

## ÍNDICE GENERAL ANEXOS

ANEXO A: PROYECTO EJECUTIVO DE DRENAJE Y VIALIDAD INTERNA....	1
A.1. Memoria Descriptiva.....	2
A.1. Memoria Descriptiva. Drenaje .....	2
A.2. Memoria Descriptiva. Vialidad Interna. ....	3
A.3. Pliego de Especificaciones Técnicas de Vialidad Interna y Drenaje .....	4
A.4. Cómputo Métrico Vialidad Interna y Drenaje .....	14
A.5. Planos .....	16
A.5.1. Planimetría de Ubicación .....	16
A.5.2. Cuencas de Aporte .....	17
A.4.3. Planimetría General .....	19
A.5.4. Planimetría de Drenaje.....	20
A.5.5. Planialtimetrías.....	21
A.5.6. Perfil Tipo.....	27
A.4.9. Calzada Acotada.....	28
ANEXO B: PROYECTO EJECUTIVO RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE	37
B.1. Memoria Descriptiva.....	38
B.2. Pliego de Especificaciones Técnicas.....	39
B.3. Cómputo, Presupuesto y Plan de Avance .....	44
B.4. Planos .....	46
B.4.1. Red de Agua Potable .....	46
B.4.2. Detalle de Nudos.....	47
ANEXO C: PROYECTO EJECUTIVO OBRAS DE TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN DE LÍQUIDOS CLOACALES EN SUBSUELO .....	48
C.1. Cómputo y Presupuesto.....	49
C.2. Planos.....	50
C.2.1. Detalle de Cámaras y Zanjas .....	50
ANEXO D: SOFTWARES. HEC - HMS. EPANET .....	52

---

D.1. Modelo HEC - HMS.....	53
D.1.1. Aplicación del Modelo Hidrológico.....	56
D.2. Descripción del Programa EPANET .....	58
D.2.1. Características del Programa.....	58
D.2.2. Características del Modelo Hidráulico .....	58
D.2.3. Características del Modelo de Calidad del Agua.....	59
D.2.4. Componentes Físicos .....	60
D.2.5. Componentes No Físicos .....	64
D.2.6. Modelo de Simulación Hidráulica .....	66
D.2.7. Modelo de la Simulación de la Calidad del Agua.....	66
D.2.8. Hipótesis y Ecuaciones utilizadas en EPANET .....	67
D.2.9. Proceso Analítico de Resolución.....	72
D.3. Desarrollo del Modelo EPANET .....	76
D.3.1. Características de Entrada.....	77
D.3.2. Corrida del Modelo.....	79

**ANEXO A: PROYECTO EJECUTIVO DE DRENAJE Y VIALIDAD  
INTERNA**

# **LOTEO "COOPERATIVA DE ENERGIA ELECTRICA Y OTROS SERVICIOS PÚBLICOS DE LAS VARILLAS LIMITADA"**

## **LAS VARILLAS - PROVINCIA DE CÓRDOBA**

### **ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO**

#### **A.1. Memoria Descriptiva. Drenaje**

---

En el presente estudio hidrológico e hidráulico se han definido los caudales de diseño de las obras de desagüe propuestas para el drenaje del loteo "Cooperativa de Energía Eléctrica y Otros Servicios Públicos de Las Varillas Limitada".

El emprendimiento está ubicado en la zona urbana de la localidad de Las Varillas, a 173 km al sureste de la Ciudad de Córdoba, sobre la Ruta Nacional N° 158 y a metros del cruce con la Ruta Provincial N° 13. El fraccionamiento comprende una superficie aproximada de 4,4 Has, de las cuales 1,6 Has se destinan a la vialidad interna. Se cuenta con 106 lotes, con una superficie promedio de 285m<sup>2</sup>, destinados a la construcción de viviendas unifamiliares.

Desde el punto de vista hidrológico, la urbanización del loteo implica un aumento en el grado de impermeabilización del sector y por lo tanto el incremento en los escurrimientos. En este trabajo se ha determinado el impacto que genera dicho incremento y su incidencia en la cuenca en la que se encuentra, para poder así buscar una adecuada solución acorde a la situación en la que se encuentra el emprendimiento hoy, con un adelantado grado de urbanización y con el agravante de que no se previeron espacios verdes para la regulación de los excedentes hídricos.

Es por lo anterior expuesto, que se analiza la posibilidad de utilizar el canal central de la Ciudad como vía principal de desagüe del loteo. Para ello se obtuvieron los caudales para tormentas de diseño de 25 años de recurrencia y de duración igual a 60 minutos, siendo verificadas para 5, 10, 25 y 100 años.

---

## **LOTEO "COOPERATIVA DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y OTROS SERVICIOS PÚBLICOS DE LAS VARILLAS LIMITADA"**

### **LAS VARILLAS - PROVINCIA DE CÓRDOBA**

#### **VIALIDAD INTERNA**

##### **A.2. Memoria Descriptiva. Vialidad Interna.**

---

El presente trabajo describe el proyecto de Vialidad Interna del Loteo "Cooperativa de Energía Eléctrica y Otros Servicios Públicos de Las Varillas Limitada".

El emprendimiento está ubicado en la zona urbana de la localidad de Las Varillas, a 173 km al sureste de la Ciudad de Córdoba, sobre la Ruta Nacional N° 158 y a metros del cruce con la Ruta Provincial N° 13. El fraccionamiento comprende una superficie aproximada de 4,4 Has, de las cuales 1,6 Has se destinan a la vialidad interna. Se cuenta con 106 lotes, con una superficie promedio de 285m<sup>2</sup>, destinados a la construcción de viviendas unifamiliares.

El proyecto de Vialidad Interior consta de la construcción de 1000m de calle. El presente se encuentra condicionado por el proyecto de Drenaje, esto es, se hace necesario realizar una nivelación y perfilado de las calles a modo de orientar dichos excesos hacia las obras del sistema de manejo de los excedentes pluviales.

La tipología de calle adoptada es netamente urbana, de calzada de material granular, cordón cuneta de hormigón y vereda a ambos lados. Los anchos de la calle son de 16 m.

La sección adoptada para cada ancho de calle resulta:

Calle 16m:

- Calzada de base y sub-base granular bidireccional de 8.00m de ancho.
  - Cordones cuneta unificados de 0.15m de espesor a ambos lados.
  - Vereda de 4m de ancho a ambos lados.
-

## **LOTEO " COOPERATIVA DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y OTROS SERVICIOS PÚBLICOS DE LAS VARILLAS LIMITADA"**

### **LAS VARILLAS - PROVINCIA DE CÓRDOBA**

#### **VIALIDAD INTERNA Y DRENAJE**

##### **A.3. Pliego de Especificaciones Técnicas de Vialidad Interna y Drenaje**

##### **ITEM I: MOVIMIENTO DE SUELOS**

##### **ITEM I.a: Desmonte (m<sup>3</sup>)**

##### **Descripción**

Este trabajo consistirá en toda excavación necesaria para la construcción de la obra vial e hidráulica, e incluirá la ejecución de desmontes; la construcción, profundización y rectificación de cunetas y zanjas; el transporte y acopio en su lugar de destino de los materiales provenientes de estos trabajos; la formación de terraplenes, rellenos y banquetas utilizando los productos excavados, y todo otro trabajo de excavación o utilización de materiales excavados no incluidos en otro ítem del contrato y necesario para la terminación de la obra de acuerdo con los perfiles e indicaciones de los planos, las especificaciones respectivas y las órdenes de la Inspección.

Incluirá asimismo la conformación, el perfilado y la conservación de taludes, banquetas, calzadas, subrasantes, cunetas, y demás superficies formadas con los productos de la excavación o dejadas al descubierto por las mismas. Asimismo será parte de este ítem todo desbosque, destronque, limpieza y preparación del terreno, en aquellos sitios en los cuales su pago no esté previsto por ítem separado.

##### **Clasificación**

Toda excavación de materiales llevada a cabo de acuerdo con los requisitos de esta especificación será considerada como "Excavación no clasificada"; ésta consistirá en la excavación de todo material encontrado, sin tener en cuenta su naturaleza ni los medios empleados en su remoción.

---

## **Ejecución**

Se ejecutarán los trabajos de excavación de forma de obtener una sección transversal terminada de acuerdo con las indicaciones de los planos y órdenes de la Inspección; no se deberá, salvo orden expresa escrita de la Inspección, efectuar excavaciones por debajo de la cota de subrasante proyectada, ni por debajo de las cotas de fondo de desagüe indicadas en los planos; ni se permitirá la extracción de suelos en la zona de la obra excavando una sección transversal mayor a la máxima permitida ni profundizando las cotas de cuneta por debajo de las cotas de desagüe indicada en los planos. La Inspección podrá exigir la reposición de los materiales indebidamente excavados, estando el Contratista obligado a efectuar este trabajo a su exclusiva cuenta y de acuerdo a lo que se especifica en el ítem Terraplenes.

El Contratista deberá notificar a la Inspección, con la antelación suficiente, el comienzo de todo trabajo de excavación, con el objeto de que aquélla realice las mediciones previas necesarias de manera que sea posible determinar posteriormente el volumen excavado.

Las cunetas, zanjas y demás excavaciones, deberán ejecutarse con anterioridad a los demás trabajos de movimiento de suelos o simultáneamente con éstos.

Durante los trabajos de excavación y formación de terraplenes, la calzada y demás partes de la obra deberán tener asegurado su correcto desagüe en todo el tiempo.

Todos los materiales aptos, producto de las excavaciones serán utilizados en la medida de lo posible en la conformación de terraplenes, banquetas, rellenos y en todo otro lugar de la obra indicado en los planos u ordenado por la Inspección. Todos los productos de excavación, remoción de pavimentos, tierra sobrante, cordones, que no sean utilizados, serán transportados hasta una distancia máxima de 15 Km. y dispuestos en forma conveniente en los lugares aprobados y ordenados para tal fin, debiendo tener apariencia prolija en su lugar de depósito y no ocasionar perjuicios a terceros.

Será responsabilidad del Contratista el conservar y proteger durante toda la obra el medio ambiente, incluyendo todas las especies vegetales y árboles que se indiquen en el proyecto u ordene la Inspección.

Todos los taludes de desmontes, zanjas y préstamos serán conformados y perfilados con la inclinación y perfiles indicados en los planos o fijados por la Inspección. Si las condiciones lo permiten, deberán redondearse las aristas y disminuir la inclinación de los taludes aún cuando los planos no lo indiquen. Durante toda la construcción de la obra se la protegerá de los efectos de la erosión, socavaciones, derrumbes, etc. por los medios idóneos y necesarios para cada caso, como ser cunetas, zanjas provisionales, entibaciones, etc. Los productos de deslizamientos y derrumbes que se produzcan, deberán removerse y acondicionarse convenientemente en la forma que indique la Inspección.

Todos los préstamos se excavarán con formas regulares y serán conformados y perfilados cuidadosamente para permitir la exacta medición de la excavación. No se deberán realizar excavaciones por debajo de las cotas que se indiquen en los planos o que fije la Inspección. Si se hubiere excavado por debajo de esas cotas indicadas en los planos o fijadas por la Inspección, sin que hubiere mediado orden expresa de la misma, el Contratista estará obligado a reponer a su exclusiva cuenta el material excavado con la densificación que se ordene. No se permitirá excavar préstamos con taludes de inclinación mayor de 45°, salvo autorización expresa de la Inspección y en zonas compatibles con la naturaleza del terreno; siendo responsabilidad del Contratista el adoptar los recaudos para garantizar la estabilidad de la obra en correspondencia con tales taludes.

### **Equipo**

El Contratista deberá disponer en obra de los equipos necesarios para ejecutar los trabajos conforme a las exigencias de calidad especificadas, y en tipo y cantidad suficiente para cumplir con el plan de trabajos.

### **Condiciones para la Recepción**

Los trabajos serán aprobados cuando las mediciones realizadas por la Inspección, tales como pendientes, longitudes, cotas y demás condiciones establecidas en las presentes especificaciones se verifiquen dentro de las indicaciones

---

del proyecto y órdenes de la Inspección, con las tolerancias establecidas en las Especificaciones Particulares, en el caso de que éstas se incluyan.

### **Medición**

Cuando el producto de una determinada excavación se utilice en la formación de terraplenes, banquetas, revestimiento de taludes, recubrimiento de suelo seleccionado, no se computará el volumen de la misma como excavación. Toda otra excavación realizada en la forma especificada, se computará por medio de secciones transversales y el volumen excavado se calculará por el método de la media de las áreas, expresándose en metros cúbicos.

Se medirá como excavación a la diferencia entre el volumen total de excavación y el volumen de terraplén correspondiente al perfil tipo de proyecto, multiplicado por el coeficiente de compactación adoptado en el mismo. Se restarán asimismo los volúmenes utilizados en la formación de banquetas, revestimientos de taludes, recubrimientos con suelo seleccionado, multiplicados por sus respectivos coeficientes de compactación.

EXCAVACIÓN (a medir) = Vol. Exc. - (Vol. Terr. x Coef. c) - [Vol. U (i) x Coef. c (i)]

Donde:

Vol. Exc. = Volumen total de excavaciones computadas según el perfil tipo de obra.

Vol. Terr. = Volumen total de terraplén según el perfil tipo de obra.

Coef. c = Coeficiente de compactación adoptado en el proyecto.

Vol. U (i) = Volumen utilizado en la formación de banquetas, revestimientos y recubrimientos.

Coef. c(i) = Coeficiente de compactación adoptado en el proyecto para el suelo utilizado en cada capa.

Se medirá asimismo, cuando no se utilice en los lugares mencionados:

---

- Toda excavación por debajo de la rasante de proyecto que haya sido autorizada por la Inspección.

- Todo mayor volumen excavado, resultante de una disminución en la inclinación de los taludes en base a la naturaleza de los suelos, que haya sido autorizada por la Inspección.

Los volúmenes excavados en exceso sobre lo indicado en los planos o lo autorizado por la Inspección, no se medirán ni recibirán pago directo alguno.

### **Cómputo y certificación**

Se computará y certificará por metro cúbico (m<sup>3</sup>) de terraplén compactado, ejecutado de acuerdo con estas especificaciones y aprobado por la Inspección.

### **ITEM I.b: Terraplén Compactado (m<sup>3</sup>)**

#### **Descripción**

Este ítem comprende la realización de todos los trabajos necesarios para ejecutar las tareas siguientes:

1 - Limpieza del terreno (vegetales en general, materias orgánicas, raíces, etc.)

2 - Terraplenes compactados, banquetas y accesos con suelos aptos provenientes de las distintas excavaciones, densificados en un todo de acuerdo con lo que se especifica más adelante.

3 - Los desmontes que correspondan, cualquiera sea el tipo de terreno.

4 - La carga, transporte y descarga de los materiales a utilizar en los terraplenes, banquetas y accesos y de los excedentes, a los lugares que indique la Inspección (depósitos o préstamos). Dentro de los materiales excedentes deberán ser incluidos también aquellos que provengan de desmontes y no encuadren dentro de las especificaciones del ítem para su utilización.

5 - La remoción de la capa superior de suelo vegetal y su reserva para el recubrimiento de taludes, banquetas y fondo de cunetas.

6 - Cualquier otra tarea no expresamente mencionada en el ítem pero que fuera necesaria efectuar para su correcta ejecución.

### **Materiales**

1 - El suelo que se emplee en la construcción de los terraplenes no deberá contener matas de hierbas, raíces, troncos, ramas, u otras materias orgánicas. Deberá además cumplir con las siguientes exigencias mínimas de calidad, salvo indicación en contrario de la Inspección:

V.S.R. (C.B.R.) mayor de 3 al 100 % de la densidad máxima correspondiente al tipo de suelo de que se trate.

2 - No se permitirá incorporar al terraplén suelos con un contenido excesivo de humedad, considerándose como tal aquella que iguale o sobrepase el límite plástico del suelo. La Inspección podrá exigir que sea retirado del terraplén todo volumen de suelo con humedad excesiva, reemplazándolo por material que posea la humedad adecuada. Cuando el suelo se halle en forma de panes o terrones, los mismos deberán romperse previamente a su incorporación al terraplén.

3 - Si parte o toda una sección de terraplén se halla formada por rocas, éstas se distribuirán uniformemente en capas que no excedan de 0,60 m de espesor, colocando los agregados de mayor tamaño en la parte inferior. Y con el objeto de lograr una fuerte trabazón entre las rocas, obtener una mayor densidad y estabilidad en el terraplén terminado, se formará sobre cada capa de rocas una superficie lisa de suelo y rocas pequeñas, sobre la cual se harán actuar rodillos vibrantes. Los vacíos que dejen entre sí las rocas de mayor tamaño serán llenados con rocas más pequeñas y suelo, de manera de formar un conjunto denso.

4 - Cuando los terraplenes deban construirse a través de bañados o zonas cubiertas de agua, el material se colocará en una sola capa hasta la elevación mínima a la cual pueda hacerse trabajar el equipo. Por encima de tal elevación, el terraplén se construirá por capas del espesor especificado para cada caso.

5 - El mayor volumen que se deba colocar con motivo de asentamientos que se produzcan no será objeto de medición ni pago alguno independientemente de la condición de la base de asiento que se presente.

6 - Una vez terminada la construcción de terraplenes, taludes, cunetas y préstamos, deberá conformárselos y perfilarlos de acuerdo con las secciones transversales indicadas en los planos. Todas las superficies deberán conservarse en perfectas condiciones de lisura y uniformidad hasta el momento de la recepción de la obra.

7 - Cuando el volumen aparente de la fracción librada por la criba de 19mm después de compactada, no colme los vacíos de la fracción retenida por dicha criba y además no sea posible determinar su densidad por los métodos convencionales, no se efectuará el control de densificación de los suelos como se establece en esta especificación, procediéndose en este caso, de acuerdo a lo especificado previamente.

### **Ejecución**

Los trabajos se realizarán de acuerdo con lo proyectado, a las órdenes que imparta la Inspección, y con las prescripciones del "Pliego de Especificaciones Técnicas Generales" de la D.N.V. (Edición 1998) en lo referido a "Movimiento de Suelo" (Capítulo B) en todo aquello que no se oponga a las presentes especificaciones.

Las especificaciones a cumplir serán:

1. No se permitirá que el contenido de sales y sulfatos solubles del terraplén ejecutado, supere los siguientes límites:

Sales Solubles Totales: No mayor del 1,5 % en peso

Sulfatos Solubles: No mayor del 0,5% en peso

2. Los suelos a utilizar en el Terraplén deberán cumplir las siguientes condiciones:

Límite Líquido: No mayor de 30 // Índice Plástico: No mayor de 8

---

3. El ensayo Proctor especificado es el correspondiente a la Norma VN-E.5-93-Método II.

4.- Las densidades de obra, referidas porcentualmente a la máxima del ensayo descrito en el punto precedente serán las siguientes:

Núcleo, Terraplén y banquetas: 90 % // Últimos 30 cm: 95 %

5 - En el caso de terraplenes a ejecutarse en zonas adyacentes a alcantarillas, estribos de puentes, muros de sostenimiento y obras de arte en general, lugares en donde no pueda actuar eficazmente el equipo de compactación normal, los terraplenes se ejecutarán en capas y cada una de ellas compactadas con pisones manuales o mecánicos o mediante cualquier otro método propuesto por el Contratista y aprobado por la Inspección que permita lograr las densidades exigidas.

6 - No deberán realizarse excavaciones por debajo de las cotas de desagüe. El Contratista estará obligado a reponer el suelo indebidamente excavado a su exclusivo cargo, compactándolo a la densidad del terreno natural.

### **Compactación**

La densificación en obra se controlará mediante el ensayo de P.U.V.S. (Proctor) acorde a lo especificado en la Norma de Ensayo "Compactación de Suelos" - VN-E5-93 y su complementaria, empleando el método descrito en la misma, que corresponda según el tipo de suelo de que se trate.

Para los suelos de tipo A-4 según la clasificación HRB, es de aplicación el ensayo AASHTO T-180. El control de compactación del núcleo del terraplén, se realizará por capas de 0,20 m de espesor, independiente del espesor constructivo adoptado. En los 0,30 m superiores del terraplén, se controlará su densidad por capas de 0,15 m de espesor cada una, así como en las banquetas.

Las densidades a exigir en obra, referidas porcentualmente a la máxima de los ensayos descritos en el punto precedente, no deberán ser inferiores a las siguientes:

Base de asiento del terraplén y núcleo del mismo: No inferior al 90%.

Capa superior de 0,30 m de espesor compactado y banquetas: No inferior al 95 %.

---

### **Perfil Transversal**

El control planialtimétrico a nivel de subrasante se efectuará con el levantamiento de un perfil transversal cada 25 m como mínimo.

Los terraplenes y los desmontes deberán construirse hasta las cotas indicadas en los planos o las dispuestas en el replanteo por la Inspección, admitiéndose como tolerancia, una diferencia en defecto, con respecto de las cotas mencionadas, de hasta 3 (tres) centímetros y de 1 (un) centímetro en exceso. Toda diferencia de cota que sobrepase esta tolerancia deberá ser corregida

No se admiten tolerancias en defecto con respecto a los anchos teóricos de proyecto de las respectivas capas.

### **Cómputo y certificación**

Se computará y certificará por metro cúbico (m<sup>3</sup>) de terraplén compactado, ejecutado de acuerdo con estas especificaciones y aprobado por la Inspección.

## **ITEM II: EJECUCIÓN DE CORDÓN CUNETA Y BADENES DE HORMIGÓN (ml, m<sup>2</sup>)**

### **Descripción**

Las tareas de este rubro se refieren a la ejecución de cordones cuneta y vados unificados en las zonas, áreas y dimensiones indicados por la Inspección, y acorde a los planos tipo, oficiales; las tareas se ejecutarán en base a lo especificado en la descripción de los rubros respectivos, en cuanto hace a la reparación de la base de apoyo de los mismos, remoción de materiales existentes, y provisión del hormigón en obra, rigiendo las mismas especificaciones y tolerancias que en el rubro pavimentos de hormigón.

Con el aditamento de que en caso de cordones cuneta no se admitirán deficiencias en cuanto al libre escurrimiento de las aguas, siendo obligación del contratista el nivelado correcto para evitar en todo sitio acumulación de las mismas, todo lugar en que se observaren deficiencias de este tipo, será obligación demoler y reconstruir adecuadamente.

La ejecución de los cordones se realizará simultáneamente con la cuneta y badenes donde corresponda, con una diferencia no mayor de 3 a 6 horas dependiendo de las condiciones climáticas y siempre dentro de la misma jornada de labor.

Acorde a las órdenes de la Inspección, los cordones cuneta serán ejecutados en anchos totales, es decir medidas externas, entre 0,70 a 1,20 m. Tanto los cordones, su armadura como zona de cunetas, se ejecutarán en un todo acorde a lo especificado.

El contratista deberá tener especial cuidado en la terminación de los trabajos, no dejando zonas laterales, al sacar los moldes, descalzadas, a cuyo efecto procederá a su inmediato relleno y compactación manual.

Asimismo, se deberá ejecutar con los materiales aptos correspondientes, la junta entre cordón y vereda, (con su contra piso), evitando en todo momento la posibilidad de ingreso de agua por detrás de dichos cordones, debiendo hacerse cargo, asimismo de la conservación de dicha junta.

### **Cómputo y certificación**

Se computará y certificará por metro lineal (ml) de cordón cuneta y metro cuadrado (m<sup>2</sup>) de badenes medido, aprobado por la Inspección.

El precio del ítem incluye la provisión y colocación del hormigón de cuneta y de base del cordón, de vados, mano de obra especializada, y todo tipo de gasto que demande la correcta terminación del ítem.

**LOTEO "COOPERATIVA DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y OTROS SERVICIOS PÚBLICOS DE LAS VARILLAS LIMITADA"**

**LAS VARILLAS - CORDOBA**

**VIALIDAD INTERNA Y DRENAJE**

**A.4. Cómputo Métrico Vialidad Interna y Drenaje**

m3: metro cúbico; m2: metro cuadrado, m: metro lineal

<b>ITE M</b>	<b>DESCRIPCION DEL ITEM</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>
I.	Movimiento de suelos		
I.a.	Desmonte	m <sup>3</sup>	2507.79
I.b.	Terraplén Compactado	m <sup>3</sup>	385.33
II.	Ejecución de Cordón Cuneta de Hormigón	m	922.17
III.	Ejecución de Badenes de Hormigón	m <sup>2</sup>	1,156.08



## **A.5. Planos**

### **A.5.1. Planimetría de Ubicación**

### **A.5.2. Cuencas de Aporte**



#### **A.4.3. Planimetría General**

#### **A.5.4. Planimetría de Drenaje**

### **A.5.5. Planialtimetrías**











### **A.5.6. Perfil Tipo**

#### **A.4.9. Calzada Acotada**

















## **ANEXO B: PROYECTO EJECUTIVO RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE**

## **LOTEO "COOPERATIVA DE ENERGIA ELECTRICA Y OTROS SERVICIOS PÚBLICOS DE LAS VARILLAS LIMITADA"**

### **LAS VARILLAS - PROVINCIA DE CÓRDOBA**

### **RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE**

#### **B.1. Memoria Descriptiva.**

---

En el presente trabajo se realiza la verificación del proyecto de red agua potable, para abastecer al Loteo "Cooperativa de Energía Eléctrica y Otros Servicios Públicos de Las Varillas Limitada", el cual ya se encuentra ejecutado.

El mismo se encuentra ubicado en la zona urbana de la localidad de Las Varillas, a 173km al Sureste de la Ciudad de Córdoba. El acceso al mismo se encuentra por la Ruta Nacional N°158, a metros del cruce de ésta y la Ruta Provincial N°13.

El desarrollo contempla una superficie aproximada de 4,4 Has. y la ejecución de 106 lotes de 285 m<sup>2</sup> de superficie aproximados, destinados a la construcción de viviendas unifamiliares.

El emprendimiento se abastece de agua potable mediante la conexión a la red de distribución existente en la localidad, la cual se realiza en la calle Intendente José Irazusta y calle Domingo F. Sarmiento, a una cañería de PVC  $\Phi 90$ .

Dicha red a su vez, se alimenta de dos acueductos que conectan a la ciudad de San Francisco con la de Villa María. En esta última, sobre el Río Calamuchita (Río Tercero), mediante galerías filtrantes se obtiene el recurso. Esto es así, dado que las aguas subterráneas de la ciudad no son aptas para el consumo.

Las características del servicio actual en el punto de conexión, garantizan la provisión de un caudal de 2,70 l/s y una presión media de 10 m.c.a., según lo informado por EMVA (Empresa Municipal de Aguas Varillenses), quien es el ente proveedor del servicio.

---

## LOTEO "COOPERATIVA DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y OTROS SERVICIOS PÚBLICOS DE LAS VARILLAS LIMITADA."

### LAS VARILLAS - PROVINCIA DE CÓRDOBA

### RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE

#### B.2. Pliego de Especificaciones Técnicas

---

#### CONSIDERACIONES GENERALES

En el presente Pliego Particular de Especificaciones Técnicas (P.P.E.T.), se indica: el alcance de la prestación de cada uno de los **ítem básicos** a los que está obligado a cumplimentar el Contratista de la presente obra; las características técnicas descriptivas (complementarias de las descriptas en el Pliego de Especificaciones Técnicas Generales – P.G.E.T.- y de los Planos Oficiales de Proyecto) y también la evaluación correspondiente en cuanto a la forma de cómputo y pago de dichos ítems.

En todos los casos estos ítem se referencian en su cumplimiento técnico con el Pliego General de Especificaciones Técnicas (P.G.E.T.) de la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Provincia de Córdoba; con los planos de ingeniería de detalle del presente proyecto y además en sus cantidades por unidad de medida o en su consideración global se deben referenciar al Cómputo Métrico integrante del presente Proyecto.

Se hace referencia a cada **ítem básico** que compone la presente obra su alcance y la forma de certificación.

#### RED DE DISTRIBUCIÓN

##### Excavación y tapado de zanjas (m)

Comprende este Ítem la excavación de la zanja para la instalación de la red de cañerías de distribución de agua. La Dirección Técnica replanteará las zanjas de acuerdo con el plano de la red a construir, lo más alejado de las viviendas que lo

---

permitan los obstáculos no removibles que puedan existir sobre y debajo de las veredas y con la menor cantidad posible de quiebres, que de ser necesarios, se proyectarán con utilización de curvas de 90°. La elección de la traza que ofrecerá menos dificultad e imprevistos durante su excavación se sustenta en el conocimiento previo y más completo posible del total de su recorrido, tanto superficial como en profundidad, compensando económicamente con creces el tiempo que se dedique a la investigación previa para reducir al mínimo los imprevistos. El ritmo de la excavación debe ser el mismo que el del tapado y apisonado para que en todo momento la longitud de zanjas abiertas sea mínima.

El tapado se efectuará distinguiendo 3 etapas: una primera etapa consiste en un relleno con arena gruesa de 10 cm más  $\frac{1}{2}$  del diámetro nominal del caño (90mm). La segunda etapa consiste en el relleno y, cuidadosa y fuerte compactación lateral de las cañerías, utilizándose el suelo de mejor granulometría y humedad del disponible de la excavación ya que la compactación lateral de las cañerías es la clave de su resistencia a la deformación bajo la carga del relleno. Desde allí se rellenará con el suelo disponible restante en capas de no más de 15 cm de espesor suelto (con 90% del Proctor Normal), hasta el nivel de fundación del contra piso de la vereda, si existiese. En las veredas de tierra es conveniente que la última capa sobresalga abovedada algunos centímetros de la rasante original y perfilar después de la estación lluviosa. La mano de obra a afectar a la ejecución del tapado será la necesaria para obtener el mismo rendimiento que se implemente para la excavación de la zanja.

### **Provisión y colocación de cañerías de PVC clase 6 con uniones elásticas. (m)**

#### **Sub Ítem 4.2.1: De diámetro 90 mm (m)**

Contemplan los distintos sub-ítems la provisión de la cañería de PVC y sus accesorios de unión, cambios de dirección o de sección en los distintos diámetros proyectados y materializar con los mismos la red de distribución domiciliar de agua, de acuerdo al plano respectivo, incluyendo las pruebas hidráulicas a zanja abierta y tapada. La recepción, almacenamiento, manipuleo, instalación, anclaje y pruebas hidráulicas se registrarán en un todo por lo especificado en los Artículos 1.18 y 3.1 del PGET. La presión de prueba la determinará la Dirección Técnica en cada caso en consideración a la existencia o no de conexiones domiciliarias en los tramos a ensayar, no siendo en ningún caso inferior a 6 Kg/cm<sup>2</sup>.

---

## **Válvulas esclusas Euro 20 tipo 21 con adaptador de brida para PVC (N°)**

### **Sub Ítem 43.2: De diámetro 90 mm (N°)**

Contempla este Ítem la provisión y colocación de las válvulas esclusas de intercepción y de desagüe de la red de distribución, las que se instalarán en los lugares indicados en el plano de Red a construir. Para el empalme de la cañería con las bridas de la válvula, se utilizarán adaptadores de brida de fundición dúctil, con su correspondientes bulones y goma para juntas de 5 mm de espesor. Las válvulas se instalarán en las cámaras que se construirán a tal efecto y cuyos detalles se indican en el plano de cámaras de la red de distribución.

Las válvulas deberán estar instaladas previamente a la ejecución de la prueba hidráulica del tramo sobre la que se encuentren colocadas.

### **Cámaras para válvulas esclusas. (N°)**

Comprende las cámaras dentro de las cuales se instalarán las válvulas esclusas del Art. anterior. El piso será de hormigón simple de dosaje: 1 parte de cemento, 2,5 de arena gruesa y 3 de granza 1 a 5 cm. Las paredes de mampostería de ladrillos comunes tomados con mortero de 1 parte de cemento y 3 de arena. Se revocará interiormente y en su borde superior con jaharro y enlucido de concreto 3:1. La tapa será pre moldeado de hormigón armado, tipo H17 del Cirsoc, de 6 cm. de espesor, y armada con 4 barras diámetro 6mm en cada dirección. El agregado grueso será granza de 1 a 2 cm. En el centro de la tapa y en coincidencia con el eje de la válvula, se dejará empotrada una caja de hierro fundido, tipo marco y tapa de 10x13 cm. para llave de paso. La tapa se colocará con un mortero pobre de cal y arena de modo que pueda extraerse con facilidad en caso de tener que abrirla para reparaciones. En todos los casos en que sea posible, la cámara de válvula se instalará en vereda.

### **Cámara para hidrantes (N°)**

Comprende este ítem la construcción de cámaras para hidrantes y se ubicarán en correspondencia con cada hidrante instalado en la cañería. Incluye en este ítem la excavación, construcción de cámara de mampostería según plano tipo, base de hormigón para asiento y alojamiento de la curva con base y bridas y espiga, caño de

---

elevación, RNT, Manguitos de reparación, junta Gibault, válvula de corte del diámetro correspondiente, el piso, las paredes y la tapa del material consignado en los planos, la caja de F<sup>o</sup>F<sup>o</sup>, hidrante a resorte completo, el relleno posterior de la excavación y todo otro trabajo que deba realizarse para dejar total y correctamente finalizado el ítem. Deberá responder a las dimensiones consignadas en los planos y órdenes que imparta la inspección.

### **Conexiones Domiciliarias (N°)**

Este ítem comprende la provisión de mano de obra, materiales y equipos necesarios para la instalación de conexiones domiciliarias en los puntos definidos en los planos del proyecto.

El esquema de las derivaciones de la cañería de la red distribuidora a cada uno de los inmuebles a servir, figura en el plano de detalle respectivo.

La cañería de derivación será de polietileno flexible de baja densidad para presiones de trabajo de 6 kg/cm<sup>2</sup>, de 13 mm. de diámetro y con sello de calidad IRAM. Su tendido se realizará sin uniones intermedias y esfuerzos axiales de tracción, admitiéndose dobleces con radios de curvaturas mínimos de 500 mm en frío y 200 mm. en caliente.

Las uniones de la cañería de polietileno con la distribuidora de PVC, se efectuará mediante abrazadera de derivación de PVC con ajuste por cuñas y enchufe con rosca macho de polipropileno; todos éstos accesorios serán para presión de trabajo de 6 kg/cm<sup>2</sup>.

La unión de la cañería de polietileno con la llave de paso maestra de bronce H-H de 13 mm. de diámetro se efectuará con un manguito enchufe con rosca macho (MER) de polipropileno y la llave de paso se unirá al medidor con un acople de bronce o nylon, roscado especial, de 15 mm. El extremo libre del medidor de agua se protegerá de la entrada de cuerpos extraños con una guarnición ciega de plástico.

El conjunto llave de paso - medidor de agua irá alojado en una misma caja de longitud suficiente para permitir el fácil acople y desacople del medidor a la llave de paso. La caja será de polipropileno de alta densidad, de 20 cm. de ancho y 40 cm. de

longitud, con tapa con cierre de seguridad y hermético, la cual deberá quedar a ras del solado de la vereda.

El costo de excavación de la zanja con el medio que fuese necesario, el tapado y apisonado de la misma, y la rotura y refacción de solados de veredas en la traza de la conexión; estarán incluidos en el precio unitario de la conexión domiciliaria.

Este ítem se computará y certificará por unidad colocada y ejecutada, según las exigencias de la presente documentación y se considerará asimismo en este precio a cualquier otro elemento y/o trabajo que fuera necesario para concluir los trabajos total y correctamente, a entera satisfacción de la Inspección de obra.

## LOTEO "COOPERATIVA DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y OTROS SERVICIOS PÚBLICOS DE LAS VARILLAS LIMITADA."

### LAS VARILLAS - PROVINCIA DE CÓRDOBA

### RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE

#### B.3. Cómputo, Presupuesto y Plan de Avance

#### PLAN DE AVANCE

Item	Descripción	MONTOS	% Incid	Semanas		
				1	2	3
<b>A</b>	<b>RED DE DISTRIBUCIÓN</b>					
1	Excavación de zanja para cañerías en todo tipo de terreno	\$ 48,665.74	2.7273%	30.00%	30.00%	40.00%
2	Manto de arena para asiento de la cañería. Provisión acarreo y colocación	\$ 25,686.60	1.4395%	30.00%	30.00%	40.00%
3	Cañerías. Provisión y colocación	\$ 886,627.66	49.6875%	30.00%	30.00%	40.00%
4	Provisión y Colocación de Válvulas e Hidrantes	\$ 417,789.19	23.4133%	25.00%	35.00%	40.00%
5	Cámaras para Válvulas y Accesorios en General	\$ 6,697.01	0.3753%		40.00%	60.00%
6	Relleno y compactación de zanja con terreno seleccionado	\$ 99,498.01	5.5760%	25.00%	35.00%	40.00%
7	Provisión y Colocación de Accesorios en General	\$ 184,795.37	10.3561%	25.00%	35.00%	40.00%
8	Conexiones Domiciliares	\$ 114,646.81	6.4249%	35.00%	35.00%	30.00%
<b>Porcentajes de avances financieros</b>			100.00%	28.2414%	32.3260%	39.4326%
<b>SUMATORIA TOTAL</b>		<b>\$ 1,784,406.41</b>		28.2414%	60.5674%	100.0000%

Monto Total de Obra **\$ 1,784,406.41**

PROYECTO DE DRENAJE, VIALIDAD INTERNA, AGUA POTABLE Y OBRAS DE TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN DE EFLUENTES CLOACALES PARA EL LOTE "COOPERATIVA DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y OTROS SERVICIOS PÚBLICOS DE LAS VARILLAS LIMITADA"

LOTEO "COOPERATIVA DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y OTROS SERVICIOS PÚBLICOS DE LAS VARILLAS LIMITADA"					
OBRA: RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE					
<b>CÓMPUTO Y PRESUPUESTO</b>					
Ítem	Designación	Unid	Cant.Parcial	Precio Unitario	Precio Total
<b>A- RED DE DISTRIBUCIÓN</b>					
1	Excavación de zanja para cañerías en todo tipo de terreno	m <sup>3</sup>	690.07	\$ 70.52	\$ 48,665.74
2	Manto de arena para asiento de la cañería. Provisión acarreo y colocación	m <sup>3</sup>	69.01	\$ 372.23	\$ 25,686.60
3	Cañerías. Provisión y colocación				
	a- PVC Clase 6 - diám. 90 mm	ml	1150.12	\$ 199.42	\$ 229,358.42
4	Provisión y Colocación de Válvulas e Hidrantes				
	a- Válvula esclusa HºDº 2 Enchufes p/PVCØ90 mm	Un	2	\$ 2,904.28	\$ 5,808.55
	b- Válvula de aire	Un	1	\$ 12,209.41	\$ 12,209.41
	c- Válvula para Hidrante a Resorte Ø64	Un	4	\$ 2,121.86	\$ 8,487.45
5	Cámaras para Válvulas y Accesorios en General				
	a- Caja FºF forma brasero(pesado) p/V. Esclusa	Un	2	\$ 1,140.13	\$ 2,280.26
	b- Caja FºF p/ Hidrante (Marco y Tapa)	Un	4	\$ 1,104.19	\$ 4,416.75
6	Relleno y compactación de zanja con terreno seleccionado	m <sup>3</sup>	717.67	\$ 138.64	\$ 99,498.01
7	Provisión y Colocación de Accesorios en General				
	a- Ramal Te HHH 3 Enchufes 90x90 CL6	Un	6	\$ 856.11	\$ 5,136.63
	b- Ramal Te HHH reducción 3 Enchufes 90x75 CL6	Un	4	\$ 260.81	\$ 1,043.26
	c- Curva FºFº Larga c/pie,brida y enchufe 75mm	Un	4	\$ 1,156.59	\$ 4,626.34
	d- Caño elevación FºFº doble brida de Ø60x300mm de largo	Un	4	\$ 1,834.40	\$ 7,337.60
	e- Cupla deslizante PVC CL6 2 Enchufes Ø 90	Un	10	\$ 297.14	\$ 2,971.38
	f- Pieza Transf. HºFº, 2 esp.(C.A.C. CL10,100 y PVC (75x6,3) 10)	Un	4	\$ 402.86	\$ 1,611.44
	g- Junta HºFº tipo "B" (GIBAULT), CL10 de100mm de Φ	Un	4	\$ 331.51	\$ 1,326.05
	h- Tapón de cierre DN 90 CL6	Un	2	\$ 299.72	\$ 599.44
8	Conexiones Domiciliarias	Un.	106	\$ 1,081.57	\$ 114,646.81
<b>SUBTOTAL</b>					<b>\$ 1,784,406.41</b>
<b>TOTAL</b>					<b>\$ 1,784,406.41</b>
<b>Son Pesos Un Millon Setecientos Ochenta y Cuatro Mil, Cuatrocientos Seis con 41/100</b>					

Ee

## **B.4. Planos**

### ***B.4.1. Red de Agua Potable***

#### **B.4.2. Detalle de Nudos**

**ANEXO C: PROYECTO EJECUTIVO OBRAS DE TRATAMIENTO Y  
DISPOSICIÓN DE LÍQUIDOS CLOACALES EN SUBSUELO**

**LOTEO "COOPERATIVA DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y OTROS  
SERVICIOS PÚBLICOS DE LAS VARILLAS LIMITADA."**

**LAS VARILLAS - PROVINCIA DE CÓRDOBA**

**OBRAS DE TRATAMIENTO Y DEPOSICIÓN DE LÍQUIDOS**

**CLOACALES EN SUBSUELO**

**C.1. Cómputo y Presupuesto**

Unidades : m3: metro cúbico; m2: metro cuadrado					
ITEM	DESCRIPCION DEL ITEM	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNIT.	P. TOTAL
I.	Excavación	m <sup>3</sup>	7.29	\$ 80.83	\$ 589.25
II.	Mampostería	m <sup>2</sup>	15.60	\$ 293.17	\$ 4,573.45
III.	Homigón Armado para Losas	m <sup>3</sup>	0.95	\$ 3,912.62	\$ 3,732.64
IV.	Pintura	m <sup>2</sup>	15.60	\$ 48.50	\$ 756.60
				<b>TOTAL =</b>	<b>\$ 9,651.94</b>

## **C.2. Planos**

### **C.2.1. Detalle de Cámaras y Zanjas**



## **ANEXO D: SOFTWARES. HEC - HMS. EPANET**

## D.1. Modelo HEC - HMS

Este modelo es un software en entorno de Windows que permite simular la transformación de lluvias históricas o hipotéticas en escurrimiento, a través de un sistema que integra diferentes métodos hidrológicos para encontrar la lluvia en exceso, transformarla en caudal y transitarla por los cauces.

El planteamiento del modelo consiste en esquematizar conceptualmente el sistema hidrológico en estudio, poniendo de manifiesto los procesos involucrados en el fenómeno de transformación lluvia – caudal mediante una simplificación de la realidad.

La ejecución de una simulación con el programa operativo HEC-HMS (versión 3.5.0), requiere de las siguientes especificaciones:

- Modelo de Cuenca (Basin Model), contiene parámetros y datos conectados para elementos hidrológicos.
- Modelo Meteorológico, consiste en datos meteorológicos en especial la precipitación y de la información requerida para procesarlos.
- Especificaciones de Control, con el cual se especifica información para efectuar la simulación.

### **Modelo de Cuenca:**

Con objeto de poder representar adecuadamente el comportamiento hidrológico de una determinada cuenca, es preciso, en primer lugar, llevar a cabo una representación esquemática de la misma, que refleje de la mejor manera posible, su morfología y las características de su red de drenaje. En dicha representación esquemática se utilizan generalmente diversos tipos de elementos, dentro de los cuales se desarrollan los procesos hidrológicos. En este sentido, el programa HEC-HMS incluye los siguientes elementos:

- a. Subcuenca: Este tipo de elemento se caracteriza porque no recibe ningún flujo entrante y da lugar a un único flujo saliente, que es el que se genera en la subcuenca a partir de los datos meteorológicos, una vez descontadas las pérdidas de agua, transformado el exceso de precipitación en escorrentía superficial y añadido el flujo base. Se utiliza para representar cuencas vertientes de muy variado tamaño.
- b. Tramo de cauce: Se caracteriza porque recibe uno o varios flujos entrantes y da lugar a un solo flujo saliente. Los flujos entrantes, que provienen de otros elementos de la cuenca, tales como subcuencas u otros tramos de cauce, se

suman antes de abordar el cálculo del flujo saliente. Este tipo de elementos se suele utilizar para representar tramos de ríos o arroyos en los que se produce el tránsito de un determinado hidrograma.

- c. Embalse: Es un tipo de elemento que recibe uno o varios flujos entrantes, procedentes de otros elementos, y proporciona como resultado del cálculo un único flujo saliente. Se utiliza para poder representar fenómenos de laminación de avenidas en lagos y embalses.
- d. Confluencia: Se caracteriza porque recibe uno o varios flujos entrantes y da lugar a un solo flujo saliente, con la particularidad de que el flujo saliente se obtiene directamente como suma de los flujos entrantes, considerando nula la variación del volumen almacenado en la misma. Permite representar la confluencia propiamente dicha de ríos o arroyos, aunque ello no es imprescindible, ya que los flujos entrantes pueden proceder también de subcuencas parciales.
- e. Derivación: Este tipo de elemento se caracteriza porque da lugar a dos flujos salientes, principal y derivado, procedentes de uno o más flujos entrantes. Se puede utilizar para representar la existencia de vertederos laterales que derivan el agua hacia canales o zonas de almacenamiento separadas del cauce propiamente dicho.
- f. Fuente: Junto con la subcuenca, es una de las dos maneras de generar caudal en el modelo de cuenca. Se suele utilizar para representar condiciones de contorno en el extremo de aguas arriba, y el caudal considerado puede proceder del resultado del cálculo efectuado en otras cuencas.
- g. Sumidero: Recibe uno o varios flujos entrantes y no da lugar a ningún flujo saliente. Este tipo de elemento puede ser utilizado para representar el punto más bajo de una cuenca endorreica o el punto de desagüe final de la cuenca en cuestión.
- h. La combinación de estos tipos de elementos, con las adecuadas conexiones entre ellos, constituye finalmente la representación esquemática de la cuenca total.

#### **Modelo Meteorológico:**

Precipitación: por lo general la entrada a un sistema de cálculo es la precipitación ya sea de un evento histórico o uno hipotético con una probabilidad asociada.

Cuantificación de las pérdidas de agua: contempla diferentes alternativas:

- Establecimiento de un umbral de precipitación, por debajo del cual no se produce escorrentía superficial, y una tasa constante de pérdidas por encima del citado umbral.

- Utilización del concepto de número de curva (CN), desarrollado por el U.S. Soil Conservation Service (SCS), teniendo en cuenta los usos del suelo, el tipo de suelo y el contenido de humedad previo al episodio lluvioso que se considera.
- Método de Green y Ampt, que tiene en cuenta, entre otros, aspectos tales como la permeabilidad del suelo y el déficit inicial de humedad del mismo.
- Modelo SMA (Soil Moisture Accounting), que permite simular el movimiento del agua a través del suelo y del subsuelo, su intercepción y almacenamiento en diferentes zonas, y el escurrimiento superficial del exceso.

En cuanto a la evapotranspiración no se requiere de información cuando se simula eventos ya que este proceso se considera despreciable mientras ocurre una precipitación.

Determinación del hidrograma Unitario: El programa HEC-HMS contempla dos posibles alternativas, basadas en modelos de tipo empírico o conceptual, respectivamente.

Entre los modelos de tipo empírico, basados todos ellos, en mayor o menor medida, en el concepto de hidrograma unitario, propuesto originalmente por Sherman en 1932, el programa permite seleccionar uno de los siguientes:

- Hidrograma unitario definido por el usuario.
- Hidrograma sintético de Snyder.
- Hidrograma del Soil Conservation Service.
- Hidrograma de Clark (original y modificado).

Tránsito del hidrograma por el cauce: La agrupación de caudales de agua de diversa procedencia (superficial, etc.) en un punto de un cauce y su variación a lo largo del tiempo constituye un hidrograma. El discurrir de estos caudales hacia aguas abajo, a lo largo de un determinado tramo de cauce, da lugar a un nuevo hidrograma en el extremo de aguas abajo del mismo. El programa permite escoger entre los siguientes modelos a la hora de tratar de representar la transformación que experimenta la onda de crecida entre el inicio y final de un tramo de cauce:

- Lag.
  - Puls modificado.
  - Muskingum.
  - Muskingum-Cunge.
  - Onda cinemática
-

### **Control del Modelo:**

Además de establecer un modelo de cuenca y un modelo meteorológico, es preciso definir, previamente a la ejecución del programa un conjunto de variables de control:

- Fecha y hora del comienzo del período de tiempo que se pretende analizar.
- Fecha y hora del final del período de tiempo que se pretende analizar.
- Incremento de tiempo de cálculo.

Es importante resaltar que esta estructuración del programa en tres bloques independientes es muy versátil, ya que permite representar diferentes situaciones de manera muy sencilla, sin más que realizar modificaciones en alguno de los bloques. Así, por ejemplo, se pueden tener diferentes modelos de cuenca, con distintos valores de parámetros, o modelos meteorológicos, correspondientes a distintas lluvias, o bien conjuntos de variables de control, con distintos períodos de tiempo o incrementos de tiempo de cálculo, todos susceptibles de ser combinados entre sí.

Con respecto al tiempo de cálculo, su valor está definido por el usuario y determina la resolución del modelo, es decir, el intervalo de tiempo en el que se proporcionan los resultados correspondientes a una determinada ejecución.

Aunque el rango de valores posibles se sitúa, en principio, entre 1 minuto y 24 horas, pueden existir restricciones directas o indirectas, en función del modelo concreto que se considere en la representación de algunos de los procesos.

La utilización del modelo de Muskingum para representar el tránsito de hidrogramas a lo largo de tramos de cauce introduce una restricción de tipo indirecto, en relación con el incremento de tiempo de cálculo. En este caso, con objeto de garantizar la precisión y la estabilidad de la solución, se recomienda dividir la longitud total del tramo de cauce considerado en una serie de subtramos, de manera que la longitud de cada uno coincida aproximadamente con la distancia recorrida por el flujo durante el incremento de tiempo de cálculo.

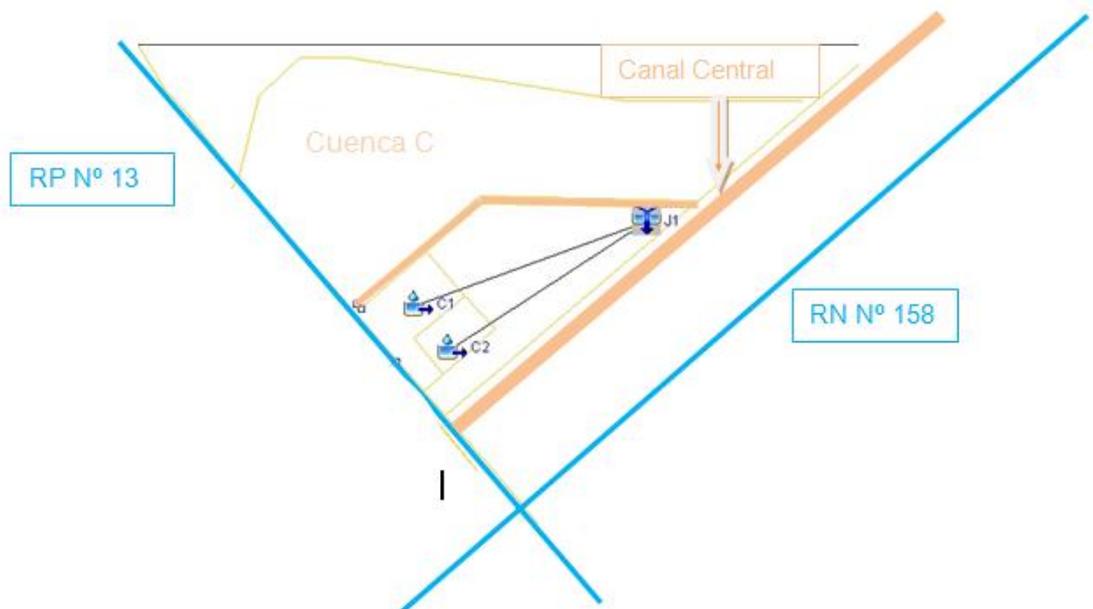
#### ***D.1.1. Aplicación del Modelo Hidrológico***

Se realizará un modelo hidrológico para cada uno de los siguientes escenarios posibles:

---

1. Situación Actual
2. Situación Futura

En el primero se contemplan los parámetros actuales del sistema para determinar el volumen de escurrimiento generado y el caudal pico máximo. El esquema de modelación de la Situación Actual se muestra en la Figura 1.



**Figura 1. Esquema de Modelación Situación Actual, Modelo HEC-HMS.**

En el segundo se aplican los parámetros considerando que la superficie está ocupada según los condicionantes antes mencionados en la determinación del CN.

## **D.2. Descripción del Programa EPANET**

### **D.2.1. Características del Programa**

EPANET es un programa que realiza simulaciones en periodo extendido del comportamiento hidráulico y de la calidad del agua en redes de distribución a presión. Este programa determina el caudal que circula por cada una de las conducciones, la presión en cada uno de los nudos, el nivel de agua en cada tanque y la concentración de diferentes componentes químicos en la red durante un periodo de simulación analizado en diferentes intervalos de tiempo.

EPANET puede emplearse para una multitud de aplicaciones en el análisis de sistemas de distribución. Esto incluye:

- Utilización alternativa de las fuentes de suministro en sistemas que disponen de múltiples fuentes de abastecimiento,
- Variación de los esquemas de bombeo, llenado y vaciado de los depósitos,
- Uso de técnicas de tratamiento satélite, tales como la recloración en determinados depósitos de almacenamiento,
- Determinación de conducciones que deben ser limpiadas o sustituidas.

### **D.2.2. Características del Modelo Hidráulico**

Epanet posee las siguientes características en relación al modelo hidráulico:

- No existe límite en el tamaño de la red
  - Calcula las pérdidas por fricción en las conducciones mediante las expresiones de Hazen-Williams, Darcy-Weisbach, Chezy-Manning.
  - Incluye pérdidas menores en elementos tales como codos, acoplamientos, etc.
  - Modela bombas funcionando tanto a velocidad de giro constante como a velocidad de giro variables.
  - Calcula la energía consumida y el costo de bombeo de las estaciones.
  - Modela diferentes tipos de válvulas, incluyendo válvulas de regulación, de retención, de aislamiento, válvulas reductoras de presión, válvulas de control de caudal, etc.
  - Permite el almacenamiento de agua en tanques que presenten cualquier geometría.
-

- Considera la posibilidad de establecer diferentes categorías de consumo en los nudos, cada una de ellas con su propia curva de modulación.
- Puede determinar el funcionamiento del sistema simplemente con el nivel de agua en el tanque y controles de tiempo o utilizar un complicado sistema de regulación temporal.

### **D.2.3. Características del Modelo de Calidad del Agua.**

En la modelización de la calidad del agua EPANET tiene las siguientes capacidades:

- Realiza el seguimiento en el tiempo de sustancias no reactivas que se encuentran en la red
- Modela el comportamiento de un material reactivo tanto si aumenta su concentración como si se disipa a lo largo del tiempo.
- Modela la edad del agua a lo largo de la red.
- Realiza el seguimiento de una porción de fluido desde un nudo dado a través de todos los demás a lo largo del tiempo.
- Modela reacciones en el seno del fluido y en la capa de la pared de la tubería.
- Utiliza ecuaciones cinéticas polinómicas para modelar las reacciones en el seno del fluido.
- Utiliza coeficientes y ecuaciones lineales para modelar las reacciones en la pared de la tubería.
- Permite el crecimiento o descenso de la reacción hasta una concentración límite.
- Emplea coeficientes generales en las reacciones que pueden ser modificados tubería a tubería.
- Permite que los coeficientes de las reacciones de pared sean correlativos con la rugosidad de la tubería.
- Permite a lo largo del tiempo entradas de concentración o masa en cualquier punto de la instalación.
- Modela los depósitos de tres formas: de mezcla completa, de flujo en pistón, o con dos compartimentos de mezcla.

Con todas las características descritas se puede estudiar cualquier fenómeno de la calidad del agua, tales como:

- Mezclado de aguas de diferentes fuentes.
- Edad del agua a lo largo del sistema.
- Disminuciones del cloro residual.
- Crecimiento de los subproductos de desinfección.
- Seguimiento de posibles situaciones de propagación de la contaminación.

El análisis de la calidad del agua escapa del alcance del presente trabajo pero es importante destacarlo como una de las funciones que puede desarrollar el programa.

#### **D.2.4. Componentes Físicos**

El programa EPANET modela un sistema de distribución de agua como una serie de líneas conectadas a los nudos. Las líneas representan tuberías, bombas y válvulas de control. Los nudos representan conexiones, tanques y depósitos. A continuación pasamos a describir las características de cada componente físico del modelo:

##### *a. Conexiones*

Las conexiones son puntos en la red donde se unen las líneas o por donde entra o sale el agua de la red. La información que se requiere para las conexiones es:

- Cota
- Demanda de agua
- Calidad del agua inicial

Los resultados que obtengo de las conexiones a lo largo de toda la simulación son:

- Altura piezométrica
  - Presión
  - Calidad del agua
-

Las conexiones también pueden:

- Tener una demanda que varíe en el tiempo
- Tener diferentes categorías de demandas asignadas
- Tener una demanda negativa indicando que el agua entra en la red
- Ser fuente de calidad del agua por donde los constituyentes entran en la red
- Contener emisores o aspersores haciendo que el caudal descargado dependa de la presión

*b. Depósitos*

Los depósitos son utilizados para modelar lagos, ríos y conexiones a otros sistemas. Sus principales características son su altura piezométrica y su calidad inicial para el análisis de la calidad del agua. El depósito es un punto frontera de la red, su altura y calidad del agua no pueden verse afectadas por lo que ocurra en el resto del sistema. Por lo tanto no se ordenan características de salida. A pesar de todo, podemos hacer variar su altura con el tiempo si le asignamos un patrón de tiempo.

*c. Tanque*

Los tanques son nudos con capacidad de almacenamiento, donde el volumen de agua almacenada puede variar con el tiempo a lo largo de la simulación.

Las principales características de los tanques son:

- Cota
- Diámetro
- Valores iniciales máximos y mínimos de agua
- Calidad del agua inicial

Los principales valores que se piden a lo largo del tiempo son:

- Nivel de la superficie libre de agua
- Calidad del agua

Los tanques operan limitados por sus niveles máximo y mínimo. EPANET detiene el aporte de caudal si el nivel del tanque está al mínimo y detiene el consumo de caudal si el nivel del tanque se encuentra en su máximo

*d. Tuberías*

---

Las tuberías son líneas que llevan el agua de un punto de la red a otro. EPANET asume que todas las tuberías se encuentran completamente llenas en todo momento. Los parámetros hidráulicos más importantes para las tuberías son:

- Nudos de entrada y salida
- Diámetro
- Longitud
- Coeficiente de rugosidad
- Estado (abierta, cerrada o con una válvula)

Las características de la calidad del agua para las tuberías consisten en:

- Coeficiente de reacción del flujo
- Coeficiente de reacción de pared

Los principales valores que podemos obtener son:

- Caudal
- Velocidad
- Perdidas
- Factor de fricción Darcy-Weisbach
- Variación de la velocidad de reacción a lo largo de su longitud
- Variación de la calidad del agua a lo largo de su longitud

Las pérdidas de carga en la conducción debido a la rugosidad de las paredes de la tubería pueden medirse utilizando las ecuaciones siguientes:

1. Hazen-Williams
2. Darcy-Weisbach
3. Chezy-Manning

e. *Pérdidas Menores*

Las pérdidas menores (o pérdidas locales) se deben a la existencia de turbulencias en codos y conexiones. La importancia de incluir estas pérdidas depende de la distribución en planta de la red y el grado de exactitud requerido. Pueden contabilizarse asignando a la tubería un coeficiente de pérdidas menores y

---

multiplicando este coeficiente por la energía cinética de entrada en la tubería obtenemos las pérdidas menores en la tubería.

*f. Bombas*

Las bombas son elementos que aportan energía al fluido incrementando su altura piezométrica. Las características más importantes para una bomba son su entrada y salida y su curva característica (relación entre altura y caudal de la bomba).

Los parámetros de salida más importantes son el caudal y la carga.

Al igual que las tuberías, las bombas pueden activarse y desactivarse en determinados momentos establecidos por el usuario o bien cuando existan ciertas condiciones en la red. El caudal que atraviesa la bomba es unidireccional pero si las condiciones del sistema requieren que la bomba trabaje fuera de sus posibilidades, EPANET intentara desconectarla.

*g. Válvulas*

Las válvulas son líneas que limitan la presión y el caudal en puntos específicos de la red. Sus principales parámetros característicos son:

- Nudos de entrada y salida
- Diámetro
- Consigna
- Estado

Los valores de salida que arroja el programa suelen ser el caudal y las pérdidas.

Los diferentes tipos de válvulas que incluye EPANET son:

- Válvulas Reductoras de Presión (VRP)
  - Válvulas Sostenedoras de Presión (VSP)
  - Válvulas de Rotura de Carga (VRC)
  - Válvulas Controladoras de Caudal (VCQ)
  - Válvulas Reguladoras por Estrangulación (VRG)
  - Válvulas de Propósito General (VPG)
-

Cada tipo de válvula tiene un parámetro consigna que define su punto de operación (presión para las VRPs, VSPs y vecS; caudal para las VCQs; coeficiente de pérdida para las VRGs, y curva característica de pérdidas para las VPGs)

Las válvulas pueden caracterizar su estado de control especificando si están completamente abiertas o completamente cerradas. El estado de una válvula y su consigna o tarado puede cambiarse durante la simulación utilizando los controles de estado.

#### **D.2.5. Componentes No Físicos**

Además de los componentes físicos, EPANET utiliza tres tipos de objetos informativos – curvas, patrones y controles – que describen el comportamiento y los aspectos operacionales de un sistema de distribución.

##### *a. Curvas*

Las curvas son objetos que representan la relación existente entre pares de datos por medio de dos magnitudes o cantidades. Dos o más objetos pueden formar parte de la misma curva. Un modelo de EPANET puede utilizar los siguientes tipos de curvas:

- Curva de Características de una Bomba
- Curva de Rendimiento
- Curva de Volumen
- Curva de Perdidas

Pasaremos a desarrollar brevemente cada una de las curvas mencionadas: La curva característica representa la relación entre la altura y el caudal que puede desarrollar a su velocidad nominal. La altura es la energía que la bomba aporta al agua y se representa en el eje vertical (Y) en metros. El caudal se representa en el eje horizontal (X) en unidades de caudal. Esta curva debe disminuir la altura a medida que aumenta el caudal.

La curva de rendimiento determina el rendimiento de la bomba como función del caudal de la bomba. Esta curva se usa únicamente para cálculos energéticos.

La curva de volumen determina como el volumen de agua en el tanque varía en función del nivel de agua. Se usa cuando es necesario representar exactamente tanques cuya sección transversal varía con la altura. Los valores máximos y mínimos de niveles de agua representados por la curva deben ser los niveles máximos y mínimos entre los que trabaja el tanque.

La curva de pérdidas se usa para representar las pérdidas en una válvula de propósito general en función del caudal. Esto nos da la posibilidad de modelar dispositivos y situaciones con una relación de pérdidas-caudal específica, tales como válvulas de control de flujo o control de flujo inverso, turbinas y descenso dinámico del nivel en pozos.

*b. Patrones de Tiempo*

Un patrón de tiempo es una colección de factores que pueden aplicarse a una cantidad para representar que varía a lo largo del tiempo.

Los patrones de tiempo pueden asociarse a demandas en los nudos, alturas de depósitos, programas de bombas y fuentes de calidad de agua. El intervalo de tiempo utilizado en todos los patrones es un valor fijo, determinado con las opciones de tiempo del proyecto. Dentro de este intervalo la cantidad asociada permanece constante, igual al producto de su valor nominal y el factor en ese periodo de tiempo. Además todos los patrones deben utilizar el mismo intervalo de tiempo, cada uno puede tener un diferente número de periodos.

*c. Controles*

Los controles son consignas que determinan como la red trabaja a lo largo del tiempo. En ellos se especifica el comportamiento de las líneas seleccionadas como una función del tiempo, niveles de agua del tanque y presiones en puntos determinados del sistema. Existen dos categorías de controles que pueden utilizarse:

- Controles Simples
- Controles Programados

Es de destacar que los controles simples cambian el estado o el tarado de un elemento basándose en:

---

- El nivel de agua en el tanque
- La presión en una conexión
- El tiempo de simulación
- Hora diaria

Los controles programados permiten determinar el estado de un elemento y su caracterización por medio de una combinación de condiciones que podrían existir en el sistema después de que el estado inicial hidráulico este programado.

#### ***D.2.6. Modelo de Simulación Hidráulica***

El modelo de simulación hidráulica de EPANET calcula alturas en conexiones y caudales en líneas para un conjunto fijo de niveles de depósitos, niveles de tanques y demandas de agua a lo largo de una sucesión de instantes temporales. La solución de altura y caudal en un determinado punto a lo largo del tiempo supone el cálculo simultaneo de la conservación del caudal en cada conexión y la relación de pérdidas que supone su paso a través de los elementos de todo el sistema. Este proceso requiere métodos iterativos de resolución de ecuaciones no lineales. EPANET utiliza el "Algoritmo del Gradiente" con este propósito.

Un valor de intervalo bastante usado es el de 1 hora. Pueden darse intervalos de cálculo inferiores al normal cuando ocurra alguno de los sucesos:

- Cuando ocurre el siguiente periodo de obtención de resultados
- Cuando ocurre el siguiente periodo del patrón de tiempos
- Cuando se produce el llenado o vaciado de un tanque
- Cuando se activa un control simple o un control programado

#### ***D.2.7. Modelo de la Simulación de la Calidad del Agua***

El simulador de la calidad del agua de EPANET utiliza el Lagrangiano para aproximar el movimiento del agua a volúmenes discretos de agua que se mueven a lo largo de las tuberías y se mezclan en las conexiones en intervalos de longitud fija. Estos intervalos de tiempo para la calidad del agua son mucho más cortos que los intervalos de tiempo del modelo hidráulico para acomodarlos dentro de los intervalos de tiempo de desplazamiento dentro de las tuberías.

---

Para cada periodo de calidad del agua, el contenido de cada segmento está sujeto a una reacción, un incremento de la cantidad de la masa total y del volumen de caudal que entra en cada nudo se mantiene, y las posiciones de los segmentos son actualizadas.

## **D.2.8. Hipótesis y Ecuaciones utilizadas en EPANET**

### **D.2.8.1 Hipótesis Simplificativas**

Cuando las variaciones de caudal y presión son pequeñas, podemos despreciarlas sin conducir a demasiados errores, considerando el sistema como permanente. De este modo, las hipótesis simplificativas serán las siguientes:

#### **A. Hipótesis referentes al flujo:**

- flujo unidimensional en el sentido del eje de la conducción.
- invariabilidad temporal de las variables relacionadas con el flujo.
- distribución uniforme de velocidad y presión en secciones transversales.

#### **B. Hipótesis referentes al fluido:**

- incompresible
- monofásico
- homogéneo
- newtoniano

#### **C. Hipótesis referentes a las conducciones:**

- homogeneidad y constancia en:
  - material
  - sección transversal
  - espesor

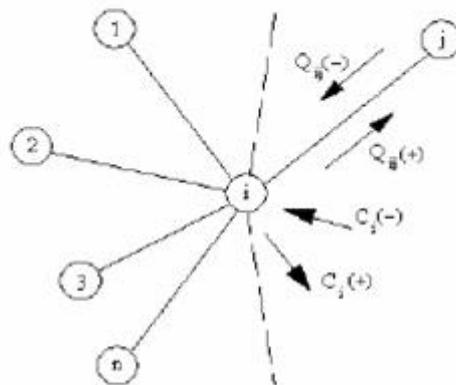
### D.2.8.2. Ecuaciones Fundamentales

Se aplican los principios de conservación de masa y energía. De modo que las ecuaciones planteadas serán:

a. La ecuación de continuidad en nudos: enunciada de la siguiente manera:

*“la suma algebraica de los caudales másicos (o volumétricos, ya que el fluido es incompresible) que confluyen en el nudo debe ser 0”.*

Esto queda representado en la Figura 6.3, en la que se ha adoptado como criterio de signos el positivo si el caudal se dirige del nudo  $i$  al  $j$ , si se trata de caudales que circulan por líneas de la red, siendo también de signo positivo aquellos caudales que salen de la red a través del nudo  $i$ , es decir, los consumos.



$$\sum_{j=1}^{n_i} Q_{ij} = C_i$$

Figura 2. Ecuación de continuidad de nudo genérico  $i$ .

donde:

$Q_{ij}$  = caudal que circula en la línea que une el nudo  $i$  al  $j$ ;

$n_i$  = número total de líneas que convergen en el nudo  $i$ ;

$C_i$  = caudal de alimentación o consumo en el nudo  $i$ .

En lo que respecta a la conservación de energía, se aplica:

b. La ecuación de Bernoulli: expresada como sigue:

*“la energía por unidad de peso del fluido en la sección aguas arriba (E1), más la energía por unidad de peso cedida al mismo a través de elementos activos, tales como bombas (hb) en el trayecto de 1 a 2 es igual a la energía por unidad de peso en la sección aguas abajo (E2) más las pérdidas de energía por unidad de peso entre las secciones 1 y 2 (h1-2)”.*

$$E_1 + h_b = E_2 + h_{1-2}$$

La energía por unidad de peso en una determinada sección consta de tres componentes:

$$E = \frac{p}{\gamma} + Z + \frac{v^2}{2g}$$

donde:

$p/\gamma$  = altura de presión.

$Z$  = cota geométrica.

$v^2/2g$  = altura cinética.

### **D.2.8.3. Ecuaciones de Comportamiento de los Elementos de la Red**

Son aquellas que establecen una relación entre la diferencia de alturas piezométricas entre los extremos del elemento y el caudal circulante.

a. *Tuberías*

---

La pérdida de carga o altura piezométrica en una tubería debida a la fricción por el paso del agua, puede calcularse con EPANET utilizando las siguientes formulaciones:

- Darcy-Weisbach (para todo tipo de líquidos y regímenes)
- Hazen-Williams (sólo para agua)
- Chezy-Manning (para canales y tuberías de gran diámetro)

La ecuación básica de estas tres fórmulas es:

$$h_L = A Q^B$$

donde:

$h_L$  = pérdida de carga

$Q$  = caudal

$A$  = coeficiente de resistencia

$B$  = exponente de caudal

Los valores de los parámetros  $A$  y  $B$  se encuentran representados en la Figura

3.

<i>Fórmula</i>	<i>Coefficiente de Resistencia (A)</i>	<i>Exponente de Caudal (B)</i>
Hazen-Williams	$10.674 C^{-1.852} d^{-4.871} L$	1.852
Darcy-Weisbach	$0.0827 f(\epsilon, d, Q) d^{-5} L$	2
Chezy-Manning	$10.294 n^2 d^{-5.33} L$	2
<p>donde:</p> <p>C: coeficiente de rugosidad de Hazen-Williams  <math>\epsilon</math>: coeficiente de rugosidad de Darcy-Weisbach (m)  <i>f</i>: factor de fricción (depende de <math>\epsilon</math>, d y Q)  n: coeficiente de rugosidad de Manning  d: diámetro de la tubería (m)  L: longitud de la tubería (m)  Q: caudal (m<sup>3</sup>/seg)</p>		

Los coeficientes de rugosidad que aparecen en las tres formulaciones se encuentran clasificados según el tipo de tuberías

<i>Material</i>	<i>C Hazen-Williams (universal)</i>	<i><math>\epsilon</math> Darcy-Weisbach (mm)</i>	<i>n Manning (universal)</i>
fundición	130 – 140	0.26	0.012 – 0.015
hormigón	120 – 140	0.3 – 3.0	0.012 – 0.017
hierro galvanizado	120	0.15	0.015 – 0.017
plástico	140 – 150	0.0015	0.011 – 0.015
acero	140 – 150	0.045	0.015 – 0.017
cerámica	110	0.3	0.013 – 0.015

**Figura 3. Fórmulas de pérdida de carga para tubería a presión.**

El factor de fricción *f* de la fórmula de Darcy-Weisbach se calcula, según el tipo de régimen, con uno de los siguientes métodos:

- Para flujo laminar ( $Re < 2.000$ ) emplea la fórmula de Hazen-Poiseuille:
- Para flujo turbulento ( $Re > 4.000$ ) emplea la aproximación explícita de Swamee y Jain a la fórmula de Colebrook-White:

$$f = \frac{0.25}{\log_{10} \left( \frac{\epsilon}{3.7d} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right)}$$

- Para el flujo de transición ( $2000 < Re < 4000$ ) aplica una interpolación cúbica al diagrama de Moody.

**b. Bombas**

En caso de bombas, la altura suministrada al fluido se considerará como pérdidas cambiadas de signo, según la siguiente expresión:

$$h_{ij} = -\omega^2 \left( h_0 - r \left( \frac{Q_{ij}}{\omega} \right)^n \right)$$

donde:

$h_0$  = altura a caudal nulo

$\omega$  = velocidad relativa de giro

$r$  y  $n$  = son parámetros de la curva de la bomba

$Q_{ij}$  = caudal que circula en la línea que une el nudo  $i$  al  $j$ .

El estado de las bombas se comprueba en cada instante de cálculo tras cada iteración sólo en las 10 primeras iteraciones. En las siguientes iteraciones deja de comprobarse hasta que se produce la convergencia.

Como consecuencia de la comprobación del estado, las bombas se paran si la altura que debe suministrar es superior a su altura a caudal cero. En este caso se fuerza el caudal de paso a un valor de  $10^{-6}$  pies<sup>3</sup>/seg ( $2.8316 \cdot 10^{-8}$  m<sup>3</sup>/seg), lo que se puede considerar como un caudal nulo que representa el cierre de la bomba. Ésta se pondrá en marcha de nuevo cuando dejen de darse altas demandas, siendo entonces el caudal de paso el que se obtiene al entrar en la curva característica de la bomba con la altura requerida en el nuevo intervalo.

#### **D.2.9. Proceso Analítico de Resolución**

EPANET aplica el método de iteraciones sucesivas conocido como Método del Gradiente, propuesto en 1987 por Todini y Pilati. Aúna técnicas basadas en métodos de optimización, así como técnicas basadas en el método de Newton-Raphson nodal. Comienza aplicando las técnicas de optimización, las cuales garantizan la existencia y unicidad de la solución minimizando la función objetivo, condiciones indispensables para que se produzca la convergencia posteriormente al utilizar las técnicas del método de Newton-Raphson. El problema es finalmente conducido a una solución algebraica mediante el proceso iterativo conocido como Algoritmo de Factorización Incompleta de Choleski / Gradiente Conjugado Modificado, cuyas siglas en inglés

---

corresponden a ICF/MCG (Incomplete Choleski Factorization / Modified Conjugate Gradiente).

Propone dos sistemas de ecuaciones, uno basado en las pérdidas de carga de los elementos de la red, y otro aplicando la ecuación de continuidad en nudos, de modo que en ambos casos, las incógnitas son los caudales circulantes.

El método de resolución del gradiente comienza estimando inicialmente el caudal que atraviesa cada tubería, sin necesidad de cumplir la ecuación de continuidad. Este caudal será el correspondiente a una velocidad de 1 pie/s (0,3048 m/s).

En cada iteración, el método calcula las alturas piezométricas en los nudos resolviendo el siguiente sistema de ecuaciones:

$$TH = F$$

donde:

$T$  = matriz Jacobiana (n, n)

$H$  = vector de incógnitas nodales (n, 1)

$F$  = vector de términos independientes (n, 1)

Los elementos de la diagonal principal de la matriz jacobiana vienen dados por:

$$T_{ii} = \sum p_{ij}$$

Los elementos no nulos que quedan fuera de la diagonal principal por:

$$T_{ij} = -p_{ij}$$

donde  $p_{ij}$  es la inversa de la derivada respecto al caudal, de la pérdida de carga en la línea que va del nudo  $i$  al  $j$ :

$$p_{ij} = \frac{1}{BA|Q_{ij}|^{B-1} + 2m|Q_{ij}|}$$

donde:

$A$  = coeficiente de resistencia

$B$  = exponente de caudal

$m$  = coeficiente de pérdidas menores

y para bombas:

$$p_{ij} = \frac{1}{n\omega^2r \left(\frac{Q_{ij}}{\omega}\right)^{(n-1)}}$$

donde:

$n$  y  $r$  = parámetros de la curva de la bomba

Los términos independientes son la suma del caudal residual no equilibrado en el nudo más el factor de corrección  $y_{ij}$  según la siguiente expresión:

$$F_i = \left(\sum Q_{ij} - D_i\right) + \sum_j y_{ij} + \sum_f p_{if}H_f$$

Donde  $f$  es un nudo de altura conocida.

El factor de corrección del caudal se calcula en tuberías como:

$$y_{ij} = p_{ij} \left(A|Q_{ij}|^B + m|Q_{ij}|^2\right) \text{sgn}(Q_{ij})$$

La función  $\text{sgn}(Q_{ij})$  vale 1 cuando el caudal circula del nudo  $i$  al  $j$  y negativo en caso contrario.

---

En bombas el factor de corrección es de la forma:

$$y_{ij} = -p_{ij}\omega^2 \left( h_o - r \left( \frac{Q_{ij}}{\omega} \right)^n \right)$$

Una vez que se ha resuelto el sistema matricial obteniéndose las alturas, los nuevos caudales se calculan como:

$$Q_{ij} = Q_{ij} - (y_{ij} - p_{ij}(H_i - H_j))$$

Si la suma, extendida a todas las líneas, del valor absoluto de la variación del caudal respecto al caudal total de cada línea es mayor que una cierta tolerancia se calcula de nuevo el sistema matricial.

Sin embargo, la mayoría de las veces la simulación tendrá lugar en periodo extendido, es decir, a lo largo de un cierto periodo de tiempo. En este caso EPANET tiene en cuenta una serie de consideraciones:

- 1) Una vez que se ha solucionado el modelo para el instante actual, el incremento de tiempo adoptado para avanzar al instante siguiente será el mínimo entre los siguientes:
  - el instante en que comienza un nuevo periodo de demanda
  - el menor intervalo de tiempo que hace que se llene o vacíe algún depósito
  - el menor intervalo de tiempo en el que tiene lugar el cambio de estado de una línea
  - el próximo instante en el que debe actuar algunas de las leyes de control reguladas por tiempo o produzcan un cambio en la red.

2) Para calcular el instante en el que se alcanza un determinado nivel en un depósito, se supone que éste evoluciona linealmente según los caudales entrantes o salientes.

3) El instante de reactivación de las leyes de control basadas en reglas, se determina del siguiente modo:

- las reglas se analizan a intervalos de tiempo fijos, cuyo valor por defecto es 1/10 del intervalo de cálculo hidráulico.

- según este intervalo de tiempo, se actualizan la hora de la simulación y los niveles de agua en los depósitos.

- las actuaciones derivadas del cumplimiento de reglas se añaden a una lista, prevaleciendo la actuación de prioridad más alta, o bien la que ya estaba en la lista.

- si como consecuencia de dichas actuaciones el estado de una o más líneas cambia, se obtiene una nueva solución.

- una vez determinado el intervalo de avance, se actualiza el tiempo de la simulación, se calculan las nuevas demandas, se ajustan los niveles en los depósitos y se verifican las reglas de control.

- finalmente se desencadena un nuevo proceso iterativo para resolver el sistema de ecuaciones, partiendo de los caudales actuales.

Una vez que se conocen las posibilidades y limitaciones de EPANET en la modelización hidráulica de redes de abastecimiento se procede al cálculo del acueducto.

### **D.3. Desarrollo del Modelo EPANET**

A través de los planos de la Red de Agua Potable del Loteo, proporcionados por el Comitente, se dibujó la red en Autocad sobre el Master Plan a fin de que quede georeferenciado.

Una vez finalizado el dibujo, con la ayuda del programa EPACAD, se convierte el archivo para utilizarlo con el programa EPANET.

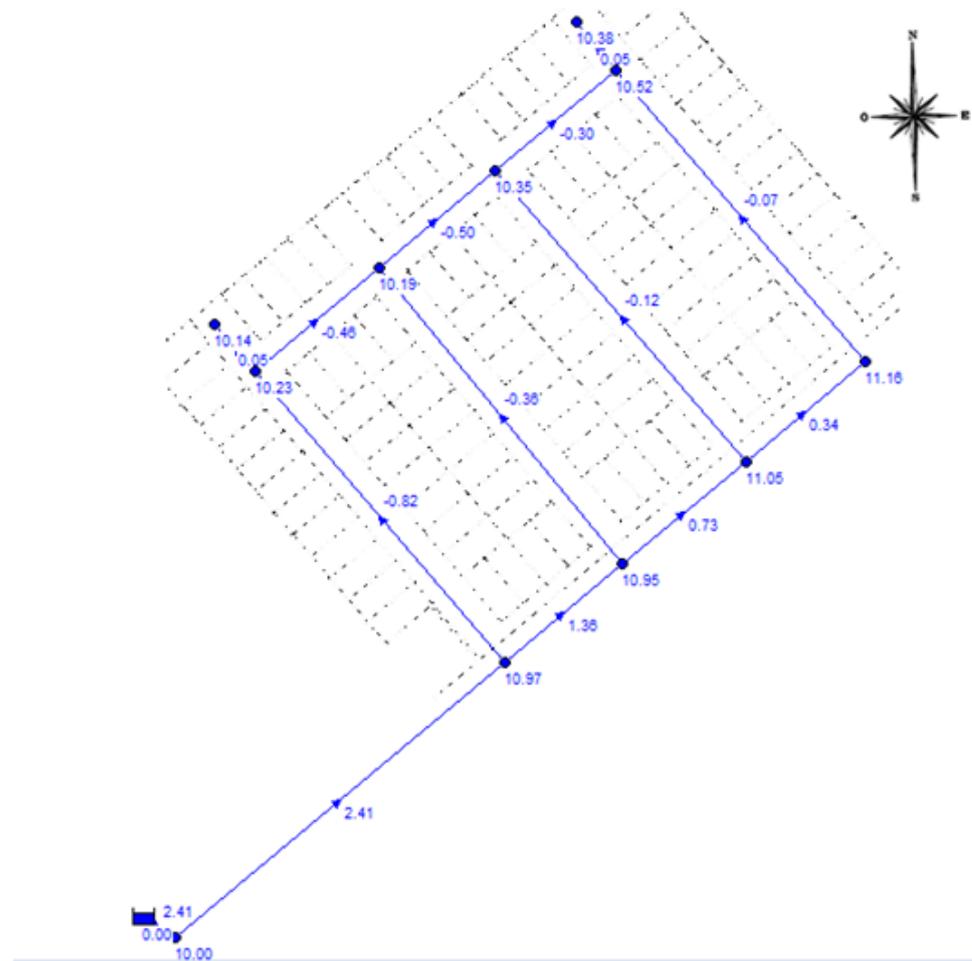


Figura 4. Modelación de la Red de Agua Potable. Software EPANET.

### D.3.1. Características de Entrada

El programa EPANET exige varios datos de entrada para poder luego simular la Red.

#### a. Tuberías

Se especifican los Diámetros y la Rugosidad (en función del tipo de tubería).

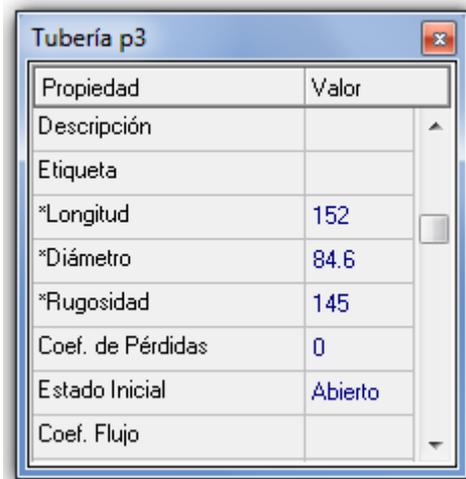


Figura 5. Asignación propiedades de Tubería. Software EPANET.

Las propiedades de los tubos, como los valores de los diámetros y las rugosidades fueron sacadas a partir de tablas de tuberías comerciales.

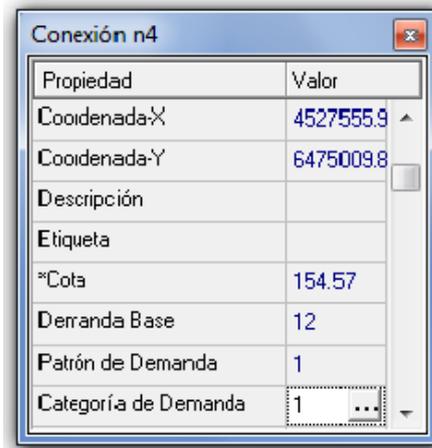
DIMENSIONES Y CARACTERÍSTICAS DE LA TUBERÍA PARA CONDUCCIÓN DE AGUA, GAS Y AIRE NMX-B-177																
DIÁMETRO NOMINAL		DIÁMETRO EXTERIOR		ESPESOR		CÉD	PESO EXT. LISO		PESO POR TUBO (kg.)		TUBOS/TON.	PRESIÓN DE PRUEBA ASTM-A-53-A		SISTEMA PARA EMPACAR peso por paquete		
pulg.	mm.	pulg.	mm.	pulg.	mm.		lb./pie	kg./m.	extr. liso	c/roscas y cople		lb./pulg. <sup>2</sup>	kg./cm. <sup>2</sup>	Tubos/Paq.	kg.	lb.
1/2	13	0.840	21.3	0.109	2.77	40	0.85	1.27	8.13	8.20	123	700	50	127	1033	2277
				0.147	3.73	80	1.09	1.62	10.37	10.44	97	850	60	127	1317	2903
3/4	19	1.050	26.7	0.113	2.87	40	1.13	1.69	10.82	10.92	93	700	50	127	1374	3029
				0.154	3.91	80	1.47	2.20	14.08	14.12	71	850	60	127	1781	3926
1	25	1.315	33.4	0.133	3.38	40	1.68	2.50	16.00	16.16	63	700	50	91	1456	3210
				0.179	4.55	80	2.17	3.24	20.74	20.90	48	850	60	91	1887	4160
1 1/4	32	1.660	42.2	0.140	3.56	40	2.27	3.39	21.70	21.90	46	1200	85	91	1975	4354
				0.191	4.85	80	3.00	4.47	28.61	28.81	35	1800	127	61	1745	3847
1 1/2	38	1.900	48.3	0.145	3.68	40	2.72	4.05	25.92	26.20	39	1200	85	91	2359	5201
				0.200	5.08	80	3.63	5.41	34.62	34.90	29	1800	127	61	2112	4656
2	50	2.375	60.3	0.154	3.91	40	3.65	5.44	34.82	35.28	29	2300	162	61	2124	4683
				0.218	5.54	80	5.02	7.48	47.87	48.34	21	2500	176	32	1532	3377
2 1/2	64	2.875	73.0	0.203	5.15	40	5.79	8.63	55.23	56.28	18	2500	176	37	2041	4500
				0.160	4.06	NX	4.64	6.91	44.23	45.35	22	1950	137	37	1637	3609
3	76	3.500	88.9	0.216	5.49	40	7.58	11.29	72.26	73.78	14	2220	156	19	1373	3027
				0.170	4.32	NX	6.05	9.01	57.66	59.19	17	1930	136	19	1096	2416
4	102	4.500	114.3	0.237	6.02	40	10.78	16.07	102.85	104.82	10	1900	134	19	1963	4306
				0.188	4.78	NX	8.66	12.91	82.62	84.48	12	1500	105	19	1568	3457

Largo: 6.40 m.

Figura 6. Dimensiones y Características de Tuberías.

b. Nodos

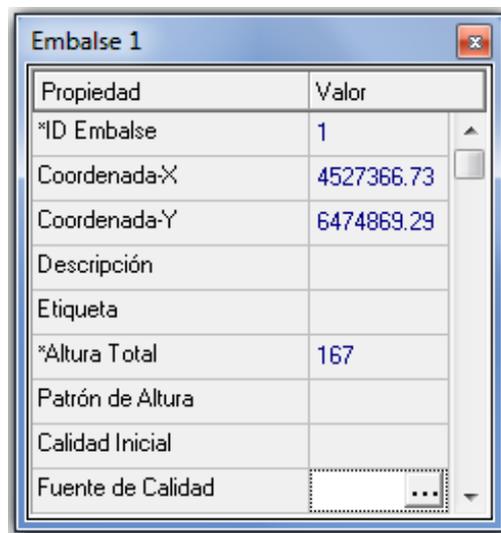
En los nodos, las propiedades que asignamos fueron: coordenadas x,y,z (que fueron asignadas desde el Autocad y Civilcad) y la demanda base que se asigna en función del Factor de Demanda y la cantidad de lotes.



**Figura 7. Asignación propiedades de Nodos. Software EPANET.**

*c. Almacenamiento*

El supuesto es que la oferta es ilimitada, es por eso que la característica que nos importó al asignar un almacenamiento fue la cota del mismo. Para determinarla, se sumó a la cota del nivel del terreno donde se encuentra la obra de toma, la presión otorgada por el EMAV (Empresa Municipal de Aguas Varillenses).



**Figura 8. Asignación propiedades de Embalse. Software EPANET.**

**D.3.2. Corrida del Modelo**

Una vez asignados todos los valores al programa, se lo corrió para luego analizar los datos obtenidos.

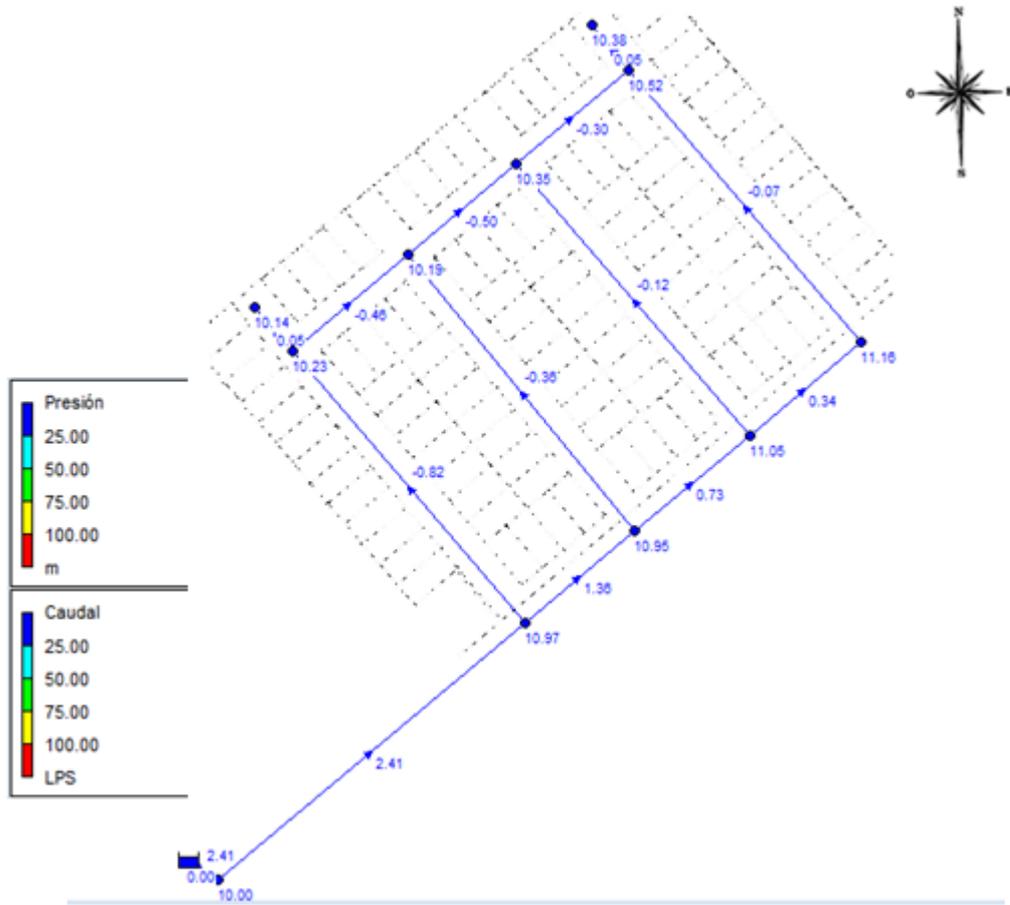


Figura 9. Ejecución del Modelo. Software EPANET.