

---

## ANEJO Nº 8: DISEÑO Y CÁLCULO HIDRÁULICO DE LA RED DE RIEGO

---

## ÍNDICE GENERAL

1	INTRODUCCIÓN.....	1
2	OBJETIVO .....	5
3	MODALIDAD DE RIEGO.....	6
4	TOPOLOGÍA DE LA RED PROYECTADA.....	8
5	TRAZADO DE LA RED.....	11
6	CONDICIONANTES PARTICULARES DE DISEÑO .....	14
7	CÁLCULO DE DOTACIONES EN LOS HIDRANTES .....	15
7.1	CAUDAL FICTICIO CONTINUO .....	16
7.2	JORNADA EFECTIVA DE RIEGO .....	17
7.3	RENDIMIENTO DE LA RED .....	18
7.4	GRADO DE LIBERTAD .....	18
7.5	DOTACIONES .....	20
8	PRESIÓN DE CONSIGNA EN LOS HIDRANTES.....	22
9	CÁLCULO DE LOS CAUDALES DE DISEÑO DE LA RED.....	25
9.1	METODOLOGÍA DE CLÉMENT PARA EL CÁLCULO DE CAUDALES EN RIEGOS A LA DEMANDA .....	26
9.2	PRIMERA FÓRMULA GENERALIZADA DE CLÉMENT .....	28
9.3	GARANTÍA DE SUMINISTRO .....	29
9.4	CAUDALES DE LÍNEA .....	30
9.5	CONSIDERACIONES FINALES .....	32
10	DIMENSIONAMIENTO Y OPTIMIZACIÓN DE LA RED.....	34
10.1	INTRODUCCIÓN .....	34
10.2	MEDOLOLOGÍA DE CÁLCULO PARA EL DIMENSIONADO. HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS. ....	36
10.2.1	SIGOPRAM.....	36
10.2.2	GESTAR .....	37
10.3	PARÁMETROS DE CÁLCULO INTRODUCIDOS .....	38
11	OPTIMIZACIÓN DE LA RED.....	40
11.1	HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS .....	40
11.2	HIPÓTESIS DE SIMULACIÓN .....	40
12	CONSIDERACIONES AL DISEÑO DE RED FINAL .....	41
	APÉNDICE Nº1. SIGOPRAM.....	
	APÉNDICE 1.1 .....	
	APÉNDICE 1.2 .....	
	APÉNDICE Nº 2 LISTADO DE HIDRANTES.....	
	APÉNDICE Nº 3 ESQUEMA RED .....	
	APÉNDICE Nº 4 CAUDALES DE LÍNEA DE LA RED DE RIEGO.....	

## ÍNDICE TABLAS

TABLA 1. MATRIZ DE MÓDULOS O DOTACIONES DE HIDRANTES .....	21
TABLA 2. DISTRIBUCIÓN SUPERFICIE UNIDADES DE RIEGO (%) .....	21
TABLA 2. VALORES DE U EN FUNCIÓN DE LA GARANTÍA DE SUMINISTRO (GS) .....	30

---

## ÍNDICE IMÁGENES

IMAGEN 1. ESQUEMA DEL PROCESO BÁSICO DE DISEÑO DE UNA RED DE RIEGO. ....	2
IMAGEN 2.- ESQUEMA DE UNA RED ESTRICTAMENTE RAMIFICADA.....	10

## 1 INTRODUCCIÓN

Una red de riego presurizada debe de ser capaz de suministrar el agua en la parcela bajo unas determinadas condiciones de servicio, tanto cualitativas como cuantitativas. Su correcto diseño, bajo las exigencias de calidad y fiabilidad, con las correspondientes garantías de seguridad exige una fase de dimensionamiento hidráulico de las conducciones y elementos accesorios (válvulas, ventosas, equipos de bombeo, etc.) así como un análisis hidráulico del sistema tanto en estado estacionario como transitorio.

Los problemas de colapso de redes de riego derivan principalmente de que, en algunos ámbitos, el objetivo era obtener la red de riego de coste de inversión inicial mínimo, aunque esto fuera a base de diseñar redes muy rígidas, en un doble sentido:

- Incapaces de absorber cualquier pequeña modificación de caudales, algunas de ellas con turnos excesivos y difíciles de hacer funcionar en la práctica
- En algunos casos, con timbrajes muy próximos a la presión de servicio, incluso disminuyendo los mismos con la colocación de elementos reductores de presión, etc.

Se entiende que el objetivo de una red comunitaria es funcionar correctamente en el tiempo de vida útil considerado, y estando preparada para absorber ciertos cambios como la implantación de cultivos con necesidades hídricas diferente, manejos del riego con particularidades, etc. Por ello es importante diseñar redes con una flexibilidad razonable, y con simulaciones de funcionamiento que permitan verificar su versatilidad en la fase de explotación.

En este anejo se desarrollan los cálculos hidráulicos justificativos realizados para el dimensionamiento de la red de riego proyectada, esto es, la determinación del trazado más adecuado, tanto en perfil como en planta, así como del diámetro óptimo correspondiente a cada tramo.

Las redes de riego, tal y como recogen trabajos específicos en la materia, deben de estar dimensionadas para poder atender variaciones de los consumos demandados, y considerando las variaciones en las demandas de agua (se debe de dotar a la red de la fortaleza necesaria de la manera más eficiente posible).

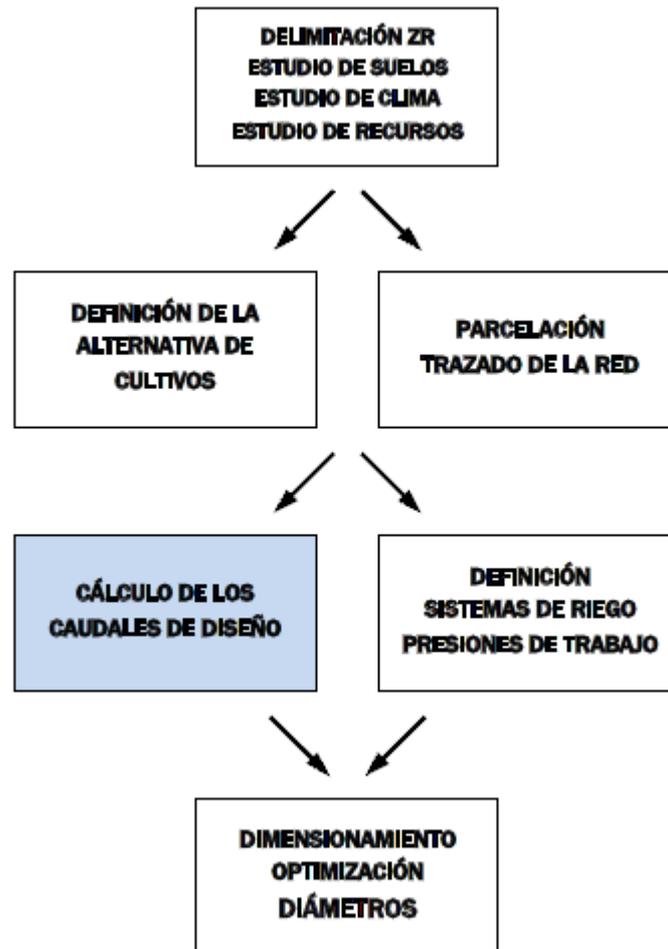


Imagen 1. Esquema del proceso básico de diseño de una red de riego.

Todos los pasos del proceso de diseño no siguen una secuencia nítida, sino que están en cierto modo entremezclados y en muchas ocasiones hay que retornar a decisiones precedentes para someterlas a reajuste a fin de completar satisfactoriamente el diseño. Por ello, los especialistas experimentados incluyen en el proceso los resultados de su experiencia en este campo del conocimiento.

Así, Jesús Rodrigo y otros (Riego localizado (Rodrigo et al. 1992), al indicar cuál es el proceso de diseño de una red destacan la importancia de consensuar la solución del proyecto con los usuarios del riego, señalando que “el diseño de una instalación de red de riego es el primer eslabón de una cadena, que continúa con la ejecución de la instalación y posteriormente con las prácticas de manejo

y conservación. La clave de un buen diseño consiste en establecer de la forma más precisa posible las prestaciones que posteriormente se le exigirán a la instalación. Es evidente que cuanto más se ajuste a la realidad del programa de necesidades y requisitos con el que el diseñador trabaja, más sencillo será el posterior manejo de la instalación y mejores sus resultados. Por otra parte, cuanto mayor sea el número de situaciones y posibilidades que esta contemple, mayor será la polivalencia de la instalación, así como su coste. Por esto es tan importante, para obtener una buena relación calidad-precio, que los objetivos y los llamados parámetros opcionales se fijen tras informar minuciosamente a los usuarios de las posibilidades y discutir detalladamente las ventajas e inconvenientes para las condiciones en que deben operar los equipos”.

Existen en el diseño de una red de riego dos grandes bloques interconexiónados de actuación, que son:

- Diseño agronómico del riego: determinación de la cantidad de agua que se debe suministrar para satisfacer las necesidades de los cultivos
- Diseño hidráulico: dimensionamiento de la instalación para satisfacer las exigencias establecidas en el diseño agronómico

La capacidad de la instalación debe ser suficiente para atender las necesidades de los cultivos durante el período de máxima demanda. Por tanto, el caudal a suministrar a los usuarios en este periodo será el parámetro básico determinante del proyecto de la red de conducciones, el cual depende de la alternativa de cultivo y de los factores climáticos.

Los condicionantes naturales que más influencia tienen en el diseño de la red son evidentemente la climatología, la edafología, la morfología del terreno y los recursos hídricos existentes. Otros condicionantes de este tipo, también influyentes en el diseño, son la estructura parcelaria existente, las condiciones del mercado, y la situación socioeconómica de los agricultores. Todos estos parámetros tienen una gran influencia en la selección de la alternativa de cultivos reflejada en el anejo de este proyecto que recoge la determinación del caudal ficticio continuo.

- El estudio de las características climatológicas de la zona es necesario para el cálculo de la evapotranspiración, y la pluviometría es fundamental para evaluar la cantidad de agua que es necesario aportar mediante el riego.

- Las características edafológicas del suelo (coeficiente de infiltración, capacidad de campo, textura, etc.) también son fundamentales para seleccionar la dosis y el sistema de riego a emplear.
- Los recursos hidráulicos suelen ser el factor que limita las zonas regables. De hecho, el agua disponible en las épocas de demanda punta. La localización de estos recursos con respecto a la ubicación de la zona regable es otro condicionante que también tiene que ser tenido en cuenta de cara al diseño de la red de transporte y distribución.

Los parámetros de diseño más representativos son: la alternativa de cultivos, el grado de libertad de los regantes, el rendimiento o coeficiente de seguridad de la red, la garantía de suministro y la modulación y densidad de los hidrantes. Otros parámetros de diseño son el grado de satisfacción de los requerimientos del cultivo, la forma de organización del riego y el sistema de riego a emplear.

La determinación de los caudales circulantes por la red es una de las partes más importantes del diseño, al ser uno de los datos fundamentales para fijar el diámetro de las conducciones que componen la red (el otro es la presión requerida). Los caudales circulantes varían mucho a lo largo del tiempo y dependen, entre otros factores, de la alternativa de cultivos, de la climatología de la zona, de la eficiencia del sistema de riego y de las costumbres del regante.

Es por ello que en el proceso de diseño de una red de riego, además de emplearse como datos de entrada los condicionantes naturales y los parámetros de diseño clásicos, se debe contar también con la experiencia y conocimiento generados en la explotación de otras zonas regables, de forma que, aunque el establecimiento de una zona de riego se realice siguiendo la secuencia lógica: diseño –construcción- explotación, la fase de diseño se retroalimenta con el conocimiento adquirido en la implantación y explotación de otras zonas regables.

Organizados los datos de partida, a continuación, se presenta un resumen de las fases del proceso al diseño de la red de riego que se realiza en este anejo:

- I. Definición del sistema, modalidad y organización de riego
- II. Definición de la topología de la red
- III. Definición del trazado de la red

- Localización del punto de alimentación
  - Localización de los hidrantes
- IV. Establecimiento de los parámetros de funcionamiento
- Caudal ficticio continuo
  - Jornada efectiva de riego (JER)
  - Tiempo de riego
  - Grado de libertad (GL)
  - Caudal asignado en hidrante (dotación)
  - Presión mínima requerida en hidrante
- V. Cálculo de los caudales circulantes por tramo. Aplicación de las fórmulas de la demanda
- VI. Dimensionado de la red de distribución mediante técnicas de optimización

Si bien se propone un orden secuencial en función de las fases a seguir, obviamente el diseño de toda red implica una interacción entre fases que se retroalimentan en el proceso de diseño.

Resulta llamativo que en el diseño de redes de riego no se utilizan, como es habitual en otros campos de la ingeniería, coeficientes de seguridad de mayoración de cargas, ni en lo referente a la adopción de los caudales de cálculo, ni en cuanto a posibles imperfecciones de los materiales, ni en las presiones de diseño, etc.

Las pérdidas económicas que pueden ocurrir por el colapso hidráulico de una red de riego pueden ser muy importante, tanto por las obras de rehabilitación necesarias para acondicionar de nuevo la red, como por la potencial pérdida de cosechas.

## 2 OBJETIVO

Modernizar, mediante un riego a presión, las diferentes unidades de riego en que se ha dividido la superficie regable de la Comunidad de Regantes del Canal de Velilla (León)..

Se trazan las unidades de riego a partir de las masas derivadas del proceso de concentración parcelaria en el que se encuentra inmerso la zona regable.

A fecha de redacción del proyecto se desconocen los propietarios que englobarán las diferentes unidades de riego.

Como norma general, el tamaño mínimo para asignar hidrantes es disponer de una superficie de 1 hectárea.

El objetivo de una red de riego comunitaria es funcionar correctamente el tiempo de vida útil de la obra y acorde a la garantía y vida útil de los diferentes elementos que la componen, y debe de estar preparada para absorber ciertos cambios. Ello implica, como se ha expuesto anteriormente, el diseño de una red con una flexibilidad razonable, con un coste razonable y que encaje en las ratios disponibles de inversión para esta tipología de redes.

### 3 MODALIDAD DE RIEGO

La variabilidad entre suelos, superficies, topografía del terreno, cultivos actuales y futuros previstos en la alternativa de la zona regable de la Comunidad de Regantes del Canal de Velilla , y los cada vez más limitados recursos hídricos disponibles para el regadío, obligan a que las instalaciones de riego, tanto al nivel de parcela como de red general de distribución, permitan gestionar el agua de riego con las estrategias de manejo más adecuadas a cada situación, mediante un uso óptimo y sostenible de la misma.

De esta manera, a nivel de parcela se ha escogido como sistema o método de riego, el riego por aspersión que, en sus distintas vertientes, bien con cobertura total enterrada o móvil, bien con máquinas de riego (pivotes, laterales y cañones), cada regante podrá escoger el sistema que mejor se adapte al terreno y a la rotación de cultivos que realice.

Los regantes tendrán como limitación del uso del agua las impuestas por su propio hidrante (umbrales máximos de caudal y presión disponibles), así como la dotación máxima por hectárea que establezca la Comunidad de Regantes del Canal de Velilla para cada campaña de riego, condicionada por las disponibilidades de agua disponibles en el sistema y establecidos en la Junta de Explotación del Sistema Órbigo.

Los regantes tendrán libertad para elegir horario de riego, dentro de su hidrante y con la restricción de las normas generales de funcionamiento establecidas por la Comunidad de Regantes

del Canal de Velilla (horario de funcionamiento de la estación de bombeo) acorde a las horas de uso dentro de la jornada efectiva de riego (JER).

Con un método de entrega de agua a pie de parcela flexible, el aprovechamiento del agua y la elasticidad del riego son máximos ya que el agricultor es el único que decide la fecha y la duración de los riegos y puede, por lo tanto, dirigir racionalmente su agricultura de regadío a la hora de organizar el riego en parcela, es decir, dar las dosis convenientes de acuerdo con las necesidades concretas de sus cultivos, en función del estado fenológico en que se encuentren las plantas y el suelo, de otros aspectos culturales, de las condiciones climatológicas y de la tecnología disponible.

La modalidad de riego adoptada en el proyecto es un RIEGO A LA DEMANDA POR TURNOS, gestionado con un sistema de telecontrol que regule, entre otros aspectos, la apertura y cierre de los diferentes hidráulicos. De esta manera puede encontrarse una solución de compromiso entre la flexibilidad del riego a la demanda y la rigidez de un riego por turnos.

Se exponen a continuación una serie de conceptos:

- *Parcela*. Término catastral con una superficie de riego declarada y gestionada por un único regante (propietario, arrendatario, aparcerero, etc.) a la cual hay que entregar el agua.
- *Agrupación*. Parcela o conjunto de ellas dominadas por un único hidrante de riego. En parcelas grandes, ellas mismas pueden constituir una agrupación.
- *Hidrante de riego*. Conjunto de válvula hidráulica y otros elementos con una dotación y presión definidos, donde se puede medir el consumo de agua. Constituye un elemento imprescindible en una red colectiva de riego ya que garantiza la prestación del servicio en condiciones correctas de caudal y presión. La dotación está relacionada con la superficie de la agrupación y la presión de servicio se fija en función del sistema de riego en parcela (aspersión en este caso). Los hidrantes de riego pueden ser individuales (cuando atiende a una agrupación formada por una única parcela) o hidrantes multiusuarios o compartidos (cuando atiende a una agrupación formada por varias parcelas, ya sean de un mismo propietario o distintos de ellos). El uso colectivo de un mismo hidrante exige la organización de un turno

entre los usuarios.

- *Toma de parcela individual.* Elemento capaz de descargar toda la dotación del hidrante de riego. Está compuesto por una válvula hidráulica, pero sin capacidad de controlar la presión y el caudal. Una toma de parcela individual no abastece más que a una sola parcela y la maneja un solo usuario, debiendo ser la parcela superior a la hectárea (criterio para tener derecho a toma individual). Cuando una parcela es pequeña y no supera la superficie de una hectárea debe asociarse a otra(s) parcela(s) colindante(s) para tener derecho a una toma de parcela compartida.
- *Toma de parcela compartida.* Elemento capaz de descargar toda la dotación del hidrante de riego. Está compuesto por una válvula hidráulica, pero sin capacidad de controlar la presión y el caudal. Una toma de parcela compartida abastece a varias parcelas colindantes, debiendo sumar la superficie de todas ellas, al menos, una hectárea, pudiendo ser todas ellas del mismo propietario o distintos de ellos.
- *Red terciaria.* Red de tuberías de diámetro único situadas aguas abajo del hidrante de riego, capaz de transporta la dotación o caudal máximo de dicho hidrante hasta cada una de las tomas de parcela (tanto si son individuales como compartidas).
- *Control local.* Dispositivo colocado en el hidrante de riego que permite maniobrar de forma automática, desde un centro de control remoto, el hidrante y todas las tomas de parcela asociadas a él (tanto si son individuales como compartidas).

Analizada las posibles modalidades de riego a la que puede acogerse la red que se va a proyectar, la decisión relativa del tipo de organización seleccionada condiciona el proceso de cálculo de la red y, por supuesto, su manejo posterior.

## 4 TOPOLOGÍA DE LA RED PROYECTADA

Debido a la extensa superficie a cubrir, a la gran dispersión entre los puntos de consumo (consecuentemente, con grandes longitudes de tubería), a los elevados costes de las conducciones

de gran diámetro necesarias para acomodar los grandes caudales de agua servidos con importantes requerimientos de presión a suministrar en los puntos de consumo y considerando que el funcionamiento de la red no es uniforme, siendo muy intenso durante la temporada de riego y muy bajo o incluso nulo durante el resto del año, es importante ajustar económicamente el dimensionado del sistema (tanto el coste de las instalaciones como los gastos de explotación, principalmente costes energéticos si los hubiera) para proporcionar el servicio requerido sin sobredimensionar los elementos de la red de forma innecesaria.

Por todas las razones citadas y para reducir los costes de la red de conducciones se adopta una topología de red de tipo ramificada, dado que se demuestra que, en general, es más económica que cualquier otra topología mallada que realice un servicio equivalente en cuanto a suministro de caudales y presiones (UPV, 1993).

Si bien la topología ramificada es vulnerable a las interrupciones de suministro (por rotura o mantenimiento) al no existir caminos de alimentación alternativos, la relativa tolerancia de los cultivos a la falta de abastecimiento, incluso en periodos punta, hace esta configuración la más conveniente en actuaciones de mejora y modernización de regadíos, como es el presente proyecto (Aliod, 2011).

La red de distribución proyectada se denomina red estrictamente ramificadas (UPV, 1993) si:

- Posee una topología ramificada (sin ninguna malla ni conducción redundante).
- Las condiciones de contorno son tales que:
  - Existe exclusivamente un único punto de altura piezométrica impuesta (balsa) o a determinar (estación de bombeo), que habitualmente corresponderá al punto de alimentación.
  - El resto de nodos de la red se asimilan a puntos de consumo conocido, esto es, nodos de bifurcación, con consumo nulo, o puntos de suministro con demanda independiente de la presión (hidrantes regulados con caudal igual a la dotación de sus tomas abiertas).

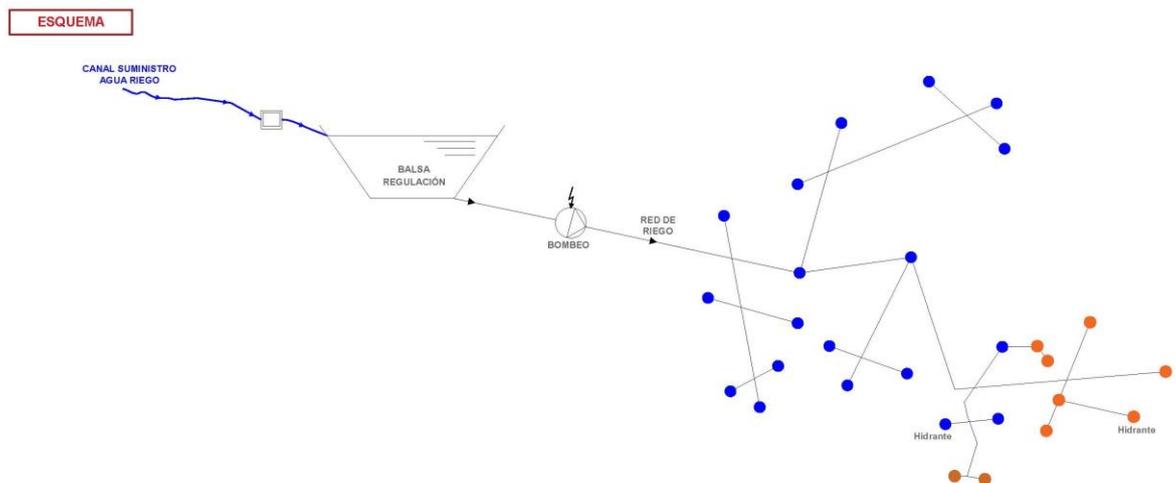


Imagen 2.- Esquema de una red estrictamente ramificada

Es bien sabido que las redes en que la topología y las condiciones de contorno se implementan configurando una red estrictamente ramificada, son particularmente ventajosas desde el punto de vista del dimensionado (UPV, 1993), ya que es posible determinar a priori los caudales de línea que circulan por las tuberías (por la simple aplicación de la ecuación de continuidad) sin conocer las características de la propia tubería (material y diámetro), solamente a partir de los consumos de la red (por simple acumulación de los consumos en los nudos o mediante la aplicación de criterios de tipo probabilísticos, tales como el método de Clément); como consecuencia hidráulica de ello, es posible conocer asimismo el sentido de circulación del agua en las líneas.

Además, una red estrictamente ramificada posibilita, por un lado, establecer las metodologías de dimensionado óptimo económico de los diámetros y materiales de la red, y, por otro lado, calcular posteriormente y de forma explícita las presiones en cada punto del sistema, una vez que los diámetros han sido fijados, para cada configuración de demanda instantánea que se formule (análisis en régimen permanente de la red).

Todos estos aspectos técnicos refuerzan a que se opte por una topología de red de tipo ramificado que, junto con el trazado de la misma, se tomarán como base para la optimización de la red con criterios económicos, necesitando previamente calcular los caudales de diseño que

circularán por las líneas en el periodo punta para la alternativa de cultivos considerada en la zona regable.

## 5 TRAZADO DE LA RED

Definido el punto de alimentación de la red a proyectar (derivación en el Canal Alto de Villares para alimentación de la balsa de regulación, que a su vez abastece a la estación de bombeo, que dota al sistema de la presión de consigna para su correcto funcionamiento) se requiere localizar los hidrantes que abastecerán a cada una de las parcelas.

La elección del punto de ubicación del hidrante se fundamenta en:

- Centrarlo lo máximo posible en la unidad de riego, en la franja reservada en el proceso de concentración parcelaria para albergar la tubería y siempre ubicándolo lo más próximo al camino de acceso que resulte posible.
- Buena accesibilidad para facilitar su manejo y mantenimiento desde los caminos de servicio o servidumbre accesible.

En un diseño óptimo (construcción-explotación de la red) no sólo el coste de implantación de la red, sino también atendiendo a la comodidad de explotación de la red y de las parcelas, facilitando a los usuarios sus labores culturales y de riego sin interferencias de acuerdo con las parcelas ya existentes.

En algunos casos particulares se ha adoptado una solución de compromiso en la que se ha ponderado por un lado los deseos del agricultor y la calidad de la distribución de agua de riego y por otro lado el coste de la red y la funcionalidad de la misma.

El hidrante de riego medirá el caudal consumido, regulará la presión y limitará el caudal de servicio según la superficie servida. Es, por tanto, un elemento esencial para asegurar el buen funcionamiento de la red y debe estar accesible en caso de avería o mal funcionamiento.

El trazado de la red (distribución física en planta y la conexión entre sus elementos) suele estar normalmente determinado a priori por multitud de condicionantes espaciales, urbanísticas y de otro tipo, que tienen poca o ninguna relación con criterios de diseño desde un punto de vista hidráulico- funcional (e incluso económico), limitando y restringiendo los posibles trazados a unas pocas alternativas.

En las zonas agrícolas estos condicionantes son en su mayoría de carácter socio-económico (estructura agrícola y catastral, caminos, infraestructuras, servidumbres, expropiaciones, etc.) y técnico, derivados de la propia heterogeneidad de la zona regable. Entre estos últimos cabe destacar la ubicación de los hidrantes de riego, la ubicación de la fuente de agua y las características geotécnicas y/o topográficas del terreno.

Estos condicionantes ligados entre sí y que determinan e imponen el trazado final de la red, motiva el que se dedique el contenido de este apartado al análisis y la problemática de las condiciones del trazado en planta de los elementos de la red, ya que no existe una total libertad para ejecutar éste en el espacio físico previsto, por cuanto se tiene en cuenta el trazado en función de la ordenación del territorio y otras disposiciones técnicas.

El problema de optimizar la distribución en planta se orienta a disminuir los costes de inversión y operación, y puede ser abordado desde dos puntos de vista bien diferentes:

- el primero supone una total libertad para ejecutar el trazado de la red en el espacio físico previsto (este punto de vista resulta poco realista por cuanto no se tiene en cuenta los costes asociados al trazado según la ordenación del terreno: es evidente que el hecho de trazar la red a través de propiedades privadas o en terrenos con mala accesibilidad comporta unos perjuicios económicos que son difícilmente evaluables).
- el segundo punto de vista, sin duda más realista, consiste en la selección de posibles alternativas de trazados sobre las zonas públicas y de paso disponibles, teniendo en cuenta la distribución del territorio sobre la que se asienta la red, seleccionando la alternativa más económica.

Se debe de tener en consideración en la elección de los trazados los posibles servicios que puedan resultar afectados por las conducciones dado que, en ocasiones, los costes derivados de su reposición, la complejidad de su desvío, la interrupción temporal o las servidumbres que imponga, pueden resultar muy importantes.

Otros factores limitantes que hay que tener en cuenta son los siguientes:

- Características topográficas y orográficas locales: pendientes, bancales, barrancos, desagües naturales, arroyos, núcleos urbanos, etc. Peligro de sobrepresiones (timbrajes) o depresiones (cavitación) originados por la topografía del terreno,

colocación de ventosas, desagües, etc.

- Características geotécnicas del terreno: zonas pantanosas, afloramientos rocosos, inestabilidad de taludes, niveles freáticos, suelos agresivos, etc.
- Dispersión del emplazamiento de cada hidrante.
- Lindes y distribución de las parcelas, zonas excluidas del regadío.
- Construcciones e infraestructuras existentes: granjas, canteras de áridos, naves, grandes vías de comunicación (autovías, ferrocarril), líneas eléctricas, gasoductos, etc.
- Red y estado de caminos principales y secundarios.
- Facilidad en el momento de la ejecución.
- Facilidad de detección de averías y libre acceso de los operarios de la Comunidad de Regantes para eventuales reparaciones y operaciones de mantenimiento.
- Sociales: expropiaciones, creación de servidumbres permanentes de paso, ocupaciones temporales, etc.
- Económicos: minimizar el coste tanto de la inversión inicial como de la explotación.
- Ambientales: evitar zonas forestales, choperas, espacios protegidos, etc.

De este modo, a la hora de establecer el trazado definitivo de la red, se realiza con los siguientes criterios de diseño y teniendo en consideración los factores limitantes anteriormente mencionados:

- El trazado se ha realizado por proximidad, minimizando las distancias de modo ponderado en función del posible diámetro de la tubería y, siempre, priorizando el acceso a la red en la ejecución y conservación de la obra.
- La red de riego se ha diseñado de forma que los cruces con carreteras (nacionales, comarcales y locales), ferrocarriles, ríos y cauces menores se produzcan lo menos posible. En estos casos interesa aprovechar las infraestructuras existentes (puentes, túneles, pasos de Confederación, etc.) o buscar aquellos lugares donde la obra presente menos dificultades.

- Se han buscado arterias principales para el transporte del agua de forma que, en todos sus tramos, el sentido de avance del agua se aleje lo más rápidamente posible del punto de cabecera de la red.
- No se atraviesan parcelas, excepto en el caso de que cruzándolas se reporte un ahorro manifiesto en la economía de la red. En estos casos se cuidará de que no queden elementos funcionales de la red (ventosas, desagües, válvulas de seccionamiento) dentro de los recintos atravesados.

En la confección de bifurcaciones y cambios de dirección, es conveniente respetar una serie de criterios generales como son:

- Realizar bifurcaciones desde una tubería aguas arriba a dos aguas abajo (confluencia de tres tuberías), limitando las bifurcaciones de una tubería de tres conducciones (confluencia de cuatro tuberías), por la dificultad de ejecutar las piezas especiales necesarias para codos de cuatro tuberías, salvo que sean ortogonales.
- Realizar las bifurcaciones con ángulos menores de 90º (y si es posible, menores de 45º) respecto a la dirección de alimentación, para evitar pérdidas de carga, vibraciones, erosiones, cuantiosas en la bifurcación.
- Prever radios de curvatura amplios en los cambios de dirección del trazado, acordes con el material y diámetro previsto, de manera que, si es posible, se puedan encajar mediante los alineamientos admisibles de las juntas de los tramos de tubería, evitando en la medida de lo posible piezas especiales (codos).
- Si es preciso recurrir a piezas especiales para cambios de dirección, dotarlas del mayor radio de curvatura admisible, evitando cambios abruptos de dirección por unión en ángulo vivo de tramos de tuberías.

## 6 CONDICIONANTES PARTICULARES DE DISEÑO

La zona regable de la Comunidad de Regantes del Canal de Velilla no tiene una variación topográfica (altimetría) notable, por lo que no resulta necesario establecer diferentes sectores con

requerimientos de presión particulares. Se distribuye el agua a través de una única red de riego.

Con el objetivo de garantizar la presión en los hidrantes que garanticen el correcto funcionamiento de las instalaciones de parcela para riego por aspersión mediante coberturas o pívot, hacen necesario proyectar una estación de bombeo, que inyecte el caudal a la red de forma directa. Esta estación de bombeo se abastece de la balsa de regulación

La ubicación de la estación de bombeo y de la balsa están condicionadas por la forma que presenta geométrica de la zona regable (alargada y estrecha) y por la ubicación del canal de riego que abastecerá a la balsa (fuente de alimentación del sistema).

La red principal (arteria principal más ramales) acabará en la arqueta del hidrante, formada por una válvula de corte, un filtro cazapiedras y una válvula hidráulica con piloto limitador de caudal.

## 7 CÁLCULO DE DOTACIONES EN LOS HIDRANTES

Como se ha comentado, el riego se proyecta un riego a la demanda por turnos, lo que no excluye de ciertos condicionantes, entre ellos, que los caudales susceptibles de ser suministrados por los hidrantes sean controlados, a fin de evitar posibles abusos.

Para ello, cada hidrante está dotado de un limitador de caudal que impide sobrepasar de una determinada cifra, fijada de antemano, incluso cuando éste se encuentra totalmente abierto. El limitador de caudal, junto con el regulador de presión, cumplen conjuntamente el cometido de ajustar los condicionantes hidráulicos básicos de diseño en que ha de producirse el suministro de agua a los usuarios.

Los principales factores que intervienen en la determinación de la dotación o caudal de suministro al hidrante son:

- Superficie de la agrupación de riego abastecida (S).
- Sistema de riego utilizado (en todos los casos se proyecta para riego por aspersión).
- Necesidades hídricas máximas de los cultivos para la alternativa prevista: caudal ficticio continuo ( $q_{fc}$ ).

- Jornada efectiva de riego (JER).
- Rendimiento de la red (r).
- Grado de libertad (GL).

Es fundamental para un correcto diseño establecer acertadamente  $q_{fc}$ , r y GL ya que constituyen tres parámetros básicos para el diseño de la red colectiva. Para ello deben responder al tipo de cultivos y gestión efectiva de la red durante la explotación, no pudiendo ser adoptados miméticamente de un sistema a otro, incluso dentro de una misma comarca, dado que el tipo de alimentación del sistema (desde balsa, o bombeo directo), la existencia o no de telecontrol o la sociología de los regantes pueden ser fuentes de cambios apreciables (Aliod, 2011).

## 7.1 CAUDAL FICTICIO CONTINUO

El primer paso es calcular el caudal ficticio continuo ( $q_{fc}$ ) de la alternativa de cultivos adoptada para la zona regable. Éste es el caudal que habría que suministrar a una hectárea con una proporción de cultivos igual a la prevista en la zona regable de forma continua y permanentemente durante las 24 horas del día para satisfacer las necesidades brutas de la alternativa de cultivos durante el período punta.

Tal y como se estableció en el anejo nº 7 Estudio Agronómico, se considera un valor de **212,96 mm** de agua como dotación bruta a satisfacer en el mes de máxima demanda (julio) para la alternativa de cultivos adoptada en la zona. En su cálculo se han tenido en cuenta los 31 días del mes de julio, que corresponde al mes de máximo consumo. Según eso, el caudal ficticio continuo se expresa como:

$$q_{fc} = \frac{2129,60m^3 \times 10^3 l / m^3}{24h / dia \times 31dia \times 3600seg / h \times ha} = 0,80l / seg \times ha$$

## 7.2 JORNADA EFECTIVA DE RIEGO

El caudal ficticio continuo, determinado anteriormente, se ha calculado suponiendo que se regaba durante las 24 horas del día; cuando se puede suponer que las instalaciones de riego colectivo sólo van a estar funcionando un cierto número máximo de horas al día, que es lo que se denomina Jornada Efectiva de Riego (JER).

La duración de la JER es muy variable y dependerá del sistema de alimentación de la red (gravedad o bombeo directo), del sistema de riego en parcela, de los tiempos muertos no hábiles, de los asociados a paradas técnicas, de las condiciones climatológicas predominantes en la zona para evitar regar en las horas de más insolación o en las de viento intenso, de las costumbres locales de los agricultores, del nivel de automatización tanto de la red colectiva como la red en parcela, y de la posibilidad de funcionamiento en franjas horarias de menor coste energético en redes con inyección directa mediante grupos de elevación.

Por otro lado, aceptar un aprovechamiento máximo de la red durante las 24 horas del día puede resultar arriesgado al suponer caudales de diseño menores, lo que conduce a diámetros de las conducciones inferiores, lo que supondría un infradimensionado de la red para duraciones reales de la JER menores.

En nuestro caso, al ser este un sistema de riego alimentado con inyección directa a red, y en función de las tarifas eléctricas a las que se acoja la contratación, se recomienda establecer la JER para aprovechar al máximo los periodos tarifarios más baratos, calculando primeramente el valor teórico correspondiente a estas horas y a continuación corregirla a un número entero próximo a él. De esta manera y para la tarifa existente actualmente de 6 periodos, podemos establecer la JER, considerando que regamos seis días de siete, y la actual configuración del sistema tarifario, para la correcta gestión regar/para de regar (ver distribución periodos en mes de julio).

La JER en el mes de julio para bombear en franja horaria considerada viable, y que se está empleando ya en la actualidad en zonas regables próximas a este proyecto es regar seis días durante las veinticuatro horas. Como margen de seguridad, se opta por calcular la red y simular su funcionamiento con JER de 20 horas.

### 7.3 RENDIMIENTO DE LA RED

Se define el rendimiento de utilización o de uso de la red de riego ( $r$ ) al cociente:

$$r = \frac{T_r}{T}$$

siendo  $T$  el periodo de tiempo de referencia y  $T_r$  el periodo de tiempo que se utiliza la red durante el periodo de referencia  $T$ ; es decir, el parámetro  $r$  mide la proporción del tiempo en que efectivamente se aplica el riego,  $T_r$ , descontando los periodos de reparación o mantenimiento, los días inhábiles para el riego, las horas extremas, etc. respecto al tiempo total de la campaña,  $T$ .

Normalmente se emplea como rendimiento de utilización la relación entre la jornada efectiva de riego y la jornada ficticia continua, o sea:

$$r = \frac{\text{JER}}{24} = \frac{20}{24} = 0,83$$

### 7.4 GRADO DE LIBERTAD

En el cómputo de la dotación de un hidrante se precisa conocer los siguientes parámetros:

$q_{fc}$	=	Caudal ficticio continuo (l/s·ha)
$S_p$	=	Superficie de la parcela (ha)
$Q_{dot}$	=	Dotación de caudal para la parcela (m <sup>3</sup> /s)
$r$	=	Rendimiento operativo de la red

El tiempo de uso asociado a un hidrante,  $t$ , equivale al tiempo necesario para recibir el volumen de agua que requiere la parcela, según las necesidades de los cultivos, dadas por  $q_{fc}$ , es decir:

$$10^3 \cdot Q_{dot} \cdot t = q_{fc} \cdot S_p \cdot T$$

Despejando  $t$  se obtiene el tiempo de riego de la parcela para el hidrante instalado:

$$t = \frac{q_{fc} \cdot S_p}{10^3 \cdot Q_{dot}} \cdot T$$

La probabilidad de apertura de un hidrante se define como el cociente entre el tiempo que el hidrante debe estar abierto,  $t$ , respecto al tiempo efectivamente disponible para regar,  $T_r$ . Esta probabilidad se evalúa:

$$p = \frac{t}{T_r} = \frac{1}{r} \cdot \frac{t}{T} = \frac{q_{fc} \cdot S_p}{10^3 \cdot Q_{dot}} \cdot \frac{1}{r}$$

El grado de libertad, GL, del hidrante se define como el inverso de la probabilidad y representa el número de veces que el tiempo realmente disponible (tiempo de disponibilidad efectiva de la red),  $T_r$ , contiene al tiempo necesario para el riego (tiempo necesario de apertura de hidrante),  $t$ , y se expresa como:

$$GL = \frac{1}{p} = \frac{T_r}{t} = \frac{10^3 \cdot Q_{dot} \cdot r}{q_{fc} \cdot S_p} \quad ; \quad Q_{dot} = \frac{q_{fc} \cdot S_p \cdot GL}{10^3 \cdot r}$$

y representa un margen de seguridad en la aplicación del riego, puesto que, si el riego se interrumpe durante la campaña por cualquier causa, es posible recuperar el déficit en horas sobrantes de la JER.

Obsérvese que el cómputo de la probabilidad de apertura de hidrante (o GL) mediante las expresiones anteriores supone implícitamente que:

- El caudal extraído por el hidrante es constante e igual al valor de la dotación,  $Q_{dot}$ .
- Todas las horas del tiempo  $T_r$  son indistintamente utilizadas para el riego por los usuarios, o lo que es lo mismo, el riego puede iniciarse indistintamente en cualquier momento dentro de  $T_r$  con igual probabilidad (la probabilidad de apertura en el intervalo  $T_r$  es constante).

La ecuación anterior pone de manifiesto que el GL representa la relación entre el caudal real derivado a la parcela y el que debería derivarse de forma permanente y continua durante la JER. Es, pues, un indicador del exceso de caudal aportado a la parcela para reducir su tiempo de riego por lo que la libertad para organizar el riego aumentará con el GL. Ésta es precisamente la razón por la cual suele darse un GL mayor cuanto menor es el tamaño de la parcela recomendando, para que la fórmula de Clément para el cálculo de caudales en redes a la demanda pueda ser de aplicación, un valor mínimo del grado de libertad de 1,5 (con valores menores, la probabilidad de que la toma de

riego esté abierta comienza a ser demasiado alta como para que se pueda aplicar el modelo de Clément).

El GL no debe asimilarse a un coeficiente de seguridad, sino que es una condición para que exista la libertad suficiente en el riego a la demanda. Fuera del periodo punta el GL es mayor al ser el caudal ficticio más pequeño. Es evidente, no obstante, que el suministro de grandes caudales para ser utilizados solamente algunas horas al día es muy costoso y que la red de distribución será tanto más cara cuanto mayor sea la libertad concedida a los regantes.

## 7.5 DOTACIONES

Los parámetros  $S$ ,  $Q_{dot}$ ,  $q_{fc}$ ,  $T_r$  y  $t$ , no son independientes entre sí, puesto que el volumen a suministrar a la superficie  $S$  durante el tiempo  $T_r$  ha de ser aportado por un caudal constante  $Q_{dot}$  durante un tiempo  $t$  de apertura del hidrante, por lo que, si en la expresión del cálculo de la dotación se imponen todos los términos excepto uno, éste queda fijado dado por la misma.

Conocido el caudal ficticio continuo, la superficie de la agrupación de riego y  $r$ , para calcular el módulo o la dotación del hidrante se puede proceder de dos formas: asignar una dotación constante a todas las unidades de riego cuya superficie se encuentre comprendida entre un valor mínimo y máximo, por lo que el GL variará de una unidad de riego a otra; o alternativamente, puede fijarse un GL común a todas las unidades y utilizar la relación desarrollada en el apartado anterior para determinar una dotación específica y adaptada a cada agrupación.

En nuestro caso, para el cálculo de las dotaciones de los hidrantes se ha procedido a fijar el caudal máximo y calcular, conocido el caudal teórico y el parámetro  $r$ , el grado de libertad asociado al hidrante para la superficie que sirve.

Además, y con el fin de reducir la gama de limitadores de caudal a emplear, los valores obtenidos se agruparán en función de las superficies de las parcelas. Este redondeo de la dotación implica la modificación sistemática del grado de libertad teórico concedido a cada usuario.

Así, la dotación mínima considerada es de 25 l/s, lo que implica que a las agrupaciones más pequeñas se les darán un mayor grado de libertad, puesto que suelen ser agrupaciones con un elevado número de tomas individuales, debido a la alta parcelación que presenta la zona regable que se moderniza. A partir de esta dotación mínima de 25 l/s y para reducir la gama de limitadores de caudal a emplear, las dotaciones se van escalonando con valores enteros de 10 l/s, obteniendo

grados de libertad cada vez menores conforme va aumentando el tamaño de superficie que abastece el hidrante, pero nunca más bajo que 1,5.

Para asignar a cada agrupación un tipo de hidrante, éstas se han clasificado en orden creciente de tamaño, encuadrándose en función de su superficie. A cada uno de estos intervalos le corresponderá un mismo tipo de hidrante, habiéndose empleado hidrantes de 4" y 6".

Sin embargo, un mismo hidrante (con los mismos componentes, pero tarando los pilotos de regulación de presión y limitador de caudal a cada situación), será capaz de adaptarse y satisfacer dotaciones distintas, dentro del rango de caudales para los que se proyecta, realizando en todo momento eficientemente su función de regulación.

A continuación, se relacionan las dotaciones e hidrantes asignados a cada unidad de riego (la media de la zona regable es de 5,27 ha/ud de riego) con la superficie servida y el grado de libertad asociado para la red de riego proyectada.

Tabla 1. Matriz de módulos o dotaciones de hidrantes

Intervalo de superficie (ha)	Nº agrupaciones	Módulo (l/s)	Módulo (m <sup>3</sup> /h)	Grado de libertad (GL)	Tamaño de hidrante
$S \leq 6$	124	25	90	$9 \geq GL \geq 3,4$	4 "
$6 < S \leq 25$	27	35	126	$4,7 \geq GL \geq 1,5$	6 "

Tabla 2. Distribución superficie unidades de riego (%)

Superficie	%
$\leq 6$ ha	60,96
$S > 6$ ha	39,04
Total	100,00%

En riego a la demanda, el caudal asignado a cada toma es superior al caudal ficticio continuo necesario. Cada usuario utilizará efectivamente su hidrante/toma durante un período que, de media, será inferior a 24 horas por día. De aquí resulta que la probabilidad de que todos los hidrantes/tomas se abran al mismo tiempo es mínima y, por tanto, no es razonable calcular la red para transportar el caudal acumulado.

El cálculo de caudales en este tipo se apoya en un razonamiento de probabilidades. El caudal de cabecera de la red de riego establecido de acuerdo con la primera fórmula de CLEMENT para redes de riego se ajusta a la siguiente fórmula:

$$Q = \sum R_i * p_i * d_i + U(P_q) * \sqrt{(\sum R_i * p_i * q_i * d_i^2)}$$

Donde:

R<sub>i</sub> Nº Tomas con una probabilidad de funcionamiento p<sub>i</sub>

p<sub>i</sub> Probabilidad de funcionamiento de un hidrante/toma

d<sub>i</sub> Caudal del hidrante/toma en l/s

U (P<sub>q</sub>) Función de la calidad de funcionamiento de la red que toma los siguientes valores:

Nº DE TOMAS	CALIDAD FUNCION. (P <sub>q</sub> )	U(P <sub>q</sub> )
Nº tomas < 5	100	
5 ≤ Nº tomas < 10	95	1,645
11 ≤ Nº tomas < 20	92	1,427
Nº tomas ≥ 21	90	1,282

Se plantean sorteos encadenados con un nivel de apertura de hidrantes equivalente al caudal de Clement estimado para esta red, planteándose refuerzos en las zonas limitantes por presiones o por velocidades.

## 8 PRESIÓN DE CONSIGNA EN LOS HIDRANTES

En este apartado se tratará de las presiones de servicio (presión de consigna) que debe garantizarse en los puntos de consumo (hidrantes) cuando se aborde el diseño de la red. Los diámetros de las tuberías y/o las alturas en cabecera deberán ser tales que teniendo en cuenta las pérdidas de carga que se producen para los caudales solicitados y las cotas geométricas del sistema, las presiones de servicio sean como mínimo las adecuadas para el correcto funcionamiento de los

equipos del sistema de riego implantado en parcela (en nuestro caso, aspersión), de forma que se garantice una alta uniformidad en la distribución del agua.

Como es bien conocido, en toda red colectiva de riego a la demanda por turnos, la presión varía mucho según los caudales que se consuman. Igualmente, es importante no tener presiones excesivas en el sistema, dado que éstas pueden dar lugar a diferentes problemas como:

- Encarecimiento del conjunto de las instalaciones de la red que deben soportar mayores presiones (tanto las colectivas como las particulares a nivel de parcela).
- Mayor consumo energético si el sistema es alimentado por grupos de bombeo, ya que es necesario elevar la presión de todo el caudal que se suministra y no de solo el que abastece los hidrantes situados por encima de una determinada cota.
- Incremento de las pérdidas de agua por posibles fugas y mayor número de averías en las instalaciones.

Además, una de las principales premisas que configuran una red colectiva de riego es que debe atender de forma equitativa (en relación a la presión de servicio) a un amplio colectivo de usuarios con requerimientos muy dispares de superficies regables, caudales punta y horarios de riego, evitando que aquellas unidades de riego que por su localización favorable cuenten con una mayor cota piezométrica puedan disponer de mayor caudal instantáneo en perjuicio de las de situación más desfavorables.

Por esto es por lo que se llega a la conveniencia de ajustar los condicionantes hidráulicos de diseño en que ha de producirse el suministro de agua a los usuarios, uniformando lo más posible las presiones de servicio en todas las acometidas y limitando las variaciones de presión mediante el uso de pilotos reguladores de presión instalados en cada hidrante, cuyo cometido consiste precisamente en mantener constante un valor prefijado de presión de consigna aguas abajo del mismo, de modo que los dispositivos instalados para el sistema de riego en parcela funcionen adecuadamente a la vez que se garantiza un correcto servicio en toda la red de riego.

Como el valor de la presión mínima requerida en los hidrantes está referido a la entrada de los mismos, para su determinación es preciso tener en cuenta una serie de factores que intervienen de forma directa en la obtención de la misma, tales como: la presión de servicio de los emisores de riego, la uniformidad del riego, las distintas pérdidas de carga (en laterales, terciaria, valvulería, filtros, accesorios, elementos), el desnivel topográfico, etc.

Así, puesto que en la zona regable se utilizará exclusivamente riego por aspersión, las presiones requeridas según modelos de aspersores varían de 30 a 35 m.c.a., considerada como suficiente para regar con este sistema. Con ello, se pretende garantizar una presión mínima a la entrada de las instalaciones particulares de los abonados (toma de parcela, ya sea individual o compartida) de **50 m.c.a.**

Para conseguir esta presión a la salida de la toma de parcela es recomendable un diseño racional del sistema de riego en parcela, de forma que cumpla los requerimientos de diferencia de presión permitidos en la subunidad, a fin de no incurrir en una desuniformidad de distribución de agua excesiva.

No obstante, como la presión mínima necesaria depende de la instalación individual del abonado y del caudal que éste demande, ante una falta de presión en algún caso particular (por ejemplo un cañón de riego, un pivot de grandes dimensiones o una parcela muy alejada), la red permite puntualmente incrementar esa presión en toma sin ninguna modificación de las infraestructuras colectivas instaladas, con tan sólo variar la presión de tarado de los dispositivos de regulación instalados en el hidrante.

Por otro lado, se ha estimado una pérdida de carga máxima que puede llegar a producirse en la tubería terciaria que une el hidrante y la toma de parcela más alejada a éste, de valor 5 m.c.a.

Seguidamente se han tenido en cuenta las recomendaciones de los fabricantes en cuanto al cálculo de las pérdidas de carga en función del caudal que circula por los distintos elementos que componen el conjunto hidrante (filtro cazapiedras, contador, válvula hidráulica, válvula de corte, codos y curvas). Con ello, se ha pretendido que no sea superior a los 5 m.c.a.

Por lo tanto, **la presión a garantizar en todos los hidrantes**, de acuerdo con las características de la zona proyectada, del tamaño medio de parcela y/o subunidad de riego, además de los parámetros intrínsecos al sistema de riego por aspersión, **será de 50 m.c.a. más el máximo desnivel existente entre la cota donde se ubica éste y el punto más elevado de toda la superficie que se pretenda regar (agrupación de riego) dominada por el mismo**, valor que teóricamente debería estar disponible en todos los hidrantes en todas las combinaciones de demanda para las condiciones de diseño.

De esta manera, la presión de consigna ( $P_c$ ) en el hidrante se ha estimado de la siguiente forma:

- Cota hidrante:  $Z$
- Cota más elevada de la agrupación dominada por el hidrante: ( $Z_{m\acute{a}x}$ )
- Presión de consigna mínima en hidrante  $P_{cn}$ : 50 m.c.a.
- Presión de consigna en función de la  $Z_{m\acute{a}x}$ :  $P_c = P_{cn} + (Z_{m\acute{a}x} - Z)$

No obstante, se contempla un proceso de reducción de presión de consigna en la fase de dimensionado de aquellos hidrantes que resulten más críticos y cuyos requisitos de presión encarecen en mayor medida los costes de las conducciones, de manera que racional y ordenadamente puedan ser reducidos los requisitos de presión en los mismos, con objeto de rebajar el coste del sistema.

En la tabla del apéndice nº 2 se muestra, para cada hidrante, sus coordenadas geográficas (X, Y y Z), la cota máxima de la agrupación a la que abastece ( $Z_{m\acute{a}x}$ ), su dotación, la presión de consigna ( $P_c$ ) y el diámetro nominal correspondiente.

## 9 CÁLCULO DE LOS CAUDALES DE DISEÑO DE LA RED

Una vez definidas tanto las condiciones de servicio para cada uno de los hidrantes de riego que abastecen a las diferentes agrupaciones parcelarias (módulo, presión y superficie a regar) como la topología de la red (trazado y elementos: balsa, EB, nudos de consumo, nudos de unión, etc.), se procede en este apartado a la determinación de los caudales de diseño que circularán por cada uno de los tramos o líneas de que consta la red de riego como paso previo al dimensionado de los diámetros de los tramos que componen la red de transporte.

Como se planteó en el apartado nº 3, la condición de red estrictamente ramificada implica que es posible calcular los caudales circulantes por las líneas, conociendo únicamente los consumos en los nudos, e independientemente del diámetro de las tuberías.

Los caudales de diseño que sirven para el dimensionamiento de una red de riego son muy variables a lo largo de la campaña de riego dependiendo, entre otros, del sistema de riego, de la

organización del mismo, de la distribución de cultivos en la zona regable, de la fase de crecimiento de los cultivos, de las condiciones meteorológicas, de la eficiencia de aplicación de los sistemas de riego y de los hábitos de los agricultores, por lo que su determinación es uno de los mayores problemas a los que se enfrenta el proyectista.

La red colectiva de riego se ha proyectado para su manejo a la demanda, de forma que cada agricultor riegue cuando le sea más conveniente (con la limitación del caudal máximo, módulo o dotación en la toma de riego), lo que produce una incertidumbre de este método de entrega en la determinación de los caudales circulantes por las líneas que componen la red, al no conocerse el momento de la apertura y cierre de cada una de las tomas de riego.

Esta característica introduce el problema de la simultaneidad en el riego; es decir, los caudales circulantes por cada uno de los tramos de la red serán en todo instante una función aleatoria variable a lo largo del día, ya que depende de la probabilidad de coincidencia en el riego de las tomas a las que abastece.

En este tipo de redes, evidentemente, el máximo caudal circulante sería el que corresponde a la máxima demanda, es decir, la correspondiente a todas las tomas de riego abiertas. Esta situación rara vez se va a producir, por lo que el dimensionamiento de la red de riego con estos caudales sobredimensionaría de forma excesiva la red. Para evitar este problema, los caudales circulantes son determinados mediante procedimientos estadísticos basados en el cálculo de probabilidades.

## **9.1 METODOLOGÍA DE CLÉMENT PARA EL CÁLCULO DE CAUDALES EN RIEGOS A LA DEMANDA**

La determinación de los caudales circulantes es una fase muy importante del proceso de diseño de una red de riego. Si se asumen demandas inferiores a las reales no se podrán satisfacer adecuadamente, lo cual dará lugar a mermas en la producción y a conflictos entre los usuarios.

En una red de riego a la demanda cada usuario puede abrir su punto de consumo cuando estime conveniente, si bien con unos ciertos condicionantes derivados del cultivo (necesidades de riego) y del hidrante de que disponga (umbral máximo de caudal y presión), así como disponibilidad para el usuario.

El caudal circulante por un tramo de la red será una función aleatoria, dependiente del número de puntos de consumo abiertos, y del caudal que derive por cada uno de estos. Por ello, el enfoque tradicional de las fórmulas de cálculo de caudales punta en redes de riego a la demanda ha consistido en caracterizar el comportamiento de los agricultores, ajustándolo a un método o distribución estadística, mediante el cual se estima con una determinada probabilidad del número de agricultores que pueden tener abiertos sus hidrantes/tomas simultáneamente.

Entre los distintos métodos de cálculo propuestos por los especialistas para el cálculo de los caudales circulantes en una red de riego a la demanda destaca la primera fórmula establecida por René Clément en el año 1955, y perfeccionada y generalizada en 1966, en el artículo *Calcul des débits dans les réseaux d'irrigation fonctionnant a la demande de La Houille Blanche*.

Esta fórmula, en origen simplificada porque asume que las tomas a abastecer son iguales y tienen la misma probabilidad de funcionamiento, es la base de la mayor parte de los métodos de cálculo propuestos y empleados hasta la actualidad.

Clément establece la fórmula en dos etapas. En la primera se analiza comportamiento de un usuario, que se caracteriza como un ensayo de Bernoulli. Un usuario puede tener su toma abierta o cerrada. La probabilidad de que esté en uno u otro estado está directamente relacionada con las características del hidrante de que disponga. En la segunda se estudia el comportamiento conjunto de todos los usuarios, que se caracteriza como una suma estadística de ensayos de Bernoulli. En una red de riego a la demanda cada usuario puede realizar el riego cuando le convenga, es decir, cada una de las tomas puede estar abierta o cerrada de forma independiente a las otras. Clément supone que el comportamiento conjunto de todos los usuarios se pueda aproximar mediante una variable aleatoria de distribución binomial y extenderse, cuando el número de usuarios es suficientemente grande, a una distribución normal.

En 1966 Clément presenta una generalización de la fórmula básica de 1955. Esta generalización se conoce como la primera fórmula generalizada de Clément y es el procedimiento de cálculo de caudales para el diseño de redes de riego más utilizado y estudiado hasta la actualidad.

Para generalizar la fórmula Clément utiliza la misma idea de separación por clases, aplicación independiente y suma de resultados que un año antes habían publicado Boissezon y Haït, si bien la separación que establece es mucho más simple y directa, radicando ahí gran parte de su éxito posterior.

En el auge de la transformación del regadío en Francia, en los años sesenta, otros especialistas (Boissezon y Haït, 1965) y el propio Clément (segunda fórmula generalizada en 1966) propusieron otros métodos introduciendo modificaciones en las bases estadísticas de cálculo, que perseguían un ajuste más preciso al comportamiento de los usuarios, pero no supusieron un gran avance ni fueron adoptados en la práctica general.

## 9.2 PRIMERA FÓRMULA GENERALIZADA DE CLÉMENT

En 1966 Clément presenta en el artículo *Calcul des débits dans les réseaux d'irrigation fonctionnant a la demande* una generalización de la fórmula básica de 1955.

Esta generalización se conoce como la primera fórmula generalizada de Clément y es el procedimiento de cálculo de caudales de diseño de redes de riego más utilizado y estudiado hasta la actualidad. La fórmula primigenia estaba desarrollada bajo la hipótesis de que todas las tomas servidas eran iguales, lo cual no se ajusta a la realidad ya que las parcelas no son iguales y tienen dotaciones y grados de libertad diferentes.

Para generalizar la fórmula Clément utiliza la misma idea de separación por clases, aplicación independiente y suma de resultados que un año antes habían publicado Boissezon y Haït, si bien la separación que establece es mucho más simple y directa radicando ahí gran parte de su éxito posterior.

La fórmula para determinar el caudal  $Q$  necesario para atender las necesidades de un conjunto de  $n$  tomas iguales es:

$$Q = npd + U\sqrt{npd^2(1-p)}$$

Para su aplicación a un conjunto de tomas heterogéneas Clément propone aplicar la fórmula de manera individual a cada una de las tomas y luego agregar los resultados obtenidos, de forma que la primera fórmula generalizada se puede escribir como:

$$Q = \sum p_i d_i + U \sqrt{\sum p_i d_i^2 (1 - p_i)}$$

En donde:

- $Q$  es el caudal del tramo en estudio
- $p_i$  es la probabilidad de que el hidrante esté funcionando. Se define como el cociente

entre el número de horas/día ( $t'$ ) que el agricultor tendría que tener abierta su toma en el periodo de máximo consumo para dar a las plantas la dotación diaria precisas y el número de horas/día ( $t''$ ) en que la red está capacitada para transportar la dotación diaria

$$p_i = \frac{t'}{t''}$$

- $d_i$  es la dotación de cada uno de los hidrantes situados aguas debajo de este tramo. Se calcula para cada hidrante.
- $U$  es la variable tipificada de una distribución normal  $N(0,1)$ , su valor es variable en función de la garantía de suministro seleccionada (probabilidad de que un número máximo determinado de tomas estén funcionando en un momento dado)

La expresión de Clément, como todo ajuste estadístico, no es válida para muestras reducidas. Si se aplica en tramos terminales de la red que sirven a un número pequeño de tomas se pueden obtener valores superiores a los que resultarían de la acumulación directa de las dotaciones de cada toma. Como esta suma directa implica ya una garantía de suministro del 100 %, adoptar valores superiores supone sobredimensionar la red. Por ello, en el cálculo se adopta el criterio de fijar como caudal de diseño de cada tramo el correspondiente al menor absoluto entre el valor  $Q$  obtenido por aplicación de la fórmula y el valor  $\sum d_i$ , quedando además cubierta de esta forma la posibilidad de coincidencia total de la demanda en los terminales (Granados, 1986).

### 9.3 GARANTÍA DE SUMINISTRO

Como hemos visto en el apartado anterior, la formulación matemática para el caudal de diseño en cabecera ( $Q_d$ ) para una determinada garantía de suministro (GS) o calidad de funcionamiento (CF) y aplicando la metodología de Clément, obtiene una expresión del siguiente tipo:

$$Q_d(GS) = \mu + U(GS) \cdot \sigma$$

La función de distribución de caudales es del tipo normal siendo  $\mu$  la media de la distribución y  $\sigma$  la desviación típica.

La garantía de suministro es el valor, en porcentaje, de la probabilidad estadística de que los caudales circulantes por la red, durante el período punta de consumo, no superen a los de diseño. De esta manera  $Q=\mu+U\cdot\sigma$  representa el límite superior del intervalo de confianza cuyo coeficiente de confianza viene dado por el parámetro GS, y donde los valores de U son los percentiles de la función de distribución normal asociados a los coeficientes GS (tabla 2).

Esta garantía de suministro es variable en función del nivel de calidad que quiera darse al dimensionado de la red, evitando el sobredimensionamiento de la misma, y sus valores más frecuentemente adoptados oscilan en torno al 90-99 %.

Tabla 2. Valores de U en función de la garantía de suministro (GS)

GS (%)	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	99,9
U	1,285	1,345	1,405	1,475	1,555	1,645	1,755	1,885	2,055	2,324	3,090

El valor a adoptar de la GS es fijado en función del nivel de garantía que se quiera dar a la red, adoptando dos maneras: dando un único valor para todos los tramos o fijar valores de garantía decrecientes conforme aumenta el número de tomas derivadas por el tramo (siguiendo la idea de que a mayor número de tomas menor es la probabilidad de que todas estén abiertas).

Para el caso que nos ocupa se aplica una garantía de suministro general del 95%, acumulando los dos últimos hidrantes en cada ramal.

## 9.4 CAUDALES DE LÍNEA

El cálculo de los caudales de línea aplicando la formulación de Clément se realiza a todos los nudos de la red mediante herramienta informática desarrollada a tal efecto, dado el elevado número de operaciones que conlleva.

De acuerdo a los supuestos expuestos anteriormente y con las dotaciones, superficies abastecidas, caudal ficticio continuo, JER y rendimiento de uso de la red fijados en el apartado nº 6, que en definitiva son los parámetros que establece la probabilidad de apertura del hidrante, se determinan los caudales de diseño de todos los tramos de tuberías de la red que compone el presente proyecto mediante la herramienta específica contenida en la aplicación GESTAR 2010 y considerando diferentes valores de la GS en función del número de hidrantes alimentados por la línea, tal y como se ha fijado en el apartado anterior.

Los caudales de diseño así obtenidos se listan al final de este anejo, en el apéndice nº 3, donde se presenta una tabla que indica el caudal acumulado, el caudal de Clément y el de diseño asociado a cada línea.

El caudal total acumulado ( $Q_o$ ), suma de todas las dotaciones de los hidrantes proyectados para la red, es de  $4,37 \text{ m}^3/\text{s}$ . El caudal de diseño en cabecera ( $Q_d$ ), evaluado según la formulación de Clément es de  $1.150,30 \text{ l/s}$ .

El coeficiente o grado de simultaneidad de diseño de la red (CS) se define como el cociente entre el caudal de diseño de la línea de cabecera ( $Q_d$ ) y el caudal total instalado ( $Q_o$ ) que se obtendría con todas las tomas abiertas, multiplicado por 100. En ningún caso, evidentemente, puede ser  $Q_d$  mayor que  $Q_o$ , situación que podría presentarse si se aplica la fórmula de Clément a un número muy reducido de tomas.

En consecuencia, la simultaneidad de diseño, es decir, el **porcentaje máximo de hidrantes que en promedio pueden permanecer abiertos simultáneamente a efectos de comprobación de la condición de diseño de la red** es:

$$CS = \frac{Q_d}{Q_o} = \frac{1,15}{4,37} = 0,2631 \approx 26\%$$

El coeficiente o grado de simultaneidad de la red proyectada, obtenido mediante la comprobación del funcionamiento según las condiciones de diseño, se considera del 26 %.

Simulador de Escenarios de Demanda

Turnos   
 Aleatorios   
 Hydrogen   
 Prob Clément

Tolerancia 0 m   
 PMin   
 PMinAuto

Nº de Simulaciones: 1500   
 Tomas abiertas (%): de 20 a 35   
 Incremento: 5   
 Nº Tomas Siempre Abiertas: 0   
 Nº Tomas Siempre Cerradas: 0

Numero de Fallos   
 Caudal en Cabecera (l/s)   
 Deficit Máximo (m)

	Avg	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
20%	892,1	935	868,2	850,8	895	913,2	905,8	893,7	839	894,7	864	905,8	860,5	905,5	895	895,8	862,2	848,7	904,7	894,4	924,7	924	839	874,7
25%	1090,9	1059,9	1119	1110	1128,2	1115	1070,8	1127,9	1060	1107,2	1044,4	1059	1058,1	1078,7	1100	1078,2	1090,5	1088,2	1149	1069,7	1108,7	1117,9	1119,7	1090,9
30%	1318,3	1330,5	1292,2	1308,7	1294,7	1294,9	1297,5	1299,5	1320,2	1318,2	1322,5	1283,7	1260,8	1297,2	1328,7	1328,2	1369,7	1285,8	1339	1308,2	1335,5	1304,7	1297,2	1390,9
35%	1517,5	1585	1532,2	1544,4	1493,4	1553,2	1439,7	1507,5	1458,4	1469,4	1504,5	1482,7	1528,7	1426,6	1554,7	1531,9	1553,1	1504	1468,1	1533,7	1507,9	1514,4	1549,7	1494,7

Mes:  Patron de riego:

Caudal Clément: 1150.3 (l/s)

MAX(Accs\_Tub\_Q) = 1150.3 (l/s)

Simulador de Escenarios de Demanda

Criterio de apertura de tomas

Turnos  Aleatorios  Hydrogen  Prob Clément

Crite  
Tol  
 F  
 F

<<  Numero de Fallos  Caudal e

	Avg	1	2
▶ 20%	892,1	935	868,2
25%	1090,9	1059,9	1119
30%	1318,3	1330,5	1292,2
35%	1517,5	1585	1532,2

## 9.5 CONSIDERACIONES FINALES

Como consecuencia de emplear la metodología descrita, se remarca que los caudales de diseño obtenidos mediante la formulación de Clement, no se corresponden con ninguna combinación de apertura real de hidrantes, apareciendo valores a veces muy alejados del caudal realmente obtenido en cualquier combinación de demanda, especialmente en condiciones en que se combinan un número reducido de hidrantes con alta dotación, pero baja probabilidad de uso (GL alto).

Aunque el comportamiento real de toda la red colectiva siempre se va a apartar de los supuestos teóricos simplificativos establecidos en el cálculo, normalmente, en la mayoría de las zonas regables es suficiente con aplicar la fórmula de Clément sin introducir medidas correctoras (Granados 1990), ya que las distorsiones que se produzcan quedan compensadas por efectos tales como que:

- En el cálculo se han introducido dos coeficientes de seguridad superpuestos que facultan a la red para dar una respuesta adecuada frente a incrementos de demanda no previstos. Estos coeficientes son el rendimiento de la red ( $r$ ) y la mayoración del caudal ficticio continuo al adoptarse tiempos disponibles para el riego inferiores al total (6 días de 7), que entre ambos

originan una mayoración global de caudales en torno al 40 % sobre el valor estricto para atender las necesidades de riego diarias.

- En la zona regable siempre suele haber una cierta proporción de tierra útil no cultivada o en baldío durante cada campaña de riegos, en un porcentaje no inferior al 10% del total.
- El cálculo de caudales se realiza para las condiciones punta de consumo, es decir, en el mes de máximas necesidades, período corto en comparación con la duración de toda la campaña de riegos. Por ello, el agricultor suele estar predispuesto a efectuar medidas correctoras durante el período punta si las circunstancias lo exigen y siempre que la deficiencia no sea consecuencia de un efecto sistemático de diseño. Así, si el regante tiene poca presión a ciertas horas por un exceso de demanda, se buscará otro horario de riego, y si el problema es más grave, puede pasarse a riego a turnos o demanda restringida durante el mes punta de consumo.
- El agua se cobra a los usuarios no según la superficie que rieguen, sino proporcionalmente al volumen que consuman, medido por contadores instalados en los hidrantes, lo que permite moderar los abusos que ocasionaría un suministro a la demanda no controlado.

## 10 DIMENSIONAMIENTO Y OPTIMIZACIÓN DE LA RED

### 10.1 INTRODUCCIÓN

Una vez cubierta las etapas de configuración de la topología y el trazado de la red, establecidos los caudales que es necesario distribuir por cada uno de los tramos y fijadas las presiones mínimas que se deben garantizar en los hidrantes, se procede en este apartado al dimensionado de la red, esto es, la determinación de una combinación de diámetros y materiales tales que satisfagan ciertas restricciones en cuanto a valores de presión en nodos y velocidad en líneas.

El dimensionamiento hidráulico de una tubería tiene por objeto principal la determinación del diámetro de la misma. Se trata de una cuestión compleja cuyos condicionantes básicos de diseño son el caudal requerido y la presión en los terminales de la red.

Es evidente que dichos condicionantes dejan el problema abierto, sin solución única, permitiendo un gran número posible de diseños.

Por lo tanto, en realidad, se trata de un problema de optimización en el que, además de los condicionantes básicos de diseño (caudales y presiones) intervienen otros factores, entre otros la velocidad de diseño o las pérdidas de carga (continuas y localizadas), y en el fondo, las características de los materiales de la red (rugosidad y coste, básicamente).

Aparece así el concepto de red más económica: definir la solución óptima desde el punto de vista económico como aquella que representa el menor coste conjunto de inversión más explotación entre todas aquellas configuraciones posibles que verifican las condiciones de consumos y presiones de operación requeridas. Por ello se procede para resolver la indeterminación del problema de dimensionado de las conducciones planteadas en el presente proyecto mediante el concurso del objetivo económico, mediante la aplicación de técnicas matemáticas de optimización económica.

Las ecuaciones que rigen el movimiento permanente en tuberías son la ecuación de continuidad:

$$Q = A_1 v_1 = A_2 v_2$$

Y la ecuación de Bernoulli:

$$h_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = h_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + \Delta H$$

$$\Delta H = \Delta H_c + \Delta H_l$$

Siendo

Q	caudal circulante, en m <sup>3</sup> /s
A <sub>i</sub>	área de la tubería en la sección i, en m <sup>2</sup>
v <sub>i</sub>	velocidad del agua en la sección i, en m/s
g	aceleración de la gravedad, en m/s <sup>2</sup>
ID <sub>i</sub>	diámetro interior de la tubería en la sección i, en m
h <sub>i</sub>	cota geométrica en la sección i, en m
P <sub>i</sub>	presión interior del agua en la sección i, en kp/m <sup>2</sup>
γ	Densidad del agua, en kp/m <sup>3</sup>
ΔH	Pérdidas de carga totales, en m
ΔH <sub>c</sub>	pérdidas de carga continuas, en m
ΔH <sub>l</sub>	pérdidas de carga localizadas, en m

En el dimensionamiento hidráulico de la red de riego intervienen las velocidades mínimas y máximas de diseño admisibles. La velocidad de diseño puede tener efectos importantes a tomar en consideración, como son la posibilidad de originar problemas de sedimentación para velocidades muy bajas, o riesgo de ataque físico o de sobrepresiones, derivadas de posibles golpes de ariete, si la velocidad es muy elevada.

Así, es frecuente limitar las velocidades mínimas y máximas de diseño de las conducciones a valores, respectivamente, de 0,5 y un valor próximo de 3 m/s dependiendo del diámetro interior de la tubería.

## 10.2 MEDOLOLOGÍA DE CÁLCULO PARA EL DIMENSIONADO. HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS.

Se emplean dos herramientas para el cálculo de la red: SIGOPRAM y GESTAR. Ambas permiten la simulación de funcionamiento bajo determinadas hipótesis. Además, para la simulación de la red también se emplea la herramienta EPANET.

### 10.2.1 SIGOPRAM

Es una aplicación GIS para diseño y gestión optimizada de redes de riego a demanda. Las principales características son:

- Dimensionamiento de redes de riego a demanda o por turnos
- Caudales de diseño en riego a demanda calculados por la 1ª fórmula de Clément
- Definición automática de las presiones de consigna
- Análisis del funcionamiento de la red mediante generación de diferentes tipos de escenarios (deterministas, aleatorios, estocásticos)
- Cálculo automático de la curva de la red
- Dimensionamiento de hidrantes y válvulas hidráulicas

La aplicación SIGOPRAM se compone de tres módulos básicos: el módulo de diseño e interface con el usuario, el módulo de optimización y el módulo de análisis.

- El módulo de diseño e interface con el usuario está compuesto por todos los botones, herramientas y ventanas que permiten, de una forma ágil y cómoda, la entrada y salida de datos gráficos y alfanuméricos.
- El módulo de optimización es el responsable de calcular los caudales de diseño y de determinar los diámetros óptimos de las tuberías que satisfagan las presiones y caudales requeridos en todos los nodos de la red. Permite calcular el caudal de diseño de redes con funcionamiento a turnos o a la demanda. En el caso de redes a demanda utiliza el método de Clément (1ª fórmula).

La optimización de las tuberías se basa en un algoritmo propio (denominado PL), basado en programación lineal. Este permite determinar la combinatoria más

económica de los diámetros de las conducciones sin necesidad de salir del entorno SIG. Alternativamente, el módulo de optimización también permite comunicar, de forma bidireccional con DIOPRAM, o unidireccional con GESTAR.

- El módulo de análisis integra el motor de cálculo de EPANET y está dividido en dos sub-módulos; uno para el análisis de la fiabilidad de la red y otro para el análisis energético la misma.

El módulo de análisis de la fiabilidad permite crear escenarios de demanda según diferentes criterios.

El módulo de análisis energético permite analizar la red y/o sus estaciones de bombeo desde el punto de vista de la eficiencia energética.

- Determinación de la altura de bombeo óptima en el dimensionamiento de redes de riego bajo inyección directa.
- Aplicación de turnos de riego en redes de riego a demanda con el objetivo de bajar costes energéticos.
- Análisis energético de estaciones de bombeo. Permite simular los costes energéticos y ajustar la programación de las bombas de una estación de bombeo mediante las consignas de arranque/parada y regulación de velocidad.

### 10.2.2 GESTAR

De esta manera, el dimensionado y optimización de la red de riego se realiza con el paquete informático GESTAR 2010 para el diseño, simulación y gestión hidráulica y energética de sistemas de riegos a presión en régimen permanente, desarrollado en el área de Mecánica de Fluidos de la Universidad de Zaragoza.

Desde GESTAR 2010 se facilita el dimensionado de redes estrictamente ramificadas, es decir, una red sin mallas con un único punto de alimentación (cuya altura piezométrica puede conocerse o no), mediante el módulo de dimensionado óptimo DIOPCAL-R que incorpora el programa.

El módulo DIOPCAL-R es una mejora del módulo original DIOPCAL, desarrollado inicialmente por el Grupo de Investigación y Desarrollo de Modelos Hidráulicos (IDMH) de la Universidad

Politécnica de Valencia (UPV), y que realiza el dimensionado óptimo de redes estrictamente ramificadas con el método de la serie económica.

Los complejos algoritmos matemáticos de dimensionado y las rutinas de cálculo iniciales del módulo DIOPCAL fueron depurándose desde que se integraron en la aplicación GESTAR, implementándose en las últimas versiones el citado módulo DIOPCAL-R, que incorpora un conjunto de mejoras y refinamientos que conjuga el método de la serie económica mejorado (González y Aliod, 2003) con algoritmos de optimización discontinua tipo Labye (Labye et al., 1988).

De este modo, el proceso de optimización que sigue el módulo de cálculo DIOPCAL-R consta de dos fases: el predimensionado y la optimización. El primero consiste en obtener una solución básica e hidráulicamente factible al problema de dimensionado económico de la red propuesta, aplicando el método de la serie económica mejorado. La solución teórica obtenida permite entrar en la segunda fase, que conlleva la optimización de los resultados del predimensionado a la solución final, aplicando para ello una cuidadosa estrategia operativa de normalización basada en el método de Laybe.

### 10.3 PARÁMETROS DE CÁLCULO INTRODUCIDOS

#### PATRON DE FUNCIONAMIENTO

A continuación, se adjunta el patrón empleado

CFC	HRiego	Días Riego	Caudales agrupación (l/s)	Pemisor (m.c.a.)	Hemisor (m)	PercPerdPar (%)	Mes	Pérdida Elementos Hidrante	SupMin (ha)	ExplotSupMax (ha)
0,8	20	6	15	35	3	0,0015	7	3	0	3
0,8	20	6	25	35	3	0,0015	7	3	3	8
0,8	20	6	35	35	3	0,0012	7	3	8	15
0,8	20	6	40	35	3	0,0010	7	3	15	>15

#### SUPERFICIES

Están recogidas en Anejo nº 6 "Listado de las agrupaciones de riego".

#### BASES DE TUBERÍAS EMPLEADAS

Los parámetros de las diferentes tuberías considerados para los cálculos hidráulicos son los siguientes:

Referencia	DN	Dint	Rugosidad	PN	Material	VMin	VMax
1100_(HPCC-10)	1100,00	1,10	0,0001000	10,00	HPCC	0,50	2,50
1200_(HPCC-10)	1200,00	1,20	0,0001000	10,00	HPCC	0,50	2,50
1300_(HPCC-10)	1300,00	1,30	0,0001000	10,00	HPCC	0,50	2,50
1400_(HPCC-10)	1400,00	1,40	0,0001000	10,00	HPCC	0,50	2,50
1500_(HPCC-10)	1500,00	1,50	0,0001000	10,00	HPCC	0,50	2,50
1600_(HPCC-10)	1600,00	1,60	0,0001000	10,00	HPCC	0,50	2,50
1000_(HPCC-10)	1000,00	1,00	0,0001000	10,00	HPCC	0,50	2,50
160_(PVCO-16)	160,00	0,15	0,0000070	16,00	PVCO	0,50	2,50
200_(PVCO-16)	200,00	0,19	0,0000070	16,00	PVCO	0,50	2,50
250_(PVCO-16)	250,00	0,24	0,0000070	16,00	PVCO	0,50	2,50
315_(PVCO-16)	315,00	0,30	0,0000070	16,00	PVCO	0,50	2,50
400_(PVCO-16)	400,00	0,38	0,0000070	16,00	PVCO	0,50	2,50
450_(PVCO-16)	450,00	0,43	0,0000070	16,00	PVCO	0,50	2,50
500_(PVCO-16)	500,00	0,47	0,0000070	16,00	PVCO	0,50	2,50
630_(PVCO-16)	630,00	0,60	0,0000070	16,00	PVCO	0,50	2,50
700_(HPCC-10)	700,00	0,70	0,0001000	10,00	HPCC	0,50	2,50
900_(HPCC-10)	900,00	0,90	0,0001000	10,00	HPCC	0,50	2,50
800_(HPCC-10)	800,00	0,80	0,0001000	10,00	HPCC	0,50	2,50

## 11 OPTIMIZACIÓN DE LA RED

### 11.1 HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS

Como se ha comentado con anterioridad, el dimensionado y optimización de la red de riego se realiza con el programa SIGOPRAM, y comprobación de los datos con GESTAR 2010.

El módulo de dimensionado realiza la optimización económica de redes ramificadas con trazado dado, tanto a la demanda como a turnos. La optimización admite alimentación tanto por gravedad, con altura piezométrica impuesta, como mediante estaciones de bombeo directo, en cuyo caso emerge del proceso de optimización la altura de impulsión que minimiza los costes totales anuales (método abreviado con cálculo simplificado de los costes energéticos).

### 11.2 HIPÓTESIS DE SIMULACIÓN

Con el software SIGOPRAM se realiza la simulación de diferentes escenarios de demanda con los siguientes criterios:

- Criterio de simulación de apertura de hidrantes: aleatorio
- Criterio de fallo de presión mínima (tolerancia): cero
- Número de simulaciones:
  - o Número de escenarios de 1.200 con una apertura entre el 20 y 45 % de hidrantes abiertos con un incremento de cinco por corresponderse este número con el grado de simultaneidad de la red.

De la simulación realizada se ha obtenido que es la red diseñada es robusta, dado que tanto en el gráfico de déficit de demanda y déficit de presión se encuadran en la zona esperada.

## 12 CONSIDERACIONES AL DISEÑO DE RED FINAL

El funcionamiento de la red, en términos de flexibilidad y seguridad, puede mejorarse mediante retoques del dimensionado, que aportando encarecimientos limitados respecto a la solución supuestamente “óptima” suponen sin embargo aumentos de flexibilidad y seguridad relevantes que compensan el supuesto encarecimiento.

Todos estos aspectos deben ser detectados y corregidos mediante el análisis hidráulico meticuloso del sistema. Por ello, sobre el dimensionado obtenido del proceso de optimización se realiza subsiguientemente una etapa de simulación hidráulica (véase el siguiente apartado), tomándose medidas adecuadas a resultados de las conclusiones observadas, siendo factible encontrar en ocasiones sistemas que, con un comportamiento funcional válido, resulten incluso más económicas.

Por otra parte, algunos de los resultados del óptimo matemático de la combinación de tuberías pueden ser constructivamente inviables (diámetros no decrecientes aguas abajo, multiplicidad de diámetros, materiales distintos intercalados...) o encarecer en la práctica la ejecución del supuesto óptimo (piezas especiales, stocks, logística, mano de obra...).

De esta manera, con posterioridad al dimensionado y previo al análisis hidráulico, si se considerara necesario, se realizarían reajustes de los resultados brutos de la optimización al alza o a la baja (previa verificación de su comportamiento hidráulico adecuado) de algunos tramos de longitud no excesiva, comprendidos entre hidrantes, como consecuencia de un proceso final de racionalización de la distribución de diámetros y materiales para facilitar y homogeneizar los aspectos constructivos (continuidad de diámetros en tramos de longitud irrelevante, eliminación de inserciones de materiales diferentes, acopios de materiales, organización del montaje, supresión de piezas especiales, etc., ...).

En general, los cambios que se efectúen se recomienda hacerlos aplicando los siguientes criterios:

- Respetar o aumentar el diámetro interior en el caso de cambio de material y/o timbraje.
- Igualar al diámetro superior los diámetros que se uniformicen salvo que exista compensación en otro tramo anterior o posterior verificada mediante simulación.

En este caso no ha sido realizado el ajuste de materiales y/o diámetros.

Finalmente es necesario advertir que la adopción de los criterios de optimización para el dimensionado de una red exige la recopilación de cantidad importante de información, que a su vez debe ser realista con el problema que se pretende resolver.

En ocasiones, la incertidumbre en los datos de partida, fundamentalmente los parámetros financieros, hacen que el método debe tratarse con ciertas reservas. En una sociedad con una situación económica tan volátil, resulta poco menos que un prodigio de taumaturgia la adopción de unos parámetros económicos fiables. Una reducción periódica de los tipos de interés frente a los considerados en el momento del cálculo, conducirán a resultados con diámetros mayores, al reducirse los costes de amortización.

En cualquier caso, la incorporación en la fase de dimensionado de técnicas de optimización, en términos de facilitar búsqueda de la economía y operatividad de un diseño inicial, y dada la relativa sencillez del proceso de optimización en redes estrictamente ramificadas con caudales de diseño estadísticos con la metodología propuesta (método de la serie económica mejorado), conocidas sus limitaciones, resulta imprescindible en la resolución de este tipo de problemas de ingeniería. Unos datos de partida muy alejados de las condiciones reales de funcionamiento conducirán, inevitablemente, a un diámetro óptimo económico muy alejado de su valor.

---

## APÉNDICE Nº1. SIGOPRAM

A continuación, se recogen dos documentos que describen el funcionamiento de la herramienta informática.

- Apéndice 1.1. SIGOPRAM. Aplicación SIG para el diseño óptimo de redes de riego presurizadas a demanda o turnos. Autor: Pedro Santos Fortes.
- Apéndice 1.2. SIGOPRAM, nueva aplicación de ingeniería para el diseño y análisis de redes de riego. Autor: Pedro Santos Fortes.

---

## APÉNDICE 1.1

# SIGOPRAM. APLICACIÓN SIG PARA EL DISEÑO ÓPTIMO DE REDES DE RIEGO PRESURIZADAS A DEMANDA O TURNOS

Santos Fortes, P.

Responsable del Dep. SIG de Aigües del Segarra Garrigues, S.A., Ing. Agrónomo,  
psantos@aigues-asg.es

## 1- Introducción.

Los proyectos de hidráulica agrícola suelen caracterizarse por afectar zonas del territorio con una extensión y complejidad elevada. Esta característica hace de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) el entorno de trabajo idóneo para abordar este tipo de proyectos.

El diseño de una red de riego se desarrolla en tres fases consecutivas, empezando por la definición de un trazado óptimo, pasando por la fase de dimensionamiento económico de las conducciones y terminando con el análisis de la fiabilidad de la red mediante la simulación de múltiples escenarios de demanda. Existen en el mercado herramientas que permiten realizar el dimensionado y/o el análisis de redes de riego presurizadas, pero ninguna permite realizar todas estas tareas de forma simultánea dentro de un entorno SIG.

Aigües del Segarra-Garrigues (ASG), es la empresa encargada de la redacción de los proyectos, ejecución de las obras y explotación del Sistema Segarra Garrigues durante 30 años. Se trata de una infraestructura de riego de aproximadamente 70.000 ha.

Al trabajar con varias empresas proyectistas y asistencias técnicas de obra, ASG decidió desarrollar una herramienta informática (SIGOPRAM) que le ayudara no sólo a la ingeniería de las redes de riego sino también a estructurar y homogeneizar toda la información recibida por parte de las diferentes ingenierías.

## 2- Estructura de la aplicación

La aplicación SIGOPRAM consiste en un conjunto de herramientas desarrolladas a medida, sobre ArcGis, para facilitar la elaboración de proyectos, ejecución de obras y la explotación de redes de riego colectivas presurizadas.

La aplicación está desarrollada en VB.Net con ArcObjects y se compone de 3 módulos básicos: El módulo de diseño e interface con el usuario, el de optimización y el de análisis, tal y como se ilustra en la figura 1.

**El módulo de diseño e interface con el usuario** está compuesto por todos los botones, herramientas y ventanas que permiten, de una forma ágil y cómoda, la entrada y salida de datos gráficos y alfanuméricos. Se ha hecho especial énfasis en dotar la aplicación de las herramientas de edición que permitan dibujar las redes de riego con todos sus elementos característicos (tuberías, hidrantes, tomas y elementos especiales como estaciones de bombeo, válvulas reductoras de presión o cámaras de rotura de carga) de una forma sencilla y rápida, sobre un mapa con el parcelario y cartografía de contexto. Así mismo, este módulo aprovecha la gran capacidad de representación gráfica y elaboración de mapas temáticos de ArcGis para permitir al usuario la mejor interpretación y dominio del proyecto.



Figura 1 – Estructura del SIGOPRAM

**El módulo de optimización** es el responsable de calcular los caudales de diseño y de determinar los diámetros más económicos de las tuberías que satisfagan las presiones y caudales requeridos en todos los nodos de la red. En el caso de redes de riego a demanda, se utiliza el método de Clément (1ª fórmula) para determinar los caudales de diseño.

Un algoritmo propio (denominado LP), basado en programación lineal, permite determinar la combinatoria más económica de los diámetros de las conducciones sin necesidad de salir del entorno SIG.

Alternativamente, el módulo de optimización también permite comunicar, de forma bidireccional con DIOPRAM, un software comercial de optimización externo.

**El módulo de análisis de funcionamiento** integra el motor de cálculo de EPANET y está dividido en dos sub-módulos; uno para el análisis de la fiabilidad de la red y otro para el análisis energético la misma.

El módulo de análisis de la fiabilidad permite crear escenarios de demanda según diferentes criterios:

- Determinista, donde es el usuario que, interactuando directamente sobre el mapa, decide que tomas abrir o cerrar.
- Estocástico, donde la aplicación genera baterías de escenarios en las que la apertura de las tomas viene determinada por sus grados de libertad.
- Aleatorio, donde se generan baterías de escenarios, con porcentajes determinados de tomas aleatoriamente abiertas.

Los resultados son tratados estadísticamente y presentados en forma de tablas y gráficos, permitiendo analizar de forma sencilla el comportamiento de la red, desde un punto de vista constructivo y/o energético, sin necesidad de abandonar el SIG.

El módulo de análisis energético permite analizar la red y/o sus estaciones de bombeo desde el punto de vista de la eficiencia energética. Sus principales funcionalidades son:

- Determinación de la altura de bombeo óptima en el dimensionamiento de redes de riego bajo inyección directa.
- Aplicación de turnos de riego en redes de riego a demanda con el objetivo de bajar costes energéticos.
- Análisis energético de estaciones de bombeo. Permite simular los costes energéticos y ajustar la programación de las bombas de una estación de bombeo mediante las consignas de arranque/parada y regulación de velocidad

### 3- Principales ventajas de SIGOPRAM

- **Cobertura total del ciclo de vida del proyecto de regadío:**

SIGOPRAM es una aplicación de ingeniería que cubre la totalidad del ciclo de vida de una infraestructura de riego, desde su definición previa hasta la explotación, pasando por el proyecto constructivo y obra.

- **Entorno de trabajo SIG**

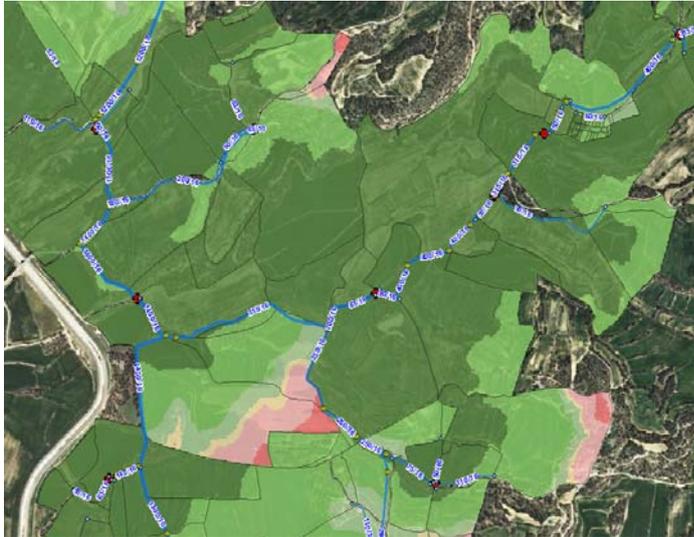


Figura 2 – Ilustración del entorno de trabajo del SIGOPRAM

La particularidad de que todo el ciclo se desarrolla sobre una plataforma SIG permite una gran agilidad a la hora de realizar las mediciones de proyecto, la edición de planos y tablas y también un mayor control del trabajo gracias a la facilidad de cruzar la información de la red con las orto imágenes o cualquier otro tipo de cartografía digital.

Así mismo, permite aprovechar las reconocidas potencialidades de geo-análisis, interoperabilidad y producción de mapas temáticos de los SIG así como una mejor estructuración, ordenación y homogenización de la información del proyecto.

- **Eficiencia de trabajo**

Con SIGOPRAM se reduce de forma sustancial el tiempo necesario para el diseño de una red de riego. Por un lado la introducción de los datos de la red se hace de forma automática. Las cotas, longitud de las tuberías, superficie regable de las parcelas y presiones de consigna de la tomas son determinadas de forma automática, evitándose el trabajo de introducción manual de estos datos y/o el proceso de migración desde AutoCad u otros programas de dibujo. Por otro lado, como todo el ciclo del proyecto (trazado, dimensionamiento y análisis) se desarrolla en el mismo entorno, se evita la necesidad de la creación de ficheros de intercambio entre diferentes softwares.

- **Estructuración de la Información**

Con SIGOPRAM toda la información de la red/proyecto, gráfica y alfanumérica, queda almacenada dentro de una base de datos SIG. Este hecho facilita sobre manera la gestión de la información. Es especialmente útil para empresas/organismos que lleven a cabo, directa o indirectamente, el proyecto, obra o gestión de varias redes de riego.

### 3- Conclusiones

SIGOPRAM dispone de las herramientas necesarias para diseñar una red de riego de forma rápida ordenada y expedita. Permite igualmente analizar su funcionamiento así como ayudar a optimizar los costes energéticos mediante la simulación de múltiples escenarios de demanda. Se puede aplicar tanto a nuevas redes como en la modernización o ampliación de redes existentes.

Todo ello, dota a SIGOPRAM de una gran versatilidad y agilidad para el cálculo de redes de riego presurizadas complejas, lo que se traduce en un considerable ahorro de tiempo y eficiencia de trabajo.

---

## APÉNDICE 1.2

# ***SIGOPRAM, nueva aplicación de ingeniería para el diseño y análisis de redes de riego***

*Pedro Santos Fortes*

*Ingeniero Agrónomo*

*Responsable del Departamento de Sistemas de Información Geográfica de Aigües del Segarra Garrigues, S.A.*

*psantos@aigues-asg.es*

## **Introducción**

Los proyectos de hidráulica agrícola suelen caracterizarse por afectar zonas del territorio con una extensión y complejidad elevada. Esta característica hace de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) el entorno de trabajo idóneo para abordar este tipo de proyectos.

El diseño de una red de riego se desarrolla en tres fases consecutivas, empezando por la definición de un trazado, pasando por la fase de dimensionamiento óptimo de las conducciones y terminando con el análisis de la fiabilidad de la red mediante la simulación de múltiples escenarios de demanda. Existen en el mercado herramientas que permiten realizar el dimensionado y/o el análisis de redes de riego presurizadas, tales como Gestar, Diopram, Copam o Epanet. Sin embargo, ninguna de estas aplicaciones permite realizar todas estas tareas de forma integrada dentro de un mismo entorno SIG.

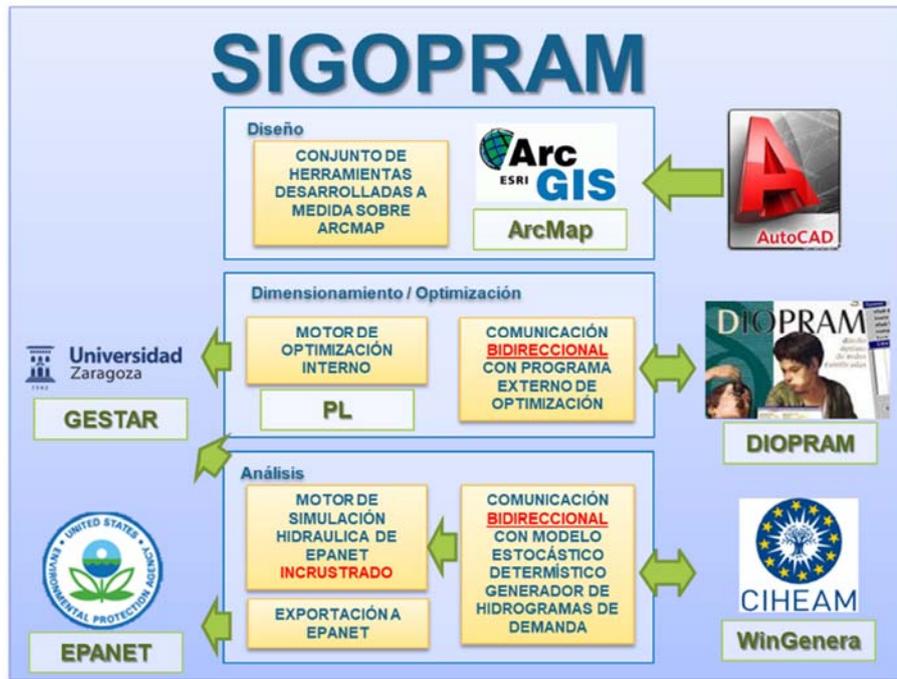
Aigües del Segarra-Garrigues (ASG), es la empresa encargada de la redacción de los proyectos, ejecución de las obras y explotación del Sistema Segarra Garrigues durante 30 años. Se trata de una infraestructura de riego de aproximadamente 70.000 ha. ASG, trabaja con varias empresas proyectistas y varias asistencias técnicas de obra. Para ASG es fundamental conseguir dar una respuesta rápida y técnicamente validada a las posibles alteraciones surgidas en las fases de proyecto obra y/o explotación, tales como cambios de trazado, ubicación de hidrantes, nuevas incorporaciones a la red de riego, etc. Para dar respuesta a estas necesidades, ASG ha desarrollado una herramienta informática (SIGOPRAM) que le ayudara no sólo en los cálculos relacionados con la ingeniería de las redes de riego sino también a estructurar y homogeneizar toda la información producida recibida por parte de las diferentes ingenierías.

SIGOPRAM no pretende aplicar nuevas metodologías de cálculo. Al contrario, utiliza las metodologías de cálculo “tradicionales” y sobradamente consolidadas en el diseño de redes de riego, apoyada en algunos procedimientos propios. El carácter innovador de SIGOPRAM reside esencialmente en la metodología de trabajo que permite una mayor eficiencia de trabajo ya que minimiza el tiempo dedicado a la introducción y migración de datos entre diferentes aplicaciones, evitando errores y permitiendo aumentar el tiempo que el técnico encargado del diseño o análisis de una red de riego podrá dedicar al estudio y análisis del problema.

A continuación, se describe resumidamente la aplicación SIGOPRAM, sus principales módulos y funcionalidades, fundamentos teóricos y los algoritmos de cálculo que utiliza para el diseño de redes de riego a demanda.

## **Estructura de SIGOPRAM**

SIGOPRAM consiste en un conjunto de herramientas desarrolladas a medida y especialmente orientadas para el proyecto, ejecución de las obras y explotación de redes de riego colectivas presurizadas. La aplicación está desarrollada en VB.Net con ArcObjects y se compone de 3 módulos básicos: El módulo de diseño e interfaz con el usuario, el de optimización y el de análisis, tal y como se ilustra en la figura siguiente.



Arquitectura de SIGOPRAM

**El módulo de diseño e interfaz con el usuario** está compuesto por todos los botones, herramientas y ventanas que permiten, de una forma ágil y cómoda, la entrada y salida de datos gráficos y alfanuméricos. Se ha hecho especial énfasis en dotar la aplicación de las herramientas de edición que permitan dibujar las redes de riego con todos sus elementos característicos (tuberías, hidrantes, tomas y elementos especiales como estaciones de bombeo, válvulas reductoras de presión o cámaras de rotura de carga) de una forma sencilla y rápida, sobre un mapa con el parcelario, modelo digital de elevaciones y cartografía de contexto. Esto permite capturar en tiempo real los datos geométricos de la red como sean cotas, longitudes, superficies etc., agilizando sobre manera el trabajo.

Así mismo, este módulo aprovecha la gran capacidad de representación gráfica y elaboración de mapas temáticos de ArcGis para permitir al usuario una mejor capacidad de interpretación de los datos lo que se traduce en un mayor dominio del proyecto.

**El módulo de optimización** es el responsable de calcular los caudales de diseño y de determinar los diámetros óptimos de las tuberías que satisfagan las presiones y caudales requeridos en todos los nodos de la red. Permite calcular el caudal de diseño de redes con funcionamiento a turnos o a la demanda. En el caso de redes a demanda utiliza el método de Clément (1ª fórmula).

La optimización de las tuberías se basa en un algoritmo propio (denominado PL), basado en programación lineal. Este permite determinar la combinatoria más económica de los diámetros de las conducciones sin necesidad de salir del entorno SIG. Alternativamente, el módulo de optimización también permite comunicar, de forma bidireccional con DIOPRAM, o unidireccional con GESTAR. Ambos son softwares de optimización externos prescindibles.

**El módulo de análisis** integra el motor de cálculo de EPANET y está dividido en dos sub-módulos; uno para el análisis de la fiabilidad de la red y otro para el análisis energético la misma.

El módulo de análisis de la fiabilidad permite crear escenarios de demanda según diferentes criterios:

- **Determinista**, donde es el usuario que, interactuando directamente sobre el mapa, decide que tomas abrir o cerrar.
- **Aleatorio**, donde se crean escenarios con un determinado porcentaje de tomas en funcionamiento. Se suele utilizar esta opción en redes homogéneas donde el período de punta es idéntico en todas las zonas de la red. En este caso todas las tomas tienen la misma

probabilidad de ser abiertas originando escenarios de funcionamiento donde distribución espacial de tomas abiertas es uniforme.

- **Estocástico**, donde la aplicación genera baterías de escenarios en las que la apertura de las tomas viene determinada por sus grados de libertad (o probabilidad de apertura). Se suele utilizar este método cuando hay zonas con diferentes periodos de punta. Un ejemplo sería una red que dominara dos zonas distintas, una sin restricciones de riego, permitiendo un riego de transformación, donde el período de punta sería en verano y otra zona con restricciones, donde por motivos medioambientales solo se permitiera un riego de soporte al cereal de invierno, con período de punta en primavera. En este caso, sería poco probable que, en Julio, existiesen el mismo porcentaje de tomas abiertas en ambas zonas.

Los resultados son tratados estadísticamente y presentados en forma de tablas y gráficos, permitiendo analizar de forma sencilla el comportamiento de la red, desde un punto de vista constructivo y/o energético, sin necesidad de abandonar el SIG.

El módulo de análisis energético permite analizar la red y/o sus estaciones de bombeo desde el punto de vista de la eficiencia energética. Sus principales funcionalidades son:

- Determinación de la altura de bombeo óptima en el dimensionamiento de redes de riego bajo inyección directa.
- Aplicación de turnos de riego en redes de riego a demanda con el objetivo de bajar costes energéticos.
- Análisis energético de estaciones de bombeo. Permite simular los costes energéticos y ajustar la programación de las bombas de una estación de bombeo mediante las consignas de arranque/parada y regulación de velocidad.

## **Dimensionamiento de una red de riego a demanda**

### **Planteamiento general**

El diseño de una red de riego puede ser más o menos complicado según su tipología. En este documento nos centraremos en el dimensionamiento de redes de riego estrictamente ramificadas.

El diseño de una red de riego ramificada pasa por diferentes fases, a saber, el trazado de la red, ubicación y parametrización de los puntos de consumo (caudal y presión requeridas), determinación de los caudales de diseño de cada tramo de la red, optimización de los diámetros de las conducciones y, finalmente, el análisis del funcionamiento de la red obtenida. Estas fases, no siempre están bien diferenciadas, y pueden sucederse de forma recursiva e iterativa hasta obtener el diseño final.

El trazado de una red de riego también puede ser considerado como un problema de optimización para minimizar la longitud total de las conducciones. Sin embargo, el trazado suele depender en gran medida de factores externos como la orografía, existencia de caminos, límites de parcelas, etc. que no caben en los criterios de optimización económica a los que haremos referencia.

En concreto, se tratará del dimensionamiento óptimo de redes estrictamente ramificadas, considerando definidos, para simplificar la exposición en este documento, el trazado y la ubicación de los hidrantes.

Partiendo de esta simplificación, el problema de optimización se resume a la determinación del caudal de diseño en cada tramo de la red y posterior determinación de la combinatoria de diámetros y timbrajes que permitan garantizar el caudal y presión requeridos en los hidrantes. Al haber múltiples combinatorias de diámetros que podrían satisfacer los requisitos de caudal y presión, se suelen emplear algoritmos de optimización para identificar la solución económicamente más favorable.

### **Cálculo de los caudales de diseño**

La determinación de los caudales de diseño es el primer paso, antes del dimensionamiento hidráulico de la red. Es una fase crucial ya que si se asumen caudales bajos no se podrán satisfacer adecuadamente las

demandas de los regantes mientras que sí se adoptan caudales muy elevados, se tendrá que construir una red sobredimensionada lo que implica un incremento de costes y riesgo de viabilidad del proyecto.

En el caso de redes de riego a la demanda, cada usuario podrá abrir su toma cuando estime conveniente. El caudal circulante por un tramo será, pues, dependiente del número de tomas abiertas aguas abajo y del caudal derivado por cada toma. Evidentemente, el caudal de diseño que garantizaría el suministro en cualquier circunstancia sería el originado por la apertura de todas las tomas simultáneamente, también denominado *caudal acumulado* ( $Q_{ac}$ ). Sin embargo, en un tramo que domina varias centenas de tomas, esta sería una situación altamente improbable que conduciría a una red muy cara.

Así, el enfoque comúnmente utilizado para la determinación de los caudales de diseño consiste en caracterizar la decisión de la apertura de una toma de riego como una función estadística mediante la cual se puede estimar la probabilidad de tener un determinado número de tomas abierto simultáneamente.

De entre los varios métodos estadísticos existentes, destaca el de la *primera fórmula de Clément (1966)*. A pesar de ser uno de los primeros métodos y de haber sido objeto de mejoras para, teóricamente, ajustar sus resultados a la realidad, continua a ser el más comúnmente utilizado en el diseño de redes de riego a demanda, por su simplicidad de aplicación y suficiente aproximación a la realidad.

El método de la *primera fórmula de Clément* es el método adoptado por SIGOPRAM para el cálculo de los caudales de diseño de redes de riego a demanda

#### *Método de la primera fórmula de Clément*

El cálculo de los caudales de diseño de una red de riego a demanda depende de un estudio agronómico previo, el cual, a partir de las necesidades de riego de la alternativa de cultivos considerada, culmina en la determinación un parámetro fundamental: el *caudal ficticio continuo* ( $Q_{fc}$ ) para el período de punta.

El *caudal ficticio continuo* es el caudal que se debería aportar al cultivo durante el período de punta (considerado normalmente un mes), de forma continua, todos los días, durante 24 horas, para satisfacer sus necesidades de riego. El  $Q_{fc}$  suele definirse en l/s/ha y ya considera la eficiencia de aplicación de los sistemas de riego.

Evidentemente, el  $Q_{fc}$  dependerá de las necesidades de riego (NR) de la alternativa de cultivos para período de punta y estas de las condiciones meteorológicas del año en cuestión. Así, se suelen calcular las NR para una serie de años, tan larga cuanto posible, para permitir un estudio estadístico y obtener unas NR con una determinada probabilidad de ocurrencia (P) de no ser excedidas.

En el diseño de redes de riego se suelen optar por valores de P del orden de 80 a 90%, dependiendo, entre otros, del riesgo tolerado por los cultivos considerados y de la flexibilidad de la gestión prevista. De todas formas, como se puede fácilmente deducir, la decisión del  $Q_{fc}$  tendrá un impacto directo en el dimensionamiento de las conducciones de la red.

Otro concepto fundamental para entender y aplicar el método de Clément es el de *probabilidad de apertura de una toma* ( $p_i$ ).

Como se puede fácilmente entender, la probabilidad de encontrar una toma abierta en un determinado momento depende del mayor o menor tiempo que necesitaría estar abierta para suministrar al cultivo sus NR. Así, es evidente que cuanto mayor sean las NR y menor los caudales nominales de las tomas, más tiempo necesitarán estar en funcionamiento. Lo mismo será decir que la probabilidad de apertura de una toma genérica  $i$  ( $p_i$ ) dependerá de su caudal ficticio continuo ( $Q_{fc}$ ) y de su caudal nominal ( $q_i$ ).

Así, la probabilidad de funcionamiento de una toma ( $p_i$ ) no es más que la relación entre las necesidades de riego del cultivo en un determinado período de tiempo y el volumen que la toma es capaz dotar en ese mismo período. Considerando un período de una semana tenemos:

$$p_i = \frac{Q_{fc} \cdot Sup \cdot 24 \cdot 7}{q_i \cdot HR \cdot DR}$$

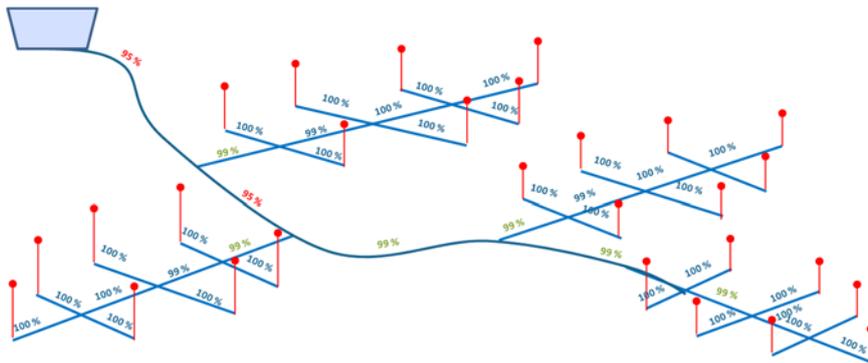
Donde  $p_i$  es la probabilidad de funcionamiento de la toma  $i$ , cuantificada entre [0,1],  $Q_{fc}$  (l/s/ha) es caudal ficticio continuo del cultivo presente en la explotación de riego dominada por la toma  $i$ ,  $Sup$  la superficie de dicha explotación,  $HR$  y  $DR$ , respectivamente, el nº de horas al día y el número de días a la semana que la toma  $i$  puede funcionar.

Otro concepto fundamental es el de *Garantía de Suministro* (GS). Tal como se explicó anteriormente, el caudal de diseño que garantizaría el suministro en cualquier circunstancia sería aquel correspondiente al de todas las tomas abiertas simultáneamente, o sea el caudal acumulado. En los tramos terminales de la red, donde el número de tomas dominado es reducido se puede asumir como bastante probable que todas las tomas se puedan encontrar abiertas. Así, el caudal de diseño de estos tramos se puede (o debe) calcular con una GS = 100%. Como se puede entender, GS representa, pues, el nivel de certeza (o la probabilidad) del caudal de diseño no ser excedido. A medida que nos alejamos de los tramos terminales y buscamos calcular el caudal de diseño de conducciones que dominan un número más elevado de tomas, ya la probabilidad de que todas las tomas dominadas estén abiertas se va reduciendo. El caudal de diseño ya no tiene por que ser el caudal acumulado (GS=100%). En estos casos, dependiendo de la garantía que el proyectista quiera dar a la red, la GS se puede reducir.

A continuación, se presentan valores de GS adoptados normalmente,

Numero de tomas dominadas	Garantía de suministro
Menos de 5 - 10	100%
De 5-10 a 50	99%
Más de 50	95%

La figura siguiente ilustra de forma esquemática un ejemplo de asignación de las garantías de suministro a los diferentes tramos de una red de riego.



Esquema de asignación de las GS en función del número de tomas aguas abajo

Conocidos los caudales de las tomas de riego y sus respectivas probabilidades de apertura, así como el trazado de la red y la garantía de suministro que queramos asociar a cada conducción, podemos empezar a aplicar el método de Clément para el cálculo de los caudales de diseño.

Este consiste, resumidamente, en calcular el caudal según el *Criterio Probabilístico de Simultaneidad de Clément* ( $Q_{Clément}$ ) en cada tramo de la red. El caudal de diseño ( $Q_{diseño}$ ), del tramo será idéntico al caudal de  $Q_{Clément}$  siempre y cuando este no sea superior al caudal acumulado.

Así, el caudal de diseño, de un tramo de la red, viene dado por la siguiente fórmula:

$$Q_{diseño} = \text{Min}(Q_{ac}, Q_{Clément})$$

Donde  $Q_{ac}$  es el caudal acumulado (caudal que circularía por la conducción en el caso de que todas las tomas aguas abajo estuviesen abiertas. Como se verá más adelante,  $Q_{Clément}$  sigue un comportamiento asintótico lo que podrá originar valores superiores a  $Q_{ac}$  de ahí la necesidad de limitar el caudal de diseño al caudal acumulado.

Tomando  $nTom$  como el número de tomas existente aguas abajo del tramo en cuestión y  $q_i$  el caudal en (l/s) de una toma presente aguas abajo, el caudal acumulado ( $Q_{ac}$ ) será:

$$Q_{ac} = \sum_{i=1}^{nTom} q_i$$

Según el planteamiento de Clément, el caudal que circula por una conducción es una variable aleatoria, obtenida como suma de las variables aleatorias binomiales asociada a cada una de las tomas aguas debajo de la conducción en cuestión. Si este número de tomas es elevado, se puede considerar que el caudal que circula por una conducción sigue una distribución normal (Planells, 1999).

Siendo el caudal medio ( $Q_{med}$ ) y la variancia ( $VarQ$ ) dados por,

$$Q_{med} = \sum_{i=1}^{nTom} q_i \cdot p_i$$

$$VarQ = \sum_{i=1}^{nTom} q_i^2 \cdot p_i \cdot (1 - p_i)$$

El  $Q_{Clément}$  viene dado por:

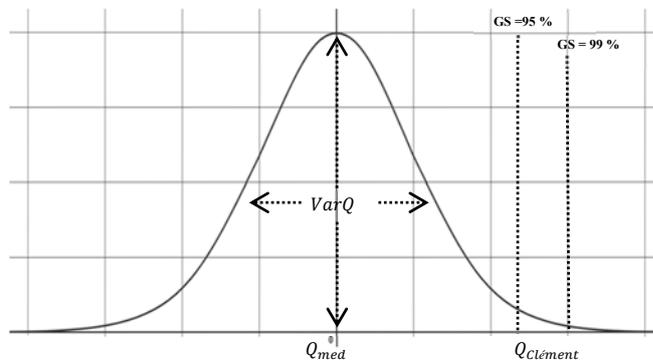
$$Q_{Clément} = Q_{med} + U \cdot \sqrt{VarQ}$$

Donde U es la variable tipificada de una distribución normal  $N(0,1)$  y su valor depende de la GS adoptada y se presentan en la tabla siguiente.

Valores de U en función de la garantía suministro

GS	U
99%	2.33
98%	2.05
97%	1.88
96%	1.75
95%	1.65
94%	1.56
93%	1.48
92%	1.41
91%	1.34
90%	1.28

En resumen, calcular el caudal de Clément consiste en determinar, en cada tramo de la red, la función de densidad de probabilidad según la distribución normal con media en  $Q_{med}$  y  $VarQ$  de variancia y, a partir de aquí, encontrar el valor del caudal del percentil correspondiente a la GS. A continuación, se ilustra este cálculo de forma gráfica.



Esquema para la obtención del caudal probabilístico de Clément a partir de la curva normal

Finalmente, en SIGOPRAM, el caudal de diseño adoptado para una conducción también dependerá del caudal de diseño de las conducciones inmediatamente aguas abajo. La finalidad es que el caudal de diseño de una conducción nunca sea inferior al caudal de diseño de alguna de las conducciones aguas abajo, para garantizar la “telescopicidad” de los caudales de diseño.

Así, considerando  $Q_{diseño_i}$  como el caudal de diseño de una conducción genérica  $i$ , y  $Q_{diseño_{i,n}}$  como el caudal de diseño de la  $n$ -ésima tubería inmediatamente aguas abajo de la tubería  $i$ , el caudal de diseño de la tubería  $i$   $Q_{diseño_i}$  vendrá dado por:

$$Q_{diseño_i} \geq \text{Max}(Q_{diseño_i}, Q_{diseño_{i,1}}, Q_{diseño_{i,2}} \dots, Q_{diseño_{i,n}}).$$

## Presiones de consigna

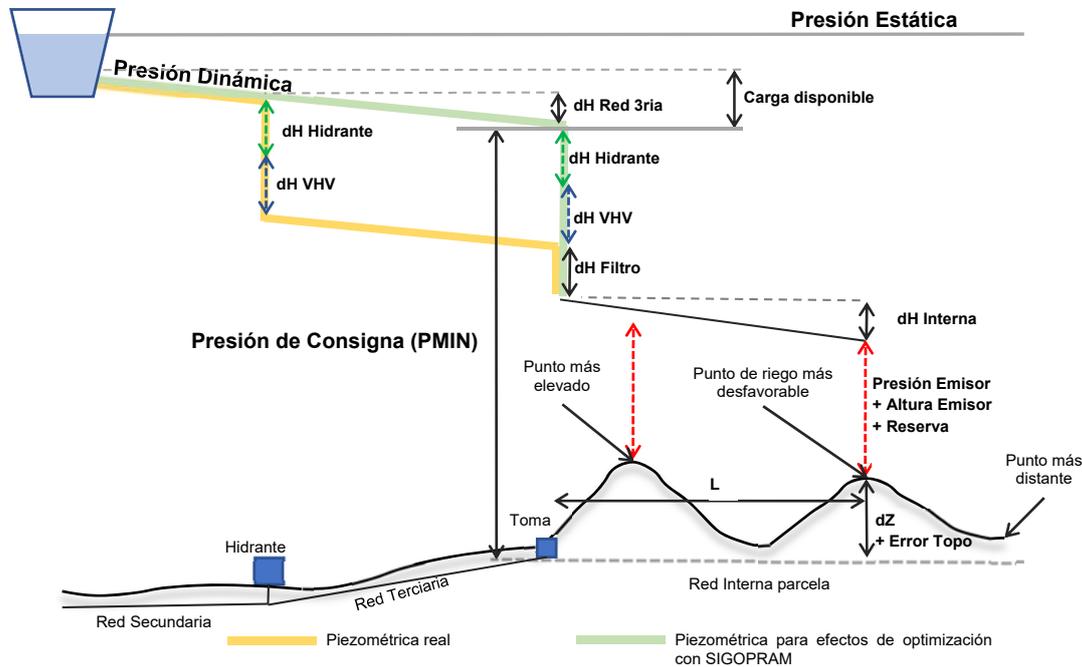
Conocidos los caudales de diseño de las conducciones y los caudales máximos de las tomas, el otro dato fundamental para el diseño de la red de riego es la presión mínima ( $PMin$ ) de funcionamiento de cada toma, también comúnmente designada por presión de consigna. El dimensionamiento de la red de riego dependerá de la carga disponible para hacer llegar el caudal a cada toma, o sea, depende de la diferencia entre la cota piezométrica disponible en cabecera y las cotas piezométricas mínimas exigibles en las tomas de riego.

La presión de consigna de una toma de riego depende de diversos factores, a saber, la presión de servicio de los emisores (aspersores o goteros), el desnivel topográfico entre la toma y el punto de riego más desfavorable, pérdidas de carga singulares de los sistemas de filtrado, pérdidas de carga del sistema de riego en el interior de la parcela, etc.

Así mismo, los elementos tomados en consideración por SIGOPRAM para estimar la  $PMin$  de una toma son:

- **Presión Emisor:** presión de funcionamiento en metros de los emisores del sistema de riego;
- **Altura Emisor:** altura al suelo de los emisores del sistema de riego;
- **dH Hidrante:** pérdida de carga estimada en metros del filtro caza piedras, válvula de comporta ubicados en el hidrante;
- **dH Reserva:** pérdida de carga en metros extra a considerar;
- **dH VHV:** pérdida de carga estimada en metros provocada por la válvula hidráulica volumétrica;
- **dH Filtro:** pérdida de carga estimada en metros del sistema de filtrado de la instalación de riego y o de la toma de riego;
- **Err Topográfico:** altura estimada en metros del error altimétrico de la cartografía;
- **J Interna:** estimación de la pérdida de carga lineal en m/m del sistema de riego interno de la parcela. Se utiliza este parámetro para estimar la pérdida de carga del sistema de riego interno desde la toma hasta el punto más desfavorable de la parcela (dH Interna);
- **dZ:** desnivel entre la toma de riego y el punto más desfavorable de la parcela.

Algunos de estos elementos ejercen su pérdida de carga en el hidrante, o sea aguas arriba de la toma. Es importante referir que SIGOPRAM, por cuestiones de simplicidad de entrada de datos, y a efectos del dimensionamiento de las conducciones, considera todos los requerimientos de presión y pérdidas de carga del sistema hidrante/toma en la toma. Así, el esquema de pérdidas de carga considerado por SIGOPRAM, a efectos de optimización del diámetro de las conducciones, es el representado en la figura siguiente.



Esquema de cálculo de la presión de consigna en SIGOPRAM

Referir también que SIGOPRAM modela las redes de riego considerando la red terciaria. Como red terciaria se entiende la red de conducciones que dirige el agua desde el hidrante hasta las tomas de los agricultores. (En el caso que la toma esté colocada junto al hidrante el usuario deberá dibujar una tubería terciaria con una longitud muy corta).

De entre los elementos intervinientes en el cálculo de la presión de consigna de una toma, hay dos que dependen de la ubicación del punto de riego más desfavorable dentro de la parcela (punto crítico). Son ellos la  $dH$  Interna y  $dZ$ . Dado el número relativamente elevado de parcelas que suele existir en una red de riego colectiva, es/era frecuente simplificar la estimación de las  $PMin$ , asignando un mismo valor a todas las tomas, o agrupar las tomas en función de la superficie dominada y asignar una  $PMin$  a cada grupo. Del mismo modo, cuando se pretendía entrar en consideración con la ubicación del punto crítico se solía simplificar el problema considerando como punto crítico el más desfavorable de entre los puntos más lejano y alto de la parcela. Esto no siempre es correcto ya que, tal como se ilustra en la figura anterior, no siempre uno de estos puntos es el más crítico. Puede suceder que el punto más elevado esté relativamente cerca de la toma y/o que el punto más lejano esté relativamente bajo haciendo que el punto crítico esté en una zona medianamente alta y lejana a la vez. Así mismo, al trabajar con las parcelas en 3D, SIGOPRAM permite identificar el punto crítico de cada toma de forma automática. En la siguiente figura, se ilustra un ejemplo de parcelas cuyos puntos críticos no están ubicados en el punto más lejano o elevado.



Pantallazo de SIGOPRAM donde se refleja la ubicación de hidrantes, tomas y respectivos puntos críticos

Así mismo, considerando  $L$  y  $dZ$  respectivamente la distancia y el desnivel entra la toma y el punto crítico y  $J$  la pérdida de carga en m/m estimada para el sistema de riego, la pérdida de carga total interna en la Parcela viene dada por:

$$dH_{Parcela} = dZ + L \cdot J$$

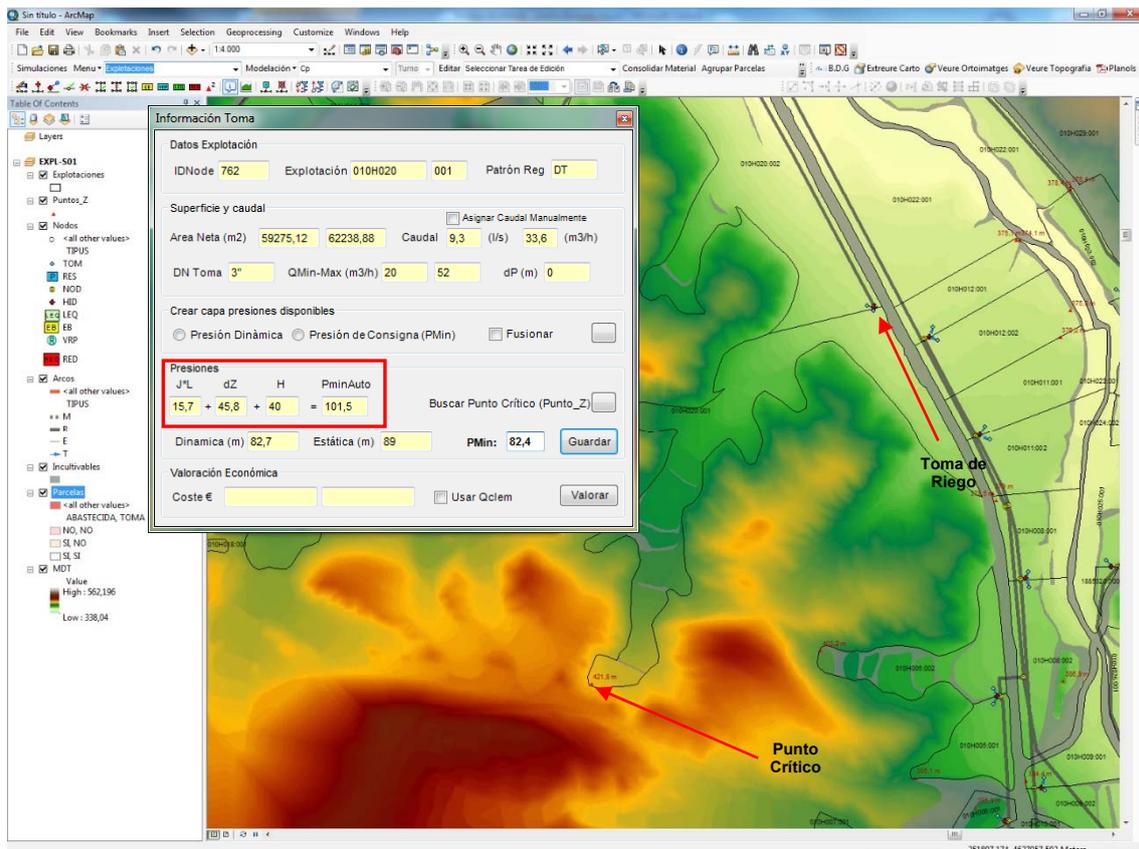
Considerando  $H$  como las presiones requeridas y pérdidas de carga de los demás elementos,  $PMin$  será:

$$PMin = dH_{Parcela} + H$$

Donde  $H$  es corresponde a la suma de *Presión Emisor*, *Altura Emisor*,  $dH$  *Hidrante*,  $dH$  *Reserva*,  $dH$  *VHV*,  $dH$  *Filtro*, y *Err Topográfico*.

En la siguiente figura se enseña un pantallazo de la aplicación SIGOPRAM donde se puede ver la ventana de dialogo para definición de las tomas de riego. Se destaca los resultados del cálculo de la presión de consigna necesaria para llegar al punto crítico de la parcela. El ejemplo refleja una parcela con un desnivel de 45,8 m y una pérdida de carga interna estimada de 15,7 metros lo que según los datos introducido por el usuario originaría una presión de consigna teórica ( $PMinAuto$ ) de 101,5m. El usuario no está obligado a tomar este valor como presión de consigna a utilizar en el dimensionamiento.

Así mismo, el usuario, puede evaluar, fácilmente, el impacto de esta presión elevada en el coste global de la red, o reubicar el punto crítico en una zona más cercana y recalcular la presión de consigna o simplemente rebajar el valor a otro que considere más conveniente (en la figura se observa que el usuario ha decidido rebajar la presión requerida a 82,4 m). La figura también permite ilustrar las ventajas del entorno de trabajo SIG. Se pueden apreciar las diferentes capas de información geográfica (modelo de elevaciones, parcelas, tuberías, hidrantes, etc.)



*Pantallazo de la ventana de dialogo de SIGOPRAM para la introducción de la presión de consigna de las tomas de riego*

## Velocidades de diseño

Otro aspecto que afecta al dimensionamiento hidráulico de una red de riego son las velocidades mínimas y máximas de diseño admisibles. Considerando estrictamente el problema de optimización de los diámetros de la red, y sabiendo que la velocidad está directamente relacionada con la pérdida de carga, no sería necesario restringir la velocidad entre un valor de mínimo y máximo ya que, por un lado, la propia carga disponible limitaría las velocidades máximas de circulación y, por otro, la búsqueda de la solución óptima tendría a reducirlos y, por lo tanto, a aumentar la velocidad.

Sin embargo, la velocidad de diseño puede tener otros efectos que es importante tomar en consideración como sean, la posibilidad de originar problemas de sedimentación para velocidades muy bajas, o riesgo de ataque físico o de sobre presiones, derivadas de posibles golpes de ariete, si la velocidad es muy elevada (CEDEX, 2002).

Así, es frecuente limitar las velocidades mínimas y máximas de diseño de las conducciones a valores, respectivamente, de 0,5 y un valor próximo a 3 m/s dependiendo del diámetro interior de la tubería. A continuación, se presentan valores orientativos de la velocidad máxima de diseño de una conducción en función de su diseño.

ID	V (m/s)	V (m/s)
	(Clement-Galand, 1979)	(Granados, 1986)
100	1,80	2,00
125	1,85	2,00
150	1,95	2,00
200	2,05	2,00
250	2,15	2,00
300	2,25	2,10
350	2,30	2,20
400	2,50	2,30
450	2,85	2,40
500	2,85	2,50
600	3,10	2,60
700	3,10	2,70
800	3,10	2,80
900	3,10	2,90
1.000	3,10	3,00
>1.000		2 + DN (en m)

Aparte de los referidos anteriormente, hay otros aspectos a tener en cuenta en la definición de la velocidad máxima de diseño tales como, la ubicación de la conducción dentro de la red y mayor riesgo de originar déficits de presión por exceso de velocidad.

Tal como se expuso anteriormente, a mayor velocidad de circulación del agua mayor el riesgo a sobre presiones derivadas del golpe de ariete. Así mismo, las conducciones ubicadas en los tramos terminales de la red, al dominar un número reducido de tomas, tienen más probabilidad de sufrir un corte repentino de caudal que las conducciones situadas aguas arriba. Así, para un mismo DN de la conducción se pueden reducir las velocidades máximas de diseño de las conducciones terminales.

Por otro lado, si se asumen velocidades de diseño elevadas, y siendo el caudal de diseño un caudal probabilístico teórico, es de admitir que el caudal real que circulará por la tubería durante la explotación de la red difiera del caudal de diseño. Para un mismo incremento de la velocidad de circulación del agua sobre la velocidad de diseño, el incremento de la pérdida de carga será más pronunciado en las conducciones con velocidades de diseño más elevadas, lo que podrá repercutir en posibles déficits de presión en las tomas aguas abajo. (Ver capítulo “Análisis de la red”)

En SIGOPRAM las restricciones de la velocidad de diseño se pueden definir tanto en las características de las tuberías, como, en planta, sobre las conducciones.

## Optimización de los diámetros

Conocidos el trazado de la red, el caudal de diseño de sus tramos, y el caudal y presión requeridas en las tomas, quedan por definir los diámetros de las tuberías. Existe un número prácticamente ilimitado de combinatorias de diámetros que resultarían, desde un punto de vista hidráulico, en redes técnicamente válidas. La optimización consistirá en determinar la combinatoria más económica.

Cuando existe la necesidad de aportar energía al sistema (problema con cota de cabecera desconocida), será necesario determinar también la altura de bombeo, de modo que la suma del coste de amortización de las tuberías y el coste energético sea el mínimo.

Existen diferentes métodos y técnicas para resolución del problema de optimización planteado. Dependiendo de cómo intervienen los diámetros en la formulación del problema de optimización, estos se pueden clasificar en dos tipos; de diámetros continuos y discretos (Perez, R, 1993).

SIGOPRAM utiliza un modelo de programación lineal continuo de diámetros discretos, ya que en su formulación utiliza los diámetros comerciales (discretos) pero la incógnita es la longitud (variable continua) de cada uno de estos dentro de cada tramo de la red.

La formulación del modelo PL en SIGOPRAM es la siguiente:

Se parte de una red de riego constituida por  $n$  tramos, cuya altura manométrica a cabecera, conocida, es  $H_0$ . La red pose  $k$  tomas cada cual con su presión de consigna ( $P_{Min}$ ). Sumada la cota de la toma a su presión se consigna se obtiene una altura manométrica mínima requerida en cada toma que designaremos por  $H_k$ .

Así mismo, la pérdida de carga máxima admisible en el recorrido del agua desde la cabecera de la red hacia una toma genérica  $k$  será  $H_0 - H_k$ .

Considerando  $S_k$  como el conjunto de tramos del recorrido del agua desde la cabecera hacia la toma  $k$ , tenemos que el sumatorio de la pérdida de carga de todos los tramos deberá ser inferior a la carga disponible del recorrido.

$$\sum_{i \in S_k} h_i \leq H_0 - H_k = \Delta H_k$$

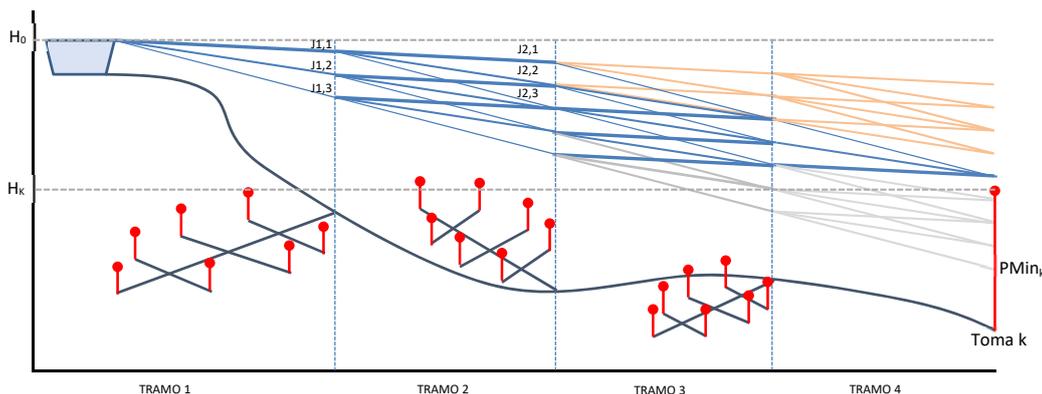
Donde  $h_i$  es la pérdida de carga del tramo  $i$ , y  $\Delta H_k$  la pérdida de carga máxima admisible en el recorrido cabecera – toma  $k$ . A este primero conjunto de restricciones llamaremos restricciones hidráulicas.

La formulación del problema en PL con SIGOPRAM exige que el usuario defina un conjunto de tuberías con sus características. A este conjunto denominaremos “gama de tuberías” y representan aquellas con las cuales se jugará en el proceso de optimización.

Conocidos, de cada tramo, el caudal de diseño, y la presión estática a la que estará sometido (mayor diferencia de cota entre sus nodos extremos y la piezométrica máxima a cabecera) es posible seleccionar, de la gama de tuberías, aquellas que cumplen con las restricciones de velocidad mínima y máxima del tramo, así como su timbraje. A este conjunto de tuberías se designará “tuberías candidatas” o “DNs candidatos”.

La figura siguiente ilustra de forma esquemática el problema de optimización, destacando una de las  $k$  restricciones hidráulicas. Se representa un recorrido hipotético hacia una toma  $k$ , que transcurre por 4 tramos, cada cual con 3 tuberías candidatas. En cada tramo se pueden observar las pérdidas de carga de cada tubería candidata mediante 3 líneas con diferentes pendientes. (J1,2 representa la pérdida de carga de DN candidato nº 2 en el tramo 1). La pendiente da cada línea representa la pérdida de carga unitaria de cada DN candidato de cada tramo. Las líneas de mayor pendiente representan las tuberías candidatas de menor DN (más económicas) y las líneas más horizontales las de mayor diámetro (más caros). Como se puede observar, hay varias combinatorias posibles de DNs que permiten llega a la toma  $k$  con una presión superior a  $P_{Min}$  (combinatorias de líneas azules y/o naranjas) pero no es evidente cuál de ellas es la más económica.

Esquema donde se ilustra la existencia de varias soluciones hidráulica para el dimensionamiento de una tubería



Sin embargo, el esquema anterior no refleja correctamente un aspecto fundamental del método de optimización por programación lineal. Al contrario de lo que da a entender el esquema, las incógnitas del problema en PL no son la tubería candidata a asignar a cada tramo, sino la longitud parcial de cada tubería candidata a asignar en cada tramo.

Así, como restricción añadida se deberá cumplir que la suma de las longitudes parciales de cada tubería candidata en el tramo sea igual a la longitud total del tramo. Considerando  $L_i$  como la longitud total del tramo  $i$  y  $L_{i,j}$  como la longitud parcial de la tubería candidata  $j$  en tramo  $i$ , las restricciones geométricas se pueden ecuacionar de la siguiente manera:

$$L_i = \sum_{j=1}^{ND} L_{i,j}$$

Donde ND es el número de tuberías candidatas del tramo.

La correspondiente pérdida de carga en el tramo  $i$  vendrá dada por:

$$h_i = \sum_{j=1}^{ND} L_{i,j} \cdot J_{i,j}$$

Donde  $J_{i,j}$  representa la pérdida de carga unitaria de la tubería candidata  $j$  del tramo  $i$

Así mismo, habrá que añadir restricciones de no negatividad ya que longitudes negativas no tienen sentido físico.

$$L_{i,j} > 0 \quad \forall i,j$$

Finalmente cabrá añadir la función objetivo del coste a minimizar. El coste global de una red con NT tramos será dada por.

$$C_t = \sum_i^{NT} \sum_j^{ND} C_{i,j} \cdot L_{i,j}$$

Donde  $C_{i,j}$  representa el coste de la tubería candidata  $j$  del tramo  $i$ .

Matricialmente, considerando NK como el numero de tomas de la red, el problema se puede representar de la siguiente forma (sin representar las restricciones de no negatividad):

Longitudes	Tramo 1					Tramo $i$					Tramo $NT$					Incógnitas			
	$L_{1,1}$	(...)	$L_{1,j}$	(...)	$L_{1,ND}$	(...)	$L_{i,1}$	(...)	$L_{i,j}$	(...)	$L_{i,ND}$	(...)	$L_{NT,1}$	(...)	$L_{NT,j}$		(...)	$L_{NT,ND}$	
Toma 1	$J_{1,1}$	(...)	$J_{1,j}$	(...)	$J_{1,ND}$	(...)	$J_{i,1}$	(...)	$J_{i,j}$	(...)	$J_{i,ND}$	(...)	$J_{NT,1}$	(...)	$J_{NT,j}$	(...)	$J_{NT,ND}$	$\leq \Delta H_1$	Restricciones Hidráulicas
(...)																		$\leq$ (...)	
Toma $k$	$J_{1,1}$	(...)	$J_{1,j}$	(...)	$J_{1,ND}$	(...)	$J_{i,1}$	(...)	$J_{i,j}$	(...)	$J_{i,ND}$	(...)	$J_{NT,1}$	(...)	$J_{NT,j}$	(...)	$J_{NT,ND}$	$\leq \Delta H_k$	
(...)																		$\leq$ (...)	
Toma $NK$	$J_{1,1}$	(...)	$J_{1,j}$	(...)	$J_{1,ND}$	(...)	$J_{i,1}$	(...)	$J_{i,j}$	(...)	$J_{i,ND}$	(...)	$J_{NT,1}$	(...)	$J_{NT,j}$	(...)	$J_{NT,ND}$	$\leq \Delta H_{NK}$	
Tramo 1	1	(...)	1	(...)	1	(...)	0	(...)	0	(...)	0	(...)	0	(...)	0	(...)	0	$= L_1$	Restricciones Geométricas
(...)																		$=$ (...)	
Tramo $i$	0	(...)	0	(...)	0	(...)	1	(...)	1	(...)	1	(...)	0	(...)	0	(...)	0	$= L_i$	
(...)																		$=$ (...)	
Tramo $NT$	0	(...)	0	(...)	0	(...)	0	(...)	0	(...)	0	(...)	1	(...)	1	(...)	1	$= L_{NT}$	
Minimizar	$C_{1,1}$	(...)	$C_{1,j}$	(...)	$C_{1,ND}$	(...)	$C_{i,1}$	(...)	$C_{i,j}$	(...)	$C_{i,ND}$	(...)	$C_{NT,1}$	(...)	$C_{NT,j}$	(...)	$C_{NT,ND}$	Min()	Función Objetivo

Hay que recordar que cada línea de las restricciones hidráulicas representa un recorrido del agua desde cabecera hacia una toma. Así,  $J$  solo tendrá valor diferente de 0 en las columnas relativas a los tramos que pertenecen al recorrido.

## Análisis de la red

Una vez obtenido el dimensionamiento de la red se debe proceder a la comprobación de su robustez sometiéndola a diferentes "pruebas de carga". Estas se pueden realizar en SIGOPRAM mediante la simulación hidráulica de la red con múltiples escenarios de aperturas de tomas. Este análisis será más importante cuanto más altas sean las velocidades de diseño admitidas en la fase de optimización o dimensionamiento.

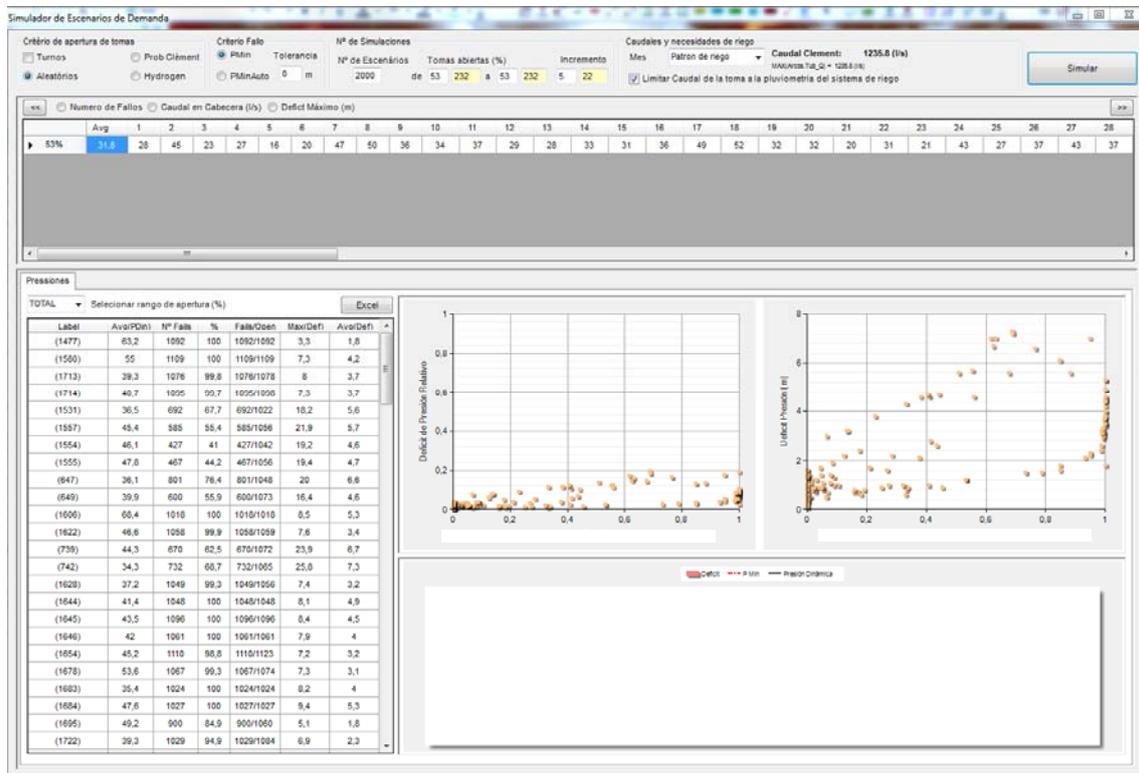
El proceso de análisis de una red de riego con SIGOPRAM sigue las siguientes fases:

- Buscar el coeficiente de simultaneidad de la red. En la práctica correspondería a determinar el porcentaje de tomas abiertas que origina el caudal de diseño a cabecera o ligeramente superior
- Decidir sobre el criterio de apertura de tomas a utilizar (aleatorios o estocásticos).
- Realizar un número elevado de simulaciones con el criterio y porcentaje de apertura establecido. El número de simulaciones dependerá del número de tomas de la red.
- Analizar los resultados de la simulación y corregir, en caso de necesidad, su diseño.

A continuación, se ilustra el análisis de una red de riego en SIGOPRAM con un ejemplo.

Se ilustra el caso del análisis de una red de riego dimensionada con velocidades de diseño hasta 2,5 m/s donde, al contrario de lo que nos indicaría el sentido común, se detecta que las tomas que presentan mayor riesgo de déficit de presión se sitúan en las zonas más bajas de la red.

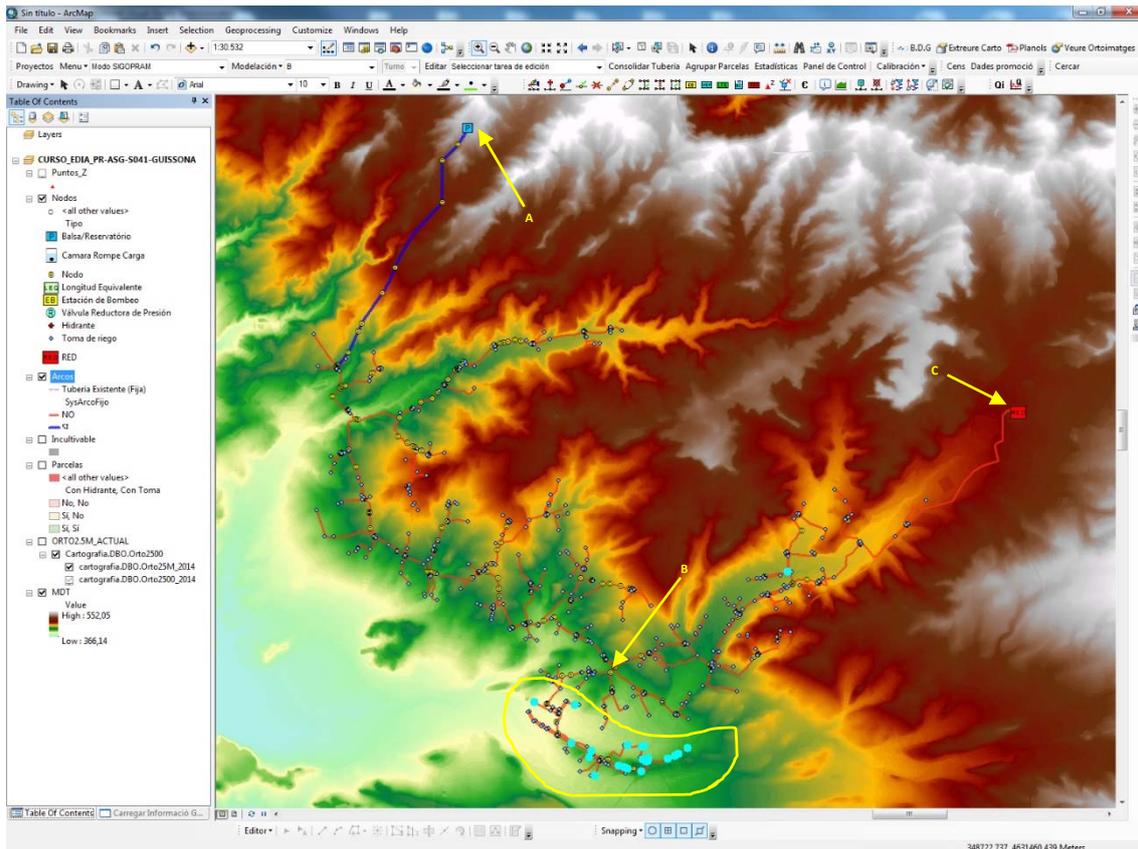
La primera figura muestra la ventana de simulación de SIGOPRAM. Se puede ver en la parte superior que el usuario ha decidido simular 2000 escenarios con 53% de las tomas abiertas. El porcentaje de tomas abiertas fue el que usuario ha considerado como el que se acerca al caudal de diseño y lo supera ligeramente.



Ventana de simulación hidráulica de SIGOPRAM

En las gráficas, cada punto representa una toma con déficit de presión. En abscisas se representa el porcentaje de fallos. O sea, el número de veces que la toma no ha recibido la presión suficiente sobre el número de veces que se ha abierto. En ordenadas se representa el promedio de las magnitudes del déficit de presión, en valores relativos a la izquierda y valores absolutos (m) a la derecha. Como se puede observar se trata una red cuyo dimensionado debe ser claramente mejorado ya que hay tomas que presentan déficit de presión en prácticamente todos los escenarios.

Al trabajar en un entorno, SIGOPRAM puede responder a preguntas del tipo “donde están localizadas las tomas que presentarán mayor déficit”. Se representa el resultado de esta esta consulta en la figura a continuación.



*Representación de una red de riego en SIGOPRAM, sobre Modelo Digital del Terreno señalando las tomas con mayor riesgo de déficit en la zona más baja de la red*

Tal como se puede observar, la mayoría de las tomas que presentan los principales problemas de presión están situadas en la parte baja de la red (perímetro señalado en amarillo aguas abajo del punto B).

¿Como se explica que la parte más baja la red (donde teóricamente hay más presión) presente más riesgo de sufrir problemas de déficit de presión?

El punto C está lejos del nodo cabecera (punto A) y bastante elevado por lo que constituye un punto crítico de la red. De este modo, el optimizador no dispone de mucha energía para reducir diámetros a lo largo del recorrido A-C. De este modo, en la derivación marcada con el punto “B” se encuentra una zona con mucha carga disponible. Consecuentemente el optimizador reduce el diámetro de las tuberías para reducir el coste la red aprovechando el exceso de presión disponible. Como consecuencia, aguas abajo de la derivación B, se obtuvieron velocidades de diseño altas, en general superiores a 2 m/s. Como la pérdida de carga tiene una relación cuadrática con la velocidad, cualquier situación donde el caudal real supere el caudal de diseño hará que la velocidad de circulación incremente por encima de valores ya relativamente elevados haciendo disparar la pérdida de carga.

Una posible forma de solucionar rápidamente este problema con SIGOPRAM, sería seleccionar los tramos aguas abajo del punto B y limitar la velocidad de diseño a un valor más reducido y volver a dimensionar y a simular la red hasta obtener la robustez adecuada. Todo esto se puede realizar de una forma muy rápida y ágil, sin necesidad de salir de SIGOPRAM.

Se trata de un buen ejemplo que ilustra la utilidad y las ventajas de utilizar un software como SIGOPRAM para conseguir redes de riego robustas y bien diseñadas.

## Conclusiones

Uno de los inconvenientes tradicionalmente referidos en la bibliografía sobre la utilización de programación lineal (PL) con diámetros discretos para el dimensionamiento óptimo de redes de riego, residía en la gran cantidad de datos que maneja y en el tedioso proceso que suponía la introducción de estos en algún paquete

informático de PL capaz de ensamblar el problema. SIGOPRAM demuestra que la tecnología actual ya permite abordar la problemática mediante PL y, además, de una forma muy cómoda y práctica.

Así mismo, SIGOPRAM también dispone de las herramientas y algoritmos necesarios para analizar el funcionamiento de una red de riego a través de la simulación hidráulica de múltiples escenarios de apertura de tomas. El proceso de simulación implica numerosas llamadas al motor de cálculo de EPANET que, en SIGOPRAM, se hacen de forma totalmente invisible al usuario.

No existe en el mercado un software que permita abordar todo el ciclo de vida de un proyecto hidroagrícola en el entorno de trabajo idóneo para ello, el SIG. Un entorno de trabajo, que permite cruzar información del modelo hidráulico, información cartográfica, imágenes aéreas, parcelarios de riego, dibujos CAD, etc. SIGOPRAM dispone de las herramientas específicas para diseñar y optimizar redes de riego colectivas complejas de forma rápida ordenada y expedita.

SIGOPRAM reduce de forma sustancial el tiempo necesario para el diseño de una red de riego. Las cotas, longitudes de las tuberías, superficie regable de las parcelas y presiones de consigna de las tomas, etc. son determinadas de forma automática, evitándose la tediosa labor de introducción manual de estos datos y/o el proceso de migración desde AutoCad u otros programas de dibujo.

Por otro lado, como todo el ciclo del proyecto (trazado, dimensionamiento y análisis) se desarrolla en el mismo entorno, se evita la necesidad de la creación de ficheros de intercambio entre diferentes softwares.

Con SIGOPRAM toda la información de la red/proyecto, gráfica y alfanumérica, queda almacenada dentro de una única base de datos SIG. Este hecho facilita sobre manera la gestión de la información. Es especialmente útil para empresas/organismos que lleven a cabo, directa o indirectamente, el proyecto, obra y/o gestión de varias redes de riego.

SIGOPRAM facilita el mantenimiento actualizado de los modelos hidráulicos de las redes de riego durante su fase de explotación, permitiendo no solo mejorar la tomada de decisiones, así como facilitar la comprobación/calibración de los modelos hidráulicos mediante la comparación de los datos reales con los resultados simulados.

Todo ello, dota a SIGOPRAM de una gran versatilidad y agilidad para el cálculo de redes de riego presurizadas complejas, lo que se traduce en un considerable ahorro de tiempo, mejora de la eficiencia y mayor calidad del trabajo.

## **Referencia bibliográficas**

CEDEX. “Guía Técnica sobre tuberías para el transporte de agua a presión. 3ª Edición”. Madrid, 2002.

Clément, R. “Calcul des débits dans les réseaux d’irrigation fonctionnant à la demande.” Houille Blanche, 1996.

Grupo FluIng. “DIOPRAM. Diseño Óptimo de Redes Ramificadas 3.0. Manual de Usuario.” Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, 2003.

Pérez, R. “Dimensionamiento óptimo de redes de distribución de agua ramificadas considerando los elementos de regulación. Tesis Doctoral”. Valencia, 1993.

Rossman, L.A. “EPANET2. Users Manual”. Water Supply and Water Resources Division. United States Environmental Protection Agency. Cincinnati, OH, 2000

---

## APÉNDICE Nº 2 LISTADO DE HIDRANTES

IDNode	TIPUS	X (m)	Y (m)	Z (m)	NOD_Pdinamic a (mca)	NOD_Pestatica (mca)	NOD_Q (l/s)	EN_Pres (mca)	Ramal
280	HID	269.696,58	4.718.090,90	906,01001	52,49	56,95	25	61,42	
282	HID	269.569,46	4.718.248,11	907,890015	50,69	55,07	25	61,32	T-1-3
284	HID	269.738,51	4.718.325,89	910,828979	49,73	52,13	25	61,32	
286	HID	269.137,75	4.718.219,43	876,984009	68,81	85,98	25	59,02	T-1-9
288	HID	269.859,50	4.720.891,87	883,244019	59,84	79,72	25	48,90	T-1-2
290	HID	269.680,69	4.720.987,37	882,172974	57,41	80,79	25	58,41	T-1
292	HID	269.714,08	4.720.979,29	881,981995	57,92	80,98	25	58,39	
294	HID	269.649,01	4.720.742,95	881,164001	61,77	81,80	25	59,27	
296	HID	269.590,28	4.720.530,11	880,335999	64,55	82,63	25	59,53	
298	HID	269.871,14	4.720.478,40	883,033997	64,34	79,93	25	53,19	
300	HID	269.853,61	4.720.398,96	882,729004	65,75	80,23	25	54,30	
302	HID	269.435,90	4.720.161,24	878,255981	67,30	84,71	25	60,32	T-1-11
304	HID	269.828,02	4.720.183,92	883,80603	66,45	79,16	25	56,22	
306	HID	269.513,00	4.720.254,22	879,29303	69,90	83,67	25	59,55	
308	HID	269.814,53	4.720.192,91	881,708008	68,69	81,26	25	56,22	
310	HID	269.554,88	4.719.973,22	878,903992	73,13	84,06	25	59,69	
312	HID	269.527,13	4.719.840,44	878,146973	74,74	84,82	25	59,57	
314	HID	269.862,51	4.719.841,53	882,052002	71,67	80,91	25	57,28	
316	HID	269.339,05	4.719.882,07	877,367981	71,29	85,60	25	60,32	
318	HID	269.705,86	4.719.398,85	880,53302	76,63	82,43	25	59,59	
320	HID	269.723,59	4.719.391,48	881,609009	75,45	81,35	25	59,64	
322	HID	269.442,57	4.719.611,79	877,197021	77,52	85,77	25	59,74	
324	HID	269.648,49	4.719.184,61	878,796997	79,90	84,17	25	60,20	
326	HID	269.429,06	4.719.616,00	877,392029	77,42	85,57	25	59,83	
328	HID	269.356,69	4.719.384,51	876,622009	79,87	86,34	25	60,12	
330	HID	269.342,77	4.719.390,00	876,577026	80,01	86,39	25	60,09	
332	HID	269.632,87	4.719.187,78	878,546997	80,28	84,42	25	60,35	
334	HID	269.581,57	4.719.003,70	877,156982	80,79	85,81	25	60,55	
336	HID	269.054,28	4.719.131,66	873,776001	80,02	89,19	25	60,32	T-1-11-1
338	HID	269.267,05	4.719.138,80	875,554016	80,90	87,41	25	60,21	
340	HID	269.191,65	4.718.953,59	874,736023	80,24	88,23	25	60,07	
342	HID	269.210,02	4.719.052,37	875,132996	80,74	87,83	25	60,09	
344	HID	269.485,84	4.718.794,78	875,741028	80,67	87,22	25	60,54	
346	HID	269.486,98	4.718.751,46	876,28302	79,42	86,68	25	60,54	
348	HID	269.112,24	4.718.762,66	873,820007	79,74	89,14	25	59,92	
350	HID	269.067,25	4.718.693,73	873,497986	78,89	89,47	25	59,81	
352	HID	269.407,64	4.718.587,20	876,096008	78,08	86,87	25	60,51	
354	HID	269.853,15	4.718.697,71	910,729004	50,81	52,23	25	61,15	
356	HID	269.870,90	4.718.689,25	911,044006	50,55	51,92	25	61,15	
358	HID	269.712,83	4.718.513,44	910,690002	50,21	52,27	25	61,23	T-1-5
360	HID	269.036,62	4.718.564,25	873,653992	77,46	89,31	25	59,61	
362	HID	268.987,33	4.718.433,42	873,804016	75,59	89,16	25	59,51	
364	HID	269.228,47	4.718.354,12	875,85199	73,82	87,11	25	60,34	T-1-7
366	HID	269.243,55	4.718.345,39	876,218994	73,52	86,74	25	60,32	
368	HID	270.114,54	4.717.751,37	912,585999	49,81	50,38	25	61,66	
370	HID	269.723,58	4.717.506,79	906,362	52,45	56,60	25	61,76	
372	HID	269.428,53	4.717.237,52	901,301025	54,60	61,66	25	61,78	
374	HID	270.037,24	4.717.388,95	906,440979	56,27	56,52	35	61,86	
376	HID	269.763,65	4.717.440,04	907,603027	51,86	55,36	25	61,86	
378	HID	269.608,79	4.717.402,46	904,336975	53,59	58,63	25	61,79	
380	HID	270.180,93	4.717.151,43	904,268005	57,31	58,70	35	61,98	T-2-1
382	HID	270.064,53	4.716.949,21	900,590027	61,36	62,37	25	61,98	
384	HID	269.886,45	4.717.258,87	904,309021	56,75	58,65	35	61,95	
386	HID	270.044,55	4.716.942,62	899,945007	62,15	63,02	35	61,98	
390	HID	269.074,22	4.717.140,54	898,031006	54,17	64,93	25	61,51	
392	HID	269.105,91	4.717.143,71	900,393982	52,12	62,57	25	61,51	
394	HID	269.442,28	4.717.215,24	901,234985	54,81	61,73	25	61,71	
396	HID	269.285,65	4.717.062,84	900,23999	54,21	62,72	25	61,74	
398	HID	268.960,67	4.716.994,14	896,357971	54,33	66,61	25	61,58	
400	HID	268.963,44	4.716.992,40	896,460999	54,24	66,50	25	61,58	
402	HID	268.849,50	4.716.861,16	895,111023	53,82	67,85	25	61,58	T-2-2-2
404	HID	269.070,67	4.716.873,29	895,885986	57,69	67,08	25	61,74	
414	HID	268.480,11	4.716.261,81	891,705994	52,56	71,26	35	60,63	
416	HID	268.503,37	4.716.262,35	893,05603	51,16	69,91	35	60,63	
418	HID	268.755,17	4.716.725,98	893,781006	59,38	69,18	25	61,69	
420	HID	269.089,93	4.716.635,29	894,224976	52,81	68,74	25	61,85	T-2-8
422	HID	269.128,00	4.716.607,30	894,028992	53,22	68,93	35	61,85	
424	HID	269.560,16	4.716.773,00	896,655029	55,12	66,31	35	61,94	T-2-6
426	HID	269.152,08	4.716.254,73	892,508972	56,30	70,45	35	61,85	
428	HID	269.105,88	4.716.469,99	893,159973	54,95	69,80	35	61,85	
430	HID	269.874,05	4.716.796,76	899,28302	57,66	63,68	35	61,96	
432	HID	269.686,94	4.717.058,84	903,065002	47,74	59,90	35	61,96	T-2-4
434	HID	269.733,25	4.716.539,26	894,616028	62,77	68,35	35	61,94	
436	HID	270.145,82	4.716.652,40	897,901978	62,45	65,06	25	61,97	
438	HID	270.165,32	4.716.658,75	900,106018	59,91	62,86	35	61,97	
440	HID	270.282,79	4.716.397,98	899,224976	55,78	63,74	35	61,97	

IDNode	TIPUS	X (m)	Y (m)	Z (m)	NOD_Pdinamic a (mca)	NOD_Pestatica (mca)	NOD_Q (l/s)	EN_Pres (mca)	Ramal
442	HID	270.263,35	4.716.390,05	898,656982	56,68	64,31	25	61,97	
444	HID	269.988,84	4.716.471,40	895,56897	63,61	67,39	25	61,83	
446	HID	270.143,59	4.716.249,75	895,375	61,84	67,59	25	61,58	
454	HID	269.762,66	4.716.282,01	894,508972	64,10	68,45	25	61,93	
456	HID	269.183,16	4.715.980,84	891,346008	60,85	71,62	35	61,85	
458	HID	269.792,85	4.716.009,28	893,093018	64,32	69,87	35	61,92	
460	HID	269.737,67	4.716.236,24	892,619019	66,11	70,34	35	61,93	
462	HID	269.765,11	4.715.959,62	891,127014	66,65	71,84	35	61,87	
464	HID	270.134,00	4.715.767,37	891,179993	60,81	71,78	35	61,25	
466	HID	269.813,44	4.715.719,67	890,030029	66,58	72,93	35	61,65	
468	HID	269.215,50	4.715.735,51	890,02002	65,20	72,94	35	61,86	
470	HID	269.238,67	4.715.462,96	888,997009	66,01	73,97	35	61,86	
472	HID	269.850,33	4.715.473,33	889,22699	66,24	73,74	35	61,03	
474	HID	269.792,81	4.715.717,11	890,031982	66,91	72,93	35	61,65	
476	HID	269.130,12	4.716.252,94	892,184998	56,93	70,78	35	61,79	
478	HID	268.530,35	4.715.928,43	891,703003	54,88	71,26	35	60,63	
480	HID	268.508,29	4.715.926,15	891,528015	55,38	71,43	35	60,58	
482	HID	268.328,24	4.715.604,63	888,549988	57,84	74,41	25	59,83	T-2-10-2-1
484	HID	268.264,45	4.715.242,82	888,794983	60,94	74,17	25	60,20	
486	HID	268.545,15	4.715.539,09	888,572998	62,42	74,39	35	61,03	
488	HID	268.568,49	4.715.541,47	888,66803	62,01	74,29	35	61,03	
490	HID	268.214,21	4.714.978,65	887,359985	59,89	75,60	35	59,90	
492	HID	268.649,13	4.714.856,40	887,526978	61,70	75,44	35	60,98	
494	HID	268.587,78	4.715.176,34	887,25	65,03	75,71	35	61,08	
496	HID	268.607,65	4.715.178,33	887,781982	64,19	75,18	35	61,08	
498	HID	268.194,04	4.714.975,00	887,791992	59,80	75,17	35	60,28	
500	HID	268.174,97	4.714.628,50	886,682983	54,72	76,28	35	60,28	
502	HID	268.193,83	4.714.622,34	885,517029	55,74	77,45	25	60,28	
504	HID	268.624,44	4.714.848,35	887,088989	62,58	75,87	35	60,96	
506	HID	268.653,55	4.714.597,06	885,210022	60,11	77,75	25	60,93	
508	HID	268.672,67	4.714.598,96	887,281006	57,71	75,68	35	60,94	T-2-10-1
510	HID	269.161,69	4.715.978,41	891,69397	60,82	71,27	35	61,85	
512	HID	269.193,83	4.715.733,11	891,515991	64,03	71,45	35	61,83	
514	HID	269.198,83	4.715.461,70	890,244995	65,15	72,72	35	61,86	T-2
516	HID	269.218,84	4.715.176,53	888,935974	63,15	74,03	35	61,85	
518	HID	269.238,87	4.715.178,19	887,453003	64,32	75,51	35	61,50	
520	HID	269.251,86	4.714.860,78	886,262024	61,91	76,70	35	61,83	
522	HID	269.273,40	4.714.862,18	886,210022	61,66	76,75	35	61,83	
524	HID	269.819,75	4.715.468,05	889,085022	66,92	73,88	35	61,02	
532	HID	270.206,94	4.715.425,68	889,114014	60,51	73,85	35	61,12	
534	HID	269.871,17	4.715.181,88	887,947021	64,91	75,02	35	59,11	
536	HID	270.256,16	4.715.134,10	887,81897	59,86	75,14	25	60,74	
538	HID	269.868,28	4.714.949,43	886,590027	64,71	76,37	35	58,89	T-2-7
540	HID	269.968,29	4.714.782,21	885,796021	63,78	77,17	35	56,78	
542	HID	269.850,50	4.715.178,75	889,380005	63,82	73,58	35	59,48	
544	HID	270.275,31	4.714.807,69	888,687988	54,38	74,28	25	61,00	
546	HID	270.344,71	4.714.803,42	890,229004	52,24	72,73	25	61,00	
548	HID	270.343,07	4.714.796,63	890,234985	52,23	72,73	25	61,00	
550	HID	270.415,94	4.714.793,03	890,692993	51,07	72,27	25	61,00	T-2-5
552	HID	270.043,75	4.714.613,09	885,768982	63,22	77,19	35	57,30	T-2-7
554	HID	269.950,34	4.714.762,04	886	64,07	76,96	35	57,28	
556	HID	269.304,44	4.714.559,33	886,117981	57,60	76,85	35	61,82	
558	HID	269.284,95	4.714.557,59	884,83197	59,18	78,13	35	61,82	
560	HID	269.635,26	4.714.267,53	884,288025	54,27	78,67	25	58,25	T-2-9
562	HID	270.870,53	4.713.965,28	890,547974	52,16	72,42	25	61,27	
564	HID	270.795,10	4.713.959,06	889,395996	53,53	73,57	25	61,30	T-2-11
566	HID	270.926,75	4.713.805,09	891,809021	50,09	71,15	25	61,67	
568	HID	270.778,39	4.713.793,54	888,822021	51,31	74,14	25	61,65	
572	HID	270.529,71	4.713.611,28	886,481018	50,32	76,48	35	61,72	
574	HID	271.023,06	4.713.519,39	889,117981	50,13	73,85	25	61,46	
576	HID	270.928,85	4.713.345,88	886,47998	50,71	76,48	35	61,65	
578	HID	271.155,86	4.713.131,67	885,198975	51,44	77,76	35	61,62	
580	HID	270.731,20	4.713.171,36	887,198975	48,56	75,76	35	61,65	T-2-16
582	HID	271.363,03	4.712.760,73	883,885986	51,21	79,08	35	61,14	T-2
584	HID	271.164,36	4.713.004,08	884,671021	51,13	78,29	35	61,58	
586	HID	270.945,08	4.713.328,11	886,612	50,96	76,35	25	61,65	
588	HID	270.746,93	4.713.135,74	886,893005	49,08	76,07	25	61,65	
592	HID	269.788,49	4.719.634,56	880,276001	75,00	82,69	25	57,79	
594	HID	270.066,26	4.717.137,96	902,453979	60,46	60,51	35	61,89	Ramal ID = 0
596	HID	269.473,58	4.717.989,85	902,789001	53,21	60,17	25	61,42	T-1-1
598	HID	269.549,51	4.719.008,90	876,848022	81,07	86,11	25		
599	HID	269.479,94	4.719.787,10	879,616028	73,80	83,35	25		
603	HID	269.910,73	4.718.136,38	902,164978	58,46	60,80	25		

---

## APÉNDICE Nº 3 ESQUEMA RED

A continuación, se adjunta un esquema de la red proyectada y el plano nº 9\_Hoja 0 “Planta y perfiles longitudinales de la red de riego. Esquema de red”.

Su definición detallada se recoge en los siguientes planos del proyecto:

- Plano nº2- Planta general de las obras
- Plano nº 9 - Planta y perfiles longitudinales de la red de riego
- Plano nº 10 – Unidades de riego



PROYECTO: **PROYECTO DE MODERNIZACIÓN DEL REGADÍO EN LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL CANAL DE VELLILLA - FASE SEIASA. (LEÓN)**

AUTORES: **Fdo. Gabriel Medina Martínez**  
INGENIERO AGRÓNOMO

**Fdo. Teodoro Martínez García**  
INGENIERO AGRÓNOMO

FECHA: **Septiembre 2022**  
ESCALA: **1:12.000**  
Formato: UNE-A1

TÍTULO PLANO: **PLANTAS Y PERFILES LONGITUDINALES DE LA RED DE RIEGO. ESQUEMA DE RED**

PLANO Nº: **9**  
HOJA: **0** DE **0**

---

## APÉNDICE Nº 4 CAUDALES DE LÍNEA DE LA RED DE RIEGO

Concepto	Descripción	Unidad
IDArc	Identidad del arco (tubería en archivo de cálculo)	-
NINI	Nodo inicio archivo de cálculo	-
NFIN	Nodo fin archivo de cálculo	-
TIPUS	Tipo: (R) Ramal // ( E) Acometida // (T) Terciaria	-
TUB_DN (mm)	Diámetro tubería	mm
TUB_Rugosidad	Rugosidad	mm
TUB_Material	Material de la tubería. (PVCO-16 Tubería PVC Orientado PN16) (HPCC-10 Tubería hormigón camisa de chapa PN10)	-
TUB_Pestatica (m.c.a.)	Presión estática	m.c.a.
TUB_Pdinamica (m.c.a.)	Presión dinámica	m.c.a.
TUB_Velocidad (m/s)	Velocidad	m/s
TUB_PerTotales (m.c.a.)	Pérdidas de carga totales	m.c.a.
TUB_Q (l/s)	Caudal circulante	l/s
Q_Clem (l/s)	Caudal de Clement	l/s
Q_ac (l/s)	Caudal acumulado	l/s

IDArc	NINI	NFIN	TIPUS	TUB_DN (mm)	TUB_PN	TUB_Rugosidad	TUB_Material	TUB_PEstatica	TUB_PDinamica	TUB_Velocidad	TUB_PerTotales	TUB_Q (l/s)	Q_Clem (l/s)	Q_ac (l/s)	Ramal	pk_Ini	pk_Fin
1	1	2	R	700,00	10	0,1	700 (HPCC-10)	56,55	49,84	0,89	0,35	344,24	344,24	1.250,00	T-1	256,87	671,24
2	2	3	R	700,00	10	0,1	700 (HPCC-10)	52,71	51,76	0,88	0,41	339,76	339,76	1.225,00	T-1	671,24	1.163,14
3	3	4	R	700,00	10	0,1	700 (HPCC-10)	52,71	48,83	0,84	0,17	323,77	323,77	1.150,00	T-1	1.163,14	1.385,49
4	4	5	R	700,00	10	0,1	700 (HPCC-10)	51,58	50,34	0,80	0,12	308,74	308,74	1.100,00	T-1	1.385,49	1.561,98
5	5	6	R	700,00	10	0,1	700 (HPCC-10)	52,12	50,77	0,78	0,11	300,14	300,14	1.075,00	T-1	1.561,98	1.728,38
6	7	8	R	250,00	16	0,007	250 (PVCO-16)	88,28	81,36	1,71	1,56	75,00	75,00	25,00	T-1-11	0,00	176,17
7	8	9	R	160,00	16	0,007	160 (PVCO-16)	88,37	79,26	1,39	2,19	25,00	25,00	25,00	T-1-11-1	0,00	212,23
8	8	10	R	200,00	16	0,007	200 (PVCO-16)	88,28	71,31	1,78	7,36	50,00	50,00	50,00	T-1-11	176,17	769,31
9	10	11	R	160,00	16	0,007	160 (PVCO-16)	85,60	66,89	1,39	3,02	25,00	25,00	25,00	T-1-11	769,31	1.062,28
10	7	12	R	315,00	16	0,007	315 (PVCO-16)	86,75	80,04	1,79	0,98	125,00	113,96	300,00	T-1	2.761,08	2.894,20
11	12	13	R	315,00	16	0,007	315 (PVCO-16)	86,39	77,45	1,79	1,78	125,00	99,46	250,00	T-1	2.894,20	3.136,89
12	13	14	R	315,00	16	0,007	315 (PVCO-16)	85,57	75,29	1,79	1,31	125,00	84,19	200,00	T-1	3.136,89	3.315,18
13	14	15	R	315,00	16	0,007	315 (PVCO-16)	84,73	74,83	1,79	0,47	125,00	76,97	175,00	T-1	3.315,18	3.379,39
14	15	16	R	315,00	16	0,007	315 (PVCO-16)	84,73	73,20	1,79	1,00	125,00	67,86	150,00	T-1	3.379,39	3.515,91
15	16	17	R	315,00	16	0,007	315 (PVCO-16)	84,10	70,00	1,79	2,84	125,00	125,00	125,00	T-1	3.515,91	3.902,35
16	18	19	R	200,00	16	0,007	200 (PVCO-16)	81,73	57,69	1,78	3,04	50,00	50,00	50,00	T-1	4.410,16	4.654,91
17	19	20	R	160,00	16	0,007	160 (PVCO-16)	80,73	57,22	1,39	0,31	25,00	25,00	25,00	T-1	4.654,91	4.684,60
18	21	22	R	200,00	16	0,007	200 (PVCO-16)	80,39	64,96	1,78	0,99	50,00	50,00	50,00	T-1-2	1.408,69	1.488,74
19	22	23	R	160,00	16	0,007	160 (PVCO-16)	80,39	60,18	1,39	4,37	25,00	25,00	25,00	T-1-2	1.488,74	1.913,41
20	24	25	R	315,00	16	0,007	315 (PVCO-16)	88,99	79,69	1,79	1,49	125,00	125,00	125,00	T-1-9	332,64	535,80
21	25	26	R	250,00	16	0,007	250 (PVCO-16)	89,21	78,70	2,28	1,22	100,00	100,00	100,00	T-1-9	535,80	616,70
22	26	27	R	250,00	16	0,007	250 (PVCO-16)	89,36	77,57	1,71	1,27	75,00	75,00	75,00	T-1-9	616,70	760,19
23	27	28	R	200,00	16	0,007	200 (PVCO-16)	89,36	75,50	1,78	1,72	50,00	50,00	50,00	T-1-9	760,19	899,14
24	28	29	R	160,00	16	0,007	160 (PVCO-16)	89,01	69,14	1,39	3,62	25,00	25,00	25,00	T-1-9	899,14	1.250,64
25	5	30	R	160,00	16	0,007	160 (PVCO-16)	52,45	50,44	1,39	0,77	25,00	25,00	25,00	T-1-5	0,00	74,34
26	4	31	R	200,00	16	0,007	200 (PVCO-16)	52,04	49,67	1,78	1,25	50,00	50,00	50,00	T-1-3	0,00	100,68
27	31	32	R	160,00	16	0,007	160 (PVCO-16)	58,23	53,94	1,39	1,92	25,00	25,00	25,00	T-1-3	100,68	287,60
28	3	33	R	250,00	16	0,007	250 (PVCO-16)	55,07	53,24	1,71	0,88	75,00	75,00	75,00	T-1-1	0,00	100,38
29	33	34	R	200,00	16	0,007	200 (PVCO-16)	56,95	52,51	1,78	2,61	50,00	50,00	50,00	T-1-1	100,38	310,14
30	34	0	R	160,00	16	0,007	160 (PVCO-16)	59,92	53,02	1,39	2,46	25,00	25,00	25,00	T-1-1	310,14	549,35
31	35	36	R	315,00	16	0,007	315 (PVCO-16)	63,99	55,54	1,79	1,62	125,00	95,31	200,00	T-2-2	863,58	1.083,74
32	36	37	R	315,00	16	0,007	315 (PVCO-16)	64,92	55,84	1,79	0,62	125,00	89,72	175,00	T-2-2	1.083,74	1.167,76
33	40	41	R	250,00	16	0,007	250 (PVCO-16)	66,50	54,26	1,71	1,67	75,00	75,00	75,00	T-2-2-2	189,88	378,50
34	41	42	R	160,00	16	0,007	160 (PVCO-16)	67,95	53,98	1,39	1,73	25,00	25,00	25,00	T-2-2-2	378,50	546,96
35	43	44	R	315,00	16	0,007	315 (PVCO-16)	64,81	62,22	1,72	1,10	120,00	120,00	120,00	T-2-3	0,00	161,78
36	43	45	R	700,00	10	0,1	700 (HPCC-10)	65,98	63,71	2,05	0,78	788,63	788,63	2.475,00	T-2	351,32	537,10
37	45	46	R	200,00	16	0,007	200 (PVCO-16)	65,98	57,67	2,49	3,66	70,00	70,00	70,00	T-2-4	0,00	158,63
38	46	47	R	160,00	16	0,007	160 (PVCO-16)	63,60	47,95	1,94	6,07	35,00	35,00	35,00	T-2-4	158,63	476,95
39	48	49	R	400,00	16	0,007	400 (PVCO-16)	77,47	63,74	1,73	0,86	194,47	194,47	420,00	T-2-7	1.080,33	1.246,30
40	50	51	R	160,00	16	0,007	160 (PVCO-16)	69,94	64,63	1,94	0,32	35,00	35,00	35,00		0,00	17,00
41	52	53	R	200,00	16	0,007	200 (PVCO-16)	68,35	62,83	2,49	2,17	70,00	70,00	70,00	T-2-6	0,00	93,97
42	53	54	R	160,00	16	0,007	160 (PVCO-16)	68,35	55,33	1,94	5,44	35,00	35,00	35,00	T-2-6	93,97	379,45
43	44	55	R	160,00	16	0,007	160 (PVCO-16)	64,81	59,94	1,94	0,32	35,00	35,00	35,00		0,00	17,00
44	56	57	R	160,00	16	0,007	160 (PVCO-16)	64,31	55,83	1,94	0,32	35,00	35,00	35,00		0,00	17,00
46	60	61	R	315,00	16	0,007	315 (PVCO-16)	67,59	60,46	1,79	1,20	125,00	99,30	195,00	T-2-5	406,84	1.039,22
47	64	65	R	315,00	16	0,007	315 (PVCO-16)	75,54	59,83	1,86	2,41	130,00	130,00	155,00	T-2-10	1.005,24	1.311,03
48	65	66	R	200,00	16	0,007	200 (PVCO-16)	76,96	55,44	2,13	6,18	60,00	60,00	85,00	T-2-10	1.311,03	1.667,01
49	67	68	R	200,00	16	0,007	200 (PVCO-16)	77,75	60,12	2,13	4,38	60,00	60,00	60,00	T-2-10-1	490,30	742,91
50	68	69	R	160,00	16	0,007	160 (PVCO-16)	77,75	57,64	1,94	0,32	35,00	35,00	35,00	T-2-10-1	742,91	759,91
51	70	71	R	160,00	16	0,007	160 (PVCO-16)	71,26	52,62	1,94	0,02	35,00	35,00	35,00		0,00	1,00
52	70	72	R	200,00	16	0,007	200 (PVCO-16)	70,54	51,39	1,24	0,11	35,00	35,00	35,00		0,00	16,97
53	73	74	R	160,00	16	0,007	160 (PVCO-16)	71,43	55,41	1,94	0,02	35,00	35,00	35,00		0,00	1,14
54	75	76	R	250,00	16	0,007	250 (PVCO-16)	69,79	53,53	1,37	0,73	60,00	60,00	60,00	T-2-8	888,71	1.012,38
55	76	77	R	160,00	16	0,007	160 (PVCO-16)	69,02	52,38	1,39	0,26	25,00	25,00	25,00	T-2-8	1.012,38	1.038,01
56	78	79	R	160,00	16	0,007	160 (PVCO-16)	70,74	56,34	1,94	0,32	35,00	35,00	35,00		0,00	16,76
57	80	81	R	160,00	16	0,007	160 (PVCO-16)	72,11	61,38	1,94	0,32	35,00	35,00	35,00		0,00	17,00
58	82	83	R	160,00	16	0,007	160 (PVCO-16)	72,94	65,25	1,94	0,32	35,00	35,00	35,00		0,00	17,00
59	84	85	R	315,00	16	0,007	315 (PVCO-16)	74,03	63,19	2,37	3,46	165,00	160,23	235,00	T-2	2.255,77	2.538,32
60	86	87	R	160,00	16	0,007	160 (PVCO-16)	78,76	54,55	1,39	3,38	25,00	25,00	25,00	T-2-9	0,00	327,88
61	88	89	R	160,00	16	0,007	160 (PVCO-16)	72,93	66,62	1,94	0,32	35,00	35,00	35,00		0,00	17,00
62	90	91	R	160,00	16	0,007	160 (PVCO-16)	73,88	66,44	1,94	0,32	35,00	35,00	35,00		0,00	17,00

IDArc	NINI	NFIN	TIPUS	TUB_DN (mm)	TUB_PN	TUB_Rugosidad	TUB_Material	TUB_PEstatica	TUB_PDinamica	TUB_Velocidad	TUB_PerTotales	TUB_Q (l/s)	Q_Clem (l/s)	Q_ac (l/s)	Ramal	pk_Ini	pk_Fin
63	92	93	R	160,00	16	0,007	160_(PVCO-16)	75,02	64,96	1,94	0,32	35,00	35,00	35,00		0,00	17,00
64	94	95	R	315,00	16	0,007	315_(PVCO-16)	73,81	60,99	1,79	2,47	125,00	83,63	160,00	T-2-5	1.039,22	1.375,33
65	95	96	R	315,00	16	0,007	315_(PVCO-16)	75,51	60,49	1,79	2,20	125,00	125,00	125,00	T-2-5	1.375,33	1.674,93
66	96	97	R	250,00	16	0,007	250_(PVCO-16)	75,51	53,33	2,28	4,84	100,00	100,00	100,00	T-2-5	1.674,93	1.997,02
67	97	98	R	250,00	16	0,007	250_(PVCO-16)	73,19	52,28	1,71	0,59	75,00	75,00	75,00	T-2-5	1.997,02	2.063,56
68	98	99	R	160,00	16	0,007	160_(PVCO-16)	72,73	51,04	1,39	0,69	25,00	25,00	25,00	T-2-5	2.063,56	2.130,90
69	95	100	R	160,00	16	0,007	160_(PVCO-16)	73,87	60,72	1,94	0,32	35,00	35,00	35,00		0,00	17,00
70	94	101	R	160,00	16	0,007	160_(PVCO-16)	71,96	61,19	1,94	0,32	35,00	35,00	35,00		0,00	17,00
71	96	102	R	160,00	16	0,007	160_(PVCO-16)	75,51	60,00	1,39	0,18	25,00	25,00	25,00		0,00	17,00
72	48	103	R	160,00	16	0,007	160_(PVCO-16)	77,30	64,11	1,94	0,32	35,00	35,00	35,00		0,00	17,00
73	84	104	R	160,00	16	0,007	160_(PVCO-16)	74,40	66,70	1,94	0,32	35,00	35,00	35,00		0,00	17,00
78	13	109	R	160,00	16	0,007	160_(PVCO-16)	85,67	77,44	1,39	0,11	25,00	25,00	25,00		0,00	10,50
79	110	111	R	160,00	16	0,007	160_(PVCO-16)	86,06	81,09	1,39	0,11	25,00	25,00	25,00		0,00	10,50
80	112	113	R	160,00	16	0,007	160_(PVCO-16)	87,83	80,76	1,39	0,02	25,00	25,00	25,00		0,00	1,52
81	114	115	R	160,00	16	0,007	160_(PVCO-16)	86,95	73,60	1,39	0,02	25,00	25,00	25,00		0,00	1,50
82	6	116	R	250,00	16	0,007	250_(PVCO-16)	52,12	50,60	0,57	0,01	25,00	25,00	25,00		0,00	10,62
83	117	118	R	160,00	16	0,007	160_(PVCO-16)	86,98	79,44	1,39	0,11	25,00	25,00	25,00		0,00	10,50
84	35	119	R	160,00	16	0,007	160_(PVCO-16)	61,78	54,84	1,39	0,04	25,00	25,00	25,00		0,00	3,87
85	40	120	R	160,00	16	0,007	160_(PVCO-16)	65,01	54,32	1,39	0,08	25,00	25,00	25,00		0,00	8,00
86	121	122	R	160,00	16	0,007	160_(PVCO-16)	74,17	57,73	1,39	2,28	25,00	25,00	25,00	T-2-10-2-1	0,00	221,13
87	64	123	R	160,00	16	0,007	160_(PVCO-16)	75,65	62,55	1,39	0,18	25,00	25,00	25,00		0,00	17,00
88	124	125	R	160,00	16	0,007	160_(PVCO-16)	68,49	64,27	1,39	0,18	25,00	25,00	25,00		0,00	17,00
90	127	128	R	250,00	16	0,007	250_(PVCO-16)	79,15	51,30	0,80	0,79	35,00	35,00	35,00	T-2	6.723,88	7.081,51
91	129	130	R	160,00	16	0,007	160_(PVCO-16)	76,62	50,71	1,94	0,32	35,00	35,00	35,00		0,00	17,00
92	131	132	R	200,00	16	0,007	200_(PVCO-16)	73,91	50,11	0,89	0,06	25,00	25,00	25,00		0,00	17,00
94	135	129	R	315,00	16	0,007	315_(PVCO-16)	76,62	51,26	1,72	0,91	120,00	120,00	120,00	T-2-16	0,00	133,84
95	129	136	R	250,00	16	0,007	250_(PVCO-16)	76,62	49,08	1,37	1,60	60,00	60,00	60,00	T-2-16	133,84	406,93
96	138	137	R	400,00	16	0,007	400_(PVCO-16)	72,44	51,59	1,57	0,40	176,49	176,49	335,00	T-2-11	0,00	92,02
98	137	140	R	400,00	16	0,007	400_(PVCO-16)	72,25	51,42	1,33	0,25	150,10	150,10	275,00	T-2	5.886,60	5.886,43
99	140	131	R	315,00	16	0,007	315_(PVCO-16)	73,91	50,26	2,04	2,82	142,38	142,38	250,00	T-2	5.886,43	6.188,82
100	131	135	R	315,00	16	0,007	315_(PVCO-16)	75,04	50,59	1,90	0,79	132,66	132,66	225,00	T-2	6.188,82	6.285,45
101	135	141	R	315,00	16	0,007	315_(PVCO-16)	77,78	51,63	1,51	1,70	105,00	105,00	105,00	T-2	6.285,45	6.605,26
102	141	127	R	250,00	16	0,007	250_(PVCO-16)	78,29	51,22	1,59	0,92	70,00	70,00	70,00	T-2	6.605,26	6.723,88
103	133	142	R	200,00	16	0,007	200_(PVCO-16)	76,47	50,32	1,24	1,28	35,00	35,00	35,00	T-2	5.373,60	5.572,58
104	143	133	R	160,00	16	0,007	160_(PVCO-16)	74,22	49,35	1,94	2,07	35,00	35,00	35,00	T-2	5.572,58	5.680,91
105	137	143	R	200,00	16	0,007	200_(PVCO-16)	74,22	51,42	2,13	2,22	60,00	60,00	60,00	T-2	5.680,91	5.808,60
106	38	144	R	160,00	16	0,007	160_(PVCO-16)	69,00	59,05	1,39	0,14	25,00	25,00	25,00		0,00	13,16
107	35	145	R	160,00	16	0,007	160_(PVCO-16)	62,05	55,10	1,39	0,10	25,00	25,00	25,00		0,00	10,13
108	114	146	R	160,00	16	0,007	160_(PVCO-16)	86,95	73,65	1,39	0,07	25,00	25,00	25,00	T-1-7	952,74	959,74
109	24	147	R	160,00	16	0,007	160_(PVCO-16)	88,19	80,09	1,39	0,08	25,00	25,00	25,00		0,00	7,50
110	148	149	R	160,00	16	0,007	160_(PVCO-16)	82,14	75,44	1,39	0,13	25,00	25,00	25,00		0,00	12,46
111	61	94	R	315,00	16	0,007	315_(PVCO-16)	71,96	61,60	1,79	3,44	125,00	99,30	195,00	T-2-5	1.039,22	1.039,22
112	85	150	R	315,00	16	0,007	315_(PVCO-16)	76,68	61,94	2,37	3,90	165,00	165,00	165,00	T-2	2.538,32	2.856,23
113	150	151	R	250,00	16	0,007	250_(PVCO-16)	78,14	59,23	2,16	4,17	95,00	95,00	95,00	T-2	2.856,23	3.161,23
114	151	86	R	160,00	16	0,007	160_(PVCO-16)	78,33	57,49	1,39	1,93	25,00	25,00	25,00	T-2	3.161,23	3.348,91
115	152	84	R	400,00	16	0,007	400_(PVCO-16)	74,00	66,63	1,70	0,65	191,61	191,61	305,00	T-2	2.127,62	2.255,77
116	152	82	R	400,00	16	0,007	400_(PVCO-16)	73,53	64,75	1,58	0,64	177,63	177,63	305,00	T-2-8	0,00	146,05
117	82	80	R	315,00	16	0,007	315_(PVCO-16)	72,12	61,26	2,37	3,03	165,00	150,00	235,00	T-2-8	146,05	393,54
118	80	78	R	315,00	16	0,007	315_(PVCO-16)	71,66	56,95	2,37	3,39	165,00	165,00	165,00	T-2-8	393,54	670,16
119	78	75	R	315,00	16	0,007	315_(PVCO-16)	70,74	55,03	1,36	0,97	95,00	95,00	95,00	T-2-8	670,16	888,71
120	73	153	R	160,00	16	0,007	160_(PVCO-16)	71,43	54,89	1,94	0,32	35,00	35,00	35,00		0,00	16,86
121	154	155	R	315,00	16	0,007	315_(PVCO-16)	75,03	62,47	2,37	2,53	165,00	158,32	235,00	T-2-10-2	0,00	206,17
122	155	121	R	315,00	16	0,007	315_(PVCO-16)	74,37	58,39	2,37	2,26	165,00	165,00	165,00	T-2-10-2	206,17	390,39
123	121	73	R	315,00	16	0,007	315_(PVCO-16)	72,55	55,43	2,01	1,84	140,00	140,00	140,00	T-2-10-2	390,39	594,01
124	73	70	R	250,00	16	0,007	250_(PVCO-16)	71,43	51,92	1,59	2,61	70,00	70,00	70,00	T-2-10-2	594,01	929,08
125	154	156	R	315,00	16	0,007	315_(PVCO-16)	75,71	65,07	1,86	1,26	130,00	128,38	200,00	T-2-10-1	0,00	160,33
126	156	67	R	315,00	16	0,007	315_(PVCO-16)	75,87	62,63	1,86	2,60	130,00	130,00	130,00	T-2-10-1	160,33	490,30
127	157	152	R	700,00	10	0,1	700_(HPCC-10)	73,53	66,80	1,36	1,19	523,05	523,05	1.225,00	T-2	1.502,93	2.127,62
128	152	154	R	500,00	16	0,007	500_(PVCO-16)	75,03	65,66	1,71	2,65	299,89	299,89	615,00	T-2-10	0,00	679,96
129	154	64	R	315,00	16	0,007	315_(PVCO-16)	75,54	62,61	2,22	3,55	155,00	155,00	180,00	T-2-10	679,96	1.005,24
130	159	160	R	315,00	16	0,007	315_(PVCO-16)	67,17	63,28	1,79	1,01	125,00	114,16	245,00	T-2-5	0,00	137,50

IDArc	NINI	NFIN	TIPUS	TUB_DN (mm)	TUB_PN	TUB_Rugosidad	TUB_Material	TUB_PEstatica	TUB_PDinamica	TUB_Velocidad	TUB_PerTotales	TUB_Q (l/s)	Q_Clem (l/s)	Q_ac (l/s)	Ramal	pk_Ini	pk_Fin
131	160	60	R	315,00	16	0,007	315_(PVCO-16)	67,59	61,87	1,79	1,98	125,00	107,60	220,00	T-2-5	137,50	406,84
132	45	159	R	700,00	10	0,1	700_(HPCC-10)	67,17	64,43	2,00	0,46	769,68	769,68	2.405,00	T-2	537,10	651,89
133	159	52	R	700,00	10	0,1	700_(HPCC-10)	68,32	64,97	1,87	0,62	721,01	721,01	2.160,00	T-2	651,89	826,49
134	52	124	R	700,00	10	0,1	700_(HPCC-10)	68,49	64,44	1,82	0,70	701,94	701,94	2.090,00	T-2	826,49	1.033,31
135	124	161	R	700,00	10	0,1	700_(HPCC-10)	70,34	66,13	1,81	0,16	698,25	698,25	2.065,00	T-2	1.033,31	1.082,07
136	161	50	R	700,00	10	0,1	700_(HPCC-10)	70,34	64,96	1,79	0,76	687,36	687,36	2.030,00	T-2	1.082,07	1.318,41
137	50	162	R	700,00	10	0,1	700_(HPCC-10)	71,82	66,71	1,76	0,13	675,67	675,67	1.995,00	T-2	1.318,41	1.361,45
138	162	157	R	700,00	10	0,1	700_(HPCC-10)	72,48	66,94	1,73	0,43	666,24	666,24	1.960,00	T-2	1.361,45	1.502,93
139	157	88	R	500,00	16	0,007	500_(PVCO-16)	72,93	66,95	1,82	0,44	319,01	319,01	735,00	T-2-7	0,00	101,52
140	88	90	R	500,00	16	0,007	500_(PVCO-16)	73,88	66,95	1,68	0,95	295,47	295,47	665,00	T-2-7	101,52	351,90
141	90	92	R	400,00	16	0,007	400_(PVCO-16)	73,88	63,85	2,41	2,80	271,57	271,57	595,00	T-2-7	351,90	642,99
142	92	163	R	400,00	16	0,007	400_(PVCO-16)	76,39	64,90	2,12	1,76	238,19	238,19	525,00	T-2-7	642,99	876,42
143	163	48	R	400,00	16	0,007	400_(PVCO-16)	76,99	64,13	2,00	1,38	224,61	224,62	490,00	T-2-7	876,42	1.080,33
144	44	56	R	200,00	16	0,007	200_(PVCO-16)	64,81	56,71	2,13	5,01	60,00	60,00	60,00	T-2-3	161,78	450,49
146	164	165	R	700,00	10	0,1	700_(HPCC-10)	63,02	62,20	2,17	0,70	834,28	834,28	2.655,00	T-2	56,30	205,05
147	165	43	R	700,00	10	0,1	700_(HPCC-10)	64,29	62,81	2,13	0,67	820,42	820,42	2.595,00	T-2	205,05	351,32
148	164	166	R	200,00	16	0,007	200_(PVCO-16)	61,34	57,43	1,24	1,13	35,00	35,00	35,00	T-2-1	0,00	175,67
149	37	167	R	315,00	16	0,007	315_(PVCO-16)	64,92	54,24	1,79	1,29	125,00	125,00	125,00	T-2-2-2	0,00	176,38
150	167	40	R	250,00	16	0,007	250_(PVCO-16)	65,01	54,44	2,28	0,20	100,00	100,00	100,00	T-2-2-2	176,38	189,88
151	37	168	R	315,00	16	0,007	315_(PVCO-16)	67,08	57,73	0,72	0,28	50,00	50,00	50,00	T-2-2	1.167,76	1.368,58
152	168	38	R	315,00	16	0,007	315_(PVCO-16)	69,00	59,51	0,36	0,14	25,00	25,00	25,00	T-2-2	1.368,58	1.721,09
153	169	164	R	1.000,00	10	0,1	1000_(HPCC-10)	61,34	61,22	1,07	0,02	842,50	842,50	2.690,00	T-2	32,24	56,30
154	169	170	R	315,00	16	0,007	315_(PVCO-16)	61,05	55,51	2,05	1,75	142,72	142,72	360,00	T-2-1	0,00	186,63
155	170	171	R	315,00	16	0,007	315_(PVCO-16)	57,36	52,12	1,81	1,63	125,95	125,95	325,00	T-2-2	186,63	405,25
156	171	172	R	315,00	16	0,007	315_(PVCO-16)	56,54	52,64	1,79	0,42	125,00	123,54	300,00	T-2-2	405,25	462,03
157	172	173	R	315,00	16	0,007	315_(PVCO-16)	58,65	53,64	1,79	1,11	125,00	125,00	275,00	T-2-2	462,03	613,14
158	173	35	R	315,00	16	0,007	315_(PVCO-16)	61,78	54,93	1,79	1,84	125,00	112,00	250,00	T-2-2	613,14	863,58
159	7	174	R	315	16	0,007	315_(PVCO-16)	87,29	80,97	1,79	0,95	125,00	89,08	200,00	T-1-9	0,00	129,93
160	174	112	R	315	16	0,007	315_(PVCO-16)	87,46	80,40	1,79	0,73	125,00	80,58	175,00	T-1-9	129,93	229,36
161	112	24	R	315	16	0,007	315_(PVCO-16)	88,19	80,38	1,79	0,76	125,00	67,82	150,00	T-1-9	229,36	332,64
162	175	110	R	315	16	0,007	315_(PVCO-16)	85,83	80,97	1,79	1,08	125,00	72,05	175,00	T-1-7	0,00	147,38
163	110	176	R	315	16	0,007	315_(PVCO-16)	87,08	80,56	1,79	1,66	125,00	125,00	125,00	T-1-7	147,38	373,35
164	176	117	R	250	16	0,007	250_(PVCO-16)	87,08	79,85	2,28	0,62	100,00	100,00	100,00	T-1-7	373,35	414,26
165	117	177	R	250	16	0,007	250_(PVCO-16)	86,98	78,13	1,71	1,61	75,00	75,00	75,00	T-1-7	414,26	595,80
166	177	114	R	200	16	0,007	200_(PVCO-16)	86,95	73,79	1,78	4,43	50,00	50,00	50,00	T-1-7	595,80	952,74
167	175	178	R	315	16	0,007	315_(PVCO-16)	84,47	80,21	1,79	0,34	125,00	117,20	275,00	T-1-2	0,00	46,77
168	179	180	R	315	16	0,007	315_(PVCO-16)	83,63	71,69	1,79	1,63	125,00	83,36	150,00	T-1-2	519,98	742,11
169	180	181	R	315	16	0,007	315_(PVCO-16)	81,11	68,57	1,79	3,32	125,00	125,00	125,00	T-1-2	742,11	1.194,66
170	181	21	R	250	16	0,007	250_(PVCO-16)	81,11	65,66	1,71	1,89	75,00	75,00	75,00	T-1-2	1.194,66	1.408,69
171	175	7	R	400	16	0,007	400_(PVCO-16)	86,75	81,38	1,63	1,59	182,95	182,96	575,00	T-1	2.417,06	2.761,08
172	182	169	R	1000	10	0,1	1000_(HPCC-10)	61,05	60,95	1,16	0,03	910,31	910,31	3.050,00	T-2	0,00	32,24
173	182	1	R	800	10	0,1	800_(HPCC-10)	60,80	56,37	0,68	0,11	344,24	312,64	1.285,00	T-1	0,00	256,87
174	165	183	R	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	63,02	61,38	1,39	0,18	25,00	25,00	25,00	0,00	0,00	17,00
175	1	184	R	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	56,55	56,35	1,94	0,02	35,00	35,00	35,00	0,00	0,00	1,00
176	176	185	R	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	87,08	80,54	1,39	0,02	25,00	25,00	25,00	0,00	0,00	1,50
177	178	186	R	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	84,42	80,28	1,39	0,02	25,00	25,00	25,00	0,00	0,00	1,50
178	148	187	R	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	82,14	76,38	1,39	0,01	25,00	25,00	25,00	0,00	0,00	1,06
179	26	188	R	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	89,21	78,68	1,39	0,01	25,00	25,00	25,00	0,00	0,00	1,08
180	27	189	R	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	89,36	77,54	1,39	0,02	25,00	25,00	25,00	0,00	0,00	2,00
181	28	190	R	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	89,01	75,49	1,39	0,01	25,00	25,00	25,00	0,00	0,00	1,00
182	165	191	R	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	63,02	62,18	1,94	0,02	35,00	35,00	35,00	0,00	0,00	1,00
183	56	192	R	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	64,31	56,69	1,39	0,01	25,00	25,00	25,00	0,00	0,00	1,00
184	46	193	R	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	63,60	57,65	1,94	0,02	35,00	35,00	35,00	0,00	0,00	1,00
185	36	194	R	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	63,99	55,52	1,39	0,01	25,00	25,00	25,00	0,00	0,00	1,23
186	167	195	R	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	64,61	54,23	1,39	0,01	25,00	25,00	25,00	0,00	0,00	1,00
187	168	196	R	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	67,08	57,70	1,39	0,02	25,00	25,00	25,00	0,00	0,00	2,35
190	44	199	R	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	65,06	62,46	1,39	0,01	25,00	25,00	25,00	0,00	0,00	1,00
191	160	200	R	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	67,39	63,64	1,39	0,01	25,00	25,00	25,00	0,00	0,00	1,00
192	60	201	R	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	67,59	61,86	1,39	0,01	25,00	25,00	25,00	0,00	0,00	1,00
195	53	204	R	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	68,35	62,81	1,94	0,02	35,00	35,00	35,00	0,00	0,00	0,84
196	161	205	R	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	70,34	66,11	1,94	0,02	35,00	35,00	35,00	0,00	0,00	1,00

IDArc	NINI	NFIN	TIPUS	TUB_DN (mm)	TUB_PN	TUB_Rugosidad	TUB_Material	TUB_PEstatica	TUB_PDinamica	TUB_Velocidad	TUB_PerTotales	TUB_Q (l/s)	Q_Clem (l/s)	Q_ac (l/s)	Ramal	pk_Ini	pk_Fin
197	162	206	R	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	71,82	66,69	1,94	0,02	35,00	35,00	35,00		0,00	1,00
198	88	207	R	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	72,93	66,93	1,94	0,02	35,00	35,00	35,00		0,00	1,00
199	90	208	R	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	73,88	66,93	1,94	0,02	35,00	35,00	35,00		0,00	1,00
200	92	209	R	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	73,58	63,84	1,94	0,02	35,00	35,00	35,00		0,00	1,00
201	48	210	R	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	76,99	64,08	1,94	0,02	35,00	35,00	35,00		0,00	1,00
202	97	211	R	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	74,23	54,35	1,39	0,02	25,00	25,00	25,00		0,00	1,46
203	98	212	R	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	72,73	52,27	1,39	0,01	25,00	25,00	25,00		0,00	1,00
204	82	213	R	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	72,12	64,73	1,94	0,02	35,00	35,00	35,00		0,00	1,00
205	80	214	R	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	71,66	61,24	1,94	0,02	35,00	35,00	35,00		0,00	1,00
206	78	215	R	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	70,78	56,96	1,94	0,02	35,00	35,00	35,00		0,00	1,24
207	75	216	R	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	69,79	55,01	1,94	0,02	35,00	35,00	35,00		0,00	1,08
208	156	217	R	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	75,71	65,05	1,94	0,02	35,00	35,00	35,00		0,00	1,00
209	156	218	R	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	75,71	64,66	1,94	0,32	35,00	35,00	35,00		0,00	17,00
210	67	219	R	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	75,87	62,61	1,94	0,02	35,00	35,00	35,00		0,00	1,00
211	67	220	R	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	75,87	61,89	1,94	0,32	35,00	35,00	35,00		0,00	17,00
212	68	221	R	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	77,75	60,11	1,39	0,01	25,00	25,00	25,00		0,00	1,00
213	85	222	R	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	74,03	63,17	1,94	0,02	35,00	35,00	35,00		0,00	1,00
214	85	223	R	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	75,51	64,35	1,94	0,32	35,00	35,00	35,00		0,00	17,01
215	150	224	R	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	76,68	61,92	1,94	0,02	35,00	35,00	35,00		0,00	1,00
216	150	225	R	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	76,68	61,45	1,94	0,32	35,00	35,00	35,00		0,00	17,00
217	151	226	R	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	78,14	59,21	1,94	0,02	35,00	35,00	35,00		0,00	1,00
218	151	227	R	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	78,14	57,61	1,94	0,32	35,00	35,00	35,00		0,00	17,00
219	155	228	R	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	74,37	62,45	1,94	0,02	35,00	35,00	35,00		0,00	1,00
220	155	229	R	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	74,37	62,08	1,94	0,32	35,00	35,00	35,00		0,00	17,00
221	65	230	R	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	75,17	59,81	1,94	0,02	35,00	35,00	35,00		0,00	1,00
222	65	231	R	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	75,17	59,45	1,94	0,32	35,00	35,00	35,00		0,00	17,00
223	66	232	R	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	76,96	54,74	1,94	0,02	35,00	35,00	60,00		0,00	1,00
224	66	233	R	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	77,45	55,75	1,39	0,18	25,00	25,00	25,00		0,00	17,00
225	142	234	R	200	16	0,007	200_(PVCO-16)	76,47	50,32	1,24	0,01	35,00	35,00	35,00		0,00	1,00
226	143	235	R	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	74,22	51,41	1,39	0,01	25,00	25,00	25,00		0,00	1,00
227	138	236	R	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	72,44	52,24	1,39	0,02	25,00	25,00	25,00		0,00	2,00
228	140	237	R	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	72,25	50,82	1,39	0,19	25,00	25,00	25,00		0,00	18,20
229	129	238	R	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	76,62	51,25	1,39	0,01	25,00	25,00	25,00		0,00	1,00
230	136	239	R	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	76,04	49,07	1,39	0,01	25,00	25,00	25,00		0,00	1,00
231	136	240	R	200	16	0,007	200_(PVCO-16)	76,38	49,31	1,24	0,11	35,00	35,00	35,00	T-2-16	406,93	423,93
232	127	241	R	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	78,29	51,20	1,94	0,02	35,00	35,00	35,00		0,00	1,00
233	13	242	R	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	85,57	77,43	1,39	0,02	25,00	25,00	25,00		0,00	1,50
234	6	243	R	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	52,12	50,75	1,39	0,01	25,00	25,00	25,00		0,00	1,38
235	2	244	R	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	50,38	49,83	1,39	0,01	25,00	25,00	25,00		0,00	1,08
237	171	246	R	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	55,60	51,87	1,39	0,01	25,00	25,00	25,00		0,00	1,00
238	17	247	R	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	83,74	69,99	1,39	0,01	25,00	25,00	25,00		0,00	1,00
239	18	248	R	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	81,80	61,78	1,39	0,01	25,00	25,00	25,00		0,00	1,09
240	19	249	R	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	80,98	57,92	1,39	0,01	25,00	25,00	25,00		0,00	1,09
241	10	250	R	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	85,60	71,30	1,39	0,01	25,00	25,00	25,00		0,00	1,06
242	22	251	R	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	80,39	64,61	1,39	0,11	25,00	25,00	25,00		0,00	10,50
243	21	252	R	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	80,23	65,78	1,39	0,02	25,00	25,00	25,00		0,00	1,50
244	181	253	R	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	81,11	67,02	1,39	0,11	25,00	25,00	25,00		0,00	10,50
245	181	254	R	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	81,26	68,70	1,39	0,02	25,00	25,00	25,00		0,00	1,50
246	178	255	R	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	84,32	79,98	1,39	0,11	25,00	25,00	25,00		0,00	10,50
247	179	256	R	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	83,63	76,02	1,39	0,02	25,00	25,00	25,00		0,00	1,64
248	177	257	R	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	86,87	78,12	1,39	0,02	25,00	25,00	25,00		0,00	1,50
249	174	258	R	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	87,38	80,98	1,39	0,08	25,00	25,00	25,00		0,00	7,50
250	25	259	R	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	88,99	79,53	1,39	0,07	25,00	25,00	25,00		0,00	6,50
251	31	260	R	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	52,13	49,75	1,39	0,02	25,00	25,00	25,00		0,00	1,50
252	34	261	R	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	56,95	52,50	1,39	0,01	25,00	25,00	25,00		0,00	1,25
253	172	262	R	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	56,65	52,61	1,39	0,14	25,00	25,00	25,00		0,00	13,43
254	173	263	R	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	58,65	53,52	1,39	0,02	25,00	25,00	25,00		0,00	2,00
255	41	264	R	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	66,55	54,30	1,39	0,01	25,00	25,00	25,00		0,00	0,66
256	41	265	R	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	66,61	54,34	1,39	0,03	25,00	25,00	25,00		0,00	2,66
257	178	148	R	315	16	0,007	315_(PVCO-16)	84,32	76,39	1,79	1,63	125,00	107,93	225,00	T-1-2	46,77	268,46
258	148	179	R	315	16	0,007	315_(PVCO-16)	83,63	76,04	1,79	1,85	125,00	91,93	175,00	T-1-2	268,46	519,98

IDArc	NINI	NFIN	TIPUS	TUB_DN (mm)	TUB_PN	TUB_Rugosidad	TUB_Material	TUB_PEstatica	TUB_PDinamica	TUB_Velocidad	TUB_PerTotales	TUB_Q (l/s)	Q_Clem (l/s)	Q_ac (l/s)	Ramal	pk_Ini	pk_Fin
261	180	268	R	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	80,91	71,68	1,39	0,01	25,00	25,00	25,00		0,00	1,00
262	17	269	R	250	16	0,007	250_(PVCO-16)	83,74	64,68	2,28	4,31	100,00	100,00	100,00	T-1	3.902,35	4.188,82
263	269	18	R	250	16	0,007	250_(PVCO-16)	82,73	61,72	1,71	1,96	75,00	75,00	75,00	T-1	4.188,82	4.410,16
264	269	270	R	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	82,73	64,57	1,39	0,01	25,00	25,00	25,00		0,00	1,00
265	271	182	R	1100	10	0,1	1100_(HPCC-10)	60,80	60,72	1,20	0,04	1.140,89	1.140,89	4.335,00	Ramal ID = 0	32,71	83,53
266	16	272	R	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	84,10	73,14	1,39	0,02	25,00	25,00	25,00		0,00	1,50
267	15	273	R	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	84,73	74,69	1,39	0,11	25,00	25,00	25,00		0,00	10,50
268	12	274	R	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	86,39	79,89	1,39	0,11	25,00	25,00	25,00		0,00	10,50
269	12	275	R	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	86,39	80,03	1,39	0,02	25,00	25,00	25,00		0,00	1,47
270	98	276	R	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	72,73	52,27	1,39	0,01	25,00	25,00	25,00		0,00	1,00
271	141	277	R	200	16	0,007	200_(PVCO-16)	77,78	51,52	1,24	0,11	35,00	35,00	35,00		0,00	17,00
272	76	278	R	200	16	0,007	200_(PVCO-16)	69,02	53,39	1,24	0,11	35,00	35,00	35,00		0,00	16,92
273	170	279	R	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	57,36	55,49	1,94	0,02	35,00	35,00	35,00		0,00	1,00
275	261	280	E	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	56,95	52,49	1,39	0,00	25,00	25,00	25,00		0,00	0,45
276	280	281	T	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	56,95	52,49	1,39	0,01	25,00	0,00	25,00		0,00	0,52
277	32	282	E	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	58,23	50,69	1,39	0,09	25,00	25,00	25,00	T-1-3	0,00	8,51
278	282	283	T	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	55,07	50,24	1,39	0,04	25,00	0,00	25,00	T-1-3	0,00	4,20
279	260	284	E	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	52,13	49,73	1,39	0,02	25,00	25,00	25,00		0,00	1,72
280	284	285	T	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	52,31	49,86	1,39	0,05	25,00	0,00	25,00		0,00	5,00
281	29	286	E	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	86,27	68,81	1,39	0,04	25,00	25,00	25,00	T-1-9	0,00	3,55
282	286	287	T	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	85,98	68,79	1,39	0,02	25,00	0,00	25,00	T-1-9	0,00	2,01
283	23	288	E	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	79,99	59,84	1,39	0,08	25,00	25,00	25,00	T-1-2	0,00	7,89
284	288	289	T	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	79,72	59,59	1,39	0,05	25,00	0,00	25,00	T-1-2	0,00	5,00
285	20	290	E	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	80,79	57,41	1,39	0,03	25,00	25,00	25,00	T-1	0,00	3,04
286	290	291	T	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	80,79	57,34	1,39	0,04	25,00	0,00	25,00	T-1	0,00	3,89
287	249	292	E	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	80,98	57,92	1,39	0,01	25,00	25,00	25,00		0,00	0,76
288	292	293	T	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	80,98	57,90	1,39	0,01	25,00	0,00	25,00		0,00	1,19
289	248	294	E	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	81,80	61,77	1,39	0,01	25,00	25,00	25,00		0,00	1,32
290	294	295	T	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	81,84	61,76	1,39	0,05	25,00	0,00	25,00		0,00	5,00
291	270	296	E	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	82,63	64,55	1,39	0,02	25,00	25,00	25,00		0,00	1,94
292	296	297	T	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	82,71	64,58	1,39	0,05	25,00	0,00	25,00		0,00	5,00
293	251	298	E	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	80,15	64,34	1,39	0,05	25,00	25,00	25,00		0,00	5,27
294	298	299	T	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	80,02	64,37	1,39	0,05	25,00	0,00	25,00		0,00	5,00
295	252	300	E	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	80,23	65,75	1,39	0,03	25,00	25,00	25,00		0,00	3,10
296	300	301	T	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	80,76	66,22	1,39	0,05	25,00	0,00	25,00		0,00	5,00
297	11	302	E	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	84,71	67,30	1,39	0,11	25,00	25,00	25,00	T-1-11	0,00	10,22
298	302	303	T	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	84,71	67,22	1,39	0,05	25,00	0,00	25,00	T-1-11	0,00	5,00
299	253	304	E	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	79,67	66,45	1,39	0,05	25,00	25,00	25,00		0,00	5,09
300	304	305	T	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	79,24	66,49	1,39	0,04	25,00	0,00	25,00		0,00	4,22
301	247	306	E	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	83,74	69,90	1,39	0,01	25,00	25,00	25,00		0,00	1,30
302	306	307	T	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	83,67	69,83	1,39	0,05	25,00	0,00	25,00		0,00	5,00
303	254	308	E	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	81,26	68,69	1,39	0,01	25,00	25,00	25,00		0,00	0,56
304	308	309	T	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	81,26	68,68	1,39	0,01	25,00	0,00	25,00		0,00	1,37
305	272	310	E	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	84,06	73,13	1,39	0,01	25,00	25,00	25,00		0,00	0,85
306	310	311	T	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	84,06	73,11	1,39	0,02	25,00	0,00	25,00		0,00	1,66
307	273	312	E	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	84,82	74,74	1,39	0,06	25,00	25,00	25,00		0,00	5,73
308	312	313	T	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	84,82	74,21	1,39	0,05	25,00	0,00	25,00		0,00	5,00
309	268	314	E	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	80,91	71,67	1,39	0,01	25,00	25,00	25,00		0,00	1,34
310	314	315	T	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	81,24	71,97	1,39	0,03	25,00	0,00	25,00		0,00	2,50
311	250	316	E	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	85,60	71,29	1,39	0,01	25,00	25,00	25,00		0,00	1,12
312	316	317	T	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	85,65	71,32	1,39	0,03	25,00	0,00	25,00		0,00	2,50
313	187	318	E	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	82,43	76,63	1,39	0,04	25,00	25,00	25,00		0,00	4,03
314	318	319	T	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	82,57	76,72	1,39	0,05	25,00	0,00	25,00		0,00	5,00
315	149	320	E	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	81,35	75,45	1,39	0,03	25,00	25,00	25,00		0,00	2,56
316	320	321	T	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	81,35	75,31	1,39	0,05	25,00	0,00	25,00		0,00	5,00
317	109	322	E	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	85,77	77,52	1,39	0,01	25,00	25,00	25,00		0,00	1,43
318	322	323	T	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	85,77	77,50	1,39	0,01	25,00	0,00	25,00		0,00	1,23
319	255	324	E	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	84,21	79,90	1,39	0,04	25,00	25,00	25,00		0,00	4,07
320	324	325	T	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	84,17	79,87	1,39	0,03	25,00	0,00	25,00		0,00	3,14
321	242	326	E	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	85,57	77,42	1,39	0,01	25,00	25,00	25,00		0,00	1,20
322	326	327	T	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	85,57	77,41	1,39	0,01	25,00	0,00	25,00		0,00	0,77

IDArc	NINI	NFIN	TIPUS	TUB_DN (mm)	TUB_PN	TUB_Rugosidad	TUB_Material	TUB_PEstatica	TUB_PDinamica	TUB_Velocidad	TUB_PerTotales	TUB_Q (l/s)	Q_Clem (l/s)	Q_ac (l/s)	Ramal	pk_Ini	pk_Fin
323	274	328	E	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	86,34	79,87	1,39	0,02	25,00	25,00	25,00		0,00	1,69
324	328	329	T	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	86,34	79,84	1,39	0,03	25,00	0,00	25,00		0,00	3,19
325	275	330	E	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	86,39	80,01	1,39	0,02	25,00	25,00	25,00		0,00	2,03
326	330	331	T	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	86,39	79,93	1,39	0,03	25,00	0,00	25,00		0,00	3,28
327	186	332	E	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	84,42	80,28	1,39	0,00	25,00	25,00	25,00		0,00	0,40
328	332	333	T	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	84,69	80,55	1,39	0,01	25,00	0,00	25,00		0,00	0,65
329	111	334	E	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	86,06	80,79	1,39	0,05	25,00	25,00	25,00		0,00	4,83
330	334	335	T	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	85,81	80,68	1,39	0,03	25,00	0,00	25,00		0,00	3,09
331	9	336	E	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	89,19	80,02	1,39	0,06	25,00	25,00	25,00	T-1-11-1	0,00	5,52
332	336	337	T	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	89,19	79,90	1,39	0,05	25,00	0,00	25,00	T-1-11-1	0,00	5,00
333	258	338	E	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	87,41	80,90	1,39	0,11	25,00	25,00	25,00		0,00	10,85
334	338	339	T	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	87,41	80,80	1,39	0,05	25,00	0,00	25,00		0,00	5,00
335	147	340	E	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	88,23	80,24	1,39	0,10	25,00	25,00	25,00		0,00	9,53
336	340	341	T	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	88,23	80,18	1,39	0,05	25,00	0,00	25,00		0,00	5,00
337	113	342	E	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	87,83	80,74	1,39	0,02	25,00	25,00	25,00		0,00	2,22
338	342	343	T	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	87,99	80,85	1,39	0,05	25,00	0,00	25,00		0,00	5,00
339	185	344	E	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	87,22	80,67	1,39	0,02	25,00	25,00	25,00		0,00	2,35
340	344	345	T	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	87,22	80,64	1,39	0,03	25,00	0,00	25,00		0,00	2,50
341	118	346	E	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	86,68	79,42	1,39	0,02	25,00	25,00	25,00		0,00	2,16
342	346	347	T	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	86,68	79,27	1,39	0,03	25,00	0,00	25,00		0,00	2,50
343	259	348	E	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	89,14	79,74	1,39	0,04	25,00	25,00	25,00		0,00	3,54
344	348	349	T	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	89,14	78,91	1,39	0,05	25,00	0,00	25,00		0,00	5,00
345	188	350	E	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	89,47	78,89	1,39	0,05	25,00	25,00	25,00		0,00	5,14
346	350	351	T	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	89,47	78,83	1,39	0,05	25,00	0,00	25,00		0,00	5,00
347	257	352	E	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	86,87	78,08	1,39	0,03	25,00	25,00	25,00		0,00	3,06
348	352	353	T	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	87,49	78,65	1,39	0,05	25,00	0,00	25,00		0,00	5,00
349	243	354	E	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	52,23	50,81	1,39	0,06	25,00	25,00	25,00		0,00	6,06
350	354	355	T	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	52,26	50,78	1,39	0,05	25,00	0,00	25,00		0,00	5,00
351	116	356	E	250	16	0,007	250 (PVCO-16)	51,97	50,55	0,57	0,01	25,00	25,00	25,00		0,00	6,56
352	356	357	T	250	16	0,007	250 (PVCO-16)	51,92	50,43	0,57	0,01	25,00	0,00	25,00		0,00	5,00
353	30	358	E	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	52,45	50,21	1,39	0,06	25,00	25,00	25,00	T-1-5	0,00	5,62
354	358	359	T	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	52,27	50,16	1,39	0,05	25,00	0,00	25,00	T-1-5	0,00	5,00
355	189	360	E	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	89,34	77,46	1,39	0,05	25,00	25,00	25,00		0,00	4,62
356	360	361	T	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	89,31	76,80	1,39	0,05	25,00	0,00	25,00		0,00	5,00
357	190	362	E	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	89,16	75,59	1,39	0,04	25,00	25,00	25,00		0,00	4,28
358	362	363	T	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	89,16	74,02	1,39	0,05	25,00	0,00	25,00		0,00	5,00
359	146	364	E	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	87,11	73,82	1,39	0,05	25,00	25,00	25,00	T-1-7	0,00	5,05
360	364	365	T	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	87,14	73,80	1,39	0,05	25,00	0,00	25,00	T-1-7	0,00	5,00
361	115	366	E	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	86,78	73,52	1,39	0,05	25,00	25,00	25,00		0,00	4,50
362	366	367	T	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	86,74	73,46	1,39	0,05	25,00	0,00	25,00		0,00	5,00
363	244	368	E	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	50,38	49,81	1,39	0,01	25,00	25,00	25,00		0,00	1,11
364	368	369	T	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	50,56	49,97	1,39	0,03	25,00	0,00	25,00		0,00	2,50
365	262	370	E	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	56,65	52,45	1,39	0,11	25,00	25,00	25,00		0,00	11,12
366	370	371	T	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	56,66	52,46	1,39	0,05	25,00	0,00	25,00		0,00	5,00
367	145	372	E	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	62,05	54,60	1,39	0,11	25,00	25,00	25,00		0,00	10,70
368	372	373	T	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	61,66	54,55	1,39	0,05	25,00	0,00	25,00		0,00	5,00
369	184	374	E	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	56,55	56,27	1,94	0,05	35,00	35,00	35,00		0,00	2,51
370	374	375	T	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	56,52	56,17	1,94	0,10	35,00	0,00	35,00		0,00	5,00
371	246	376	E	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	55,36	51,86	1,39	0,01	25,00	25,00	25,00		0,00	1,17
372	376	377	T	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	55,36	51,85	1,39	0,01	25,00	0,00	25,00		0,00	0,87
373	263	378	E	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	58,63	53,59	1,39	0,01	25,00	25,00	25,00		0,00	0,66
374	378	379	T	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	58,63	53,59	1,39	0,01	25,00	0,00	25,00		0,00	0,82
375	166	380	E	200	16	0,007	200 (PVCO-16)	58,70	57,31	1,24	0,13	35,00	35,00	35,00	T-2-1	0,00	19,60
376	380	381	T	200	16	0,007	200 (PVCO-16)	58,70	57,20	1,24	0,03	35,00	0,00	35,00	T-2-1	0,00	5,00
377	183	382	E	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	62,37	61,36	1,39	0,02	25,00	25,00	25,00		0,00	1,94
378	382	383	T	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	62,37	61,33	1,39	0,03	25,00	0,00	25,00		0,00	2,84
379	279	384	E	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	58,65	56,75	1,94	0,03	35,00	35,00	35,00		0,00	1,74
380	384	385	T	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	58,73	56,73	1,94	0,10	35,00	0,00	35,00		0,00	5,00
381	191	386	E	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	63,02	62,15	1,94	0,02	35,00	35,00	35,00		0,00	1,19
382	386	387	T	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	63,06	62,10	1,94	0,10	35,00	0,00	35,00		0,00	5,00
385	120	390	E	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	64,98	54,17	1,39	0,10	25,00	25,00	25,00		0,00	10,17

IDArc	NINI	NFIN	TIPUS	TUB_DN (mm)	TUB_PN	TUB_Rugosidad	TUB_Material	TUB_PEstatica	TUB_PDinamica	TUB_Velocidad	TUB_PerTotales	TUB_Q (l/s)	Q_Clem (l/s)	Q_ac (l/s)	Ramal	pk_Ini	pk_Fin
386	390	391	T	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	64,93	53,98	1,39	0,05	25,00	0,00	25,00		0,00	5,00
387	195	392	E	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	64,61	52,12	1,39	0,07	25,00	25,00	25,00		0,00	6,36
388	392	393	T	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	62,57	52,02	1,39	0,05	25,00	0,00	25,00		0,00	5,00
389	119	394	E	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	61,73	54,81	1,39	0,04	25,00	25,00	25,00		0,00	3,56
390	394	395	T	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	61,79	54,82	1,39	0,05	25,00	0,00	25,00		0,00	5,00
391	194	396	E	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	63,99	54,21	1,39	0,04	25,00	25,00	25,00		0,00	3,58
392	396	397	T	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	62,72	54,00	1,39	0,05	25,00	0,00	25,00		0,00	5,00
393	265	398	E	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	66,61	54,33	1,39	0,01	25,00	25,00	25,00		0,00	0,56
394	398	399	T	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	66,61	54,32	1,39	0,01	25,00	0,00	25,00		0,00	0,78
395	264	400	E	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	66,55	54,24	1,39	0,01	25,00	25,00	25,00		0,00	1,07
396	400	401	T	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	66,50	54,23	1,39	0,01	25,00	0,00	25,00		0,00	0,88
397	42	402	E	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	67,95	53,82	1,39	0,05	25,00	25,00	25,00	T-2-2-2	0,00	5,20
398	402	403	T	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	67,85	53,70	1,39	0,05	25,00	0,00	25,00	T-2-2-2	0,00	5,00
399	196	404	E	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	67,08	57,69	1,39	0,01	25,00	25,00	25,00		0,00	0,88
400	404	405	T	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	67,08	57,68	1,39	0,01	25,00	0,00	25,00		0,00	1,41
409	71	414	E	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	71,26	52,56	1,94	0,06	35,00	35,00	35,00		0,00	2,99
410	414	415	T	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	71,26	52,36	1,94	0,10	35,00	0,00	35,00		0,00	5,00
411	72	416	E	200	16	0,007	200 (PVCO-16)	70,11	51,16	1,24	0,02	35,00	35,00	35,00		0,00	3,34
412	416	417	T	200	16	0,007	200 (PVCO-16)	70,07	51,29	1,24	0,03	35,00	0,00	35,00		0,00	5,00
413	144	418	E	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	69,18	59,38	1,39	0,18	25,00	25,00	25,00		0,00	17,44
414	418	419	T	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	69,20	59,34	1,39	0,05	25,00	0,00	25,00		0,00	5,00
415	77	420	E	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	68,74	52,81	1,39	0,18	25,00	25,00	25,00	T-2-8	0,00	17,43
416	420	421	T	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	68,76	52,77	1,39	0,05	25,00	0,00	25,00	T-2-8	0,00	5,00
417	278	422	E	200	16	0,007	200 (PVCO-16)	68,99	53,22	1,24	0,12	35,00	35,00	35,00		0,00	18,29
418	422	423	T	200	16	0,007	200 (PVCO-16)	68,93	53,18	1,24	0,03	35,00	0,00	35,00		0,00	5,00
419	54	424	E	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	66,31	55,12	1,94	0,22	35,00	35,00	35,00	T-2-6	0,00	11,75
420	424	425	T	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	66,38	55,09	1,94	0,10	35,00	0,00	35,00	T-2-6	0,00	5,00
421	79	426	E	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	70,45	56,30	1,94	0,04	35,00	35,00	35,00		0,00	2,35
422	426	427	T	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	70,45	56,20	1,94	0,05	35,00	0,00	35,00		0,00	2,69
423	216	428	E	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	69,80	54,95	1,94	0,07	35,00	35,00	35,00		0,00	3,56
424	428	429	T	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	69,83	54,88	1,94	0,10	35,00	0,00	35,00		0,00	5,00
425	193	430	E	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	63,68	57,66	1,94	0,07	35,00	35,00	35,00		0,00	3,60
426	430	431	T	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	64,02	57,91	1,94	0,10	35,00	0,00	35,00		0,00	5,00
427	47	432	E	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	59,95	47,74	1,94	0,15	35,00	35,00	35,00	T-2-4	0,00	7,93
428	432	433	T	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	60,07	47,82	1,94	0,10	35,00	0,00	35,00	T-2-4	0,00	5,00
429	204	434	E	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	68,35	62,77	1,94	0,04	35,00	35,00	35,00		0,00	2,15
430	434	435	T	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	68,39	62,77	1,94	0,05	35,00	0,00	35,00		0,00	2,50
431	199	436	E	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	65,06	62,45	1,39	0,01	25,00	25,00	25,00		0,00	1,01
432	436	437	T	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	65,06	62,44	1,39	0,01	25,00	0,00	25,00		0,00	1,31
433	55	438	E	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	62,86	59,91	1,94	0,03	35,00	35,00	35,00		0,00	1,65
434	438	439	T	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	62,86	59,88	1,94	0,03	35,00	0,00	35,00		0,00	1,45
435	57	440	E	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	63,76	55,78	1,94	0,03	35,00	35,00	35,00		0,00	1,82
436	440	441	T	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	63,74	55,73	1,94	0,05	35,00	0,00	35,00		0,00	2,50
437	192	442	E	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	64,31	56,68	1,39	0,02	25,00	25,00	25,00		0,00	1,67
438	442	443	T	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	64,51	56,86	1,39	0,03	25,00	0,00	25,00		0,00	2,50
439	200	444	E	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	67,39	63,61	1,39	0,03	25,00	25,00	25,00		0,00	3,10
440	444	445	T	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	67,84	64,00	1,39	0,05	25,00	0,00	25,00		0,00	5,00
441	201	446	E	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	67,59	61,84	1,39	0,02	25,00	25,00	25,00		0,00	2,11
442	446	447	T	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	67,82	62,02	1,39	0,05	25,00	0,00	25,00		0,00	5,00
449	125	454	E	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	68,49	64,10	1,39	0,13	25,00	25,00	25,00		0,00	12,80
450	454	455	T	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	68,48	64,07	1,39	0,05	25,00	0,00	25,00		0,00	5,00
451	81	456	E	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	72,11	60,85	1,94	0,04	35,00	35,00	35,00		0,00	2,26
452	456	457	T	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	71,62	60,79	1,94	0,06	35,00	0,00	35,00		0,00	3,15
453	51	458	E	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	69,93	64,32	1,94	0,25	35,00	35,00	35,00		0,00	13,37
454	458	459	T	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	69,87	64,22	1,94	0,10	35,00	0,00	35,00		0,00	5,00
455	205	460	E	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	70,34	66,11	1,94	0,01	35,00	35,00	35,00		0,00	0,31
456	460	461	T	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	70,36	66,11	1,94	0,01	35,00	0,00	35,00		0,00	0,61
457	206	462	E	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	71,84	66,65	1,94	0,05	35,00	35,00	35,00		0,00	2,87
458	462	463	T	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	71,84	66,56	1,94	0,10	35,00	0,00	35,00		0,00	5,00
459	101	464	E	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	71,87	60,81	1,94	0,29	35,00	35,00	35,00		0,00	15,28
460	464	465	T	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	71,78	60,68	1,94	0,10	35,00	0,00	35,00		0,00	5,00

IDArc	NINI	NFIN	TIPUS	TUB_DN (mm)	TUB_PN	TUB_Rugosidad	TUB_Material	TUB_PEstatica	TUB_PDinamica	TUB_Velocidad	TUB_PerTotales	TUB_Q (l/s)	Q_Clem (l/s)	Q_ac (l/s)	Ramal	pk_Ini	pk_Fin
461	89	466	E	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	72,93	66,58	1,94	0,04	35,00	35,00	35,00		0,00	2,24
462	466	467	T	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	72,93	66,55	1,94	0,04	35,00	0,00	35,00		0,00	2,01
463	83	468	E	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	72,94	65,20	1,94	0,05	35,00	35,00	35,00		0,00	2,61
464	468	469	T	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	73,17	65,38	1,94	0,05	35,00	0,00	35,00		0,00	2,80
465	104	470	E	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	74,40	66,01	1,94	0,26	35,00	35,00	35,00		0,00	13,40
466	470	471	T	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	73,97	65,25	1,94	0,10	35,00	0,00	35,00		0,00	5,00
467	91	472	E	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	73,74	66,24	1,94	0,24	35,00	35,00	35,00		0,00	12,77
468	472	473	T	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	73,74	66,12	1,94	0,10	35,00	0,00	35,00		0,00	5,00
469	207	474	E	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	72,93	66,91	1,94	0,02	35,00	35,00	35,00		0,00	0,82
470	474	475	T	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	72,93	66,88	1,94	0,02	35,00	0,00	35,00		0,00	1,02
471	215	476	E	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	70,78	56,93	1,94	0,03	35,00	35,00	35,00		0,00	1,75
472	476	477	T	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	70,78	56,83	1,94	0,05	35,00	0,00	35,00		0,00	2,50
473	153	478	E	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	71,26	54,88	1,94	0,05	35,00	35,00	35,00		0,00	2,83
474	478	479	T	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	71,26	54,84	1,94	0,04	35,00	0,00	35,00		0,00	2,07
475	74	480	E	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	71,43	55,38	1,94	0,03	35,00	35,00	35,00		0,00	1,55
476	480	481	T	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	71,43	54,93	1,94	0,05	35,00	0,00	35,00		0,00	2,50
477	122	482	E	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	74,41	57,84	1,39	0,13	25,00	25,00	25,00	T-2-10-2-1	0,00	12,52
478	482	483	T	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	74,43	57,81	1,39	0,05	25,00	0,00	25,00	T-2-10-2-1	0,00	5,00
479	123	484	E	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	75,65	60,94	1,39	0,13	25,00	25,00	25,00		0,00	12,35
480	484	485	T	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	74,17	60,85	1,39	0,05	25,00	0,00	25,00		0,00	5,00
481	228	486	E	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	74,39	62,42	1,94	0,05	35,00	35,00	35,00		0,00	2,50
482	486	487	T	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	74,45	62,38	1,94	0,10	35,00	0,00	35,00		0,00	5,00
483	229	488	E	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	74,30	62,01	1,94	0,06	35,00	35,00	35,00		0,00	3,09
484	488	489	T	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	74,29	61,87	1,94	0,10	35,00	0,00	35,00		0,00	5,00
485	231	490	E	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	75,60	59,89	1,94	0,05	35,00	35,00	35,00		0,00	2,71
486	490	491	T	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	76,17	60,36	1,94	0,09	35,00	0,00	35,00		0,00	4,98
487	220	492	E	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	75,46	61,70	1,94	0,16	35,00	35,00	35,00		0,00	8,60
488	492	493	T	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	75,50	61,67	1,94	0,10	35,00	0,00	35,00		0,00	5,00
489	217	494	E	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	75,71	65,03	1,94	0,02	35,00	35,00	35,00		0,00	1,12
490	494	495	T	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	75,72	64,99	1,94	0,05	35,00	0,00	35,00		0,00	2,50
491	218	496	E	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	75,63	64,19	1,94	0,02	35,00	35,00	35,00		0,00	1,26
492	496	497	T	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	75,18	64,14	1,94	0,05	35,00	0,00	35,00		0,00	2,50
493	230	498	E	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	75,17	59,80	1,94	0,01	35,00	35,00	35,00		0,00	0,38
494	498	499	T	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	75,17	59,79	1,94	0,01	35,00	0,00	35,00		0,00	0,79
495	232	500	E	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	76,28	54,72	1,94	0,02	35,00	35,00	60,00		0,00	1,00
496	500	501	T	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	76,28	54,70	1,94	0,02	35,00	0,00	35,00		0,00	1,18
497	233	502	E	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	77,45	55,74	1,39	0,01	25,00	25,00	25,00		0,00	1,33
498	502	503	T	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	77,45	55,73	1,39	0,01	25,00	0,00	25,00		0,00	1,05
499	219	504	E	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	75,87	62,58	1,94	0,03	35,00	35,00	35,00		0,00	1,42
500	504	505	T	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	75,87	62,37	1,94	0,03	35,00	0,00	35,00		0,00	1,61
501	221	506	E	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	77,75	60,11	1,39	0,01	25,00	25,00	25,00		0,00	0,61
502	506	507	T	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	77,75	60,10	1,39	0,01	25,00	0,00	25,00		0,00	0,97
503	69	508	E	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	75,68	57,71	1,94	0,01	35,00	35,00	35,00	T-2-10-1	0,00	0,78
504	508	509	T	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	75,68	57,69	1,94	0,02	35,00	0,00	35,00	T-2-10-1	0,00	1,26
505	214	510	E	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	71,66	60,82	1,94	0,03	35,00	35,00	35,00		0,00	1,61
506	510	511	T	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	71,27	60,53	1,94	0,03	35,00	0,00	35,00		0,00	1,58
507	213	512	E	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	72,12	64,03	1,94	0,03	35,00	35,00	35,00		0,00	1,53
508	512	513	T	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	71,45	63,64	1,94	0,05	35,00	0,00	35,00		0,00	2,50
509	84	514	E	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	74,00	65,15	1,94	0,20	35,00	35,00	35,00	T-2	0,00	10,42
510	514	515	T	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	72,72	65,01	1,94	0,10	35,00	0,00	35,00	T-2	0,00	5,00
511	222	516	E	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	74,03	63,15	1,94	0,02	35,00	35,00	35,00		0,00	0,91
512	516	517	T	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	74,03	63,12	1,94	0,03	35,00	0,00	35,00		0,00	1,48
513	223	518	E	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	75,51	64,32	1,94	0,03	35,00	35,00	35,00		0,00	1,35
514	518	519	T	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	75,51	64,30	1,94	0,03	35,00	0,00	35,00		0,00	1,36
515	224	520	E	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	76,70	61,91	1,94	0,03	35,00	35,00	35,00		0,00	1,79
516	520	521	T	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	76,70	61,87	1,94	0,05	35,00	0,00	35,00		0,00	2,50
517	225	522	E	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	76,75	61,66	1,94	0,04	35,00	35,00	35,00		0,00	1,99
518	522	523	T	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	76,75	61,49	1,94	0,03	35,00	0,00	35,00		0,00	1,38
519	208	524	E	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	73,88	66,92	1,94	0,01	35,00	35,00	35,00		0,00	0,50
520	524	525	T	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	73,88	66,91	1,94	0,01	35,00	0,00	35,00		0,00	0,59
526	100	532	E	160	16	0,007	160 (PVCO-16)	73,87	60,51	1,94	0,18	35,00	35,00	35,00		0,00	9,61

IDArc	NINI	NFIN	TIPUS	TUB_DN (mm)	TUB_PN	TUB_Rugosidad	TUB_Material	TUB_PEstatica	TUB_PDinamica	TUB_Velocidad	TUB_PerTotales	TUB_Q (l/s)	Q_Clem (l/s)	Q_ac (l/s)	Ramal	pk_Ini	pk_Fin
527	532	533	T	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	73,85	60,40	1,94	0,10	35,00	0,00	35,00		0,00	5,00
528	93	534	E	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	75,02	64,91	1,94	0,05	35,00	35,00	35,00		0,00	2,67
529	534	535	T	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	75,02	64,86	1,94	0,04	35,00	0,00	35,00		0,00	2,19
530	102	536	E	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	75,20	59,86	1,39	0,09	25,00	25,00	25,00		0,00	8,44
531	536	537	T	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	75,14	59,77	1,39	0,05	25,00	0,00	25,00		0,00	5,00
532	163	538	E	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	76,39	64,71	1,94	0,18	35,00	35,00	35,00	T-2-7	0,00	9,22
533	538	539	T	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	76,37	64,60	1,94	0,10	35,00	0,00	35,00	T-2-7	0,00	5,00
534	103	540	E	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	77,30	63,78	1,94	0,20	35,00	35,00	35,00		0,00	10,35
535	540	541	T	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	77,17	63,58	1,94	0,10	35,00	0,00	35,00		0,00	5,00
536	209	542	E	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	73,58	63,82	1,94	0,01	35,00	35,00	35,00		0,00	0,76
537	542	543	T	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	73,58	63,81	1,94	0,01	35,00	0,00	35,00		0,00	0,52
538	211	544	E	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	74,28	54,38	1,39	0,01	25,00	25,00	25,00		0,00	1,42
539	544	545	T	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	74,34	54,39	1,39	0,05	25,00	0,00	25,00		0,00	5,00
540	212	546	E	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	72,73	52,24	1,39	0,03	25,00	25,00	25,00		0,00	2,53
541	546	547	T	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	72,73	52,19	1,39	0,05	25,00	0,00	25,00		0,00	5,00
542	276	548	E	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	72,73	52,23	1,39	0,03	25,00	25,00	25,00		0,00	2,51
543	548	549	T	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	72,76	52,21	1,39	0,05	25,00	0,00	25,00		0,00	5,00
544	99	550	E	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	72,27	51,07	1,39	0,05	25,00	25,00	25,00	T-2-5	0,00	4,84
545	550	551	T	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	72,35	51,10	1,39	0,05	25,00	0,00	25,00	T-2-5	0,00	5,00
546	49	552	E	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	77,47	63,22	1,94	0,25	35,00	35,00	35,00	T-2-7	0,00	12,89
547	552	553	T	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	77,19	62,49	1,94	0,10	35,00	0,00	35,00	T-2-7	0,00	5,00
548	210	554	E	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	76,96	64,07	1,94	0,01	35,00	35,00	35,00		0,00	0,34
549	554	555	T	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	76,96	64,06	1,94	0,01	35,00	0,00	35,00		0,00	0,64
550	227	556	E	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	76,85	57,60	1,94	0,02	35,00	35,00	35,00		0,00	0,81
551	556	557	T	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	76,85	57,57	1,94	0,03	35,00	0,00	35,00		0,00	1,36
552	226	558	E	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	78,14	59,18	1,94	0,02	35,00	35,00	35,00		0,00	1,25
553	558	559	T	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	78,16	59,17	1,94	0,05	35,00	0,00	35,00		0,00	2,50
554	87	560	E	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	78,76	54,27	1,39	0,19	25,00	25,00	25,00	T-2-9	0,00	18,37
555	560	561	T	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	78,67	54,22	1,39	0,05	25,00	0,00	25,00	T-2-9	0,00	5,00
558	236	562	E	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	72,44	52,16	1,39	0,05	25,00	25,00	25,00		0,00	4,98
559	562	563	T	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	72,42	52,01	1,39	0,05	25,00	0,00	25,00		0,00	5,00
560	139	564	E	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	73,57	53,53	1,39	0,10	25,00	25,00	25,00	T-2-11	0,00	9,33
561	564	565	T	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	73,65	53,56	1,39	0,05	25,00	0,00	25,00	T-2-11	0,00	5,00
562	237	566	E	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	71,84	50,09	1,39	0,05	25,00	25,00	25,00		0,00	4,87
563	566	567	T	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	71,15	49,80	1,39	0,05	25,00	0,00	25,00		0,00	5,00
564	235	568	E	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	74,22	51,31	1,39	0,02	25,00	25,00	25,00		0,00	2,34
565	568	569	T	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	74,14	51,08	1,39	0,05	25,00	0,00	25,00		0,00	5,00
568	234	572	E	200	16	0,007	200_(PVCO-16)	76,48	50,32	1,24	0,01	35,00	35,00	35,00		0,00	1,67
569	572	573	T	200	16	0,007	200_(PVCO-16)	76,49	50,29	1,24	0,03	35,00	0,00	35,00		0,00	5,00
570	132	574	E	200	16	0,007	200_(PVCO-16)	73,85	50,13	0,89	0,00	25,00	25,00	25,00		0,00	1,43
571	574	575	T	200	16	0,007	200_(PVCO-16)	73,85	50,08	0,89	0,02	25,00	0,00	25,00		0,00	5,00
572	130	576	E	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	76,48	50,71	1,94	0,09	35,00	35,00	35,00		0,00	4,83
573	576	577	T	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	76,49	50,63	1,94	0,10	35,00	0,00	35,00		0,00	5,00
574	277	578	E	200	16	0,007	200_(PVCO-16)	77,78	51,44	1,24	0,07	35,00	35,00	35,00		0,00	10,43
575	578	579	T	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	77,76	51,32	1,94	0,10	35,00	0,00	35,00		0,00	5,00
576	240	580	E	200	16	0,007	200_(PVCO-16)	76,38	48,56	1,24	0,13	35,00	35,00	35,00	T-2-16	0,00	20,67
577	580	581	T	200	16	0,007	200_(PVCO-16)	75,76	48,42	1,24	0,03	35,00	0,00	35,00	T-2-16	0,00	5,00
578	128	582	E	250	16	0,007	250_(PVCO-16)	79,15	51,21	0,80	0,01	35,00	35,00	35,00	T-2	0,00	5,97
579	582	583	T	250	16	0,007	250_(PVCO-16)	79,10	51,21	0,80	0,01	35,00	0,00	35,00	T-2	0,00	5,00
580	241	584	E	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	78,29	51,13	1,94	0,07	35,00	35,00	35,00		0,00	3,63
581	584	585	T	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	78,30	51,05	1,94	0,10	35,00	0,00	35,00		0,00	5,00
582	238	586	E	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	76,62	50,96	1,39	0,03	25,00	25,00	25,00		0,00	2,81
583	586	587	T	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	76,58	51,13	1,39	0,05	25,00	0,00	25,00		0,00	5,00
584	239	588	E	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	76,07	49,08	1,39	0,02	25,00	25,00	25,00		0,00	2,28
585	588	589	T	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	76,11	49,06	1,39	0,05	25,00	0,00	25,00		0,00	5,00
586	590	591	R	1100	10	0,1	1100_(HPCC-10)	60,25	60,23	1,21	0,01	1.150,31	1.150,31	4.370,00	Ramal ID = 0	0,00	14,98
587	591	271	R	1100	10	0,1	1100_(HPCC-10)	60,57	60,54	1,21	0,02	1.150,31	1.150,31	4.370,00	Ramal ID = 0	14,98	32,71
588	256	592	E	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	83,63	75,00	1,39	0,08	25,00	25,00	25,00		0,00	7,54
589	592	593	T	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	82,69	74,65	1,39	0,06	25,00	0,00	25,00		0,00	5,40
590	271	594	E	250	16	0,007	250_(PVCO-16)	60,57	60,46	0,80	0,02	35,00	35,00	35,00	Ramal ID = 0	0,00	10,44
591	594	595	T	200	16	0,007	200_(PVCO-16)	60,51	60,16	1,24	0,09	35,00	0,00	35,00	Ramal ID = 0	0,00	14,34

IDArc	NINI	NFIN	TIPUS	TUB_DN (mm)	TUB_PN	TUB_Rugosidad	TUB_Material	TUB_PEstatica	TUB_PDinamica	TUB_Velocidad	TUB_PerTotales	TUB_Q (l/s)	Q_Clem (l/s)	Q_ac (l/s)	Ramal	pk_Ini	pk_Fin
592	0	596	E	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	60,17	53,21	1,39	0,06	25,00	25,00	25,00	T-1-1	0,00	5,98
593	596	597	T	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	60,58	53,50	1,39	0,11	25,00	0,00	25,00	T-1-1	0,00	10,67
598	110	598	E	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	86,11	81,07	1,39	0,19	25,00	25,00	25,00			
599	14	599	E	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	84,72	73,80	1,39	0,12	25,00	25,00	25,00			
600	599	600	T	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	83,52	73,67	1,39	0,31	25,00	0,00	25,00			
601	598	601	T	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	86,16	80,97	1,39	0,14	25,00	0,00	25,00			
603	33	603	E	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	60,80	58,46	1,39	0,51	25,00	25,00	25,00			
604	603	604	T	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	62,24	59,53	1,39	0,37	25,00	0,00	25,00			
605	500	605	T	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	78,21	55,17	1,39	1,48	25,00	0,00	25,00			
609	608	175	R	500	16	0,007	500_(PVCO-16)	84,47	80,69	1,62	0,93	283,94	283,94	1.025,00	T-1	1.728,38	2.417,06
610	609	608	R	500	16	0,007	500_(PVCO-16)	73,84	71,00	1,62	0,08	283,94	283,94	1.025,00	T-1	1.728,38	2.417,06
611	6	609	R	500	16	0,007	500_(PVCO-16)	73,40	70,64	1,62	1,41	283,94	283,94	1.025,00	T-1	1.728,38	2.417,06
97	611	139	R	160	16	0,007	160_(PVCO-16)	73,02	53,08	1,39	0,02	25,00	25,00	25,00	T-2-11	92,02	153,66
614	611	138	R	400	16	0,007	400_(PVCO-16)	72,96	52,26	1,59	0,26	178,85	178,85	360,00	T-2-11	92,02	153,66
612	49	612	R	400	16	0,007	400_(PVCO-16)	77,47	53,07	1,60	6,17	179,82	179,82	385,00			
615	612	611	R	400	16	0,007	400_(PVCO-16)	72,96	53,04	1,60	0,02	179,82	179,82	385,00			