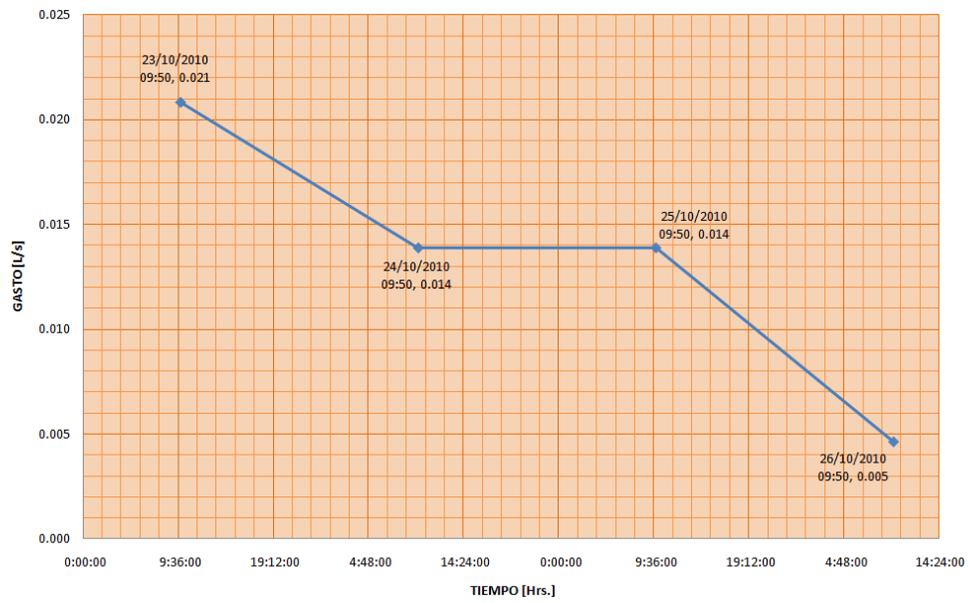
**Curva de consumo. Usuario 1.**



**Figura**

**3.55 b. Usuario 1. Curva de demanda con lecturas cada 6 Horas.**

***Curva de consumo. Usuario 1.***



***Figura 3.55 c. Usuario 1. Curva de demanda con lectura diaria.***

## **CAPÍTULO 4.**

### **EL BALANCE HIDRAULICO Y LA CALIBRACIÓN DEL MODELO NUMERICO.**

#### *4.1 BALANCE HIDRÁULICO.*

##### *4.1.1. Mediciones en Condiciones Originales de la Red.*

Se desarrolló del modelo numérico de la red, esto fue posible una vez que se ha obtenido la mejor información de la infraestructura, se han realizado distintas campañas de medición de gasto y presión, la demanda en cada nodo, fue obtenida a partir de la ubicación de los usuarios y los consumos históricos, su variación en el tiempo, se obtuvo a partir de la forma del hidrograma resultante de las diferencias entre el total de agua que entra al sector y el total de agua que sale.

El sistema de distribución, su comportamiento fue obtenido a través de las mediciones de presión en distintos tramos y confluencias de cruceros.

Las mediciones de gasto y presión a la entrada y salida del sector, se efectuaron durante lapsos de 24 horas o mayores en múltiplos de esta, con el mismo período de lectura, se obtuvieron las de presión en la red.

A partir de la interpretación de las mediciones de los volúmenes que entran y salen del sector (  $E - S$  ), respecto del consumo medido, es posible determinar el valor del ANC.

En el desarrollo de la sectorización en las áreas de Maza y Barranco, la resta entre los hidrogramas de entrada y salida de agua de cada sector, es el volumen resultante de agua que se ha quedado o consumido en el sector.

Este volumen resultante, supera fuertemente a la suma de volúmenes medidos y los estimados a través de los consumos promedios. Este excedente de volumen y el proceso de su **“distribuir en los nodos de la red del modelo”**, constituye la **“calibración del modelo numérico”**. La distribución de este volumen, se debe llevar a cabo, de tal forma que las mediciones de presión realizadas en diversos sitios de la red y las resultantes por el modelo, sean iguales o semejantes, cuando se ha logrado esto, se dice que el **“modelo ha sido calibrado”**. El resultado de la calibración, debería reportar los hidrogramas de entrada y salida del sector calculado, igual o muy semejante a los medidos; este procedimiento debería sujetarse a los rangos máximo y mínimo de coeficientes de fricción, así como al número de pérdidas locales, dependiendo esta del número de piezas especiales existentes y las condiciones operativas del equipamiento.

La separación para cada intervalo de tiempo de análisis, de los volúmenes: Volumen de Entrada, Volumen de Salida, Volumen consumido en el sector, de este último sus componentes, volumen consumido medido, volumen error de la micro y macro medición, volumen por fugas y volumen por clandestinaje, todos estos variando en el tiempo en función de la hora de demanda, se obtiene aplicando la ecuación de continuidad, a este proceso se le llama: **Balance Hidráulico**.

En este tipo de proyectos, siempre la cantidad de agua que entra y la que se consume es significativamente superior a la estimada de acuerdo con la dotación de agua por habitante, especificada en las normas de diseño de la CONAGUA, o bien a la que se estime de acuerdo con los registros de consumos medidos por el Organismo de servicios del agua.

Para las condiciones originales, se han realizado mediciones en las áreas de estudio durante 24 horas continuas para el gasto que entra y sale de cada una de las dos áreas de estudio, así como también de las presiones.

La determinación del ANC, se efectúa realizando el balance hidráulico, para el intervalo de tiempo medido de 24 horas.

Los consumos medidos y estimados se han mostrado en la **tabla 3.2**, la ecuación de balance para un  **$\Delta t = 10$  segundos de lectura y almacenamiento de datos, con una duración total de la medición de 24 horas;**

$$\Sigma E - \Sigma S = \Sigma C_{med} + \Sigma C_{est} + ANC \quad (4.1)$$

Despejando ANC;

$$ANC = \Sigma E - \Sigma S - (\Sigma C_{med} + \Sigma C_{est}) \quad (4.2)$$

Donde:

**$\Sigma E$**  es el volumen que entra al sector en  $m^3$

**$\Sigma S$**  es el volumen que sale del sector en  $m^3$

**$\Sigma C_{med}$**  es el volumen medido consumido en el sector  $m^3$

**$\Sigma C_{est}$**  es el volumen estimado consumido en el sector en  $m^3$

**ANC** es el agua no contabilizada en el sector  $m^3$

El **ANC**, cuando los medidores domiciliarios y los macro medidores están con el error en la precisión dentro de las tolerancias, el valor del **ANC**, depende exclusivamente de las fugas y de los consumos no autorizados (clandestinaje).

La ecuación de balance para distintos intervalos de tiempo, dejaría determinado el valor del ANC para cada intervalo, por lo que, las constantes incógnitas que

permiten definir la ecuación de fugas, así como del clandestinaje, se resuelven a partir del sistema sobre determinados.

$$ANC = C_0 \text{ fugas} + C_1 \text{ Clandestinaje} \quad (4.3)$$

Donde:

**Fugas** es una ecuación unitaria función de variación de presiones.

**C<sub>0</sub>** es incógnita a resolver del sistema sobre determinado.

**C<sub>1</sub>** es incógnita a resolver del sistema sobre determinado.

**Clandestinaje** es una ecuación unitaria función de la variación del consumo.

Con el fin de conocer el impacto del **ANC** en términos de la dotación de agua según las Normas de Diseño de la CONAGUA, el **ANC**, también puede ser expresado en términos de la dotación;

$$AQQ = \Sigma E - \Sigma S \quad (4.4)$$

$$DOT_1 = AQQ / \text{Hab} \quad (4.5)$$

$$DOT_2 = ( \Sigma C_{med} + \Sigma C_{est} ) / \text{Hab} \quad (4.6)$$

En términos de lo que usualmente la **COMISION NACIONAL DEL AGUA** señala en sus indicadores del servicio.

$$\%ANC = (AQQ - ( \Sigma C_{med} + \Sigma C_{est} )) \times 100 / \Sigma E \quad (4.7)$$

En términos de las dotaciones 1 y 2, las ecuaciones **4.5** y **4.6**

$$ANC_{dot 1 y 2} = DOT_1 - DOT_2 \quad (4.8)$$

La expresión **4.8**, permite conocer la cantidad de agua que no se contabiliza per cápita, la cual puede compararse con la dotación media para el tipo de población y clima. El caso de los dos sectores abordados, como pudo observarse en la estructura de usuarios y sus tipos, se trata de sectores con una preponderancia

de usuarios domésticos populares, por lo que las expresiones, pudiesen variar si existen dos tipos de usuarios preponderantes distintos.

#### Sector Maza y Barranco. Balance. SVRP

Las mediciones realizadas durante las fechas del **3 al 4 de agosto del 2010**, del **5 al 6 de agosto del 2010**, las del **31 de agosto al 1 de septiembre** del mismo año, corresponden a mediciones con el sistema de distribución en condiciones originales; sin válvulas reguladoras de presión.

En las **figuras 4.1, 4.2, 4.3 y 4.4**, muestran además los cálculos de las ecuaciones para los valores del **ANC**, en el caso.

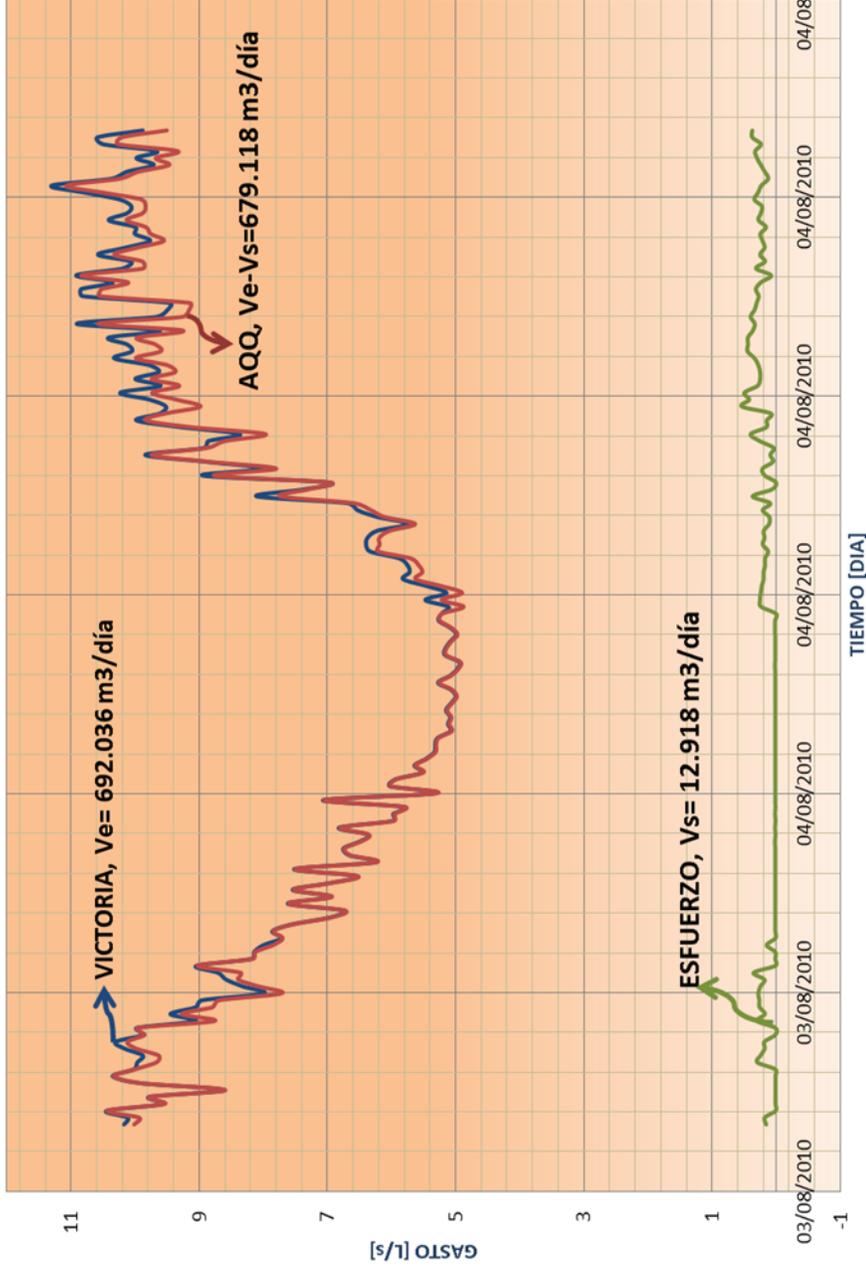
Durante las mediciones del **3 al 4 de agosto del 2010**, la cantidad de agua ofertada a las áreas de estudio, fueron importantes en volumen, se observa que ambas áreas de estudio, la cantidad de **ANC**, resultaron altas, **68%**.

Para la medición del 31 de agosto al 1 de septiembre, que se muestra en figura 4.2, el volumen ofertado disminuyó y el ANC, se mantuvo cercano al 60%.

Por otra parte, se observa que las presiones en la zona baja de la configuración topográfica, tuvieron valores máximos de **3.6 Kgf/cm<sup>2</sup> y 5.6 kgf/cm<sup>2</sup>** según el Sistema de Unidades Gravitacional.

Para las fechas medidas, en el Sector Maza y Barranco, los resultados indican que la demanda de agua durante el período del día, en las que se presentan bajo consumo y presiones altas, por lo que el componente más importante en el ANC, se deben a la presencia de fugas.

Lo anterior, significa que el volumen registrado como consumo, en el intervalo de del día con baja demanda, debería ser asociado principalmente a la presencia de fugas y en menor medida a las tomas clandestinas.



SUBSECTOR (MAZA)	
------------------	--

USUARIOS =	387
POBLACIÓN =	1,128 [hab]

Sin VRP

Medición del 03 al 04 de Agosto del 2010

AQQ =	679.118	[m3/día]
Dot <sub>1</sub> =	602.05	[l/hab/día]

Med Organismo =	210.53	[m3/día]
Cons. Per cápita (Med Organismo) =	Dot <sub>2</sub>	

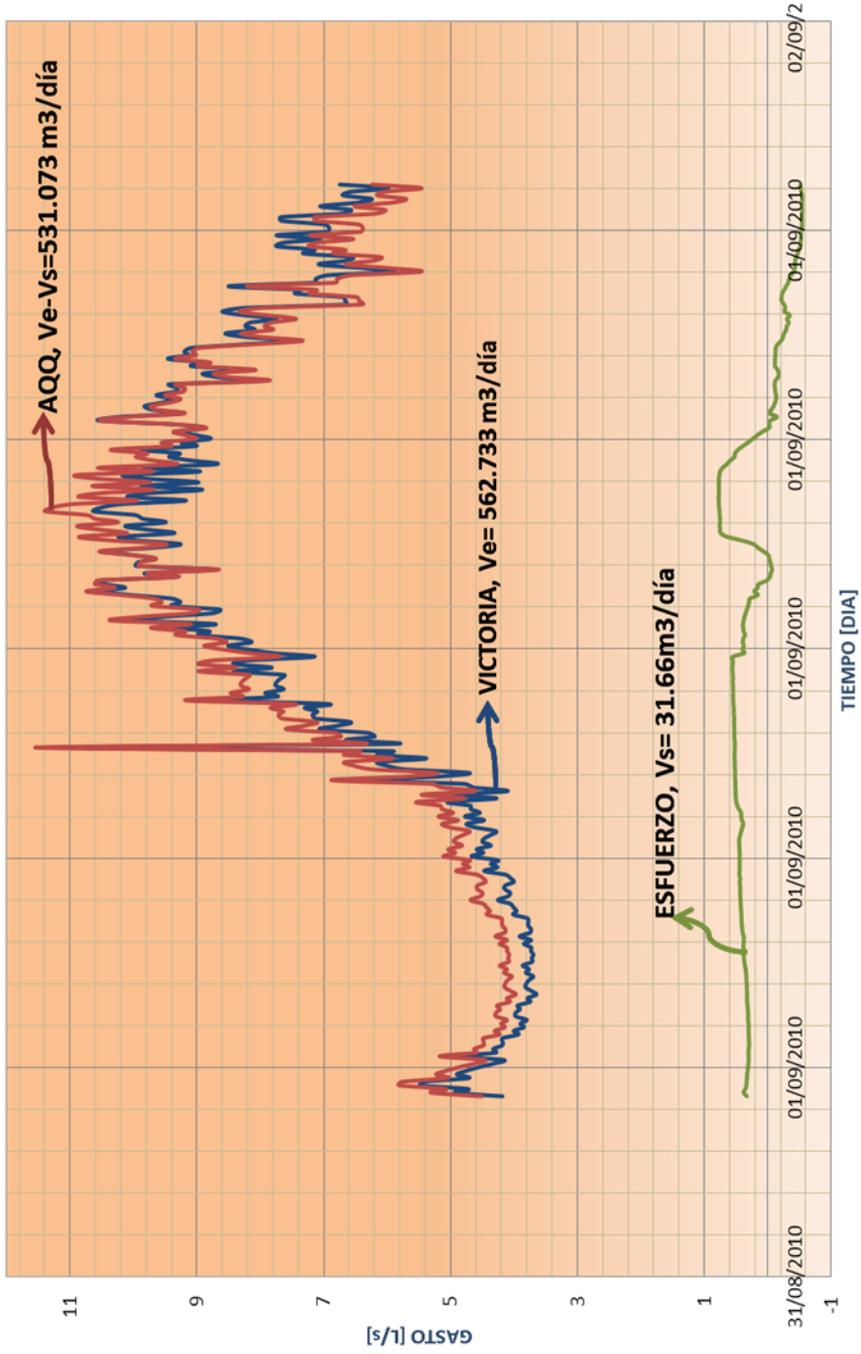
Dot <sub>2</sub> =	186.64	[l/hab/día]
--------------------	--------	-------------

ANC = Dot<sub>1</sub> - Dot<sub>2</sub> = 415.41 [l/hab/día]

ANC =	468.65	[m3/día]
-------	--------	----------

% ANC =	67.71 %
---------	---------

### 4.1. Balance y ANC. Maza SVRP. 03 al 04 agosto, 2010.



**SUBSECTOR (MAZA)**

USUARIOS =	387
POBLACIÓN =	1,128 [hab]

Sin VRP  
Medición del 31 Agosto al 01 de Septiembre del 2010

AQQ =	531.073	[m3/día]
Dot <sub>1</sub> =	470.81	[l/hab/día]

Med Organismo =	210.53	[m3/día]
Cons. Per cápita (Med Organismo) =	Dot <sub>2</sub>	

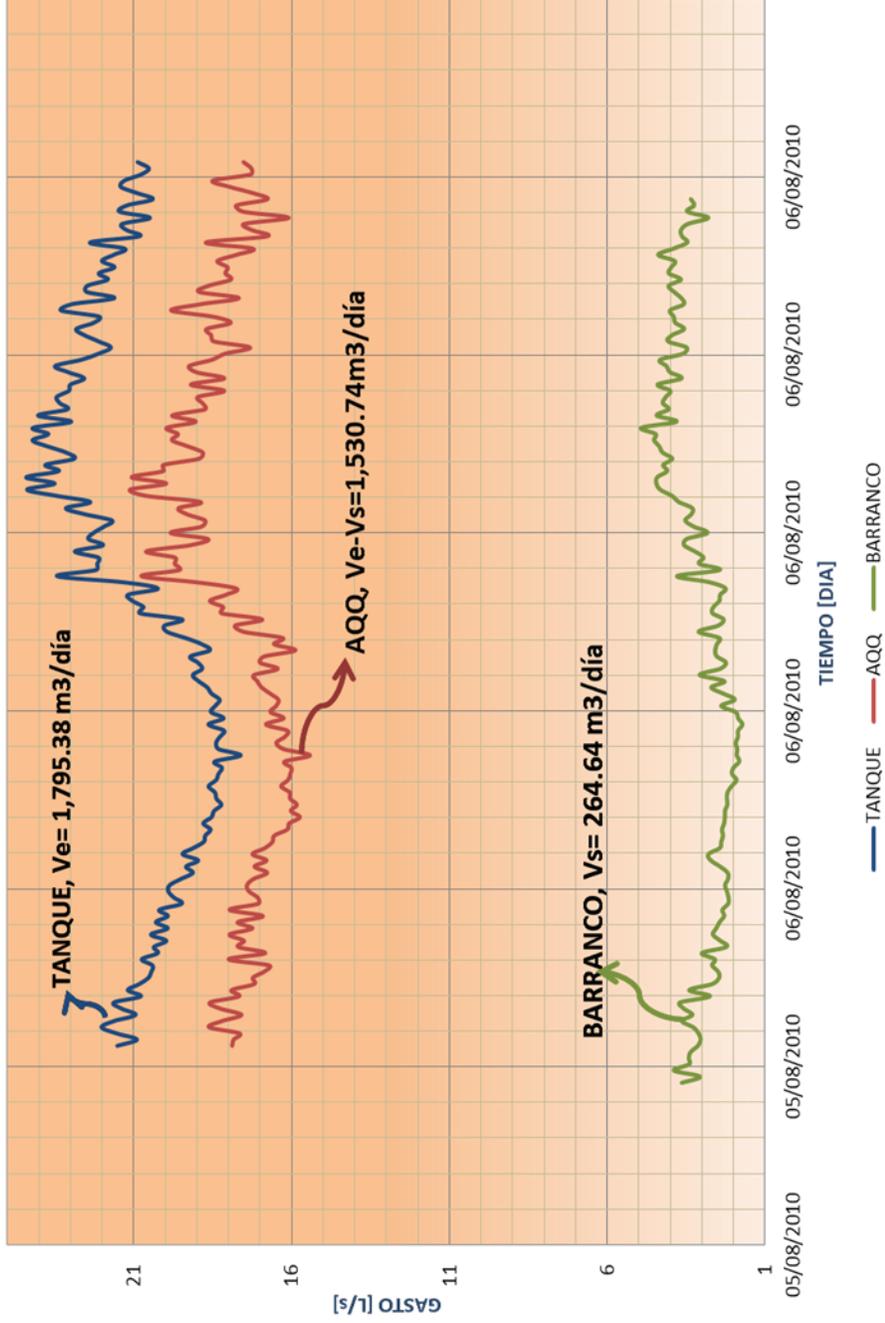
Dot <sub>2</sub> =	186.64	[l/hab/día]
--------------------	--------	-------------

ANC = Dot<sub>1</sub> - Dot<sub>2</sub> = 284.17 [l/hab/día]

ANC =	320.54	[m3/día]
-------	--------	----------

% ANC =	56.96 %
---------	---------

**Figura 4.2. Balance y ANC. Maza SVRP. 31 agosto al 01**



SUBSECTOR (BARRANCO)	
USUARIOS =	417
POBLACIÓN =	1,394 [hab]

Sin VRP

Medición del 05 al 06 de Agosto del 2010

AQQ =	1530.74	[m3/día]
Dot <sub>1</sub> =	1089.09	[l/hab/día]

Med Organismo =	310.43	[m3/día]
Cons. Per cápita (Med Organismo) =	Dot <sub>2</sub>	

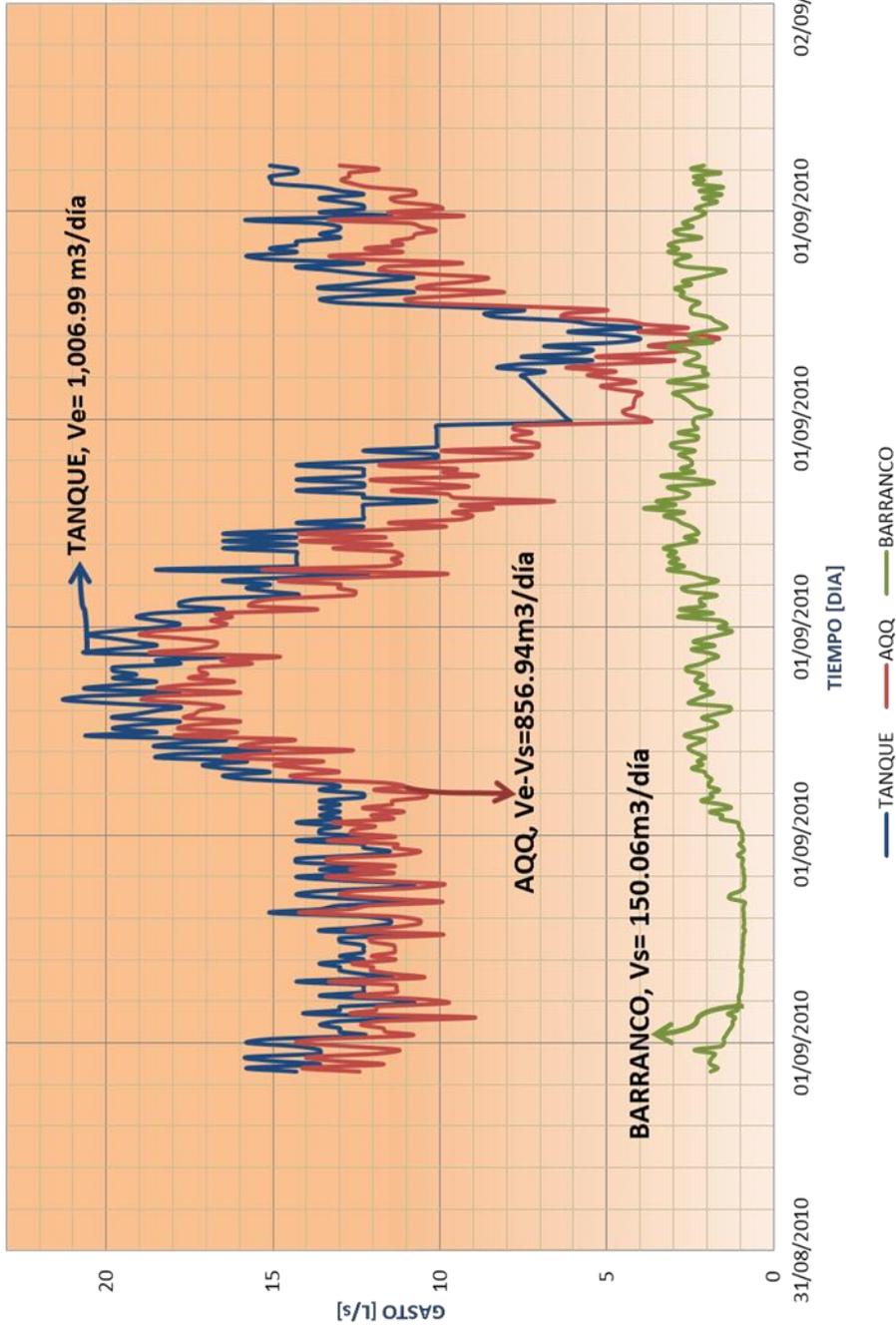
Dot <sub>2</sub> =	222.69	[l/hab/día]
--------------------	--------	-------------

ANC = Dot<sub>1</sub> - Dot<sub>2</sub> = 875.4 [l/hab/día]

ANC =	1220.31	[m3/día]
-------	---------	----------

% ANC =	67.97 %
---------	---------

Figura 4.3. Balance y ANC. Barranco. SVRP. 05 al 06 agosto, 2010.



SUBSECTOR (BARRANCO)	
USUARIOS =	417
POBLACIÓN =	1,394 [hab]

Sin VRP

Medición del 31 Agosto al 01 de Septiembre del 2010

AQO =	856.94	[m3/día]
Dot <sub>1</sub> =	614.73	[l/hab/día]

Med Organismo =	310.43	[m3/día]
Cons. Per cápita (Med Organismo) =	Dot <sub>2</sub>	

Dot <sub>2</sub> =	222.69	[l/hab/día]
--------------------	--------	-------------

ANC = Dot<sub>1</sub> - Dot<sub>2</sub> = 392.03 [l/hab/día]

ANC =	546.51	[m3/día]
-------	--------	----------

% ANC =	54.27 %
---------	---------

Figura 4.4. Balance y ANC. Barranco SVRP. 31 de agosto al 01 septiembre, 2010.

Para las del **31 de agosto al 1 de septiembre del 2010**, la magnitud de agua ofertada fue menor, el **ANC se redujo a 54%**, sin embargo, dado que el consumo utilizado para la determinación del **ANC**, es el obtenido de los promedios históricos de registros medidos, por lo que podría esperarse que en esta segunda fecha, el consumo real se redujese también, por lo que el **ANC**, en porcentaje, debiera ser semejante al anterior valor estimado.

En esta fecha, para la condición de máxima presión, se registraron presiones mayores, en el caso de Maza, **7 kgf/cm<sup>2</sup>** y en Barranco, las presiones fueron similares a las registradas el **3 y 4 de agosto**. Esto significa que el gasto fluyendo en las tuberías fue menor en la red, para el caso del área de estudio Maza.

Los valores determinados de **ANC**, son considerables, ya que para las dos fechas seleccionadas, en el menor de los casos, el **ANC**, en términos de la Dotación de **200 l/hab /día**, es superada en 1.0 y hasta 4.0 veces su valor.

Esto significa, que será necesario distribuir el volumen del **ANC**, en los diferentes nodos creados del modelo, o bien crear adicionales en el área en la que se han eliminado un mayor número de fugas.

#### *4.2 OBTENCIÓN DEL MODELO NUMÉRICO DE LA RED. CALIBRACIÓN.*

Para la obtención del modelo numérico y su calibración, se seleccionaron las mediciones de fechas: **31 de agosto al 1 de Septiembre del 2010**, ya que resultaron con mayor número de estaciones de presión disponibles.

Se utilizó el Software de **WaterGems, Bentley**, para la realización del Modelo Numérico, al cual se ingresó la información de infraestructura, resultante de los sondeos de cajas de válvulas, calas y topografía realizada.

La **figura 4.5 Maza** y **4.5 Barranco**, muestran la red hidráulica de cada sector, así como la ubicación de los puntos de medición de presión disponibles, y los de medición de gasto.

En las fechas de medición, se observa que se ha consumido una cantidad de agua en el área de estudio **Maza** con una dotación de agua en exceso de **284.2 litros/ hab/día** por habitante, lo que requirió distribuir esta agua adicional en fugas y consumo clandestino, de tal forma que el resultado de esta distribución de agua adicional, produjese que las presiones medidas fuesen iguales a las calculadas por el Modelo

El proceso de distribución del agua adicional, llevo a revisar las condiciones de factor de fricción en la red, ajustando valores de estos.

Para el caso del área de estudio **Barranco**, el balance hidráulico para la fecha de calibración, se ha obtenido que se consumió una dotación de agua adicional de **392.03 litros/ habitante/día**, por lo que este exceso de agua fue distribuido como consumo clandestino y fugas, la calibración consistió en el proceso de obtener que las presiones medidas y calculadas fuesen iguales, sin embargo se realizaron ajustes al factor de la fricción, en forma simultánea a los ajustes de consumos y fugas.

Durante las mediciones, se vigiló , que maniobras no deseadas para la sectorización, como lo fue “realizar la interconexión” entre los sectores **Maza** y **Barranco**, esto fue posible mediante la instalación de dos sitios de presión, **16 y 17**, los puntos de medición de presión, reportarían cualquier maniobra no autorizada de conexión entre las dos áreas de estudio.

A continuación se abordan los resultados de la calibración por cada uno de los Sectores, iniciando con el **Sector Maza**.

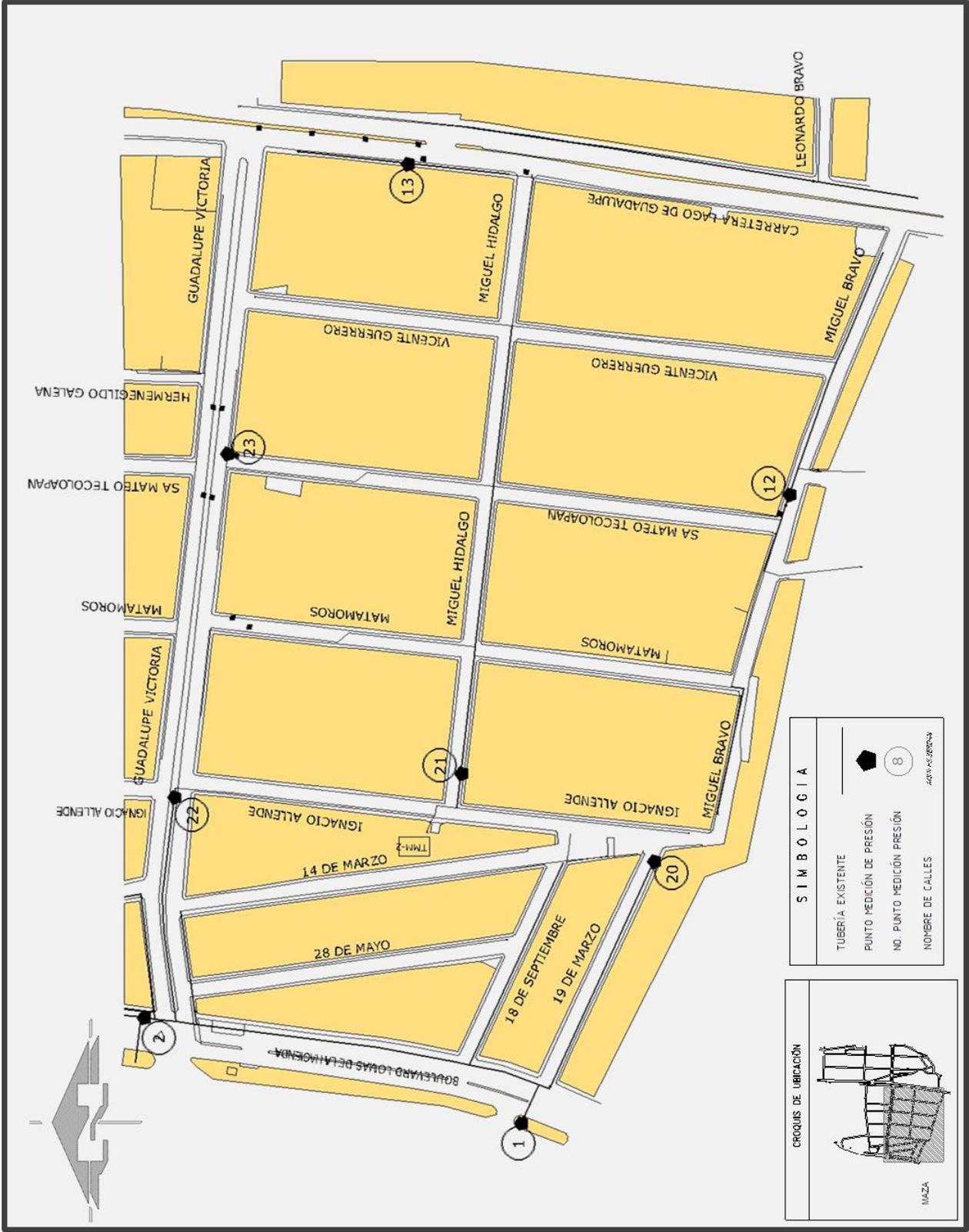
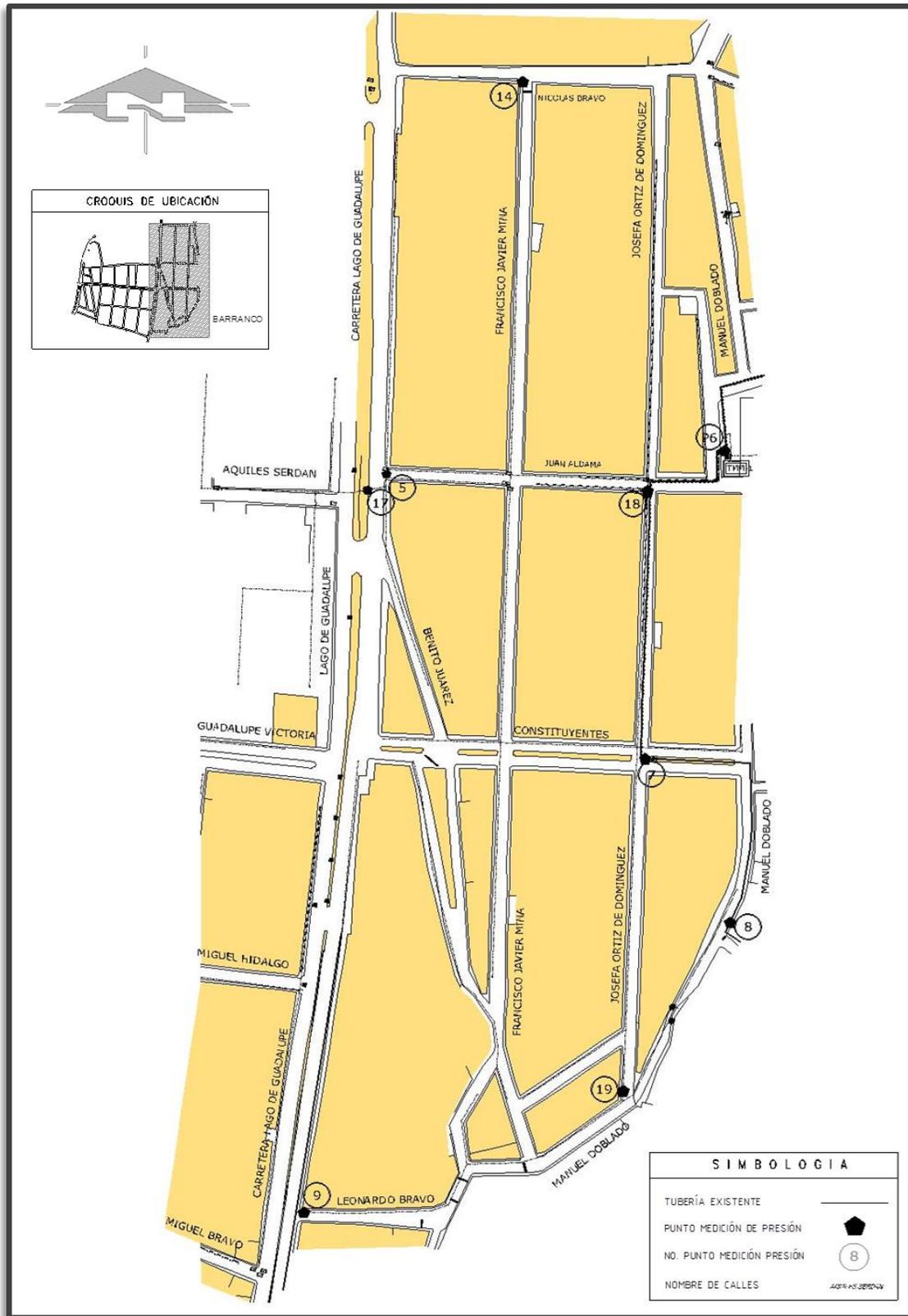


Figura. 4.5. Ubicación de puntos de medición de presión (Maza).



**Figura 4.5. Ubicación de puntos de medición de presión (Barranco).**

#### *4.2.1 Calibración: Maza.*

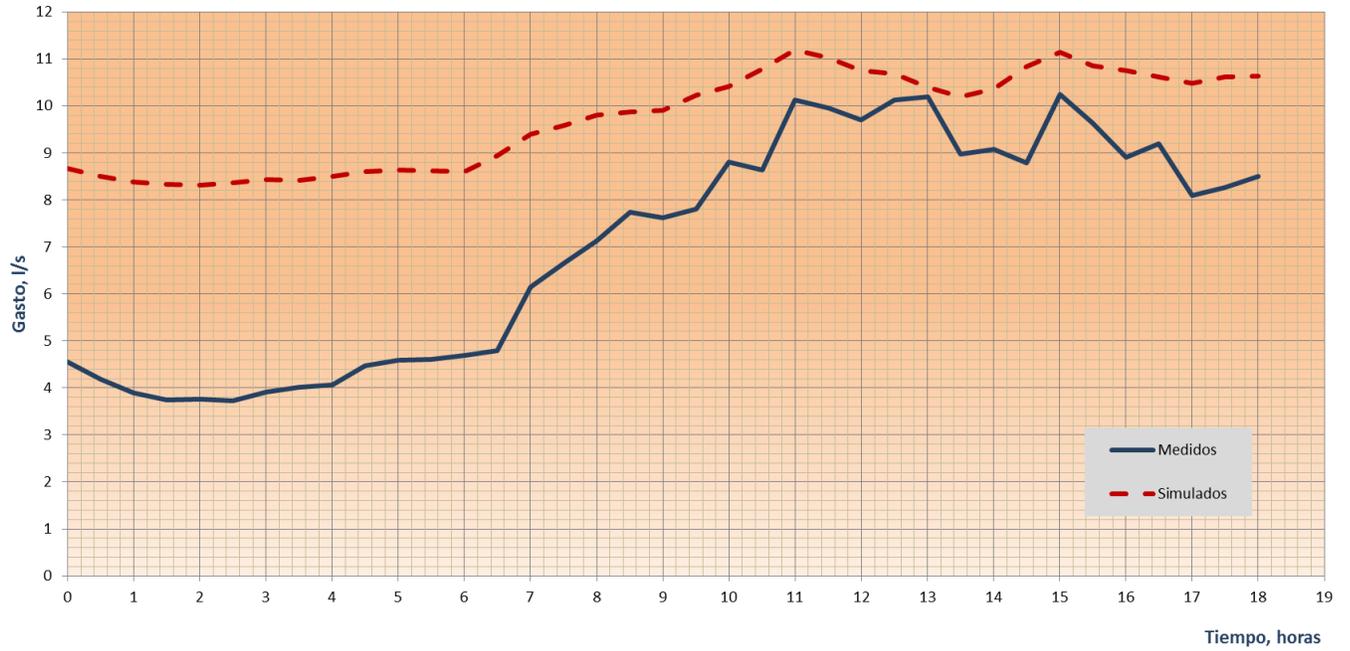
La calibración de gastos de Entrada / Salida en Maza, puede observarse en las **figuras 4.6 y 4.7**, en las primeras horas, fue necesario incrementar la entrada de agua al sistema, unas horas después se observa que la curva de cálculo se mantiene cercana a los datos medidos en el punto de **entrada Victoria**.

La **figura 4.7** gastos medidos y calculados en el sitio de **salida Esfuerzo**, del área de estudio Maza, se observa que prácticamente son iguales entre sí.

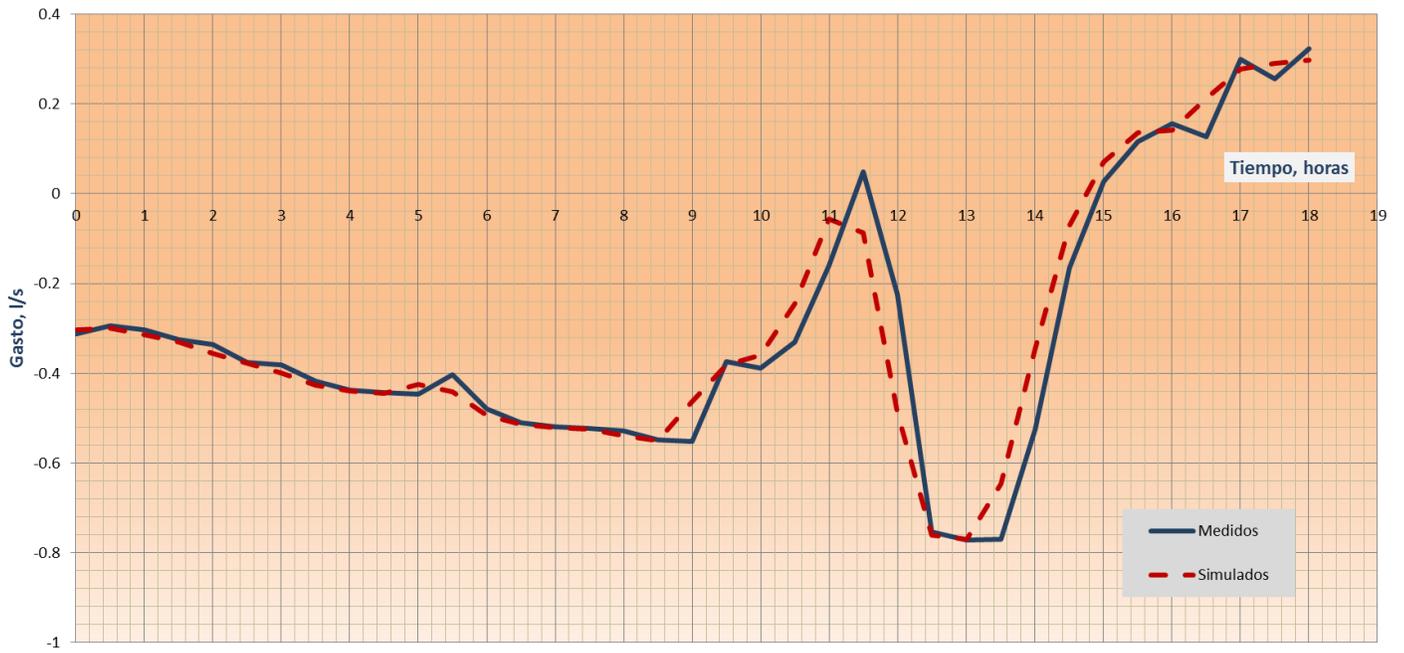
Con relación a las presiones dentro de la red, en el área de estudio Maza, los puntos de presión medidos y calculados son mostrados en la **figura 4.5**, además comparados en las **figuras 4.8, 4.9, 4.10, 4.11, 4.12, 4.13, 4.14, 4.15** con los resultado del cálculo por el modelo, en ellas puede observarse una excelente cercanía entre el cálculo y la medición.

Por lo anterior, se considero que estos resultados garantizaban una excelente calibración, de tal forma que el modelo numérico para el área de estudio para Maza, resultaba confiable para el desarrollo del proyecto de sectorización.

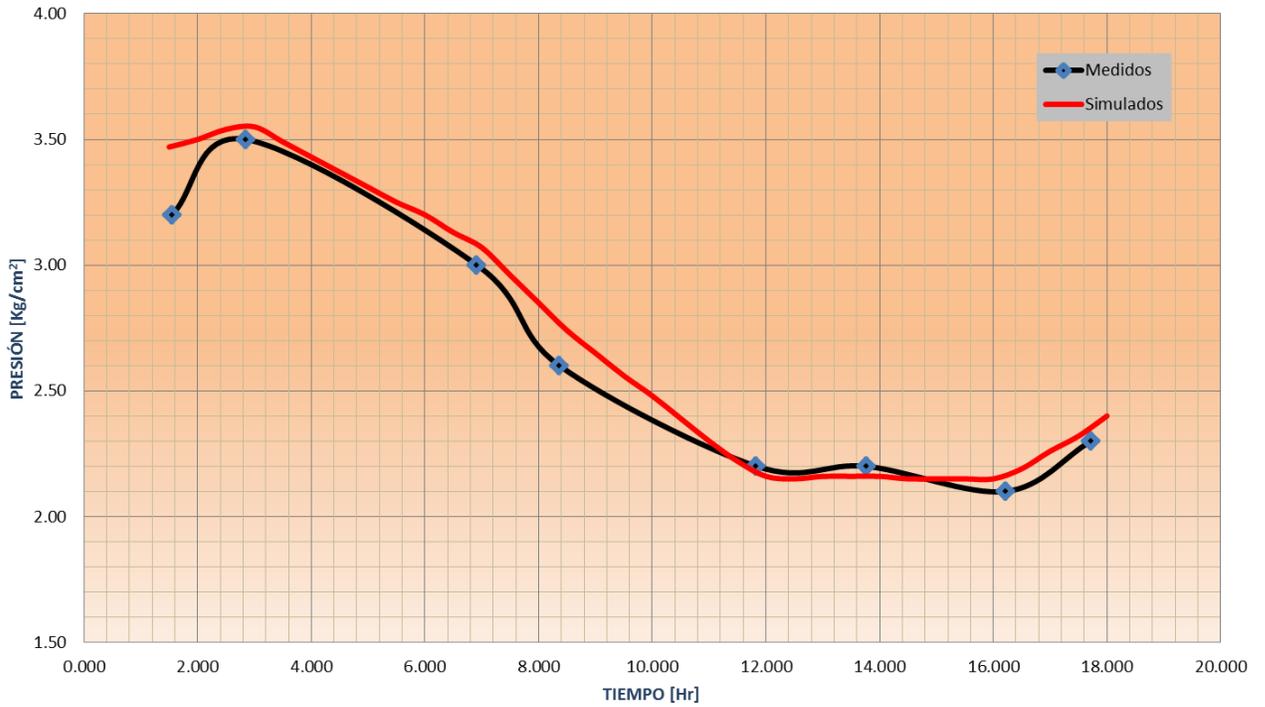
Por otra parte, considerando la edad y materiales de la tubería, se mantuvo en el cálculo para tubería de 2" una fricción de Hazen Williams de 97.5, así como para la tubería de 3" , el coeficiente fricción de Hazen Williams de 123.5, este ultimo coeficiente se mantuvo incluso para diámetros de 4", 6", 8" y 12".



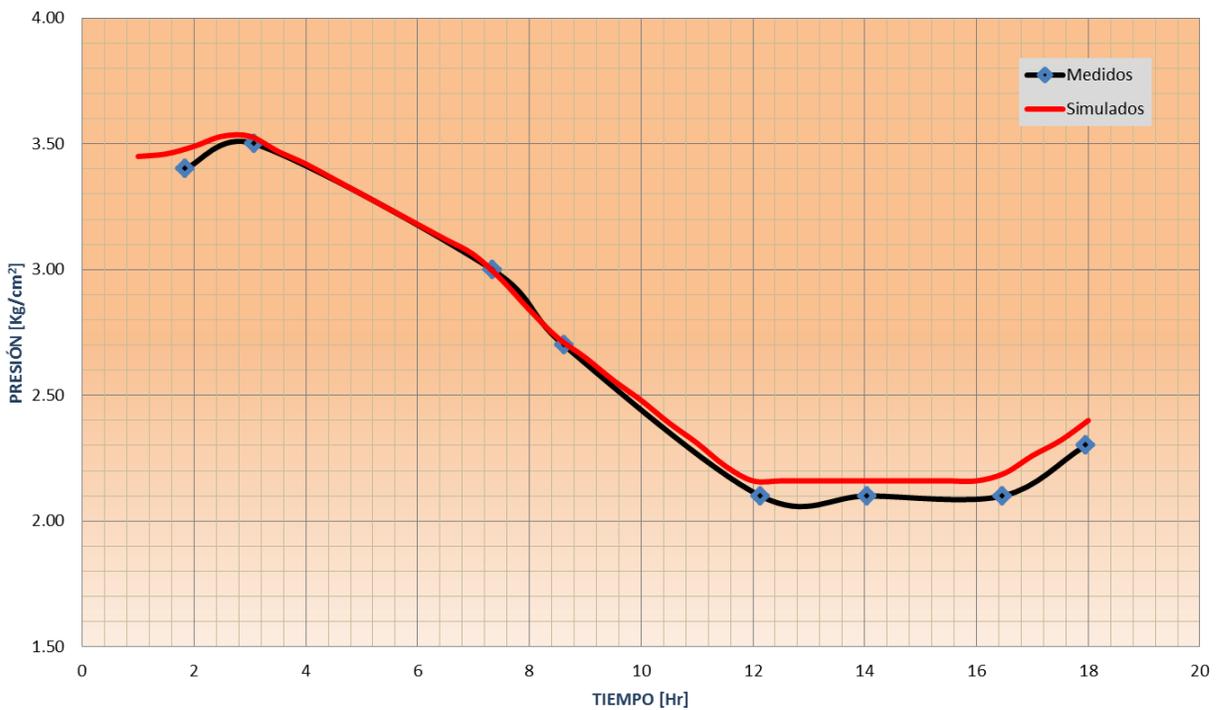
**Figura 4.6. Calibración Maza. Gasto Victoria.**



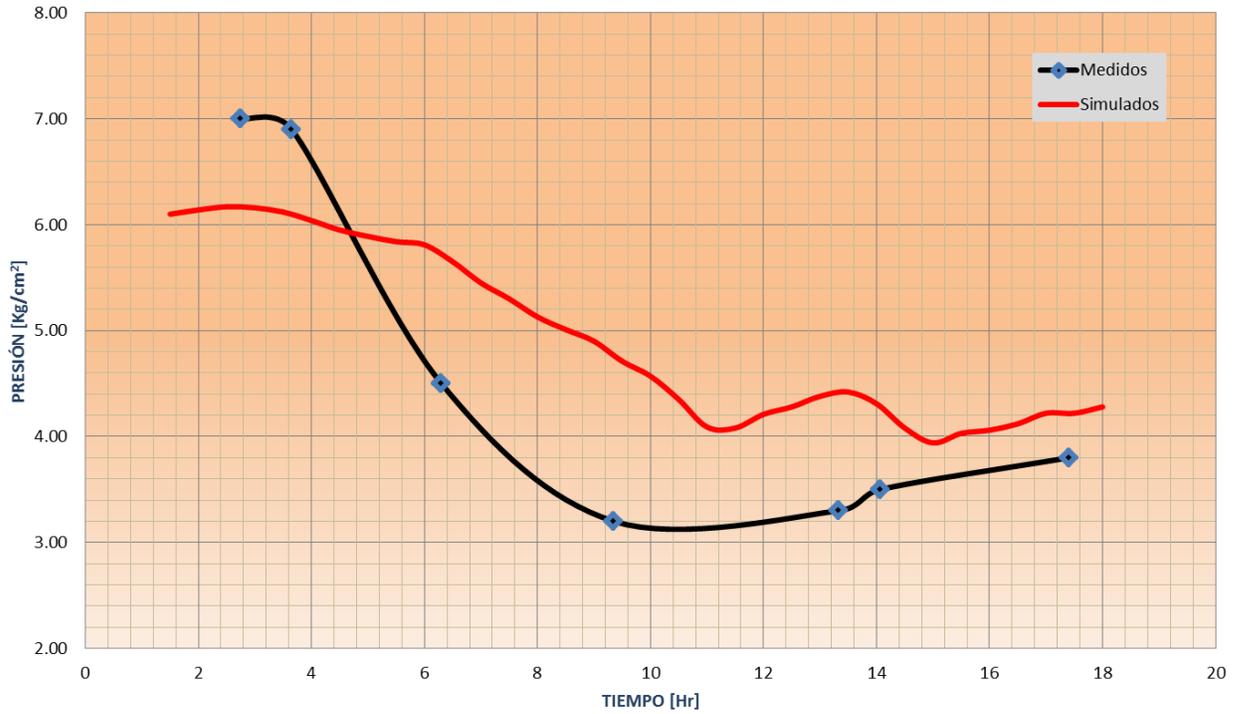
**Figura 4.7. Calibración Maza. Gasto Esfuerzo.**



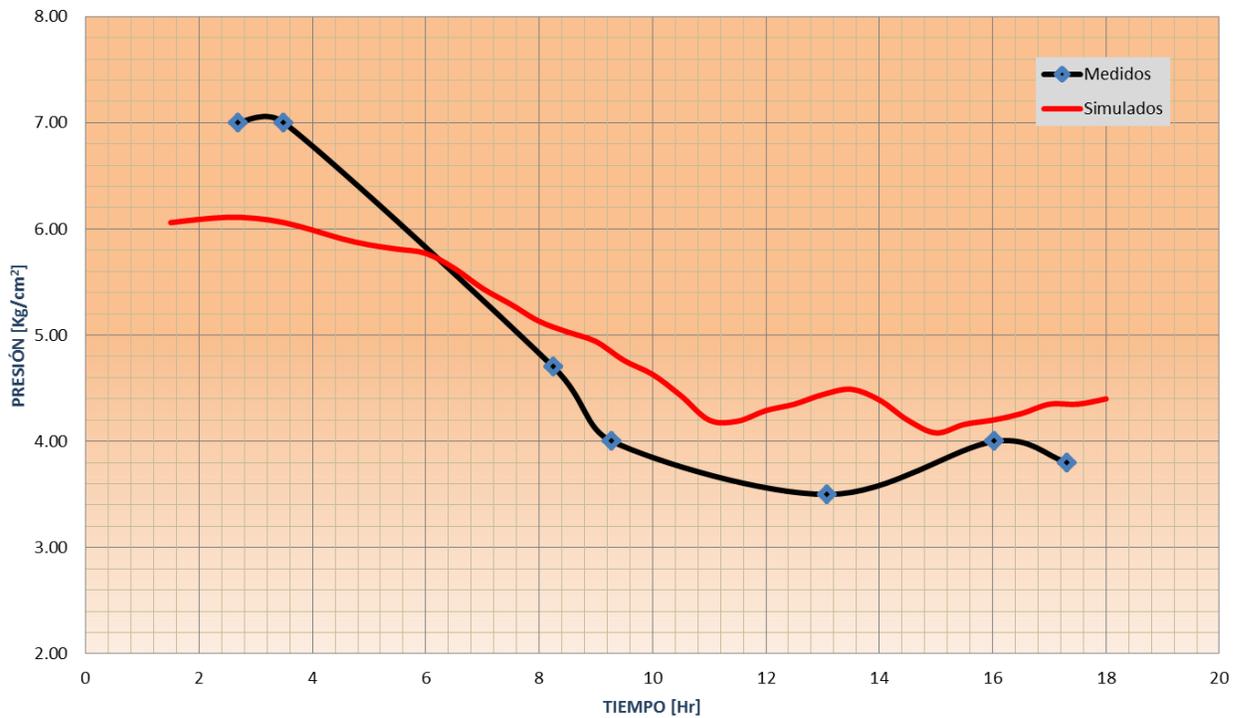
**Figura 4.8 Calibración Presión. Punto 1. Maza (31 de agosto al 01 de septiembre del 2010).**



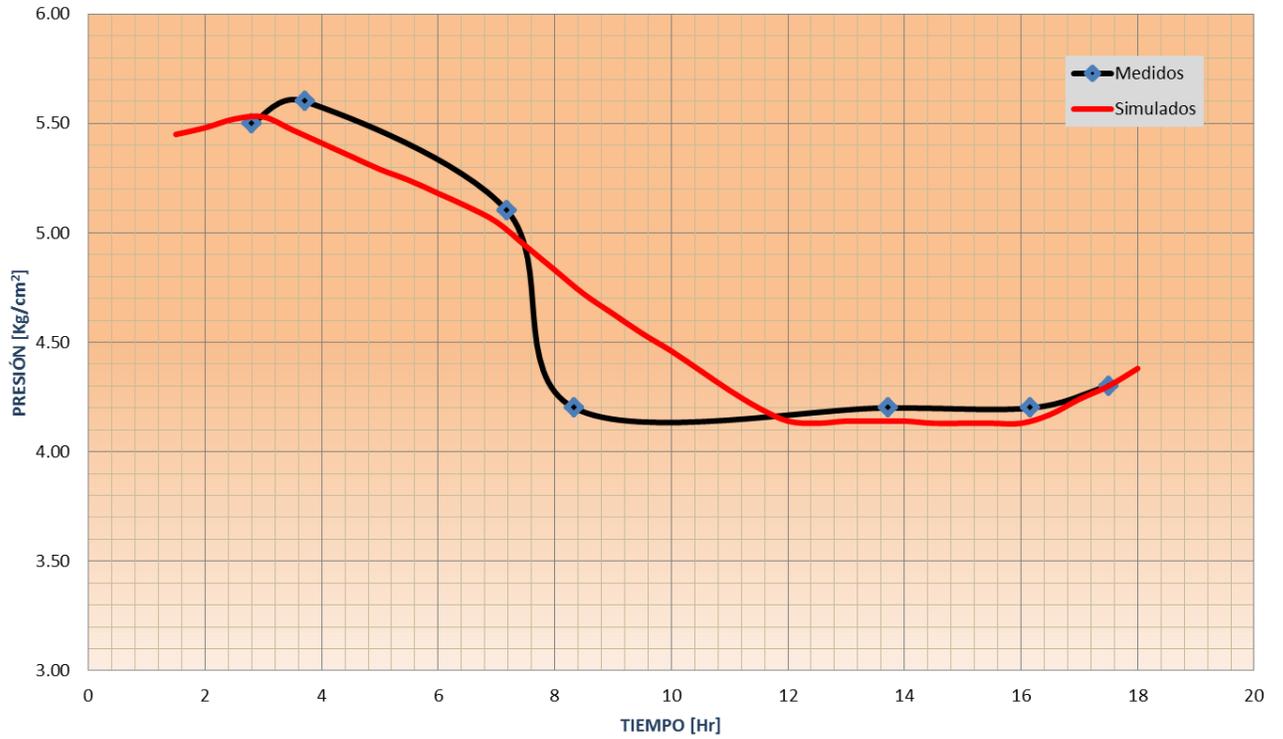
**Figura 4.9 Calibración Presión. Punto 2. Maza (31 de agosto al 01 de septiembre del 2010).**



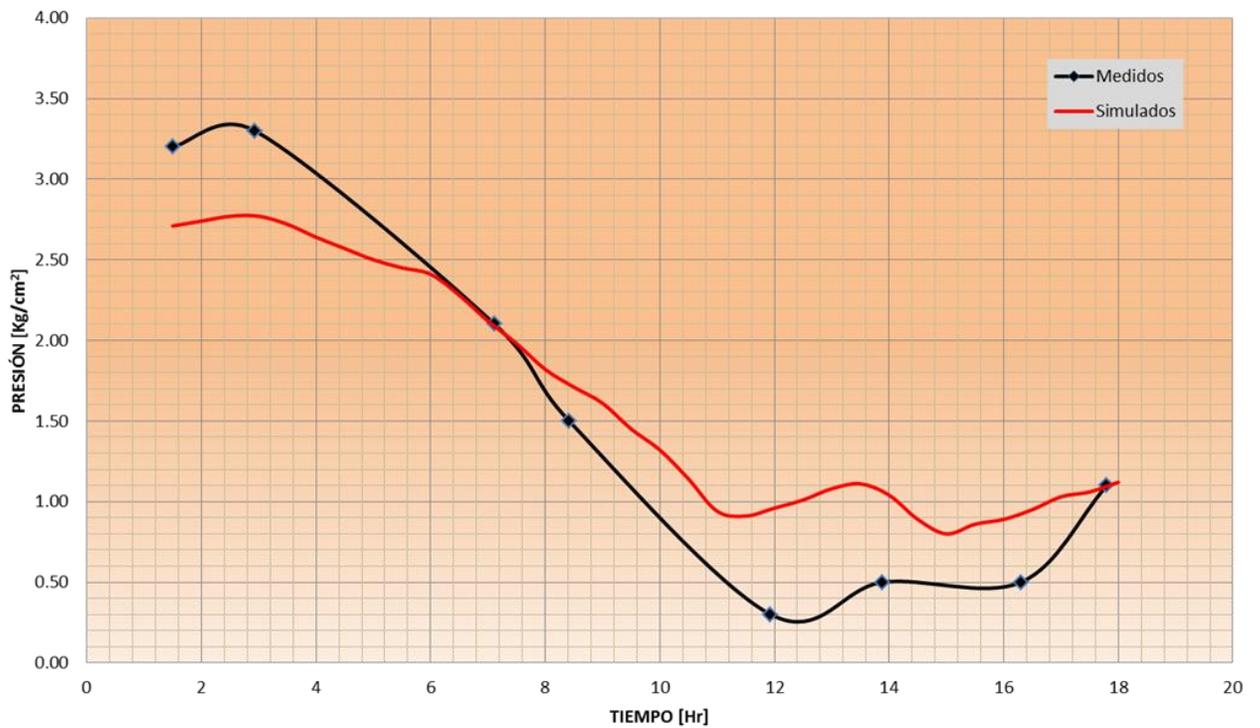
**Figura 4.10** Calibración Presión. Punto 12. Maza (31 de agosto al 01 de septiembre del 2010).



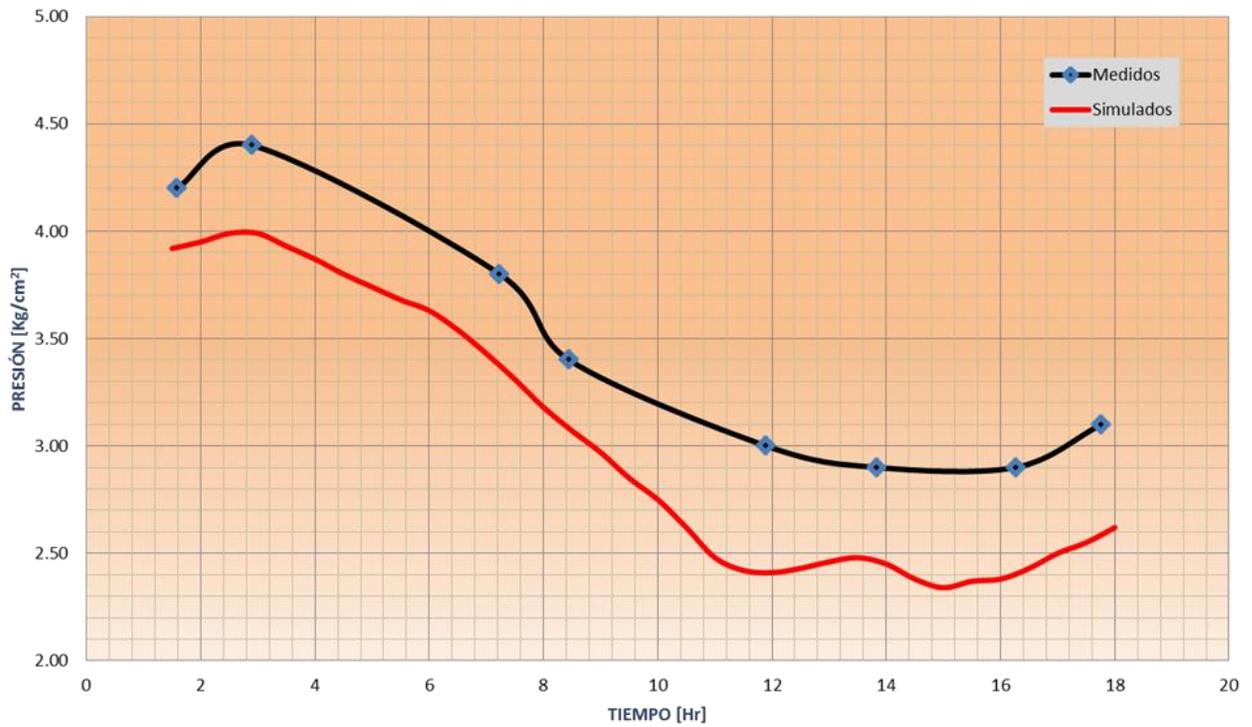
**Figura 4.11** Calibración Presión. Punto 13. Maza (31 de agosto al 01 de septiembre del 2010).



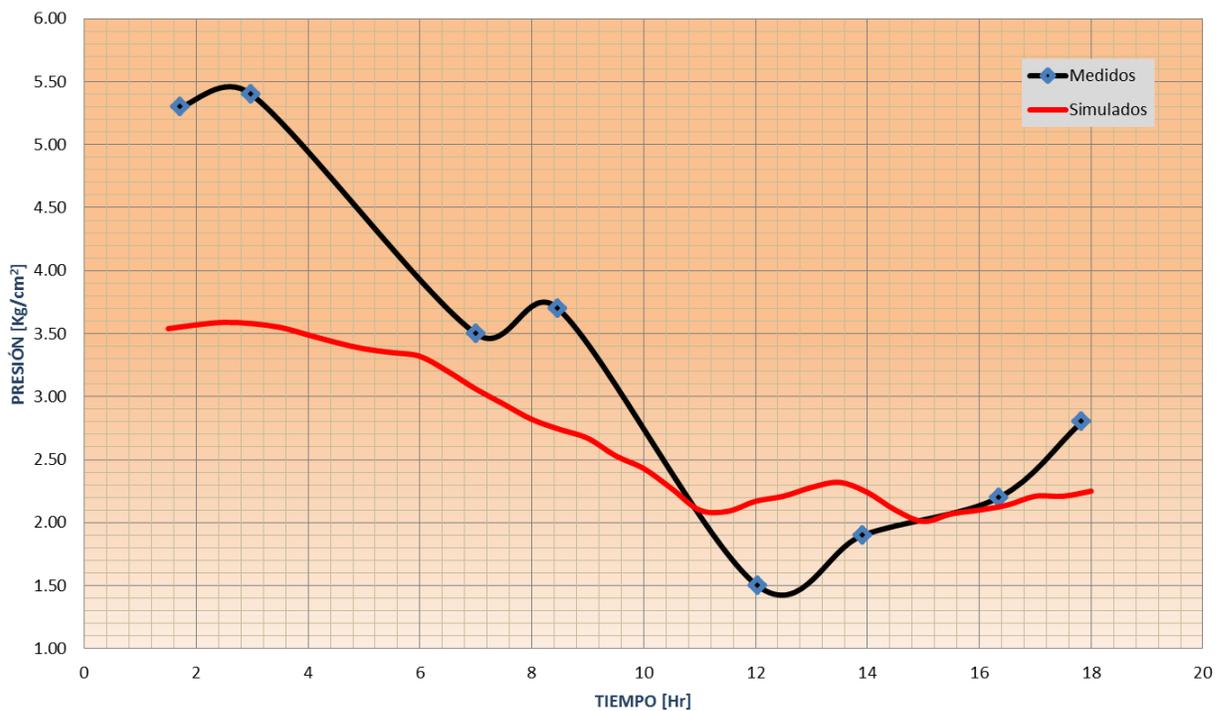
**Figura 4.12** *Calibración Presión. Punto 20. Maza (31 de agosto al 01 de septiembre del 2010).*



**Figura 4.13.** *Calibración Presión. Punto 21. Maza (31 de agosto al 01 de septiembre del 2010).*



**Figura 4.14 Calibración Presión. Punto 22. Maza (31 de agosto al 01 de septiembre del 2010).**



**Figura 4.15 Calibración Presión. Punto 23. Maza (31 de agosto al 01 de septiembre del 2010).**

#### *4.2.2. Calibración: Sector Barranco.*

La **figura 4.16**, representa la comparación entre los gastos de Entrada medidos y calculados en el área de estudio el Barranco. Se observa, que fue necesario reducir el gasto de entrada al inicio de la calibración y aumentarlo al final de ésta.

Al reducir el gasto de entrada, se produjo en efecto de reducción de pérdida por fricción, aumentando la presión en el sistema, esto permitió un mejor ajuste entre las presiones medidas y las calculadas.

En la parte final de la calibración, se aumento el gasto de entrada comparativamente, observándose una compensación entre las dos graficas, medida y calculada.

La medida de ajustes en los gastos, no resultaba una acción necesaria, sin embargo, la semejanza entre las mediciones y cálculos son fuertes, aún sin aplicar los ajustes en el gasto.

El sitio de salida de agua en área de Barranco, puede observarse en la **figura 4.17**, en donde los ajustes de agua en la entrada al sistema, dieron como resultado una gran similitud entre las mediciones y los cálculos.

Los resultados de la calibración para el área de estudio Barranco, se muestran en las **figuras: 4.18, 4.19, 4.20, 4.21, 4.22, 4.23, 4.24, 4.25 y 4.26.**

Se observa que el comportamiento de la presión calculada y medida en los sitios: punto presión 6 - **figura 4.19**, presión 7 - **figura 4.20**, presión 8 - **figura 4.21**, presión 17 - **figura 4.24**, presión 18 - **figura 4.25**, guardan entre las mediciones y el cálculo una excelente aproximación.

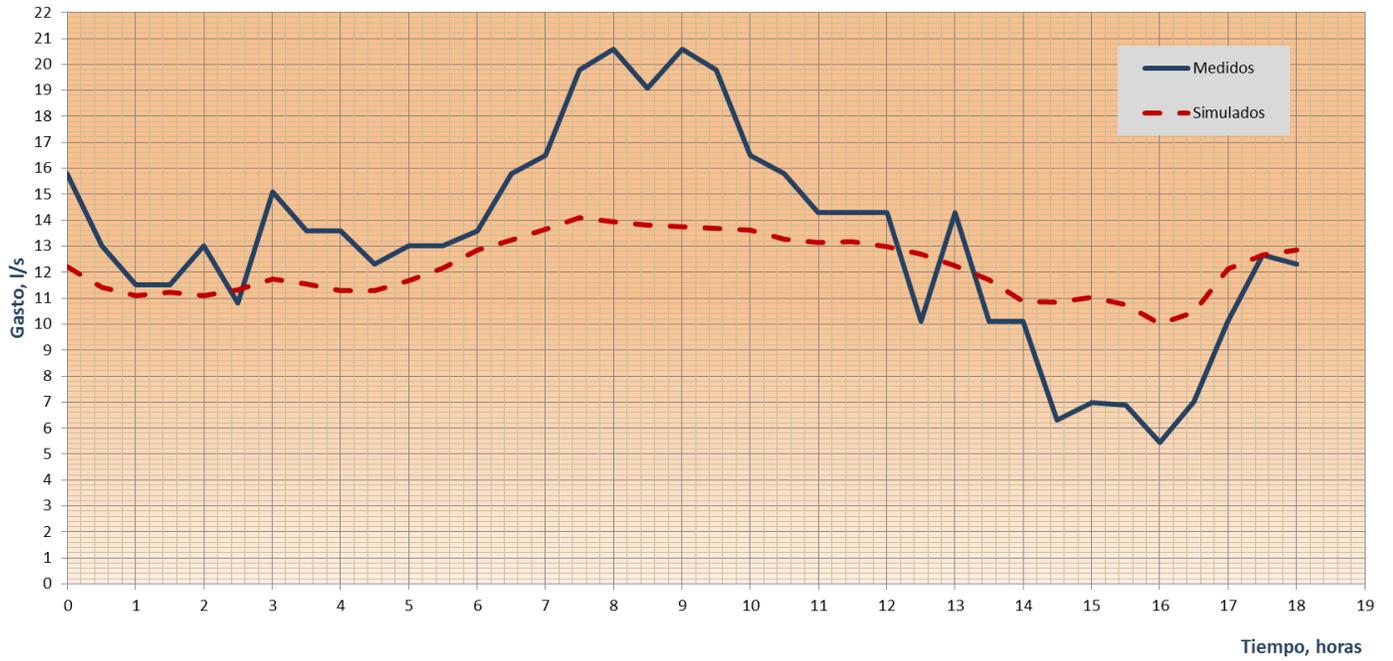
Sin embargo los sitios de presión 5 - **figura 4.18**, presión 9 - **figura 4.22**, presión 14 - **figura 4.23**, presión 19 - **figura 4.26**, son sitios que se encuentran lejanos a los sitios de entrada y salida de agua, en donde la presión medida siempre es

mayor a la calculada. Sin embargo, la aproximación es buena y la similitud entre las lecturas y el cálculo son cercanas y con la misma tendencia entre ellas.

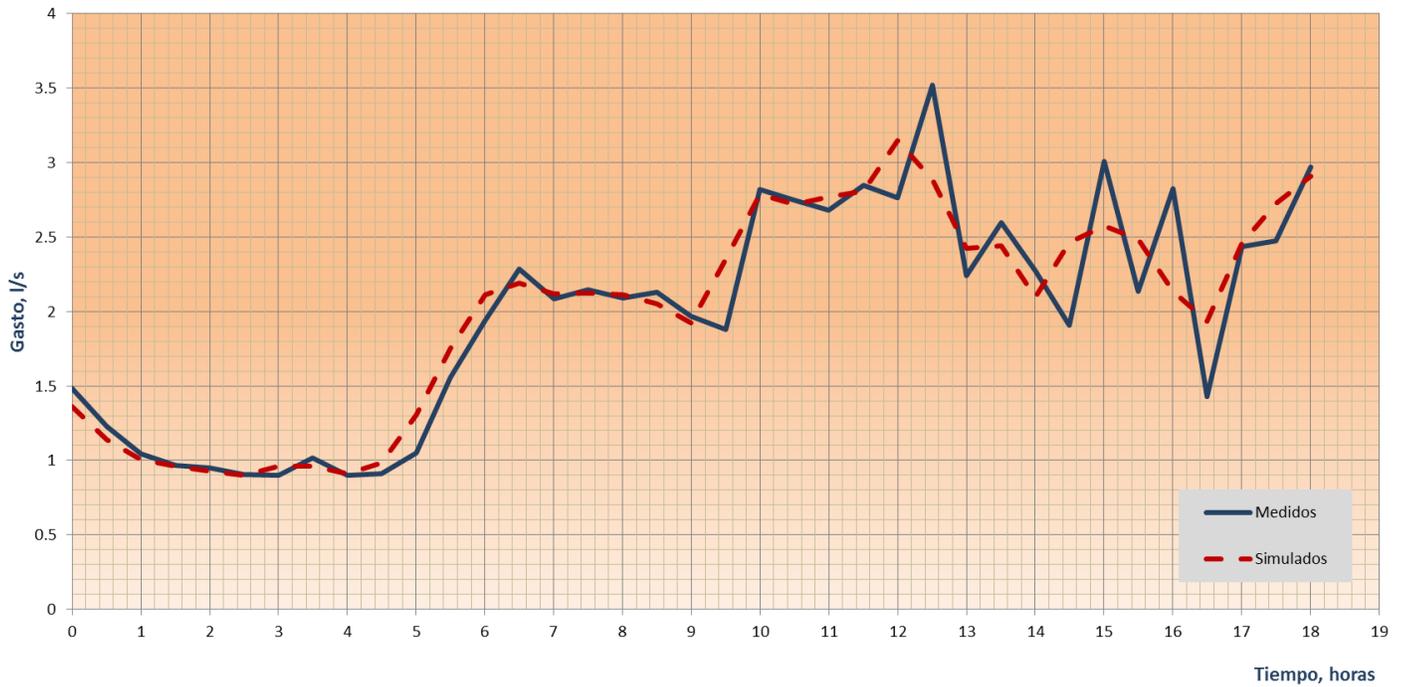
Por otra parte, considerando la edad y materiales de la tubería, se mantuvo en el cálculo para tubería de 2" una fricción de Hazen Williams de 97.5, así como para la tubería de 3" , el coeficiente fricción de Hazen Williams de 123.5, este ultimo coeficiente se mantuvo incluso para diámetros de 4", 6", 8" y 12".

El resultado de la calibración se ha impreso para dos horas importantes: mínima demanda y máxima demanda: 4:00 am madrugada y 9:00 am mañana, respectivamente.

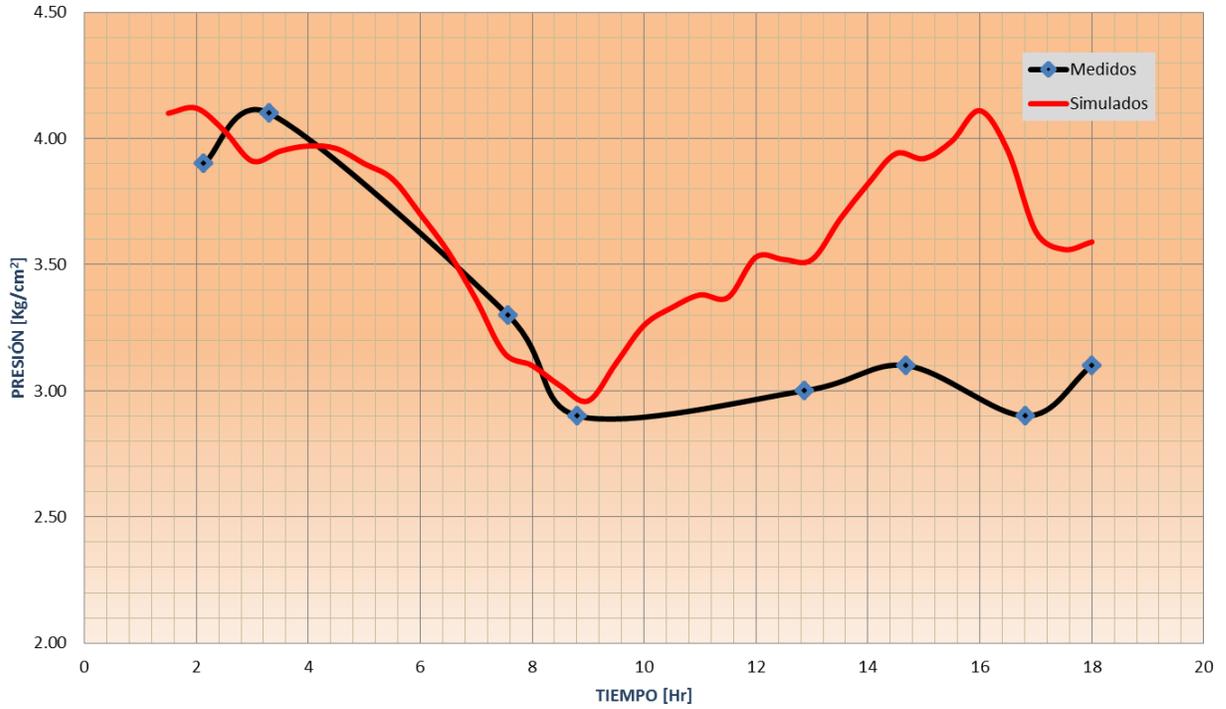
Las **figuras 4.27 y 4.29** muestran en los diferentes tramos y nodos, las cargas piezométricas y velocidades en los diferentes tramos y nodos de la red del Sector de estudio Maza. Para el caso del Sector Barranco, las **figuras 4.28 y 4.30**, muestran los resultados del funcionamiento hidráulico para las mismas condiciones de máxima y mínima demanda



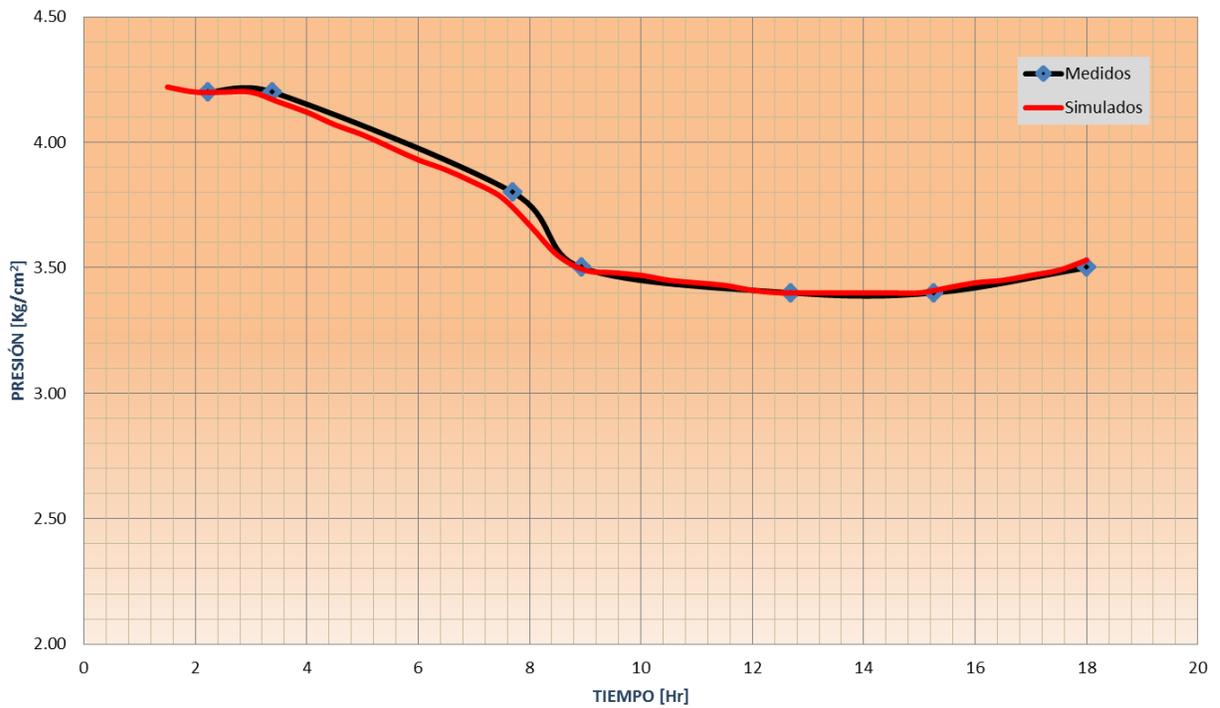
**Figura 4.16** Calibración. Barranco. Gasto Tanque.



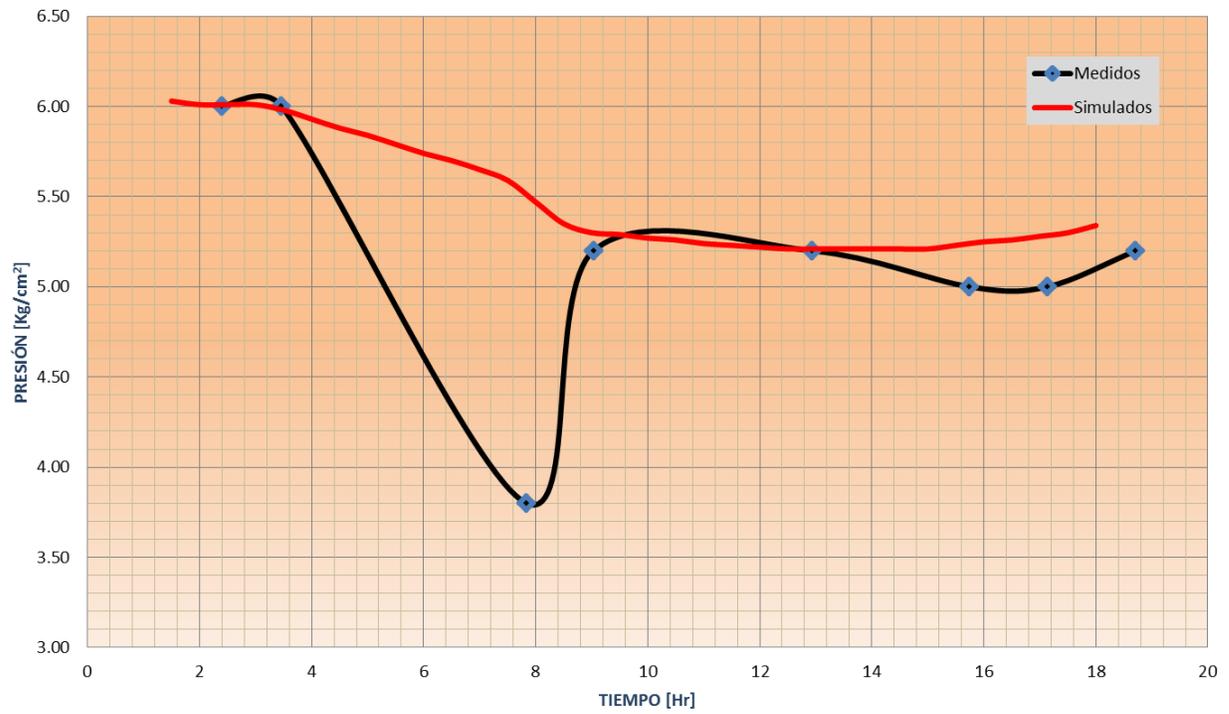
**Figura 4.17** Calibración. Barranco. Gasto Barranco.



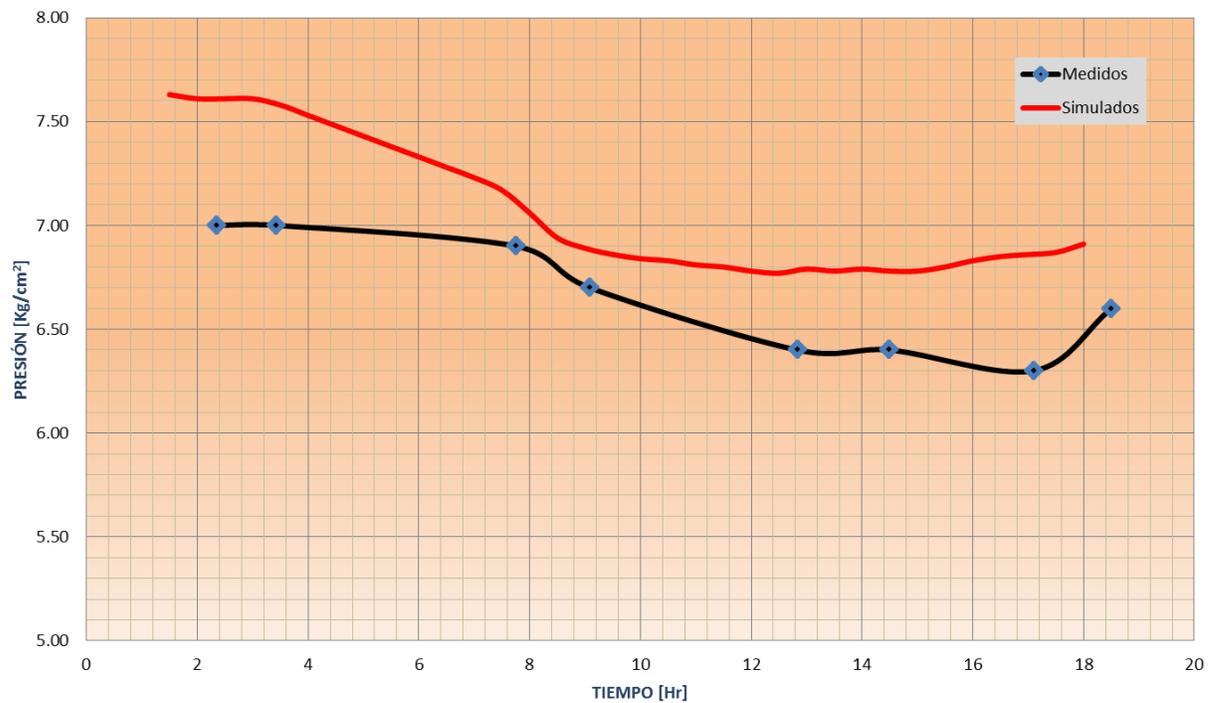
**Figura 4.18. Calibración 'Presión. Punto 5. Barranco (31 de agosto al 01 de septiembre del 2010)**



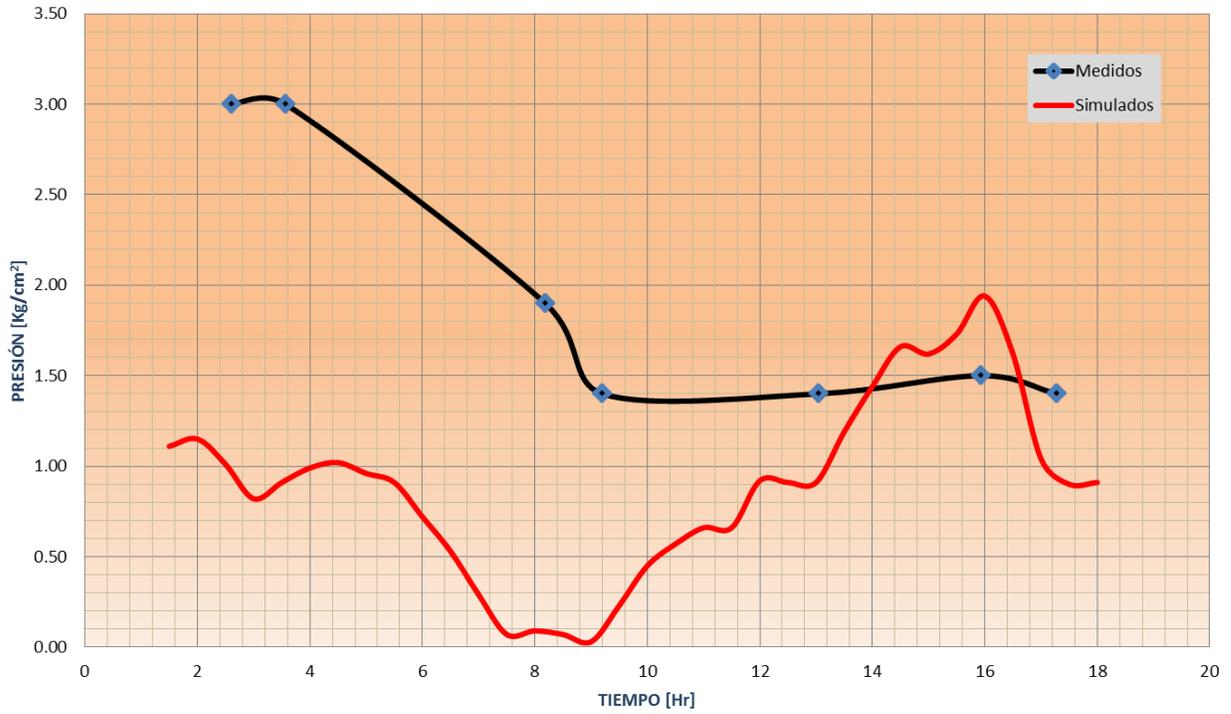
**Figura 4.19. Calibración 'Presión. Punto 6. Barranco (31 de agosto al 01 de septiembre del 2010)**



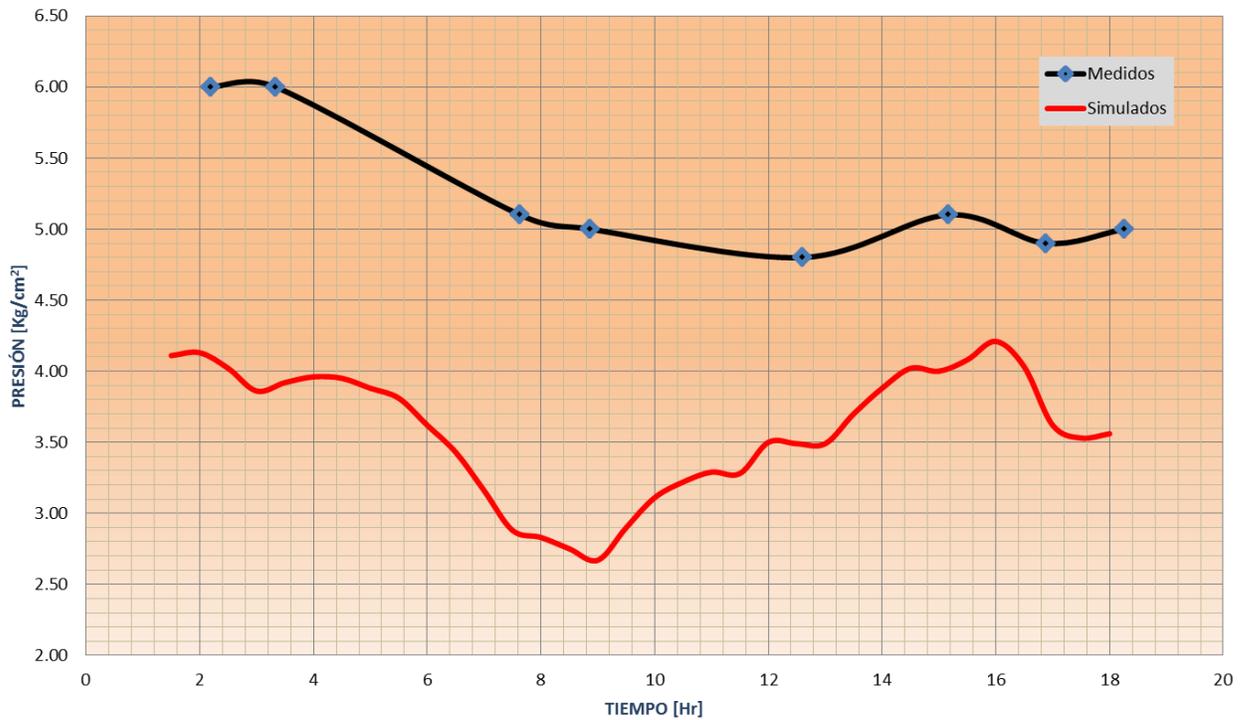
**Figura 4.20 Calibración. Presión. Punto 7. Barranco (31 de agosto al 01 de septiembre del 2010)**



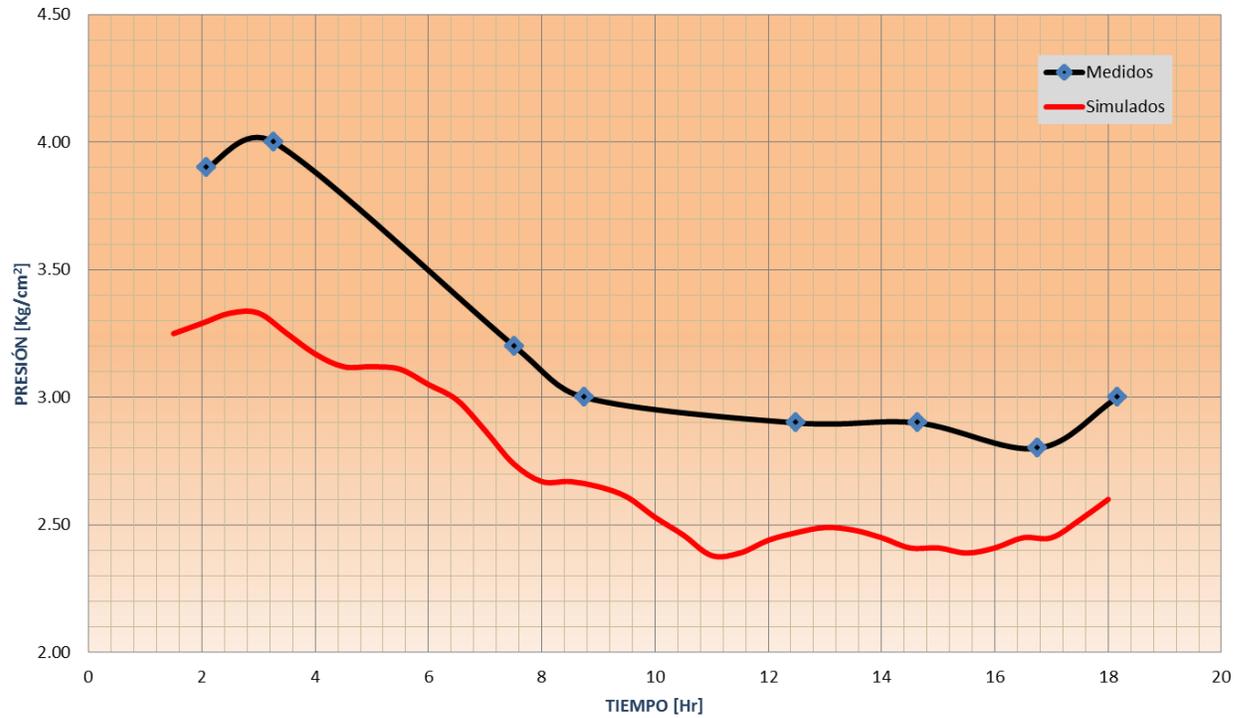
**Figura 4.21 Calibración. Presión. Punto 8. Barranco (31 de agosto al 01 de septiembre del 2010).**



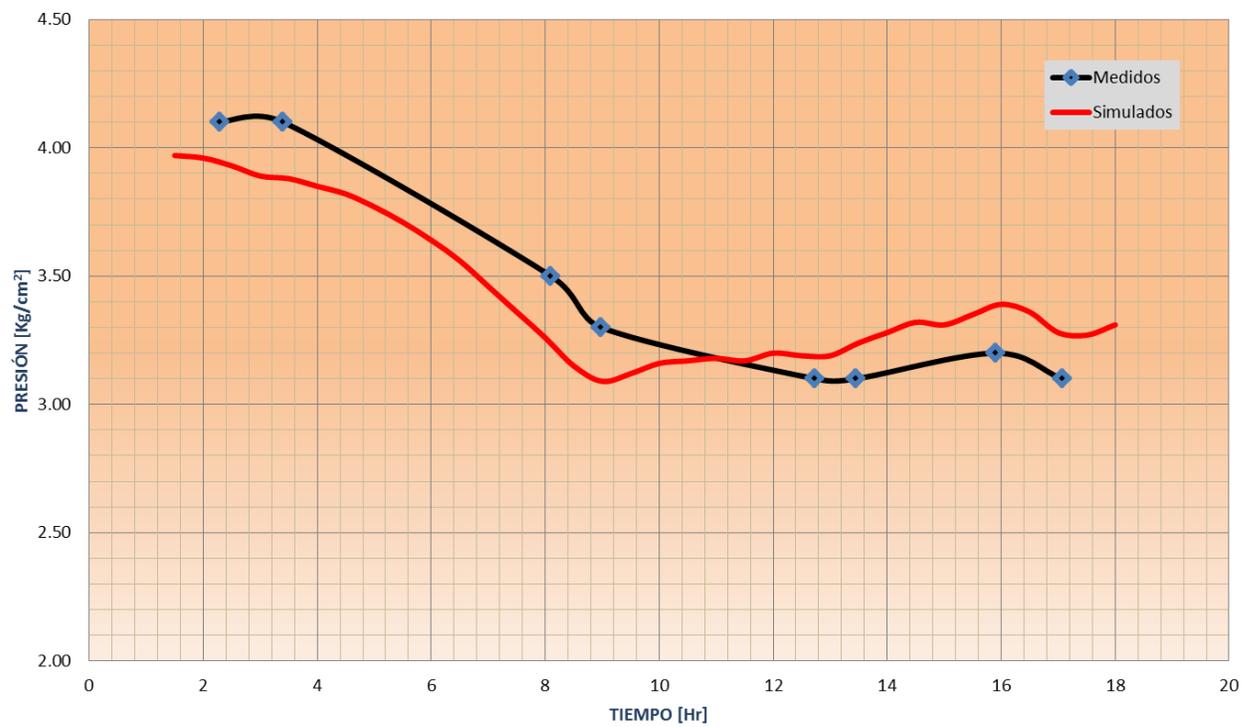
**Figura 4.22 Calibración. Presión. Punto 9. Barranco (31 de agosto al 01 de septiembre del 2010).**



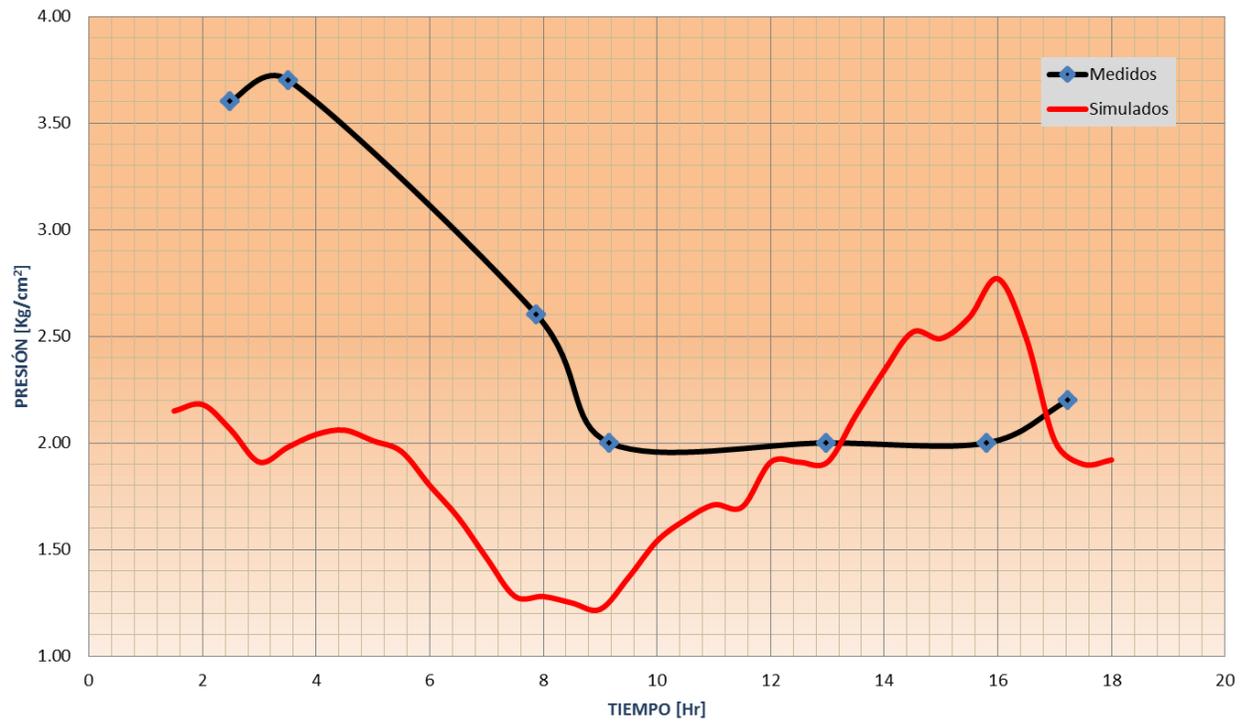
**Figura 4.23 Calibración. Presión. Punto 14. Barranco (31 de agosto al 01 de septiembre del 2010).**



**Figura 4.24** Calibración. Presión. Punto 17. Barranco (31 de agosto al 01 de septiembre del 2010)



**Figura 4.25** Calibración. Presión. Punto 18. Barranco (31 de agosto al 01 de septiembre del 2010)



**Figura 4.26 Calibración. Presión. Punto 19. Barranco (31 de agosto al 01 de septiembre del 2010).**

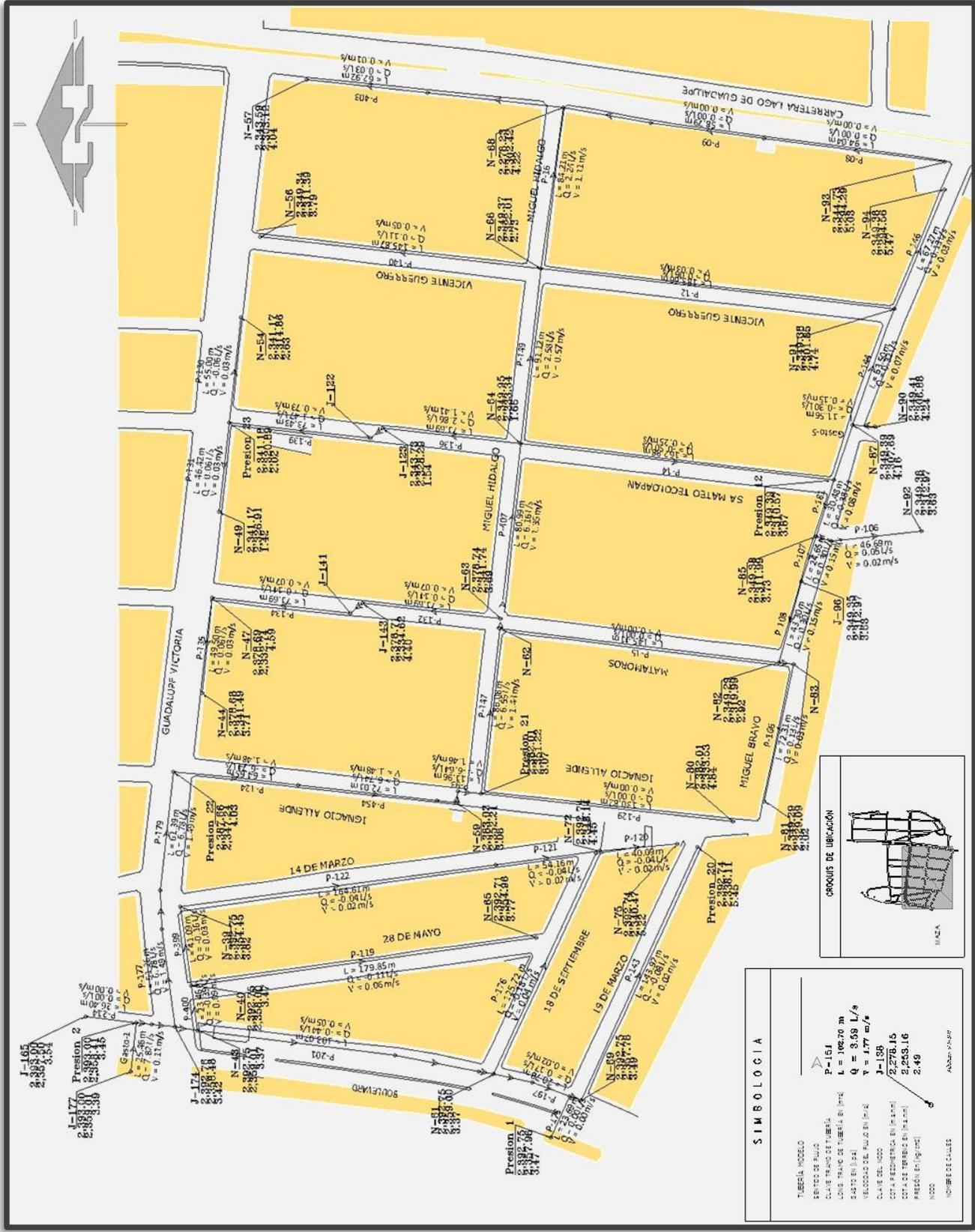


Figura. 4.27. Calibración Maza 4 A.M. (31 de agosto al 01 de septiembre del 2010).



Figura 4.28 Calibración Barranco 4 A.M. (31 de agosto al 01 de septiembre del 2010).

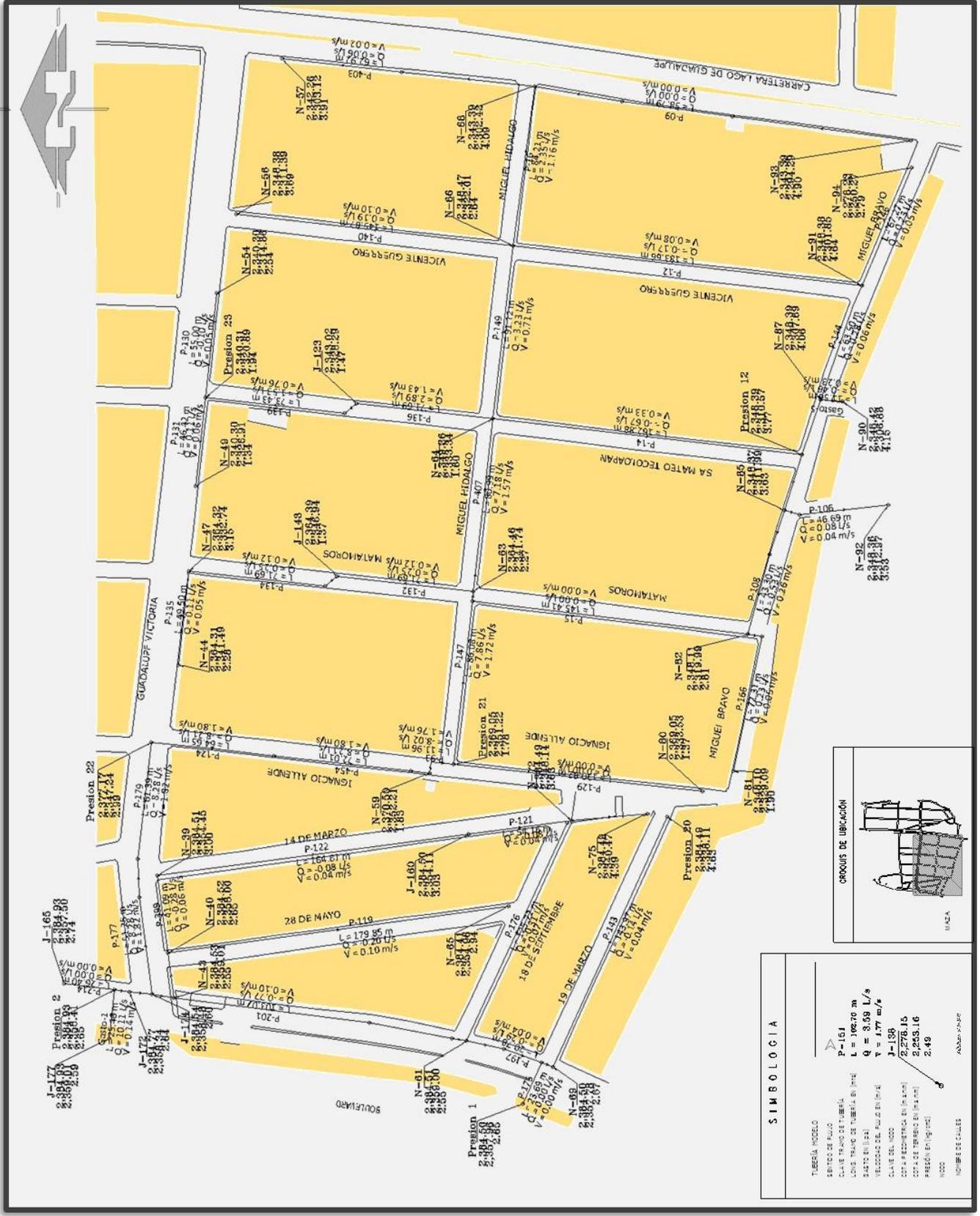


Figura. 4.229. Calibración Maza 9 A.M. (31 de agosto al 01 de septiembre del 2010).



## **CAPÍTULO 5**

### ***EL PROYECTO DE SECTORIZACION Y LA METODOLOGIA.***

El Proyecto de Sectorización, se obtiene del Modelo Numérico Calibrado de la red en estudio, la red de distribución creada en el software, es la red, que ha sido verificada y representa la infraestructura disponible actual, calibrada a partir de las mediciones.

El proyecto de sectorización, debe ser concebido de forma tal que, que facilite su construcción por etapas, sin suspender los servicios, los recursos deberán ser los suficientes para construir y equipar totalmente la parte del proyecto autorizado.

La determinación del valor de ANC, por rescatar, no es posible de ser precisado, en la fase de diseño del proyecto, los volúmenes recuperados mencionados como agua recuperada, sólo son estimaciones.

El proyecto con sus modificaciones, es sometido a las condiciones de gasto y presión máxima y mínima en la entrada al sector, las demandas en los nodos contienen los volúmenes en exceso que incluyen las fugas y los clandestinajes, esta distribución de gastos en los nodos, es la misma a partir de la cual se obtuvo la red de distribución calibrada.

Una vez puesta en operaciones la sectorización, las mediciones de las presiones y de los gastos a la entrada y salida del sector y los balances hidráulicos permitirán definir correctamente el valor del ANC recuperada.

De acuerdo con las normas de diseño de redes de distribución de la CONAGUA, se debe obtener el proyecto cuyo diseño considera el mejoramiento del funcionamiento integral de la red, es decir aquel que cumple con todas las necesidades para mejorar el funcionamiento hidráulico.

Cada opción que se plantee, puede tener un objetivo principal relacionado con los cambios en la red, de esta forma, la suma de todas y cada una de las opciones, llevará a la configuración final deseada de la red.

Cada opción de proyecto, debe tener en cuenta todas las suspensiones del servicio de agua y describir exhaustivamente los trabajos previos a la suspensión y las actividades a desarrollar durante las suspensiones, de forma tal se tenga controlada, la seguridad del retorno del Servicio.

La colocación de una tapa ciega y la suspensión definitiva de una forma de movimiento del agua en la red, merece todo el respeto de los ingenieros, a fin de revisar hasta el último detalle, las posibles implicaciones de la suspensión.

La instalación de una VRP, debe ser estudiada con mediciones de Presión en su ubicación preliminar, así como también con detenimiento el área de influencia, a fin de evitar errores, ya que una vez construida, modificar sus efectos, puede resultar bastante costoso.

La obtención de mediciones en cada fase terminada, el posterior análisis hidráulico y calibración de la nueva red, así como las verificaciones domiciliarias para detectar las “faltas de agua” son las únicas herramientas de campo, que permiten revisar el diseño.

El trabajo de medición de gasto y presión en la red, así como las calibraciones, suele dar resultados tangibles en dirección de la solución más adecuada.

## *5.1 EL PROYECTO DE SECTORIZACIÓN Y LA IMPLANTACIÓN.*

### *5.1.1 Las propuestas de Sectorización.*

A partir del Modelo Numérico Calibrado, teniendo en cuenta las normas de diseño de la CONAGUA, así como la infraestructura disponible de sitios de entrega de agua a las zonas de estudio, red de tuberías y tanques de almacenamiento, se desarrollaron los pre diseños de la red, partiendo de la opción “ inicial “ , ésta con la suma de modificaciones , deberá tender en cada avance a la configuración que se considera más completa a ser realizada.

La sectorización llevada a su fase final, incluye los reforzamientos a corto y mediano plazos en la red, las interconexiones faltantes, el sistema de dobles tuberías para que la incorporación de la descarga de los tanques a la red, las adaptaciones a los tanques para su incorporación a las operaciones.

Una vez seleccionada la opción de acciones de “arranque”, para cada una de las fases, se deberá desarrollar las fontanerías y la obra civil para la construcción de los sitios de medición y control de presión, de acuerdo a normas de proyectos de redes de la CONAGUA, de tal forma que cada una de las fases, considera que no se suspenderá el servicio de agua y poseerá las condiciones operativas que permitan asegurar el servicio de agua potable para todos los usuarios.

En cada una de las fases de avance, se determinaran los presupuestos, así como las calibraciones de la red, que permitan un paso seguro a la solución final de la sectorización.

La **figuras 5.1 y 5.2** contienen los aspectos y costos más importantes de la obra civil y la fontanería a ser construida e instalada, así como adquirida, para las cajas o Sitios de Macro medición y Sitios para la construcción y equipamiento de una Controladora de Presión.

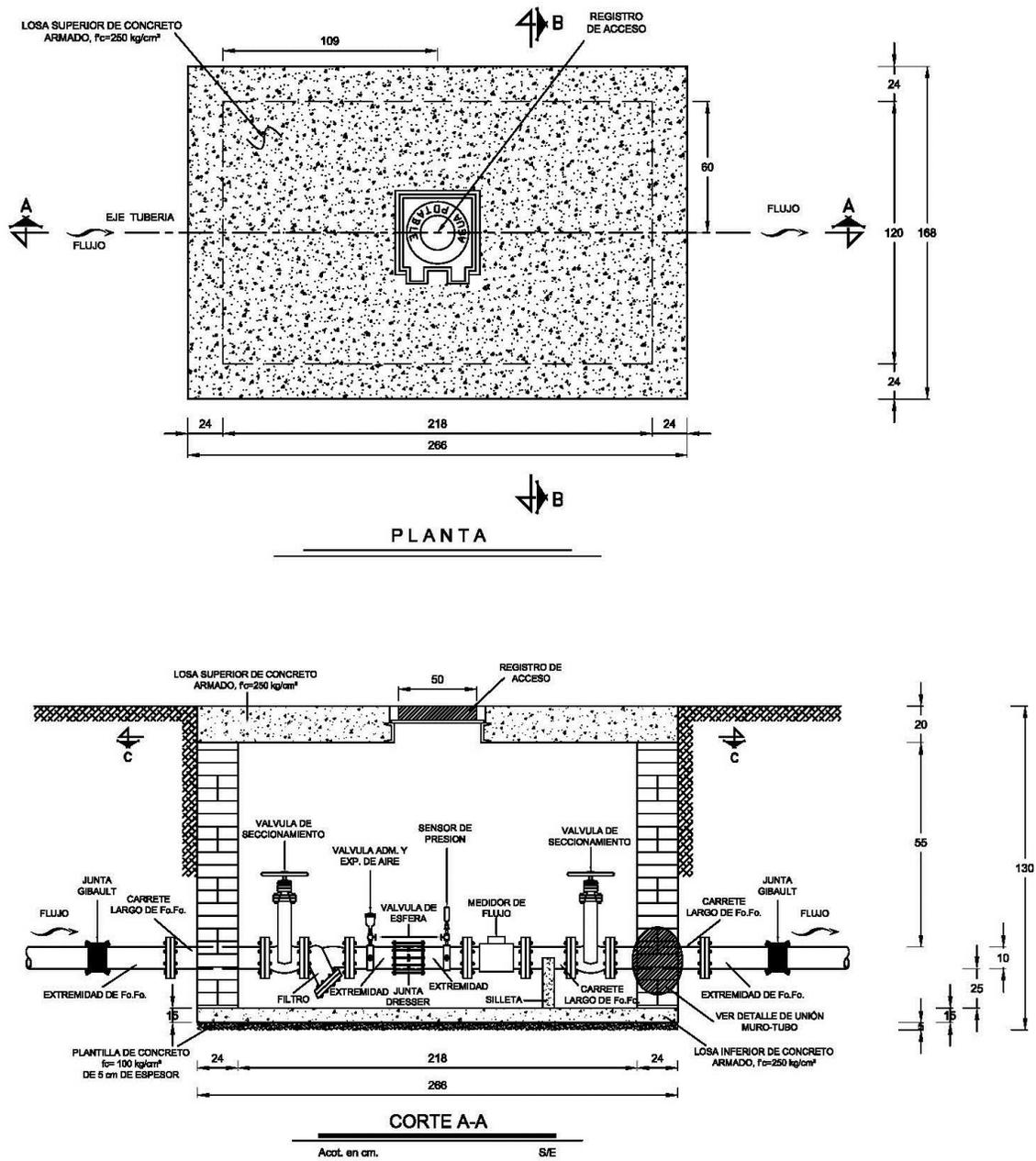
La **figura 5.3**, contiene los conceptos a ser construidos y puestos en marcha, de tal forma que el costo total de esta propuesta “ideal” para efectos comparativos , es de aproximadamente \$3,041,070.00.

Para el directivo que toma las decisiones en cuanto a definir el origen de recursos y su aplicación, es importante, que en este tipo de proyectos, se muestren cada acción presupuestada y el papel que juega en el buen funcionamiento del sistema, además de las implicaciones técnicas de no realizarse alguna de las acciones consideradas en el proyecto.

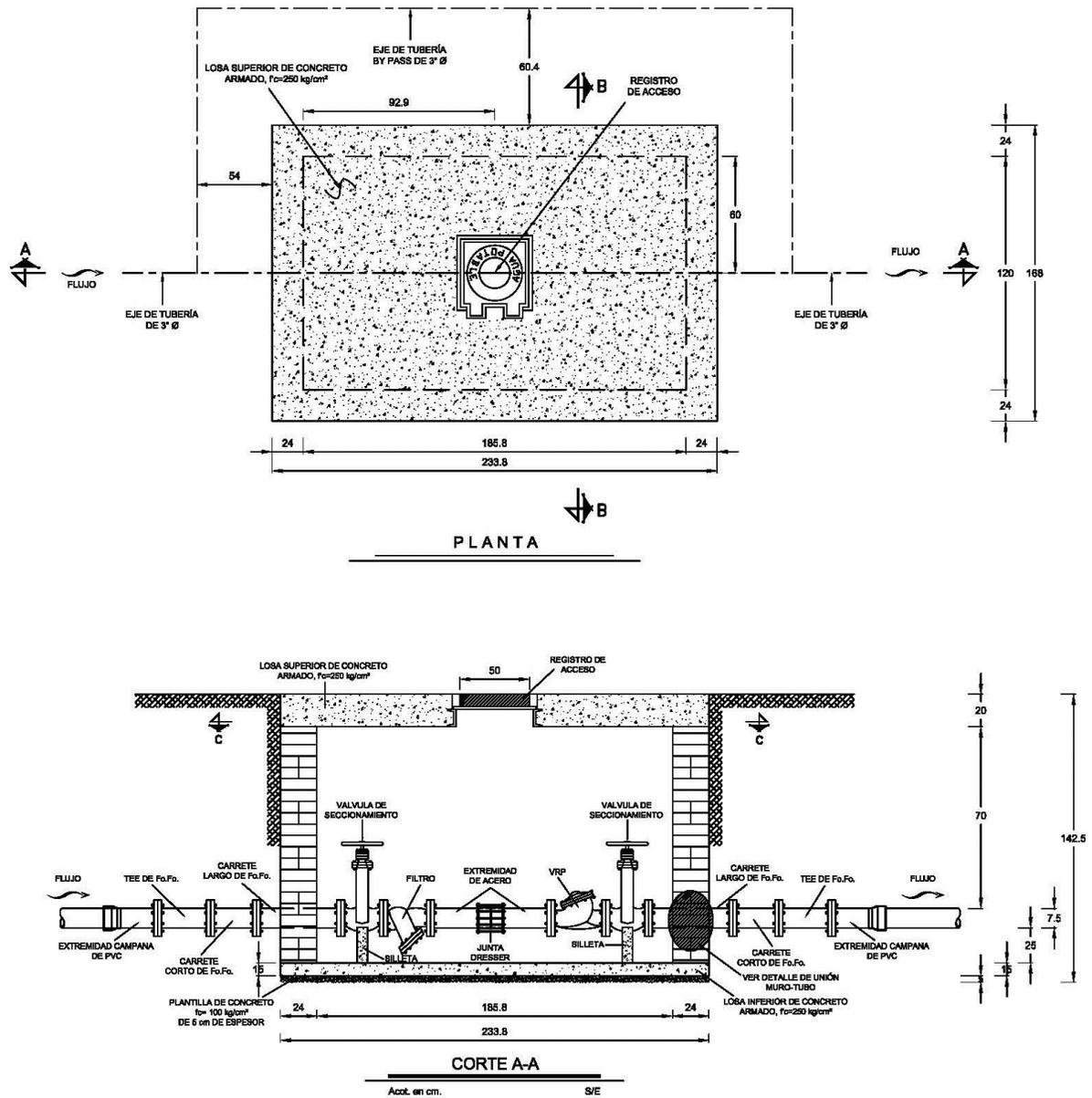
En un entorno de recursos limitados, la toma de decisiones, siempre privilegiará , las inversiones que en forma mediata reduzcan el valor del ANC, en este sentido, las fugas debidas a presiones excesivas en la red de estudio, son las más obvias para ser atacadas , ya que pueden evaluarse los efectos de la reducción de presión y sus implicaciones en el ANC. Los resultados de estas acciones, serían evaluados para programar el resto de las acciones pendientes por realizar.

De acuerdo con lo anterior, la propuesta 1, y sus expectativas para la reducción del ANC, se estiman en un porcentaje del 10%.

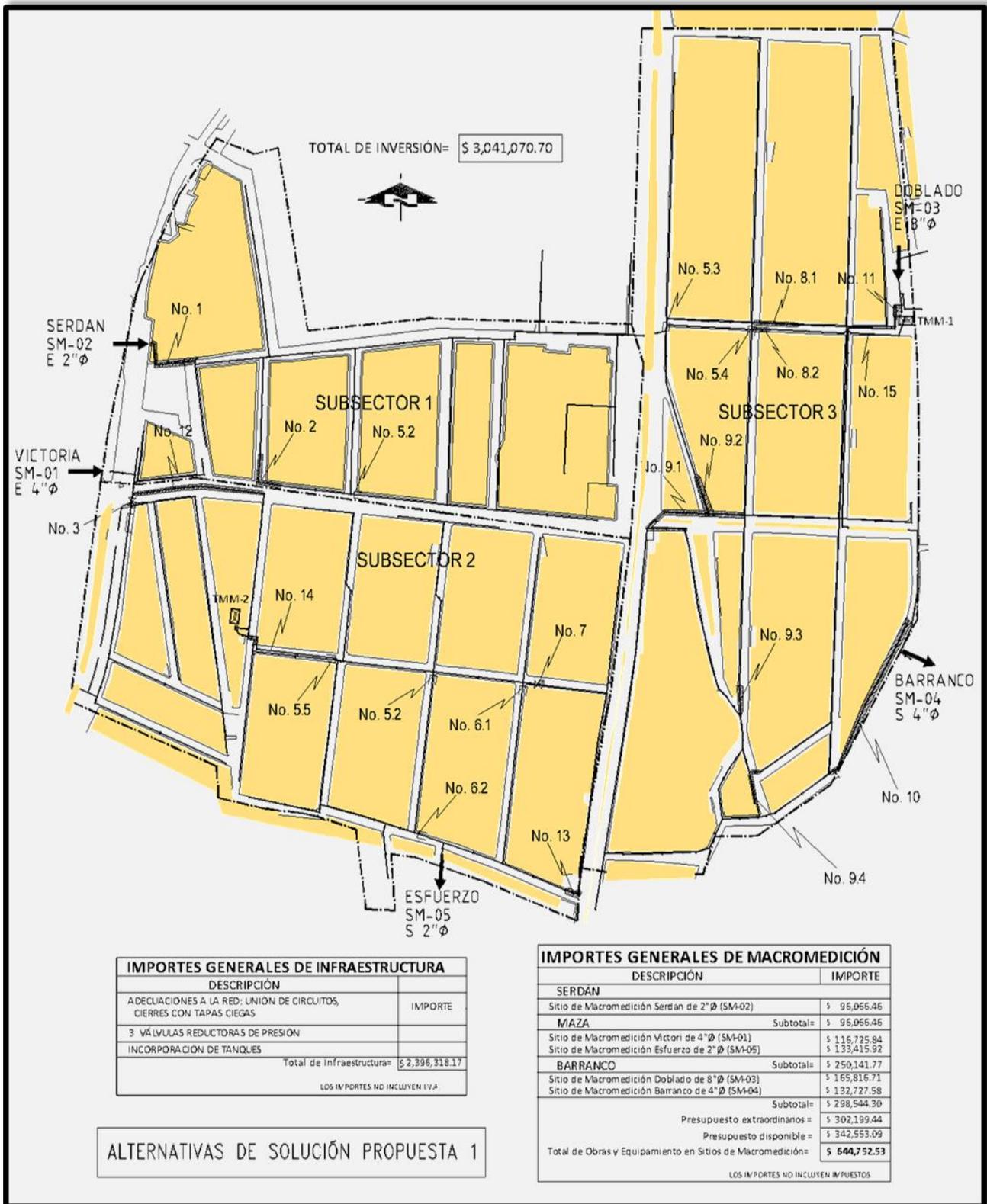
La propuesta 1 de arranque, fue reducida al contenido de acciones que muestra **la figura 5.4 Propuesta Autorizada**, el monto de las inversiones realmente se redujeron al 30% del valor de la primera, considerada como la “ideal “.



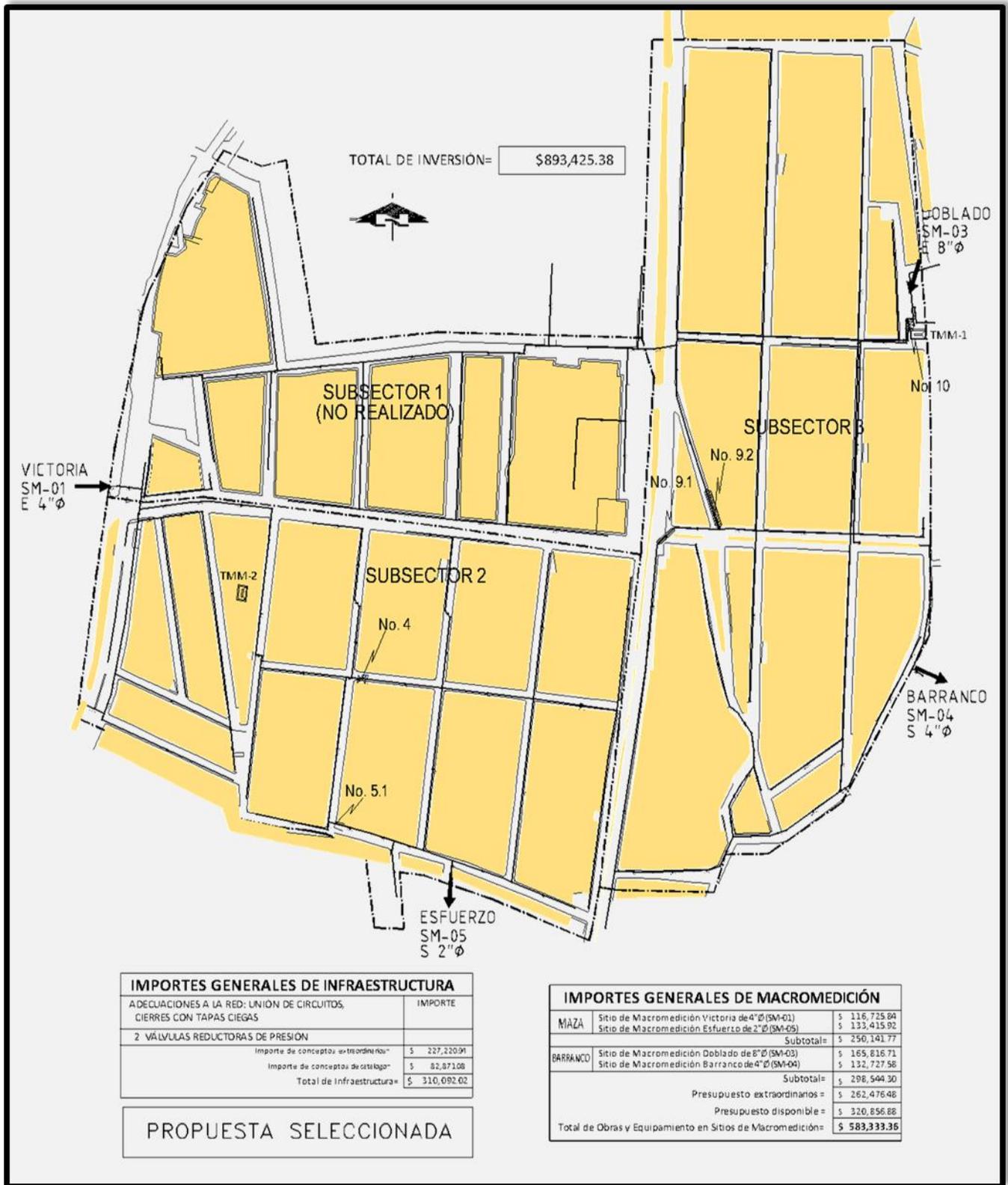
*Figura 5.1 Aspectos importantes de obra civil y fontanería en un sitio de Macromedición.*



**Figura 5.2 Aspectos importantes de obra civil y fontanería en sitio de control de presiones.**



**Figura 5.3 Alternativa de solución. Propuesta 1.**



**Figura 5.4 Propuesta Seleccionada**

### 5.1.2. La Implantación del Proyecto de Sectorización.

El diseño de la red Sectorizada fue obtenido a partir de la red calibrada, utilizando el Software de Water Gems.

Para el proyecto ejecutivo, se tienen en cuenta las normas de Diseño de la CONAGUA, en el diseño, el funcionamiento hidráulico se obtuvo con los datos de medición del **31 de agosto al 1 de Septiembre del 2010**, resultados que incluyen los reforzamientos y las desconexiones, como se muestran en las figuras de resultados.

Las **figuras 5.5 y 5.6**, muestran el funcionamiento hidráulico del proyecto de Maza y Barranco respectivamente, bajo condiciones de **presión alta** y las VRPs en cada caso funcionando con las presiones de salida especificadas en las figuras.

Las **figuras 5.7 y 5.8** muestran el funcionamiento hidráulico del proyecto, para las dos áreas de estudio Maza y barranco, para las horas de **menor presión** en el sistema, 9 am de la mañana.

A continuación se muestra algunas características principales de los equipamientos para los Sectores, así como del proceso constructivo.

#### 5.1.2.1 *Cajas para Macro medición.*

Estas estructuras, permiten alojar los macro medidores, así como el filtro para sólidos y sitio para medición de presión. El equipamiento incluye válvulas de compuerta, a fin de seccionar el tramo de tubería en el que se aloja el medidor, con objeto de brindar mantenimiento y chequeo de la precisión del Macro medidor.

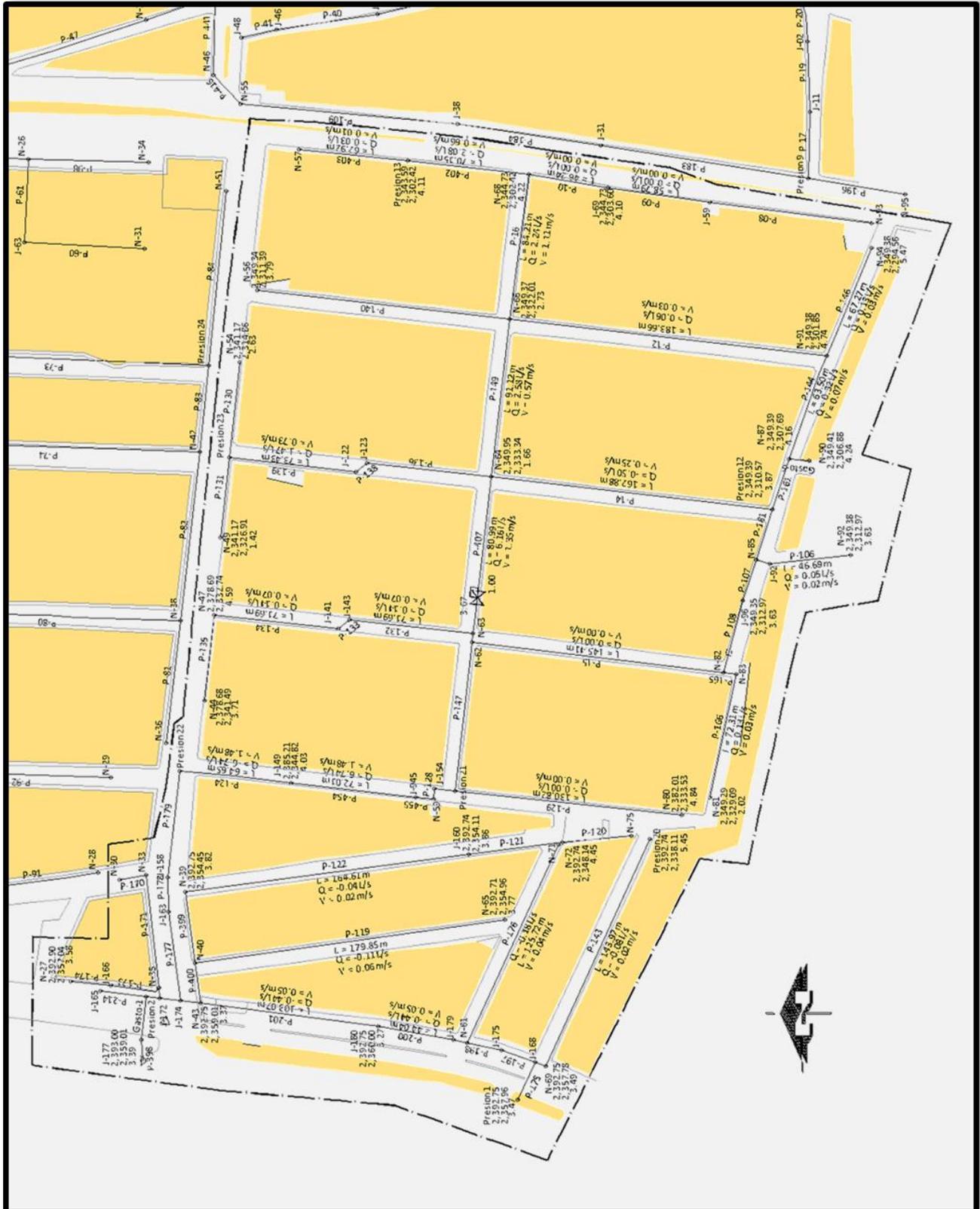
En las **figuras 5.1 y 5.2**, se describen los componentes de la caja de medición.

El proceso de obra civil, requiere que la tubería quede en medio de los dos muros, por lo que sólo será necesaria la suspensión del servicio, cuando sea instalado el Macro medidor, como se muestra en **figura 5.9**.

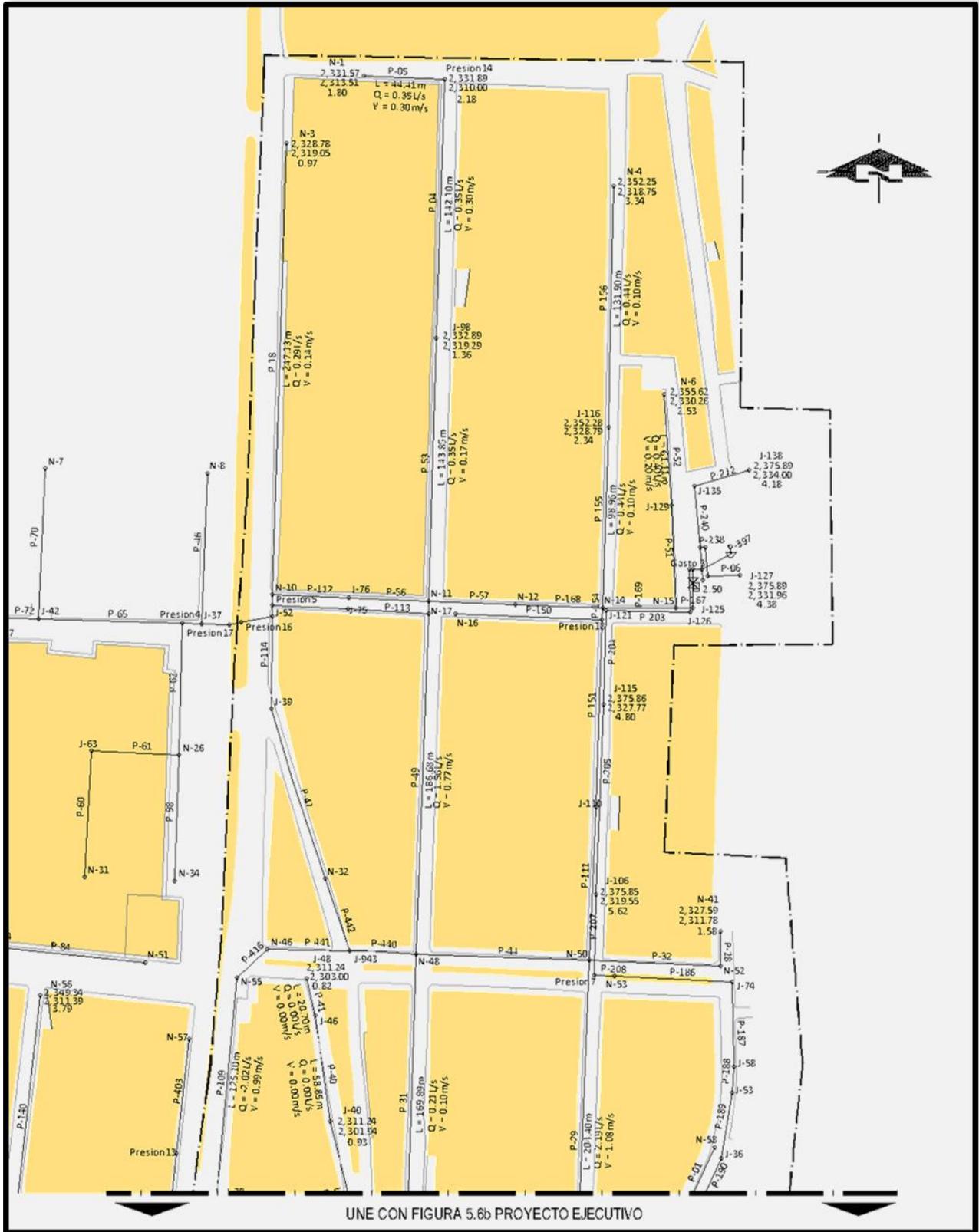
La caja fue construida con la línea en servicio, el proceso de construcción se muestra en **figura 5.9**. La fontanería y su instalación, se muestra en la **figura 5.10**, este proceso requiere de la suspensión temporal del servicio.

Para la selección de estos equipos, debe ser presentada a los diferentes proveedores los datos de medición, en cual se proporcionen a los fabricantes, el registros de gastos reducidos, así como máximos. Las presiones de operación revisten un especial interés, ya que pondrán a prueba la hermeticidad de los equipos, sus sellos y piezas en contacto con el agua. Por otra parte, es importante señalar que debe proporcionarse al proveedor y fabricante las condiciones bajo las cuales operará el medidor. La recepción de los mismos, reviste de gran importancia, ya que el equipo seleccionado, debe ser el mismo que se entregue.

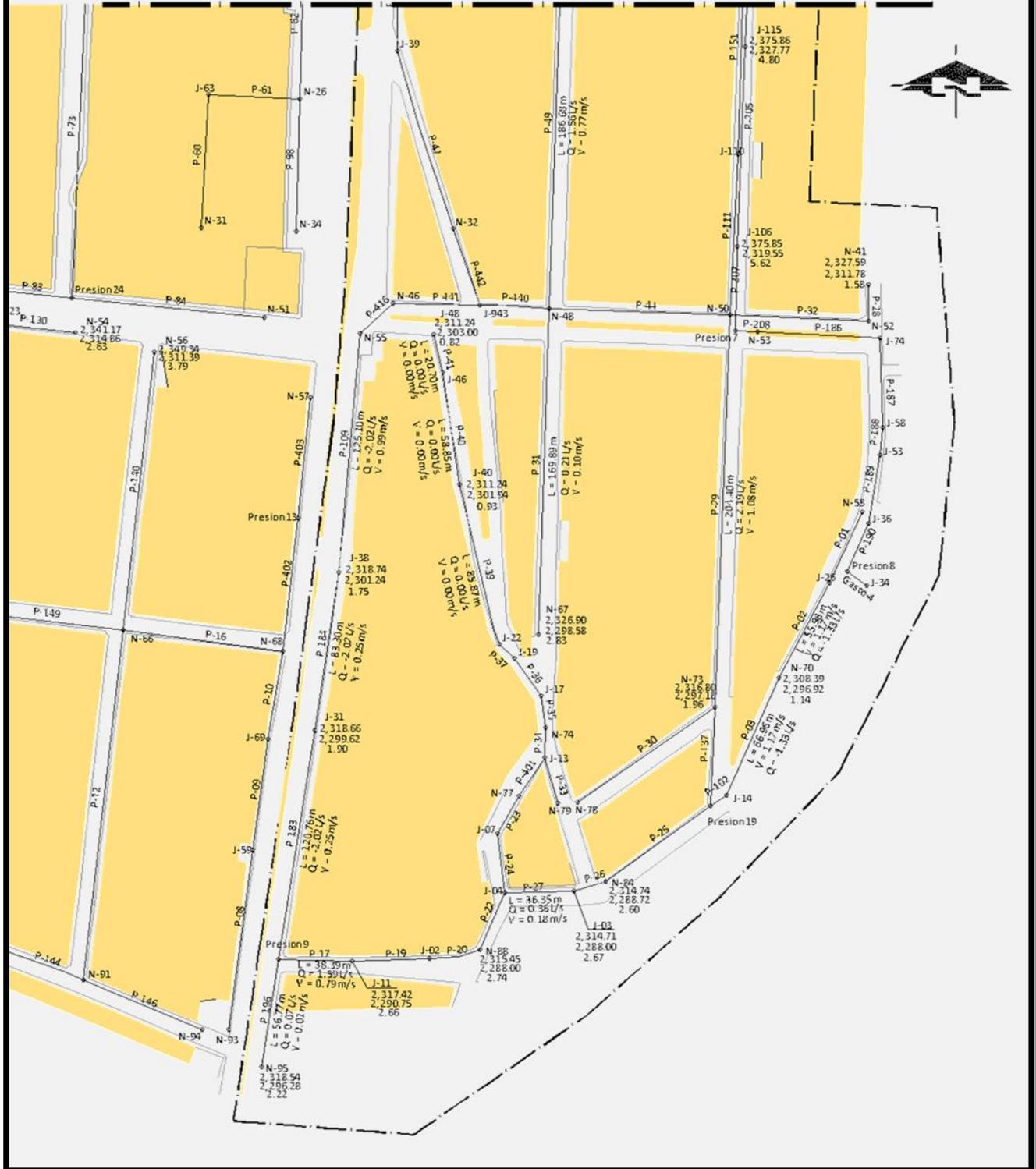
Las valvulerías instaladas, como se muestra en la **figura 5.1 y 5.10**, permitirán suspender el flujo y desinstalar el carrete que será sustituido por el medidor.



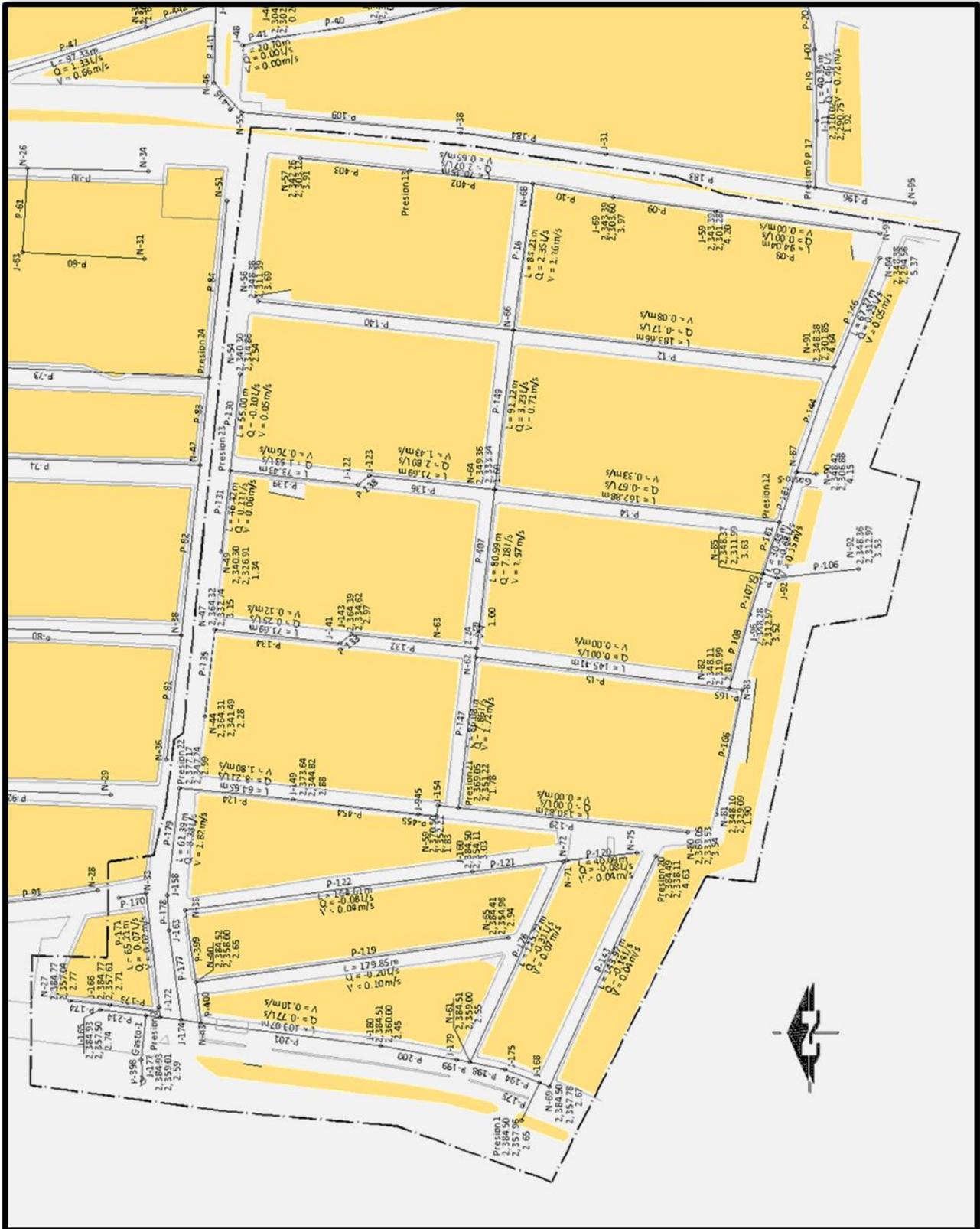
**Figura 5.5 Funcionamiento hidráulico alta presión 4:00 A.M. VRP Maza. Presión consigna  $P=1.00$  [kg/cm<sup>2</sup>].**



UNE CON FIGURA 5.6a PROYECTO EJECUTIVO



**Figura 5.6 Funcionamiento hidráulico alta presión 4:00 A.M. VRP Barranco. Presión consigna  $P=1.50$  [kg/cm<sup>2</sup>].**



**Figura 5.7 Funcionamiento hidráulico baja presión 9:00 A.M. VRP Maza. Presión consigna P=1.00 [kg/cm<sup>2</sup>].**



**Figura 5.8 Funcionamiento hidráulico baja presión 9:00 A.M. VRP Barranco. Presión consigna  $P=1.50$  [kg/cm<sup>2</sup>].**

UNE CON FIGURA 5.8 a PROYECTO EJECUTIVO

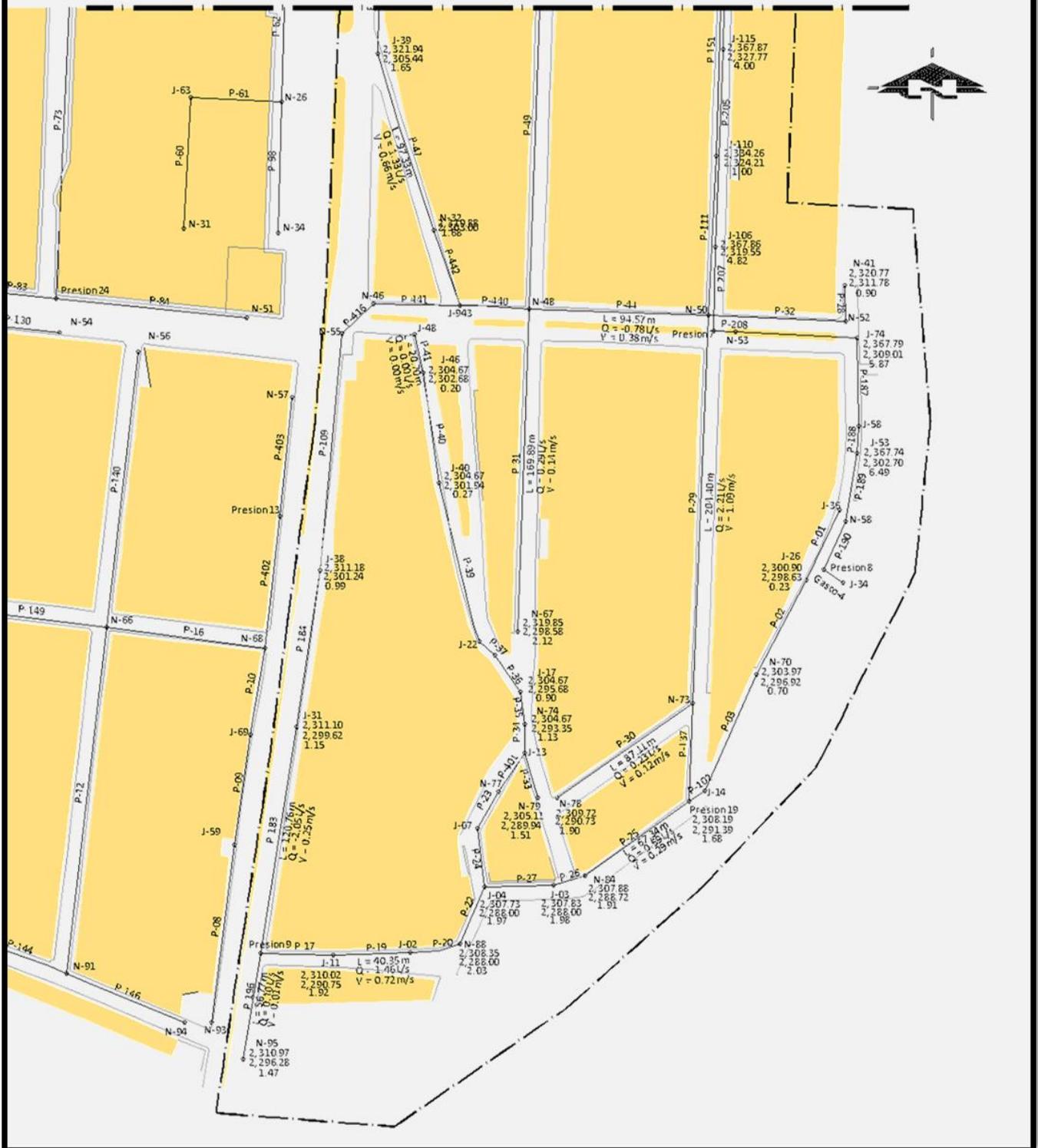
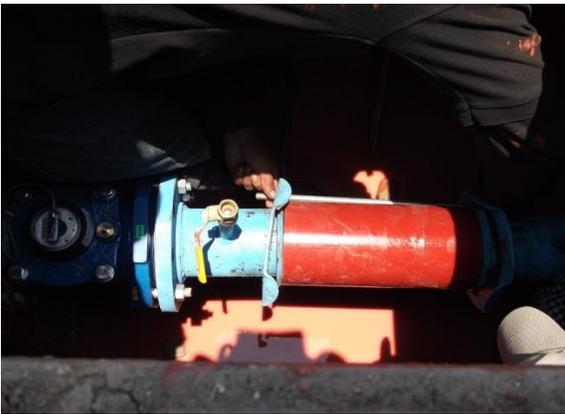


Figura 5.8 Funcionamiento hidraulico baja presión 9:00 A.M. VRP Barranco. Presión consigna P=1.50 [kg/cm2].



***Figura 5.9 Proceso de obra civil en sitio de macromedición.***



***Figura 5.10 Proceso de instalación de fontanería en sitio de macromedición.***

Durante el proceso de instalación de primera fase de la fontanería, sin medidor y sin filtro, es importante asegurarse que el servicio sea totalmente interrumpido, ya que en caso contrario, la estructura civil de la caja podría resultar dañada.

Previamente a la Instalación del Medidor Turbina, se han realizado mediciones con los equipos Ultrasónicos, a fin de observar los registros de volúmenes del Turbina, a fin de cotejar el rango de gastos y reportar anomalías al proveedor, en el caso de existir diferencias entre las lecturas.

Regularmente el proveedor debe supervisar la instalación de estos equipos, de esta forma se garantiza la instalación y el funcionamiento del medidor.

El mismo procedimiento debe ser usado para la instalación del filtro, el sensor de presión, de tal forma que la instalación de todos los equipamientos se lleve a cabo en un solo proceso.

#### *5.1.2.2 Cajas con VRPs.*

La instalación de éste tipo de equipamiento, en cuanto a su ubicación , debe ser cuidadosamente seleccionado, ya que son unidireccionales. El funcionamiento en sentido contrario, es decir que el flujo provenga de la zonas considerada de aguas abajo, y la presión de aguas abajo es superior a la de consigna, la válvula cerrará. Es por ello la importancia de revisar los registros de medición de presiones y el sentido de flujo.

En el subcapítulo siguiente, se presenta un procedimiento de análisis para la ubicación de una VRPs, en este caso, la ubicación en el sector Maza.

#### *5.1.3 Pruebas de Campo para la ubicación de VRPs.*

Se desarrolló un plan de pruebas de ubicación para la VRPs en EL Sector Maza, con ayuda de válvulas tipo compuerta, así como de excavaciones.

Se diseñaron 4 escenarios. Los objetivos de la ubicación de la VRPs en Maza, era simular su instalación y observar el área de influencia afectada, a través de cierres de las 5 válvulas, sin embargo, **las válvulas más importantes en este proceso, lo serían las válvulas 1 y 2, la válvula 4 en combinación con la 2,** deberían

dejar marcada el área de influencia de la VRP, adicionalmente, con esta medida, se buscó garantizar la suspensión del servicio en toda el área.

Las condiciones de la presión disponibles en Matamoros, cerrando la válvula 1, serian determinantes, ya que en caso de registrarse bajas presiones disponibles en esta calle, **sería necesario ajustar la posición de cierre de válvula 1** en Matamoros y Miguel Hidalgo a Miguel Bravo entre San Mateo y Matamoros

Se llevaron a cabo tres excavaciones previas a las fechas de las pruebas de ubicación de la VRPs, **la figura 5.11 muestra la ubicación de las válvulas: V<sub>1</sub>, V<sub>2</sub>, V<sub>3</sub>, V<sub>4</sub>, V<sub>x</sub>**, las cuales fueron instaladas expresamente para las pruebas.

Adicionalmente, se revisaron y se pusieron en marcha las condiciones de los once puntos de medición de presión que se muestran en la figura **5.11 VRPs Maza. Escenario Original.**

#### 5.1.3.1 Escenarios. Sector Maza.

La **figura 5.11** , se han abierto todas las válvulas , se observa poca disponibilidad de agua en la red , como se registra presión nula en el punto P21, por conclusión en sitio P27, el flujo de agua hacia el punto V<sub>4</sub>, se lleva a cabo por Hidalgo y Matamoros.

En la **figura 5.12**, se ha cerrado la válvula V<sub>1</sub>, el flujo se conduce solo por Hidalgo, se registran presiones bajas en Matamoros, no se observa flujo cercano a la válvula.

En la **figura 5.13**, se ha cerrado la Válvula V<sub>2</sub> , el flujo solo se conduce por Matamoros, se observa que baja la presión en el punto P<sub>26</sub> ,la presión baja de 1.20 a 0.5 kgf/cm<sup>2</sup>, esto confirma que el recorrido por matamoros no es el adecuado.

En la **figura 5.14**, se han cerrado las válvulas V<sub>1</sub> y V<sub>3</sub> ,esto muestra la baja presión que se presenta en Matamoros, ya que el flujo se llevará a cabo por

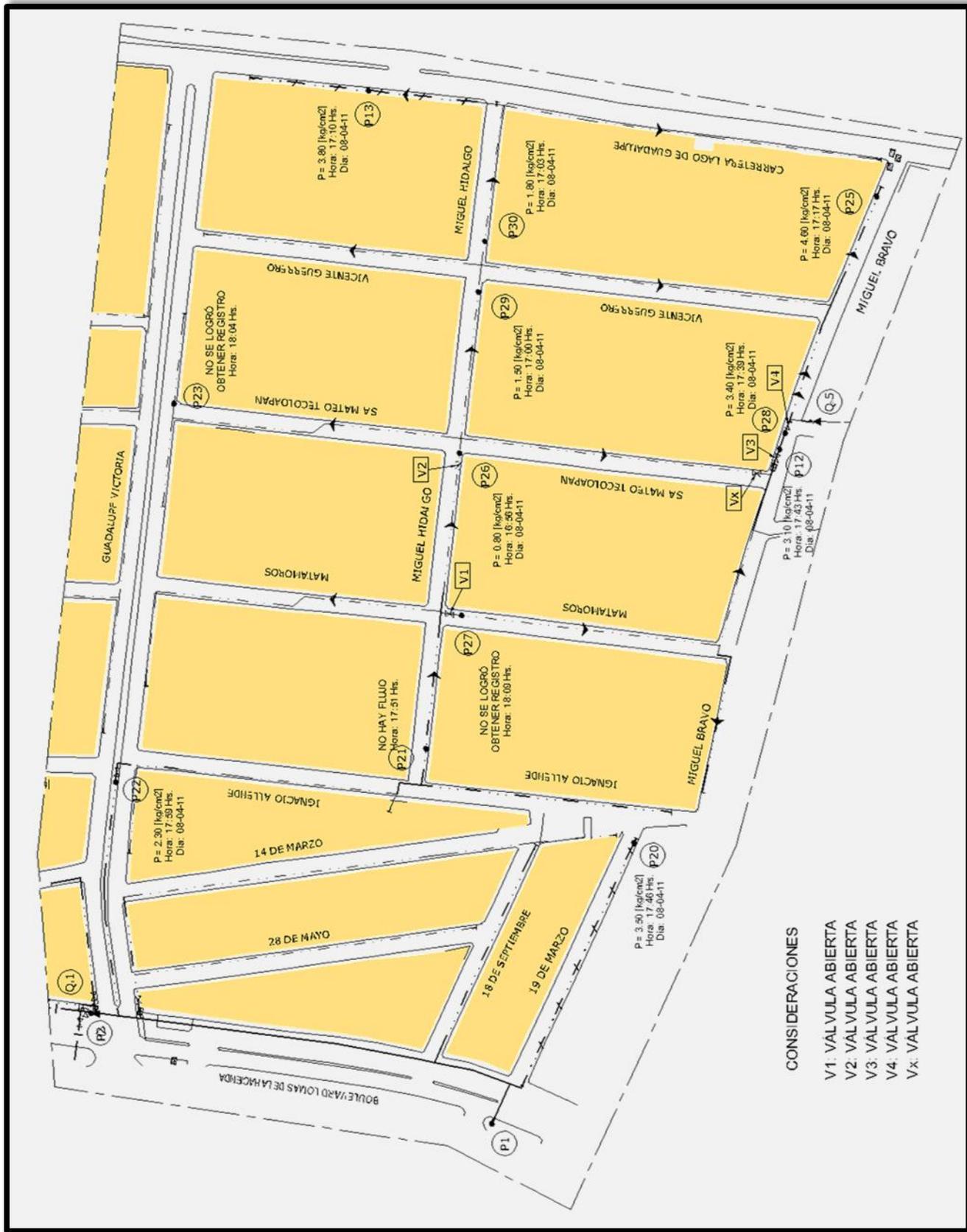
Hidalgo y Guerrero, provocando un gran recorrido del flujo hacia el punto de salida en esfuerzo.

En la **figura 5.15**, se han cerrado las válvulas  $V_1$ ...y  $V_2$ ..., se suspende el flujo hacia el sitio de medición de salida Esfuerzo. En la **figura 5.16**, se muestra el área de influencia de las válvulas  $V_1$  y  $V_2$ , cerradas, lo que no representa una condición adecuada para la calle de Matamoros.

De acuerdo con las pruebas realizadas, en el área de estudio Maza, la **VRP**, será **colocada en la posición de la válvula  $V_2$** , por lo que se anula la presencia de válvula  $V_1$ , dejando el paso por la calle de Matamoros, pero se cierra el paso en el Punto A. La **figura 5.17**, muestra la **posición final del VRP en Maza**.

Un proceso similar, pero más simple se ocupó para ubicar la VRP de Barranco, la cual presentó problemas pero de espacio, por lo que se requirieron de obras adicionales sobre el drenaje. La información de la infraestructura obtenida, permitió anticipar las acciones.

Las **figuras 5.18 y 5.19**, muestran las obras civiles en proceso y la Fontanería instalada.



*Figura 5.11 VRP'S Maza. Escenario original flujo por Hidalgo y Matamoros.*



Figura 5.12 VRP'S Maza. Escenario flujo por Hidalgo.



Figura 5.13 VRP'S Maza. Escenario flujo por Matamoros.



Figura 5.14 VRP'S Maza. Escenario flujo por Hidalgo y Guerrero.

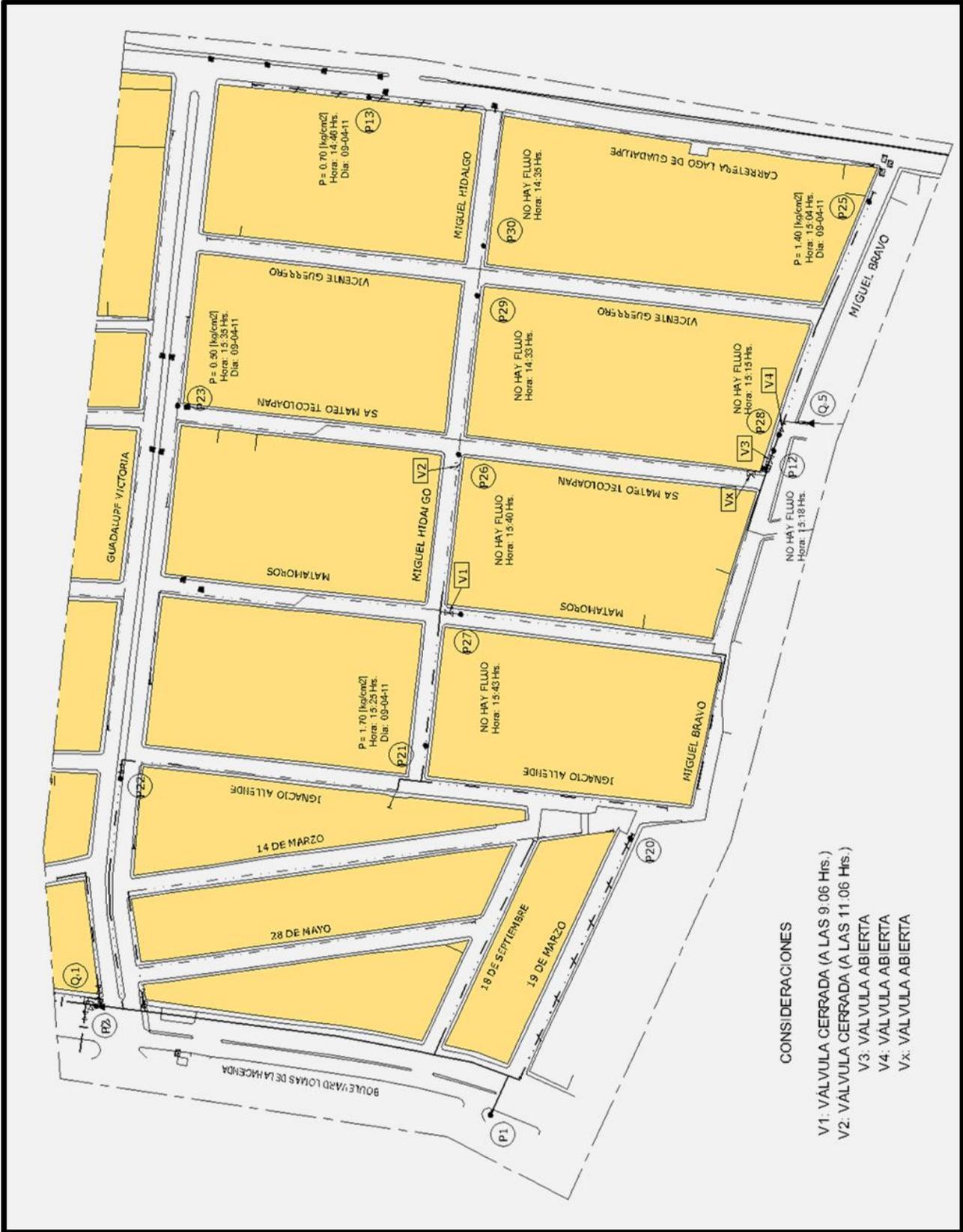


Figura 5.15 VRP'S Maza. Escenario suspensión de flujo.

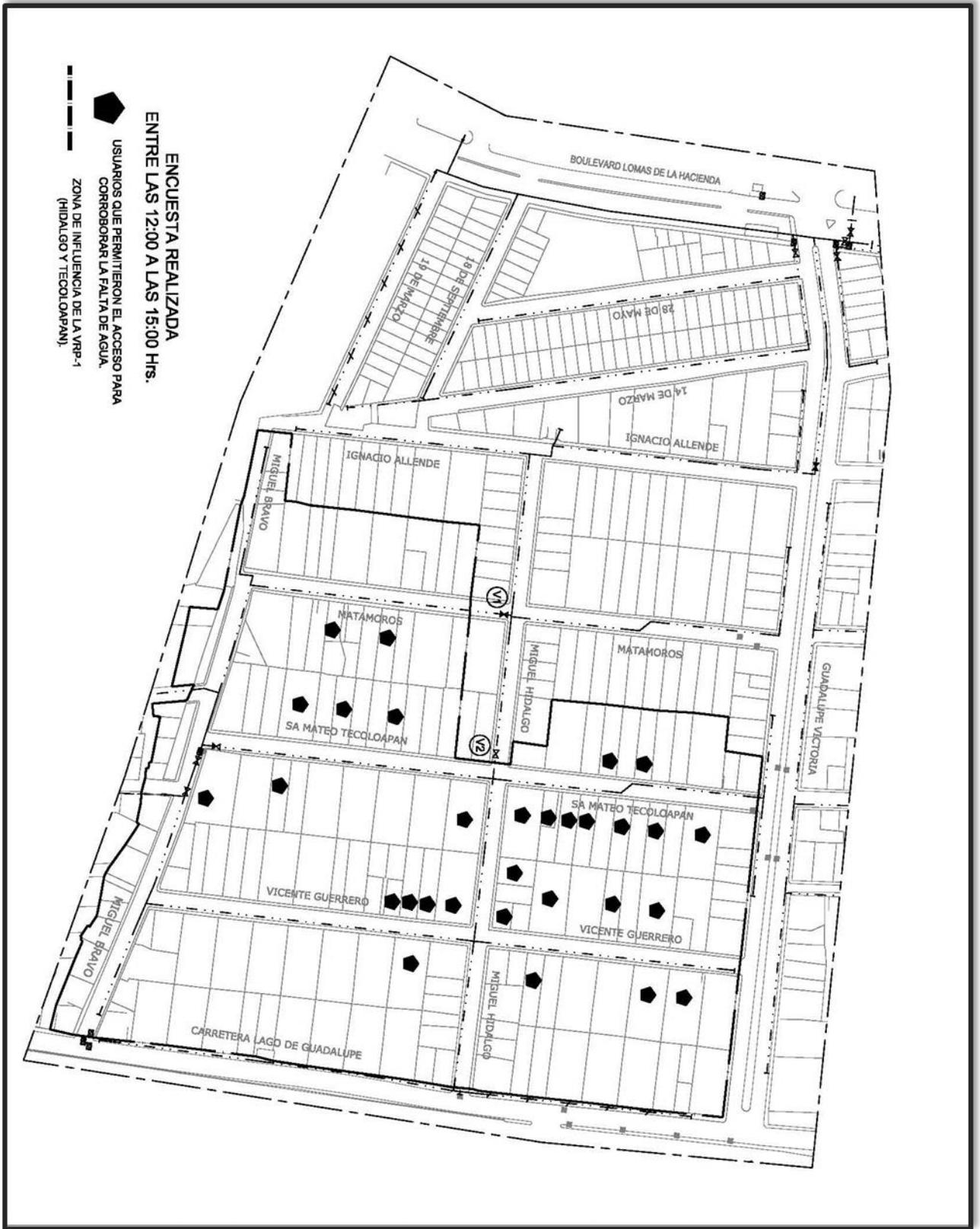
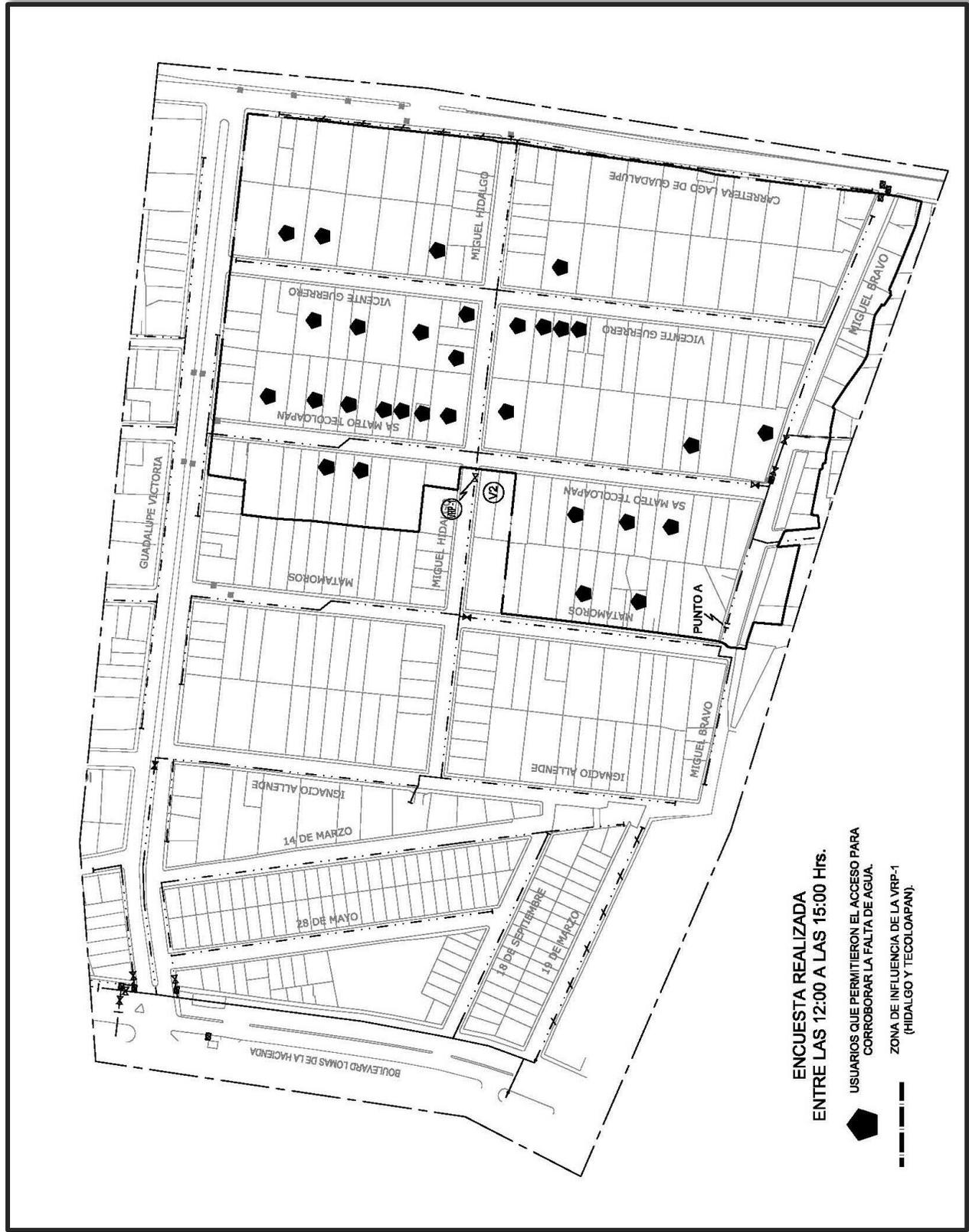


Figura 5.16 VRP'S Mazza. Área de influencia V1 y V2 cerradas.



*Figura 5.17 VRP'S Maza. Posición final de VRP en V2 y desconexión en punto A.*



*Figura 5.18 Proceso de obra civil en sitio de control de presiones.*



*Figura 5.19 Proceso de instalación de fontanería en sitio de control de presiones.*

## 5.2 LA RECUPERACIÓN DEL ANC Y EL SECTOR EN OPERACIÓN.

### 5.2.1 Balance en Sector Maza.

La **figura 5.20**, la cantidad de agua que entra al área de estudio es un poco inferior a la sucedida en la misma área de estudio pero en la medición del **31 de agosto al 1 de septiembre**, en la cual, la red se encontraba en condiciones originales, en donde el **ANC, resultado de 57%** del agua que entra al área en estudio.

En la **figura 5.20**, en donde se midieron presiones y la evolución del agua que entra y sale del área de estudio, se ha calculado que el **ANC es de 42%** del agua que entra al área de estudio.

De acuerdo con esto, se observa **una reducción del % ANC, de aproximadamente 15%, esto representa aproximadamente una recuperación de 126.3 litros / hab / día**, volumen que se considera estrictamente por fugas debido que respondieron al reducir la presión.

### 5.2.2 Balance en Sector Barranco.

En esta área en estudio, se obtuvieron dos días de medición con VRPs, funcionando, las **figuras 5.21 y 5.22**, muestran las gráficas del agua total que entró al área de estudio, la que se consumió dentro del área, y la que finalmente salió y surtirá el servicio en otras áreas del sistema general.

Para la fecha **del 7 al 8 de octubre del 2011**, el agua que entra al área, es de  $973.19 \text{ m}^3$  es similar a la que entró **el 31 de agosto al 1 de Septiembre del 2010**, de  $1006.99 \text{ m}^3$ , en esta fecha, **el ANC resultó de 54.27%, es decir  $546 \text{ m}^3$** .

Con la presencia de la VRP, el ANC presentado el **7 y 8 de octubre del 2011**, **resultó ser de 44%**, es decir  $428.28 \text{ m}^3$  **lo que reduce en un 13% el valor del ANC; que en términos de dotación, resulta 84.83 litros / hab / dia.**

Para la fecha **del 7 al 8 de octubre del 2011**, el agua que entra al área de estudio es de  $594.03 \text{ m}^3$ , **el ANC resultante es de  $167.73 \text{ m}^3$ , que en porcentaje representa un 28.24%** del agua que entra al área de estudio. Este valor de ANC, es el menor registrado en esta área de estudio, pero no se tiene estadística con un volumen que entra, de un valor similar a este.

**Se observa que en las dos áreas de estudio, el ANC, se redujo entre 15 y 13% del agua que entra al área de estudio.**

### *5.3 PROPUESTA METODOLÓGICA.*

#### Infraestructura Actual y Políticas de Operación.

La propuesta de una metodología que se presenta, es el resultado de implementar este tipo de proyectos ejecutables, ya que al permitir desarrollar la ingeniería desde los trabajos de campo, la observación de la puesta en práctica de las políticas de operación, llevando a cabo mediciones, de gasto y presión, delimitando las áreas de influencia de descargas de tanques y líneas de conducción.

Los análisis del Padrón de Usuarios, tanto de sus tipos como de los consumos, así como de la ubicación, permiten calcular las demandas de agua en cada nodo de la red; así como de su ubicación.

Esta etapa, concluye cuando se ha logrado tener éxito con la calibración del modelo, el cual sería conveniente realizar calibraciones del modelo, para las distintas condiciones operativas, recomendando, se incluyan las zonas de tandeo.

Las mediciones, de presión, se recomiendan que además de desarrollarse para los sitios de entrada y salida, se desarrollen para distintos tramos. Para esto debería considerarse mediciones de presión en los extremos de diversos ramos en la red central de distribución.

La calibración de la red, para distintas condiciones operativas, permitirá identificar acciones que permitirían un mejor funcionamiento hidráulico de la red, que deberían incluirse en las mejoras del proyecto.

#### Selección del proyecto ejecutivo.

De acuerdo con los recursos disponible, se deberá proponer de la Sectorización hidráulica a realizar, considerando en primer lugar, las acciones que permitan

aislar cada sector propuesto, mejorando la distribución del agua; desarrollando para esto, los reforzamientos a la red.

En segundo plano y sin menor importancia, las obras civiles que permitan, reducir la presión y/o el flujo de agua.

En tercer plano, sin ser de menos importancia, está la ejecución de las acciones que permitan medir las entradas y salidas de agua.

Dependiendo de los recursos, en esta fase, se debería de incluir, los posibles puntos para la instalación de control de flujo.

El desarrollo del proyecto, si considera actuar en los distintos escenarios, debería arrojar el funcionamiento hidráulico del sistema para distintos escenarios, así como los costos de inversión necesarios.

La elección del proyecto, es aquel que con menor inversión, permitan una mejor redistribución del agua, y con menor número de VRPs, permita una significativa reducción del agua no contabilizada.

#### Construcción y puesta en Marcha.

Sin embargo, todas las actividades que se plantean en estos diagramas metodológicos, cuando están apoyados con medición, el desarrollo de estos proyectos, resultaran seguramente exitosas.

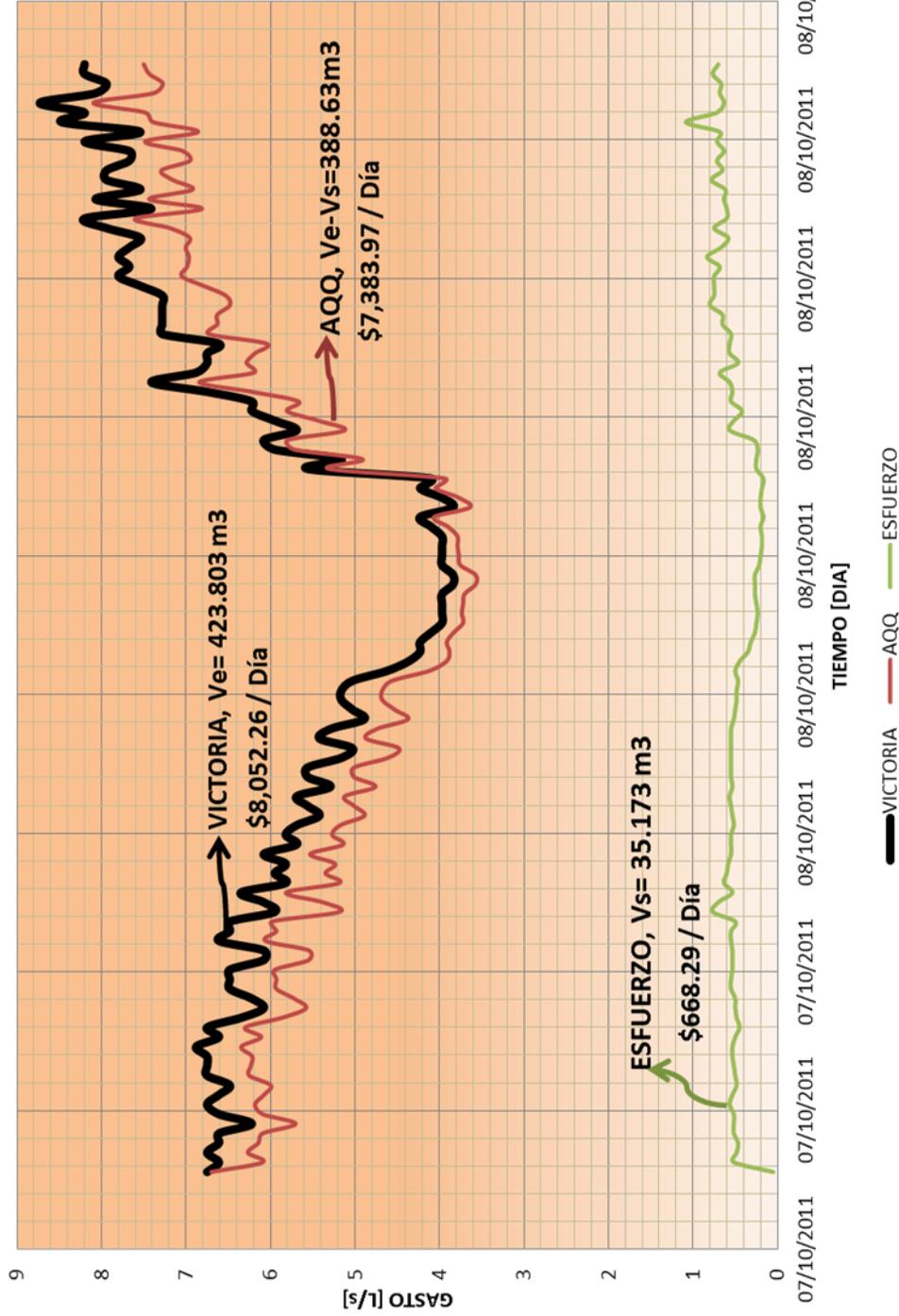
La información obtenida de las mediciones y cargadas a la red del modelo numérico, el uso del software, garantiza una calibración exitosa, está a su vez, constituye una base sólida para la realización del proyecto de sectorización. El presupuesto así obtenido, será muy cercano al real y además alcanzable.

Todos los proyectos de sectorización, inician con una opción posible de elegir, basada en una disponibilidad de recursos. Posteriormente, la secuencia a la

sectorización de una red, se transforman de fases de desarrollo de la sectorización, hasta lograr su total desarrollo.

La ejecución de las diferentes fases del proyecto, se vuelve un proceso entendible para la operación hidráulica; La propuesta metodológica termina en la implantación del Proyecto, sin embargo, esto es el inicio, de otra calibración a partir de las mediciones que obtenga el organismo, que le permitan sistematizar su operación hidráulica.

Las mediciones de gasto y presión deberían continuar, hasta que el proyecto sea puesto en marcha por Operación Hidráulica.



**SUBSECTOR (MAZA)**

USUARIOS =	387
POBLACIÓN =	1.128 [hab]

Con VRP  
Medición del 07 al 08 de octubre del 2010

AQQ =	322.63	[m3/día]
Dot 1 =	344.53	[l/hab/día]

Med Organismo =	210.53	[m3/día]
Cons. Per cápita (Med Organismo) =	Dot 3	

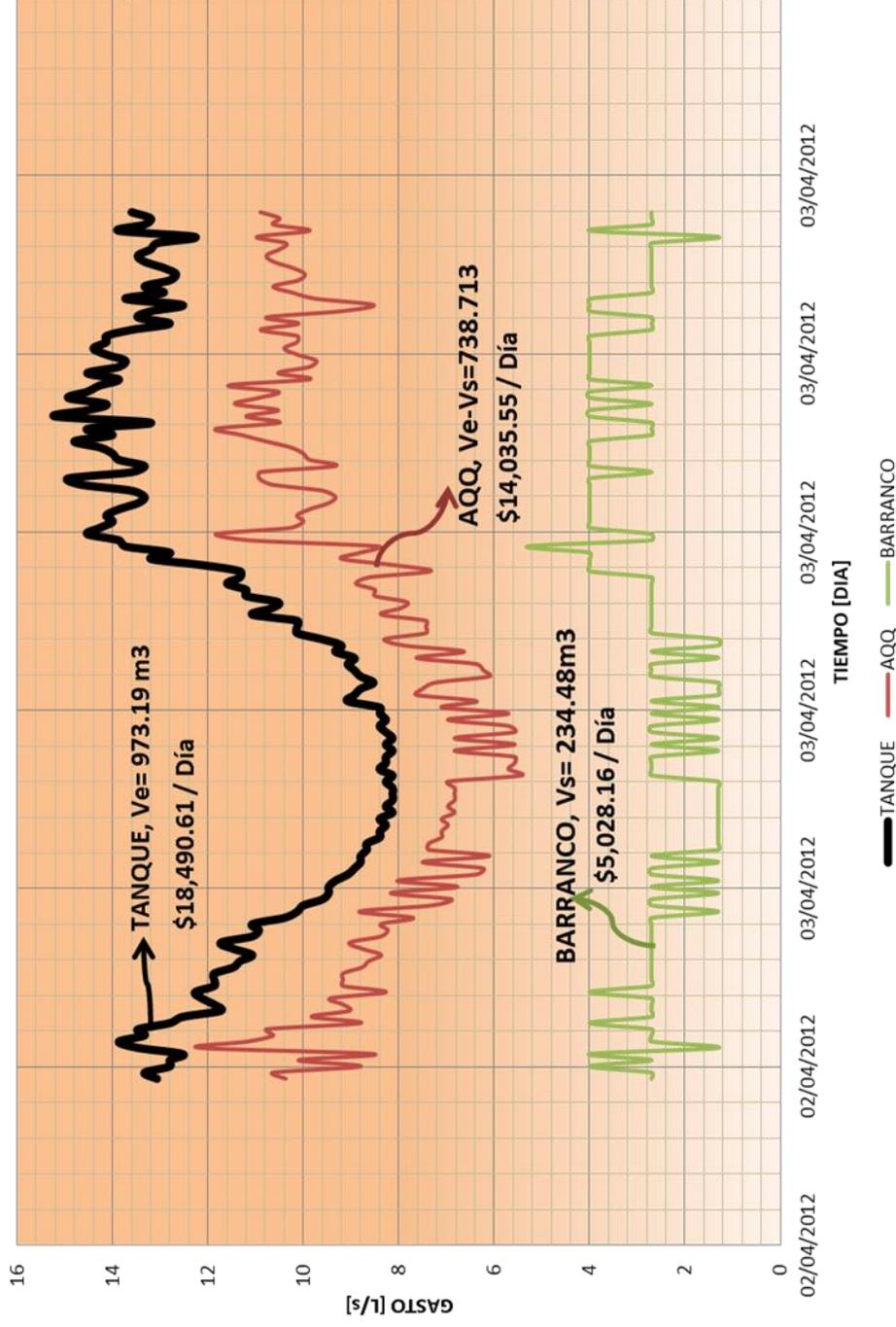
Dot 3 =	186.64	[l/hab/día]
---------	--------	-------------

ANC = Dot 1 - Dot 2 = 157.89 [l/hab/día]

ANC =	178.1	[m3/día]
ANC =	42.02 %	

ANC Recuperada =	15 %
------------------	------

**Figura 20. Balance y ANC Maza. Con VRP 07 al 08 de octubre de 2011.**



<b>SUBSECTOR (BARRANCO)</b>	
USUARIOS =	417
POBLACIÓN =	1,394 [hab]

Con VRP

Medición del 02 al 03 de abril del 2010

AQQ =	738.71	[m <sup>3</sup> /día]
Dot <sub>1</sub> =	529.92	[l/hab/día]

Med Organismo =	310.43	[m <sup>3</sup> /día]
Cons. Per cápita (Med Organismo) =	Dot 3	

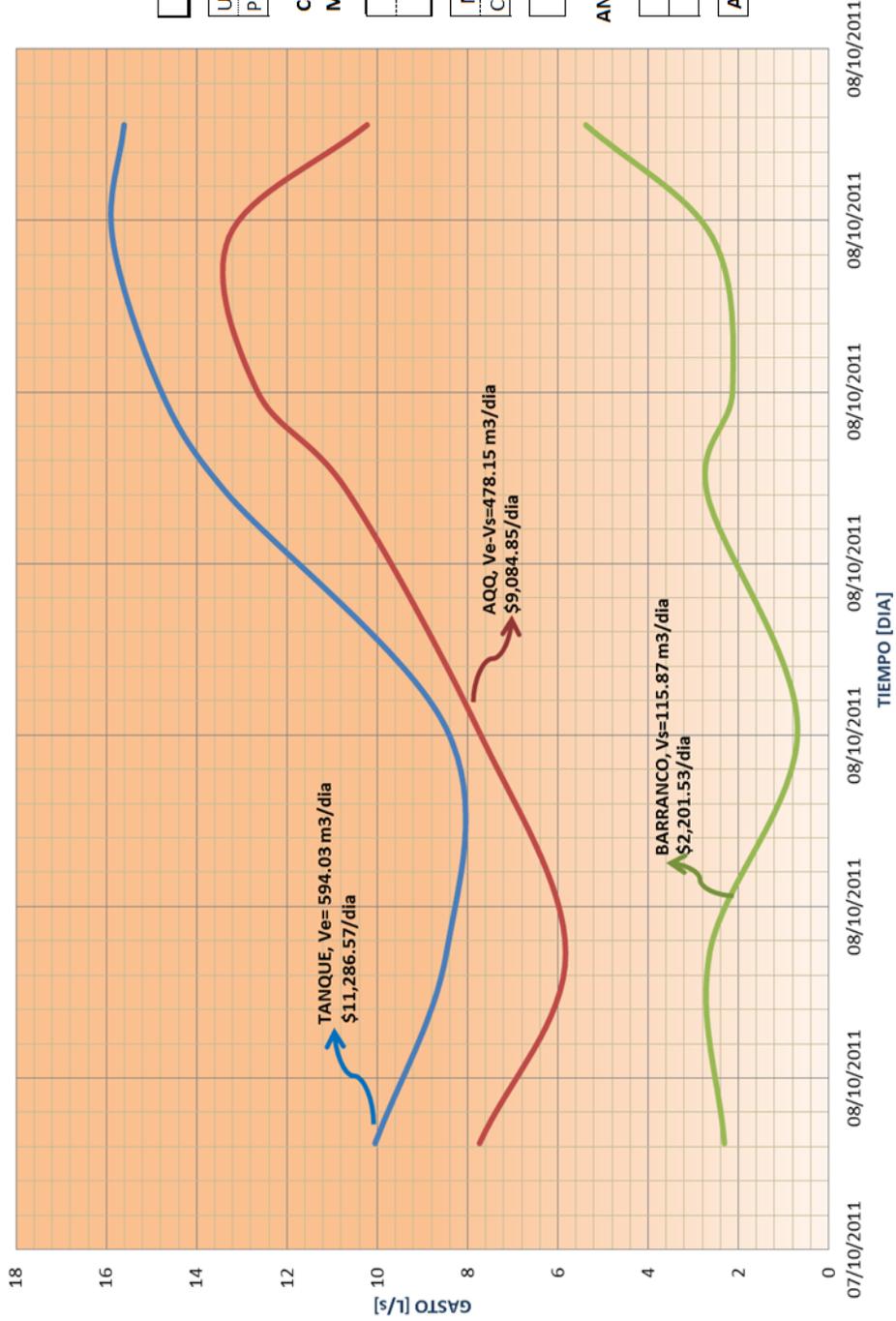
Dot 3 =	222.69	[l/hab/día]
---------	--------	-------------

ANC = Dot<sub>1</sub> - Dot<sub>2</sub> = 307.23 [l/hab/día]

ANC =	428.28	[m <sup>3</sup> /día]
ANC =	44 %	

ANC Recuperada =	SIN REFERENCIA
------------------	----------------

Figura 21. Balance y ANC Barranco. Con VRP 02 al 03 de abril de 2012.



**SUBSECTOR (BARRANCO)**

USUARIOS =	417
POBLACIÓN =	1,394 [hab]

**Con VRP  
Medición del 07 al 08 de octubre del 2011**

AQQ =	478.15	[m <sup>3</sup> /día]
Dot 1 =	343.01	[l/hab/día]

Med Organismo =	310.43	[m <sup>3</sup> /día]
Cons. Per cápita (Med Organismo) =	Dot 3	

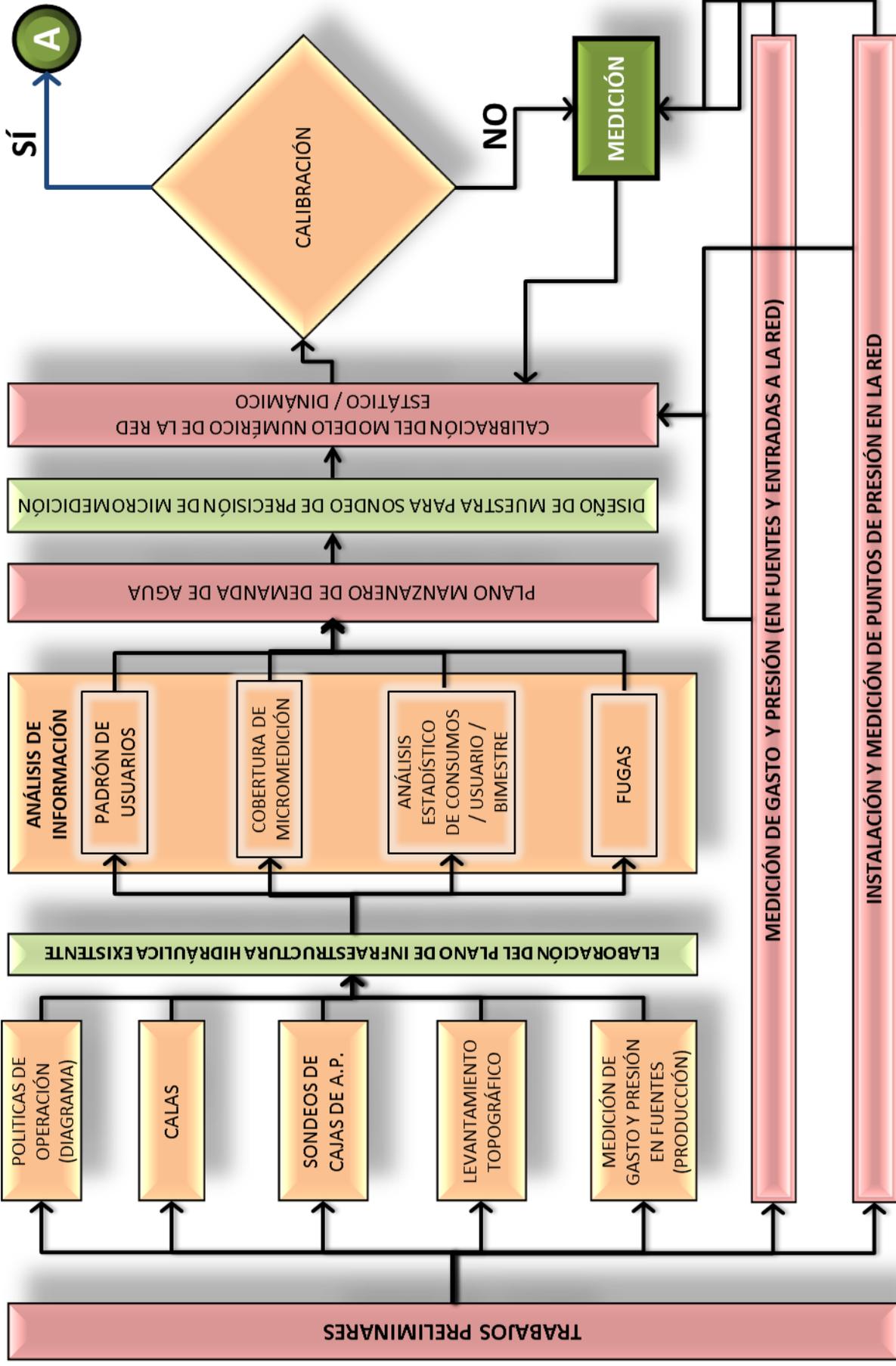
Dot 3 =	222.69	[l/hab/día]
---------	--------	-------------

**ANC = Dot<sub>1</sub> - Dot<sub>2</sub> = 120.32 [l/hab/día]**

ANC =	167.73	[m <sup>3</sup> /día]
ANC =	28.24 %	

ANC Recuperada =	67.97 %
------------------	---------

*Figura 22. Balance y ANC Maza. Con VRP 07 al 08 de octubre de 2011.*



**FIGURA 23.a. PROPUESTA METODOLÓGICA. PROYECTO SECTORIZACIÓN**

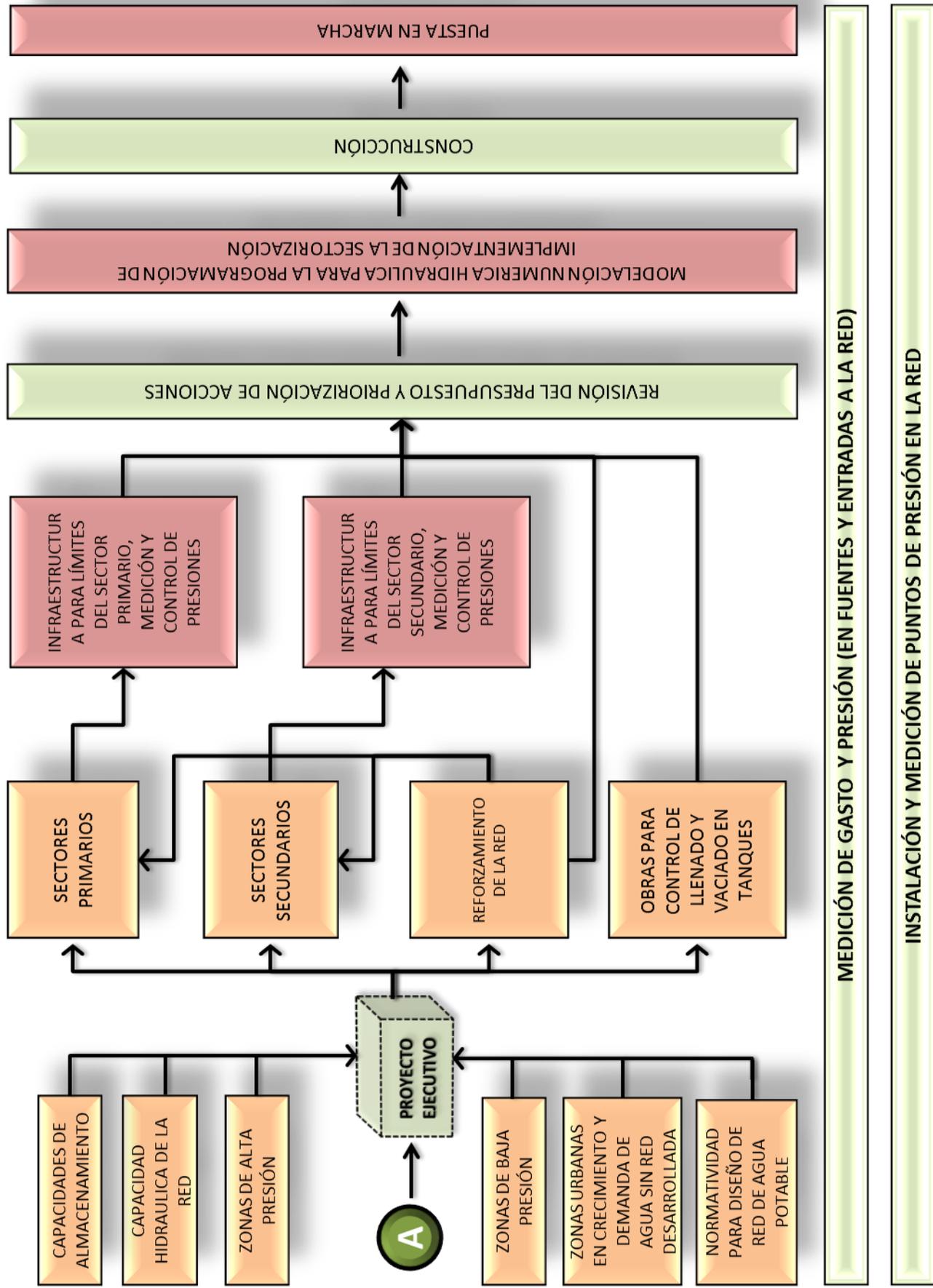


FIGURA 23. b PROPUESTA METODOLÓGICA. PROYECTO SECTORIZACIÓN

## CAPÍTULO 6

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

#### *6.1 CONCLUSIONES*

La implantación de la Sectorización en las dos áreas de estudio, Maza y Barranco, consideradas con altas presiones, las inversiones aun cuando no fueron las ideales, se concluye que al reducir las presiones, han dado resultados, disminuyendo en un porcentaje de al menos 13% del ANC respecto de las condiciones originales.

Sin embargo, en el supuesto de una más amplia inversión, los resultados que se obtendrían, habrían aumentado la disminución del ANC, ya que la puesta en marcha de los tanques, habría reducido aún más el valor del ANC. Esto habría dejado – en ambas áreas de estudio - , la parte topográficamente más alta de la red, dependiente de la presión de descarga de la línea de conducción principal, el resto dependería del volumen y cota del tanque. Adicionalmente, los reforzamientos, y los cierres de más circuitos de red, y la aplicación de las VRPs adicionales, habrían reducido las velocidades de flujo concluyendo en una mejor distribución del agua. La inversión para esta configuración de la infraestructura habría sido la mas alta.

Con relación al presupuesto disponible, los reforzamientos a la infraestructura y los trabajos de inspección, rebasaron las expectativas de los recursos.

La disponibilidad de datos de consumo de los usuarios pertenecientes a las áreas de estudio, durante los periodos de medición de 24 horas, limitó el periodo de análisis de los balances. En este caso, fueron utilizados los registros de consumos históricos.

Las inspecciones realizadas con personal de operación, las labores de ubicación de tuberías, así como de válvulas de operación en activo, no identificadas en la información grafica, facilitaron los trabajos adicionales, así como ampliaron el conocimiento de la red antes y después de la calibración.

El numero de sitios de medición de presión fue mayor al esperado, no obstante en el área de Barranco, debió instalarse inicialmente algunos más, debido a las irregularidades de la infraestructura, tanto en trazo, como en diámetros y puntos de conexión.

El resultado de calibración en Sector Maza, resulto mejor que en el Sector Barranco, algunas mediciones de gasto en tramos y sus presiones en sus extremos, habría dado más información a la calibración.

A pesar de los comunicados a los usuarios, así como de los beneficios en la recuperación de agua, la reducción de la presión a los limites reglamentados, significó molestias y reacciones a usuarios cercanos a las VRPs.

En lo general, este tipo de proyectos y su implementación, se llevan a cabo en dos o tres años, el esquema aplicado, permitió rapidez en su ejecución y comprobación en los beneficios de recuperación del ANC.

## *6.2 RECOMENDACIONES.*

Los objetivos de la sectorización, a la fecha, es la recuperación progresiva del ANC, sin embargo, el equipamiento implementado, permite a los operadores del servicio, el control de la demanda.

En este sentido, los presupuestos debieran ser acordes con las condiciones de la disponibilidad del agua, así en los casos de localidades con dotaciones per cápita excesiva de agua, no puede ser tratada igual que otra localidad con disponibilidad restringida del agua.

A fin de reducir los costos por el sondeo de la infraestructura, los organismos de servicios del agua, - independientemente de su tamaño -, debieran ser exigidos en mantener la información del Padrón actualizada, la de infraestructura sondeada, cajas identificadas, condiciones de edad y tipo de materiales de la red, en documentos físicos y fotográficos, verificables por autoridades estatales y federales; esto reduciría en forma significativa las inversiones por inspección de la infraestructura.

La participación del organismo, en las labores de lectura en la micro medición, durante los trabajos , de tal forma que fuesen simultaneas a las campañas de medición de presión y gasto en la red de distribución, una medida poco popular, sin embargo permite una mejor precisión del ANC antes y después de la implementación del proyecto.

Los organismo como el caso abordado, con problemas de cobertura en la medición domiciliaria, en zonas populares, deben considerar inversiones acordes con el nivel económico de la población, es decir medidores robustos con precisión alta y durables, así como también instalarlos en lugares accesibles al personal de lectura.

Las acciones al exterior de los domicilios, desde el ramal domiciliario, son responsabilidad del Organismo, el cual debe buscar reducir la diferencia entre el volumen producido y el entregado medido al domicilio, actuar en la forma que esta diferencia se reduzca, los problemas de escasez disminuirán.

Por lo general, una vez terminada la implementación del proyecto, se observa que los recursos y las acciones aplicadas fueron insuficientes, se descubrieron otras deficiencias que debieran ser atendidas, o bien, se concluye que las propuestas de mejoras a la red, obtenidas en la fase de presentación del proyecto, son necesarias de dar continuidad, sin embargo, es necesaria la participación de los tres niveles de gobierno para dar suficiencia presupuestal a este tipo de proyectos.

## CAPÍTULO 7

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

1. "SITUACION DEL SUBSECTOR AGUA POTABLE, ALCANTARILLADO Y SANEAMIENTO ".EDICIÓN 2012. SEMARNAT MEXICO.COMISION NACIONAL DEL AGUA.GOBIERNO FEDERAL.

2. MANUAL COMISION NACIONAL DEL AGUA. REDES DE DISTRIBUCIÓN.EDICION 2013.SEMARNAT MEXICO.COMISION NACIONAL DEL AGUA.GOBIERNO FEDERAL.

3. "REDUCCION INTEGRAL DE PERDIDAS DE AGUA POTABLE"; LEONEL OCHOA ALEJO, VÍCTOR BOURGUETT ORTIZ. 2ª EDICION 2001; IMTA, SEMARNAT.

4. MECÁNICA DE LOS FLUIDOS. VÍCTOR L. STREETER Y E. BENJAMÍN WYLE. MC GRAW HILL, OCTAVA EDICIÓN 1986.

5. MECÁNICA DE FLUIDOS.FRANK WHITE. Quinta edición. Por Mc GRAW HILL/ INTERAMERICANA DE ESPAÑA, S.A.U. 2004.

6. HIDRAULICA GENERAL.VOLUMEN 1.FUNDAMENTOS. GILBERTO SOTELO ÁVILA PROFESOR HEMÉRITO DE LA FACULTAD DE INGENIERIA ; UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO. LIMUSA NORIEGA EDITORES, 2000.

7. FLUJO DE FLUIDOS.EN VALVULAS, ACCESORIOS Y TUBERIAS. CRANE. MCGRAW HILL/ INTERAMERICANA DE MEXICO SA DE CV. 1989.

8. "DOCE ALGORITMOS PARA RESOLVER PROBLEMAS DE HIDRÁULICA". POR JOSÉ LUIS SÁNCHEZ BRIBIESCA. EDICIÓN AZUL. INSTITUTO DE INGENIERÍA. AGOSTO 1978, 412. UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO.

9.-"FUNCIONAMIENTO HIDRAULICO A PRESIÓN EN REGIMEN NO PERMANENTE DE UNA RED DE TUBERÍAS ".POR DR. OSCAR ARTURO FUENTES MARILES (\*) Y M en I GUADALUPE ESTHER FUENTES MARILES (\*\*).XV CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDRAULICA.

(\*)INVESTIGADOR Y PROFESOR; INSTITUTO DE INGENIERÍA DE LA UNAM, MÉXICO D.F.

(\*\*)TÉCNICO ACADÉMICO, INSTITUTO DE INGENIERÍA DE LA UNAM, MÉXICO, D.F.

10.-. CURSOS DE INGENIERÍA HIDRÁULICA APLICADA A LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA. TOMO II. U. D. MECÁNICA DE FLUIDOS. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA. VII EDICIÓN, VALENCIA, ESPAÑA, JULIO 1995.

11.- *PROBABILIDAD Y ESTADISTICA PARA INGENIERÍA Y ADMINISTRACION.* Hines William W.; Montgomery Douglas C.Tercera Impresión, Editorial CECSA.MEXICO, 1988.P.P. 667.