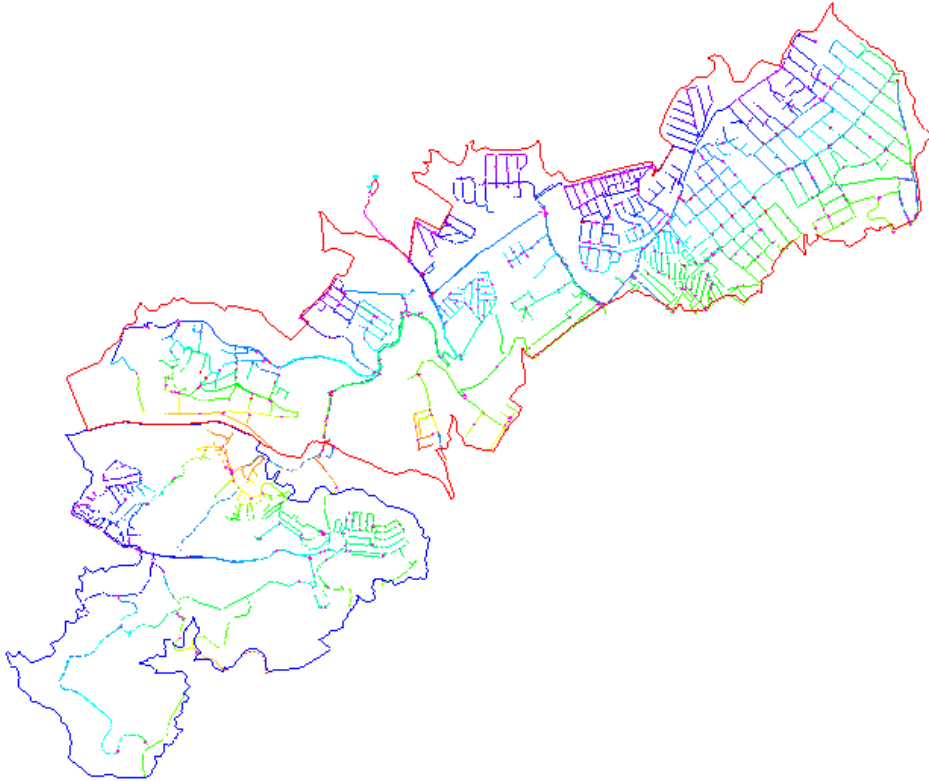


# INTRODUCCIÓN A LA MODELACIÓN DE REDES HIDRÁULICAS A PRESIÓN



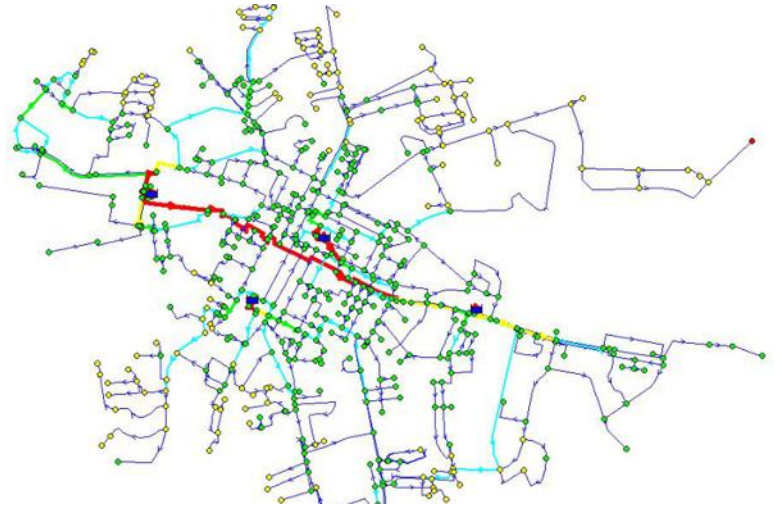
<http://akua.mesoftware.net>

Fundamentos de la modelación

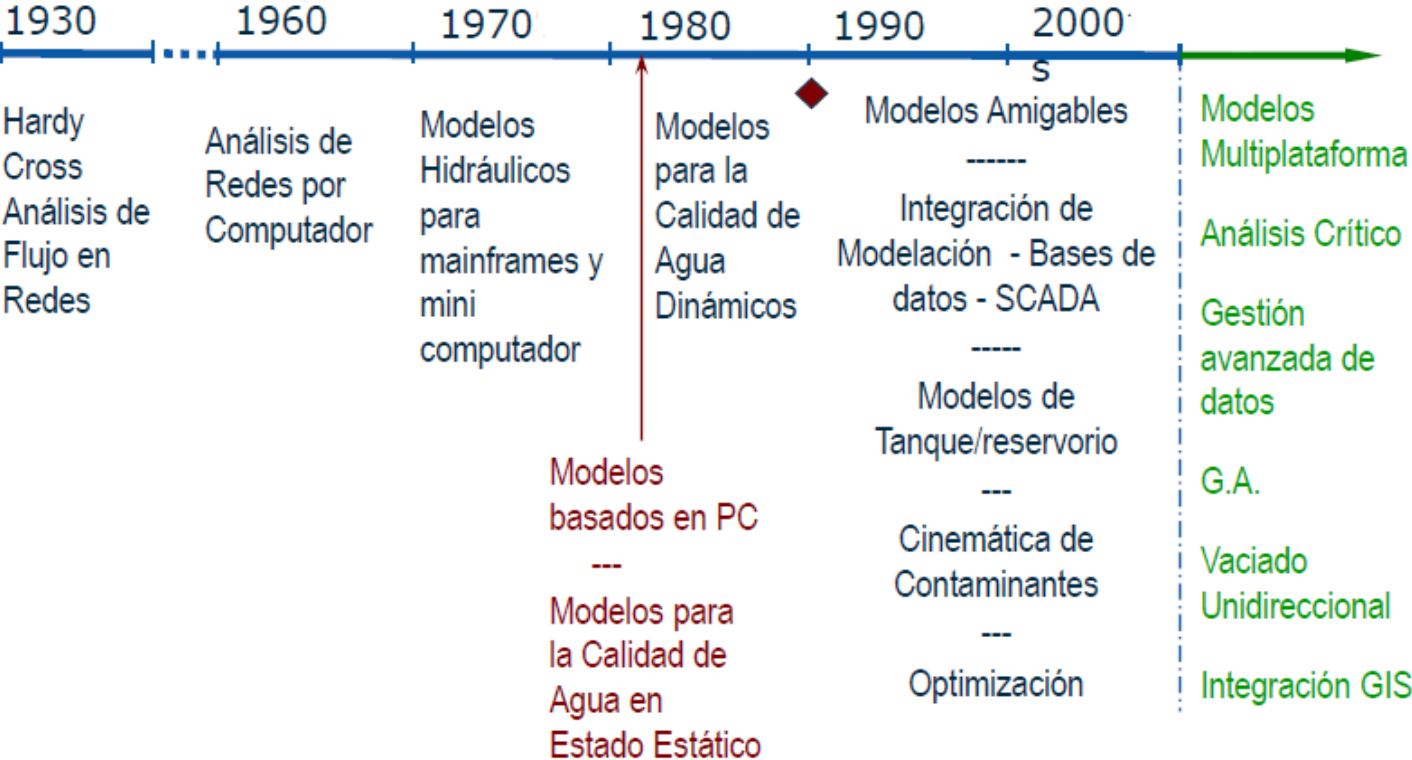
**¿POR QUÉ MODELAR?**

# Aplicaciones de los modelos de redes hidráulicas

- Distribución de agua potable
- Provisión de agua no tratada
- Irrigación a presión
- Protección contra incendios
- Conducciones presión de aguas negras
- Agua para enfriamiento
- Aplicaciones industriales



# Historia de la Modelación de Redes de Distribución



# Generalidades de la Simulación

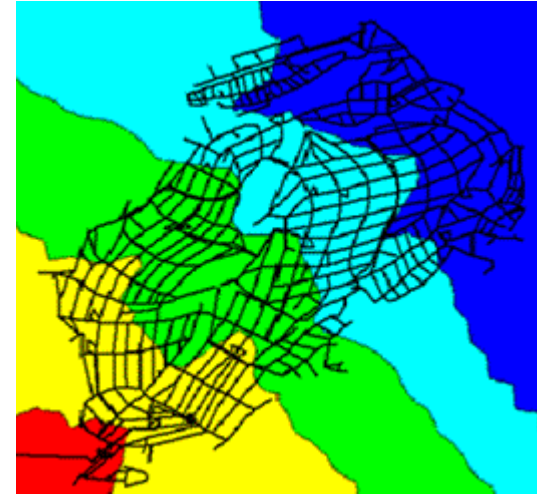
Aproximación a la Realidad

MODELO = SOFTWARE + INFORMACION

Importante la Recolección y revisión para  
Ingreso de Datos Topológicos y Operativos

Tomar la decisión si los resultados son  
razonables

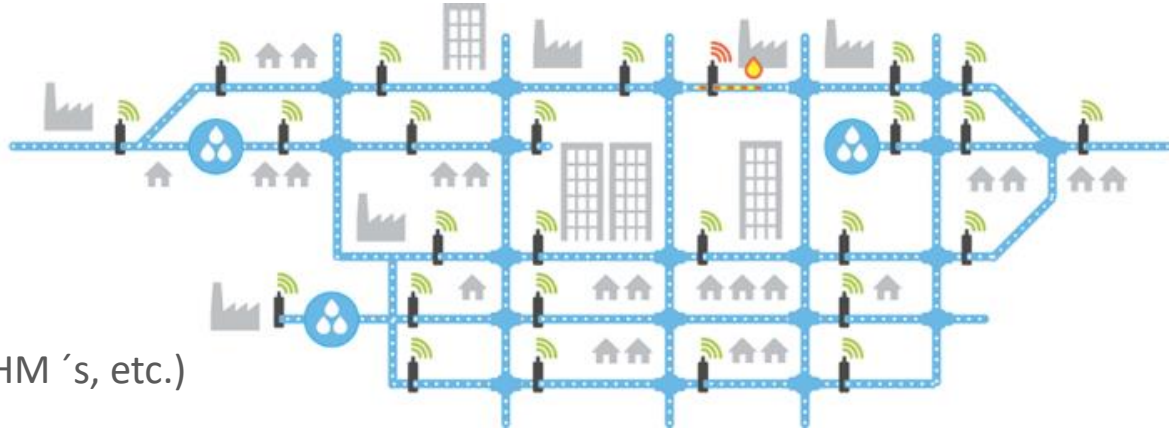
Aplicar un buen criterio de Ingeniería



**INPUT : BASURA → OUTPUT : BASURA**

# Tipos de Simulaciones

- Simulación Estado Estático
- Simulación en Periodo Extendido
- Simulación de Calidad del Agua
  - Edad
  - Trazado
  - Constituyente (Cloro Residual, THM 's, etc.)



Modelación de redes

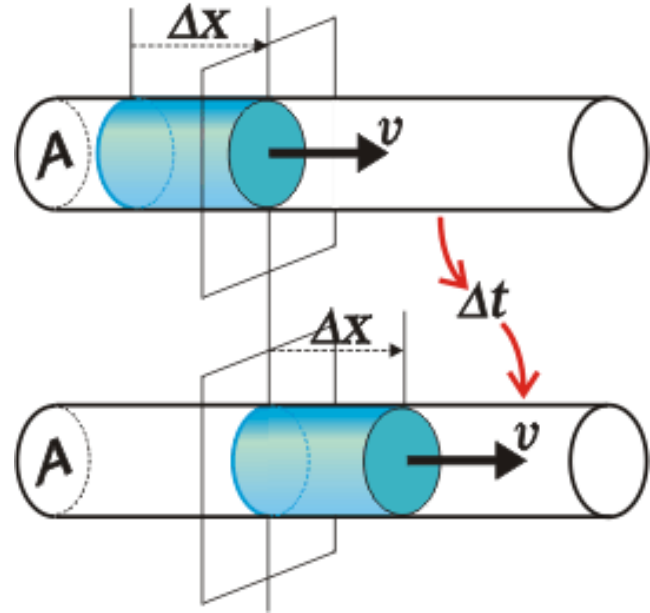
# **CONCEPTOS HIDRÁULICOS**

# Flujo o Caudal

## Volumen / Tiempo

Unidades Comunes:

- $\text{m}^3/\text{s}$  – metros cúbicos/segundo (SI)
- $\text{l}/\text{s}$  – litros/segundo
- $\text{m}^3/\text{hr}$  – metros cúbicos/hora
- $\text{ft}^3/\text{s}$  – pies cúbicos/segundo (FPS)
- $\text{gpm}$  – galones/minuto
- $\text{MGD}$  – millones de galones/día





# Velocidad

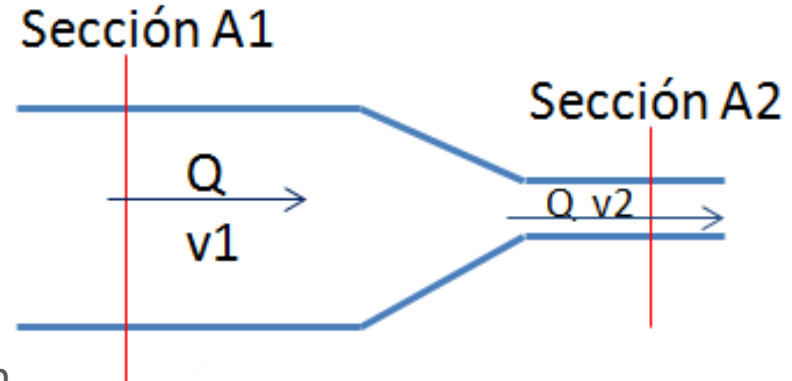
Velocidad = Flujo / Área

Unidades Comunes:

- m/s -metros por segundo
- fps - pies por segundo

Rango de Valores en Sistemas de Distribución

- - Típico: 0.6 – 1.2 m/s.
- - Alto: 1.5 – 2.5 m/s.
- - Muy alto: > 3.0 m/s



Ecuación de continuidad  $V = Q/A$

# Presión

Fuerza / Área

Unidades Comunes:

- psi – Libras /pulgadas cuadradas (típico US).
- Newton/m<sup>2</sup> - Pascal (SI).
- kPa – Kilo Pascal.
- bar – 100 kPa.
- atm – Atmósfera (14.7 psi ó 10.33 mca)



# Ecuación de Conservación de la masa

$$\text{Masa ENTRA} = \text{Masa SALE}$$

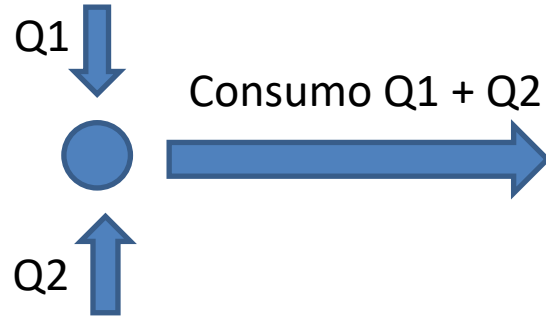
Para un flujo incompresible bajo condiciones estáticas:

$$\sum Q_i - U = 0$$

Donde:

$Q_i$  = flujo que entra en el nodo.

$U$  = Consumo del nodo



# Conservación de la energía

La energía solo se transforma,  
no se crea ni destruye

$$\frac{p_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{2 \cdot g} = \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2 \cdot g}$$

Ecuación de Bernoulli

Se consideran 3 formas de energía:

- (1) Presión -  $p / \gamma$
- (2) Velocidad -  $V^2 / 2g$  (Se ignora en ocasiones)
- (3) Elevación -  $z$

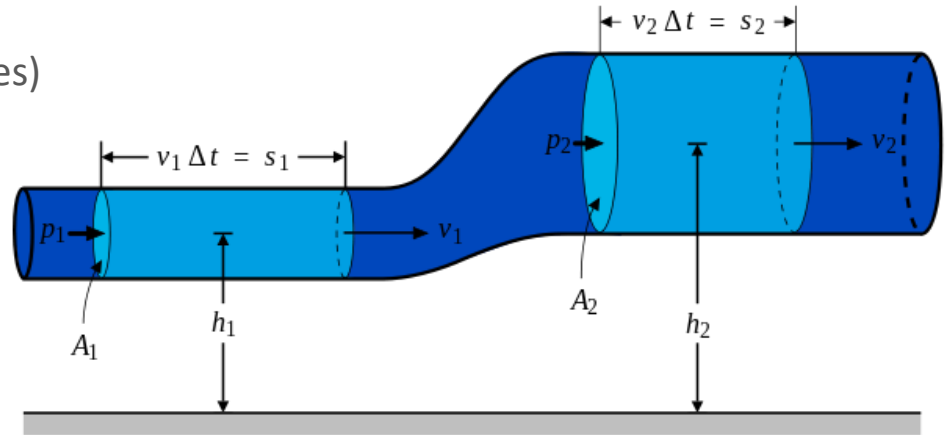
Donde,

$P$  = presión

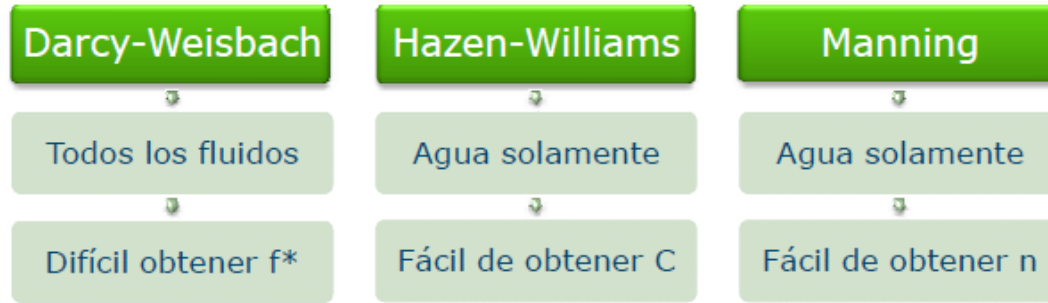
$\gamma$  = peso específico del flujo

$V$  = velocidad

$g$  = aceleración gravitacional



# Ecuaciones de Pérdida de carga hidráulica



Formulación de Hazen Williams:  $hf_{[m]} = 10,67 \cdot \left( \frac{Q_{[m^3/s]}}{C} \right)^{1,852} \frac{L_{[m]}}{D_{[m]}^{4,87}}$

Factor de rugosidad C medido en el campo u obtenido en calibración.

Valores Típicos de C:

- 150 superficies lisas
- 130 diseño típico.
- < 100 tuberías viejas o con superficies rugosas

# Pérdidas Menores

Pérdidas localizadas causadas por Accesorios, Codos, Válvulas  
Descritos por el coeficiente  $K_m$  en la Ecuación:  $h = K_m \times V^2/2g$

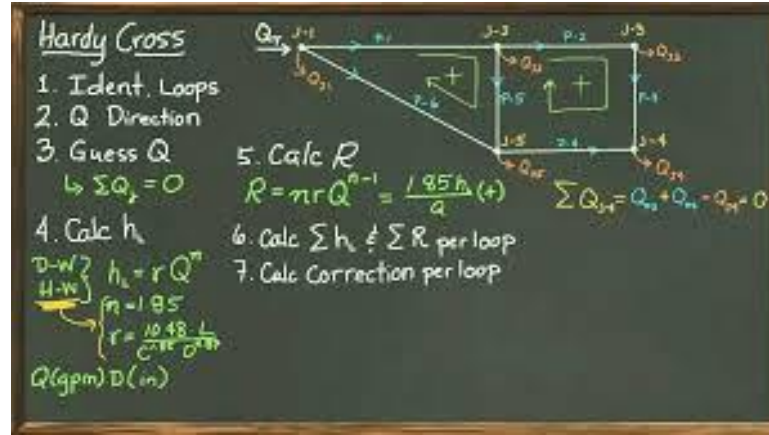
Donde

- $K_m$ = Coeficiente de Pérdidas menores
- $h$ = Pérdida de carga causada por Pérdidas menores
- $V$ = Velocidad de circulación
- $g$ =Aceleración de la gravedad



# Métodos de análisis de redes de distribución

- Hardy Cross
- Newton Raphson
- Circuito Simultáneo
- Teoría Lineal
- Gradiente Hidráulico



Es importante anotar que los métodos del circuito y nodo simultáneo, teoría lineal y gradiente hidráulico emplean formulaciones matriciales aprovechando el gran poder de procesamiento numérico de los computadores modernos.

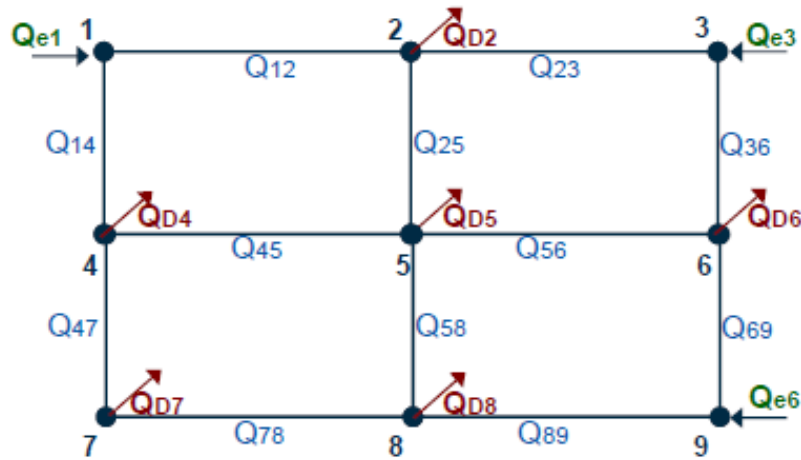
# Formulación de la red



NODOS: Uniones, Tanques y Reservorios.

CONEXIONES: Tramos de Tubos.

HIBRIDOS: Bombas y Válvulas, Nodos, que se comportan como conexiones.



9 Nodos  
12 Conexiones  
4 circuitos

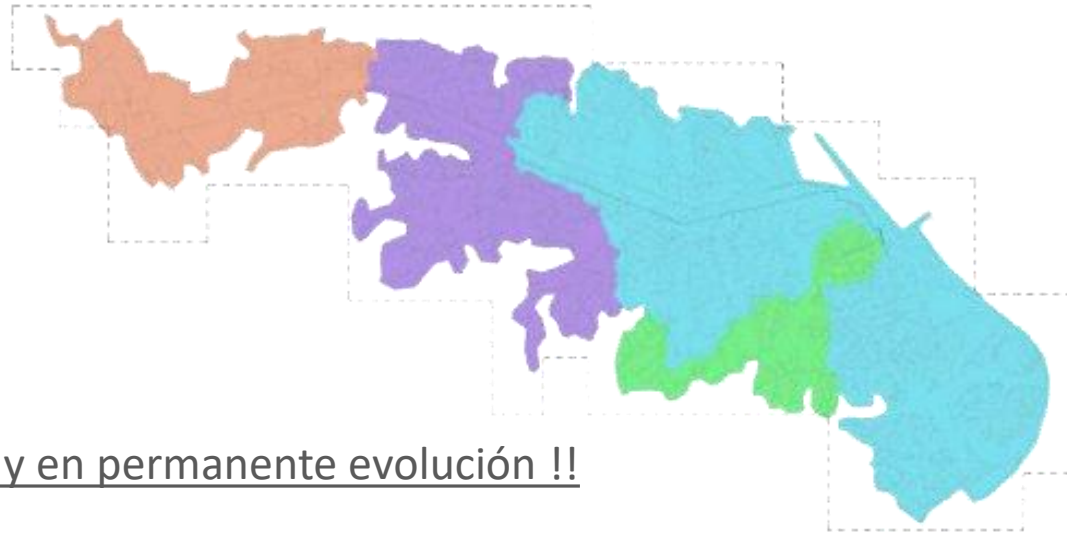


Modelos Hidráulicos

## **FASES DE UN MODELO**

# Construcción de Modelos

- ↑ Fase 0: Defina el alcance de su proyecto
- Fase 1: Selección y Aprendizaje del Software
- Fase 2: Construcción topológica
- Fase 3: Información de infraestructura
- Fase 4: Asignación de elevaciones
- Fase 5: Estimación de demandas
- Fase 6: Simplificación o esqueletización
- Fase 7: Escenarios y alternativas
- Fase 8: Ejecución de simulaciones
- ↓ Fase 9: Calibración



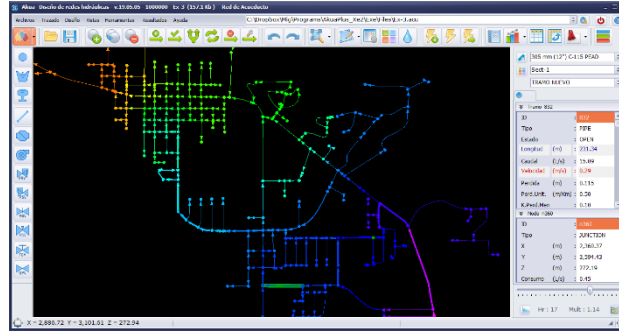
La modelación es un proceso iterativo y en permanente evolución !!

# Fase 1: Selección del Software

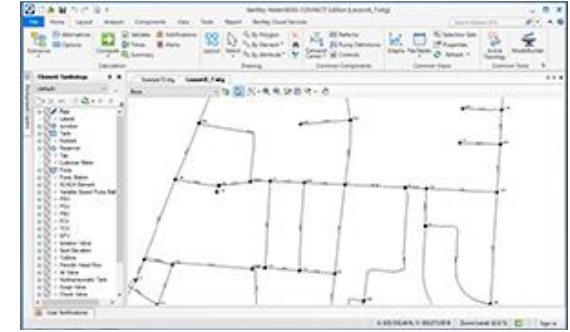
La mayoría de los software de modelación generan resultados correctos.

Criterios de Selección:

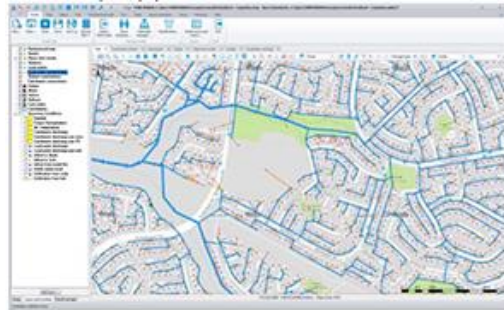
- Características técnicas
- Soporte técnico local
- Interfaz de Usuario
- Calidad de manuales y recursos Web
- Integración con otros Software: Interoperabilidad
- Herramientas de productividad: Esfuerzo y tiempo requerido para construir el modelo
- Idioma
- Precio



AKUA



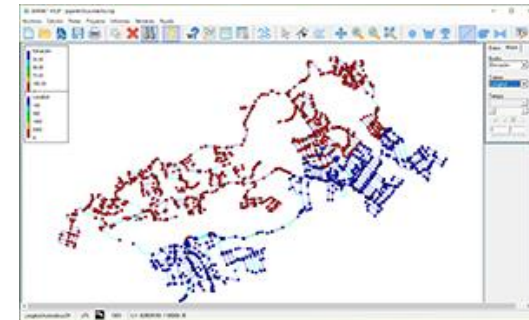
WATERGEMS



MIKE URBAN



KYPPE



EPANET



## Fase 2: Construcción Topológica

Base cartográfica en formatos CAD, GIS, Imágenes Satelitales

Procesos manuales o automáticos

Determine diámetros y materiales de tuberías

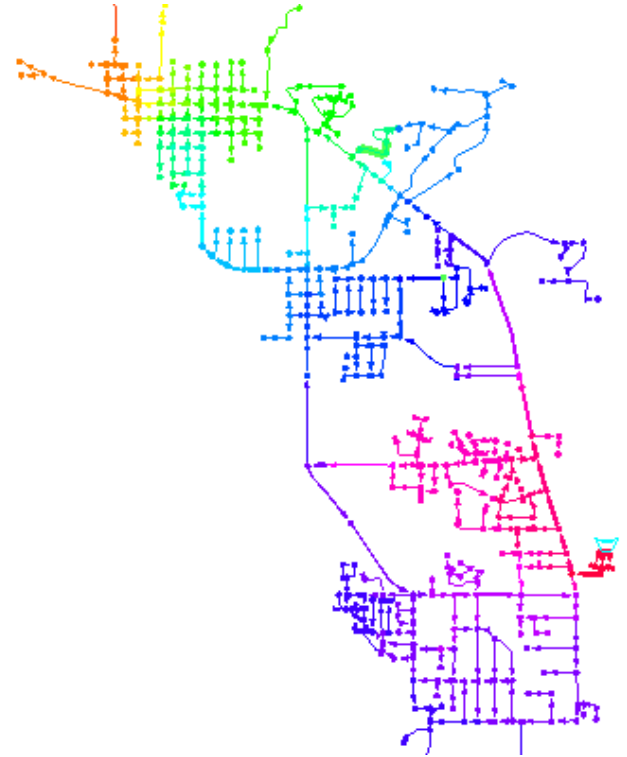
Identificadores para nodos y conexiones

Revisión de conectividad

Verificación en campo, validación topográfica

Involucrar operarios, proyectistas y delineantes

Establezca un protocolo interno



# Fase 3: Información de infraestructura

## Diámetros

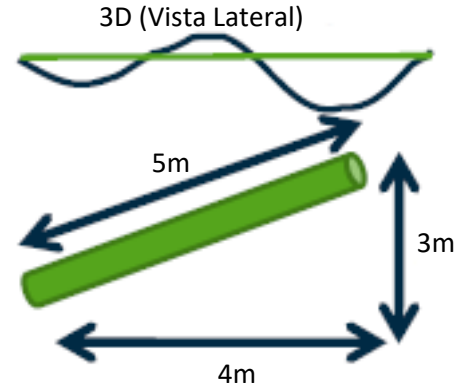
Nominales vs. Diámetros Reales

Importante en diámetros pequeños

## Longitud

Automática o definida por el usuario

En 2D o 3D



## Fase 4: Asignación de Elevaciones

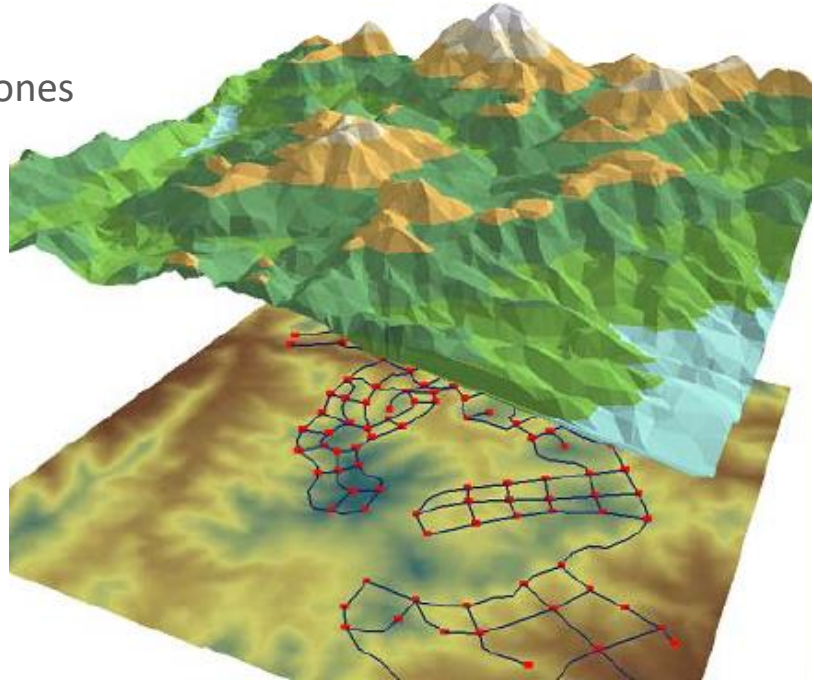
Usadas para convertir las cargas hidráulicas a presiones

Pueden usarse elevaciones del...

- Suelo,
- Tubería

Conservar consistencia.

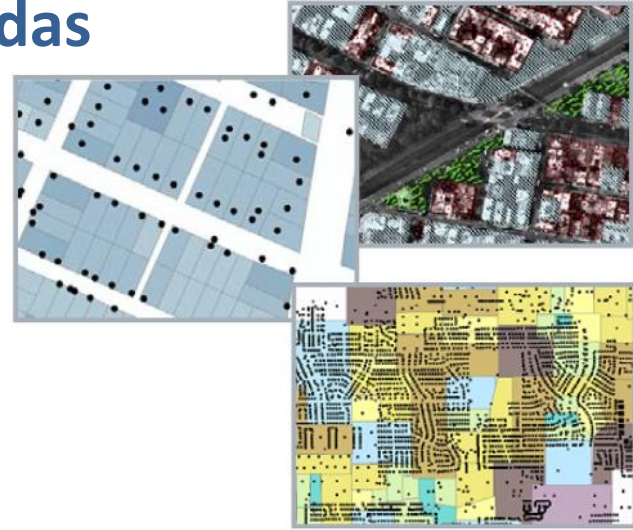
Si existe información topográfica de calidad,  
se podrán construir Modelos Digitales de  
Terreno Fiables !



# Fase 5: Estimación de demandas

## Estimación de uso del agua

- Uso del suelo – Densidad de Población
- Sectorización de la Red
- Sistema Comercial – Bases de Datos
- Lecturas medidores



## Corrección por agua no contabilizada - Pérdidas

- Población de Contadores
- Curva de Error de los Contadores
- Patrones de Consumo

## Proyecciones de Demanda

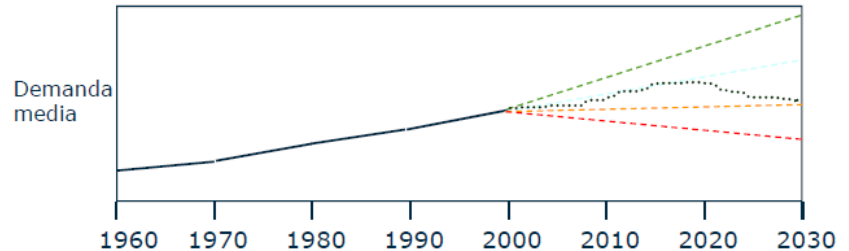
- Proyecciones espaciales y temporales de población
- ¿Donde ocurrirá gran crecimiento?
- ¿Donde se ubicarán los grandes consumidores?
- Dotaciones futuras de racionalización de uso

Promedios de consumo diario

Variaciones y picos temporales

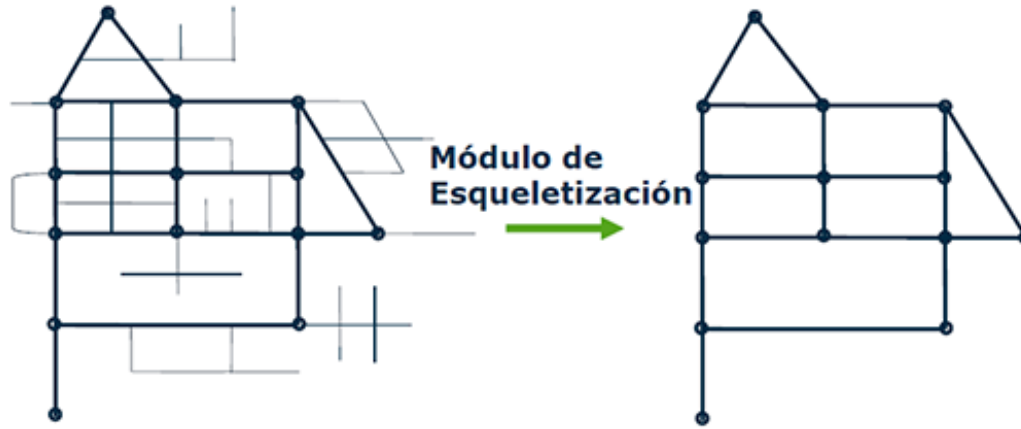
Flujos de incendio

## Proyecciones alternativas de demanda





# Fase 6 Simplificación o esqueletización



Aplicaciones que requieren mas tuberías.

- Diseño
- Análisis de calidad de agua
- Análisis contra incendios

Aplicaciones que permiten mayor esqueletización

- Planeamiento maestro
- Estudios regionales de calidad de agua
- Estudios de consumo de energía
- Elaboración de curvas de sistemas

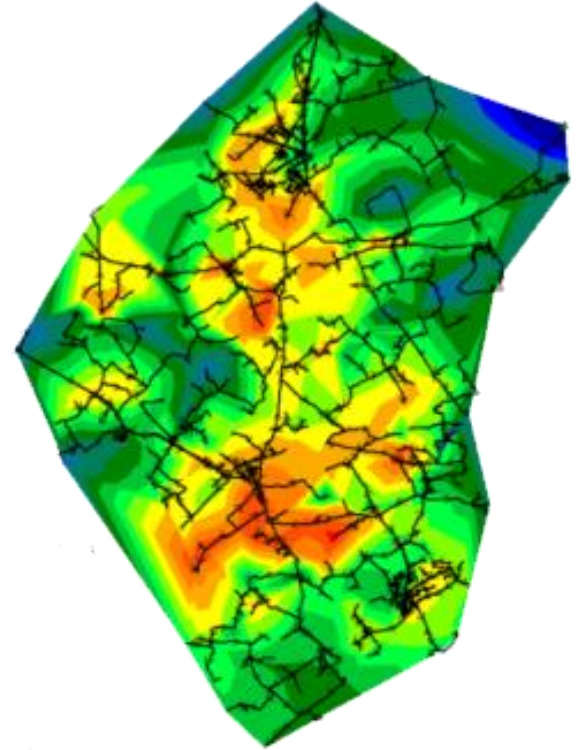
## Fase 7: Escenarios y alternativas

Escenario = Una Simulación distinta para el mismo modelo.

- Contiene tipo de Simulación.
- Usa datos de las alternativas.

Alternativas = Grupo de datos.

- Construyen bloques de escenarios.



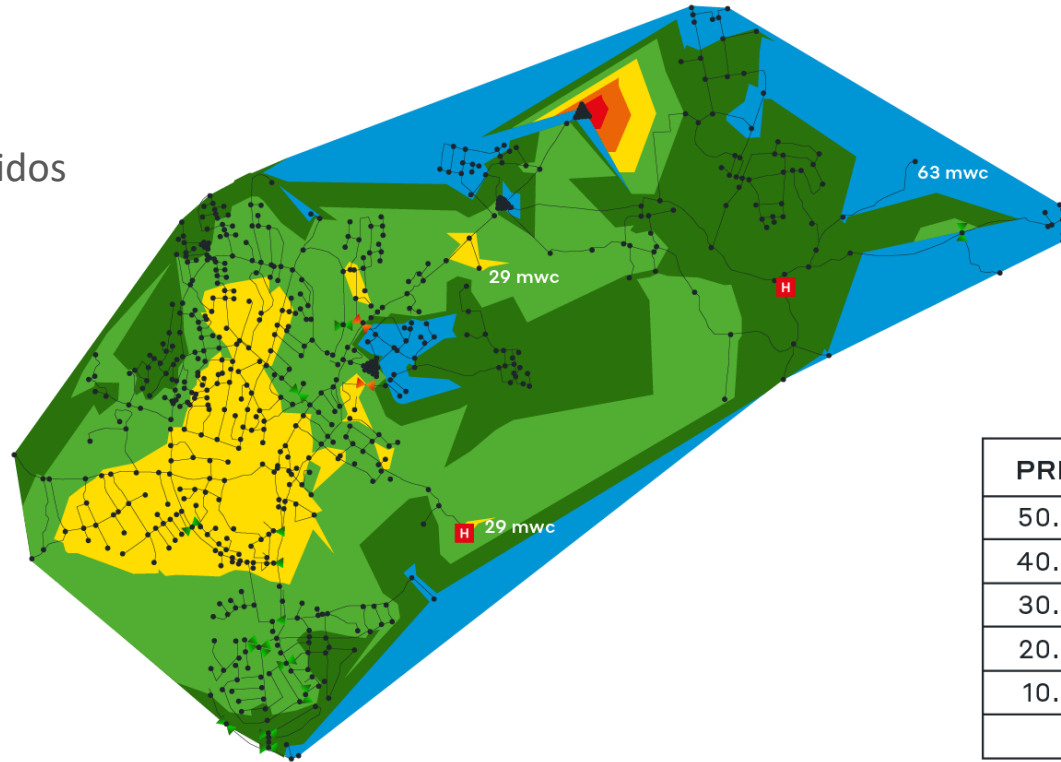
# Fase 8: Ejecución de Simulaciones







Estática

En períodos extendidos

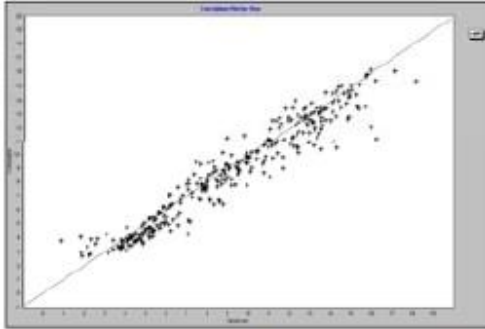
Calidad del Agua

Flujo de Incendio



PRESSURE (mwc)		
50.0	-	
40.0	50.0	
30.0	40.0	
20.0	30.0	
10.0	20.0	
-	10.0	

## Fase 9: Calibración



Ajustar las características del modelo hidráulico para representar de la mejor manera su comportamiento real

Estaciones de Control  
Telemandadas



Dispositivos de Medición  
(Data-Loggers)



Configuración Topológica

**ELEMENTOS HIDRÁULICOS**

# Elementos Singulares del Modelo

## Tanques y Reservorios:

Almacenamiento, Regulación de Caudales, Provisión en horas pico e Uniformización de Presiones.

## Estaciones de Bombeo:

Añaden energía al flujo.

## Válvulas Funcionales:

Control de condiciones de flujo y presión del Sistema.

## Válvulas de Aislamiento:

Tienen por objeto aislar hidráulicamente el sistema ante eventos de reparación o para separación de sectores hidráulicos.

# Tanques y Reservorios

## Reservorio

- Volumen infinito
- Nivel de agua constante

## Tanque

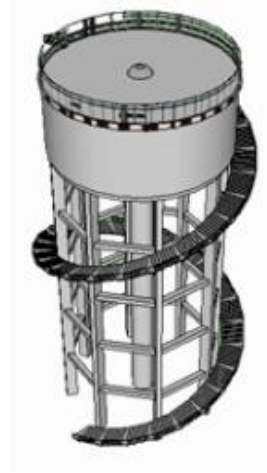
- Volumen finito
- Nivel de agua variable
- Pueden tener diversa geometría

## Impactos de Tanques y Reservorios

- Aprovechar la energía potencial (altura)
- Proveer almacenamiento de emergencia
- Regulación de presiones
- Balancear consumo
- Proveer presión en extremos durante horas pico – (Tanques de Cola)

## Impactos Negativos de Calidad del Agua

- Tiempo de Residencia Largos
- Mezcla Pobre

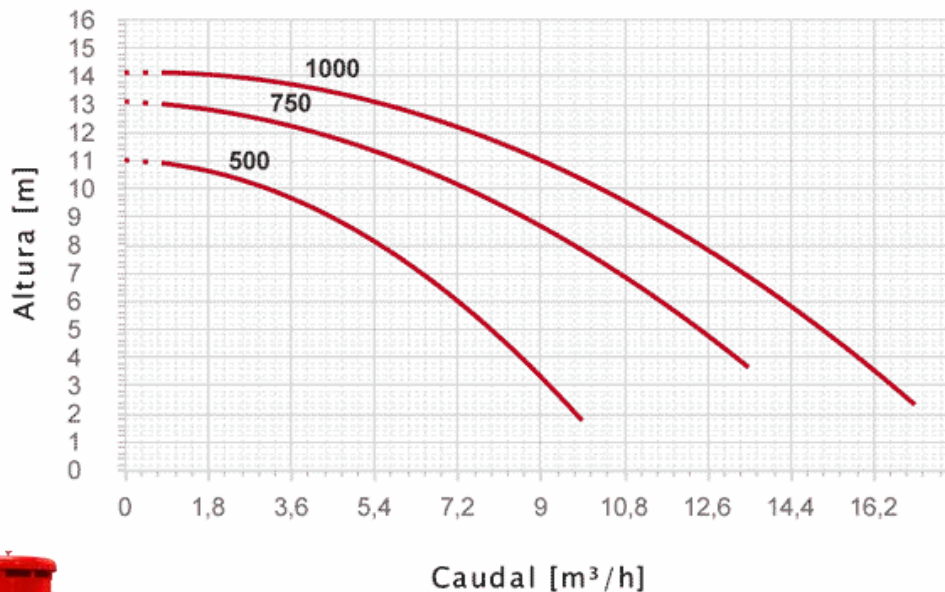


# Equipos de Bombeo

Transforman la energía mecánica en energía hidráulica, proporcionándole a un fluido presión y velocidad

## Curvas Características

- Carga
- Eficiencia
- Potencia
- NPSH





# Válvulas en Redes de Distribución

Las válvulas cumplen un papel fundamental en la gestión de redes de distribución.

Permiten al operador regular caudales y presiones, proteger el sistema frente a sobrepresiones y depresiones, controlar el sentido del flujo, aislar tramos de conducción, entre otros.

## Clasificación Funcional:

Válvulas de Control (Automáticas): Presión, Caudal, Pérdida de Carga, Nivel Depósitos.

Válvulas de Regulación (Motorizadas) : Presión, Caudal, Propósito General

Válvulas de Protección: Alivio Presiones, Sentido del caudal, Expulsión de Aire

Válvulas de Operación: Aislamiento (Todo/Nada).



# Tipos de Válvulas en los Modelos

Válvula Reductora de Presión (PRV) - Limita la presión de salida a un valor deseado

Válvula Sostenedora de Presión (PSV) - Mantiene una presión mínima en la entrada

Válvula Quebradora de Presión (PBV) - Asume una pérdida de presión específica

Válvula de Control de Flujo (FCV) - Limita el flujo de agua que pasa por la válvula a un valor deseado

Válvula General (GPV) - De uso general, cualquier pérdida o flujo

Válvula de Cheque - Permite/restringen flujo en una sola dirección.

Válvula de Aislamiento - Permiten aislar tramo(s) de la conducción.

El usuario del modelo puede especificar el estado inicial de la válvula

- Activa
- Cerrada
- Inactiva

Si está activa, el estado es controlado por el modelo  
Controlando – Limitar presión (Reducir/Sostener)

- Abierta – Solo pérdida menor
- Cerrada – No hay flujo

