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 10
6 CONDICIONANTES PARTICULARES DE DISEÑO 13
7 CÁLCULO DE DOTACIONES EN LOS HIDRANTES 14
7.1 CAUDAL FICTICIO CONTINUO 15
7.2 JORNADA EFECTIVA DE RIEGO 15
7.3 RENDIMIENTO DE LA RED 16
7.4 GRADO DE LIBERTAD 16
7.5 DOTACIONES 18
8 PRESIÓN DE CONSIGNA EN LOS HIDRANTES 20
9 CÁLCULO DE LOS CAUDALES DE DISEÑO DE LA RED 23
9.1 METODOLOGÍA DE CLÉMENT PARA EL CÁLCULO DE CAUDALES EN RIEGOS A LA DEMANDA 24
9.2 PRIMERA FÓRMULA GENERALIZADA DE CLÉMENT 25
9.3 GARANTÍA DE SUMINISTRO 27
9.4 CAUDALES DE LÍNEA 27
9.5 CONSIDERACIONES FINALES 29
10 DIMENSIONAMIENTO Y OPTIMIZACIÓN DE LA RED 31
10.1 INTRODUCCIÓN 31
10.2 MEDOLOLOGÍA DE CÁLCULO PARA EL DIMENSIONADO. HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS. 32
10.2.1 SIGOPRAM 32
10.2.2 GESTAR 34
10.3 PARÁMETROS DE CÁLCULO INTRODUCIDOS 35
11 OPTIMIZACIÓN DE LA RED 37
11.1 HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS 37
11.2 HIPÓTESIS DE SIMULACIÓN 37
12 CONSIDERACIONES AL DISEÑO DE RED FINAL 38
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 19
TABLA 2. DISTRIBUCIÓN SUPERFICIE UNIDADES DE RIEGO (%) 19
TABLA 2. VALORES DE U EN FUNCIÓN DE LA GARANTÍA DE SUMINISTRO (GS) 27

ÍNDICE IMÁGENES

IMAGEN 1. ESQUEMA DEL PROCESO BÁSICO DE DISEÑO DE UNA RED DE RIEGO. 2
IMAGEN 2.- ESQUEMA DE UNA RED ESTRICTAMENTE RAMIFICADA..... 9

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).

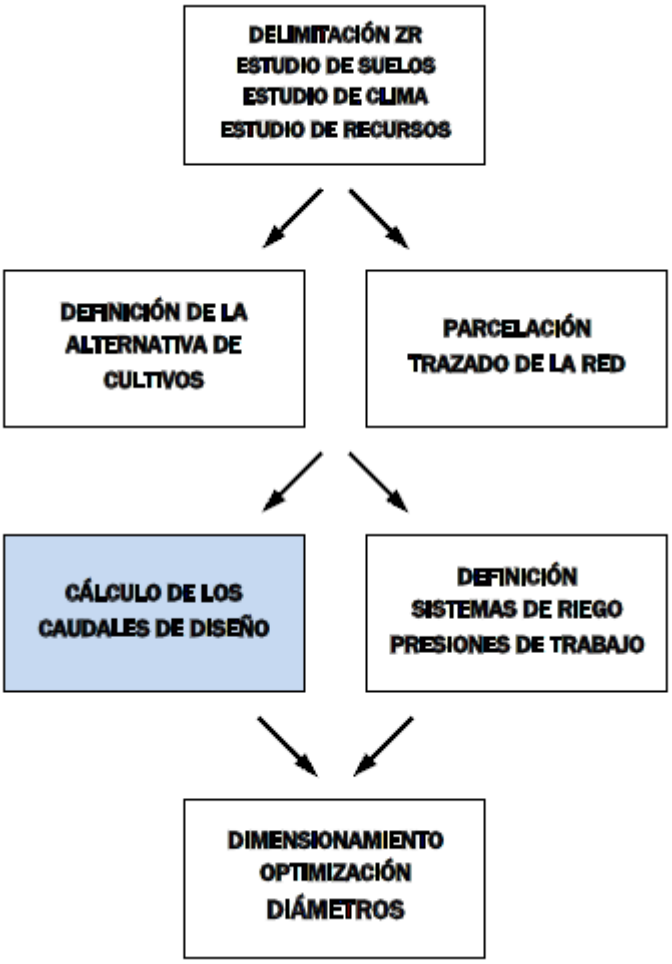


Imagen 1. Esquema del proceso básico de diseño de una red de riego.

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 interconexionados 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, en este caso dentro de la misma comunidad de regantes.

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 del Pisuerga (Palencia) que se corresponde con el sector G.

Se trazan las unidades de riego a partir de las trazas de caminos y arroyos marcados por el ITACYL en el proceso de re-concentración en el que están inmersos los términos municipales afectados por esta modernización. No se dispone de las masas que derivaran del proceso de re-concentración parcelaria.

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 cierta flexibilidad, 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 del Pisuerga, 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 del Pisuerga para cada campaña de riego, condicionada por las disponibilidades de agua disponibles en el sistema y establecidos en la Junta de Explotación del Sistema Pisuerga- Bajo Duero.

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 Pisuerga (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 máximas 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 hidrantes. 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, aparcero, 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, cuya superficie individual es inferior a 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 al 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).

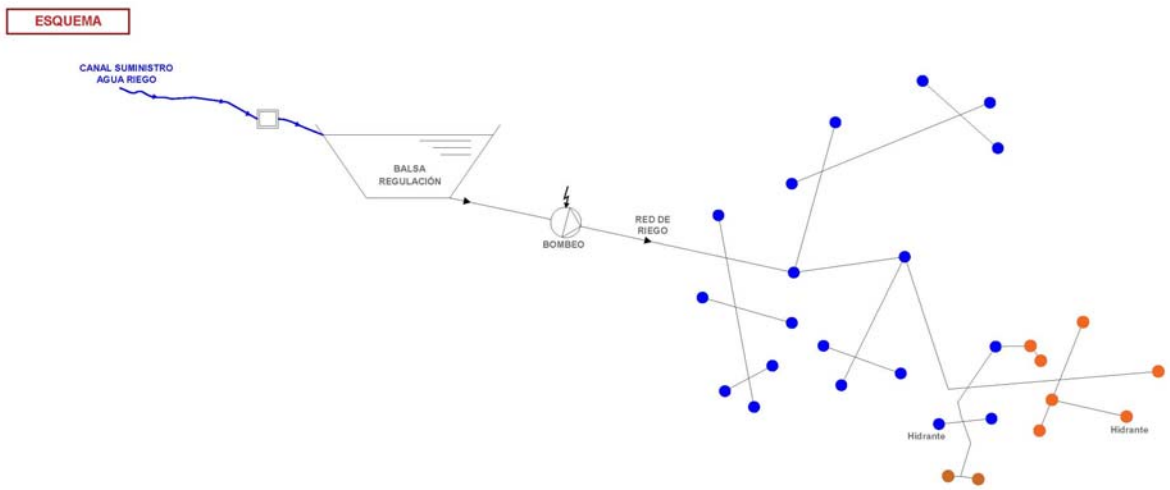


Imagen 2.- Esquema de una red estrictamente ramificada

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 del Pisuerga 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 se considera el coste de implantación de la red, sino también se atenderá 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 del Pisuerga 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 balsa de almacenamiento elevada a la cual se bombeará el agua desde la 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 de regulación están condicionadas principalmente por la capacidad de suministro del canal (sección del mismo) y por la forma que

presenta geométrica de la zona regable.

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.

Sabiendo que el consumo bruto mensual máximo es de **176,74 mm** de agua, que corresponde con el consumo del mes de julio, considerando una eficiencia de aplicación de 80% para el riego mediante aspersión; se obtiene el siguiente caudal ficticio continuo (q_{fc}):

$$q_{fc} = \frac{1767{,}40 m^3 \times 10^3 l/m^3}{24 h/dia \times 31 dia \times 3600 seg/h \times ha} = 0{,}66\ l/seg \times ha$$

Se ha tenido en cuenta una jornada efectiva de riego de 24 horas durante 6 días y uno de descanso o comodín en caso de avería.

Por lo tanto, la dotación de agua para la alternativa elegida de es:

Dotación = 0,77 l· s/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 desde la balsa de almacenamiento y no con inyección directa a red, se consideran las 24 horas del días como horas de riego disponible y por lo tanto establecemos la JER de 24 horas.

Respecto al bombeo de agua desde la estación de bombeo a balsa elevada se dará prioridad a las horas de producción solar, dejando como una garantía de servicio la horas nocturnas que se corresponden con período P6 dentro de la tarifa de 6 períodos actual.

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:

$$r = \frac{JER}{24} = \frac{24}{24} = 1{,}00$$

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^3/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 15 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 15 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 3", 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 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^3/h)	Grado de libertad (GL)	Tamaño de hidrante
$0,43 < S \leq 3$	13	15	54	$37,7 \geq GL \geq 5,4$	3 "
$3 < S \leq 8$	82	25	90	$9 \geq GL \geq 3,4$	4 "
$8 < S \leq 25$	163	35	126	$4,7 \geq GL \geq 1,5$	6 "

Tabla 2. Distribución superficie unidades de riego (%)

Superficie	%
< 3 ha	5,04%
$3 \leq S < 8$ ha	31,78%
$S \geq 8$ ha	63,18%
Total	100,00%

Es importante volver a resaltar, que al no disponer de masas de concentración, se han simulado masas acorde a la superficie media de explotación en la zona de proyecto.

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:

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

Donde:

Ri Nº Tomas con una probabilidad de funcionamiento pi

pi Probabilidad de funcionamiento de un hidrante/toma

di Caudal del hidrante/toma en l/s

U (Pq) Función de la calidad de funcionamiento de la red que toma los siguientes valores:

Nº DE TOMAS	CALIDAD FUNCION. (Pq)	U(Pq)
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 (hidrante de agrupación, ya sea individual o compartida) de **50 m.c.a.**

Para conseguir esta presión a la salida del hidrante 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 pívot 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 consiga (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: ($Z_{máx}$)
- Presión de consigna mínima en hidrante P_{cn}: 50 m.c.a.
- Presión de consigna en función de la $Z_{máx}$: $P_c = P_{cn} + (Z_{max}-Z)$

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 ($Z_{máx}$), 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 (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.

Lo 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, entro 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) y siempre y cuando no sobrepase el número máximo de hidrantes abiertos durante la duración del mismo, 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 fonctionnamt 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 Σdi, 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 μ la media de la distribución y σ 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 8,230 m^3/s. El caudal de diseño en cabecera (Q_d), evaluado según la formulación de Clément es de 2.872,00 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:

$$CS = \frac{Q_d}{Q_o} = \frac{2,872}{8,230} = 0,35 \approx 35\ \%$$

El coeficiente o grado de simultaneidad de la red proyectada, obtenido mediante la comprobación del funcionamiento según las condiciones de diseño, se considera del 35 %.

Simulador de Escenarios de Demanda

Critério de apertura de tomas: ☐ Turnos ◉ Aleatórios ○ Hydrogen ○ Prob Clèment

Criterio Fallo: Tolerancia 0 m ◉ PMin ○ PMinAuto

Nº de Simulaciones: Nº de Escenários 1000 de 5 a 50 Incremento 5

☑ Limitar Caudal de la toma a la pluviometria del sistema de riego

<< ○ Numero de Fallos ◉ Caudal en Cabecera (l/s) ○ Defict Máximo (m)

	Avg	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
20%	1671,8	1630	1765	1700	1730	1640	1630	1715	1720	1705	1635	1655	1670	1670	1690
25%	2052,4	2105	2100	2095	1980	2025	2030	2090	2045	2045	2015	2085	2040	2030	2045
30%	2462,4	2425	2475	2380	2460	2415	2485	2495	2430	2545	2480	2450	2450	2415	2420
35%	2876,3	2830	2900	2880	2825	2910	2910	2905	2855	2780	2890	2875	2835	2825	2790
40%	3286,9	3390	3310	3290	3265	3335	3270	3195	3290	3295	3330	3300	3260	3300	3305
45%	3694,6	3615	3675	3760	3740	3670	3650	3725	3605	3745	3650	3680	3690	3680	3565
50%	4108,2	4070	4175	4125	4010	4100	4135	4085	4245	4050	4085	4070	4185	4130	4055

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 Bernouilli:

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

$$\Delta H = \Delta H_c + \Delta H_1$$

Siendo

Q	caudal circulante, en m^3/s
A_i	área de la tubería en la sección i, en m^2
v_i	velocidad del agua en la sección i, en m/s
g	aceleración de la gravedad, en m/s^2
ID_i	diámetro interior de la tubería en la sección i, en m
h_i	cota geométrica en la sección i, en m
P_i	presión interior del agua en la sección i, en kp/m^2
γ	Densidad del agua, en kp/m^3
ΔH	Pérdidas de carga totales, en m
ΔH_c	pérdidas de carga continuas, en m
ΔH_c	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 2,5 m/s dependiendo del diámetro interior de la tubería.

10.2 METODOLOGÍA 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 bobeo 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 DIPOCAL-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)
0,77	24	6	15	35	3	0,0015	7	3	0	3
0,77	24	6	25	35	3	0,0015	7	3	3	8
0,77	24	6	35	35	3	0,0012	7	3	8	15
0,77	24	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	Espesor	PN	Material	V_{Min}	V_{Max}
160_(PVCO-16)	160	0,1514	0,000007	0,01	16	PVCO	0,5	2,5
200_(PVCO-16)	200	0,1892	0,000007	0,01	16	PVCO	0,5	2,5
250_(PVCO-16)	250	0,2364	0,000007	0,01	16	PVCO	0,5	2,5
315_(PVCO-16)	315	0,298	0,000007	0,01	16	PVCO	0,5	2,5
400_(PVCO-16)	400	0,3784	0,000007	0,01	16	PVCO	0,5	2,5
450_(PVCO-16)	450	0,426	0,000007	0,01	16	PVCO	0,5	2,5
500_(PVCO-16)	500	0,4728	0,000007	0,01	16	PVCO	0,5	2,5
630_(PVCO-16)	630	0,5958	0,000007	0,01	16	PVCO	0,5	2,5
610_(ASH-16)	610	0,5996	0,000046	0,005	16	ASH	0,5	2,5
711_(ASH-16)	711	0,7012	0,000046	0,055	16	ASH	0,5	2,5
813_(ASH-16)	813	0,8	0,000046	0,055	16	ASH	0,5	2,5
914_(ASH-16)	914	0,85	0,000046	0,006	16	ASH	0,5	2,5
1016_(ASH-16)	1016	0,95	0,000046	0,006	16	ASH	0,5	2,5
1118_(ASH-16)	1118	1,1018	0,000046	0,006	16	ASH	0,5	2,5
1219_(ASH-16)	1219	1,15	0,000046	0,006	16	ASH	0,5	2,5
1524_(ASH-16)	1524	1,48	0,000046	0,01	16	ASH	0,5	2,5
1800_(ASH-16)	1800	1,8	0,0001	0,01	16	ASH	0,5	2,5
2000_(ASH-16)	2000	2	0,0001	0,01	16	ASH	0,5	2,5

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:
    - Número de escenarios de 2.000 con una apertura entre el 30 y 40 % 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 resultas 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.

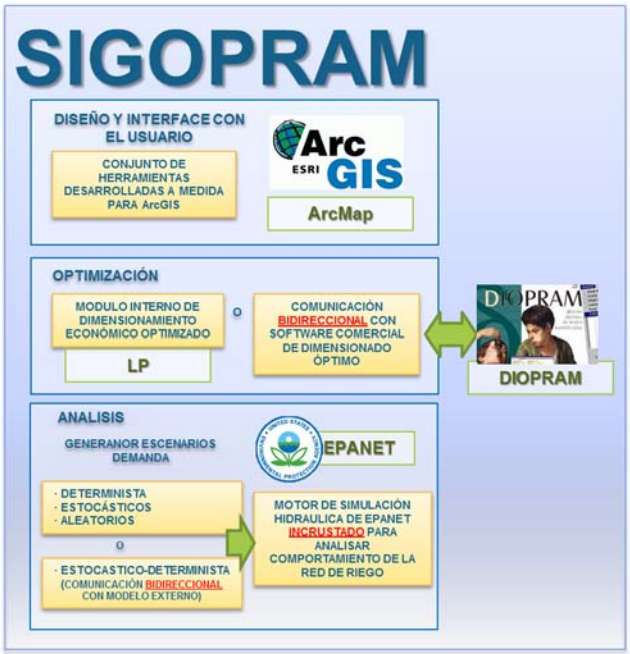


Figura 1 – Estructura del SIGOPRAM

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 bobeo 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**

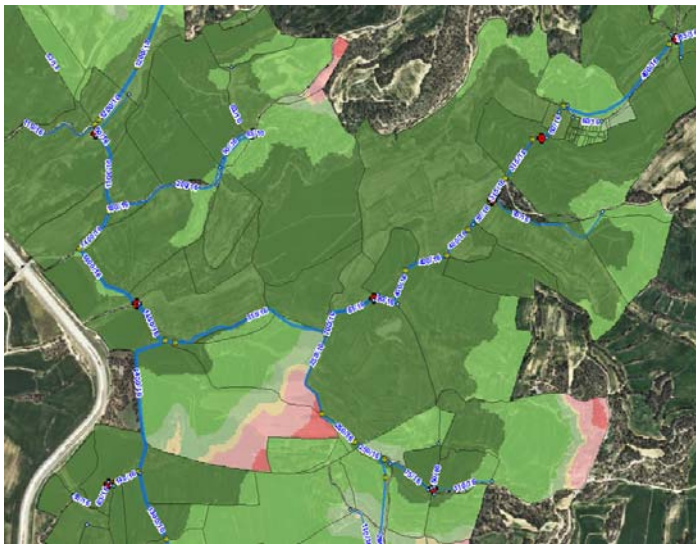


Figura 2 – Ilustración del entorno de trabajo del SIGOPRAM

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.

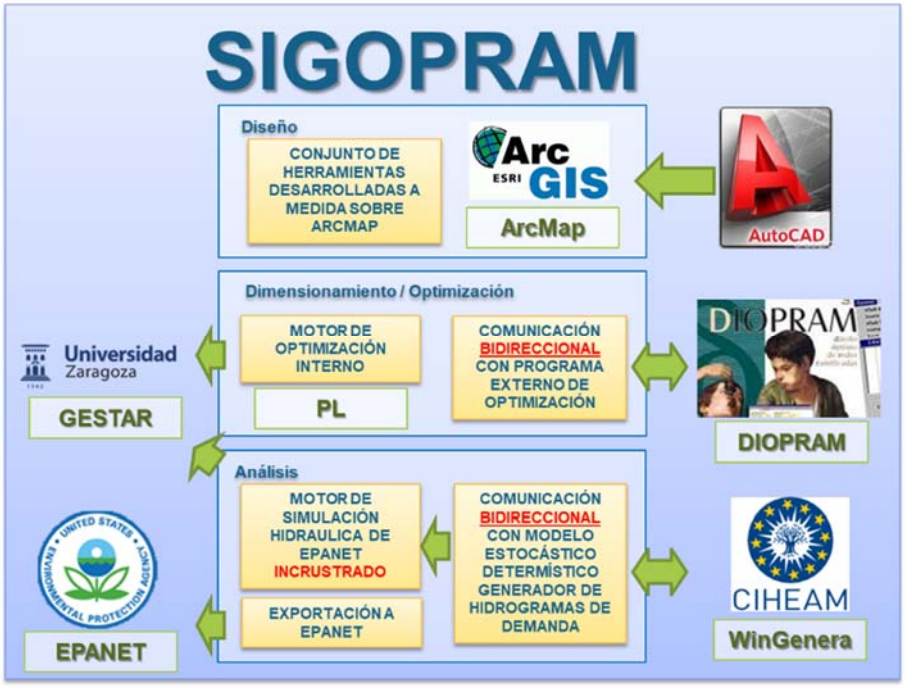
Aigües del Segarra-Garrigues (ASG), es la empresa encargada de la redacción de los proyectos, ejecución de las obras y explotación del Sistema Segarra Garrigues durante 30 años. Se trata de una infraestructura de riego de aproximadamente 70.000 ha. ASG, trabaja con varias empresas proyectistas y varias 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 seria 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 em 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 bobeo 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* (Qac). 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 formula 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* (Qfc) 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 Qfc suele definirse en l/s/ha y ya considera la eficiencia de aplicación de los sistemas de riego.

Evidentemente, el Qfc 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 Qfc tendrá un impacte 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).

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 subministrar 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 (Qfc_i) 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:

$$\square_{\square} = \frac{\square\square\square \cdot \square\square\square \cdot 24 \cdot 7}{\square_{\square} \cdot \square\square \cdot \square\square}$$

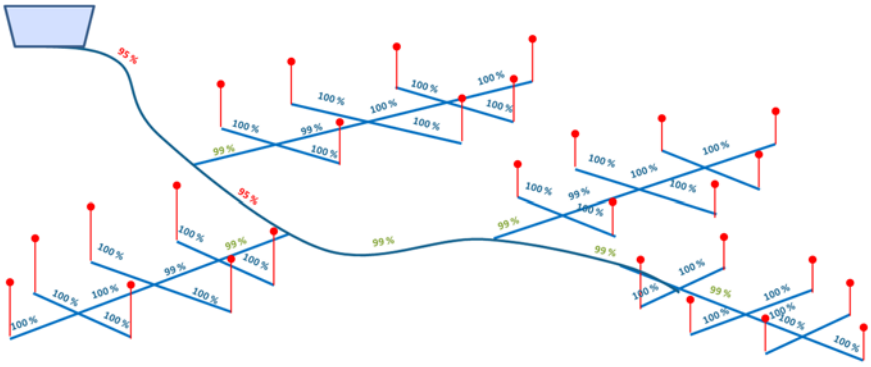
Donde p_i es la probabilidad de funcionamiento de la toma i, cuantificada entre [0,1], Qfc (l/s/ha) es caudal ficticio continuo del cultivo presente en la explotación de riego dominada por la toma i, Sup la superficie de dicha explotación, HR y DR, respectivamente, el nº de horas al día y el número de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

Otro concepto fundamental és el de *Garantia de Suministro* (GS). Tal como se explicó anteriormente, el caudal de diseño que garantizaría el suministro en cualquier circunstancia seria 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	*Garantia 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* ($Q_{Clément}$) em cada tramo de la red. El caudal de diseño ($Q_{diseño}$), del tramo será idéntico al caudal de $Q_{Clément}$ 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 formula:

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

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 $Q_{Clement}$ viene dado por:

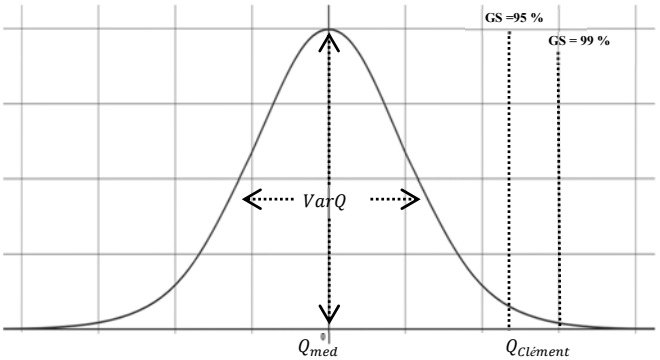
$$Q_{Clement} = Q_{med} + U \cdot \sqrt{VarQ}$$

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 le 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 enésima tubería inmediatamente aguas debajo de la tubería i, el caudal de diseño de la tubería i $Q_{diseño,i}$ vendrá dado por:

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

Presiones de consigna

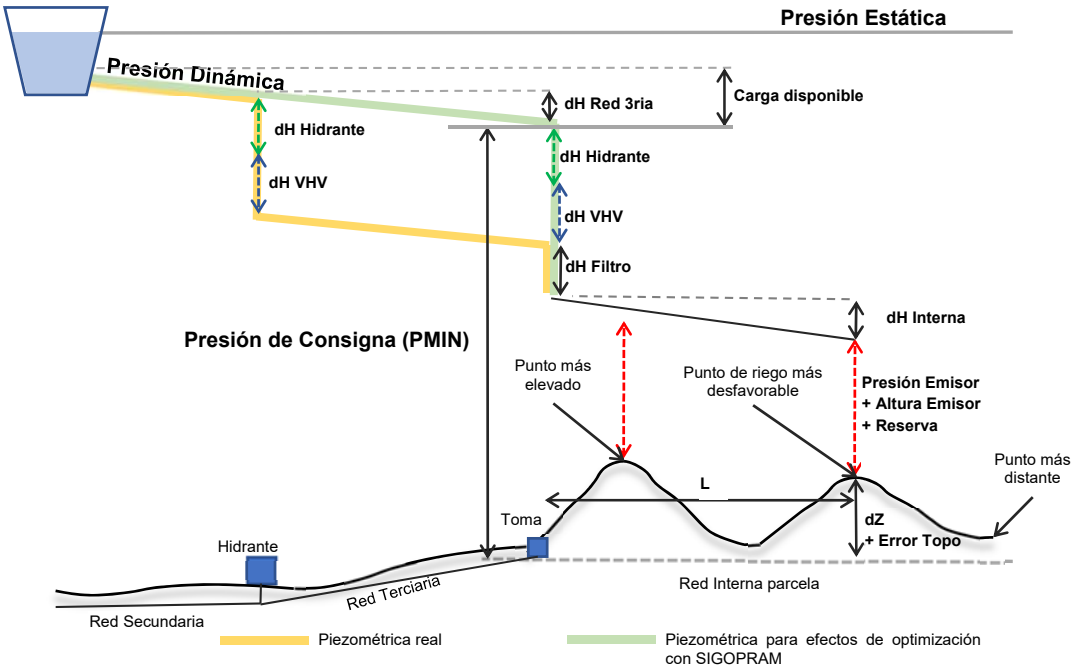
Conocidos los caudales de diseño de las conducciones y los caudales máximos de las tomas, el otro dato fundamental para el diseño de la red de riego es la presión mínima ($PMin$) de funcionamiento de cada toma, también comúnmente designada por presión de consigna. El dimensionamiento de la red de riego 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, perdidas de carga singulares de los sistemas de filtrado, perdidas 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:** perdida de carga estimada en metros del filtro caza piedras, válvula de comporta ubicados en el hidrante;
- **dH Reserva:** perdida de carga en metros extra a considerar;
- **dH VHV:** perdida de carga estimada en metros provocada por la válvula hidráulica volumétrica;
- **dH Filtro:** perdida 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 perdida de carga lineal en m/m del sistema de riego interno de la parcela. Se utiliza este parámetro para estimar la perdida 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.

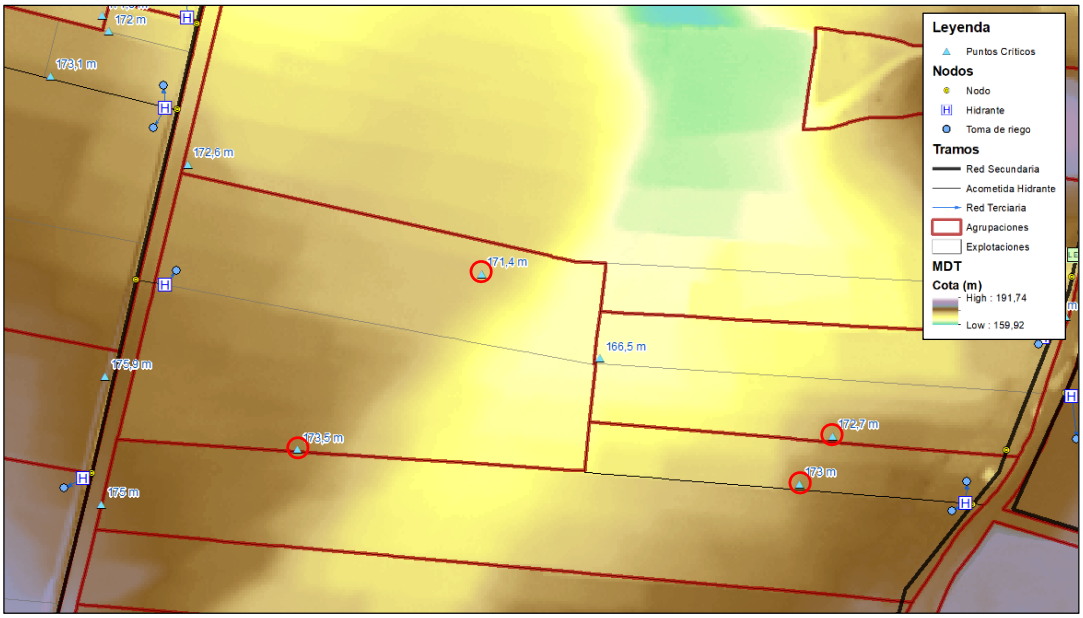
Algunos de estos elementos ejercen su pérdida de carga en el hidrante, o sea aguas arriba de la toma. Es importante referir que SIGOPRAM, por cuestiones de simplicidad de entrada de datos, y a efectos del dimensionamiento de las conducciones, considera todos los requerimientos de presión y pérdidas de 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 él 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 está 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 perdida de carga en m/m estimada para el sistema de riego, la perdida de carga total interna en la Parcela viene dada por:

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

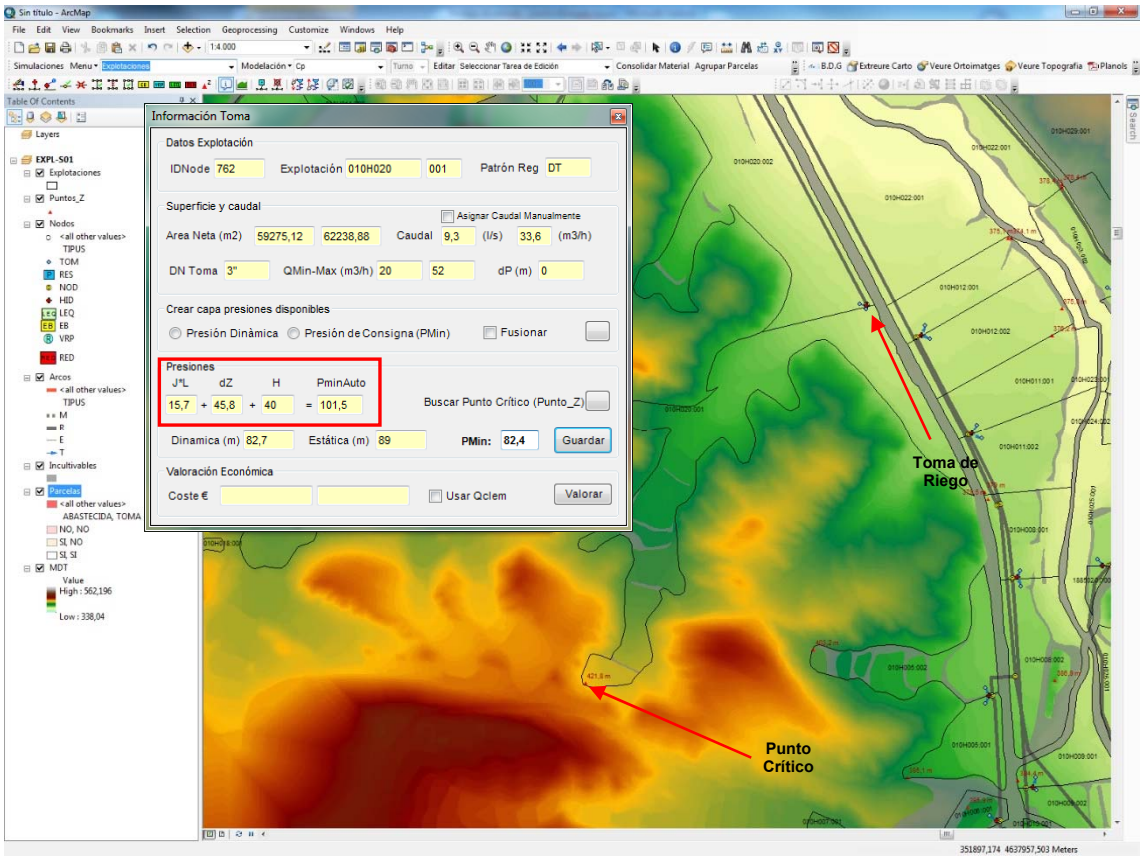
Considerando H como las presiones requeridas y perdidas de carga de los demás elementos, $PMin$ será:

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

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 originaria 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 puto 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 perdida 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.

Velocidades máximas orientativas del agua en el diseño de conducciones (CEDEX, 2002)

ID	*V (m/s) (Clement-Galand, 1979)*	*V (m/s) (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 numero 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 posé *k* tomas cada cual con su presión de consigna *(PMin)*. 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 perdida 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 perdida de carga de todos los tramos deberá ser inferior a la carga disponible del recorrido.

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

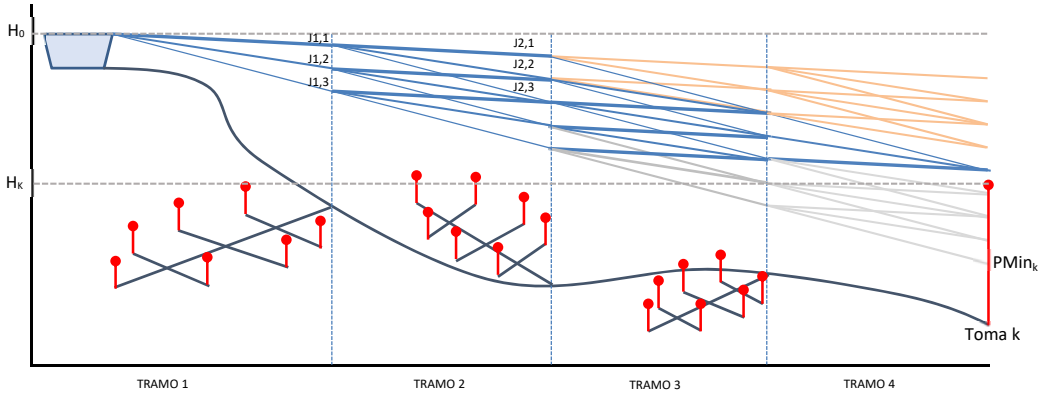
Donde h_i es la perdida de carga del tramo *i,* y ΔH_k la perdida de carga máxima admisible en el recorrido cabecera – toma *k*. A este primero conjunto de restricciones llamaremos restricciones hidráulicas.

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 perdida de carga de DN candidato nº 2 en el tramo 1). La pendiente da cada línea representa la perdida 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 PMin (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 perdida 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 perdida 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):

	Tramo 1						Tramo *i*						Tramo *NT*							
Longitudes	$L_{1,1}$	(…)	$L_{1,j}$	(…)	$L_{1,ND}$	(…)	$L_{i,1}$	(…)	$L_{i,j}$	(…)	$L_{i,ND}$	(…)	$L_{NT,1}$	(…)	$L_{NT,j}$	(…)	$L_{NT,ND}$		Incógnitas	
Toma 1	$J_{1,1}$	(…)	$J_{1,j}$	(…)	$J_{1,ND}$	(…)	$J_{i,1}$	(…)	$J_{i,j}$	(…)	$J_{i,ND}$	(…)	$J_{NT,1}$	(…)	$J_{NT,j}$	(…)	$J_{NT,ND}$	$\leq$	ΔH_1	Restricciones Hidráulicas
(…)																		$\leq$	(…)	
Toma *k*	$J_{1,1}$	(…)	$J_{1,j}$	(…)	$J_{1,ND}$	(…)	$J_{i,1}$	(…)	$J_{i,j}$	(…)	$J_{i,ND}$	(…)	$J_{NT,1}$	(…)	$J_{NT,j}$	(…)	$J_{NT,ND}$	$\leq$	ΔH_k	
(…)																		$\leq$	(…)	
Toma *NK*	$J_{1,1}$	(…)	$J_{1,j}$	(…)	$J_{1,ND}$	(…)	$J_{i,1}$	(…)	$J_{i,j}$	(…)	$J_{i,ND}$	(…)	$J_{NT,1}$	(…)	$J_{NT,j}$	(…)	$J_{NT,ND}$	$\leq$	ΔH_{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.

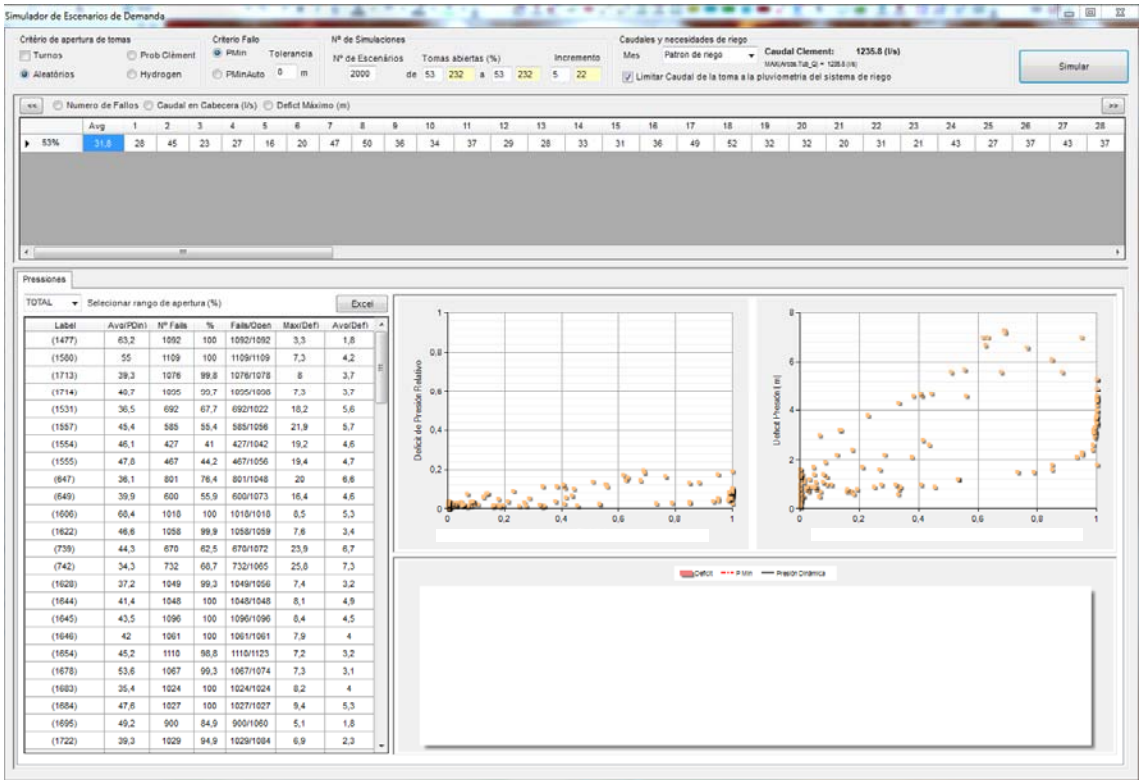
El proceso de análisis de una red de riego con SIGOPRAM sigue las siguientes fases:

- 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.

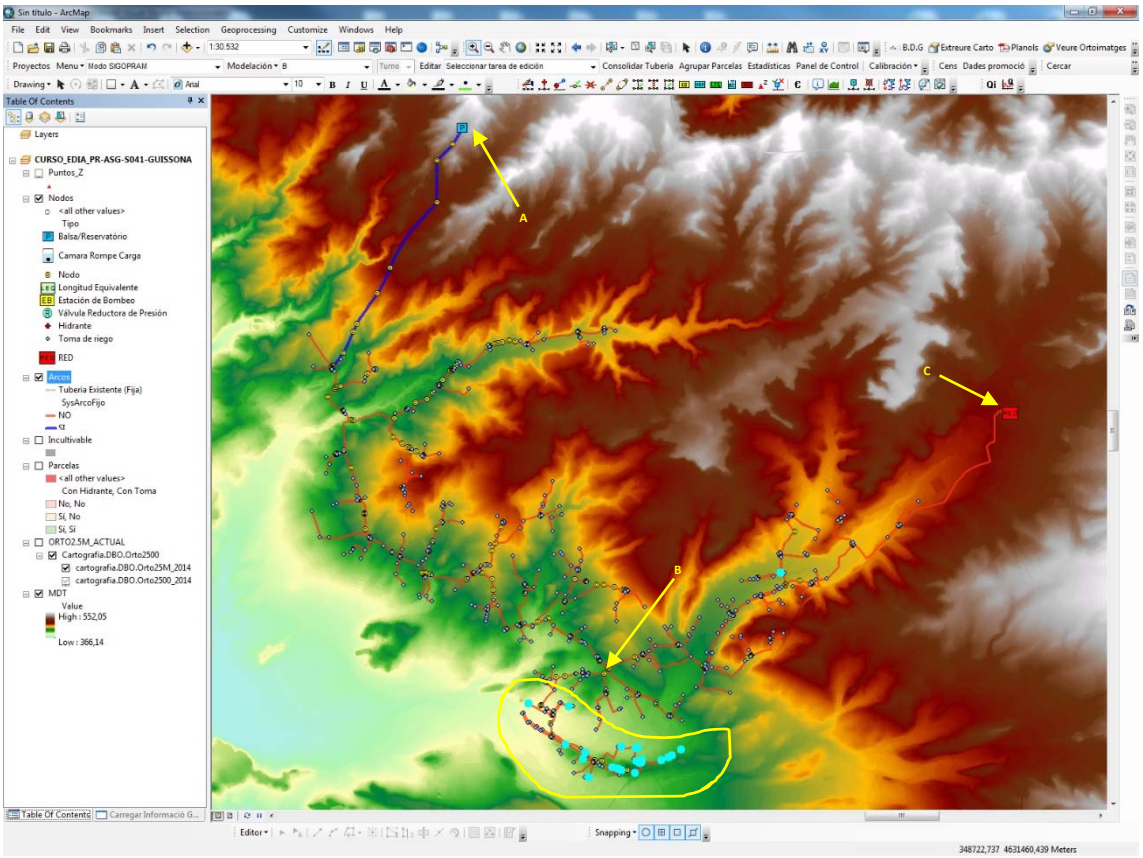
La primera figura muestra la ventana de simulación de SIGOPRAM. Se puede ver en la parte superior que el usuario ha decidido simular 2000 escenarios con 53% de las tomas abiertas. El porcentaje de tomas abiertas fue el que usuario ha considerado como el que se acerca al caudal de diseño y lo supera ligeramente.



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 perdida 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 perdida 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 optimo 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

TIPUS		Label	Pmin (bar)	X	Y	Z	NOD_P$_{Dinam}$	NOD_P$_{Estat}$	Q$_{HID}$ (l/s)	pk	Ramal
HID	1	HG-1	5	393.127,17	4.676.965,69	778,26	64,50	78,74	25	228,26	TG-1
HID	2	HG-2	5	392.975,82	4.676.730,47	775,14	65,73	81,86	25	505,33	TG-1
HID	3	HG-3	5	392.857,82	4.676.523,04	773,76	65,66	83,24	15	750,71	TG-1
HID	4	HG-4	5	392.786,38	4.676.320,90	773,26	64,61	83,74	35	961,10	TG-1
HID	5	HG-5	5	392.716,53	4.676.185,43	771,71	65,27	85,29	35	1.115,02	TG-1
HID	6	HG-6	5	392.644,39	4.676.038,68	770,88	65,37	86,12	40	1.281,06	TG-1
HID	7	HG-7	5	392.527,01	4.675.802,21	778,05	56,93	78,95	35	1.547,11	TG-1
HID	8	HG-8	5	392.372,49	4.675.609,60	773,29	58,90	83,71	35	1.799,88	TG-1
HID	9	HG-9	5	392.228,56	4.675.444,50	776,25	54,83	80,75	35	2.019,10	TG-1
HID	10	HG-10	5	392.065,10	4.675.222,27	781,11	48,82	75,89	40	2.300,85	TG-1
HID	11	HG-11	5	391.985,73	4.675.101,62	781,69	48,30	75,31	15	2.433,14	TG-1
HID	12	HG-12	5	392.746,35	4.677.191,06	776,08	67,81	80,92	25	23,36	TG-3
HID	13	HG-13	5	392.672,10	4.677.218,93	776,20	67,15	80,80	25	27,96	Ramal Deriv
HID	14	HG-14	5	392.587,26	4.677.124,51	775,53	67,65	81,47	25	190,01	TG-3
HID	15	HG-15	5	392.510,64	4.677.127,01	775,49	67,39	81,51	25	10,60	Ramal Deriv
HID	16	HG-16	5	392.457,79	4.677.074,07	774,70	67,76	82,30	35	322,16	TG-3
HID	17	HG-17	5	392.400,11	4.677.077,72	775,08	67,29	81,92	25	14,73	TG-11
HID	18	HG-18	5	392.300,66	4.677.052,11	774,36	67,78	82,64	25	492,26	TG-3
HID	19	HG-19	5	392.201,15	4.677.061,99	775,09	66,53	81,91	25	15,40	Ramal Deriv
HID	20	HG-20	5	392.141,93	4.677.021,53	774,71	66,77	82,29	35	653,95	TG-3
HID	21	HG-21	5	392.022,46	4.676.993,26	774,15	66,78	82,85	25	20,22	Ramal Deriv
HID	22	HG-22	5	391.966,07	4.676.911,11	772,97	67,47	84,03	35	857,76	TG-3
HID	23	HG-23	5	391.877,61	4.676.947,00	773,78	66,28	83,22	25	17,47	Ramal ID = 20
HID	24	HG-24	5	391.852,21	4.676.854,93	773,07	67,00	83,93	35	985,88	TG-3
HID	25	HG-25	5	391.723,04	4.676.834,01	773,23	66,70	83,77	25	13,54	Ramal ID = 21
HID	26	HG-26	5	391.710,23	4.676.803,26	772,64	67,34	84,36	35	1.138,62	TG-3
HID	27	HG-27	5	391.497,21	4.676.722,16	772,93	66,19	84,07	35	14,37	Ramal Deriv
HID	28	HG-28	5	391.477,59	4.676.682,20	772,45	66,81	84,55	40	1.402,57	TG-3
HID	29	HG-29	5	391.263,76	4.676.616,54	772,54	65,84	84,46	35	22,28	Ramal Deriv
HID	30	HG-30	5	391.261,35	4.676.582,11	772,38	66,45	84,62	25	1.640,94	TG-3
HID	31	HG-31	5	391.057,38	4.676.519,30	771,91	66,06	85,09	35	16,18	Ramal Deriv
HID	32	HG-32	5	391.064,66	4.676.485,06	771,95	66,35	85,05	25	1.861,42	TG-3
HID	33	HG-33	5	390.895,17	4.676.388,46	772,12	65,91	84,88	15	2.057,82	TG-3
HID	34	HG-34	5	390.858,25	4.676.412,24	772,08	65,56	84,92	25	28,21	Ramal Deriv
HID	35	HG-35	5	390.737,03	4.676.432,30	772,32	62,17	84,68	35	120,96	TG-3-2
HID	36	HG-36	5	390.694,36	4.676.540,11	772,41	60,14	84,59	35	227,68	TG-3-2
HID	37	HG-37	5	390.694,56	4.676.236,75	772,34	63,82	84,66	35	170,85	TG-3-4
HID	38	HG-38	5	390.525,71	4.676.146,53	772,77	61,97	84,23	25	23,62	Ramal Deriv
HID	39	HG-39	5	390.447,98	4.676.030,80	774,71	59,36	82,29	35	491,75	TG-3-4
HID	40	HG-40	5	390.242,86	4.675.878,54	775,03	57,29	81,97	25	21,41	Ramal Deriv
HID	41	HG-41	5	390.195,64	4.675.750,91	776,22	55,41	80,78	35	871,83	TG-3-4
HID	42	HG-42	5	390.031,73	4.675.645,70	779,09	50,41	77,91	25	22,47	Ramal Deriv
HID	43	HG-43	5	389.989,96	4.675.532,78	781,14	48,21	75,86	25	1.168,85	TG-3-4
HID	44	HG-44	5	389.850,06	4.675.418,50	779,50	48,95	77,50	15	26,92	Ramal Deriv
HID	45	HG-45	5	389.789,21	4.675.363,47	779,90	48,19	77,10	15	29,30	Ramal Deriv
HID	46	HG-46	5	390.927,27	4.676.183,21	771,69	65,40	85,31	25	2.330,27	TG-3
HID	47	HG-47	5	391.041,34	4.676.023,84	772,29	63,97	84,71	25	2.525,66	TG-3
HID	48	HG-48	5	391.175,86	4.675.864,36	772,11	63,07	84,89	35	2.734,82	TG-3
HID	49	HG-49	5	391.085,09	4.675.701,82	773,97	59,97	83,03	35	167,46	TG-3-6
HID	50	HG-50	5	391.029,09	4.675.734,05	774,18	60,03	82,82	35	20,98	Ramal Deriv
HID	51	HG-51	5	390.800,90	4.675.532,10	777,65	56,53	79,35	35	494,75	TG-3-6
HID	52	HG-52	5	390.771,92	4.675.545,66	778,69	54,90	78,31	35	17,18	Ramal Deriv
HID	53	HG-53	5	390.652,49	4.675.418,72	779,66	53,07	77,34	15	660,79	TG-3-6
HID	54	HG-54	5	390.649,85	4.675.458,91	778,56	54,01	78,44	25	-1,00	
HID	55	HG-55	5	391.321,98	4.675.671,21	772,50	61,93	84,50	35	2.976,11	TG-3
HID	56	HG-56	5	391.439,07	4.675.478,84	772,80	61,18	84,20	25	3.200,19	TG-3
HID	57	HG-57	5	391.425,19	4.675.416,84	774,45	58,67	82,55	40	22,37	Ramal Deriv
HID	58	HG-58	5	391.612,84	4.675.207,19	775,10	58,00	81,90	35	3.524,42	TG-3
HID	59	HG-59	5	391.715,42	4.675.079,25	778,79	53,74	78,21	25	12,40	Ramal Deriv
HID	60	HG-60	5	391.542,84	4.675.063,98	778,99	53,07	78,01	25	3.788,00	TG-3
HID	61	HG-61	5	391.440,35	4.674.965,85	781,06	50,78	75,94	25	13,45	Ramal Deriv
HID	62	HG-62	5	391.215,82	4.674.910,52	780,38	51,30	76,62	35	4.158,77	TG-3
HID	63	HG-63	5	391.213,66	4.674.873,91	780,97	50,63	76,03	15	4.178,69	TG-3
HID	64	HG-64	5	392.400,26	4.677.676,94	795,32	48,10	61,68	35	2.362,38	TG
HID	65	HG-65	5	392.108,35	4.678.176,13	783,53	59,38	73,47	35	2.946,63	TG
HID	66	HG-66	5	392.121,43	4.678.261,47	783,85	58,98	73,15	15	87,11	TG-2
HID	67	HG-67	5	391.961,86	4.678.045,96	781,66	61,33	75,34	35	3.139,67	TG
HID	68	HG-68	5	391.903,94	4.678.041,04	781,05	61,49	75,95	35	21,22	Ramal Deriv
HID	69	HG-69	5	391.780,64	4.677.902,96	779,54	63,13	77,46	35	3.368,14	TG
HID	70	HG-70	5	391.617,77	4.677.829,42	778,22	64,23	78,78	35	16,67	Ramal Deriv
HID	71	HG-71	5	391.623,50	4.677.797,03	777,51	65,10	79,49	35	3.562,52	TG
HID	72	HG-72	5	391.447,19	4.677.714,59	777,70	64,50	79,30	35	17,74	Ramal ID = 24
HID	73	HG-73	5	391.416,53	4.677.652,65	777,64	64,81	79,36	35	3.814,41	TG
HID	74	HG-74	5	391.216,91	4.677.564,83	779,29	62,73	77,71	35	18,94	Ramal Deriv
HID	75	HG-75	5	391.187,85	4.677.521,21	777,88	64,45	79,12	35	4.077,56	TG
HID	76	HG-76	5	390.978,46	4.677.474,54	775,98	65,80	81,02	35	20,42	Ramal Deriv
HID	77	HG-77	5	390.962,68	4.677.429,20	775,23	66,91	81,77	35	4.321,08	TG

HID	78	HG-78	5	390.577,06	4.677.753,43	777,99	59,83	79,01	35	449,79	TG-4
HID	79	HG-79	5	390.455,54	4.677.903,74	777,73	58,84	79,27	25	643,48	TG-4
HID	80	HG-80	5	390.419,52	4.677.900,19	778,85	57,41	78,15	25	21,13	Ramal Deriv
HID	81	HG-81	5	390.391,87	4.678.004,94	778,63	56,95	78,37	35	765,93	TG-4
HID	82	HG-82	5	390.346,43	4.678.005,03	778,34	57,07	78,66	25	21,77	Ramal Deriv
HID	83	HG-83	5	390.293,51	4.678.072,50	777,60	57,32	79,40	25	19,21	Ramal Deriv
HID	84	HG-84	5	390.312,09	4.678.135,93	778,55	56,22	78,45	25	907,90	TG-4
HID	85	HG-85	5	390.193,63	4.678.220,00	778,28	55,85	78,72	25	19,78	Ramal Deriv
HID	86	HG-86	5	390.227,07	4.678.279,31	778,81	54,46	78,19	35	1.080,50	TG-4
HID	87	HG-87	5	390.082,51	4.678.381,40	779,59	52,17	77,41	25	24,54	Ramal Deriv
HID	88	HG-88	5	390.108,40	4.678.430,26	779,90	51,52	77,10	35	1.273,43	TG-4
HID	89	HG-89	5	389.997,18	4.678.501,45	780,45	49,82	76,55	25	27,57	Ramal Deriv
HID	90	HG-90	5	390.035,63	4.678.554,09	780,36	49,55	76,64	35	1.412,74	TG-4
HID	91	HG-91	5	389.911,19	4.678.579,84	780,15	48,89	76,85	25	20,30	Ramal Deriv
HID	92	HG-92	5	389.913,93	4.678.644,04	780,95	47,77	76,05	25	1.553,85	TG-4
HID	93	HG-93	5	389.720,69	4.678.645,98	778,86	48,91	78,14	15	16,39	Ramal Deriv
HID	94	HG-94	5	389.741,42	4.678.752,92	780,91	46,25	76,09	35	1.764,87	TG-4
HID	95	HG-95	5	389.550,24	4.678.807,35	778,84	47,20	78,16	35	1.972,31	TG-4
HID	96	HG-96	5	389.545,63	4.679.356,23	780,91	43,77	76,09	35	-1,00	
HID	97	HG-97	5	390.663,25	4.677.353,88	775,90	63,67	81,10	35	153,07	TG-4-1
HID	98	HG-98	5	390.422,47	4.677.222,65	775,01	61,44	81,99	35	429,62	TG-4-1
HID	99	HG-99	5	390.255,26	4.677.159,15	775,33	59,68	81,67	35	607,26	TG-4-1
HID	100	HG-100	5	390.096,51	4.677.088,24	775,36	57,10	81,64	35	778,40	TG-4-1
HID	101	HG-101	5	389.949,63	4.677.005,69	773,85	55,99	83,15	25	946,03	TG-4-1
HID	102	HG-102	5	389.863,11	4.676.954,63	773,58	54,16	83,42	35	1.049,41	TG-4-1
HID	103	HG-103	5	390.774,48	4.677.344,13	775,40	66,63	81,60	35	4.528,32	TG
HID	104	HG-104	5	390.610,40	4.677.261,93	775,79	66,16	81,21	25	4.711,99	TG
HID	105	HG-105	5	390.484,63	4.677.171,11	774,74	66,82	82,26	25	4.866,86	TG
HID	106	HG-106	5	390.292,32	4.677.113,94	774,78	66,90	82,22	25	5.061,46	TG
HID	107	HG-107	5	390.134,04	4.677.047,52	774,16	67,40	82,84	35	5.237,03	TG
HID	108	HG-108	5	389.985,57	4.676.964,65	773,71	67,82	83,29	25	5.404,45	TG
HID	109	HG-109	5	389.804,10	4.676.878,07	773,26	68,21	83,74	35	5.607,11	TG
HID	110	HG-110	5	389.582,71	4.676.754,71	773,03	68,30	83,97	25	5.860,13	TG
HID	111	HG-111	5	389.472,03	4.676.705,75	772,94	68,38	84,06	25	5.982,00	TG
HID	112	HG-112	5	389.432,54	4.676.404,82	773,23	66,23	83,77	35	276,46	TG-5
HID	113	HG-113	5	389.441,85	4.676.211,81	773,78	64,73	83,22	35	468,01	TG-5
HID	114	HG-114	5	389.459,10	4.676.033,20	774,00	63,67	83,00	35	648,47	TG-5
HID	115	HG-115	5	389.273,64	4.675.876,37	775,67	61,30	81,33	35	886,61	TG-5
HID	116	HG-116	5	389.031,78	4.675.703,51	782,36	52,73	74,64	35	1.187,77	TG-5
HID	117	HG-117	5	388.747,57	4.675.648,40	779,35	55,19	77,65	25	1.457,06	TG-5
HID	118	HG-118	5	388.754,00	4.675.610,85	779,95	54,87	77,05	35	1.473,92	TG-5
HID	119	HG-119	5	388.631,60	4.675.577,93	776,90	56,54	80,10	25	1.590,05	TG-5
HID	120	HG-120	5	389.469,36	4.675.810,06	775,01	57,89	81,99	40	185,25	TG-5-1
HID	121	HG-121	5	389.285,94	4.676.660,20	772,91	67,88	84,09	25	27,18	Ramal Deriv
HID	122	HG-122	5	389.188,04	4.676.564,19	772,55	68,08	84,45	40	240,50	TG-7
HID	123	HG-123	5	389.061,71	4.676.549,07	772,49	67,87	84,51	25	25,14	Ramal Deriv
HID	124	HG-124	5	388.854,14	4.676.446,68	771,99	68,00	85,01	25	21,53	Ramal Deriv
HID	125	HG-125	5	388.720,31	4.676.341,96	771,51	68,14	85,49	35	759,94	TG-7
HID	126	HG-126	5	388.687,06	4.676.361,75	771,43	67,76	85,57	35	20,89	Ramal Deriv
HID	127	HG-127	5	388.551,52	4.676.259,32	771,09	68,03	85,91	35	947,19	TG-7
HID	128	HG-128	5	388.524,85	4.676.285,09	771,26	67,38	85,74	35	23,23	Ramal Deriv
HID	129	HG-129	5	388.357,96	4.676.176,53	771,76	66,76	85,24	35	1.156,53	TG-7
HID	130	HG-130	5	388.268,60	4.676.177,66	771,83	65,93	85,17	40	20,58	Ramal Deriv
HID	131	HG-131	5	388.203,54	4.676.124,67	772,31	65,52	84,69	40	15,25	Ramal Deriv
HID	132	HG-132	5	388.207,49	4.676.101,66	772,35	65,83	84,65	25	1.322,84	TG-7
HID	133	HG-133	5	389.422,59	4.676.801,09	773,23	67,82	83,77	25	6.179,46	TG
HID	134	HG-134	5	389.371,01	4.677.039,24	773,49	67,53	83,51	25	6.416,81	TG
HID	135	HG-135	5	389.352,92	4.677.259,38	774,31	66,33	82,69	25	66,21	TG-6
HID	136	HG-136	5	389.314,11	4.677.366,70	774,77	65,37	82,23	35	153,40	TG-6
HID	137	HG-137	5	389.269,77	4.677.657,92	776,15	62,22	80,85	35	474,83	TG-6
HID	138	HG-138	5	389.210,58	4.677.680,39	776,40	61,52	80,60	35	36,64	TG-6-1
HID	139	HG-139	5	389.153,99	4.677.648,20	776,20	60,71	80,80	35	19,53	Ramal Deriv
HID	140	HG-140	5	388.851,01	4.677.637,99	776,31	57,77	80,69	40	21,10	Ramal Deriv
HID	141	HG-141	5	388.648,39	4.677.689,59	775,25	56,25	81,75	35	600,65	TG-6-1
HID	142	HG-142	5	388.577,77	4.677.644,76	774,69	55,76	82,31	25	689,02	TG-6-1
HID	143	HG-143	5	388.424,41	4.677.640,34	774,93	52,54	82,07	35	842,54	TG-6-1
HID	144	HG-144	5	389.268,78	4.677.776,90	776,59	60,85	80,41	35	582,19	TG-6
HID	145	HG-145	5	389.230,96	4.677.921,37	777,19	60,06	79,81	35	733,26	TG-6
HID	146	HG-146	5	389.179,30	4.677.930,28	777,23	60,14	79,77	25	21,96	Ramal Deriv
HID	147	HG-147	5	389.224,34	4.678.037,78	777,58	59,52	79,42	25	857,41	TG-6
HID	148	HG-148	5	389.166,60	4.678.056,75	777,78	59,18	79,22	25	20,23	Ramal Deriv
HID	149	HG-149	5	389.161,26	4.678.166,11	777,96	58,38	79,04	35	19,32	Ramal Deriv
HID	150	HG-150	5	389.216,41	4.678.212,41	778,17	57,56	78,83	35	1.033,19	TG-6
HID	151	HG-151	5	389.172,36	4.678.335,46	778,54	57,05	78,46	25	1.158,71	TG-6
HID	152	HG-152	5	389.134,55	4.678.355,55	777,70	57,67	79,30	25	18,55	Ramal Deriv
HID	153	HG-153	5	389.123,36	4.678.525,86	778,90	55,64	78,10	35	1.356,25	TG-6
HID	154	HG-154	5	389.086,52	4.678.547,34	777,58	56,77	79,42	25	15,08	Ramal Deriv
HID	155	HG-155	5	388.972,92	4.678.656,33	777,63	55,92	79,37	35	1.598,61	TG-6

HID	156	HG-156	5	388.790,46	4.678.558,20	777,09	56,14	79,91	25	1.810,20	TG-6
HID	157	HG-157	5	388.672,24	4.678.443,77	776,78	56,01	80,22	25	1.973,93	TG-6
HID	158	HG-158	5	388.558,61	4.678.236,49	775,87	56,29	81,13	25	2.212,65	TG-6
HID	159	HG-159	5	388.510,17	4.678.065,53	775,04	56,64	81,96	15	14,45	Ramal Deriv
HID	160	HG-160	5	388.446,34	4.678.054,29	775,17	56,36	81,83	25	2.447,46	TG-6
HID	161	HG-161	5	388.329,25	4.677.951,88	774,61	56,63	82,39	25	12,92	Ramal Deriv
HID	162	HG-162	5	388.049,31	4.678.035,29	776,51	53,98	80,49	35	2.931,33	TG-6
HID	163	HG-163	5	387.687,57	4.678.175,00	782,63	47,66	74,37	35	3.298,46	TG-6
HID	164	HG-164	5	389.058,01	4.678.766,29	777,90	54,27	79,10	25	104,43	TG-6-2
HID	165	HG-165	5	389.022,96	4.678.870,91	778,14	51,91	78,86	35	215,38	TG-6-2
HID	166	HG-166	5	389.175,75	4.677.163,44	774,63	66,04	82,38	35	9,15	Ramal Deriv
HID	167	HG-167	5	388.904,02	4.677.145,18	774,47	66,07	82,53	35	8,13	Ramal Deriv
HID	168	HG-168	5	388.663,78	4.677.129,04	773,99	66,51	83,01	25	13,45	Ramal Deriv
HID	169	HG-169	5	388.552,95	4.677.148,70	771,89	68,59	85,11	35	7.366,39	TG
HID	170	HG-170	5	388.450,79	4.677.106,55	771,73	68,41	85,27	35	18,91	Ramal Deriv
HID	171	HG-171	5	388.278,67	4.677.129,30	771,51	68,97	85,49	15	7.639,87	TG
HID	172	HG-172	5	388.235,15	4.677.088,30	771,09	69,06	85,91	25	25,65	Ramal Deriv
HID	173	HG-173	5	388.091,79	4.677.140,76	770,88	68,91	86,12	35	7.831,02	TG
HID	174	HG-174	5	388.057,35	4.677.080,62	770,85	69,24	86,15	25	21,09	Ramal Deriv
HID	175	HG-175	5	387.854,94	4.677.068,98	770,84	68,93	86,16	35	19,64	Ramal Deriv
HID	176	HG-176	5	387.598,99	4.676.937,09	770,73	67,00	86,27	25	232,82	TG-9
HID	177	HG-177	5	387.756,87	4.677.104,52	771,49	68,60	85,51	35	8.174,49	TG
HID	178	HG-178	5	387.700,69	4.677.140,95	771,57	68,44	85,43	25	8,68	Ramal Deriv
HID	179	HG-179	5	387.611,26	4.677.237,79	772,68	67,06	84,32	35	11,64	Ramal Deriv
HID	180	HG-180	5	387.644,59	4.677.286,87	772,93	66,33	84,07	35	8.388,63	TG
HID	181	HG-181	5	387.508,21	4.677.397,28	773,73	65,97	83,27	40	8.558,72	TG
HID	182	HG-182	5	387.473,41	4.677.391,51	773,60	65,97	83,40	35	16,26	Ramal Deriv
HID	183	HG-183	5	387.400,11	4.677.553,57	774,98	64,24	82,02	35	8.746,82	TG
HID	184	HG-184	5	387.346,10	4.677.533,78	775,33	64,09	81,67	35	15,83	Ramal Deriv
HID	185	HG-185	5	387.257,42	4.677.678,06	775,75	63,79	81,25	35	8.934,58	TG
HID	186	HG-186	5	387.222,07	4.677.797,84	774,68	63,42	82,32	35	71,79	TG-8
HID	187	HG-187	5	387.118,82	4.677.715,68	774,22	64,85	82,78	35	17,93	Ramal Deriv
HID	188	HG-188	5	387.029,53	4.677.601,72	773,71	65,66	83,29	35	9.242,94	TG
HID	189	HG-189	5	386.975,94	4.677.590,93	773,82	65,06	83,18	35	22,71	Ramal Deriv
HID	190	HG-190	5	386.811,82	4.677.464,45	772,13	65,47	84,87	35	51,69	TG-3
HID	191	HG-191	5	386.369,38	4.677.955,29	775,72	58,06	81,28	35	682,38	TG-3
HID	192	HG-192	5	386.872,06	4.677.278,56	771,14	64,73	85,86	40	108,09	TG-11
HID	193	HG-193	5	386.678,91	4.677.082,77	770,98	66,46	86,02	40	36,68	Ramal Deriv
HID	194	HG-194	5	386.355,68	4.677.148,56	770,88	66,58	86,12	40	10.258,66	TG
HID	195	HG-195	5	386.414,68	4.677.207,56	771,79	65,61	85,21	35	33,16	Ramal ID = 24
HID	196	HG-196	5	386.348,18	4.677.248,13	772,48	65,33	84,52	40	17,80	Ramal ID = 23
HID	197	HG-197	5	385.995,05	4.677.317,36	769,38	67,91	87,62	35	10.651,41	TG
HID	198	HG-198	5	385.966,53	4.677.429,03	770,03	67,80	86,97	25	32,58	Ramal ID = 25
HID	199	HG-199	5	385.764,47	4.677.445,94	772,19	64,24	84,81	40	10.912,29	TG
HID	200	HG-200	5	385.648,35	4.677.652,87	771,90	65,08	85,10	50	69,06	TG-12
HID	201	HG-201	5	385.613,66	4.677.551,77	771,96	64,54	85,04	35	11.092,21	TG
HID	202	HG-202	5	385.440,36	4.677.690,68	771,44	66,01	85,56	35	11.333,55	TG
HID	203	HG-203	5	385.300,48	4.677.767,86	774,17	62,65	82,83	40	17,83	Ramal ID = 27
HID	204	HG-204	5	385.122,15	4.678.002,46	775,75	60,97	81,25	40	44,95	TG-13
HID	205	HG-205	5	385.024,78	4.678.099,83	774,75	60,94	82,25	35	183,85	TG-13
HID	206	HG-206	5	384.902,02	4.678.188,73	774,40	57,47	82,60	25	344,54	TG-13
HID	207	HG-207	5	384.817,35	4.678.239,53	773,92	57,71	83,08	15	77,38	Ramal ID = 33
HID	208	HG-208	5	385.251,75	4.678.007,56	776,42	59,06	80,58	40	30,44	TG-14
HID	209	HG-209	5	384.900,39	4.678.253,10	774,88	61,78	82,13	40	12.190,96	TG
HID	210	HG-210	5	384.680,25	4.678.405,50	774,18	62,64	82,82	25	12.449,72	TG
HID	211	HG-211	5	384.725,66	4.678.705,02	779,67	57,20	77,33	40	291,87	TG-16
HID	212	HG-212	5	384.667,46	4.678.727,03	779,60	56,88	77,40	40	291,87	TG-16
HID	213	HG-213	5	384.634,65	4.678.401,72	774,57	62,22	82,43	15	12.493,52	TG
HID	214	HG-214	5	384.496,16	4.678.483,18	775,14	60,08	81,86	25	12.647,50	TG
HID	215	HG-215	5	384.381,86	4.678.519,16	774,93	59,45	82,07	25	12.746,41	TG
HID	216	HG-216	5	384.199,06	4.678.591,56	774,47	55,87	82,53	35	220,07	TG-18
HID	217	HG-217	5	384.286,61	4.678.387,93	776,29	56,87	80,71	35	12.861,54	TG
HID	218	HG-218	5	384.291,88	4.678.259,68	776,28	56,65	80,72	40	13,61	Ramal Deriv
HID	219	HG-219	5	384.161,72	4.678.057,73	770,97	59,35	86,03	40	13.216,47	TG
HID	220	HG-220	5	384.003,24	4.677.643,13	768,45	58,46	88,55	35	13.662,19	TG
HID	221	HG-221	5	383.921,22	4.677.320,33	767,39	57,42	89,61	35	13.987,96	TG
HID	222	HG-222	5	383.860,36	4.677.098,08	766,93	56,08	90,07	40	14.220,59	TG
HID	223	HG-223	5	383.842,91	4.676.895,87	766,48	56,64	90,52	40	9,43	Ramal Deriv
HID	224	HG-224	5	383.743,28	4.676.897,00	766,38	55,58	90,62	35	14.466,04	TG
HID	225	HG-225	5	383.683,75	4.676.619,19	766,30	53,43	90,70	35	14.759,11	TG
HID	226	HG-226	5	383.708,27	4.676.416,36	766,01	52,67	90,99	40	14.950,57	TG
HID	227	HG-227	5	383.730,97	4.676.418,94	765,94	52,58	91,06	35	13,10	Ramal ID = 35
HID	228	HG-228	5	384.633,88	4.678.013,09	772,55	57,98	84,45	25	377,28	TG-15
HID	229	HG-229	5	384.612,71	4.677.579,17	768,55	56,79	88,45	40	808,66	TG-15
HID	230	HG-230	5	384.655,74	4.677.056,69	765,88	56,30	91,12	40	1.319,99	TG-15
HID	231	HG-231	5	387.667,32	4.675.528,77	776,90	57,60	80,10	35	103,94	TG-6-2
HID	232	HG-232	5	387.963,64	4.675.309,81	778,70	52,67	78,30	40	487,44	TG-6-2
HID	233	HG-233	5	388.199,69	4.675.176,45	781,20	47,69	75,80	25	229,68	Ramal ID = 34

HID	234	HG-234	5	387.472,13	4.675.461,65	775,33	59,92	81,67	35	2.878,09	TG-3-2
HID	235	HG-235	5	387.341,28	4.675.380,68	776,00	58,92	81,00	35	178,91	Ramal Deriv
HID	236	HG-236	5	387.127,48	4.675.301,47	778,27	57,07	78,73	35	378,51	Ramal Deriv
HID	237	HG-237	5	386.817,66	4.674.955,13	781,42	53,67	75,58	40	845,31	Ramal Deriv
HID	238	HG-238	5	386.635,11	4.674.709,36	780,40	51,50	76,60	25	1.152,58	Ramal Deriv
HID	239	HG-239	5	387.593,73	4.675.621,11	776,13	59,23	80,87	40	2.617,21	TG-3-2
HID	240	HG-240	5	387.462,08	4.675.788,06	773,63	61,35	83,37	40	2.442,45	TG-3-2
HID	241	HG-241	5	387.095,98	4.675.731,51	775,47	55,95	81,53	35	62,66	TG-5-1
HID	242	HG-242	5	386.879,69	4.675.748,16	775,99	52,83	81,01	35	262,76	TG-5-1
HID	243	HG-243	5	386.686,84	4.675.812,99	773,50	51,62	83,50	35	460,63	TG-5-1
HID	244	HG-244	5	387.060,37	4.675.819,06	775,35	56,19	81,65	35	2.010,17	TG-3-2
HID	245	HG-245	5	386.826,66	4.675.828,86	775,57	55,46	81,43	40	1.786,59	TG-3-2
HID	246	HG-246	5	386.688,95	4.675.876,09	772,77	56,66	84,23	40	1.637,66	TG-3-2
HID	247	HG-247	5	386.409,32	4.676.015,71	771,71	54,54	85,29	40	1.354,39	TG-3-2
HID	248	HG-248	5	386.252,75	4.676.053,71	773,31	49,08	83,69	35	120,86	Ramal ID = 21
HID	249	HG-249	5	386.243,69	4.676.207,62	773,28	50,18	83,72	40	59,00	Ramal ID = 20
HID	250	HG-250	5	386.278,09	4.676.363,72	770,89	52,92	86,11	35	770,27	TG-3-2
HID	251	HG-251	5	386.313,81	4.676.472,20	770,21	52,87	86,79	40	660,37	TG-3-2
HID	252	HG-252	5	386.353,49	4.676.597,88	770,26	51,27	86,74	40	539,63	TG-3-2
HID	253	HG-253	5	386.393,18	4.676.682,55	769,75	49,43	87,25	40	450,23	TG-3-2
HID	254	HG-254	5	386.252,81	4.675.854,46	771,93	55,46	85,07	40	132,32	TG-2
HID	255	HG-255	5	386.151,91	4.675.747,42	772,86	51,64	84,14	35	140,89	TG-3-1
HID	256	HG-256	5	385.245,09	4.676.763,48	767,40	52,44	89,60	35	1.512,94	TG-8
HID	257	HG-257	5	392.383,60	4.675.506,52	776,08	55,20	80,92	35	32,18	Ramal Deriv
HID	290	H-290	5	388.888,69	4.676.422,48	771,70	68,52	85,30	35	572,30	TG-7
HID	291	H-291	5	383.741,03	4.676.654,33	766,36	54,26	90,64	35	7,90	Ramal Deriv

APÉNDICE Nº 3 ESQUEMA RED

APÉNDICE Nº 4 CAUDALES DE LÍNEA DE LA RED DE RIEGO

IDArc	NINI	NFIN	TIPUS	TUB_Material	TUB_PEstatica	TUB_PDinamica	TUB_Velocidad	TUB_PerTotales	Q_Clem	Q_ac
12	4	13	R	160_(PVCO-16)	76,63	51,95	1,39	0,81	25,00	25,00
24	5	26	E	160_(PVCO-16)	75,80	48,92	1,39	0,51	25,00	25,00
20	6	22	R	500_(PVCO-16)	81,92	61,48	0,97	0,24	170,00	170,00
8	6	36	R	630_(PVCO-16)	81,60	61,26	1,60	0,14	445,20	705,00
690	7	1409	R	500_(PVCO-16)	84,06	61,72	2,21	0,22	388,47	625,00
11	9	11	R	400_(PVCO-16)	85,23	54,81	1,02	0,05	115,00	135,00
69	9	85	R	400_(PVCO-16)	85,90	55,24	1,65	1,49	185,07	230,00
93	10	166	E	160_(PVCO-16)	82,07	59,49	1,39	0,49	25,00	25,00
931	10	1576	R	160_(PVCO-16)	82,63	56,35	1,94	4,20	35,00	35,00
95	10	168	R	450_(PVCO-16)	80,84	57,85	2,14	0,77	304,59	445,00
46	11	53	R	315_(PVCO-16)	84,58	55,12	1,08	0,25	75,00	75,00
699	11	1415	R	200_(PVCO-16)	84,03	53,57	1,42	0,82	40,00	60,00
3	13	14	E	160_(PVCO-16)	76,63	51,90	1,39	0,03	25,00	25,00
4	14	15	T	160_(PVCO-16)	76,60	51,83	1,39	0,07	0,00	25,00
13	16	4	R	160_(PVCO-16)	76,27	52,40	1,39	2,36	25,00	25,00
5	16	17	E	315_(PVCO-16)	75,58	54,06	0,57	0,01	40,00	40,00
18	17	18	T	315_(PVCO-16)	75,91	54,37	0,57	0,02	0,00	40,00
14	19	20	E	160_(PVCO-16)	78,80	57,46	1,94	0,09	35,00	35,00
685	19	1406	R	400_(PVCO-16)	78,80	53,95	0,58	0,06	65,00	65,00
19	20	21	T	160_(PVCO-16)	78,82	57,35	1,94	0,19	0,00	35,00
121	22	150	R	400_(PVCO-16)	81,92	61,00	1,20	0,40	135,00	135,00
21	22	23	R	160_(PVCO-16)	81,92	60,82	1,94	0,57	35,00	35,00
22	23	24	E	160_(PVCO-16)	81,82	60,31	1,94	0,36	35,00	35,00
23	24	25	T	160_(PVCO-16)	81,67	59,68	1,94	0,31	0,00	35,00
25	26	27	T	160_(PVCO-16)	76,24	49,09	1,39	0,28	0,00	25,00
6	28	29	E	160_(PVCO-16)	78,30	53,90	2,22	0,40	40,00	40,00
873	28	1525	R	160_(PVCO-16)	77,98	49,78	1,39	2,11	25,00	25,00
27	29	30	T	160_(PVCO-16)	78,34	53,26	2,22	0,67	0,00	40,00
29	31	32	E	160_(PVCO-16)	81,80	57,99	1,94	0,71	35,00	35,00
869	31	1523	R	250_(PVCO-16)	81,80	57,85	1,48	0,43	65,00	65,00
30	32	33	T	160_(PVCO-16)	80,10	56,03	1,94	0,29	0,00	35,00
688	34	1408	R	500_(PVCO-16)	83,89	62,08	2,21	0,14	388,47	625,00
33	35	40	E	160_(PVCO-16)	83,37	61,69	2,22	0,06	40,00	40,00
7	35	34	R	500_(PVCO-16)	83,61	61,94	2,21	0,06	388,47	625,00
31	36	37	E	160_(PVCO-16)	81,60	59,62	2,22	0,91	40,00	40,00
874	36	1526	R	500_(PVCO-16)	83,24	61,77	2,40	1,13	422,04	665,00
32	37	39	T	160_(PVCO-16)	80,97	59,56	2,22	0,16	0,00	40,00
40	38	45	R	500_(PVCO-16)	84,08	57,09	2,21	1,21	388,47	625,00
34	40	41	T	160_(PVCO-16)	83,77	62,03	2,22	0,06	0,00	40,00
35	42	43	E	160_(PVCO-16)	81,65	56,42	1,94	0,99	35,00	35,00
692	42	1410	R	500_(PVCO-16)	81,58	57,16	1,91	0,17	335,79	485,00
36	43	44	T	160_(PVCO-16)	81,65	54,74	1,94	1,07	0,00	35,00
37	45	42	R	500_(PVCO-16)	81,57	57,33	1,98	0,44	348,10	520,00
38	45	46	R	250_(PVCO-16)	81,54	57,38	2,39	0,35	105,00	105,00
41	46	48	R	250_(PVCO-16)	81,54	56,70	2,39	0,68	105,00	105,00

IDArc	NINI	NFIN	TIPUS	TUB_Material	TUB_PEstatica	TUB_PDinamica	TUB_Velocidad	TUB_PerTotales	Q_Clem	Q_ac
119	47	144	E	160_(PVCO-16)	83,54	51,87	1,94	0,13	35,00	35,00
42	48	49	E	160_(PVCO-16)	81,54	56,20	1,94	0,49	35,00	35,00
877	48	1528	R	200_(PVCO-16)	81,54	54,69	2,49	2,01	70,00	70,00
43	49	50	T	160_(PVCO-16)	81,57	55,84	1,94	0,41	0,00	35,00
15	53	54	R	250_(PVCO-16)	84,86	55,33	0,91	0,07	40,00	40,00
879	53	1529	R	160_(PVCO-16)	84,58	52,06	1,94	2,69	35,00	35,00
48	54	55	E	250_(PVCO-16)	85,07	55,50	0,91	0,04	40,00	40,00
49	55	56	T	250_(PVCO-16)	85,07	55,44	0,91	0,02	0,00	40,00
50	58	59	R	250_(PVCO-16)	84,75	65,68	1,71	0,16	75,00	75,00
730	58	1436	R	1118_(ASH-16)	87,70	68,88	0,74	0,09	703,66	1.210,00
51	59	60	R	160_(PVCO-16)	85,64	66,13	1,94	0,63	35,00	35,00
77	59	94	E	160_(PVCO-16)	84,56	64,94	2,22	0,71	40,00	40,00
56	60	61	E	160_(PVCO-16)	85,64	65,22	1,94	0,48	35,00	35,00
57	61	69	T	160_(PVCO-16)	85,21	63,82	1,94	0,44	0,00	35,00
63	62	66	R	160_(PVCO-16)	86,09	66,60	2,22	0,70	40,00	40,00
53	63	64	E	160_(PVCO-16)	85,86	64,11	2,22	0,67	40,00	40,00
54	64	65	T	160_(PVCO-16)	85,88	64,01	2,22	0,12	0,00	40,00
55	66	67	E	160_(PVCO-16)	86,09	65,97	2,22	0,56	40,00	40,00
76	67	68	T	160_(PVCO-16)	86,08	65,91	2,22	0,12	0,00	40,00
58	70	58	R	1118_(ASH-16)	85,17	66,03	0,77	0,01	736,66	1.285,00
59	70	71	E	160_(PVCO-16)	86,12	66,17	2,22	1,25	40,00	40,00
60	71	72	T	160_(PVCO-16)	86,12	65,45	2,22	0,59	0,00	40,00
61	73	74	E	160_(PVCO-16)	87,62	67,75	1,94	1,03	35,00	35,00
62	73	76	R	1118_(ASH-16)	87,35	68,18	0,72	0,03	688,14	1.175,00
64	74	75	T	160_(PVCO-16)	87,76	67,54	1,94	0,34	0,00	35,00
65	76	77	R	160_(PVCO-16)	87,05	67,79	1,39	0,34	25,00	25,00
68	76	80	R	1118_(ASH-16)	87,05	66,77	0,72	0,01	682,81	1.150,00
66	77	78	E	160_(PVCO-16)	87,00	67,69	1,39	0,07	25,00	25,00
67	78	79	T	160_(PVCO-16)	86,99	67,64	1,39	0,07	0,00	25,00
130	80	180	R	1118_(ASH-16)	85,64	65,80	0,72	0,05	682,81	1.150,00
9	85	86	R	400_(PVCO-16)	85,90	54,62	1,65	0,10	185,07	230,00
104	86	124	R	315_(PVCO-16)	86,56	54,57	2,22	1,23	155,00	155,00
106	86	126	R	250_(PVCO-16)	85,38	52,68	1,71	0,52	75,00	75,00
70	87	89	E	160_(PVCO-16)	83,69	49,12	1,94	0,98	35,00	35,00
97	88	119	E	160_(PVCO-16)	87,25	49,48	2,22	1,65	40,00	40,00
71	89	90	T	160_(PVCO-16)	83,69	48,35	1,94	0,77	0,00	35,00
145	94	95	T	160_(PVCO-16)	84,52	64,71	2,22	0,12	0,00	40,00
142	96	198	E	250_(PVCO-16)	89,60	50,10	0,91	0,10	40,00	60,00
712	97	1425	R	200_(PVCO-16)	87,33	49,53	1,42	0,82	40,00	60,00
717	100	1429	R	250_(PVCO-16)	88,67	49,55	0,91	0,30	40,00	60,00
81	103	96	R	250_(PVCO-16)	89,36	49,96	0,91	0,06	40,00	60,00
147	104	205	E	160_(PVCO-16)	91,12	52,72	2,22	0,19	40,00	40,00
1596	104	2100	R	160_(PVCO-16)	91,12	52,60	1,94	0,25	35,00	35,00
920	105	1570	R	400_(PVCO-16)	89,43	58,78	1,98	0,12	222,87	295,00
139	109	193	R	1016_(ASH-16)	86,79	66,03	0,86	0,06	609,61	1.025,00

IDArc	NINI	NFIN	TIPUS	TUB_Material	TUB_PEstatica	TUB_PDinamica	TUB_Velocidad	TUB_PerTotales	Q_Clem	Q_ac
87	113	114	T	160_(PVCO-16)	80,62	59,22	2,22	0,12	0,00	40,00
149	115	212	R	813_(ASH-16)	82,34	62,62	0,96	0,07	482,51	755,00
17	115	116	E	160_(PVCO-16)	82,15	61,89	2,22	0,58	40,00	40,00
88	116	117	T	160_(PVCO-16)	82,19	61,83	2,22	0,12	0,00	40,00
677	118	2087	R	813_(ASH-16)	83,00	62,83	0,95	0,00	477,00	730,00
89	118	146	E	160_(PVCO-16)	83,00	62,68	1,39	0,29	25,00	25,00
114	119	137	T	160_(PVCO-16)	87,25	48,09	2,22	1,20	0,00	40,00
72	120	121	E	160_(PVCO-16)	86,94	51,32	2,22	1,48	40,00	40,00
98	120	88	R	160_(PVCO-16)	87,22	51,10	2,22	2,18	40,00	40,00
115	121	138	T	160_(PVCO-16)	86,74	50,20	2,22	1,07	0,00	40,00
73	122	120	R	250_(PVCO-16)	86,94	53,00	1,82	1,20	80,00	80,00
99	122	123	E	160_(PVCO-16)	86,80	52,91	2,22	1,14	40,00	40,00
118	123	141	T	160_(PVCO-16)	86,79	51,10	2,22	1,60	0,00	40,00
105	124	125	E	160_(PVCO-16)	86,56	52,96	1,94	1,15	35,00	35,00
721	124	1431	R	315_(PVCO-16)	86,92	54,54	1,72	0,39	120,00	120,00
116	125	139	T	160_(PVCO-16)	86,11	51,63	1,94	1,11	0,00	35,00
107	126	87	R	160_(PVCO-16)	83,96	50,00	1,94	2,30	35,00	35,00
74	126	127	E	160_(PVCO-16)	83,96	50,23	2,22	2,21	40,00	40,00
117	127	140	T	160_(PVCO-16)	83,80	49,69	2,22	0,63	0,00	40,00
39	128	129	E	160_(PVCO-16)	85,53	54,66	2,22	2,63	40,00	40,00
75	128	9	R	400_(PVCO-16)	85,53	56,06	2,28	1,17	256,36	365,00
108	129	130	T	160_(PVCO-16)	85,40	54,64	2,22	0,12	0,00	40,00
109	131	132	E	160_(PVCO-16)	81,58	55,74	2,22	0,39	40,00	40,00
110	131	133	R	450_(PVCO-16)	83,97	57,62	2,19	1,04	311,82	445,00
112	132	135	T	160_(PVCO-16)	81,55	55,34	2,22	0,52	0,00	40,00
111	133	134	E	160_(PVCO-16)	84,23	56,89	2,22	0,99	40,00	40,00
695	133	1412	R	450_(PVCO-16)	84,68	57,39	1,99	0,94	283,50	405,00
113	134	136	T	160_(PVCO-16)	84,23	56,46	2,22	0,41	0,00	40,00
120	144	145	T	160_(PVCO-16)	83,51	51,78	1,94	0,10	0,00	35,00
90	146	147	T	160_(PVCO-16)	82,82	62,51	1,39	0,05	0,00	25,00
91	148	164	E	160_(PVCO-16)	81,86	60,12	1,39	0,40	25,00	25,00
917	148	1568	R	450_(PVCO-16)	81,09	58,97	2,29	0,57	326,32	505,00
1798	150	2202	R	160_(PVCO-16)	81,84	59,62	1,94	0,54	35,00	35,00
684	150	1405	R	400_(PVCO-16)	81,84	58,72	0,89	0,24	100,00	100,00
123	153	47	R	160_(PVCO-16)	83,54	52,04	1,94	3,77	35,00	35,00
47	153	154	E	200_(PVCO-16)	81,01	53,08	1,24	0,21	35,00	35,00
124	154	155	T	200_(PVCO-16)	81,01	53,01	1,24	0,03	0,00	35,00
703	156	1424	R	200_(PVCO-16)	85,88	50,68	1,42	2,45	40,00	60,00
86	162	113	E	160_(PVCO-16)	80,58	59,30	2,22	1,20	40,00	40,00
92	164	165	T	160_(PVCO-16)	81,87	60,08	1,39	0,05	0,00	25,00
94	166	167	T	160_(PVCO-16)	82,07	59,44	1,39	0,05	0,00	25,00
153	168	231	R	450_(PVCO-16)	80,70	56,45	2,03	0,75	288,93	410,00
83	168	169	E	160_(PVCO-16)	80,71	56,91	1,94	0,94	35,00	35,00
100	169	170	T	160_(PVCO-16)	81,35	57,46	1,94	0,10	0,00	35,00
125	171	174	R	400_(PVCO-16)	88,51	59,40	2,14	3,41	240,26	330,00

IDArc	NINI	NFIN	TIPUS	TUB_Material	TUB_PEstatica	TUB_PDinamica	TUB_Velocidad	TUB_PerTotales	Q_Clem	Q_ac
96	171	172	E	160_(PVCO-16)	86,03	59,40	2,22	0,93	40,00	40,00
101	172	173	T	160_(PVCO-16)	86,07	59,32	2,22	0,12	0,00	40,00
102	174	175	E	160_(PVCO-16)	88,55	58,50	1,94	0,94	35,00	35,00
918	174	1569	R	400_(PVCO-16)	88,85	59,37	1,98	0,36	222,87	295,00
126	175	176	T	160_(PVCO-16)	88,60	58,45	1,94	0,10	0,00	35,00
84	177	178	E	160_(PVCO-16)	89,82	57,46	1,94	0,86	35,00	35,00
922	177	1571	R	400_(PVCO-16)	89,82	57,02	1,83	0,55	205,36	260,00
127	178	179	T	160_(PVCO-16)	89,63	57,38	1,94	0,10	0,00	35,00
85	180	181	E	160_(PVCO-16)	84,81	64,24	2,22	1,65	40,00	40,00
945	180	1587	R	1118_(ASH-16)	84,82	65,85	0,70	0,05	664,12	1.110,00
131	181	182	T	160_(PVCO-16)	84,82	64,14	2,22	0,12	0,00	40,00
128	183	184	E	160_(PVCO-16)	90,49	56,13	2,22	1,32	40,00	40,00
925	183	1572	R	400_(PVCO-16)	90,49	56,71	1,61	0,62	180,67	220,00
134	184	185	T	160_(PVCO-16)	90,15	56,08	2,22	0,12	0,00	40,00
129	186	187	E	160_(PVCO-16)	90,62	55,63	1,94	1,26	35,00	35,00
926	186	1573	R	315_(PVCO-16)	90,58	55,88	2,08	0,96	145,00	145,00
135	187	188	T	160_(PVCO-16)	90,62	55,52	1,94	0,10	0,00	35,00
136	189	203	E	160_(PVCO-16)	90,80	53,47	1,94	0,84	35,00	35,00
928	189	1574	R	250_(PVCO-16)	91,06	53,04	1,71	1,64	75,00	75,00
132	190	191	E	160_(PVCO-16)	85,04	64,64	1,94	1,42	35,00	35,00
731	190	1437	R	1016_(ASH-16)	86,19	67,18	0,86	0,03	609,61	1.025,00
138	191	192	T	160_(PVCO-16)	85,04	64,53	1,94	0,10	0,00	35,00
133	193	194	E	160_(PVCO-16)	85,56	66,16	1,94	0,30	35,00	35,00
952	193	1594	R	1016_(ASH-16)	85,13	64,13	0,84	0,04	597,59	990,00
140	194	195	T	160_(PVCO-16)	85,61	66,12	1,94	0,10	0,00	35,00
1320	198	1921	T	200_(PVCO-16)	89,60	48,38	1,24	0,89	0,00	35,00
143	198	199	T	200_(PVCO-16)	89,60	50,02	0,89	0,02	0,00	25,00
146	203	204	T	160_(PVCO-16)	90,72	53,40	1,94	0,10	0,00	35,00
148	205	206	T	160_(PVCO-16)	91,01	52,62	2,22	0,11	0,00	40,00
150	212	118	R	813_(ASH-16)	83,00	63,15	0,96	0,13	482,51	755,00
151	215	115	R	813_(ASH-16)	82,15	62,50	1,00	0,03	501,79	795,00
152	218	215	R	813_(ASH-16)	82,07	62,45	1,00	0,17	501,79	795,00
154	231	171	R	400_(PVCO-16)	85,26	59,56	2,34	2,10	263,17	370,00
1613	231	2107	R	160_(PVCO-16)	80,72	56,79	2,22	0,33	40,00	40,00
904	234	1552	R	450_(PVCO-16)	82,56	62,08	2,32	0,34	330,70	530,00
906	234	1553	E	160_(PVCO-16)	82,45	62,26	0,83	0,02	15,00	15,00
158	253	189	R	315_(PVCO-16)	90,80	54,41	1,58	0,26	110,00	110,00
1625	253	2113	R	160_(PVCO-16)	90,64	54,36	1,94	0,15	35,00	35,00
160	256	186	R	400_(PVCO-16)	90,64	56,85	1,60	0,17	180,00	180,00
1619	256	2110	R	160_(PVCO-16)	90,64	56,33	2,22	0,23	40,00	40,00
223	612	681	R	160_(PVCO-16)	82,56	68,13	1,39	0,15	25,00	25,00
740	612	678	R	630_(PVCO-16)	82,60	68,61	1,92	0,38	534,18	1.330,00
761	614	1456	R	160_(PVCO-16)	79,29	55,40	1,39	0,35	25,00	25,00
771	614	768	R	315_(PVCO-16)	79,22	53,01	1,43	0,63	100,00	100,00
302	615	771	E	250_(PVCO-16)	76,66	51,71	0,80	0,03	35,00	35,00
767	615	1463	R	160_(PVCO-16)	76,66	51,49	0,83	0,08	15,00	15,00

IDArc	NINI	NFIN	TIPUS	TUB_Material	TUB_PEstatica	TUB_PDinamica	TUB_Velocidad	TUB_PerTotales	Q_Clem	Q_ac
281	616	745	R	450_(PVCO-16)	85,28	65,86	1,73	0,86	246,26	525,00
323	616	801	R	400_(PVCO-16)	84,79	66,11	1,57	0,11	176,59	305,00
162	617	620	R	1524_(ASH-16)	80,85	68,80	1,60	0,51	2.746,55	7.860,00
187	617	646	R	400_(PVCO-16)	78,63	65,41	2,09	1,68	235,05	370,00
343	619	823	E	160_(PVCO-16)	75,94	48,97	1,39	0,07	25,00	25,00
784	619	830	R	200_(PVCO-16)	76,43	48,75	1,07	0,86	30,00	30,00
185	620	643	R	630_(PVCO-16)	80,93	68,79	2,03	0,10	518,56	1.490,00
350	620	833	R	1524_(ASH-16)	80,85	48,14	1,36	0,44	2.347,08	6.370,00
1605	621	1146	R	1118_(ASH-16)	83,97	67,21	1,33	0,12	1.271,89	3.230,00
430	621	934	R	400_(PVCO-16)	83,97	65,80	1,83	1,60	206,19	300,00
461	621	970	R	813_(ASH-16)	84,36	67,85	1,47	0,20	740,44	1.405,00
354	622	1196	R	450_(PVCO-16)	81,82	67,41	2,27	0,19	324,07	710,00
383	622	872	R	1524_(ASH-16)	81,82	67,54	1,16	0,03	2.002,81	5.190,00
409	623	906	E	250_(PVCO-16)	78,25	50,64	0,80	0,06	35,00	35,00
407	624	904	E	160_(PVCO-16)	78,86	52,44	1,94	0,14	35,00	35,00
547	625	1063	R	400_(PVCO-16)	79,27	56,58	1,25	0,28	140,48	245,00
617	625	1149	R	200_(PVCO-16)	79,27	54,93	2,13	1,81	60,00	60,00
405	626	902	E	315_(PVCO-16)	74,37	48,19	0,50	0,02	35,00	35,00
478	627	988	R	1118_(ASH-16)	83,17	65,42	1,04	0,11	990,77	2.250,00
576	627	1101	R	630_(PVCO-16)	83,17	65,88	1,46	0,15	407,92	930,00
1608	629	1434	R	1118_(ASH-16)	85,40	66,96	0,84	0,02	804,24	1.405,00
524	629	1039	R	200_(PVCO-16)	84,93	65,04	2,49	1,19	70,00	70,00
532	630	1045	R	1118_(ASH-16)	82,38	63,87	0,91	0,03	863,23	1.580,00
819	630	1491	R	160_(PVCO-16)	82,38	62,97	1,94	1,10	35,00	35,00
417	631	918	E	160_(PVCO-16)	82,32	62,62	1,94	0,13	35,00	35,00
362	632	1362	R	200_(PVCO-16)	80,77	57,08	1,24	0,47	35,00	35,00
177	633	634	R	160_(PVCO-16)	86,05	65,92	1,39	2,40	25,00	25,00
815	633	1490	R	1118_(ASH-16)	85,90	67,72	0,97	0,01	903,30	1.925,00
411	634	910	E	160_(PVCO-16)	86,27	66,06	1,39	0,08	25,00	25,00
2042	635	2103	R	711_(ASH-16)	84,71	60,87	1,48	1,66	571,48	975,00
413	635	912	E	160_(PVCO-16)	84,71	66,12	1,39	0,06	25,00	25,00
178	636	637	R	160_(PVCO-16)	82,63	57,96	2,22	4,52	40,00	40,00
439	636	943	R	400_(PVCO-16)	82,63	60,90	1,38	0,70	155,00	155,00
803	637	1484	E	160_(PVCO-16)	82,18	57,22	2,22	0,55	40,00	40,00
415	638	914	E	160_(PVCO-16)	80,10	56,65	1,39	0,20	25,00	25,00
1804	640	2205	R	160_(PVCO-16)	76,93	48,81	0,83	0,12	15,00	15,00
310	641	784	R	400_(PVCO-16)	84,14	61,22	1,29	0,51	116,49	180,00
756	641	754	R	400_(PVCO-16)	84,40	62,47	1,30	0,66	146,07	260,00
163	643	644	E	160_(PVCO-16)	80,93	68,64	1,39	0,13	25,00	25,00
734	643	674	R	630_(PVCO-16)	80,93	68,05	2,03	0,24	510,68	1.465,00
186	644	645	T	160_(PVCO-16)	80,92	68,49	1,39	0,09	0,00	25,00
188	646	647	E	160_(PVCO-16)	78,74	65,33	1,39	0,20	25,00	25,00
197	646	649	R	400_(PVCO-16)	81,47	66,35	2,01	1,90	226,46	345,00
195	647	648	T	160_(PVCO-16)	78,84	65,29	1,39	0,14	0,00	25,00
189	649	650	E	160_(PVCO-16)	81,86	66,55	1,39	0,20	25,00	25,00

IDArc	NINI	NFIN	TIPUS	TUB_Material	TUB_PEstatica	TUB_PDinamica	TUB_Velocidad	TUB_PerTotales	Q_Clem	Q_ac
199	649	652	R	400_(PVCO-16)	83,20	66,52	1,93	1,56	217,42	320,00
198	650	651	T	160_(PVCO-16)	81,96	66,36	1,39	0,29	0,00	25,00
200	652	653	E	160_(PVCO-16)	83,24	66,48	0,83	0,08	15,00	15,00
202	652	655	R	400_(PVCO-16)	84,01	66,01	1,91	1,31	215,18	305,00
201	653	654	T	160_(PVCO-16)	83,32	66,50	0,83	0,06	0,00	15,00
203	655	656	E	160_(PVCO-16)	84,01	65,44	1,94	0,31	35,00	35,00
206	655	658	R	400_(PVCO-16)	85,20	66,38	1,76	0,82	197,52	270,00
204	656	657	T	160_(PVCO-16)	83,74	62,97	1,94	0,47	0,00	35,00
205	658	659	E	160_(PVCO-16)	85,29	66,09	1,94	0,38	35,00	35,00
208	658	661	R	400_(PVCO-16)	86,19	66,65	1,57	0,72	176,74	235,00
207	659	660	T	160_(PVCO-16)	85,29	65,86	1,94	0,19	0,00	35,00
209	661	662	E	160_(PVCO-16)	86,19	66,20	2,22	0,39	40,00	40,00
270	661	733	R	400_(PVCO-16)	86,19	58,00	1,42	0,96	151,15	195,00
210	662	663	T	160_(PVCO-16)	86,23	65,93	2,22	0,38	0,00	40,00
211	664	665	E	160_(PVCO-16)	81,47	68,48	1,39	0,16	25,00	25,00
737	664	668	R	630_(PVCO-16)	81,33	68,19	2,00	0,31	558,47	1.415,00
212	665	666	T	160_(PVCO-16)	81,47	68,33	1,39	0,14	0,00	25,00
213	667	612	R	630_(PVCO-16)	82,56	68,96	1,94	0,25	540,87	1.355,00
218	667	672	E	160_(PVCO-16)	82,30	68,60	1,94	0,35	35,00	35,00
215	668	669	R	160_(PVCO-16)	81,51	68,26	1,39	0,11	25,00	25,00
739	668	667	R	630_(PVCO-16)	82,07	68,71	1,99	0,21	554,33	1.390,00
216	669	670	E	160_(PVCO-16)	81,51	68,22	1,39	0,04	25,00	25,00
217	670	671	T	160_(PVCO-16)	81,51	68,13	1,39	0,06	0,00	25,00
219	672	673	T	160_(PVCO-16)	82,30	68,36	1,94	0,23	0,00	35,00
190	674	675	R	160_(PVCO-16)	80,78	68,11	1,39	0,29	25,00	25,00
735	674	664	R	630_(PVCO-16)	80,78	67,95	2,03	0,45	567,11	1.440,00
220	675	676	E	160_(PVCO-16)	80,80	67,99	1,39	0,14	25,00	25,00
221	676	677	T	160_(PVCO-16)	80,80	67,84	1,39	0,12	0,00	25,00
164	678	679	E	160_(PVCO-16)	82,64	68,62	1,39	0,04	25,00	25,00
741	678	2235	R	630_(PVCO-16)	82,60	67,46	1,90	0,35	528,89	1.305,00
222	679	680	T	160_(PVCO-16)	82,69	68,61	1,39	0,05	0,00	25,00
224	681	682	E	160_(PVCO-16)	81,92	68,12	1,39	0,04	25,00	25,00
225	682	683	T	160_(PVCO-16)	81,97	68,10	1,39	0,07	0,00	25,00
226	684	685	E	160_(PVCO-16)	82,29	67,61	1,94	0,12	35,00	35,00
231	684	690	R	630_(PVCO-16)	82,95	67,97	1,83	0,42	509,93	1.245,00
228	685	686	T	160_(PVCO-16)	82,29	67,48	1,94	0,11	0,00	35,00
1858	690	2232	R	160_(PVCO-16)	82,95	67,63	1,39	0,21	25,00	25,00
234	690	693	R	630_(PVCO-16)	83,58	68,34	1,80	0,26	502,00	1.220,00
235	693	694	E	160_(PVCO-16)	84,03	68,31	1,94	0,48	35,00	35,00
237	693	696	R	630_(PVCO-16)	84,16	68,63	1,75	0,29	487,85	1.185,00
236	694	695	T	160_(PVCO-16)	84,03	67,76	1,94	0,44	0,00	35,00
238	696	697	R	630_(PVCO-16)	84,16	68,50	1,72	0,10	480,74	1.160,00
239	696	698	R	160_(PVCO-16)	84,16	67,57	1,39	0,18	25,00	25,00
241	697	700	E	160_(PVCO-16)	84,13	67,83	1,94	0,47	35,00	35,00
742	697	703	R	630_(PVCO-16)	84,31	68,28	1,68	0,39	468,13	1.125,00

IDArc	NINI	NFIN	TIPUS	TUB_Material	TUB_PEstatica	TUB_PDinamica	TUB_Velocidad	TUB_PerTotales	Q_Clem	Q_ac
240	698	699	E	160_(PVCO-16)	83,28	67,11	1,39	0,39	25,00	25,00
403	699	896	T	160_(PVCO-16)	83,22	66,69	1,39	0,29	0,00	25,00
242	700	701	T	160_(PVCO-16)	83,93	67,37	1,94	0,40	0,00	35,00
244	702	704	E	160_(PVCO-16)	84,36	68,18	1,94	0,11	35,00	35,00
745	702	709	R	630_(PVCO-16)	84,49	67,81	1,60	0,60	447,46	1.065,00
243	703	702	R	630_(PVCO-16)	84,31	68,13	1,65	0,04	459,12	1.100,00
246	703	706	R	160_(PVCO-16)	84,31	67,52	1,39	0,14	25,00	25,00
245	704	705	T	160_(PVCO-16)	84,36	67,99	1,94	0,16	0,00	35,00
247	706	707	E	160_(PVCO-16)	83,77	67,53	1,39	0,07	25,00	25,00
248	707	708	T	160_(PVCO-16)	83,77	67,51	1,39	0,03	0,00	25,00
1852	709	2229	R	160_(PVCO-16)	84,49	67,14	1,94	0,27	35,00	35,00
249	709	710	R	630_(PVCO-16)	84,49	67,45	1,55	0,09	431,87	1.030,00
250	710	711	E	160_(PVCO-16)	84,55	67,64	2,22	0,15	40,00	40,00
749	710	716	R	630_(PVCO-16)	84,26	67,00	1,47	0,50	410,50	990,00
252	711	712	T	160_(PVCO-16)	84,62	67,56	2,22	0,15	0,00	40,00
255	715	717	E	160_(PVCO-16)	84,62	67,28	1,39	0,04	25,00	25,00
752	715	724	R	630_(PVCO-16)	84,72	66,98	1,40	0,44	390,29	930,00
1846	716	2226	R	160_(PVCO-16)	84,46	66,77	1,94	0,42	35,00	35,00
251	716	715	R	630_(PVCO-16)	84,41	67,11	1,43	0,04	399,26	955,00
256	717	718	T	160_(PVCO-16)	84,89	67,52	1,39	0,03	0,00	25,00
259	721	722	E	160_(PVCO-16)	85,05	67,19	1,39	0,11	25,00	25,00
754	721	730	R	630_(PVCO-16)	84,86	66,74	1,32	0,36	368,58	870,00
260	722	723	T	160_(PVCO-16)	85,16	67,25	1,39	0,05	0,00	25,00
1840	724	2223	R	160_(PVCO-16)	84,99	66,94	1,94	0,31	35,00	35,00
261	724	721	R	630_(PVCO-16)	84,72	66,93	1,35	0,01	375,48	895,00
1834	727	2220	R	160_(PVCO-16)	84,90	66,38	1,39	0,29	25,00	25,00
264	727	616	R	500_(PVCO-16)	84,79	65,96	2,04	0,33	358,80	830,00
266	730	731	E	160_(PVCO-16)	84,88	66,74	0,83	0,03	15,00	15,00
267	730	727	R	500_(PVCO-16)	84,86	66,56	2,08	0,11	365,91	855,00
269	731	732	T	160_(PVCO-16)	84,88	66,68	0,83	0,02	0,00	15,00
194	733	736	R	315_(PVCO-16)	83,74	60,31	2,29	2,93	160,00	160,00
214	733	734	E	160_(PVCO-16)	78,95	57,75	1,94	0,70	35,00	35,00
271	734	735	T	160_(PVCO-16)	84,27	62,27	1,94	0,80	0,00	35,00
272	736	737	E	160_(PVCO-16)	83,74	59,72	1,94	0,56	35,00	35,00
277	736	742	R	315_(PVCO-16)	83,74	57,84	1,79	0,56	125,00	125,00
273	737	738	T	160_(PVCO-16)	83,71	59,09	1,94	0,63	0,00	35,00
274	739	740	E	160_(PVCO-16)	80,77	55,65	1,94	0,54	35,00	35,00
275	739	779	R	250_(PVCO-16)	80,77	48,85	1,25	1,41	55,00	55,00
276	740	741	T	160_(PVCO-16)	80,75	54,88	1,94	0,73	0,00	35,00
2026	742	2317	R	160_(PVCO-16)	81,83	56,37	1,94	0,61	35,00	35,00
278	742	739	R	315_(PVCO-16)	81,83	56,21	1,29	0,57	90,00	90,00
191	745	746	E	160_(PVCO-16)	85,31	65,82	1,39	0,07	25,00	25,00
285	745	748	R	450_(PVCO-16)	85,28	64,28	1,69	0,84	240,97	500,00
284	746	747	T	160_(PVCO-16)	85,31	65,71	1,39	0,08	0,00	25,00
286	748	749	E	160_(PVCO-16)	84,71	64,38	1,39	0,06	25,00	25,00

IDArc	NINI	NFIN	TIPUS	TUB_Material	TUB_PEstatica	TUB_PDinamica	TUB_Velocidad	TUB_PerTotales	Q_Clem	Q_ac
289	748	751	R	450_(PVCO-16)	84,55	63,42	1,63	0,84	231,84	475,00
287	749	750	T	160_(PVCO-16)	84,73	64,27	1,39	0,13	0,00	25,00
288	751	641	R	400_(PVCO-16)	84,53	62,87	1,91	0,17	215,36	440,00
290	751	752	E	160_(PVCO-16)	84,89	63,49	1,94	0,29	35,00	35,00
291	752	753	T	160_(PVCO-16)	84,89	63,22	1,94	0,17	0,00	35,00
192	754	755	E	160_(PVCO-16)	84,50	62,35	1,94	0,22	35,00	35,00
758	754	757	R	400_(PVCO-16)	84,40	61,66	1,16	0,55	130,11	225,00
292	755	756	T	160_(PVCO-16)	84,55	62,18	1,94	0,21	0,00	35,00
293	757	758	E	160_(PVCO-16)	84,20	61,60	1,39	0,11	25,00	25,00
297	757	763	R	400_(PVCO-16)	84,15	60,70	1,11	0,12	120,55	200,00
294	758	759	T	160_(PVCO-16)	84,20	61,26	1,39	0,06	0,00	25,00
295	760	761	E	160_(PVCO-16)	82,08	58,41	1,94	0,26	35,00	35,00
760	760	614	R	400_(PVCO-16)	82,08	55,68	1,11	0,31	125,00	125,00
296	761	762	T	160_(PVCO-16)	81,96	58,25	1,94	0,22	0,00	35,00
2008	763	2308	R	160_(PVCO-16)	83,31	59,22	2,22	0,55	40,00	40,00
299	763	760	R	400_(PVCO-16)	83,31	58,85	1,11	0,63	93,04	160,00
166	768	769	E	160_(PVCO-16)	78,01	53,49	1,39	0,36	25,00	25,00
764	768	773	R	315_(PVCO-16)	78,45	53,89	1,08	0,40	75,00	75,00
301	769	770	T	160_(PVCO-16)	80,51	55,82	1,39	0,17	0,00	25,00
303	771	772	T	250_(PVCO-16)	76,66	51,73	0,80	0,01	0,00	35,00
2020	773	2314	R	160_(PVCO-16)	78,45	52,18	1,39	0,14	25,00	25,00
765	773	615	R	315_(PVCO-16)	78,45	51,78	0,72	0,32	50,00	50,00
308	778	782	E	160_(PVCO-16)	75,77	48,72	0,83	0,08	15,00	15,00
282	779	778	R	160_(PVCO-16)	75,77	49,26	0,83	0,54	15,00	15,00
283	779	780	E	160_(PVCO-16)	75,89	49,12	2,22	0,80	40,00	40,00
307	780	781	T	200_(PVCO-16)	77,45	50,34	1,42	0,33	0,00	40,00
309	782	783	T	160_(PVCO-16)	75,31	48,37	0,83	0,07	0,00	15,00
167	784	785	E	160_(PVCO-16)	83,03	60,39	1,94	0,86	35,00	35,00
318	784	793	R	400_(PVCO-16)	83,00	61,08	1,29	0,05	145,00	145,00
311	785	786	T	160_(PVCO-16)	83,03	59,64	1,94	0,63	0,00	35,00
314	787	791	E	160_(PVCO-16)	77,36	53,49	0,83	0,08	15,00	15,00
777	787	1470	R	160_(PVCO-16)	78,23	54,29	1,39	0,17	25,00	25,00
312	788	789	E	250_(PVCO-16)	79,35	56,94	0,80	0,02	35,00	35,00
321	788	796	R	250_(PVCO-16)	79,32	56,63	1,71	0,10	75,00	75,00
313	789	790	T	250_(PVCO-16)	79,38	56,95	0,80	0,02	0,00	35,00
315	791	792	T	160_(PVCO-16)	77,34	53,32	0,83	0,06	0,00	15,00
1996	793	2302	R	160_(PVCO-16)	83,03	60,80	1,94	0,40	35,00	35,00
319	793	1467	R	400_(PVCO-16)	82,91	57,01	0,98	0,52	110,00	110,00
2002	796	2305	R	160_(PVCO-16)	79,15	56,33	1,94	0,33	35,00	35,00
774	796	787	R	200_(PVCO-16)	79,12	53,59	1,42	1,28	40,00	40,00
336	801	814	R	200_(PVCO-16)	84,80	63,33	2,49	2,79	70,00	70,00
780	801	1473	R	315_(PVCO-16)	84,79	65,47	1,96	0,62	136,58	235,00
333	802	812	E	160_(PVCO-16)	84,61	60,89	1,94	0,20	35,00	35,00
324	803	804	E	160_(PVCO-16)	84,72	64,58	1,94	0,15	35,00	35,00
329	803	809	R	315_(PVCO-16)	84,72	62,89	1,70	1,25	118,29	200,00

IDArc	NINI	NFIN	TIPUS	TUB_Material	TUB_PEstatica	TUB_PDinamica	TUB_Velocidad	TUB_PerTotales	Q_Clem	Q_ac
325	804	805	T	160_(PVCO-16)	84,68	64,42	1,94	0,18	0,00	35,00
326	806	807	E	160_(PVCO-16)	82,29	60,12	1,94	0,16	35,00	35,00
782	806	820	R	315_(PVCO-16)	82,32	58,72	1,65	1,59	92,53	140,00
327	807	808	T	160_(PVCO-16)	82,29	59,86	1,94	0,16	0,00	35,00
1828	809	2217	R	160_(PVCO-16)	84,08	62,66	1,39	0,24	25,00	25,00
328	809	806	R	315_(PVCO-16)	84,07	60,28	1,65	0,84	109,93	175,00
334	812	813	T	160_(PVCO-16)	84,59	60,70	1,94	0,19	0,00	35,00
168	814	815	E	160_(PVCO-16)	84,80	62,93	1,94	0,28	35,00	35,00
335	814	802	R	160_(PVCO-16)	84,80	61,10	1,94	2,04	35,00	35,00
337	815	816	T	160_(PVCO-16)	84,73	62,79	1,94	0,19	0,00	35,00
331	817	818	E	160_(PVCO-16)	80,93	56,17	1,94	0,20	35,00	35,00
345	817	825	R	250_(PVCO-16)	80,93	52,13	1,82	1,88	80,00	80,00
338	818	819	T	160_(PVCO-16)	80,78	55,74	1,94	0,22	0,00	35,00
1822	820	2214	R	160_(PVCO-16)	82,32	57,96	1,39	0,22	25,00	25,00
341	820	817	R	315_(PVCO-16)	82,32	56,53	1,65	0,80	115,00	115,00
344	823	824	T	160_(PVCO-16)	76,07	49,13	1,39	0,04	0,00	25,00
1816	825	2211	R	160_(PVCO-16)	78,41	51,87	1,39	0,23	25,00	25,00
783	825	619	R	250_(PVCO-16)	78,41	49,11	1,25	0,54	55,00	55,00
1810	830	2208	R	160_(PVCO-16)	77,50	49,71	0,83	0,11	15,00	15,00
785	830	1477	R	160_(PVCO-16)	76,82	48,83	0,83	0,30	15,00	15,00
169	833	834	E	160_(PVCO-16)	61,68	48,94	1,94	0,25	35,00	35,00
421	833	836	R	1524_(ASH-16)	73,71	60,80	1,36	0,42	2.333,06	6.335,00
351	834	835	T	160_(PVCO-16)	62,52	49,58	1,94	0,20	0,00	35,00
352	836	837	E	160_(PVCO-16)	73,71	60,23	1,94	0,33	35,00	35,00
790	836	839	R	1524_(ASH-16)	75,44	62,39	1,35	0,14	2.318,22	6.285,00
934	836	1579	R	160_(PVCO-16)	73,71	59,85	0,83	0,35	15,00	15,00
1607	837	2104	T	160_(PVCO-16)	73,50	60,13	1,94	0,13	0,00	35,00
353	839	840	E	160_(PVCO-16)	75,44	62,19	1,94	0,11	35,00	35,00
359	839	845	R	1524_(ASH-16)	75,63	62,54	1,34	0,03	2.306,53	6.250,00
356	840	841	T	160_(PVCO-16)	75,34	62,01	1,94	0,10	0,00	35,00
357	842	843	E	160_(PVCO-16)	77,65	63,98	1,94	0,27	35,00	35,00
791	842	848	R	1524_(ASH-16)	79,41	66,08	1,33	0,13	2.286,37	6.180,00
358	843	844	T	160_(PVCO-16)	77,46	63,82	1,94	0,13	0,00	35,00
1870	845	2239	R	160_(PVCO-16)	75,95	62,46	1,94	0,40	35,00	35,00
787	845	842	R	1524_(ASH-16)	77,65	64,44	1,34	0,13	2.296,68	6.215,00
1876	848	2242	R	160_(PVCO-16)	79,41	65,32	1,94	0,32	35,00	35,00
365	848	851	R	1524_(ASH-16)	79,45	66,11	1,32	0,01	2.276,25	6.145,00
366	851	852	E	160_(PVCO-16)	79,49	65,96	1,94	0,19	35,00	35,00
792	851	854	R	1524_(ASH-16)	79,59	66,11	1,32	0,13	2.265,62	6.110,00
367	852	853	T	160_(PVCO-16)	79,49	65,67	1,94	0,11	0,00	35,00
368	854	2097	R	160_(PVCO-16)	79,59	65,59	1,94	0,34	35,00	35,00
371	854	857	R	1524_(ASH-16)	79,59	65,85	1,31	0,04	2.251,71	6.075,00
370	855	856	T	160_(PVCO-16)	79,30	64,81	1,94	0,43	0,00	35,00
369	857	858	E	160_(PVCO-16)	79,37	65,67	1,94	0,18	35,00	35,00
793	857	860	R	1524_(ASH-16)	79,37	64,99	1,30	0,15	2.240,91	6.040,00

IDArc	NINI	NFIN	TIPUS	TUB_Material	TUB_PEstatica	TUB_PDinamica	TUB_Velocidad	TUB_PerTotales	Q_Clem	Q_ac
372	858	859	T	160_(PVCO-16)	79,36	65,45	1,94	0,20	0,00	35,00
1882	860	2245	R	160_(PVCO-16)	78,65	63,51	1,94	0,36	35,00	35,00
375	860	863	R	1524_(ASH-16)	79,12	65,43	1,30	0,03	2.228,31	6.005,00
376	863	864	E	160_(PVCO-16)	79,12	65,31	1,94	0,11	35,00	35,00
794	863	866	R	1524_(ASH-16)	81,45	67,62	1,29	0,14	2.216,28	5.970,00
378	864	865	T	160_(PVCO-16)	79,27	65,37	1,94	0,10	0,00	35,00
1888	866	2248	R	160_(PVCO-16)	81,45	66,74	1,94	0,39	35,00	35,00
380	866	869	R	1524_(ASH-16)	81,76	67,91	1,28	0,02	2.205,50	5.935,00
381	869	870	E	160_(PVCO-16)	81,77	67,78	1,94	0,14	35,00	35,00
795	869	622	R	1524_(ASH-16)	81,82	67,87	1,28	0,10	2.196,06	5.900,00
382	870	871	T	160_(PVCO-16)	81,77	67,56	1,94	0,16	0,00	35,00
170	872	873	E	160_(PVCO-16)	81,60	67,50	1,94	0,13	35,00	35,00
796	872	875	R	1524_(ASH-16)	81,52	67,06	1,16	0,10	1.992,44	5.155,00
385	873	874	T	160_(PVCO-16)	81,61	67,38	1,94	0,12	0,00	35,00
384	875	876	E	160_(PVCO-16)	81,21	67,03	1,39	0,10	25,00	25,00
387	875	878	R	1524_(ASH-16)	82,14	67,98	1,15	0,08	1.985,08	5.130,00
386	876	877	T	160_(PVCO-16)	81,21	66,78	1,39	0,11	0,00	25,00
388	878	879	E	160_(PVCO-16)	82,26	67,69	1,39	0,41	25,00	25,00
797	878	890	R	1219_(ASH-16)	82,14	67,62	1,90	0,36	1.977,82	5.105,00
389	879	880	T	160_(PVCO-16)	82,26	67,48	1,39	0,18	0,00	25,00
171	881	882	E	160_(PVCO-16)	79,01	61,15	1,94	0,34	35,00	35,00
394	881	884	R	400_(PVCO-16)	79,34	60,48	2,02	1,34	227,14	475,00
393	882	883	T	160_(PVCO-16)	79,01	60,81	1,94	0,34	0,00	35,00
390	884	885	E	160_(PVCO-16)	79,34	60,35	1,39	0,06	25,00	25,00
656	884	1191	R	400_(PVCO-16)	79,34	59,40	1,93	0,09	217,47	450,00
395	885	886	T	160_(PVCO-16)	79,27	60,20	1,39	0,08	0,00	25,00
396	887	888	E	160_(PVCO-16)	78,37	58,57	1,94	0,22	35,00	35,00
653	887	1188	R	400_(PVCO-16)	78,35	58,57	1,69	0,11	190,53	390,00
397	888	889	T	160_(PVCO-16)	78,37	58,19	1,94	0,28	0,00	35,00
391	890	891	E	160_(PVCO-16)	82,22	67,51	1,39	0,19	25,00	25,00
800	890	893	R	1219_(ASH-16)	82,90	68,05	1,90	0,32	1.970,98	5.080,00
401	891	892	T	160_(PVCO-16)	82,27	67,45	1,39	0,11	0,00	25,00
398	893	894	E	160_(PVCO-16)	82,90	67,78	1,94	0,22	35,00	35,00
419	893	922	R	1219_(ASH-16)	83,26	68,11	1,89	0,31	1.961,41	5.045,00
402	894	895	T	160_(PVCO-16)	82,86	67,61	1,94	0,18	0,00	35,00
406	902	903	T	315_(PVCO-16)	74,37	47,74	0,50	0,03	0,00	35,00
408	904	905	T	160_(PVCO-16)	78,86	52,30	1,94	0,12	0,00	35,00
410	906	907	T	250_(PVCO-16)	78,16	50,53	0,80	0,08	0,00	35,00
412	910	911	T	160_(PVCO-16)	86,27	65,93	1,39	0,07	0,00	25,00
414	912	913	T	160_(PVCO-16)	84,65	66,03	1,39	0,07	0,00	25,00
416	914	915	T	160_(PVCO-16)	80,22	56,70	1,39	0,07	0,00	25,00
418	918	919	T	160_(PVCO-16)	82,41	62,61	1,94	0,10	0,00	35,00
404	922	923	E	160_(PVCO-16)	83,29	67,98	1,39	0,16	25,00	25,00
659	922	925	R	1219_(ASH-16)	83,76	68,25	1,88	0,37	1.953,73	5.020,00
420	923	924	T	160_(PVCO-16)	83,29	67,87	1,39	0,05	0,00	25,00

IDArc	NINI	NFIN	TIPUS	TUB_Material	TUB_PEstatica	TUB_PDinamica	TUB_Velocidad	TUB_PerTotales	Q_Clem	Q_ac
422	925	926	E	160_(PVCO-16)	83,76	68,11	1,94	0,12	35,00	35,00
658	925	928	R	1219_(ASH-16)	83,84	67,87	1,87	0,45	1.941,48	4.985,00
423	926	927	T	160_(PVCO-16)	83,74	67,94	1,94	0,13	0,00	35,00
424	928	929	E	160_(PVCO-16)	83,97	67,88	1,39	0,12	25,00	25,00
427	928	931	R	1219_(ASH-16)	84,14	67,95	1,86	0,22	1.935,60	4.960,00
425	929	930	T	160_(PVCO-16)	84,08	67,87	1,39	0,12	0,00	25,00
426	931	621	R	1219_(ASH-16)	84,14	67,65	1,86	0,13	1.930,59	4.935,00
428	931	932	E	160_(PVCO-16)	84,14	67,80	1,39	0,07	25,00	25,00
429	932	933	T	160_(PVCO-16)	84,09	67,75	1,39	0,09	0,00	25,00
179	934	935	E	160_(PVCO-16)	83,77	65,55	1,94	0,30	35,00	35,00
432	934	937	R	400_(PVCO-16)	83,71	64,30	1,69	0,95	190,17	265,00
431	935	936	T	160_(PVCO-16)	83,77	65,08	1,94	0,45	0,00	35,00
433	937	938	E	160_(PVCO-16)	83,22	64,05	1,94	0,30	35,00	35,00
436	937	940	R	400_(PVCO-16)	83,16	63,15	1,51	0,73	170,08	230,00
434	938	939	T	160_(PVCO-16)	83,30	63,77	1,94	0,36	0,00	35,00
435	940	636	R	400_(PVCO-16)	82,74	62,91	1,38	0,11	148,37	195,00
437	940	941	E	160_(PVCO-16)	83,00	63,00	1,94	0,40	35,00	35,00
438	941	942	T	160_(PVCO-16)	83,00	61,89	1,94	0,32	0,00	35,00
180	943	944	E	160_(PVCO-16)	81,33	60,62	1,94	0,30	35,00	35,00
682	943	1404	R	400_(PVCO-16)	81,31	56,44	1,07	0,36	120,00	120,00
440	944	945	T	160_(PVCO-16)	81,33	60,34	1,94	0,21	0,00	35,00
441	946	947	E	160_(PVCO-16)	75,39	52,83	1,94	0,76	35,00	35,00
459	946	967	R	315_(PVCO-16)	76,83	54,81	1,22	0,97	85,00	85,00
442	947	948	T	160_(PVCO-16)	75,05	53,14	1,94	0,10	0,00	35,00
443	949	950	E	250_(PVCO-16)	77,05	54,98	0,80	0,01	35,00	35,00
806	949	1486	R	160_(PVCO-16)	78,20	55,01	1,39	1,14	25,00	25,00
444	950	951	T	250_(PVCO-16)	77,05	54,84	0,80	0,01	0,00	35,00
181	952	953	E	160_(PVCO-16)	84,45	67,44	2,22	0,28	40,00	40,00
466	952	973	R	813_(ASH-16)	84,93	67,99	1,41	0,20	710,60	1.340,00
447	953	954	T	160_(PVCO-16)	84,47	67,17	2,22	0,30	0,00	40,00
448	955	956	E	160_(PVCO-16)	85,30	67,90	1,94	0,14	35,00	35,00
469	955	976	R	813_(ASH-16)	85,52	68,22	1,37	0,03	689,07	1.280,00
449	956	957	T	160_(PVCO-16)	85,30	67,82	1,94	0,08	0,00	35,00
450	958	959	E	160_(PVCO-16)	85,91	67,99	1,94	0,11	35,00	35,00
473	958	982	R	813_(ASH-16)	85,93	68,10	1,28	0,02	644,76	1.150,00
451	959	960	T	160_(PVCO-16)	85,91	67,81	1,94	0,11	0,00	35,00
452	961	962	E	160_(PVCO-16)	85,26	67,02	1,94	0,14	35,00	35,00
475	961	985	R	711_(ASH-16)	85,26	66,47	1,61	0,20	622,06	1.080,00
456	962	963	T	160_(PVCO-16)	85,25	66,94	1,94	0,09	0,00	35,00
453	964	965	E	160_(PVCO-16)	85,55	67,82	1,94	0,12	35,00	35,00
472	964	979	R	813_(ASH-16)	85,55	67,95	1,33	0,03	668,75	1.220,00
457	965	966	T	160_(PVCO-16)	85,55	67,79	1,94	0,09	0,00	35,00
445	967	968	E	160_(PVCO-16)	77,65	55,29	1,39	0,33	25,00	25,00
458	967	949	R	315_(PVCO-16)	76,92	54,86	0,86	0,03	60,00	60,00
460	968	969	T	160_(PVCO-16)	77,65	54,84	1,39	0,05	0,00	25,00
1710	970	2156	R	160_(PVCO-16)	84,36	67,26	1,39	0,28	25,00	25,00
464	970	952	R	813_(ASH-16)	84,45	67,71	1,46	0,22	733,54	1.380,00

IDArc	NINI	NFIN	TIPUS	TUB_Material	TUB_PEstatica	TUB_PDinamica	TUB_Velocidad	TUB_PerTotales	Q_Clem	Q_ac
1716	973	2159	R	160_(PVCO-16)	84,93	67,35	1,39	0,26	25,00	25,00
467	973	955	R	813_(ASH-16)	85,29	68,03	1,40	0,33	702,46	1.315,00
1722	976	2162	R	160_(PVCO-16)	85,52	67,56	1,39	0,22	25,00	25,00
470	976	964	R	813_(ASH-16)	85,55	68,01	1,36	0,25	681,73	1.255,00
1728	979	2165	R	160_(PVCO-16)	85,52	67,45	1,94	0,40	35,00	35,00
808	979	1487	R	813_(ASH-16)	85,65	67,94	1,31	0,13	657,61	1.185,00
1734	982	2168	R	160_(PVCO-16)	85,93	67,43	1,94	0,44	35,00	35,00
809	982	1488	R	813_(ASH-16)	85,93	67,49	1,26	0,13	632,41	1.115,00
1740	985	2171	R	160_(PVCO-16)	84,97	66,19	2,22	0,50	40,00	40,00
476	985	2174	R	711_(ASH-16)	85,00	66,55	1,56	0,17	600,65	1.040,00
1704	988	2153	R	160_(PVCO-16)	82,38	65,27	1,94	0,17	35,00	35,00
480	988	991	R	1118_(ASH-16)	82,57	65,47	1,03	0,16	980,41	2.215,00
1698	991	2150	R	160_(PVCO-16)	82,65	65,39	1,94	0,16	35,00	35,00
483	991	994	R	1118_(ASH-16)	83,76	66,52	1,02	0,14	970,69	2.180,00
1692	994	2147	R	160_(PVCO-16)	83,76	66,35	1,39	0,14	25,00	25,00
561	994	1080	R	1118_(ASH-16)	85,17	67,87	1,01	0,06	963,90	2.155,00
1686	997	2144	R	160_(PVCO-16)	85,36	67,64	1,94	0,36	35,00	35,00
486	997	1083	R	1118_(ASH-16)	85,45	67,99	0,99	0,10	944,76	2.085,00
1680	1000	2141	R	160_(PVCO-16)	86,04	68,29	1,39	0,26	25,00	25,00
567	1000	1086	R	1118_(ASH-16)	86,07	68,50	0,98	0,08	934,73	2.045,00
1674	1003	2138	R	160_(PVCO-16)	86,20	68,22	1,39	0,22	25,00	25,00
814	1003	1006	R	1118_(ASH-16)	86,22	68,52	0,97	0,11	918,58	1.985,00
1668	1006	2135	R	160_(PVCO-16)	86,22	68,14	1,94	0,37	35,00	35,00
492	1006	633	R	1118_(ASH-16)	86,22	68,16	0,97	0,04	909,73	1.950,00
1662	1009	2132	R	160_(PVCO-16)	85,41	67,53	1,39	0,09	25,00	25,00
817	1009	1012	R	1118_(ASH-16)	85,39	66,45	0,97	0,07	887,87	1.865,00
1656	1012	2129	R	160_(PVCO-16)	84,33	66,25	1,94	0,22	35,00	35,00
517	1012	1030	R	1118_(ASH-16)	84,31	66,36	0,97	0,01	878,99	1.830,00
1650	1015	2126	R	160_(PVCO-16)	83,33	65,05	1,94	0,31	35,00	35,00
513	1015	1024	R	1118_(ASH-16)	83,30	63,99	0,96	0,09	914,45	1.720,00
1644	1018	2123	R	160_(PVCO-16)	81,98	63,50	1,94	0,30	35,00	35,00
508	1018	1021	R	1118_(ASH-16)	81,98	63,08	0,93	0,09	889,19	1.650,00
507	1021	630	R	1118_(ASH-16)	82,38	64,18	0,92	0,05	875,39	1.615,00
509	1021	1022	E	160_(PVCO-16)	81,25	62,95	1,94	0,15	35,00	35,00
510	1022	1023	T	160_(PVCO-16)	81,25	62,77	1,94	0,12	0,00	35,00
511	1024	1018	R	1118_(ASH-16)	82,05	63,91	0,94	0,01	899,85	1.685,00
512	1024	1025	E	160_(PVCO-16)	82,05	63,33	1,94	0,63	35,00	35,00
514	1025	1026	T	160_(PVCO-16)	82,02	63,10	1,94	0,10	0,00	35,00
502	1027	1028	E	160_(PVCO-16)	83,34	65,06	2,22	0,26	40,00	40,00
515	1027	1015	R	1118_(ASH-16)	83,34	65,33	0,97	0,01	925,00	1.755,00
516	1028	1029	T	160_(PVCO-16)	83,27	64,82	2,22	0,21	0,00	40,00
518	1030	1027	R	1118_(ASH-16)	84,23	65,38	0,97	0,09	866,34	1.795,00
519	1030	1031	E	160_(PVCO-16)	84,23	65,40	1,94	0,80	35,00	35,00
520	1031	1032	T	160_(PVCO-16)	84,07	65,05	1,94	0,10	0,00	35,00
503	1033	1034	E	160_(PVCO-16)	85,57	67,66	1,94	0,10	35,00	35,00
521	1033	1009	R	1118_(ASH-16)	85,57	67,60	0,97	0,03	894,67	1.890,00
522	1034	1035	T	160_(PVCO-16)	85,57	67,63	1,94	0,09	0,00	35,00

IDArc	NINI	NFIN	TIPUS	TUB_Material	TUB_PEstatica	TUB_PDinamica	TUB_Velocidad	TUB_PerTotales	Q_Clem	Q_ac
173	1036	1037	E	160_(PVCO-16)	83,29	64,93	1,94	0,06	35,00	35,00
527	1036	1042	R	1118_(ASH-16)	83,15	64,53	0,88	0,02	841,76	1.510,00
523	1037	1038	T	160_(PVCO-16)	83,29	64,87	1,94	0,06	0,00	35,00
184	1039	1040	E	160_(PVCO-16)	84,87	64,83	1,94	0,42	35,00	35,00
525	1039	632	R	200_(PVCO-16)	84,65	57,54	1,24	3,60	35,00	35,00
526	1040	1041	T	160_(PVCO-16)	84,87	64,59	1,94	0,20	0,00	35,00
1632	1042	2117	R	160_(PVCO-16)	83,04	64,28	1,94	0,43	35,00	35,00
530	1042	629	R	1118_(ASH-16)	84,93	66,51	0,87	0,10	829,86	1.475,00
1638	1045	2120	R	160_(PVCO-16)	82,79	64,22	1,94	0,34	35,00	35,00
533	1045	1036	R	1118_(ASH-16)	83,15	64,85	0,89	0,07	851,56	1.545,00
536	1049	1050	T	250_(PVCO-16)	80,49	54,46	0,80	0,01	0,00	35,00
537	1051	1052	E	160_(PVCO-16)	81,83	56,89	1,39	0,09	25,00	25,00
581	1051	1107	R	400_(PVCO-16)	82,17	57,11	0,84	0,22	95,00	95,00
539	1052	1053	T	160_(PVCO-16)	81,83	56,76	1,39	0,05	0,00	25,00
540	1054	1055	E	160_(PVCO-16)	81,25	56,81	1,39	0,06	25,00	25,00
848	1054	1110	R	400_(PVCO-16)	81,71	56,99	1,20	0,47	135,00	135,00
541	1055	1056	T	160_(PVCO-16)	81,13	56,77	1,39	0,05	0,00	25,00
542	1057	1058	E	160_(PVCO-16)	80,27	56,53	1,39	0,06	25,00	25,00
844	1057	1054	R	400_(PVCO-16)	81,25	56,99	1,20	0,63	104,04	160,00
543	1058	1059	T	160_(PVCO-16)	80,22	56,48	1,39	0,05	0,00	25,00
544	1060	1057	R	400_(PVCO-16)	80,27	56,64	1,20	0,43	112,22	185,00
545	1060	1061	E	160_(PVCO-16)	79,97	56,66	1,39	0,05	25,00	25,00
546	1061	1062	T	160_(PVCO-16)	79,91	56,63	1,39	0,03	0,00	25,00
548	1063	1064	E	160_(PVCO-16)	79,37	56,44	1,94	0,29	35,00	35,00
841	1063	1060	R	400_(PVCO-16)	79,97	56,78	1,20	0,56	123,99	210,00
549	1064	1065	T	160_(PVCO-16)	79,40	56,28	1,94	0,19	0,00	35,00
580	1066	1092	R	500_(PVCO-16)	80,84	62,06	1,67	0,34	292,50	630,00
832	1066	1500	R	315_(PVCO-16)	80,84	62,21	2,44	0,47	141,55	205,00
1942	1068	2275	R	160_(PVCO-16)	80,66	58,48	2,22	0,51	40,00	40,00
830	1068	1089	R	250_(PVCO-16)	81,59	57,12	2,16	2,81	95,00	95,00
550	1071	1072	E	160_(PVCO-16)	82,31	56,28	1,39	0,02	25,00	25,00
826	1071	1074	R	160_(PVCO-16)	82,31	53,11	1,94	2,93	35,00	35,00
555	1072	1073	T	160_(PVCO-16)	82,31	56,26	1,39	0,02	0,00	25,00
556	1074	1075	E	160_(PVCO-16)	82,07	53,06	1,94	0,07	35,00	35,00
557	1075	1076	T	160_(PVCO-16)	82,13	53,00	1,94	0,12	0,00	35,00
1948	1077	2278	R	160_(PVCO-16)	80,80	61,30	1,94	0,37	35,00	35,00
558	1077	1068	R	315_(PVCO-16)	80,54	58,87	1,94	2,54	135,00	135,00
494	1080	1081	E	160_(PVCO-16)	85,17	67,63	1,94	0,18	35,00	35,00
562	1080	997	R	1118_(ASH-16)	85,32	67,96	1,00	0,06	953,51	2.120,00
563	1081	1082	T	160_(PVCO-16)	85,11	67,43	1,94	0,15	0,00	35,00
495	1083	1084	E	160_(PVCO-16)	85,49	68,00	0,83	0,03	15,00	15,00
564	1083	1000	R	1118_(ASH-16)	85,85	68,36	0,99	0,03	942,56	2.070,00
565	1084	1085	T	160_(PVCO-16)	85,54	68,02	0,83	0,03	0,00	15,00
496	1086	1087	E	160_(PVCO-16)	86,12	67,96	1,94	0,60	35,00	35,00
566	1086	1003	R	1118_(ASH-16)	86,20	68,62	0,97	0,02	925,60	2.010,00

IDArc	NINI	NFIN	TIPUS	TUB_Material	TUB_PEstatica	TUB_PDinamica	TUB_Velocidad	TUB_PerTotales	Q_Clem	Q_ac
568	1087	1088	T	160_(PVCO-16)	86,12	67,82	1,94	0,10	0,00	35,00
559	1089	1090	E	160_(PVCO-16)	81,75	56,77	1,94	0,50	35,00	35,00
829	1089	1071	R	200_(PVCO-16)	82,31	56,30	2,13	1,53	60,00	60,00
569	1090	1091	T	160_(PVCO-16)	81,75	56,55	1,94	0,10	0,00	35,00
552	1092	1093	E	160_(PVCO-16)	80,41	61,38	1,94	0,80	35,00	35,00
836	1092	1128	R	500_(PVCO-16)	80,30	61,07	1,57	0,51	276,31	595,00
570	1093	1094	T	160_(PVCO-16)	80,41	61,24	1,94	0,10	0,00	35,00
553	1095	1096	E	160_(PVCO-16)	80,87	62,74	1,94	0,30	35,00	35,00
571	1095	1066	R	500_(PVCO-16)	80,87	62,94	2,12	0,10	372,59	835,00
574	1096	1097	T	160_(PVCO-16)	80,90	62,52	1,94	0,28	0,00	35,00
2036	1098	2324	R	630_(PVCO-16)	82,28	63,06	1,38	0,64	384,93	870,00
572	1098	1099	E	160_(PVCO-16)	82,28	64,55	1,94	0,52	35,00	35,00
575	1099	1100	T	160_(PVCO-16)	82,23	64,26	1,94	0,22	0,00	35,00
577	1101	1098	R	630_(PVCO-16)	82,85	65,12	1,43	0,19	400,03	905,00
578	1101	1102	E	160_(PVCO-16)	82,85	65,51	1,39	0,21	25,00	25,00
579	1102	1103	T	160_(PVCO-16)	82,72	65,49	1,39	0,05	0,00	25,00
1984	1107	2296	R	160_(PVCO-16)	82,29	57,10	1,39	0,13	25,00	25,00
582	1107	1595	R	315_(PVCO-16)	82,17	54,76	1,00	0,83	70,00	70,00
1978	1110	2293	R	160_(PVCO-16)	81,96	57,17	0,83	0,06	15,00	15,00
584	1110	1051	R	400_(PVCO-16)	81,71	56,86	1,07	0,13	120,00	120,00
1954	1113	2281	R	160_(PVCO-16)	79,87	60,83	1,39	0,23	25,00	25,00
598	1113	1125	R	500_(PVCO-16)	79,73	60,17	1,45	0,29	254,91	535,00
1960	1116	2284	R	160_(PVCO-16)	79,32	59,91	1,39	0,21	25,00	25,00
592	1116	1122	R	450_(PVCO-16)	79,08	59,37	1,69	0,49	240,81	485,00
589	1119	1120	E	160_(PVCO-16)	78,89	58,08	1,94	0,77	35,00	35,00
610	1119	1140	R	400_(PVCO-16)	78,89	57,58	1,90	0,77	213,38	415,00
590	1120	1121	T	160_(PVCO-16)	78,83	57,89	1,94	0,10	0,00	35,00
1966	1122	2287	R	160_(PVCO-16)	79,13	59,07	1,94	0,37	35,00	35,00
591	1122	1119	R	400_(PVCO-16)	79,06	58,92	2,01	0,29	226,27	450,00
594	1125	1126	E	160_(PVCO-16)	79,42	60,05	1,39	0,27	25,00	25,00
597	1125	1116	R	450_(PVCO-16)	79,28	59,88	1,73	0,10	246,64	510,00
599	1126	1127	T	160_(PVCO-16)	79,44	60,01	1,39	0,05	0,00	25,00
586	1128	1129	E	160_(PVCO-16)	79,81	60,58	1,94	0,49	35,00	35,00
600	1128	1113	R	500_(PVCO-16)	79,81	60,91	1,50	0,07	263,29	560,00
601	1129	1130	T	160_(PVCO-16)	79,81	60,42	1,94	0,10	0,00	35,00
1972	1131	2290	R	160_(PVCO-16)	79,38	57,33	1,39	0,16	25,00	25,00
602	1131	2323	R	400_(PVCO-16)	79,00	56,76	1,48	0,34	166,34	305,00
1990	1134	2299	R	160_(PVCO-16)	79,08	58,01	1,39	0,19	25,00	25,00
839	1134	1137	R	400_(PVCO-16)	78,17	56,39	1,73	0,90	194,34	365,00
606	1137	1131	R	400_(PVCO-16)	78,44	56,54	1,56	0,12	175,91	330,00
607	1137	1138	E	160_(PVCO-16)	78,17	56,16	1,94	0,16	35,00	35,00
608	1138	1139	T	160_(PVCO-16)	78,10	56,03	1,94	0,09	0,00	35,00
609	1140	1134	R	400_(PVCO-16)	78,33	56,72	1,81	0,13	204,00	390,00
611	1140	1141	E	160_(PVCO-16)	78,46	57,57	1,39	0,14	25,00	25,00
612	1141	1142	T	160_(PVCO-16)	78,46	57,43	1,39	0,13	0,00	25,00

IDArc	NINI	NFIN	TIPUS	TUB_Material	TUB_PEstatica	TUB_PDinamica	TUB_Velocidad	TUB_PerTotales	Q_Clem	Q_ac
175	1143	1144	E	160_(PVCO-16)	83,84	66,76	1,39	0,07	25,00	25,00
813	1143	627	R	1118_(ASH-16)	83,84	66,35	1,32	0,15	1.259,98	3.180,00
613	1144	1145	T	160_(PVCO-16)	83,51	66,70	1,39	0,05	0,00	25,00
615	1146	1147	E	160_(PVCO-16)	83,77	67,11	1,39	0,22	25,00	25,00
812	1146	1143	R	1118_(ASH-16)	83,84	67,17	1,33	0,23	1.265,94	3.205,00
616	1147	1148	T	160_(PVCO-16)	83,78	67,07	1,39	0,05	0,00	25,00
176	1149	1150	E	160_(PVCO-16)	79,10	54,80	1,39	0,13	25,00	25,00
851	1149	624	R	160_(PVCO-16)	79,10	52,52	1,94	2,12	35,00	35,00
618	1150	1151	T	160_(PVCO-16)	79,14	54,70	1,39	0,13	0,00	25,00
399	1152	1153	E	200_(PVCO-16)	76,24	48,54	1,24	0,54	35,00	35,00
866	1152	623	R	250_(PVCO-16)	78,25	50,78	0,80	0,46	35,00	35,00
619	1153	1154	T	200_(PVCO-16)	76,09	48,49	1,24	0,03	0,00	35,00
1936	1155	2272	R	160_(PVCO-16)	77,30	50,29	0,83	0,07	15,00	15,00
620	1155	1152	R	315_(PVCO-16)	76,24	49,23	1,00	0,07	70,00	70,00
623	1158	1155	R	315_(PVCO-16)	76,18	49,22	1,22	0,66	85,00	85,00
624	1158	1159	E	160_(PVCO-16)	76,18	49,39	1,39	0,38	25,00	25,00
626	1159	1160	T	160_(PVCO-16)	76,09	49,38	1,39	0,05	0,00	25,00
1930	1161	2269	R	160_(PVCO-16)	76,76	50,38	1,39	0,21	25,00	25,00
627	1161	1158	R	315_(PVCO-16)	76,27	49,90	1,58	0,12	110,00	110,00
629	1164	1165	E	160_(PVCO-16)	76,64	50,95	1,94	0,55	35,00	35,00
864	1164	1161	R	315_(PVCO-16)	76,64	50,11	1,94	1,02	135,00	135,00
630	1165	1166	T	160_(PVCO-16)	76,68	50,89	1,94	0,10	0,00	35,00
1924	1167	2266	R	160_(PVCO-16)	76,71	51,24	1,39	0,28	25,00	25,00
631	1167	1164	R	315_(PVCO-16)	76,71	51,50	1,94	0,12	106,17	170,00
633	1170	1171	E	160_(PVCO-16)	77,10	52,75	1,94	0,39	35,00	35,00
635	1170	1167	R	315_(PVCO-16)	77,04	51,69	1,94	1,05	114,06	195,00
636	1171	1172	T	160_(PVCO-16)	77,11	52,66	1,94	0,10	0,00	35,00
1918	1173	2263	R	160_(PVCO-16)	77,40	53,39	1,39	0,25	25,00	25,00
637	1173	1170	R	315_(PVCO-16)	77,33	53,08	1,94	0,21	129,53	230,00
640	1176	1173	R	315_(PVCO-16)	78,25	53,58	2,00	1,50	139,23	255,00
641	1176	1177	E	160_(PVCO-16)	78,25	55,25	1,94	0,69	35,00	35,00
643	1177	1178	T	160_(PVCO-16)	78,20	55,16	1,94	0,10	0,00	35,00
1912	1179	2260	R	160_(PVCO-16)	78,77	56,67	1,39	0,20	25,00	25,00
644	1179	1176	R	315_(PVCO-16)	78,30	56,00	2,19	0,36	153,09	290,00
646	1182	1179	R	315_(PVCO-16)	78,45	56,41	2,33	1,66	162,79	315,00
647	1182	1183	E	160_(PVCO-16)	78,45	57,96	1,39	0,26	25,00	25,00
648	1183	1184	T	160_(PVCO-16)	78,45	57,77	1,39	0,14	0,00	25,00
1906	1185	2257	R	160_(PVCO-16)	79,20	58,92	1,39	0,20	25,00	25,00
649	1185	1182	R	400_(PVCO-16)	78,45	58,22	1,54	0,15	173,01	340,00
1900	1188	2254	R	160_(PVCO-16)	78,59	58,68	1,39	0,22	25,00	25,00
654	1188	1185	R	400_(PVCO-16)	78,26	57,96	1,62	0,39	182,64	365,00
1894	1191	2251	R	160_(PVCO-16)	78,45	59,29	1,39	0,22	25,00	25,00
861	1191	887	R	400_(PVCO-16)	78,35	58,77	1,84	0,63	207,31	425,00
660	1196	1198	R	315_(PVCO-16)	81,55	65,12	2,37	1,88	136,17	200,00
859	1196	881	R	400_(PVCO-16)	81,55	61,46	2,18	3,38	245,56	510,00

IDArc	NINI	NFIN	TIPUS	TUB_Material	TUB_PEstatica	TUB_PDinamica	TUB_Velocidad	TUB_PerTotales	Q_Clem	Q_ac
672	1197	1213	E	160_(PVCO-16)	83,42	55,04	1,94	0,35	35,00	35,00
392	1198	1199	E	160_(PVCO-16)	81,14	64,55	1,94	0,53	35,00	35,00
662	1198	1201	R	315_(PVCO-16)	82,01	62,61	2,37	3,39	165,00	165,00
661	1199	1200	T	160_(PVCO-16)	81,11	64,47	1,94	0,10	0,00	35,00
663	1201	1202	E	160_(PVCO-16)	82,01	62,32	1,94	0,26	35,00	35,00
665	1201	1204	R	315_(PVCO-16)	82,01	60,84	1,86	1,40	130,00	130,00
664	1202	1203	T	160_(PVCO-16)	81,99	62,23	1,94	0,10	0,00	35,00
666	1204	1205	E	160_(PVCO-16)	81,67	60,56	1,94	0,31	35,00	35,00
852	1204	1207	R	250_(PVCO-16)	81,78	58,63	2,16	2,34	95,00	95,00
667	1205	1206	T	160_(PVCO-16)	81,68	60,47	1,94	0,10	0,00	35,00
668	1207	1208	E	160_(PVCO-16)	81,78	57,99	1,94	0,51	35,00	35,00
858	1207	1210	R	200_(PVCO-16)	83,16	57,10	2,13	2,91	60,00	60,00
669	1208	1209	T	160_(PVCO-16)	81,64	57,82	1,94	0,10	0,00	35,00
670	1210	1211	E	160_(PVCO-16)	83,16	56,87	1,39	0,22	25,00	25,00
856	1210	1197	R	160_(PVCO-16)	83,32	55,29	1,94	1,97	35,00	35,00
671	1211	1212	T	160_(PVCO-16)	83,15	56,72	1,39	0,05	0,00	25,00
673	1213	1214	T	160_(PVCO-16)	83,42	54,94	1,94	0,10	0,00	35,00
820	1362	1492	E	200_(PVCO-16)	81,28	57,43	1,24	0,17	35,00	35,00
678	1368	234	R	450_(PVCO-16)	82,45	62,31	2,34	0,19	333,00	545,00
910	1368	1558	R	250_(PVCO-16)	83,29	57,13	2,39	6,21	105,00	105,00
939	1397	2326	R	2000_(ASH-16)	69,00	57,75	0,91	0,25	2.871,55	8.230,00
681	1404	946	R	400_(PVCO-16)	77,20	54,34	1,07	0,29	120,00	120,00
683	1405	19	R	400_(PVCO-16)	79,79	57,62	0,89	0,11	100,00	100,00
686	1406	16	R	400_(PVCO-16)	75,52	54,01	0,58	0,27	65,00	65,00
687	1407	7	R	500_(PVCO-16)	84,01	61,89	2,21	0,12	388,47	625,00
689	1408	1407	R	500_(PVCO-16)	83,97	61,98	2,21	0,18	388,47	625,00
691	1409	38	R	500_(PVCO-16)	84,08	61,48	2,21	0,26	388,47	625,00
693	1410	131	R	500_(PVCO-16)	81,58	56,26	1,91	0,90	335,79	485,00
696	1411	1413	R	450_(PVCO-16)	84,79	57,17	1,99	0,24	283,50	405,00
694	1412	1411	R	450_(PVCO-16)	84,68	57,08	1,99	0,10	283,50	405,00
697	1413	1414	R	450_(PVCO-16)	84,93	57,22	1,99	0,09	283,50	405,00
698	1414	128	R	450_(PVCO-16)	85,53	57,52	1,99	0,29	283,50	405,00
700	1415	1416	R	200_(PVCO-16)	83,78	52,29	1,42	1,45	40,00	60,00
701	1416	156	R	200_(PVCO-16)	84,37	51,62	1,42	1,26	40,00	60,00
709	1423	97	R	200_(PVCO-16)	86,58	49,60	1,42	1,72	40,00	60,00
710	1424	1423	R	200_(PVCO-16)	85,88	50,57	1,42	0,07	40,00	60,00
714	1425	1427	R	200_(PVCO-16)	87,64	49,41	1,42	0,43	40,00	60,00
716	1426	1428	R	250_(PVCO-16)	88,60	50,05	0,91	0,18	40,00	60,00
713	1427	1426	R	250_(PVCO-16)	88,18	49,80	0,91	0,15	40,00	60,00
715	1428	100	R	250_(PVCO-16)	88,67	50,05	0,91	0,06	40,00	60,00
719	1429	1430	R	250_(PVCO-16)	88,76	49,62	0,91	0,22	40,00	60,00
718	1430	103	R	250_(PVCO-16)	88,97	49,62	0,91	0,21	40,00	60,00
720	1431	122	R	315_(PVCO-16)	86,92	54,06	1,72	0,35	120,00	120,00
2040	1434	2325	R	1118_(ASH-16)	86,00	67,40	0,82	0,16	780,17	1.365,00
728	1434	1435	R	160_(PVCO-16)	85,72	65,12	2,22	2,16	40,00	40,00

IDArc	NINI	NFIN	TIPUS	TUB_Material	TUB_PEstatica	TUB_PDinamica	TUB_Velocidad	TUB_PerTotales	Q_Clem	Q_ac
727	1435	63	R	160_(PVCO-16)	85,80	64,72	2,22	0,48	40,00	40,00
729	1436	73	R	1118_(ASH-16)	87,70	68,51	0,74	0,02	703,66	1.210,00
732	1437	109	R	1016_(ASH-16)	86,79	67,75	0,86	0,03	609,61	1.025,00
2014	1456	2311	R	160_(PVCO-16)	79,29	54,42	1,39	0,13	25,00	25,00
768	1463	1464	E	160_(PVCO-16)	76,45	51,04	0,83	0,02	15,00	15,00
769	1464	1465	T	160_(PVCO-16)	76,03	50,98	0,83	0,02	0,00	15,00
772	1467	788	R	400_(PVCO-16)	79,35	56,93	0,98	0,05	110,00	110,00
778	1470	1471	E	160_(PVCO-16)	78,44	54,43	1,39	0,07	25,00	25,00
779	1471	1472	T	160_(PVCO-16)	78,48	54,41	1,39	0,06	0,00	25,00
781	1473	803	R	315_(PVCO-16)	84,76	64,78	1,96	0,64	136,58	235,00
786	1477	640	R	160_(PVCO-16)	76,82	48,79	0,83	0,02	15,00	15,00
804	1484	1485	T	160_(PVCO-16)	82,07	57,17	2,22	0,12	0,00	40,00
805	1486	638	R	160_(PVCO-16)	78,25	54,99	1,39	0,06	25,00	25,00
807	1487	958	R	813_(ASH-16)	85,84	68,04	1,31	0,10	657,61	1.185,00
810	1488	961	R	813_(ASH-16)	85,44	67,18	1,26	0,13	632,41	1.115,00
816	1490	1033	R	1118_(ASH-16)	85,57	67,82	0,97	0,01	903,30	1.925,00
818	1491	631	R	160_(PVCO-16)	82,26	62,45	1,94	0,27	35,00	35,00
821	1492	1493	T	200_(PVCO-16)	81,28	57,27	1,24	0,03	0,00	35,00
833	1500	1077	R	315_(PVCO-16)	80,59	61,35	2,44	0,75	170,00	170,00
834	1500	1501	E	160_(PVCO-16)	80,60	62,05	1,94	0,18	35,00	35,00
835	1501	1502	T	160_(PVCO-16)	80,60	61,89	1,94	0,10	0,00	35,00
870	1521	1524	R	250_(PVCO-16)	79,81	56,95	1,48	0,27	65,00	65,00
867	1522	1521	R	250_(PVCO-16)	79,81	57,27	1,48	0,68	65,00	65,00
868	1523	1522	R	250_(PVCO-16)	79,67	57,72	1,48	0,05	65,00	65,00
871	1524	28	R	250_(PVCO-16)	79,77	53,98	1,48	1,18	65,00	65,00
872	1525	5	R	160_(PVCO-16)	75,89	49,38	1,39	0,25	25,00	25,00
875	1526	1527	R	500_(PVCO-16)	83,24	61,68	2,40	0,07	422,04	665,00
876	1527	35	R	500_(PVCO-16)	83,34	61,72	2,40	0,08	422,04	665,00
878	1528	153	R	250_(PVCO-16)	81,54	53,20	1,59	0,88	70,00	70,00
881	1529	1530	E	160_(PVCO-16)	84,21	51,68	1,94	0,31	35,00	35,00
882	1530	1531	T	160_(PVCO-16)	84,20	51,65	1,94	0,10	0,00	35,00
888	1537	162	R	160_(PVCO-16)	79,62	59,42	2,22	0,74	40,00	40,00
889	1537	218	R	813_(ASH-16)	81,20	61,75	1,00	0,11	501,79	795,00
890	1538	1537	R	813_(ASH-16)	80,75	60,29	1,04	0,02	523,70	835,00
892	1538	1541	R	315_(PVCO-16)	80,75	60,92	1,65	0,28	115,00	115,00
895	1539	1544	R	250_(PVCO-16)	81,97	61,15	1,71	0,83	75,00	75,00
902	1540	1550	E	160_(PVCO-16)	83,08	57,96	0,83	0,07	15,00	15,00
891	1541	1539	R	250_(PVCO-16)	80,93	60,94	1,71	0,40	75,00	75,00
893	1541	1542	E	160_(PVCO-16)	81,25	61,22	2,22	0,44	40,00	40,00
894	1542	1543	T	160_(PVCO-16)	81,25	61,10	2,22	0,12	0,00	40,00
896	1544	1545	E	160_(PVCO-16)	82,25	61,19	1,94	0,23	35,00	35,00
899	1544	1547	R	160_(PVCO-16)	82,63	57,88	2,22	3,92	40,00	40,00
897	1545	1546	T	160_(PVCO-16)	82,25	61,03	1,94	0,10	0,00	35,00
898	1547	1540	R	160_(PVCO-16)	82,90	57,84	0,83	0,31	15,00	15,00
900	1547	1548	E	160_(PVCO-16)	82,63	57,72	1,39	0,13	25,00	25,00
901	1548	1549	T	160_(PVCO-16)	82,69	57,77	1,39	0,05	0,00	25,00

IDArc	NINI	NFIN	TIPUS	TUB_Material	TUB_PEstatica	TUB_PDinamica	TUB_Velocidad	TUB_PerTotales	Q_Clem	Q_ac
903	1550	1551	T	160_(PVCO-16)	83,08	57,94	0,83	0,02	0,00	15,00
905	1552	148	R	450_(PVCO-16)	82,56	59,75	2,32	0,85	330,70	530,00
907	1553	1554	T	160_(PVCO-16)	82,45	62,26	0,83	0,02	0,00	15,00
908	1555	1556	E	160_(PVCO-16)	82,90	62,83	2,22	0,38	40,00	40,00
909	1556	1557	T	160_(PVCO-16)	82,83	62,71	2,22	0,12	0,00	40,00
911	1558	1559	E	160_(PVCO-16)	84,45	58,03	1,39	0,26	25,00	25,00
913	1558	1561	R	250_(PVCO-16)	88,60	58,14	1,82	4,30	80,00	80,00
912	1559	1560	T	160_(PVCO-16)	84,73	58,25	1,39	0,05	0,00	25,00
914	1561	1562	E	160_(PVCO-16)	88,60	56,83	2,22	1,15	40,00	40,00
940	1561	1583	R	200_(PVCO-16)	88,90	54,32	1,42	4,12	40,00	40,00
915	1562	1563	T	160_(PVCO-16)	88,45	56,70	2,22	0,12	0,00	40,00
916	1568	10	R	450_(PVCO-16)	80,89	58,75	2,29	0,17	326,32	505,00
919	1569	105	R	400_(PVCO-16)	89,27	58,74	1,98	1,05	222,87	295,00
921	1570	177	R	400_(PVCO-16)	89,82	58,53	1,98	0,64	222,87	295,00
923	1571	183	R	400_(PVCO-16)	90,49	57,87	1,83	0,78	205,36	260,00
924	1572	256	R	400_(PVCO-16)	90,64	57,09	1,61	0,31	180,67	220,00
927	1573	253	R	315_(PVCO-16)	90,64	54,51	2,08	1,44	145,00	145,00
930	1574	1575	R	250_(PVCO-16)	91,07	53,01	1,71	0,03	75,00	75,00
929	1575	104	R	250_(PVCO-16)	91,12	53,04	1,71	0,03	75,00	75,00
932	1576	1577	E	160_(PVCO-16)	82,63	55,91	1,94	0,33	35,00	35,00
933	1577	1578	T	160_(PVCO-16)	82,53	55,79	1,94	0,10	0,00	35,00
935	1579	1580	E	160_(PVCO-16)	73,15	59,83	0,83	0,06	15,00	15,00
936	1580	1581	T	160_(PVCO-16)	73,15	59,71	0,83	0,02	0,00	15,00
941	1583	1584	R	200_(PVCO-16)	91,32	56,65	1,42	0,10	40,00	40,00
942	1584	1585	E	200_(PVCO-16)	91,32	56,34	1,42	0,10	40,00	40,00
943	1585	1586	T	200_(PVCO-16)	91,12	50,71	1,42	5,44	0,00	40,00
944	1587	190	R	1016_(ASH-16)	84,82	65,82	0,88	0,01	624,12	1.060,00
946	1587	1589	R	200_(PVCO-16)	84,92	65,74	1,78	0,22	40,00	50,00
948	1588	1590	E	200_(PVCO-16)	85,12	65,18	1,78	0,09	40,00	50,00
947	1589	1588	R	200_(PVCO-16)	85,12	65,29	1,78	0,64	40,00	50,00
949	1590	1591	T	200_(PVCO-16)	85,10	62,64	1,78	2,26	0,00	50,00
950	1593	1555	R	160_(PVCO-16)	82,90	63,28	2,22	0,43	40,00	40,00
951	1593	2116	R	1016_(ASH-16)	82,89	62,22	0,81	0,11	571,53	950,00
953	1594	1593	R	1016_(ASH-16)	83,27	63,71	0,84	0,04	597,59	990,00
1050	1595	1049	E	250_(PVCO-16)	80,66	54,51	0,80	0,09	35,00	35,00
535	1595	626	R	315_(PVCO-16)	80,66	47,90	0,50	0,26	35,00	35,00
1578	2087	1368	R	500_(PVCO-16)	82,69	62,40	2,33	0,10	408,79	650,00
1579	2087	2088	R	450_(PVCO-16)	82,69	57,66	0,56	0,17	80,00	80,00
1581	2088	2089	E	315_(PVCO-16)	77,68	57,24	0,57	0,06	40,00	40,00
1588	2088	2095	E	200_(PVCO-16)	77,68	56,92	1,42	0,46	40,00	40,00
1582	2089	2090	T	315_(PVCO-16)	77,33	57,06	0,57	0,00	0,00	40,00
1590	2095	2096	T	200_(PVCO-16)	77,40	56,72	1,42	0,10	0,00	40,00
1591	2097	855	E	160_(PVCO-16)	79,40	65,36	1,94	0,13	35,00	35,00
1598	2100	2101	E	160_(PVCO-16)	91,06	52,63	1,94	0,10	35,00	35,00
1600	2101	2102	T	160_(PVCO-16)	91,06	52,33	1,94	0,10	0,00	35,00

IDArc	NINI	NFIN	TIPUS	TUB_Material	TUB_PEstatica	TUB_PDinamica	TUB_Velocidad	TUB_PerTotales	Q_Clem	Q_ac
1603	2103	31	R	250_(PVCO-16)	81,80	60,41	2,28	1,27	100,00	100,00
28	2103	6	R	630_(PVCO-16)	81,00	60,63	1,86	0,07	519,81	875,00
1615	2107	2108	E	160_(PVCO-16)	80,72	56,69	2,22	0,10	40,00	40,00
1617	2108	2109	T	160_(PVCO-16)	81,28	57,17	2,22	0,08	0,00	40,00
1621	2110	2111	E	160_(PVCO-16)	90,52	56,68	2,22	0,05	40,00	40,00
1623	2111	2112	T	160_(PVCO-16)	90,52	56,62	2,22	0,06	0,00	40,00
1627	2113	2114	E	160_(PVCO-16)	90,64	54,30	1,94	0,06	35,00	35,00
1629	2114	2115	T	160_(PVCO-16)	90,74	54,35	1,94	0,05	0,00	35,00
1630	2116	1538	R	1016_(ASH-16)	81,51	61,44	0,81	0,03	571,53	950,00
1634	2117	2118	E	160_(PVCO-16)	83,18	64,35	1,94	0,07	35,00	35,00
1636	2118	2119	T	160_(PVCO-16)	83,18	64,14	1,94	0,10	0,00	35,00
1640	2120	2121	E	160_(PVCO-16)	82,79	64,07	1,94	0,13	35,00	35,00
1642	2121	2122	T	160_(PVCO-16)	82,78	63,89	1,94	0,17	0,00	35,00
1646	2123	2124	E	160_(PVCO-16)	81,87	63,19	1,94	0,11	35,00	35,00
1648	2124	2125	T	160_(PVCO-16)	81,67	63,09	1,94	0,09	0,00	35,00
1652	2126	2127	E	160_(PVCO-16)	83,40	65,05	1,94	0,07	35,00	35,00
1654	2127	2128	T	160_(PVCO-16)	83,40	64,87	1,94	0,10	0,00	35,00
1658	2129	2130	E	160_(PVCO-16)	84,33	66,13	1,94	0,11	35,00	35,00
1660	2130	2131	T	160_(PVCO-16)	84,40	66,16	1,94	0,05	0,00	35,00
1664	2132	2133	E	160_(PVCO-16)	85,43	67,51	1,39	0,05	25,00	25,00
1666	2133	2134	T	160_(PVCO-16)	85,43	67,47	1,39	0,04	0,00	25,00
1670	2135	2136	E	160_(PVCO-16)	86,20	67,98	1,94	0,11	35,00	35,00
1672	2136	2137	T	160_(PVCO-16)	86,24	67,99	1,94	0,07	0,00	35,00
1676	2138	2139	E	160_(PVCO-16)	86,15	68,29	1,39	0,06	25,00	25,00
1678	2139	2140	T	160_(PVCO-16)	86,15	68,25	1,39	0,04	0,00	25,00
1682	2141	2142	E	160_(PVCO-16)	86,04	68,10	1,39	0,07	25,00	25,00
1684	2142	2143	T	160_(PVCO-16)	85,91	68,00	1,39	0,05	0,00	25,00
1688	2144	2145	E	160_(PVCO-16)	85,36	67,43	1,94	0,11	35,00	35,00
1690	2145	2146	T	160_(PVCO-16)	85,38	67,45	1,94	0,10	0,00	35,00
1694	2147	2148	E	160_(PVCO-16)	83,73	65,57	1,39	0,06	25,00	25,00
1696	2148	2149	T	160_(PVCO-16)	83,01	65,52	1,39	0,04	0,00	25,00
1700	2150	2151	E	160_(PVCO-16)	82,65	65,17	1,94	0,10	35,00	35,00
1702	2151	2152	T	160_(PVCO-16)	82,53	65,11	1,94	0,06	0,00	35,00
1706	2153	2154	E	160_(PVCO-16)	82,38	65,19	1,94	0,08	35,00	35,00
1708	2154	2155	T	160_(PVCO-16)	82,38	65,10	1,94	0,09	0,00	35,00
1712	2156	2157	E	160_(PVCO-16)	84,09	67,22	1,39	0,07	25,00	25,00
1714	2157	2158	T	160_(PVCO-16)	84,15	67,22	1,39	0,06	0,00	25,00
1718	2159	2160	E	160_(PVCO-16)	84,54	67,24	1,39	0,07	25,00	25,00
1720	2160	2161	T	160_(PVCO-16)	84,51	67,13	1,39	0,08	0,00	25,00
1724	2162	2163	E	160_(PVCO-16)	85,08	67,42	1,39	0,08	25,00	25,00
1726	2163	2164	T	160_(PVCO-16)	85,04	67,38	1,39	0,07	0,00	25,00
1730	2165	2166	E	160_(PVCO-16)	85,57	67,48	1,94	0,12	35,00	35,00
1732	2166	2167	T	160_(PVCO-16)	85,63	67,44	1,94	0,11	0,00	35,00
1736	2168	2169	E	160_(PVCO-16)	85,74	67,37	1,94	0,11	35,00	35,00
1738	2169	2170	T	160_(PVCO-16)	85,74	67,23	1,94	0,11	0,00	35,00

IDArc	NINI	NFIN	TIPUS	TUB_Material	TUB_PEstatica	TUB_PDinamica	TUB_Velocidad	TUB_PerTotales	Q_Clem	Q_ac
1742	2171	2172	E	160_(PVCO-16)	85,17	66,21	2,22	0,18	40,00	40,00
1744	2172	2173	T	160_(PVCO-16)	85,20	66,04	2,22	0,19	0,00	40,00
1745	2174	635	R	711_(ASH-16)	85,00	66,24	1,50	0,01	579,70	1.000,00
1747	2174	2175	R	160_(PVCO-16)	85,00	65,87	2,22	0,37	40,00	40,00
1749	2175	2176	E	160_(PVCO-16)	84,69	65,81	2,22	0,06	40,00	40,00
1751	2176	2177	T	160_(PVCO-16)	84,69	65,76	2,22	0,05	0,00	40,00
1800	2202	2203	E	160_(PVCO-16)	81,00	59,31	1,94	0,32	35,00	35,00
1802	2203	2204	T	160_(PVCO-16)	81,04	59,14	1,94	0,21	0,00	35,00
1806	2205	2206	E	160_(PVCO-16)	77,10	48,95	0,83	0,02	15,00	15,00
1808	2206	2207	T	160_(PVCO-16)	77,10	48,84	0,83	0,03	0,00	15,00
1812	2208	2209	E	160_(PVCO-16)	77,50	49,71	0,83	0,01	15,00	15,00
1814	2209	2210	T	160_(PVCO-16)	77,52	49,69	0,83	0,03	0,00	15,00
1818	2211	2212	E	160_(PVCO-16)	78,39	51,17	1,39	0,23	25,00	25,00
1820	2212	2213	T	160_(PVCO-16)	78,18	51,37	1,39	0,07	0,00	25,00
1824	2214	2215	E	160_(PVCO-16)	81,97	58,04	1,39	0,11	25,00	25,00
1826	2215	2216	T	160_(PVCO-16)	81,97	57,83	1,39	0,06	0,00	25,00
1830	2217	2218	E	160_(PVCO-16)	84,23	62,73	1,39	0,07	25,00	25,00
1832	2218	2219	T	160_(PVCO-16)	84,23	62,64	1,39	0,05	0,00	25,00
1836	2220	2221	E	160_(PVCO-16)	84,92	66,32	1,39	0,08	25,00	25,00
1838	2221	2222	T	160_(PVCO-16)	84,94	66,27	1,39	0,06	0,00	25,00
1842	2223	2224	E	160_(PVCO-16)	85,09	66,90	1,94	0,14	35,00	35,00
1844	2224	2225	T	160_(PVCO-16)	85,09	66,73	1,94	0,11	0,00	35,00
1848	2226	2227	E	160_(PVCO-16)	84,46	66,67	1,94	0,09	35,00	35,00
1850	2227	2228	T	160_(PVCO-16)	84,46	66,51	1,94	0,10	0,00	35,00
1854	2229	2230	E	160_(PVCO-16)	84,09	67,02	1,94	0,10	35,00	35,00
1856	2230	2231	T	160_(PVCO-16)	84,07	66,91	1,94	0,09	0,00	35,00
1860	2232	2233	E	160_(PVCO-16)	82,85	67,62	1,39	0,05	25,00	25,00
1862	2233	2234	T	160_(PVCO-16)	82,85	67,54	1,39	0,06	0,00	25,00
1863	2235	684	R	630_(PVCO-16)	82,06	67,50	1,87	0,23	520,89	1.280,00
1864	2235	2236	R	160_(PVCO-16)	81,92	67,43	1,39	0,16	25,00	25,00
1866	2236	2237	E	160_(PVCO-16)	81,92	67,37	1,39	0,06	25,00	25,00
1868	2237	2238	T	160_(PVCO-16)	82,04	67,44	1,39	0,05	0,00	25,00
1872	2239	2240	E	160_(PVCO-16)	75,95	62,35	1,94	0,12	35,00	35,00
1874	2240	2241	T	160_(PVCO-16)	75,95	62,23	1,94	0,12	0,00	35,00
1878	2242	2243	E	160_(PVCO-16)	78,98	65,09	1,94	0,05	35,00	35,00
1880	2243	2244	T	160_(PVCO-16)	78,78	64,98	1,94	0,08	0,00	35,00
1884	2245	2246	E	160_(PVCO-16)	77,71	63,59	1,94	0,09	35,00	35,00
1886	2246	2247	T	160_(PVCO-16)	77,72	63,52	1,94	0,09	0,00	35,00
1890	2248	2249	E	160_(PVCO-16)	81,02	66,66	1,94	0,14	35,00	35,00
1892	2249	2250	T	160_(PVCO-16)	81,02	66,47	1,94	0,12	0,00	35,00
1896	2251	2252	E	160_(PVCO-16)	78,45	58,93	1,39	0,05	25,00	25,00
1898	2252	2253	T	160_(PVCO-16)	78,34	59,08	1,39	0,04	0,00	25,00
1902	2254	2255	E	160_(PVCO-16)	78,66	58,71	1,39	0,04	25,00	25,00
1904	2255	2256	T	160_(PVCO-16)	78,81	58,80	1,39	0,05	0,00	25,00
1908	2257	2258	E	160_(PVCO-16)	79,40	59,03	1,39	0,09	25,00	25,00

IDArc	NINI	NFIN	TIPUS	TUB_Material	TUB_PEstatica	TUB_PDinamica	TUB_Velocidad	TUB_PerTotales	Q_Clem	Q_ac
1910	2258	2259	T	160_(PVCO-16)	79,40	58,95	1,39	0,05	0,00	25,00
1914	2260	2261	E	160_(PVCO-16)	78,77	56,56	1,39	0,07	25,00	25,00
1916	2261	2262	T	160_(PVCO-16)	78,82	56,61	1,39	0,04	0,00	25,00
1920	2263	2264	E	160_(PVCO-16)	77,41	53,36	1,39	0,05	25,00	25,00
1922	2264	2265	T	160_(PVCO-16)	77,43	53,33	1,39	0,05	0,00	25,00
1926	2266	2267	E	160_(PVCO-16)	76,55	51,19	1,39	0,06	25,00	25,00
1928	2267	2268	T	160_(PVCO-16)	76,58	51,15	1,39	0,06	0,00	25,00
1932	2269	2270	E	160_(PVCO-16)	76,85	50,43	1,39	0,05	25,00	25,00
1934	2270	2271	T	160_(PVCO-16)	76,90	50,43	1,39	0,05	0,00	25,00
1938	2272	2273	E	160_(PVCO-16)	78,14	51,11	0,83	0,02	15,00	15,00
1940	2273	2274	T	160_(PVCO-16)	78,14	51,03	0,83	0,02	0,00	15,00
1944	2275	2276	E	160_(PVCO-16)	80,69	58,29	2,22	0,22	40,00	40,00
1946	2276	2277	T	160_(PVCO-16)	80,69	58,07	2,22	0,16	0,00	40,00
1950	2278	2279	E	160_(PVCO-16)	80,80	61,23	1,94	0,07	35,00	35,00
1952	2279	2280	T	160_(PVCO-16)	80,87	61,24	1,94	0,06	0,00	35,00
1956	2281	2282	E	160_(PVCO-16)	79,87	60,66	1,39	0,07	25,00	25,00
1958	2282	2283	T	160_(PVCO-16)	79,88	60,70	1,39	0,07	0,00	25,00
1962	2284	2285	E	160_(PVCO-16)	79,32	59,70	1,39	0,11	25,00	25,00
1964	2285	2286	T	160_(PVCO-16)	79,26	59,68	1,39	0,06	0,00	25,00
1968	2287	2288	E	160_(PVCO-16)	79,13	58,90	1,94	0,08	35,00	35,00
1970	2288	2289	T	160_(PVCO-16)	79,04	58,80	1,94	0,11	0,00	35,00
1974	2290	2291	E	160_(PVCO-16)	79,42	57,30	1,39	0,06	25,00	25,00
1976	2291	2292	T	160_(PVCO-16)	79,46	57,30	1,39	0,04	0,00	25,00
1980	2293	2294	E	160_(PVCO-16)	81,96	57,16	0,83	0,01	15,00	15,00
1982	2294	2295	T	160_(PVCO-16)	81,96	56,65	0,83	0,02	0,00	15,00
1986	2296	2297	E	160_(PVCO-16)	82,39	57,15	1,39	0,04	25,00	25,00
1988	2297	2298	T	160_(PVCO-16)	82,50	57,22	1,39	0,04	0,00	25,00
1992	2299	2300	E	160_(PVCO-16)	79,30	58,19	1,39	0,04	25,00	25,00
1994	2300	2301	T	160_(PVCO-16)	79,33	58,16	1,39	0,07	0,00	25,00
1998	2302	2303	E	160_(PVCO-16)	83,03	60,45	1,94	0,15	35,00	35,00
2000	2303	2304	T	160_(PVCO-16)	82,98	60,50	1,94	0,10	0,00	35,00
2004	2305	2306	E	160_(PVCO-16)	79,15	55,32	1,94	0,17	35,00	35,00
2006	2306	2307	T	160_(PVCO-16)	78,31	55,08	1,94	0,16	0,00	35,00
2010	2308	2309	E	160_(PVCO-16)	82,55	59,09	2,22	0,31	40,00	40,00
2012	2309	2310	T	160_(PVCO-16)	82,59	58,90	2,22	0,23	0,00	40,00
2016	2311	2312	E	160_(PVCO-16)	78,44	54,16	1,39	0,04	25,00	25,00
2018	2312	2313	T	160_(PVCO-16)	78,21	53,56	1,39	0,03	0,00	25,00
2022	2314	2315	E	160_(PVCO-16)	76,88	51,20	1,39	0,04	25,00	25,00
2024	2315	2316	T	160_(PVCO-16)	75,94	50,98	1,39	0,04	0,00	25,00
2028	2317	2318	E	160_(PVCO-16)	80,97	56,02	1,94	0,29	35,00	35,00
2030	2318	2319	T	160_(PVCO-16)	80,92	55,49	1,94	0,24	0,00	35,00
2033	2323	625	R	400_(PVCO-16)	79,27	56,91	1,48	0,11	166,34	305,00
2037	2324	1095	R	630_(PVCO-16)	80,87	63,06	1,38	0,00	384,93	870,00
2038	2325	70	R	1118_(ASH-16)	86,00	66,46	0,80	0,11	761,34	1.325,00
52	2325	62	R	160_(PVCO-16)	86,00	67,20	2,22	0,20	40,00	40,00

IDArc	NINI	NFIN	TIPUS	TUB_Material	TUB_PEstatica	TUB_PDinamica	TUB_Velocidad	TUB_PerTotales	Q_Clem	Q_ac
2041	2326	617	R	1524_(ASH-16)	77,68	66,14	1,67	0,29	2.871,55	8.230,00