

MODELACIÓN
DE SISTEMAS
DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA

¿QUÉ ES MODELAR
UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA?

Es construir una
REPRESENTACIÓN MATEMÁTICA del **SISTEMA REAL**

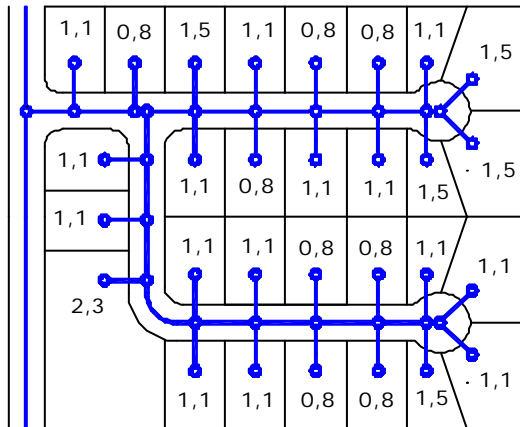


MODELO

¿Qué tan exacto deberá ser el MODELO?

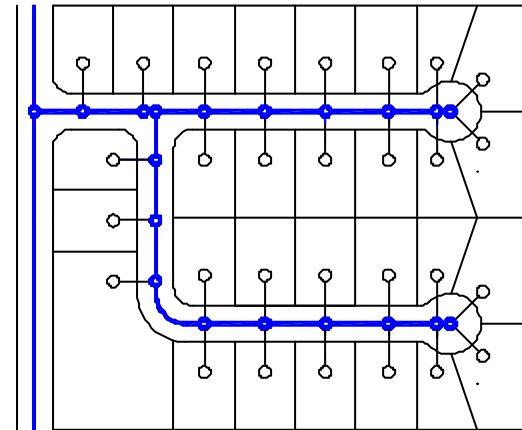
¿QUÉ TAN EXACTO DEBE SER EL MODELO?

Veamos un EJEMPLO:

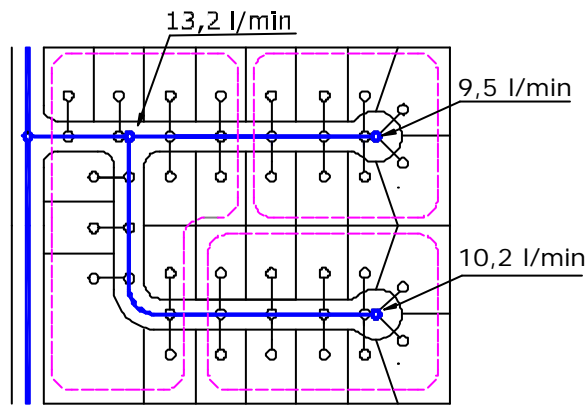


Caudales en l/min

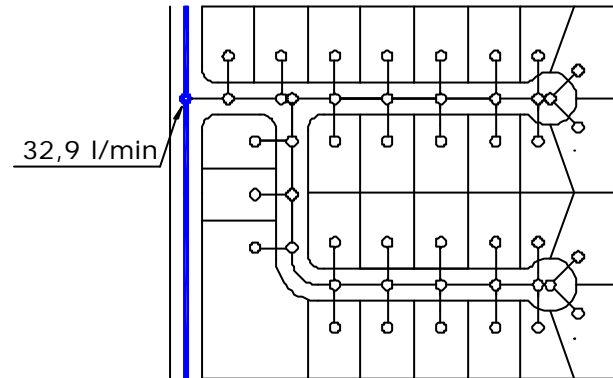
Modelación sin simplificación



Modelación con pequeña simplificación



Modelación con mayor simplificación



Modelación con simplificación máxima



El **NIVEL DE DETALLE** o **GRADO DE SIMPLIFICACIÓN** dependerá del uso que se le dará al **MODELO**

En términos generales, no deben faltar en un **MODELO**:

- Grandes consumidores
- Nodos en los que se conocen las condiciones de borde (puntos de medición)
- Nodos críticos en los que se quiere conocer las condiciones de funcionamiento
- Tuberías de gran diámetro
- Tuberías de pequeño diámetro que cierran mallas
- Bombas, válvulas reguladoras, tanques y cualquier otro elemento de control

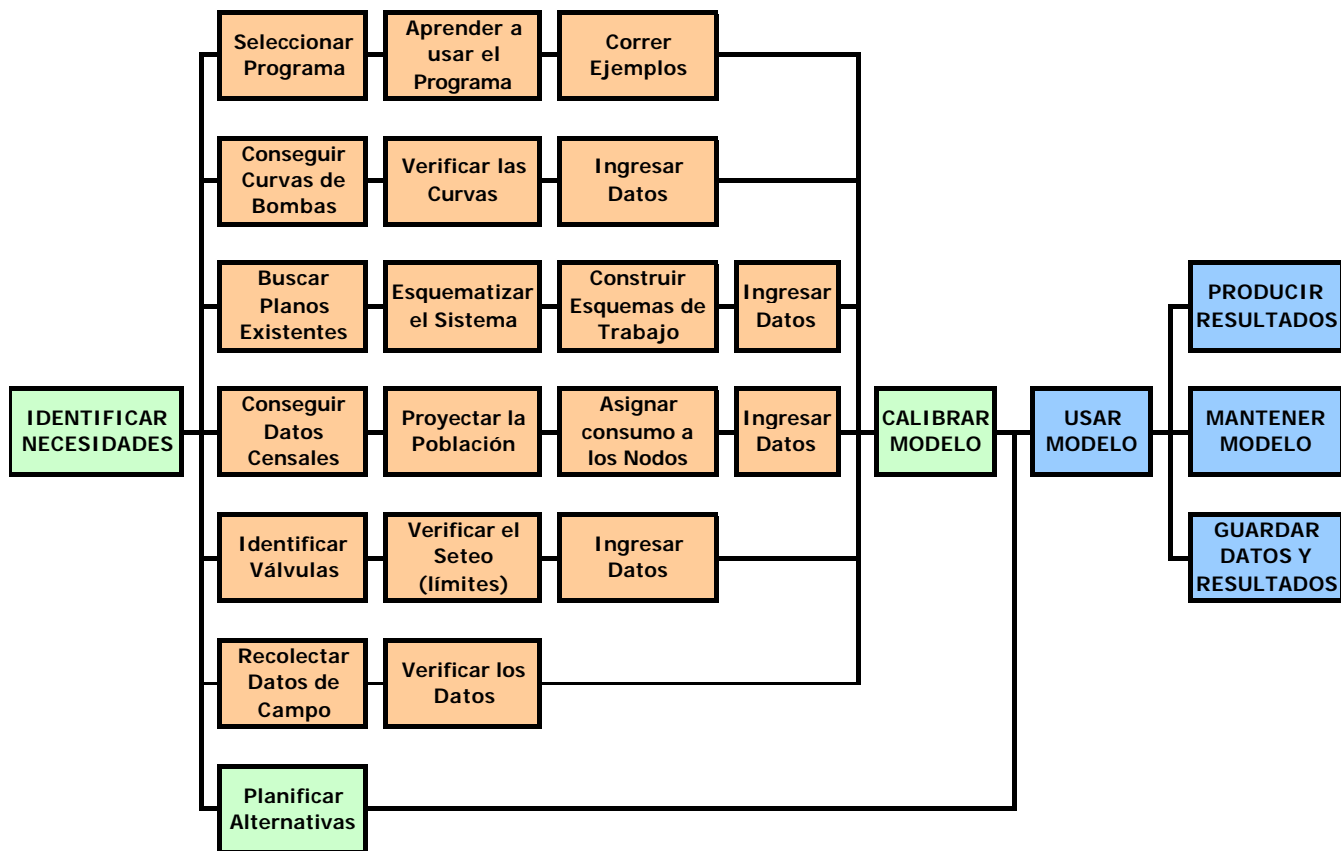
USOS Y APLICACIONES DE LOS MODELOS DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA

- Diseño y cálculo de **REDES NUEVAS**
 - Para consumo humano, para riego, para industrias
- Verificación y ampliación de **SISTEMAS EXISTENTES**
 - El Modelo permite evaluar si justifica rehabilitar o reemplazar antiguas tuberías corroídas
- Ejecución de **PLANES MAESTROS**
 - Definición de PROYECTOS a realizar para asegurar el servicio a largo plazo
- Estudios de protección contra **INCENDIO**
- Investigaciones de **CALIDAD DE AGUA**

USOS Y APLICACIONES DE LOS MODELOS DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA

- Manejo de consumos de **ENERGÍA**
 - El consumo de energía en las estaciones de bombeo es uno de los costos mayores en la operación de un sistema. La modelación en tiempo extendido permite su mejor aprovechamiento.
- Control de la **OPERACIÓN DIARIA**
 - La Modelación es una herramienta excelente para planificar la respuesta ante una EMERGENCIA.
 - Se puede identificar a través de simulaciones las posibles causas de problemas puntuales en el sistema.

EL PROCESO DE MODELACIÓN



CONCEPTOS BÁSICOS APLICADOS A LOS MODELOS

PROPIEDADES DEL FLUIDO

- Densidad
- Viscosidad
- Compresibilidad
- Presión de vapor → CAVITACIÓN

PÉRDIDAS DE ENERGÍA

GENERALIZADAS

- Hazen – Williams
- Darcy – Weisbach
- Manning

LOCALIZADAS

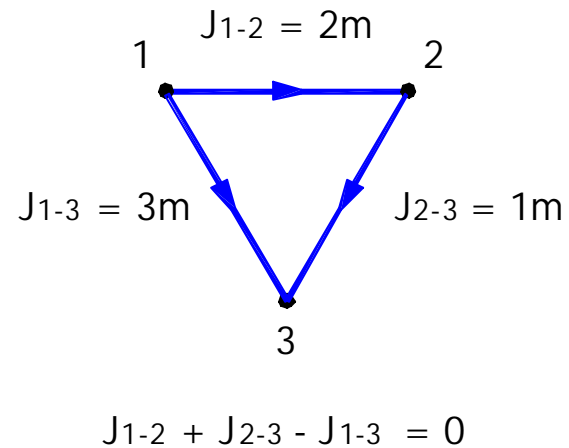
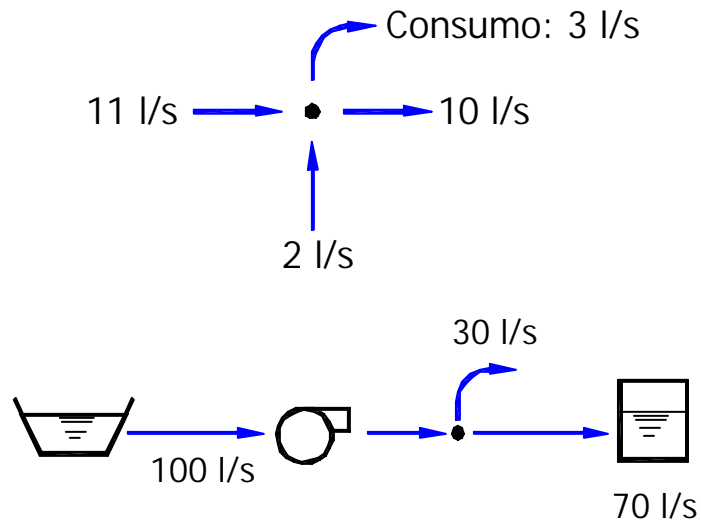
Turbulencias originadas en los cambios de dirección del fluido en accesorios (codos, tes, válvulas)

CONCEPTOS BÁSICOS APLICADOS A LOS MODELOS

→ **NO BASTA** con las ecuaciones básicas de tuberías

CONSERVACIÓN DE LA MASA

CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA



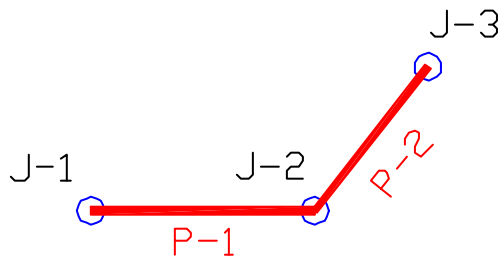
ELEMENTOS DE UNA RED

TUBERÍAS

Definen cómo están vinculados los NODOS entre sí.

Características

- Diámetro interno
- Longitud
- Rugosidad
- Pérdidas localizadas




NODOS

Elementos ubicados en determinada posición en la red, vinculados entre sí por TUBERÍAS. Ellos son:

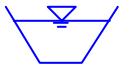
- **Conexiones**
- **Reservorios**
- **Tanques**
- **Bombas**
- **Válvulas**

ELEMENTOS DE UNA RED

NODOS

- J-1 **Conexiones**
-  Puntos del sistema en los que se quiere conectar dos o más tuberías, definir un consumo o un ingreso de caudal.

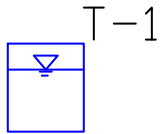
Características → Cota topográfica
→ Demanda

- R-1 **Reservorios**
-  Depósitos de agua de capacidad infinita. En ellos el nivel de agua se mantiene constante a lo largo del tiempo.

Características → Cota del nivel de agua

ELEMENTOS DE UNA RED

NODOS



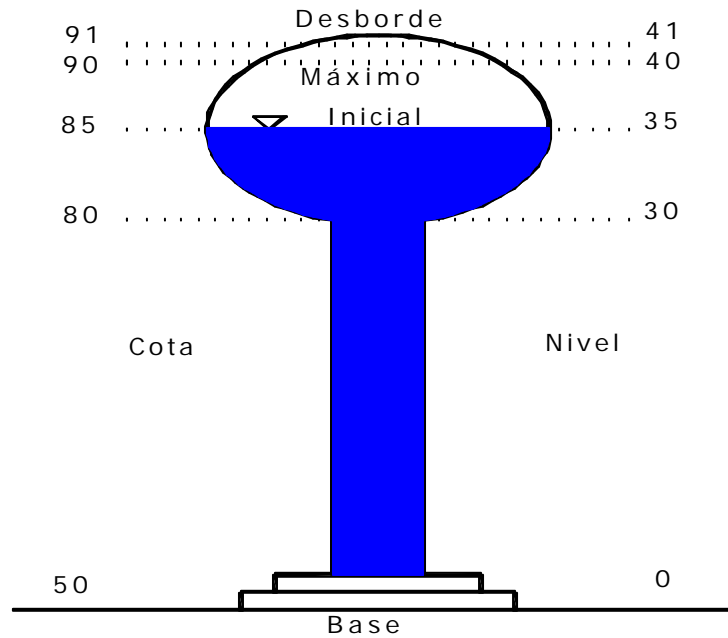
Tanques

Depósitos de agua de capacidad limitada. El nivel de agua varía a lo largo del tiempo entre un máximo y un mínimo establecidos.

Características:

- Sección → Circular o No Circular
- Cota topográfica de la base
- Rango de operación → Cota o nivel mínimo
- Cota o nivel máximo
- Volumen inactivo

Cotas y Niveles en Tanques

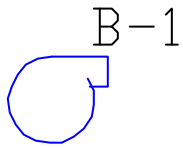


Cotas (en metros)

Niveles (en metros)

ELEMENTOS DE UNA RED

NODOS



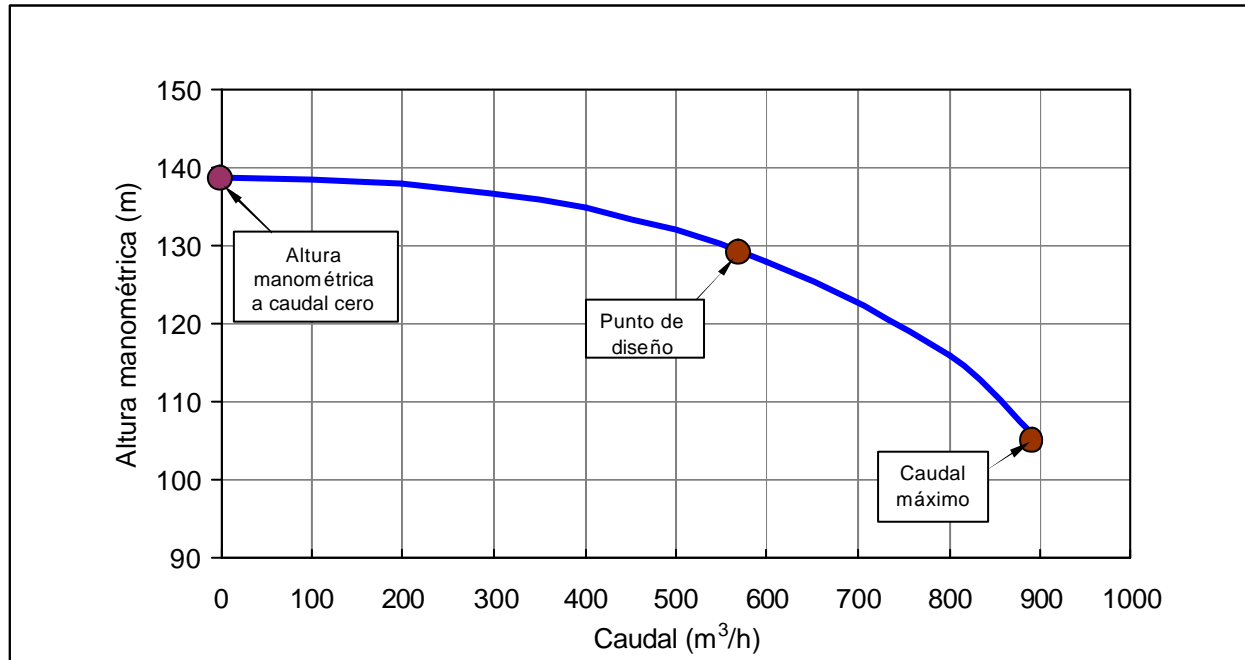
Bombas

Elemento que entrega energía al sistema, incrementando la cota piezométrica.

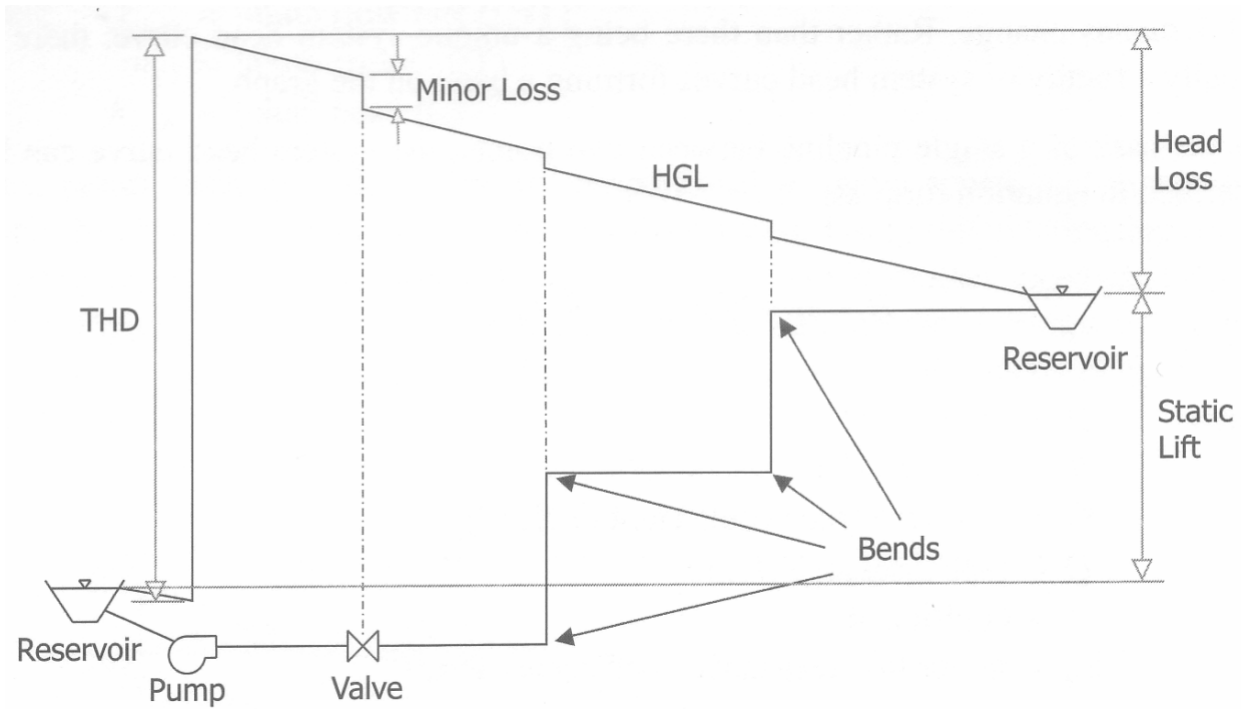
Características:

- Cota topográfica
- Curva característica H-Q (fabricante)
- Controles (ej: arranque y detención en función de los niveles del tanque)

Curva Característica de la Bomba H – Q (Altura manométrica – Caudal)

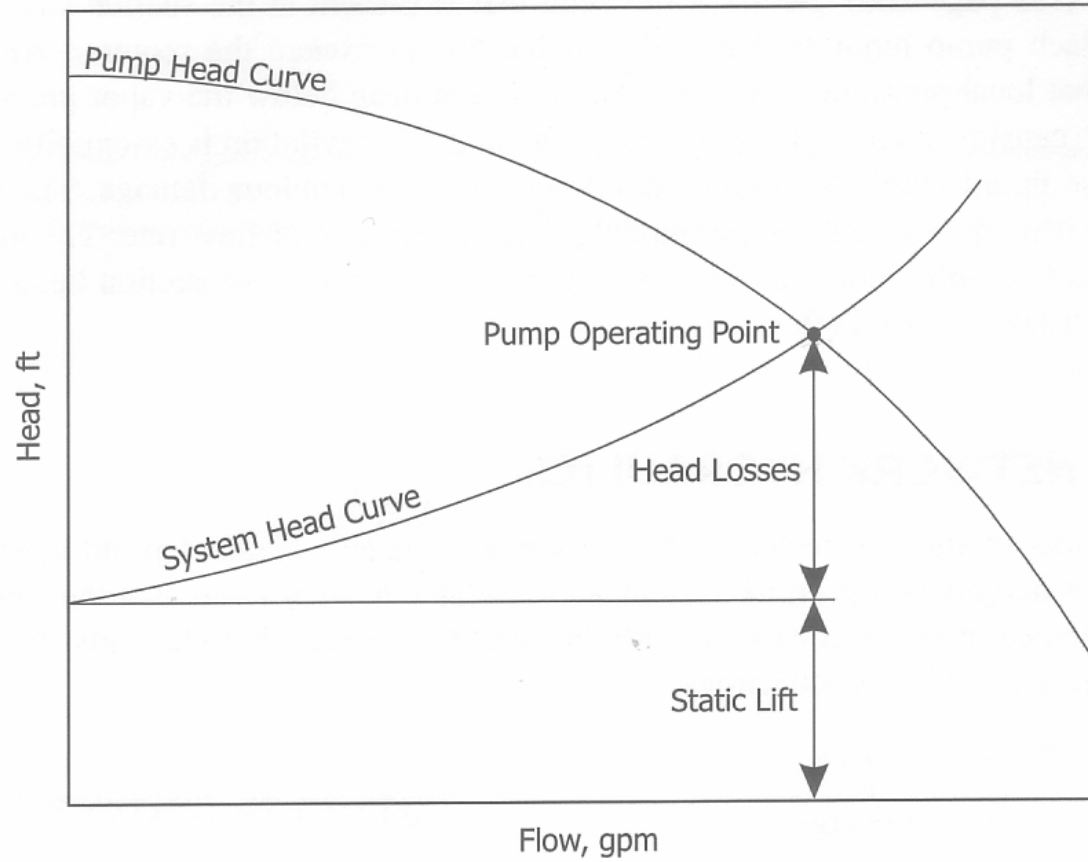


Pérdidas Generalizadas y Localizadas en un SISTEMA DE BOMBEO



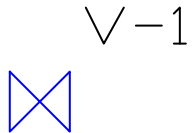
PUNTO DE FUNCIONAMIENTO

Curva de la Bomba – Curva de la Instalación



ELEMENTOS DE UNA RED

NODOS



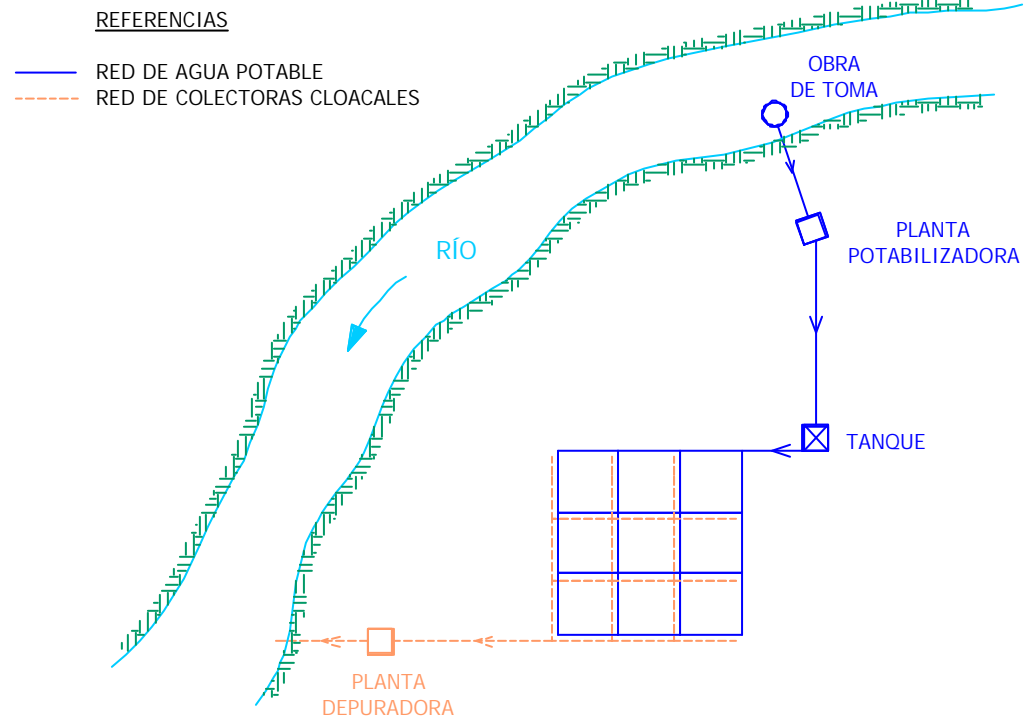
Válvulas

Elemento que permite controlar el movimiento del agua dentro de las tuberías, mediante su apertura o cierre.

Se pueden clasificar en:

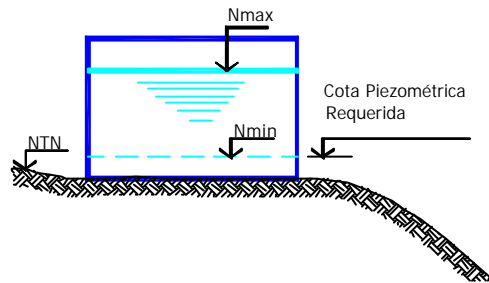
- **Válvulas de cierre**
 - Esclusas
 - Mariposas
 - Esféricas
- **Válvulas de retención**
- Válvulas de altitud
- Válvulas de aire
- **Válvulas de control**

EJEMPLO DE APLICACIÓN

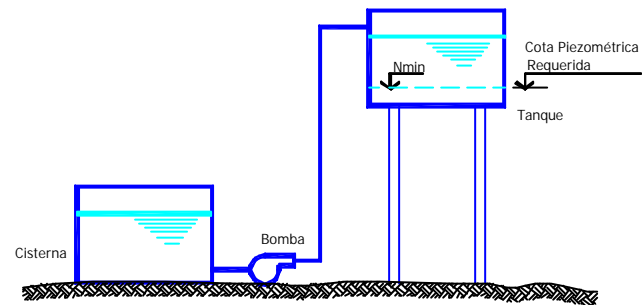


CONDICIONES DE BORDE

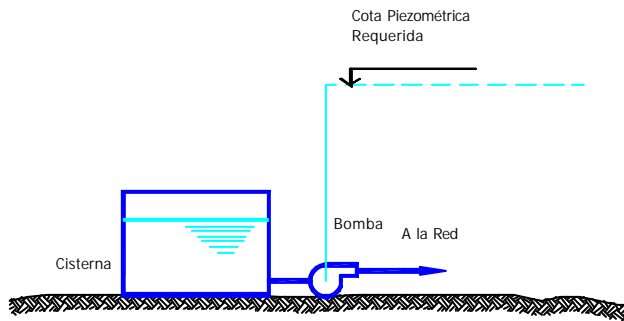
Tanque de distribución directa



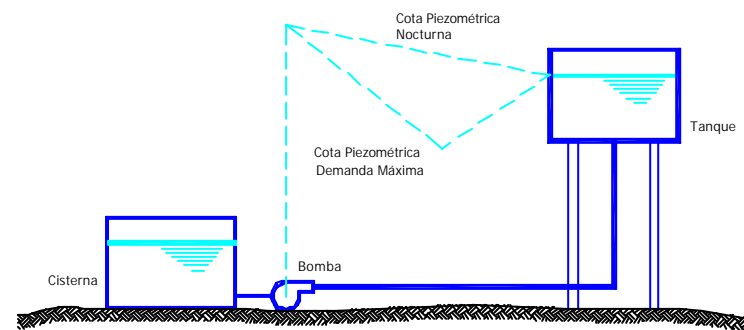
Cisterna y tanque de distribución



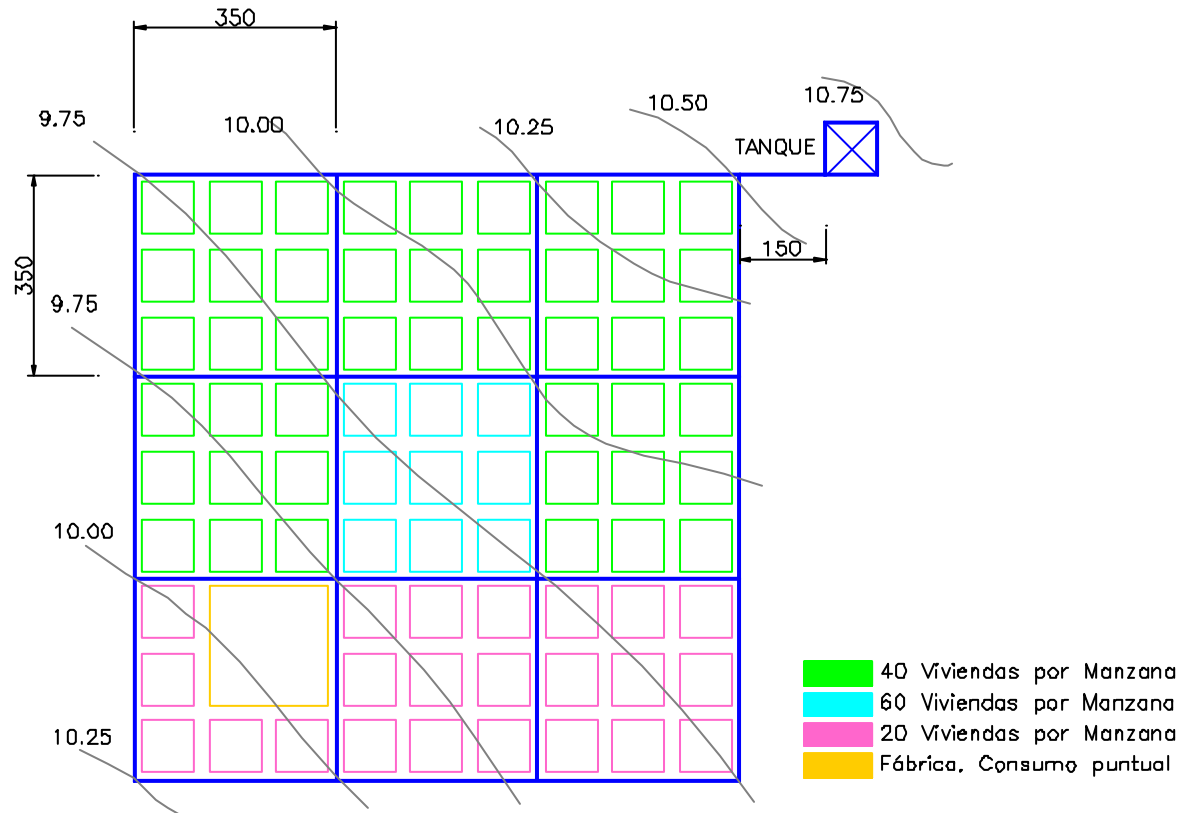
Bombeo directo a la red



Bombeo a la red y tanque compensador



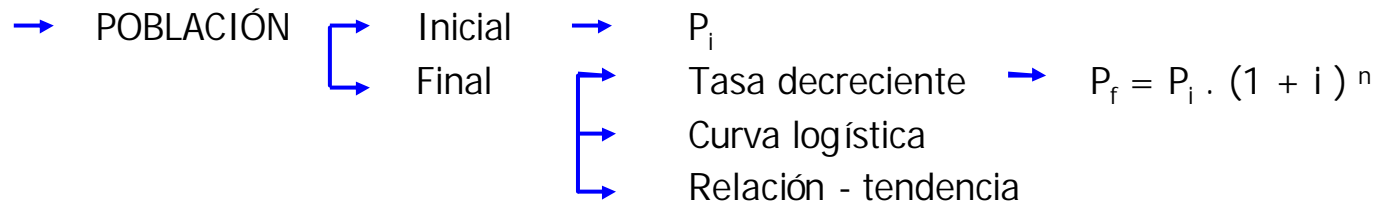
EJEMPLO DE APLICACIÓN



DATOS NECESARIOS

- CARACTERÍSTICAS TOPOGRÁFICAS
- POBLACIÓN Ⓡ Densidad – Datos Censales – Tasa de crecimiento
 Ⓡ Actividades
- LÍMITES DEL PROYECTO
- ZONAS FABRILES – PARQUES INDUSTRIALES
- CONSUMOS IMPORTANTES Ⓡ Escuelas
 Ⓡ Hospitales
- ESTUDIOS DE SUELO

PARÁMETROS DE DISEÑO



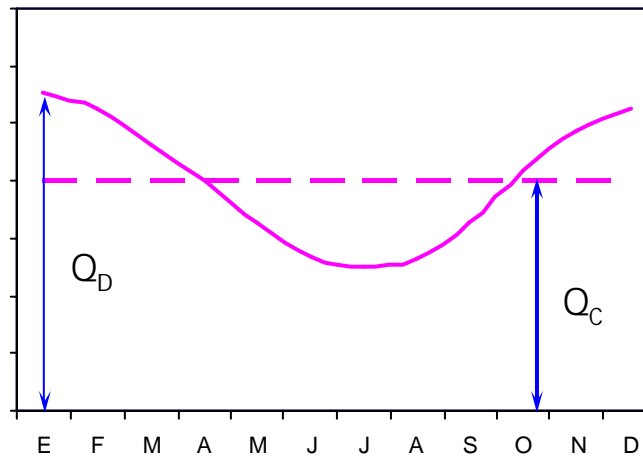
→ DOTACIÓN δ (litros / hab / día)

	AGUA	AGUA Y CLOACA
Canilla libre	250	350
Con medidor	200	250

→ CAUDAL MEDIO DIARIO → $Q_c = P_f \cdot \delta$

CAUDALES CARACTERÍSTICOS

DISTRIBUCIÓN ANUAL DE LA DEMANDA



CAUDAL MÁXIMO DIARIO

$$\rightarrow Q_D = \alpha_1 \cdot Q_C$$

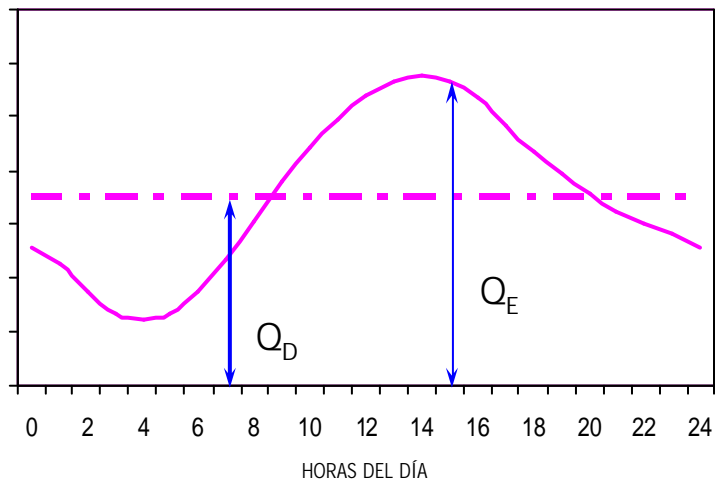
Donde

$$\alpha_1 = 1,2 \text{ a } 1,5$$

Q_D \rightarrow depende del clima, de las temperaturas medias de invierno y verano de la región.

PARÁMETROS DE DISEÑO

DISTRIBUCIÓN DIARIA DE LA DEMANDA



CAUDAL MÁXIMO HORARIO

$$\rightarrow Q_E = \alpha_2 \cdot Q_D$$

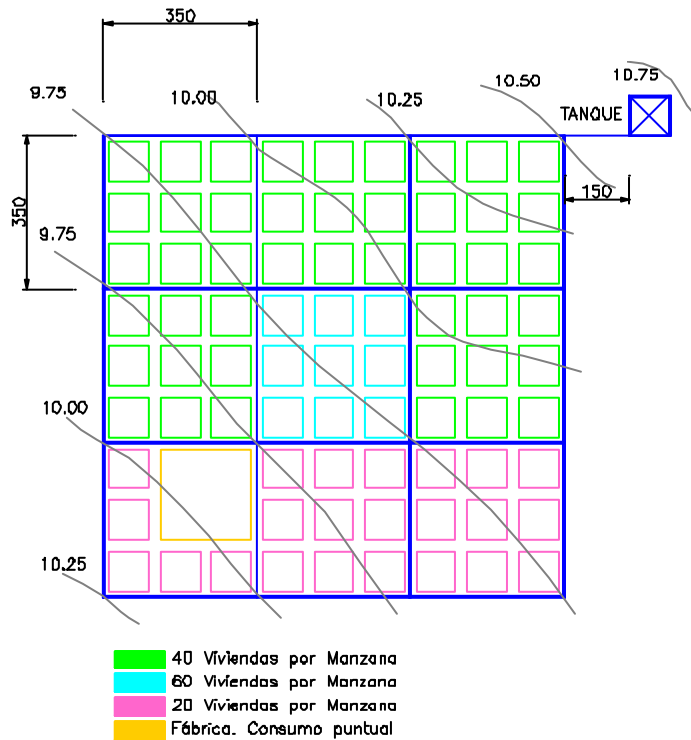
$$\rightarrow Q_E = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot Q_C$$

Donde

$$\alpha_2 = 1,5 \text{ a } 1,9$$

Q_E → depende de la población y sus costumbres.

EJEMPLO DE MODELACIÓN



DATOS

- 11200 habitantes totales
- 4 habitantes / vivienda
- fábrica → 5 litros / seg

PARÁMETROS DE DISEÑO

- 350 litros / (hab x día)
- $\alpha_1 = 1,3$

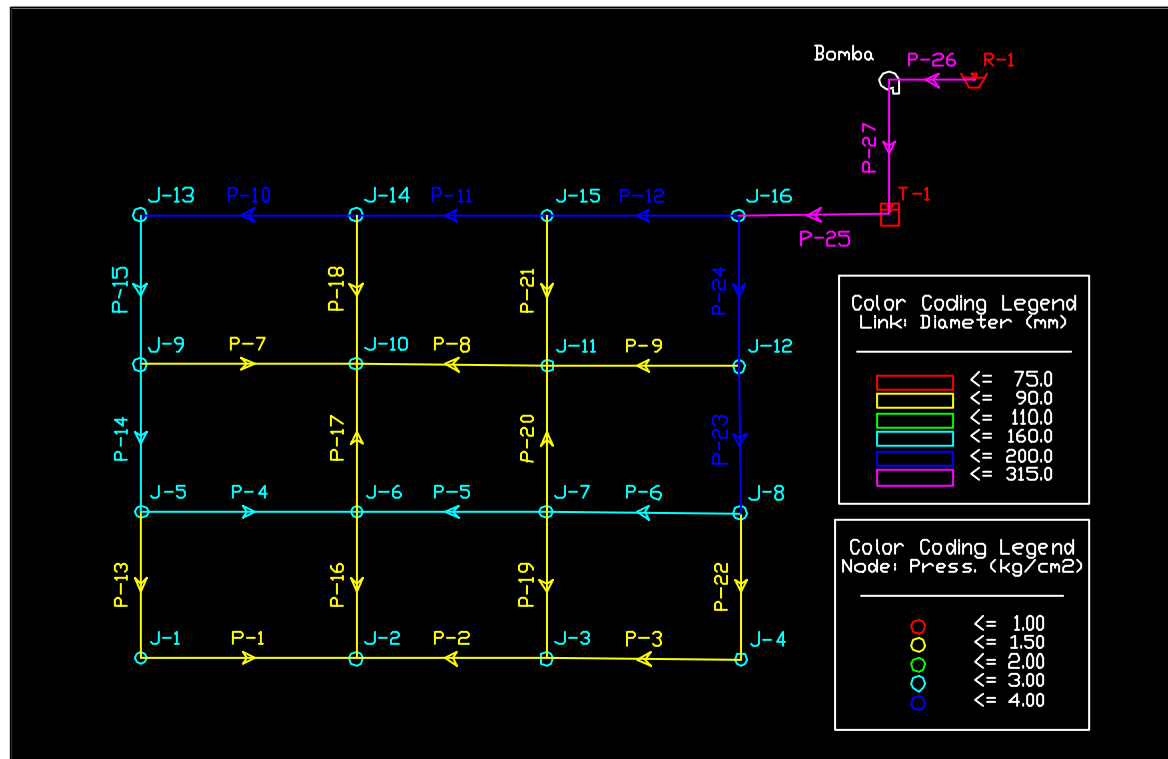
$$\textcircled{R} Q_C = 45,37 \text{ l/seg}$$

$$\textcircled{R} Q_D = 63,98 \text{ l/seg}$$

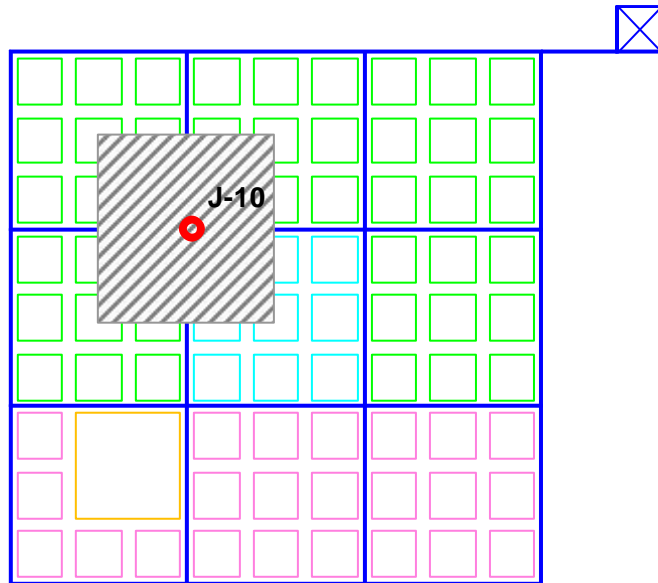
$$\textcircled{R} Q_E = 92,77 \text{ l/seg}$$

EJEMPLO DE MODELACIÓN

Bombeo de cisterna a Tanque Elevado



EJEMPLO DE MODELACIÓN



CÁLCULO DE DEMANDA EN J-10

- 40 Viviendas por Manzana
- 60 Viviendas por Manzana
- 20 Viviendas por Manzana
- Fábrica. Consumo puntual

$$Q_{J-10} = \left[\frac{1}{4} \times 9 \text{ mz} \times 40 \text{ viv/mz} \times 4 \text{ hab/viv} \times 350 \text{ l/(hab.día)} \times 1,3 \right] \times 3 + \frac{1}{4} \times 9 \text{ mz} \times 60 \text{ viv/mz} \times 4 \text{ hab/viv} \times 350 \text{ l/(hab.día)} \times 1,3 =$$

$$Q_{J-10} = 737100 \text{ l/día}$$

®

$$Q_{J-10} = \mathbf{8,53 \text{ l/seg}}$$

ASIGNACIÓN DE CAUDALES A LOS NODOS DEL MODELO

Dotación	350 l/hab/día	
	4 hab/vivienda	
	40 viviendas/fracción	Zona 1
	60 viviendas/fracción	Zona 2
	20 viviendas/fracción	Zona 3
	5 l/seg	Fábrica
	9 fracciones/malla	
	5 mallas de 9 fracciones	Zona 1
	1 malla de 9 fracciones	Zona 2
	2 mallas de 9 fracciones	Zona 3
	1 mallas de 5 fracciones	Zona 3
Coeficiente pico diario α_1	1,30	
Qc medio diario	5,83 l/seg/malla	Zona 1
Qd máximo diario	7,58 l/seg/malla	Zona 1
Qd máximo diario / 4	1,90 l/seg	Zona 1
Qc medio diario	8,75 l/seg/malla	Zona 2
Qd máximo diario	11,38 l/seg/malla	Zona 2
Qd máximo diario / 4	2,84 l/seg	Zona 2
Qc medio diario	2,92 l/seg/malla	Zona 3
Qd máximo diario	3,79 l/seg/malla	Zona 3
Qd máximo diario / 4	0,95 l/seg	Zona 3
Qc medio diario	1,62 l/seg/malla	Zona 3
Qd máximo diario	2,11 l/seg/malla	Zona 3
Qd máximo diario / 5	0,42 l/seg	Zona 3

Nodo	Q max diario (l/seg)
J-1	0,84
J-2	1,58
J-3	1,90
J-4	0,95
J-5	2,53
J-6	10,69
J-7	6,64
J-8	2,84
J-9	3,79
J-10	8,53
J-11	8,53
J-12	3,79
J-13	1,90
J-14	3,79
J-15	3,79
J-16	1,90
Qd total	63,98

CÁLCULO DEL VOLUMEN NECESARIO DE RESERVA PARA CUBRIR EL PICO HORARIO

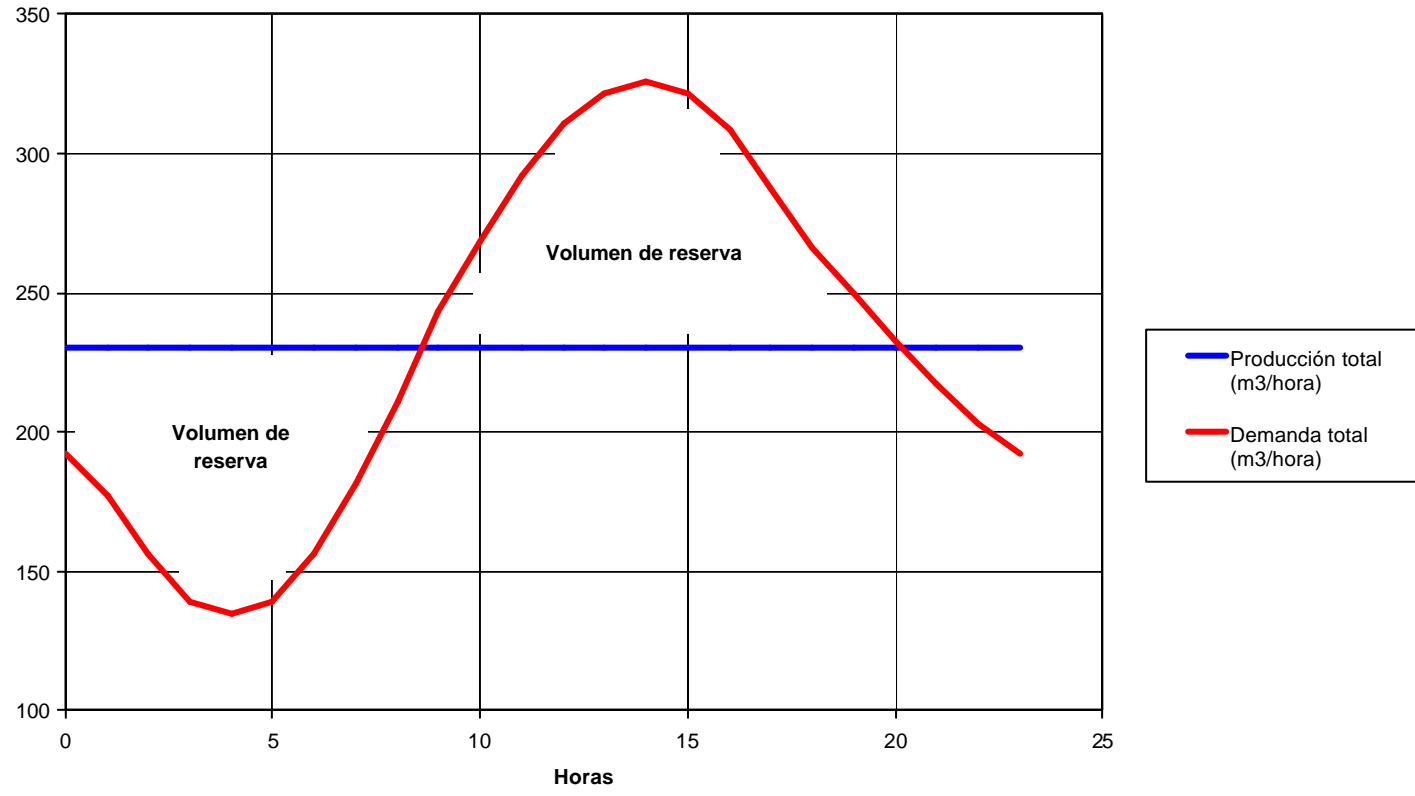
Población de diseño = 11200 habitantes
 Dotación = 350 litros / hab / día
 Coeficiente pico diario = 1,30
 Consumo fábrica = 5 l/seg

Qd max diario viviendas = 58,98 l/seg 212,33 m³/hora
 Qd max diario fábrica = 5,00 l/seg 18,00 m³/hora
 Qd max diario = 63,98 l/seg 230,33 m³/hora

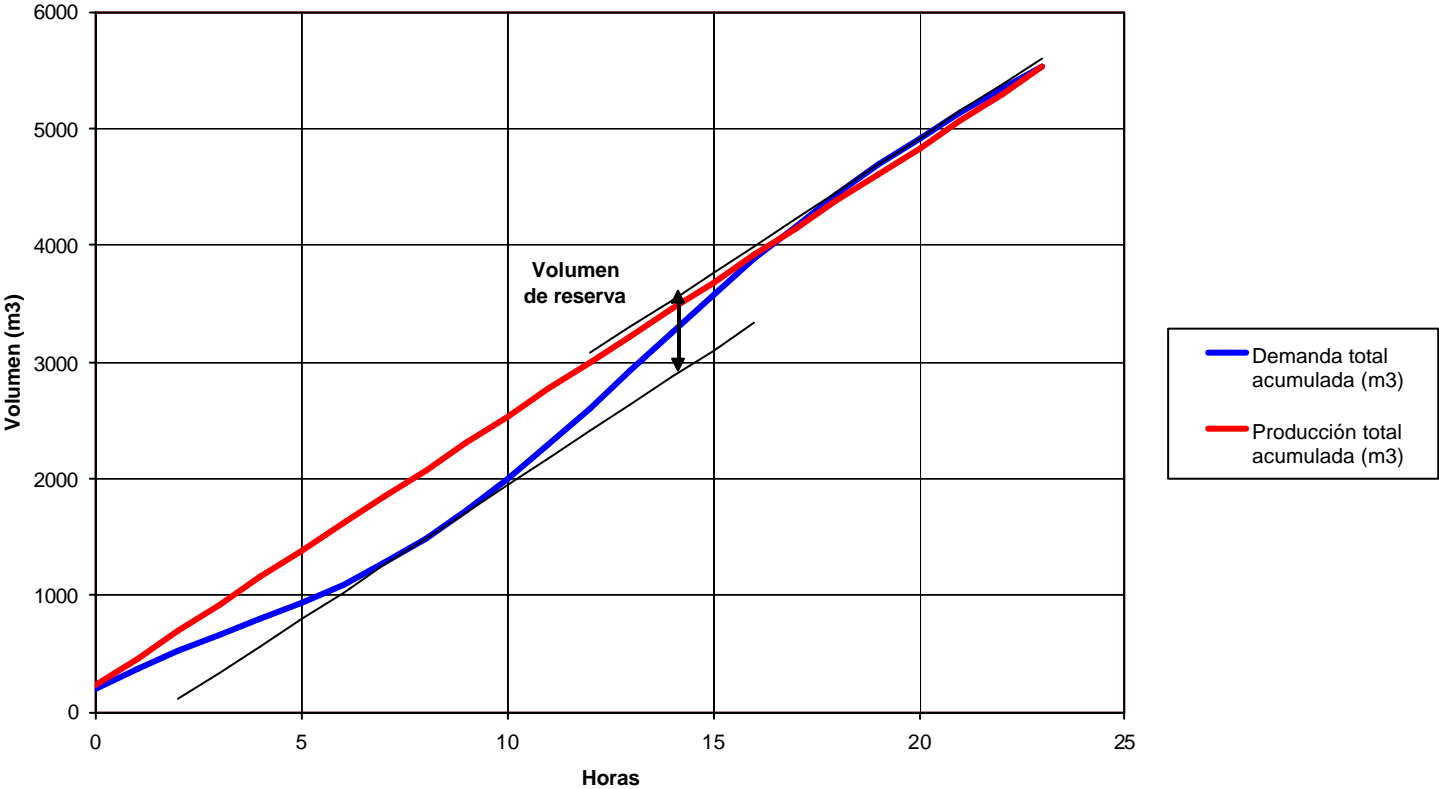
Hora	Coeficiente distribución horaria	Demanda viviendas (m ³ /hora)	Demanda fábrica (m ³ /hora)	Demanda total (m ³ /hora)	Producción total (m ³ /hora)	Demanda total acumulada (m ³)	Producción total acumulada (m ³)	Diferencia (m ³)
0	0,82	174,11	18,00	192,11	230,33	192,11	230,33	38,22
1	0,75	159,25	18,00	177,25	230,33	369,36	460,67	91,30
2	0,65	138,02	18,00	156,02	230,33	525,38	691,00	165,62
3	0,57	121,03	18,00	139,03	230,33	664,41	921,33	256,92
4	0,55	116,78	18,00	134,78	230,33	799,19	1151,67	352,47
5	0,57	121,03	18,00	139,03	230,33	938,22	1382,00	443,78
6	0,65	138,02	18,00	156,02	230,33	1094,24	1612,33	518,09
7	0,77	163,50	18,00	181,50	230,33	1275,74	1842,67	566,93
8	0,91	193,22	18,00	211,22	230,33	1486,96	2073,00	586,04
9	1,06	225,07	18,00	243,07	230,33	1730,03	2303,33	573,30
10	1,18	250,55	18,00	268,55	230,33	1998,59	2533,67	535,08
11	1,29	273,91	18,00	291,91	230,33	2290,50	2764,00	473,50
12	1,38	293,02	18,00	311,02	230,33	2601,52	2994,33	392,82
13	1,43	303,64	18,00	321,64	230,33	2923,15	3224,67	301,51
14	1,45	307,88	18,00	325,88	230,33	3249,04	3455,00	205,96
15	1,43	303,64	18,00	321,64	230,33	3570,67	3685,33	114,66
16	1,37	290,90	18,00	308,90	230,33	3879,57	3915,67	36,10
17	1,27	269,66	18,00	287,66	230,33	4167,23	4146,00	-21,23
18	1,17	248,43	18,00	266,43	230,33	4433,66	4376,33	-57,33
19	1,09	231,44	18,00	249,44	230,33	4683,11	4606,67	-76,44
20	1,01	214,46	18,00	232,46	230,33	4915,56	4837,00	-78,56
21	0,94	199,59	18,00	217,59	230,33	5133,16	5067,33	-65,82
22	0,87	184,73	18,00	202,73	230,33	5335,89	5297,67	-38,22
23	0,82	174,11	18,00	192,11	230,33	5528,00	5528,00	0,00

Volumen mínimo de reserva (m³) = **664,60**

VOLUMEN NECESARIO DE RESERVA
Abastecimiento de la reserva a Caudal Constante durante todo el día

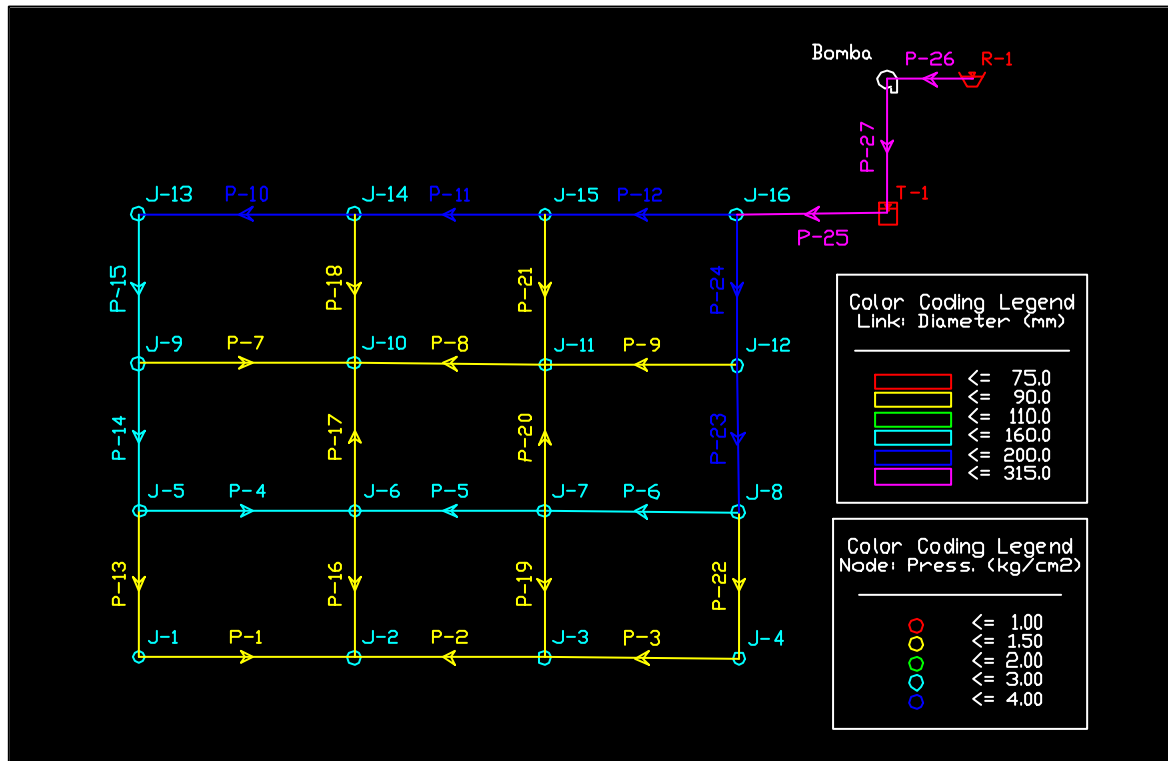


VOLUMEN NECESARIO DE RESERVA
Abastecimiento de la reserva a Caudal Constante durante todo el día



EJEMPLO DE MODELACIÓN

MODELO 1 → Bombeo de cisterna a Tanque Elevado



EJEMPLO DE MODELACIÓN

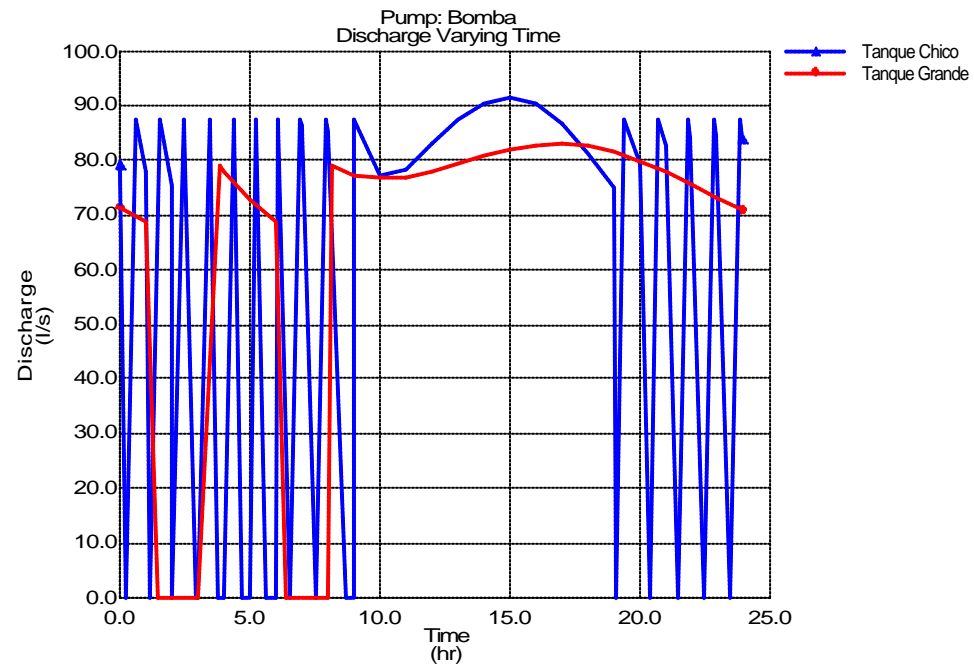
MODELO 1 → Bombeo de cisterna a Tanque Elevado

→ Escenario Tanque Chico: $V_{\text{tanque}} = 120 \text{ m}^3$
 $H_{\text{bomba}} = 26 \text{ m}$
 $Q_{\text{bomba}} = 72 \text{ l/s}$

→ Escenario Tanque Grande: $V_{\text{tanque}} = 570 \text{ m}^3$
 $H_{\text{bomba}} = 26 \text{ m}$
 $Q_{\text{bomba}} = 65 \text{ l/s}$

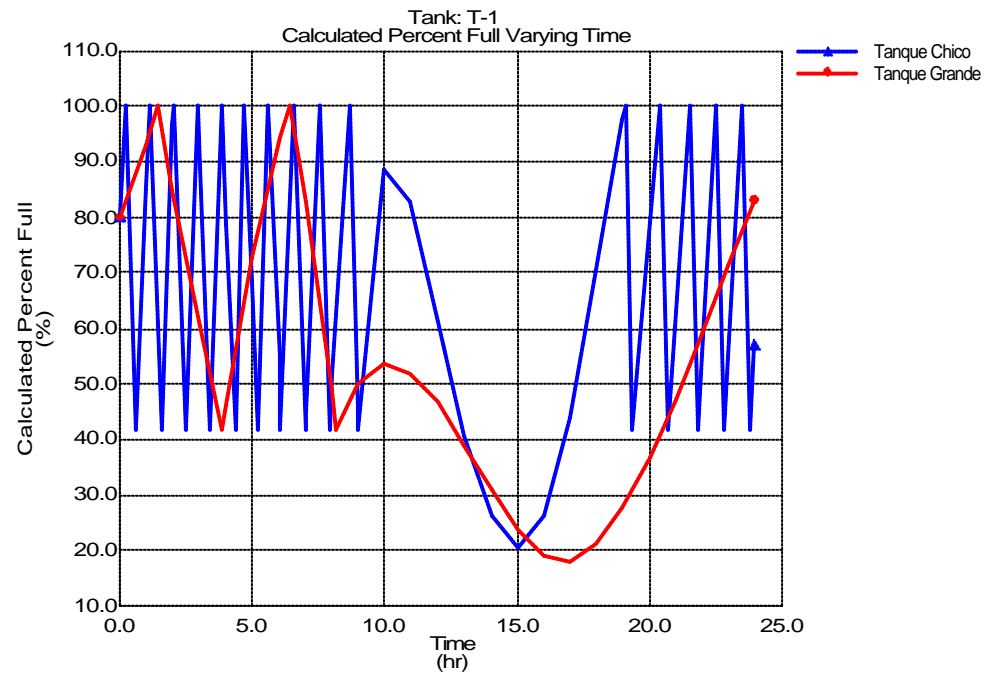
EJEMPLO DE MODELACIÓN

MODELO 1 → Bombeo de cisterna a Tanque Elevado



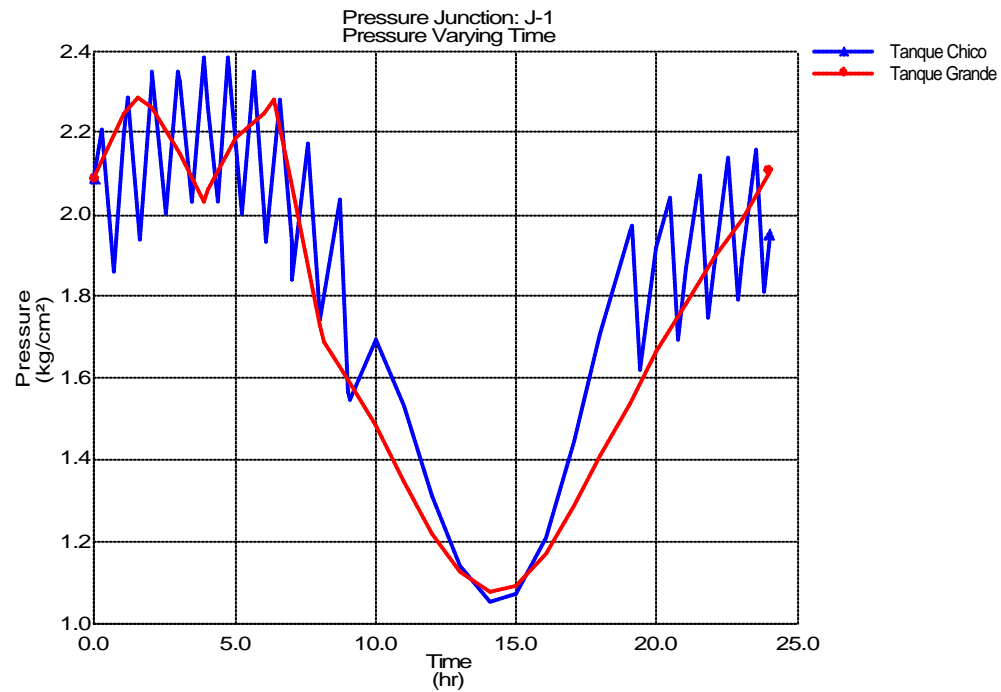
EJEMPLO DE MODELACIÓN

MODELO 1 → Bombeo de cisterna a Tanque Elevado



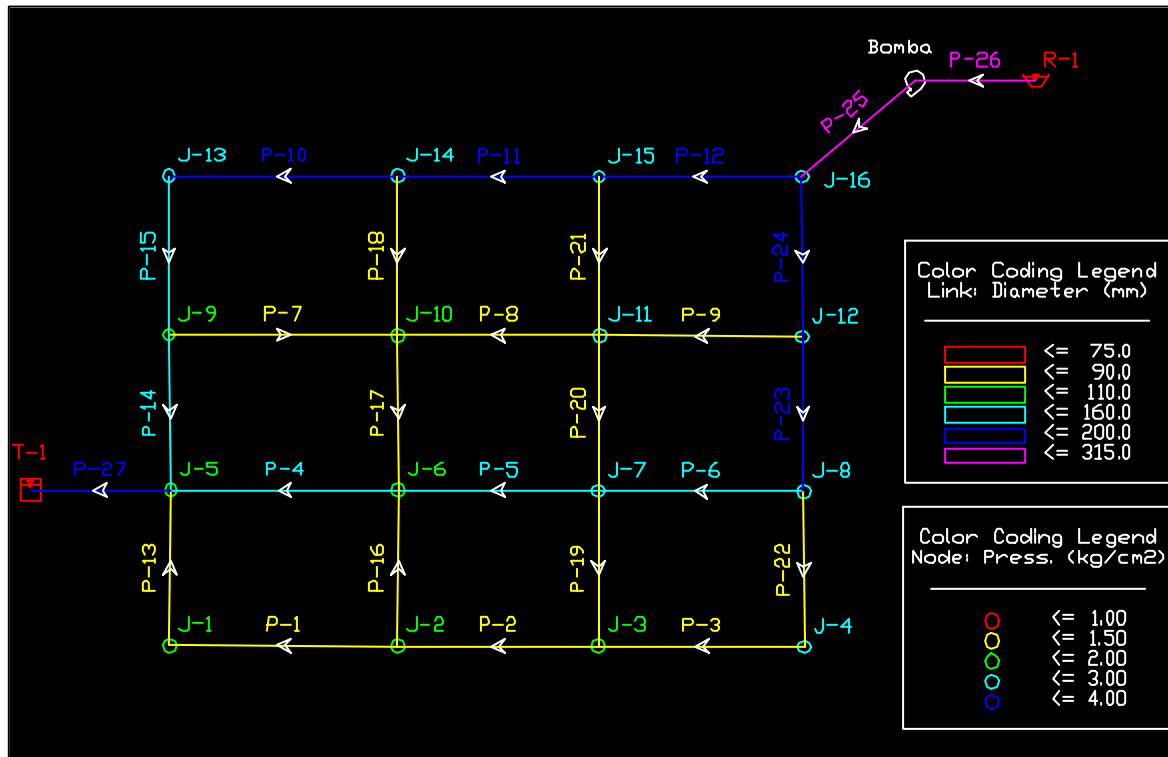
EJEMPLO DE MODELACIÓN

MODELO 1 → Bombeo de cisterna a Tanque Elevado



EJEMPLO DE MODELACIÓN

MODELO 2 → Bombeo de cisterna a Red con Tanque Compensador



EJEMPLO DE MODELACIÓN

MODELO 2 → Bombeo de cisterna a Red con Tanque Compensador

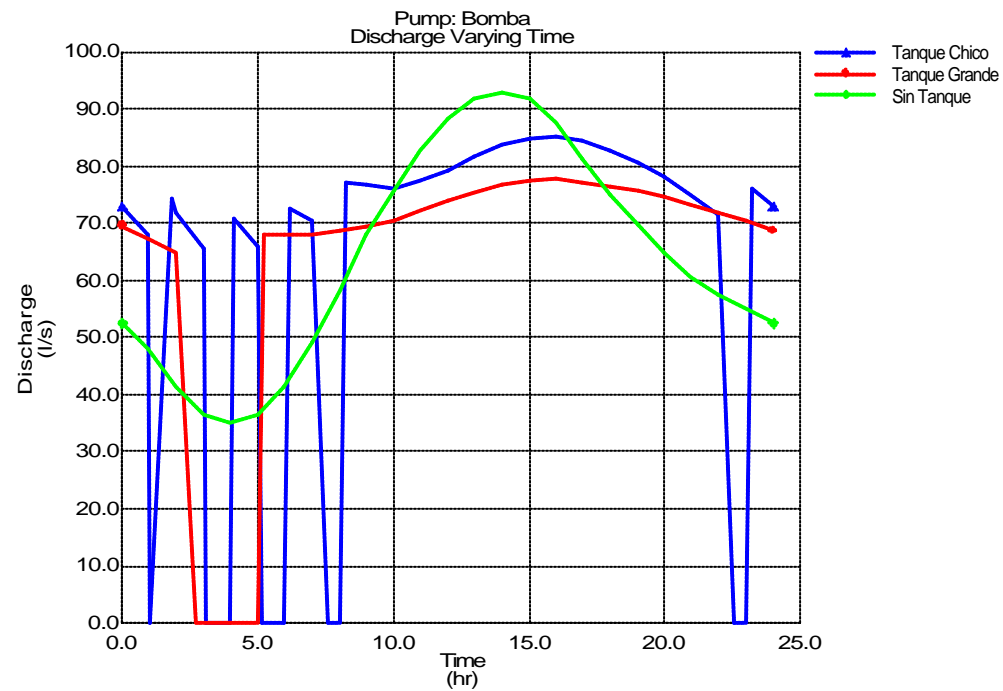
- Escenario Tanque Chico:
 $V_{\text{tanque}} = 230 \text{ m}^3$
 $H_{\text{bomba}} = 26 \text{ m}$
 $Q_{\text{bomba}} = 72 \text{ l/s}$

- Escenario Tanque Grande:
 $V_{\text{tanque}} = 570 \text{ m}^3$
 $H_{\text{bomba}} = 26 \text{ m}$
 $Q_{\text{bomba}} = 65 \text{ l/s}$

- Escenario Sin Tanque:
 $V_{\text{tanque}} = 0 \text{ m}^3$
 $H_{\text{bomba}} = 26 \text{ m}$
 $Q_{\text{bomba}} = 80 \text{ l/s}$

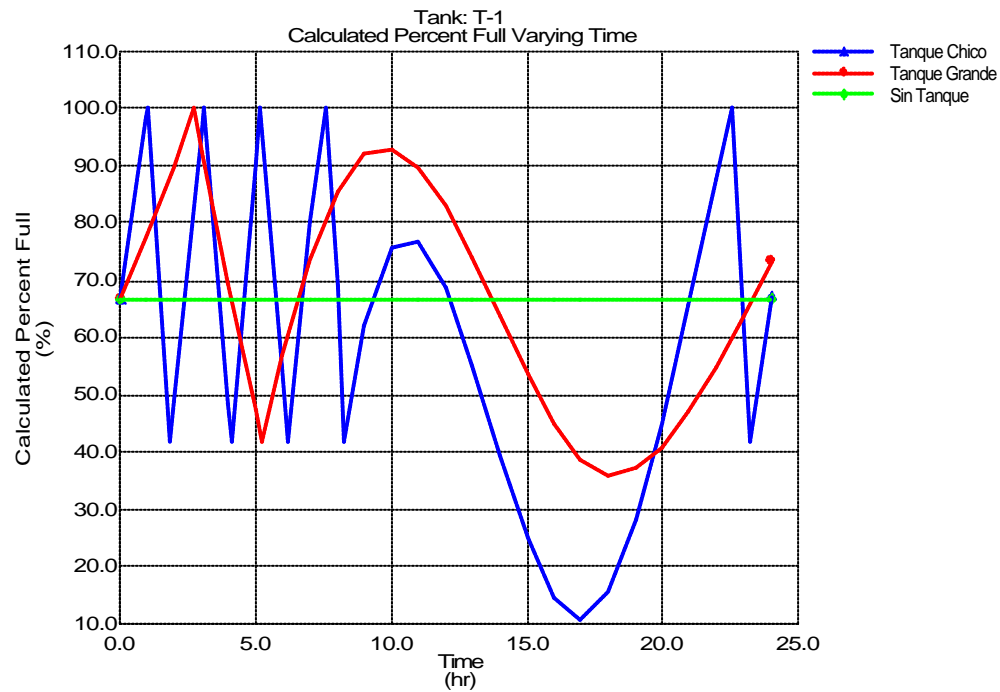
EJEMPLO DE MODELACIÓN

MODELO 2 → Bombeo de cisterna a Red con Tanque Compensador



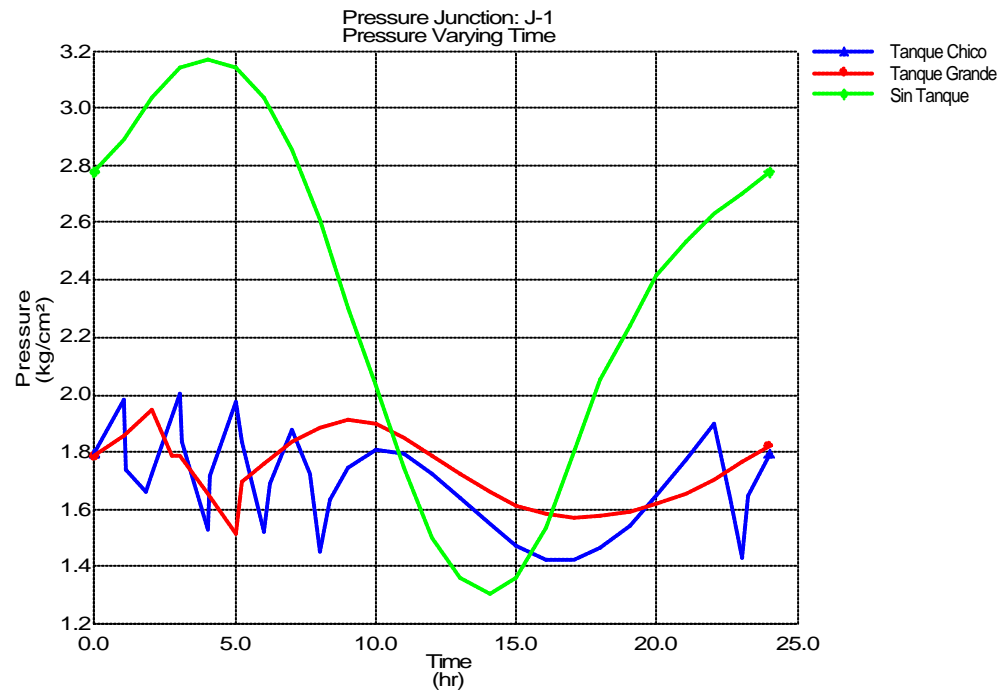
EJEMPLO DE MODELACIÓN

MODELO 2 → Bombeo de cisterna a Red con Tanque Compensador



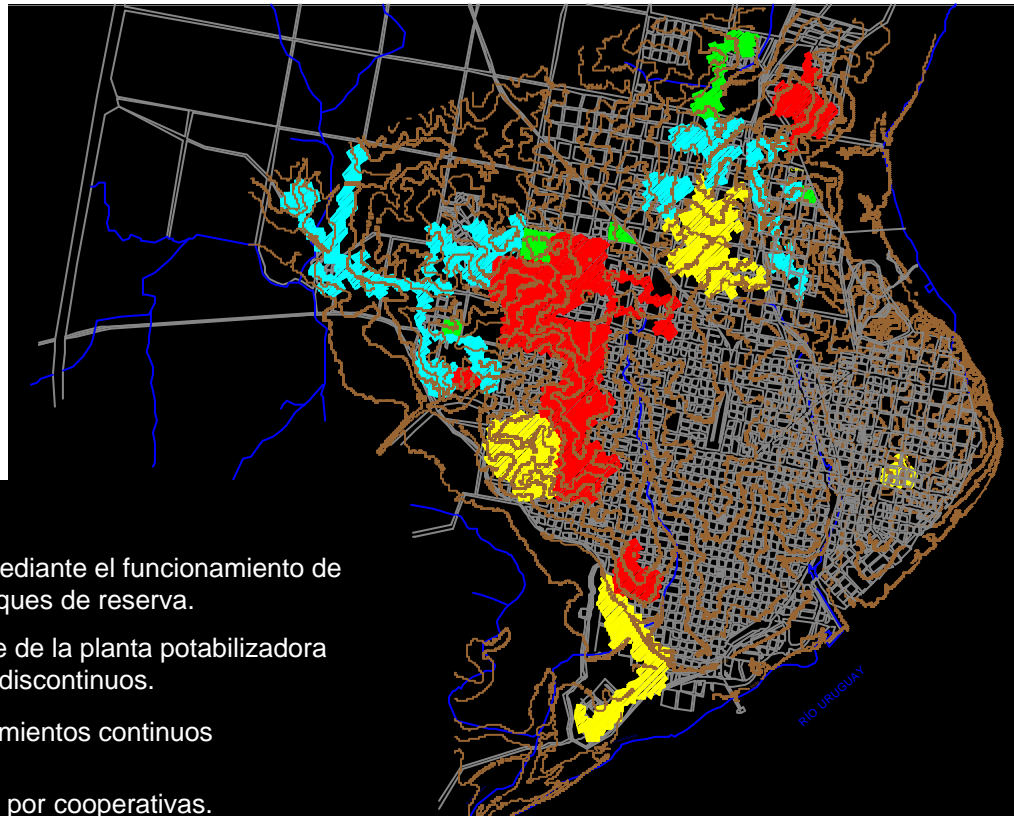
EJEMPLO DE MODELACIÓN

MODELO 2 → Bombeo de cisterna a Red con Tanque Compensador







RED DE AGUA CIUDAD DE CONCORDIA

Zonas con
problemas de
provisión de
agua al año
2001



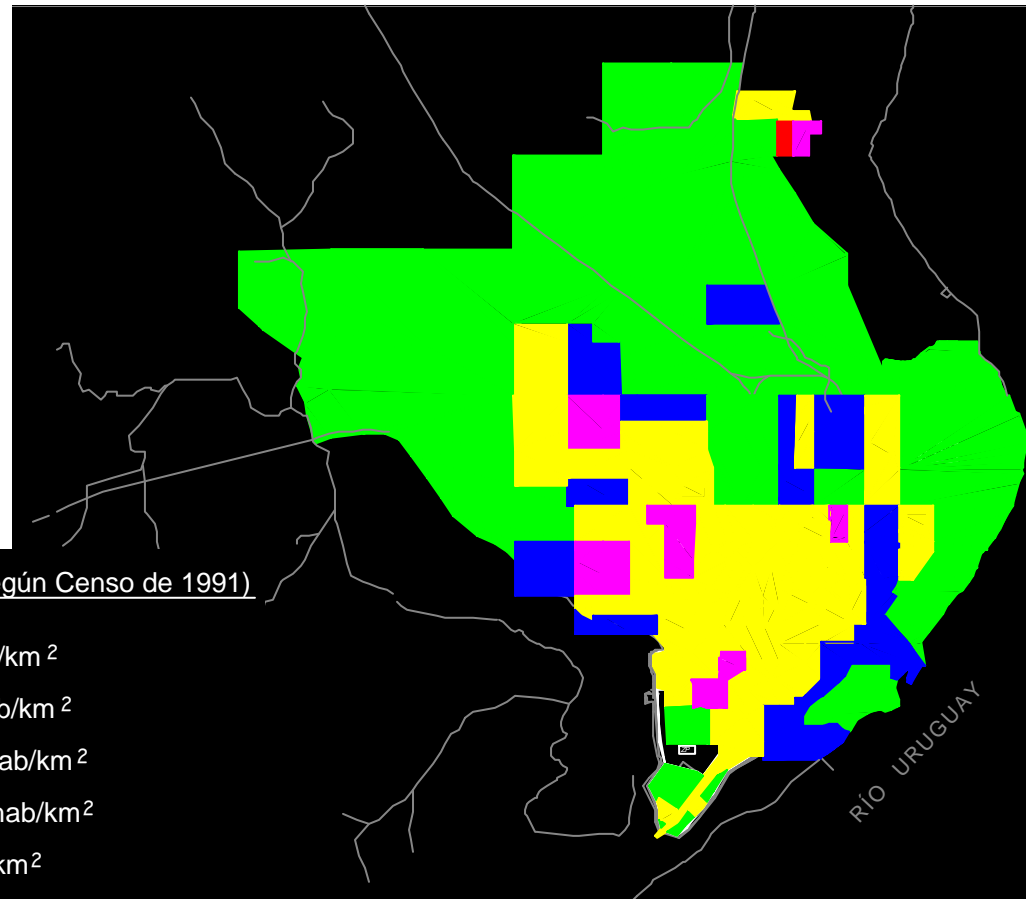
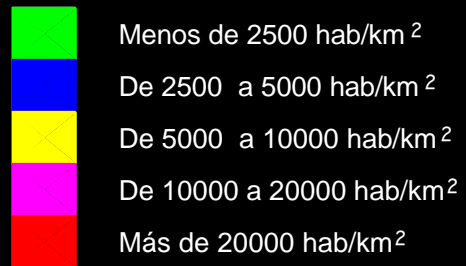
REFERENCIAS:

-  Servicio prestado mediante el funcionamiento de perforaciones y tanques de reserva.
-  Servicio proveniente de la planta potabilizadora con resentimientos discontinuos.
-  Servicio con resentimientos continuos
-  Servicios prestados por cooperativas.

RED DE AGUA CIUDAD DE CONCORDIA

Radio censales
clasificados
según la
densidad de
población






Densidades de población (según Censo de 1991)



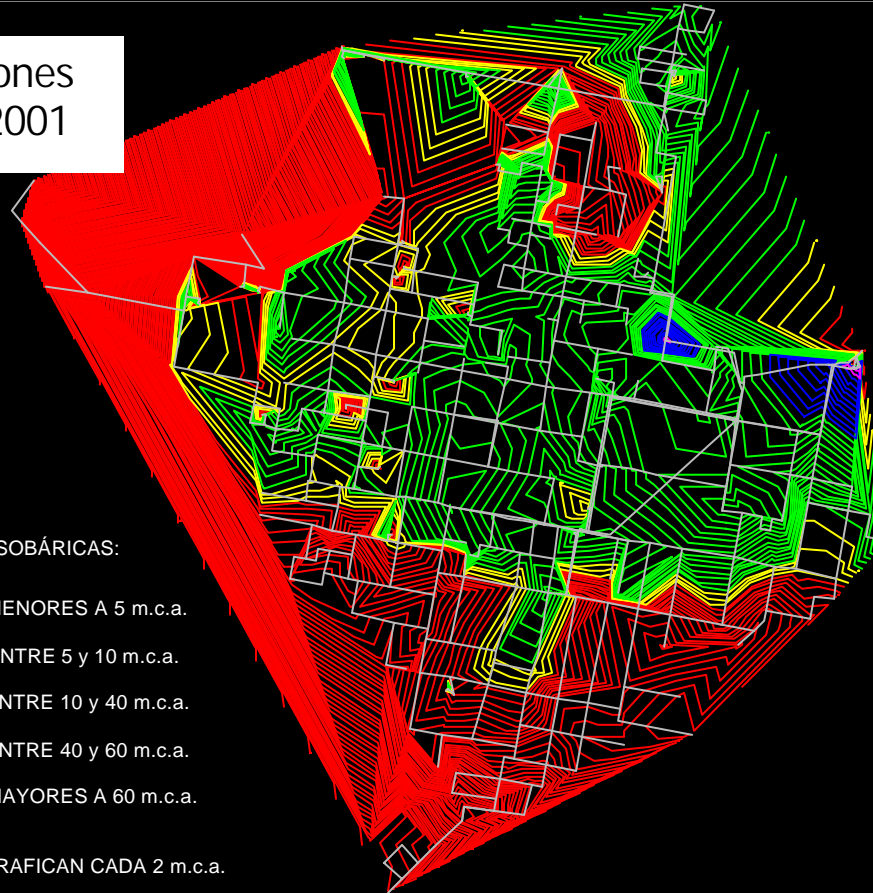
RED DE AGUA CIUDAD DE CONCORDIA

Gráfico de presiones
para el año 2001

REFERENCIAS PARA CURVAS ISOBÁRICAS:

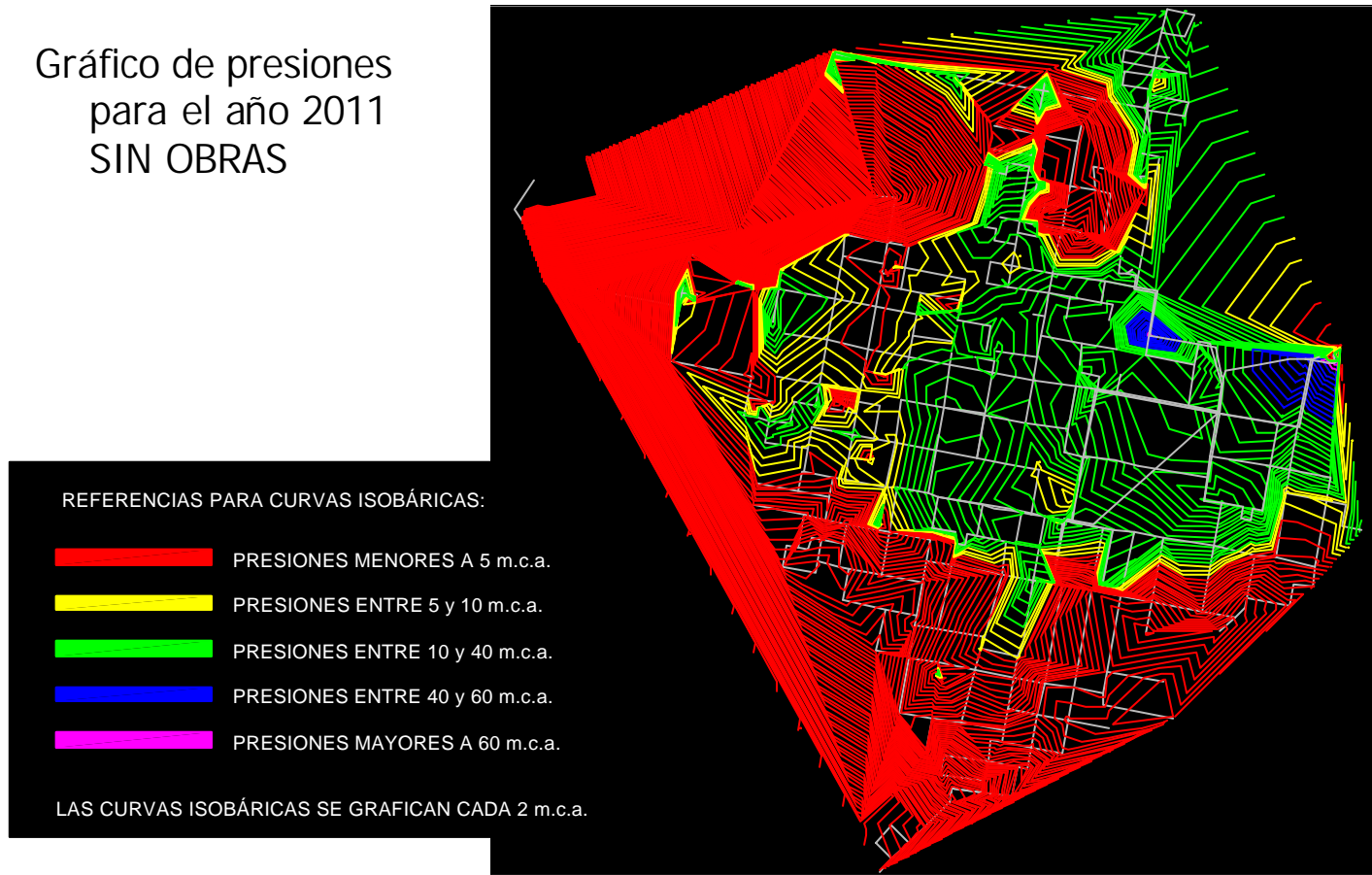
-  PRESIONES MENORES A 5 m.c.a.
-  PRESIONES ENTRE 5 y 10 m.c.a.
-  PRESIONES ENTRE 10 y 40 m.c.a.
-  PRESIONES ENTRE 40 y 60 m.c.a.
-  PRESIONES MAYORES A 60 m.c.a.

LAS CURVAS ISOBÁRICAS SE GRAFICAN CADA 2 m.c.a.



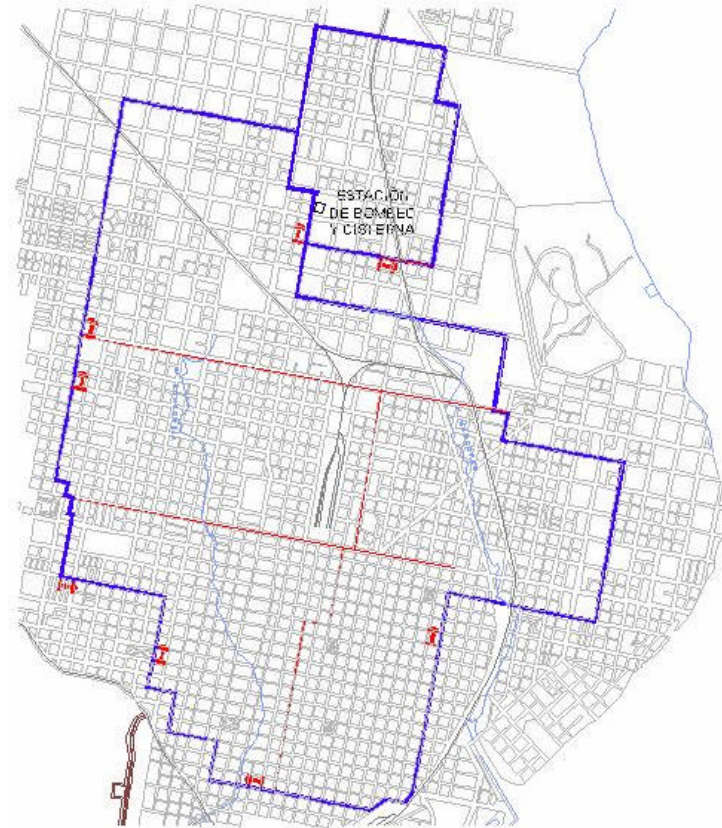
RED DE AGUA CIUDAD DE CONCORDIA

Gráfico de presiones
para el año 2011
SIN OBRAS



RED DE AGUA CIUDAD DE CONCORDIA

Acueducto de
Circunvalación
Concordia



RED DE AGUA CIUDAD DE CONCORDIA

Gráfico de presiones
para el año 2033
UNA VEZ
REALIZADAS LAS
OBRAS
PROYECTADAS



REFERENCIAS PARA CURVAS ISOBÁRICAS:

- █ PRESIONES MENORES A 5 m.c.a.
- █ PRESIONES ENTRE 5 y 10 m.c.a.
- █ PRESIONES ENTRE 10 y 40 m.c.a.
- █ PRESIONES ENTRE 40 y 60 m.c.a.
- █ PRESIONES MAYORES A 60 m.c.a.

LAS CURVAS ISOBÁRICAS SE GRAFICAN CADA 2 m.c.a.

RED DE AGUA CIUDAD DE CONCORDIA

Ensayos sobre la
Red Actual

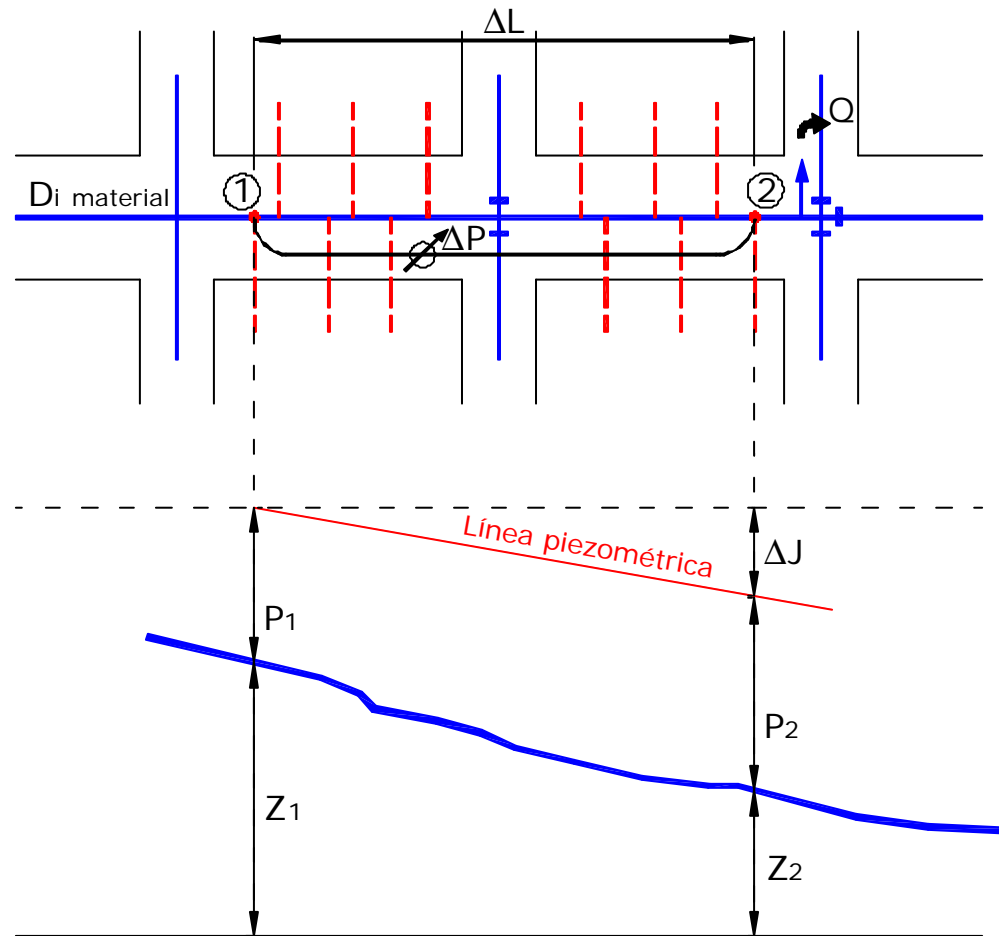


CALIBRACIÓN



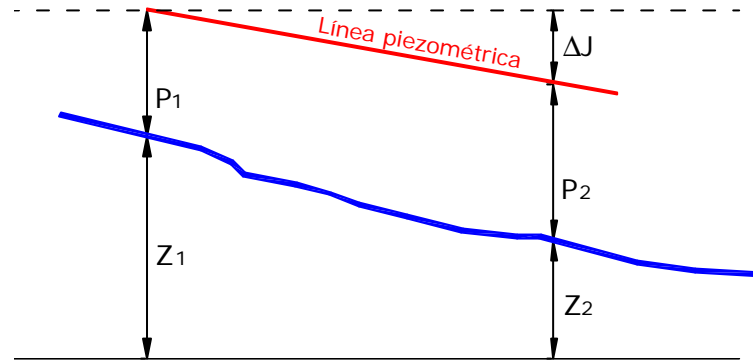
Situación actual de las Cañerías Existentes

CALIBRACIÓN DE MODELOS



$$\begin{aligned}\Delta J &= (Z_1 + P_1) - (Z_2 + P_2) \\ &= (Z_1 - Z_2) + (P_1 - P_2) \\ &= \Delta Z + \Delta P\end{aligned}$$

donde: $\Delta Z = Z_1 - Z_2$
 $\Delta P = P_1 - P_2$



• Mido $\rightarrow \Delta Z$

• Conozco \rightarrow Diámetro

$\rightarrow \Delta L$

\rightarrow Material

\rightarrow

Q_i	ΔP_i	C_i
Q_1	ΔP_1	---
...	...	
Q_n	ΔP_n	

• Calculo:

$$\Delta J = \Delta Z + \Delta P_i = \frac{\Delta L}{(0,275 \cdot C_i)^{1,85}} \cdot \frac{Q_i^{1,85}}{D^{4,85}}$$

\rightarrow Despejo y calculo C_i para cada Q_i y ΔP_i

EJEMPLO DE APLICACIÓN

Acueducto de Circunvalación Puerto Madryn

