

- Elaborado por (Nombre, puesto, firma):

Ing. Arturo Tapia Alcaraz	Consultor externo	_____
---------------------------	-------------------	-------

Revisado por (nombre, puesto, firma):

Ing. Eurípides Amaya	Puesto	_____
----------------------	--------	-------

Autorizado por (nombre, puesto, firma):

Ing. Abilio Pittí	Puesto	_____
-------------------	--------	-------

Personas con copia controlada

Personas con copia no controlada

Ing. Eurípides Amaya Ing. Carlos Gómez Gerentes Regionales
--

--

Copia asignada a (nombre y puesto):      Copia No.

Ing. Eurípides Amaya
----------------------

001
-----

EMISIÓN Y REVISIONES	AUTORIZA:	Ing. Amaya		
	FECHA:	16/Sep/03		

## ÍNDICE

<b>1.OBJETIVO.....</b>	<b>3</b>
<b>2.ALCANCE.....</b>	<b>3</b>
<b>3.DOCUMENTOS APLICABLES.....</b>	<b>3</b>
<b>4.DEFINICIONES.....</b>	<b>3</b>
<b>5.RESPONSABLE.....</b>	<b>3</b>
<b>6.MATERIALES REQUERIDOS.....</b>	<b>3</b>
<b>7.DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES GENERALES.....</b>	<b>4</b>
<b>8.DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES.....</b>	<b>5</b>
<b>8.1.ACTIVIDADES PRELIMINARES.....</b>	<b>5</b>
<b>8.2.ACTIVIDADES PRINCIPALES.....</b>	<b>5</b>
<b>9.REGISTROS DE CALIDAD.....</b>	<b>9</b>
<b>10.INFORME.....</b>	<b>9</b>
<b>11.ANEXOS. ....</b>	<b>10</b>
<b>11.1.Información requerida para elaborar el modelo.....</b>	<b>10</b>
<b>11.2.Hoja de distribución.....</b>	<b>12</b>

EMISIÓN Y REVISIONES	AUTORIZA:	Ing. Amaya		
	FECHA:	16/Sep/03		

## 1. OBJETIVO.

Definir las actividades a realizar para capturar una red hidráulica en el programa EPANET 2.

## 2. ALCANCE.

Este procedimiento se aplicará siempre que se vaya a capturar la infraestructura de una red hidráulica en el programa EPANET.

## 3. DOCUMENTOS APLICABLES.

- Procedimiento para instalar el software EPANET2 modificado para el ERSP.

## 4. DEFINICIONES.

**Modelo.** Representación de una red hidráulica mediante un software y la información que describe la infraestructura de la red.

**Simulación.** Son los resultados que ofrece un modelo calibrado, esto es, un modelo donde todos los parámetros (rugosidad, demandas, fugas, controles, niveles en tanques, etc.) han sido ajustados para que represente una realidad específica de la red hidráulica.

**Calibración.** Las actividades requeridas para obtener una simulación a partir de un modelo.

**Red primaria.** Es el sistema de tubos y conexiones que se utilizan para mover grandes cantidades de agua a través de la ciudad y que no tienen conexiones domiciliarias.

**Red secundaria.** Consiste de los tubos y accesorios que se instalan en cada calle de la ciudad donde existe el servicio de agua y de donde se alimentan las conexiones domiciliarias

**Sector.** Sección aislada de la red secundaria que se puede simular en forma independiente del resto del sistema hidráulico.

## 5. RESPONSABLE.

Se establece a Ing. Carlos Gómez como responsable de implementar, revisar, actualizar y hacer cumplir las actividades definidas en este procedimiento.

## 6. MATERIALES REQUERIDOS.

- Computadora con sistema operativo Windows 98 o superior, con 128 MB de memoria RAM mínimo, 20 MB de espacio libre en disco duro y CD ROM instalado.
- Software instalado: AutoCAD 2000, WaterCAD v6.5, EPANET2 modificado para el ERSP.

EMISIÓN Y REVISIONES	AUTORIZA:	Ing. Amaya		
	FECHA:	16/Sep/03		

ERSP	PROCEDIMIENTO PARA CAPTURAR UNA RED HIDRÁULICA EN EPANET 2.	Hoja 4 de 12 Código:O 01 02
------	---	--------------------------------

- Planos en AutoCAD donde se muestra la red primaria y secundaria del sector en su totalidad. El plano deberá incluir la siguiente información:
  - Longitud y localización de las tuberías.
  - Diámetro de los tubos.
  - Material de construcción de los tubos.
  - Elevación (o altura en relación a un punto) de cada uno de los nodos (intersecciones entre tubos) que componen la red.
  - Elevación, capacidad y dimensiones de los tanques y equipos de bombeo que existen en el sector o que abastecen de agua al sector.
- Consumo medio de agua en el sector.
- Patrón de variación del consumo durante el día o a lo largo de la semana.
- Cantidad de agua que se fuga en el sector.
- En el anexo 11.1 se menciona la información que puede ser de utilidad.

## 7. DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES GENERALES.

- Aislar el sector del resto de la red hidráulica en el programa Autocad. Para hacer esto sólo es necesario dibujar una línea que limite el sector y cortar el resto del contenido del plano para dejar solamente la región de interés.
- Insertar los elementos de la red de distribución secundaria utilizando el programa WaterCAD para AutoCAD. Esto implica captura de las características de cada nodo, tubo, tanque, y bombas.
- Exportar el archivo de WaterCAD al formato del programa EPANET2.
- Revisar la estructura hidráulica mostrada en el programa EPANET2 y corregir elementos faltantes de ser necesario.
- Mediante un software elaborado especialmente para el ERSP por la consultoría, al que se le llamó “programa ayuda Epanet”, se modifica el archivo de EPANET2 como sigue:
  - Se captura en el programa ayuda el consumo de agua del sector para que el programa calcule y capture en el archivo el consumo que se considerará en cada nodo.
  - Se captura en el programa ayuda el porcentaje de fugas a considerar en el sector y el programa calibrará los coeficientes de emitter de cada nodo para que se presente la cantidad de fuga especificada.
  - El programa ayuda agrega automáticamente el patrón de consumo que se presenta durante el día. Este patrón se tomó de

EMISIÓN Y	AUTORIZA:	Ing. Amaya		
REVISIONES	FECHA:	16/Sep/03		

casos de estudio pero debe ser adecuado durante la calibración del modelo.

- El programa ayuda también define algunos valores del archivo de EPANET2 como el tipo de fórmula para el cálculo de pérdidas por fricción, el color del fondo, los colores y rangos para mostrar los nodos y los tubos, las unidades en que funcionará el programa, el patrón de consumo a lo largo del día, y otros.
- Posteriormente se realizan las primeras simulaciones intentando cumplir con los criterios de presiones mínimas y máximas que se propusieron como meta.

## **8. DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES.**


### **8.1. ACTIVIDADES PRELIMINARES.**

1. Recabar la información necesaria para la elaboración del modelo descrita en la sección 6 y en el anexo 11.1.

### **8.2. ACTIVIDADES PRINCIPALES.**

1. Seleccionar una red para simular y asignarle nombre. En lo sucesivo la palabra *nom* equivaldrá al nombre del sistema.
2. Crear una nueva carpeta con el nombre *nom*.
3. Crear en esta carpeta un nuevo archivo en AutoCAD que contenga la red a simular y tres cuadras adicionales a ese perímetro. Nombrar al nuevo archivo con el mismo nombre de la carpeta (*nom.dwg*).
4. Abrir este archivo utilizando WaterCAD para AutoCAD.
5. Seleccionar el botón "Pressure Junction" e intentar colocar un nodo en el dibujo. Aparecerá una ventana preguntando si se desea configurar el proyecto, responder afirmativamente a esta pregunta. Desechar los cambios al archivo "untitled". El programa preguntará de nuevo si se desea configurar el proyecto, responder afirmativamente.
6. Posteriormente aparecerá la ventana "Project Setup Wizard".
7. En la primera ventana del Wizard llenar los datos de nombre del proyecto, nombre del ingeniero encargado del proyecto y comentarios.
8. En la segunda ventana se deberá definir el método de cálculo de pérdidas por fricción que se deberá utilizar. Se deberá especificar también en "Input modes" que se simulará la presión y no el grado hidráulico y en los tanques el nivel y no la elevación.
9. En la siguiente ventana se solicitan las escalas de los símbolos del sistema. Cambiar solamente el tamaño de "Symbol size" a 5 y dejar el resto de los campos tal como están, se podrán ajustar posteriormente, una vez que se haya iniciado la captura de elementos y sea posible evaluar si su tamaño es el adecuado.

EMISIÓN Y REVISIONES	AUTORIZA:	Ing. Amaya		
	FECHA:	16/Sep/03		

10. En la última ventana del Wizard se definen los valores prototipos ("prototypes") de todos los elementos. Seleccionar el elemento "Pressure Pipes" y definir el diámetro prototipo igual al que sea más común en los tubos de la red que se está capturando. Definir también el material de construcción de la tubería del sistema y la rugosidad a considerar.
11. Cerrar el Wizard de configuración del proyecto.
12. Crear un nuevo layer donde se agregarán todos los elementos de la red. Seleccionar un color que resalte del resto de los elementos del dibujo. Seleccionar el layer nuevo como el de trabajo.
13. Escribir una línea de texto con el objeto de definir la altura del mismo en 4. Esta altura será la que WaterCAD utilice para agregar la anotaciones de los tubos y nodos que se agreguen.
14. Insertar los primeros elementos de la red. Confirmar que la escala del texto y los elementos agregados sea la adecuada para apreciar fácilmente los símbolos. Si se requiere cambiar la escala ir a "Tools", "Options", "Drawing", y cambiar la escala de los símbolos ("symbol size") o del texto ("annotation height").
15. Posteriormente dar de alta todos los elementos del sistema: nodos, tubos, tanques, bombas y válvulas de control.
16. Capturar la elevación de cada uno de los nodos y tanques del sistema. Utilizar el botón "Select Element"  para editar la información de los nodos y tanques.
17. Corregir el diámetro de todos los tubos. Utilizar el botón "Select Element" para editar la información de los tubos.
18. Agregar los reservorios, los tubos y los nodos necesarios para simular la red. Si existen tanques se deberán capturar como reservorios. Posteriormente, cuando el modelo esté capturado en EPANET2, se podrán reemplazar por tanques.
19. Por último, revise los elementos insertados para asegurarse que todos los diámetros y elevaciones están capturadas correctamente. Puede utilizar la herramienta "tools", "color coding" para que el color de los tubos y nodos indiquen su valor y de esta forma facilitar la revisión.
20. Exportar el archivo a EPANET utilizando la opción "File", "Export", "Network". Exportar el archivo en la carpeta *nom*, con el nombre *nom* y con la extensión ".inp".
21. Grabar la información en WaterCAD y cerrar el programa.
22. Abrir el archivo "progVB.xls" utilizando el programa Excel y habilitar las macros que éste contiene.  

Nota: Si el programa no presenta la opción de "Habilitar macros" se deberá seleccionar nivel de seguridad medio en "Herramientas", "Opciones", "Seguridad", "Seguridad de macros", "Nivel de seguridad". Posteriormente se deberá cerrar el archivo "progVB.xls" y se deberá abrir de nuevo.
23. Desde Excel abrir el archivo *nom.inp*. Para hacerlo deberá seleccionar la opción "Todos los archivos" en "Tipo de archivo" de la ventana "Abrir" y buscar la carpeta *nom* y el archivo *nom.inp*. Al seleccionar el archivo y pulsar el botón

EMISIÓN Y REVISIONES	AUTORIZA:	Ing. Amaya		
	FECHA:	16/Sep/03		

“Abrir” se abrirá la ventana del “Asistente para importar texto”, en esta ventana se deberán seguir los siguientes pasos: En el paso 1 pulsar “Siguiente”, en el paso 2 seleccionar “Espacio” como separador y pulsar “Finalizar”. Excel abrirá un nuevo libro con el nombre *nom*.

24. En el libro *nom* pulsar la combinación de teclas Control-A. Se abrirá la ventana “Convierte al SI”. Posteriormente pulsar el botón “Convierte al Sistema Internacional” para convertir los valores de diámetros y longitudes que WaterCAD exporta en el sistema inglés.

25. Cerrar la ventana “Convierte al SI”.

26. Guardar el archivo como “in.inp”. Al hacerlo se deberá utilizar la opción “Guardar como”. El programa preguntará si se desea conservar el formato actual a lo que se deberá responder afirmativamente.

27. Cerrar el programa Excel sin guardar cambios a los archivos abiertos.

28. Iniciar EPANET y abrir el archivo “in.inp”. Comprobar que la red esté completa. Si algo hiciera falta, se podrá corregir en EPANET o en WaterCAD según convenga.

Nota: Cuando WaterCAD exporta archivos de EPANET convierte las unidades al sistema inglés. Trabajar en este sistema sólo mientras se utiliza el programa ayuda para EPANET que vuelve a convertir las unidades al sistema internacional.

29. En el browser seleccionar “Data”, “Options”, “Hydraulics”. En la ventana “Hydraulics options”, dentro del campo “Status report” seleccionar “no”.

30. En el campo “Relative viscosity” de la misma ventana colocar el valor 1.

31. Revisar la información contenida en los reservorios del sistema. Al parecer existe un problema en la información que WaterCAD exporta para los tanques y reservorios y hace que EPANET no la lea bien.

Nota: En esta punto no se deberán utilizar tanques, sólo reservorios.

Cambiar los tanques existentes por reservorios, posteriormente se podrán reemplazar por tanques.

32. Si existe un Pattern conocido en la red simulada se deberá capturar en este paso. Utilizar en el browser: “Data”, “Patterns”, “Add”.

33. Realizar una primera simulación de la red.

34. Si se muestra la advertencia de que el sistema no ha convergido a una solución (“system unbalanced”) incrementar en la ventana “Hydraulic options” el número de intentos máximos permitidos (“maximum trials”) o reducir la precisión buscada (“Accuracy”). Simular de nuevo hasta que no aparezca la advertencia.

Nota: En ocasiones es de utilidad agregar una demanda pequeña a uno de los nodos para que la simulación converja más rápidamente.

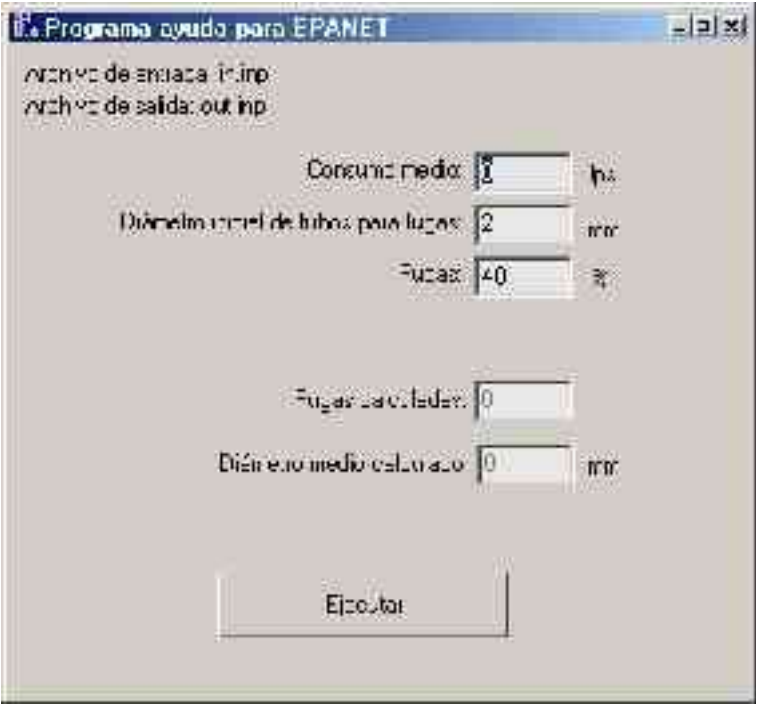
35. Una vez que el programa puede realizar una simulación sin errores se deberá guardar el archivo “in.inp”. Para hacerlo seleccionar “File”, “Export”, “Network”.

36. Cerrar EPANET.

EMISIÓN Y REVISIONES	AUTORIZA:	Ing. Amaya		
	FECHA:	16/Sep/03		

37. Crear un acceso directo al programa ayuda EPANET "FugEm.exe" en la carpeta *nom*. Copiar el acceso directo de otra carpeta y cambiar el nombre de la carpeta de trabajo al de la nueva carpeta, se debe incluir toda la raíz desde c.
38. Mediante el software elaborado especialmente para el ERSP por la consultoría, al que se le llamó "programa ayuda Epanet" (archivo FugEm.exe) y al cual se accede utilizando el acceso directo "FugEm" creado en el paso anterior, se modifica el archivo de EPANET como sigue:
- Se inicia el programa mediante el acceso directo creado en el punto 8.2
  - Se captura en el programa ayuda el consumo medio de agua del sector en lps para que el programa calcule y actualice el consumo que se considerará en cada nodo (ver Figura 1).
  - Se captura el porcentaje de fugas a considerar en el sector para que el programa calibrará los coeficientes de emitter de cada nodo para que se presente la cantidad de fuga especificada.
  - El programa ayuda agrega automáticamente el patrón de consumo que se presenta durante el día. Este patrón se tomó de casos de estudio pero debe ser adecuado durante la calibración del modelo.
  - El programa ayuda también define algunos valores del archivo de EPANET como las unidades en que funcionará el programa, el patrón de consumo a lo largo del día.

**Figura 1. Ventana del programa ayuda para EPANET.**



EMISIÓN Y REVISIONES	AUTORIZA:	Ing. Amaya		
	FECHA:	16/Sep/03		

39. Cerrar el programa ayuda.
40. Desde EPANET abrir el archivo "out.inp" que fue creado por el programa ayuda.
41. Posteriormente se realizan las primeras simulaciones intentando simular las mediciones de presión encontradas en campo.
42. Crear etiquetas para los nodos de los cuales se hayan realizado mediciones de presión en campo.

## **9. REGISTROS DE CALIDAD.**

.

## **10. INFORME.**

.

EMISIÓN Y	AUTORIZA:	Ing. Amaya		
REVISIONES	FECHA:	16/Sep/03		

ERSP	PROCEDIMIENTO PARA CAPTURAR UNA RED HIDRÁULICA EN EPANET 2.	Hoja 10 de 12 Código:O 01 02
------	---	---------------------------------

## 11. ANEXOS.

### 11.1. Información requerida para elaborar el modelo

#### a) información sobre la ubicación de tubos y sus interconexiones

Se prefiere que esta información se encuentre digitalizada (en archivos de software tipo CAD o GIS, como AutoCAD o ArcView).

También es útil contar con planos impresos de la red hidráulica que contengan información sobre el diámetro y material de construcción de los tubos y archivos CAD o GIS donde aparezcan dibujadas las calles. Con los planos y los archivos es posible dibujar entre las calles los tubos que componen la red hidráulica.

En algunos puntos de la red (especialmente en las salidas de los almacenamientos o de las fuentes de agua) las interconexiones entre las tuberías existentes pueden ser muy complejas. Es necesario conocer ese detalle y usualmente se dibujan en los planos en un recuadro aparte donde es posible emplear una escala mayor.

#### b) información sobre las características de la tubería

Se prefiere que esta información se encuentre en una base de datos. Se busca el tipo de material de la tubería, la rugosidad, el tiempo que tiene instalada, fabricante.

Si no se cuenta con una base de datos, la información en papel impreso y relacionada con los tubos descritos en los planos también es útil.

#### c) Mapa topográfico donde se muestren curvas de nivel a cada metro.

Es preferible una base de datos donde se indique la altitud exacta de cada una de las uniones de los tubos que componen la red. Es especialmente importante conocer con precisión la altura de los tanques de almacenamiento, estaciones de bombeo o cualquier fuente de agua.

#### d) Demanda de agua

Es deseable que exista una base de datos que contenga el consumo mensual de cada habitación y las coordenadas que permitan ubicarla en el plano de la red hidráulica.

Si esta información no está disponible se puede utilizar otro criterio para distribuir la demanda, como puede ser la densidad de población por regiones, tipo de uso (comercial, industrial, doméstico, etc.).

Es necesario conocer el patrón de variación del consumo en el tiempo. Específicamente se requiere la variación durante el día y cuando existen días de consumo muy diferentes será necesario conocer estas diferencias. El último caso se presenta, por ejemplo, en las redes de centros turísticos donde el consumo que

EMISIÓN Y	AUTORIZA:	Ing. Amaya		
REVISIONES	FECHA:	16/Sep/03		

se presenta los fines de semana o en verano es diferente al consumo de otras épocas del año.

También es necesario conocer el plan de desarrollo urbano que el prestador del servicio tiene considerado.

**d) Información sobre las estaciones de bombeo y de almacenamiento**

Es necesario conocer con detalle las elevaciones de los tanques y estaciones de bombeo, además la forma del tanque (una ecuación para calcular el volumen en función del nivel del agua dentro del tanque), la elevación máxima y mínima del agua dentro de los mismos, las curvas de las bombas, diámetros de las tuberías de succión y descarga así como los accesorios instalados en las mismas.

**e) Dispositivos de control**

Es necesario conocer cuáles dispositivos de control utiliza la red y cómo están calibrados. Ejemplos de los dispositivos que se pueden utilizar incluyen: válvulas reguladoras de presión, sostenedoras de presión, para mantener un caudal fijo o limitar un caudal, bombas de velocidad variable, válvulas de seccionamiento parcialmente abiertas, medidores de flujo que provocan caídas de presión considerables, válvulas de flotador y cualquier otro tipo de control utilizado.

**f) Otros**

Cualquier tipo de información que haya sido generada durante estudios hidráulicos es útil para la elaboración o calibración del modelo. Son de especial interés aquellos estudios donde se hayan realizado mediciones de caudal y de presión.

EMISIÓN Y REVISIONES	AUTORIZA:	Ing. Amaya		
	FECHA:	16/Sep/03		

