

GOBIERNO DE EXTREMADURA

Consejería de Agricultura,
Desarrollo Rural, Medio Ambiente y Energía

**DELIMITACIÓN CARTOGRÁFICA,
ANTEPROYECTO Y ESTUDIO DE COSTES DE LA
ZONA REGABLE DE ARROYO DEL CAMPO
(BADAJOZ)**

EXPTE.: 1433SE1FR393



Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural:
Europa invierte en las zonas rurales

ANEJO N° 10

CÁLCULO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN



ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	2
2.	MODALIDAD DE RIEGO	2
3.	CONDICIONANTES DE DISEÑO	3
4.	TOPOLOGÍA DE LA RED PROYECTADA.....	5
5.	TRAZADO	5
6.	CAUDAL FICTICIO CONTINUO	7
7.	DOTACIONES.....	8
8.	PRESIÓN DE CONSIGNA	9
9.	CAUDALES DE DISEÑO DE LA RED	10
9.1	METODOLOGÍA DE CLÈMENT PARA EL CÁLCULO DE CAUDALES EN RIEGOS A LA DEMANDA	10
9.2	GARANTÍA DE SUMINISTRO	12
9.3	CAUDALES DE LÍNEA.....	13
9.4	CONSIDERACIONES FINALES SOBRE LOS CAUDALES DE DISEÑO EN RIEGOS A LA DEMANDA	14
10.	DISEÑO Y OPTIMIZACIÓN DE LA RED DE RIEGO	15
10.1	DATOS GENERALES	15
10.2	CRITERIOS Y RESTRICCIONES DE DISEÑO	17
11.	OPTIMIZACIÓN DE LA RED	19
12.	ANÁLISIS HIDRÁULICO	20
12.1	OBJETO DEL ANÁLISIS HIDRÁULICO ESTACIONARIO	20
12.2	EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN DE DISEÑO.....	21
13.	REDES ESTE Y OESTE	23

APÉNDICES:

APÉNDICE Nº 10.1 – CAUDALES DE LÍNEA

APÉNDICE Nº 10.2 – RESULTADOS DE LA OPTIMIZACIÓN DE LAS REDES (RED Balsa, RED ESTE Y RED OESTE)

APÉNDICE Nº 10.3 – RESULTADO DE LA SIMULACIÓN DE ESCENARIOS DE LA RED Balsa

APÉNDICE Nº 10.4 – CROQUIS DE LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN (RED Balsa, RED ESTE Y RED OESTE)



1. INTRODUCCIÓN

El correcto diseño de un red a presión exige cubrir la fase de dimensionado de las conducciones y equipos (valvulería, ventosas, bombas...), así como del análisis hidráulico tanto del sistema estacionario como de transitorios.

Cubrir exclusivamente la etapa de dimensionado resulta del todo inadmisibles bajo las actuales exigencias de calidad y con garantías de seguridad del proyecto. Por ello, se dedica una serie de anejos al cálculo y dimensionamiento de la red terciaria, los grupos de bombeo y al estudio de transitorios.

En este anejo se ofrecen los cálculos hidráulicos justificativos realizados para el dimensionamiento de la red de riego proyectada (diámetro, material, trazado, etc.), a partir de las centralizaciones de hidrantes de riego establecidas.

Para ello primeramente se trazan las redes de tuberías en planta y a partir de este proceso se pasa al estudio de la red de riego, indicando las dotaciones fijadas en los cálculos, los caudales de diseño y la presión pésima en la centralización de hidrantes.

A continuación sigue el proceso para su optimización. En el caso de redes configuradas estrictamente ramificadas con caudales de diseño preestablecidos y trazado impuesto, existen diferentes técnicas consolidadas para el dimensionado que incluyen criterios de optimización económica, esto es, determinan combinaciones de conducciones que consiguen satisfacer los requisitos de presión impuestos, para los caudales de diseño, con un coste global mínimo o muy próximo al mínimo global.

Entre los programas informáticos de dimensionado óptimo de redes ramificadas existentes en el mercado, se realiza el cálculo de la red con GESTAR 2014, desarrollado en el área de Mecánica de Fluidos de la Universidad de Zaragoza, y que realiza el análisis hidráulico generalizado de redes a presión, específicamente orientado al diseño y gestión hidráulica de redes de riego.

Realizado el dimensionado óptimo de la red de riego, a continuación viene la fase de análisis hidráulico, que confirma o modifica el dimensionado inicial, y permite predecir mediante técnicas de simulación, el comportamiento del sistema con todos sus dispositivos, tanto en situaciones rutinarias como excepcionales.

2. MODALIDAD DE RIEGO

Dados los cultivos futuros previstos en la alternativa, como sistema de riego para la zona se ha escogido el riego localizado por goteo a la demanda.

En su concepción más pura, en la modalidad de riego colectivo "a la demanda" el agricultor no tendrá más limitaciones para el uso del agua que las impuestas por su propio hidrante (umbrales máximos de caudal y presión disponibles), teniendo libertad para elegir su horario dentro de la jornada de riego, cuando se trata de hidrantes no compartidos.

Los regantes tendrán como restricciones los caudales asignados o dotaciones reflejados en el anejo nº 11. Dichas dotaciones se ha calculado con un grado de libertad suficiente teniendo en cuenta el cultivo de máximas necesidades



reflejado en la alternativa, así como una holgura en las horas de aplicación del riego, siendo ésta mayor cuanto más pequeñas son las tomas. Asimismo, se limitará la presión para garantizar la integridad de la red terciaria aguas abajo y también el equipamiento de parcela.

3. CONDICIONANTES DE DISEÑO

Dadas las características actuales de la Zona Regable del Zújar, en la que probablemente se integrará la presente Zona Regable del Arroyo del Campo, se diseña un sistema de distribución del agua de riego acorde con aquéllas y con las mejoras propuestas por su Comunidad de Regantes.

Se plantea un diseño de distribución de agua para su consumo estrictamente a la demanda con las limitaciones físicas de la hidráulica de las conducciones en función de las dotaciones asignadas a cada usuario. Se ha determinado cada usuario en función de las parcelas catastrales actualmente explotadas en conjunto.

Para simplificar la explotación de todo el sistema se plantea la concentración en determinados puntos, denominados centralización de hidrantes, de los equipos y válvulas contadoras que gestionarán el suministro a cada usuario del agua y presiones máximas correspondientes. Debido a esta concepción será necesaria la distribución del agua desde estas centralizaciones hasta parcela por medio de tuberías independientes.

Gracias a esta forma de distribución del agua se consiguen varias ventajas tanto para la ejecución como para la explotación:

- Los puntos de derivación desde la red principal son relativamente escasos abaratando su ejecución.
- Los puntos de vigilancia y control de los equipos de gestión y conteo del agua consumida se minimizan.
- Se minimizan los elementos visibles en campo, tales como arquetas o armarios y se economiza esta partida.
- La distribución independizada hasta parcela y su control individualizado permite que en toma no sea necesario proteger la boca prevista (valona + brida loca) mediante arquetas o similar.

En la zona regable existen dos subzonas que debido a la cota topográfica no son dominadas para el riego con suficiente garantía de presión, y para las cuales se ha diseñado sendos bombeos que permitan añadir la presión necesaria cuando las condiciones de demanda así lo exijan. De esta manera, se plantean tres subsistemas o subredes interrelacionados:

- Red balsa: dependerán de ella todas aquellas tomas o centralizaciones de hidrantes que por gravedad dispongan de la presión necesaria para el riego.
- Red Este: dependen de esta red las tomas más cercanas a la balsa y con cota que no permite ser dominadas por la balsa de regulación elevada.
- Red Oeste: dependen de esta red las tomas en una franja occidental de la zona regable y con cota que no permite ser dominadas de manera ordinaria por la balsa de regulación elevada.

De esta forma, se planteará el cálculo de las tres redes citadas. Las tres redes serán interdependientes:

- Para el cálculo de la Red Balsa, se deberán suponer en los puntos de conexión con la Red Este y Red Oeste unos consumos de caudal y unas presiones mínimas necesarias (obtenidas para las pésimas condiciones de cota



existentes). Asimismo, se añadirá otro punto adicional para la eventual ampliación a la Zona de Concentración de “Los Quintos”.

- Para los cálculos de la Red Este y Red Oeste se deberán obtener, de la previamente calculada Red Balsa, las condiciones de mínima presión de una serie de escenarios aleatorios que se plantearán, además, para monitorizar la bondad de la optimización planteada por el programa de cálculo GESTAR.
- De los anteriores escenarios, la presión mínima en el punto de derivación hacia “Los Quintos” será un condicionante para el cálculo de la futura red de distribución que se plantee para dicha zona.

Para efectuar un cálculo acorde con la entidad del presente anteproyecto, se ha dimensionado la red de distribución tomando como puntos de demanda de caudal las derivaciones hacia las centralizaciones de hidrantes anteriormente planteadas. Los caudales de cálculo y dimensionamiento de la red que se han empleado son los resultantes de aplicar la formulación de Clément que se explicará más adelante. Para la comprobación del funcionamiento de la red en su conjunto se han asignado una serie de “dotaciones” a cada punto de derivación que se han recogido en el citado anejo nº 11.

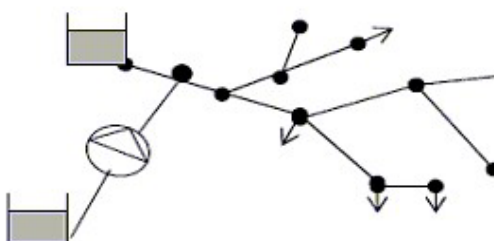
La red planteada unirá todos los puntos de demanda mediante trazados rectilíneos y paralelos a los caminos de servicio existentes en la zona de concentración. Se ha intentado minimizar las longitudes así como las afecciones a parcelas. La red será estrictamente ramificada y partirá desde un punto donde se ubicará la centralización del filtrado.

Se considerarán tres puntos de consumo especial de cara al cálculo de la red: nodo donde se ubicará la reimpulsión de la Red Oeste, nodo donde se ubicará la reimpulsión de la Red Este y nodo donde se prevé la derivación hacia la potencial ampliación a la Zona de Concentración de Los Quintos. Para la evaluación de la red se supondrán estos nodos como siempre abiertos demandando el caudal de cálculo que se explicará más adelante.

Hasta el punto de filtrado general partirá una tubería de descarga desde la balsa que estará conectada a la propia tubería de aducción a la misma.

La balsa de regulación, que almacenará los volúmenes de agua bombeados en período tarifario P6, tendrá una capacidad suficiente para albergar un consumo en condiciones de máxima demanda en la zona regable de 3 días completos. Asimismo, con este volumen se puede gestionar de forma óptima el régimen de funcionamiento de las bombas de impulsión.

A la balsa llegará una tubería de aducción procedente de la derivación de caudales en la balsa de los Valverdes, de regulación del Canal del Zújar. En este caso, la tubería de impulsión podrá cumplir la doble función de enlazar la captación con la balsa de acumulación elevada, durante el llenado de la misma, y por otra parte, actuar como ramal principal de abastecimiento de los ramales secundarios conectados a la misma.





En la fase de dimensionado de la red se efectuará bajo una situación desfavorable: cuando el grupo de impulsión esté parado y la cota de máxima energía venga condicionada por la lámina libre en la balsa en niveles mínimos (a 1/3 del nivel máximo, NMN). Por lo tanto, en los siguientes apartados se justifica el cálculo hidráulico de la red de riego o red de distribución.

4. TOPOLOGÍA DE LA RED PROYECTADA

Debido a las extensas superficies a cubrir, a la dispersión de los puntos de consumo y a los elevados costes de las conducciones de gran diámetro necesarias para acomodar los grandes volúmenes de agua servidos, se adopta una topología de red ramificada, donde cada punto de suministro es alimentado a través de una única serie de conducciones, dado que se demuestra que, en general, es más económica que cualquier otra mallada que realice un servicio equivalente.

La representación gráfica unifilar de la misma está constituida por puntos significativos, denominamos nodos, y elementos que conectan dichos nodos. Al tener la red una topología ramificada la conexión entre dos nodos cualesquiera sólo puede realizarse mediante un único trayecto.

Además, la red de distribución proyectada se denomina red estrictamente ramificadas si:

- Posee una topología ramificada.
- Las condiciones de contorno son tales que:
 - Existe exclusivamente un único punto de altura energética impuesta, 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.

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 diseño, ya que es posible determinar “a priori” los caudales de línea, desacoplados de las ecuaciones hidráulicas, lo que 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.

5. TRAZADO

Definido el punto de alimentación de la red a proyectar (balsa de acumulación elevada), es necesario primeramente localizar los hidrantes que abastecerán a cada una de las parcelas. En nuestro caso los hidrantes serán los puntos de derivación de caudales hacia las centralizaciones de hidrantes.

La elección del punto donde se ubicará la centralización de hidrantes se ha basado siempre en un criterio económico que incluya no sólo el coste de implantación de la red, sino también atendiendo a los gastos de explotación y a las facilidades de riego. Además, se ha tenido en cuenta los siguientes criterios:



- Que se tenga una buena accesibilidad para facilitar su manejo y mantenimiento desde los caminos de servicio o servidumbre accesible.
- Colocarlos, siempre que fuera posible, en la linde separadora de dos parcelas.
- El hidrante quede centrado en el lote de parcelas al que abastece, disminuyendo de esta manera al máximo las tuberías de conexión entre hidrante y boca de riego de cada parcela.

Una vez fijos los puntos de centralización de hidrantes, a continuación se procede a efectuar el trazado de la red, que se reduce a unir cada uno de los hidrantes con el punto de alimentación siguiendo el camino más económico, previamente fijadas una serie de restricciones y condicionado principalmente por los siguientes motivos:

- Características topográficas y orográficas locales: pendientes, bancales, barrancos, desagües naturales, arroyos, 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, etc.
- Dispersión del emplazamiento de cada hidrante.
- Lindes y distribución parcelas.
- Construcciones existentes: granjas, canteras de áridos, naves, etc.
- Red y estado de caminos principales y secundarios.
- Facilidad en la ejecución.
- Facilidad de detección de averías y libre acceso de los operarios de la Comunidad de Regantes para reparación y 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: zonas forestales de chopos, sauces, etc.

Aunque en principio este tipo de tuberías puede discurrir por cualquier lugar sin atender a imperativos catastrales, en la práctica, como es bien conocido, el trazado de las conducciones paralela a los bordes de caminos públicos y de servicio y por las lindes de las parcelas presenta una serie de ventajas inherentes: evitar al máximo el pago de indemnizaciones por daños en las fincas y a los cultivos de forma extemporánea, facilitar la ejecución, la observación, el mantenimiento, la conservación futura de la obra y, en caso de avería, se permite acceder rápidamente a la zona afectada.

Todos estos aspectos hacen que la definición del trazado sea compleja y requiera un minucioso trabajo tanto de campo como en gabinete con el apoyo de ortofotos, planos y catastro de la zona. Con esta metodología para el trazado de las redes se pretende, en la medida de lo posible, causar la menor afección a las parcelas de cultivo.

Así pues, a la hora de definir el trazado definitivo de la red, se ha tenido en consideración unos criterios de diseño con los siguientes condicionantes limitantes:

- 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 red en la ejecución y conservación de la obra.



- La red de riego se ha diseñado de forma que los cruces de carreteras se produzcan lo menos posible.
- 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 o se corresponda con un mal menor.

Una vez realizada la ubicación de los hidrantes y definido el trazado definitivo, se ha procedido a la numeración, tanto de los nudos de conexión, como las tomas o los hidrantes (centralizaciones), para facilitar su identificación.

No se ha procedido en esta fase a la numeración de las conducciones, sino por la que se identifica en el programa GESTAR. Se recomienda a futuro que para la numeración de los ramales todos los que salen de las arterias principales se numerarán comenzando con el número de la arteria principal de la que parten y asignándoles un número par o impar según salgan a la derecha o a la izquierda respectivamente tomando como sentido de avance el de circulación del agua. Para los ramales secundarios que se derivan de éstos, el criterio es el mismo: añadir un número par o impar al nombre del ramal del que se deriva considerando el mismo sentido de avance.

El trazado de la red, localización de tomas e hidrantes, numeración de tuberías, zonas excluidas de riego, zonas regables y la división de las mismas en agrupaciones de riego se han representado sobre planos a escala 1:5.000.

Posteriormente se han determinado longitudes de cada tramo, y con el modelo digital del terreno, todas las cotas necesarias de los puntos más representativos de la red (nudos de conexión, hidrantes, accidentes pronunciados del terreno en su trazado, cota máxima de la parcela, etc.).

6. CAUDAL FICTICIO CONTINUO

Del anejo nº 6 de “Alternativa de cultivos y de necesidades hídricas” se puede extraer un valor de 0,704 l/(s·ha) como caudal ficticio continuo de la alternativa de cultivos adoptada en la zona excluidas las consideraciones en cuanto a precipitación efectiva, no computables para el diseño de las infraestructuras.

$$\frac{42,58 \text{ mm/sem}}{7 \text{ d/sem}} = 6,083 \text{ mm/d} = 0.704 \text{ l/(s} \cdot \text{ha)}$$

Este caudal ficticio continuo queda definido como el caudal que habría que suministrar continuamente y sin interrupción a los cultivos (durante las 24 horas que dura el día) para satisfacer las necesidades netas de la alternativa durante el periodo punta, semana 27ª del año. En su determinación se parte de las necesidades de riego semanales en el mes de máximo consumo, que corresponde en esta zona al mes de julio.

Ahora bien, para el dimensionamiento de las obras de riego necesarias, en particular para determinar los caudales de línea de los tramos de la red de distribución, se deben considerar las necesidades brutas a satisfacer, esto es, tener en cuenta una eficiencia global en el sistema, que agregará las eficiencias de aplicación en parcela y las de transporte y distribución en la propia zona regable desde su captación en la balsa occidental de Los Valverdes.



Dados los sistemas previstos de aplicación del agua en parcela para los que se concibe todo el sistema de acuerdo a lo señalado en todo el anteproyecto, como la regulación hecha en balsa elevada y el resto de captación, sistema de filtrado, transporte y distribución del agua, se considera conveniente considerar un coeficiente de eficiencia global (E_g) para la determinación de los caudales brutos de 0,90.

Por tanto, el caudal ficticio continuo bruto será:

$$q_{fcb} = \frac{q_{fc}}{E_g} = \frac{0,704}{0,90} = 0,782 \frac{l}{s \cdot ha}$$

Para el cálculo de la red de distribución se debe considerar un rendimiento del sistema, que reflejaría un coeficiente de seguridad frente a interrupciones en el suministro, programadas o no, por mantenimiento o gestión de la explotación. El rendimiento del sistema considerado será del 85 %, que equivaldría a no proporcionar agua un día a la semana (85,7 %) o no proporcionarla 3,6 h al día como media. Considerado este rendimiento del sistema, el caudal ficticio continuo de cálculo será:

$$q_{fcc} = \frac{q_{fcb}}{r} = \frac{0,782}{0,85} = 0,9203 \frac{l}{s \cdot ha}$$

Adicionalmente, y considerando que las redes Este y Oeste funcionarán gracias a una reimpulsión cada una, se calculará a continuación el caudal ficticio de cálculo teniendo en cuenta un uso del agua coincidiendo con las horas de menor coste tarifario eléctrico P6. Con el objeto de no incurrir en un sobredimensionamiento indebido se considerarán también el 50 % de horas del siguiente tramo tarifario (P4 en el mes de julio). Así, de un total de 168 h de las que dispone una semana, se considerará el funcionamiento de estos dos subsistemas (independientemente que se restrinja o no el riego fuera de dicho horario y de que se apliquen tarifas progresivas) durante un total de 108 h (88 h en P6 + (50 % · 40 h) en P4).

Debido a todo esto, el caudal ficticio de cálculo para las redes Este y Oeste será:

$$q'_{fcc} = 0,9203 \frac{168}{108} = \frac{1,216}{0,85} = 1,4311 \frac{l}{s \cdot ha}$$

*Nota: para el cálculo de caudales de demanda de la Zona de Concentración de Los Quintos se empleará el mismo caudal ficticio continuo de cálculo que para la Red Balsa ya que dicha zona se encontraría dominada completamente por la balsa de regulación elevada.

7. DOTACIONES

El cálculo y asignación de las dotaciones de las tomas (correspondiente a cada regante) se justifica en el anejo nº 11.

Las dotaciones consideradas a efectos del cálculo de la presente red también se explican en el susodicho anejo en su apartado nº 6 y apéndice nº 11.3.



Dichas dotaciones, que representan un determinado caudal de demanda (conocida), se emplearán para la evaluación de la red una vez obtenida su dimensionamiento, ya que para dicho dimensionamiento se emplea el caudal ficticio de cálculo en función de la superficie dominada por cada nodo de demanda conocida.

8. PRESIÓN DE CONSIGNA

En toda red de distribución de agua a la demanda la presión varía mucho según los caudales que se consuman. Por otra parte, si la demanda de agua es escasa la presión puede llegar a ser demasiado elevada para la buena conservación de los equipos de riego.

Por esto es por lo que se llega a la necesidad de limitar las variaciones de presión mediante reguladores de presión montados en cada hidrante y cuyo papel consiste en mantener constante la presión aguas abajo, sea cual fuere el caudal instantáneo y la presión aguas arriba de éste, de modo que los dispositivos instalados para el sistema de riego funcionen adecuadamente.

Para determinar la presión mínima requerida en los puntos de consumo (centralización de hidrantes), 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, el desnivel topográfico, etc.

En la zona se utilizará casi exclusivamente riego localizado. Dado que se propone un sistema global de filtrado para dotar al agua una calidad para su empleo en dichos sistemas, se prevé que en toma de parcela la presión disponible no sea menor a 25 mca, considerada como suficiente, incluso si se redonda en un pequeño post-filtrado en parcela. De manera alternativa se podrían emplear sistemas móviles de riego a presión que pueden trabajar perfectamente a dichas presiones.

Con todo, se pretende garantizar una presión mínima en la toma de parcela de 25 mca. No obstante, es recomendable un diseño racional del sistema de riego en parcela, de forma que cumpla los requerimientos de diferencia de presión permitidos en la misma, a fin de no incurrir en una desuniformidad de aplicación de agua excesiva. Además, la red permitiría normalmente incrementar esa presión en toma sin ninguna modificación de las infraestructuras, con tan sólo variar la presión de tarado de los dispositivos de regulación.

Para conseguir esta presión a la salida de la toma, se deben fijar unas presiones mínimas en los puntos, antes citados, de centralización de hidrantes. Para la determinación de dichas presiones, denominadas de consigna, se hará un cálculo en base a la formulación de conservación de la energía (Bernoulli) desde aguas abajo hacia aguas arriba sumando, a los 25 mca mínimos fijados, los siguientes conceptos de presión:

- 8 mca, correspondientes a la máxima pérdida de carga preestablecida para los tramos de tubería correspondiente a la red terciaria (desde hidrante hasta toma en parcela).
- 4 mca, correspondientes a pérdidas de carga producidas en hidrantes y centralización de hidrantes.
- Para cada centralización de hidrantes: el máximo valor de los obtenidos del cálculo del incremento de cota entre el punto más elevado de cada parcela abastecida y el punto de la toma correspondiente.



Por lo tanto, la presión a garantizar en todos los hidrantes, de acuerdo con las características citadas, además de los parámetros intrínsecos al sistema de riego por goteo, será de 37 mca más el máximo valor de desniveles existentes calculados de las parcelas dominadas. Valor que teóricamente debería estar disponible en todos los hidrantes en todas las combinaciones de demanda para las condiciones de diseño, como más adelante se comprobará.

9. CAUDALES DE DISEÑO DE LA RED

Previo al dimensionado de los diámetros de los tramos que componen la red de transporte y una vez definidas tanto las condiciones de servicio para cada uno de los hidrantes de riego que abastecen a las diferentes agrupaciones parcelarias (módulo, presión y superficie a regar), así como la topología de la red (trazado y elementos: balsas, 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 para su posterior optimización.

La determinación de los caudales de proyecto que sirven para el dimensionamiento de una red de riego son muy variables a lo largo de la campaña de riego dependiendo, entre otros, del sistema de riego, de la organización del mismo, de la distribución de cultivos en la zona regable, de la fase de crecimiento de los cultivos, de las condiciones meteorológicas, de la eficiencia de aplicación de los sistemas de riego y de los hábitos de los agricultores.

La red colectiva de riego se ha proyectado para su manejo a la demanda y para un sistema de riego por goteo. 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.

9.1 METODOLOGÍA DE CLÈMENT PARA EL CÁLCULO DE CAUDALES EN RIEGOS A LA DEMANDA

El caudal real circulante por cada uno de los tramos de una red colectiva a la demanda es variable a lo largo del día, ya que depende de la probabilidad de coincidencia en el riego de las parcelas a las cuales abastece. De entre las distintas expresiones probabilísticas que se han venido empleando para el cálculo de caudales por línea en redes de distribución a la demanda, la de mayor aceptación es la metodología establecida por Clément (1966).

La finalidad de la fórmula de Clément es predecir los caudales que circulan por determinados tramos de tuberías fijando una cierta garantía de suministro o calidad de funcionamiento, que indica la probabilidad en que el caudal de diseño que se obtiene no es superado por el caudal circulante por el tramo calculado, con el objetivo final de reducir el diámetro necesario en las líneas que componen la red de riego con respecto al requerido con todas las tomas abiertas.

Éste supone una distribución aleatoria de caudales, admitiendo que el comportamiento de los agricultores sigue una determinada ley de distribución probabilística en la aplicación de los riegos, de manera que si una red tiene n tomas con una dotación q_d bastante superior al caudal ficticio continuo necesario (q_{fc}), con lo que permite al agricultor abrir su toma



un tiempo bastante inferior a las 24 horas que necesitaría para regar su parcela con el caudal ficticio continuo (q_{fc}), es improbable que todas las tomas estén abiertas a la vez, y por tanto, el caudal máximo (Q_o) que se exigiría en cabecera de la red será inferior a la suma de las dotaciones de todas las tomas abiertas ($Q_o = n \cdot q_d$).

La metodología de Clément establece que el caudal que puede circular por una línea es una variable aleatoria independiente, obtenida como suma de las variables aleatorias binomiales asociadas a cada una de las tomas aguas abajo de la línea en cuestión. El fenómeno aleatorio de riego solo admite dos estados de ocurrencia, que son:

- Hidrante abierto con probabilidad “p”
- Hidrante cerrado con probabilidad “1-p”

Con este criterio, la probabilidad de que en un momento dado estén “x” tomas abiertas de un total de n, se puede determinar considerando una función de distribución binomial dada por:

$$p(x) = \binom{n}{x} \times p^x \times (1-p)^{n-x}$$

Donde:

- o n: número de tomas totales
- o x: número de tomas abiertas

Si este número de tomas es elevado, se puede considerar que la función de distribución anterior se aproxima a una función de distribución normal de media:

$$\eta = \sum_{i=1}^n p_i \times q_{di}$$

y varianza:

$$\sigma^2 = \sum_{i=1}^n p_i \times (1-p_i) \times q_{di}^2$$

siendo: n = número de tomas existentes aguas abajo de la línea en cuestión, p_i la probabilidad de que la toma i esté funcionando, y $(1-p_i)$ la probabilidad de que no funcione.

La primera fórmula de Clément, correspondiente al caso de una línea que abastece a n tomas homogéneas que derivan un caudal q_d es:

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



Esta ecuación se ha venido generalizando para el caso de n tomas de distinto tipo, adoptando la expresión:

$$Q = Q_r + U \times \sqrt{\sum_{i=1}^n p_i \times (1 - p_i) \times q_{di}^2}$$

donde Q_r es el caudal continuo por una línea que tiene aguas abajo n tomas de distinto tipo, cada una de ellas con dotación q_{di} , por lo que será:

$$Q_r = \sum_{i=1}^n Q_{ri} = \sum_{i=1}^n p_i \times q_{di}$$

resultando la expresión del caudal para n tomas de distinto tipo de la siguiente manera:

$$Q = \sum_{i=1}^n p_i \times q_{di} + U \times \sqrt{\sum_{i=1}^n p_i \times (1 - p_i) \times q_{di}^2}$$

El primer miembro de la ecuación representa el caudal medio servido por el tramo, ponderando las dotaciones con la probabilidad de uso, mientras que el segundo miembro de la ecuación adiciona una cierta fracción de la desviación típica de los caudales (mayor o menor según la fiabilidad buscada) mediante el parámetro U (garantía de suministro o calidad de funcionamiento), que depende de la probabilidad con que se desee satisfacer la demanda. Para ello definiremos previamente este parámetro a tener en cuenta en el cálculo de los caudales de diseño de la red.

9.2 GARANTÍA DE SUMINISTRO

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.

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 %.

En el presente anteproyecto se plantea asignar niveles de calidad diferenciales en función del número de hidrantes abastecidos aguas abajo del tramo a partir de donde se comienza a aplicar el nivel de garantía de suministro fijado. Así, para la Red Balsa, se plantean los siguientes porcentajes de garantía de suministro en función de los hidrantes abastecidos:

- ≤ 5: garantía del 100 %
- 6-15: garantía del 99 %
- 16-25: garantía del 98 %
- ≥ 26: garantía del 95 %

Dado el número menor de centralización de hidrantes abastecidos, se contemplan las siguientes garantías de suministro consideradas para el cálculo de las redes Este y Oeste:



- ≤ 4: garantía del 100 %
- 5-12: garantía del 99 %
- ≥ 13: garantía del 96 %

9.3 CAUDALES DE LÍNEA

El cálculo de los caudales de línea mediante la formulación de Clément en la actualidad se realiza mediante herramientas informáticas desarrolladas a tal efecto, dado el elevado número de operaciones que conlleva.

De acuerdo a los supuestos expuestos anteriormente, se determinan los caudales de diseño de todos los tramos de tuberías de las redes que componen el presente anteproyecto mediante la herramienta específica contenida en la aplicación GESTAR 2014. Los caudales de línea así obtenidos se listan en el apéndice nº 10.1 (en el apéndice nº 10.4 se muestran los croquis de las redes con el dimensionamiento realizado, que sirve para identificar cada nodo y cada tramo).

El caudal suma de todas las dotaciones de las centralizaciones de hidrantes proyectadas para la Red Balsa, incluyendo los consumos continuos previstos en las derivaciones hacia las Redes Este, Oeste y Los Quintos, es de 9,183 m³/s, pero teniendo en cuenta las condiciones del definidas del anteproyecto, el caudal de diseño de la cabecera evaluado según la formulación de Clément pasa a ser de 6,642 m³/s. Se debe tener en cuenta que la suma del total de caudales de hidrantes diseñados (podría considerarse análoga a una “potencia instalada”) más el caudal ficticio de abastecimiento a la red de Los Quintos asciende a un total de:

- Red Balsa + Red Este + Red Oeste + Q_{fc} Red Los Quintos: 10005 + 1310 + 1920 + 1489 = (13235 + 1489) l/s

El caudal ficticio continuo de cálculo para toda la Zona Regable en l/s, sumando los caudales ficticios de Red Balsa + Red Este + Red Oeste + Red Los Quintos: 3152,9 + 557,4 + 797,4 + 1488,1 = 5995,8 l/s.

El coeficiente o grado de simultaneidad de la red (CS) se define como el cociente entre el caudal de diseño en cabecera (Q_c) y el caudal total (Q_o) que se obtendría con todas las tomas abiertas, aplicándose a la línea situada en el origen de la red. Para hallar este coeficiente y evaluar la red una vez dimensionada habrá que tomar los caudales de derivación para las centralizaciones de hidrantes (apéndice nº 11.3), propuestos como dotaciones en los nodos de demanda conocida en el programa GESTAR, porque serán los que intervengan en el sorteo de escenarios aleatorios como abiertos o cerrados. De manera similar, en dichos escenarios no se deberán considerar los tres nodos correspondientes a los caudales de consumo continuo (permanentemente abiertos) de las redes Este, Oeste y Los Quintos. Así, el coeficiente de simultaneidad vendrá determinado por el cociente del caudal ficticio continuo de la Red Balsa entre la suma de dotaciones de diseño en la Red Balsa:

$$CS_{RB} = \frac{Q_c}{Q_o} = \frac{3152,9}{6111} = 51,6 \%$$

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



de aproximadamente el 52 %. Si en lugar de estos caudales consideramos los instalados en la red, esto es, los caudales de la totalidad de hidrantes, la simultaneidad resultante será de: $3152,6 / 10005 = 31,5 \%$.

9.4 CONSIDERACIONES FINALES SOBRE LOS CAUDALES DE DISEÑO EN RIEGOS A LA DEMANDA

La fórmula de Clément, como toda expresión estadística, no es válida para muestras reducidas pues, en tales circunstancias, el margen de error de los resultados que se obtienen puede ser considerable, sobrepasando el caudal de diseño obtenido al resultante de la acumulación de las dotaciones de los hidrantes abastecidos. Para evitar estos errores, se adopta el criterio de tomar como caudal de diseño de cada tramo, el valor mínimo entre el que resulta de aplicar la fórmula de Clément y el que se obtiene por acumulación de dotaciones de los hidrantes abastecidos.

Además, no hay que olvidar que se han realizado una serie de simplificaciones como que:

- El caudal ficticio continuo se deduce para una alternativa media de cultivos de la zona regable y se supone constante en todo el proceso de cálculo.
- La totalidad de la superficie útil modernizada en regadío demanda agua de la red durante el período punta de consumo.
- Se supone que la probabilidad de que se esté regando es igual en todas las horas del día, o durante todos los días de la semana, y esto no es realmente cierto, sobre todo en riego por goteo, donde se efectuarán riegos frecuentes y resultará más interesante regar de noche, al disminuir las pérdidas por evaporación.

Aunque el comportamiento real de toda la red colectiva siempre se va a apartar de los supuestos 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 que facultan a la red para dar una respuesta adecuada frente a incrementos de demanda no previstos. Estos coeficientes son la implementación de una eficiencia global que integra las de aplicación, transporte y distribución del sistema, del 0,90, y el rendimiento de la red ($r = 0,85$) ambos originan una mayoración global de caudales en torno al 30 % sobre el valor estricto para atender las necesidades de cultivo 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. En la alternativa de cultivos considerada se empleó el 5 %.
- El cálculo de caudales se realiza para las condiciones punta de consumo, es decir, en las semanas de máximas necesidades, período corto en comparación con la duración de toda la campaña de riegos (7 semanas frente a 8 meses). 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 defecto 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, la comunidad de regantes tendrá la capacidad de organizar los turnos de riego en estas semanas de máxima demanda ya que podrá telecomandar todos los hidrantes.



- 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. DISEÑO Y OPTIMIZACIÓN DE LA RED DE RIEGO

El dimensionado y optimización de la red de riego se realiza con el módulo de optimización de redes ramificadas incorporado en el programa GESTAR 2014, desarrollado en el área de Mecánica de Fluidos de la Universidad de Zaragoza.

Partiendo de la topología de la red y del conjunto de datos de los elementos (materiales a utilizar en los tubos con los correspondientes precios de coste* según timbraje y diámetro), con las condiciones impuestas en los nodos (cotas, presión de consigna y dotación), y fijados los caudales de diseño de los tramos, el programa optimiza la red tal que el coste de la red sea el mínimo para la altura de cabecera fijada.

**El coste considerado incluye todas las variables que participan para la obtención del coste lineal de tubería por tipo de materiales: coste del movimiento de tierras y rellenos, coste del tubo puesto en obra, coste de la instalación de la tubería en zanja y otros costes asociados (tales como parte proporcional de piezas especiales según el material, herramienta específica de instalación y medios auxiliares, protecciones anticorrosivas, etc.).*

De esta manera se puede obtener la distribución de diámetros en la red, con el timbraje, la velocidad, pérdida de carga y presión en cada punto, así como un desglose del presupuesto por tubos.

10.1 DATOS GENERALES

Los datos de partida para el cálculo informático pueden agruparse en cuatro bloques que se definen a continuación.

- Cota de cabecera y presión disponible en cabecera (mca):
La cabecera de la red se corresponde con la cota de 1/3 del calado útil de la balsa de acumulación elevada, situada ésta a +385 msnm. La presión disponible sobre dicha cota se considerará 0.
En GESTAR 2014, el dato de cabecera se corresponde con un “nodo de presión regulada”.
- Nodos de consumo conocido (hidrantes para el programa de cálculo, centralización de hidrantes en nuestro caso)
Es un nodo donde la condición de contorno es el consumo exterior, supuesto conocido e independiente de la presión, entendiéndose por consumo, bien aporte o extracción de caudal de la red.
Se corresponde a una sencilla modelización de los hidrantes dotados de reguladores de presión y limitadores de caudal que alimentan a ritmo constante, fijado por el limitador de caudal, un cierto dispositivo, siempre que la presión de alimentación se encuentre por encima de un determinado umbral característico de los elementos de regulación instalados.

En cada nodo hay que establecer:

- **D: Dotación** ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$). Asignación de caudal que, como máximo, se extraerá de un hidrante. En nuestro caso se corresponde con las dotaciones obtenidas en el anejo nº 11, y reflejadas en el apéndice nº 11.3.



- **GL: Grado de libertad** (adimensional). Inverso de la probabilidad de que la toma esté abierta. GESTAR calcula el grado de libertad en función de la dotación, superficie, caudal ficticio continuo y el rendimiento.
 - **r: Rendimiento Operativo** (adimensional). Cociente entre las duraciones real y teórica de la campaña de riego. Ha de estar comprendido entre 0 y 1. En nuestro caso es el 0,85.
 - **qfc: Caudal ficticio continuo** ($l \cdot s^{-1} \cdot ha^{-1}$). Caudal bruto necesario suponiendo una aportación ininterrumpida de agua a lo largo de las 24 horas del día. De acuerdo con el apartado nº 6 se corresponde con 0,782 $l/(s \cdot ha)$ para la Red Balsa y Red Los Quintos y 1,216 $l/(s \cdot ha)$ para las Redes Este y Oeste.
 - **S: Superficie** de la parcela regada por el hidrante (ha).
 - **P: Presión de consiga** (mca). Establece el valor de consigna del reductor de presión asociado al hidrante que asegura que, si en la red se alcanza dicha presión, el consumo coincidirá con la demanda impuesta. Como se ha comentado en el apartado nº 8, se ha particularizado para cada hidrante, en función de la cota del hidrante y de la cota máxima de la agrupación a la que sirve, estableciéndose una mínima presión de consigna de 37 mca.
- Nodos de unión
- Es un caso particular de Nodo de Consumo Conocido en el que el valor asignado al consumo exterior es igual a cero. Se utiliza para representar cualquier punto singular de la red, como bifurcación de ramales, cambios de diámetro, cambios de dirección de las conducciones, puntos de paso intermedio para representar un cruce con autovía o con gasoducto, reducción de tramos de gran longitud en una serie de tramos de menor dimensión que posibilita escalar los timbrajes dimensionados, etc.

Conviene aclarar que todos los nodos, independientemente de su tipo, hay que introducir los siguientes datos comunes:

- **Id:** Identificativo de cada nodo.
 - **Comentario:** sirve para añadir comentarios adicionales. En el caso de los nodos de consumo conocido (hidrantes), se le asocia la numeración de la agrupación de riego correspondiente.
 - **Posición:** Son las coordenadas en planimetría (X e Y) y en altimetría (cota Z) de cada nodo expresadas en metros.
- Configuración de la red (elemento conducción)
- Un elemento establece una conexión entre dos nodos. En este caso, el elemento tubería se corresponde a una tubería de sección circular y diámetro constante que puede contener pérdidas de carga singulares adicionales. En cada una de las líneas de la red hay que establecer, como mínimo:
- Nudo origen y nudo final en el sentido de circulación del agua.
 - Longitud del elemento.

Al igual que lo que ocurre con los nodos, todos los elementos tienen dos características comunes:

- **Id:** Identificativo de cada elemento.
- **Comentario:** Sirve para añadir comentarios adicionales. En el caso de las tuberías, se le asocia la numeración del ramal correspondiente.



10.2 CRITERIOS Y RESTRICCIONES DE DISEÑO

El dimensionamiento de las tuberías de la red se ha realizado teniendo en cuenta las siguientes condiciones y restricciones:

- Caudales de línea

Para cada una de las líneas se calculan los caudales de Clément (ver apéndice nº 10.1) según lo indicado en el apartado nº 9. Al ejecutar la opción Caudales de Diseño del menú Dimensionar quedará cargado para cada tramo el Caudal de Diseño obtenido.

- Velocidad

Las velocidades admisibles, para evitar el riesgo de sedimentación de materiales en el interior de las tuberías o posibles sobrepresiones por transitorios hidráulicos, se han fijado entre 0,5 m/s y 3 m/s.

- Presiones mínimas

Las presiones mínimas solicitadas para realizar la optimización será la presión de consigna en los nodos abiertos con regulación (hidrantes), a partir de la justificación realizada en el apartado nº 8.

- Parámetros financieros

Con el fin de realizar un dimensionado económicamente óptimo de la red, se toman como parámetros financieros los siguientes:

- Periodo de amortización: 50 años
- Tasa de interés: 5,31 %

- Elección de materiales a emplear en tuberías

No se contemplan a priori selección de tuberías más que por su idoneidad técnica para la conducción de agua a presión para el suministro y distribución del agua de riego en la zona regable. Así, se ha contado con tuberías de prácticamente la totalidad de la amplia gama que existe en el mercado:

- Tuberías de PVC molecular
- Tuberías de polietileno de alta densidad (PE100)
- Tuberías de poliéster reforzado con fibra de vidrio (PRFV)
- Tuberías de fundición dúctil (FD)
- Tuberías de hormigón armado con camisa de chapa (HACC)

Después de realizar varios predimensionamientos, se determina, que para la obtención de un rango de longitudes mínimas por serie de tuberías, que los materiales de las tuberías sean los siguientes:



- Acero helicosoldado (ACH) para la tubería de llegada desde la balsa elevada de regulación hasta el filtrado
- Poliéster reforzado con fibra de vidrio (PRFV)
- Polietileno de alta densidad (PE100)

En función de las condiciones de instalación esperadas, contrastando por un lado el factor económico, y por otro las ventajas e inconvenientes, tanto de instalación, resistencia mecánica, vida útil, funcionalidad, etc., se determinan a continuación el rango de diámetros que se instalarán en la zona regable:

- ACH: diámetro 1829 mm y 16 mm de espesor de acero S275J.
 - PRFV: diámetros desde DN300 a DN1800, en presiones nominales PN10 y PN16. Se recomienda la rigidez SN10000.
 - PE100: diámetros desde DN125 a DN450, en presiones nominales PN10 y PN16. (Para estas series de timbraje, con el objetivo de simplificar la ejecución y la explotación/mantenimiento de la red, se han descartado los diámetros nominales DN140, DN180, DN225 y DN280).
- Tuberías instaladas

En el caso de que existan tramos de la red ya ejecutados o provenientes de una anterior optimización cuyo diámetro no se quiera modificar, se pueden bloquear dichos tramos. Además, en posteriores optimizaciones se fijarán más diámetros según los resultados que se obtengan de la simulación del sistema.

- Fórmula de pérdidas de carga continuas

Para el cálculo de las pérdidas de carga en las tuberías se utiliza la fórmula de Darcy-Weisbach.

$$h_r = J \cdot L = \lambda \cdot \frac{1}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} \cdot L$$

siendo

- h_r : pérdida de carga, medida en m, entre dos secciones de una tubería separadas una distancia L
- J: pérdida de carga unitaria, medida en m por cada m de tubería
- L: longitud de la tubería en m
- D: diámetro interno de la tubería en mm
- V: velocidad media del agua en la sección, medida en m/s
- g: aceleración de la gravedad (9,8 m/s²)
- Q: Caudal que circula por la tubería en m³/s
- λ : factor de rugosidad, según Colebrook. Se emplea la siguiente fórmula:



$$\lambda^{-1/2} = 2 \log \left(\frac{\varepsilon}{3,71} + \frac{2,51}{\text{Re} \sqrt{\lambda}} \right), \quad \varepsilon = rug / D$$

- Pérdidas singulares

Para permitir considerar los efectos de las pérdidas de carga singulares se contempla añadir longitudes equivalentes de manera global y homogénea, como un porcentaje a añadir de la longitud de las conducciones en cada tramo, con un valor del 5 %.

- Incremento de la presión estática para timbraje

El incremento de la presión estática para el timbraje de las conducciones se establece de manera global, tomando el máximo valor de la presión estática del tramo más un margen adicional, que marca el umbral superior de presiones admisibles que deberán ser garantizados.

Como la altura de piezométrica de cálculo de la red se establece a 1/3 del calado de la balsa de regulación como criterio relativamente conservador (4 mca sobre el fondo de la balsa y 8 bajo el nivel máximo normal), se establecerá un incremento de la presión estática del timbraje correspondiente a la balsa llena, esto es, +8 mca sobre la cota piezométrica de cálculo. Se añadirá 0,5 mca adicional como reserva en caso pésimo de vertido por el aliviadero.

11. OPTIMIZACIÓN DE LA RED

Utilizando las rutinas de dimensionado óptimo mejorado incluidas en GESTAR 2014 (módulo DIOPCAL desarrollado inicialmente por la Universidad Politécnica de Valencia e incorporado en GESTAR), que conjuga un Método de la Serie Económica sensiblemente perfeccionado (González y Aliod, 2003) con algoritmos de optimización discontinua tipo Labye (Labye et al., 1988), se realiza el dimensionado económico óptimo de la red proyectada, encontrando la combinación de diámetros, materiales y timbrajes que satisface, con el mínimo coste, los suministros de caudales y presión mínimas impuestas en hidrantes.

Para ello, junto a los caudales de diseño y con los parámetros detallados en el anterior apartado, los resultados del dimensionado obtenido (diámetros, material y timbraje) se importan automáticamente a la red. Del resultado de la optimización se obtienen los diámetros y materiales iniciales a emplear en la red.

De dicha primera optimización se extrae la información de qué materiales son los económicamente más viables. Además se valora la eliminación de aquéllos que representan una longitud escasa respecto al total de la red. Así, del primer tanteo se descartan las tuberías de:

- FUNDICIÓN DUCTIL (aunque para los diámetros comprendidos entre DN350 y DN500 pueda representar una alternativa, pero por no emplear mayor número de materiales, se descarta).
- PE100 de presión nominal PN8, las longitudes resultantes y por diámetros recomiendan la eliminación de este timbraje y optar por el mínimo de PN10.



- PVC. De los valores de tubería que se tienen sólo entra en el dimensionamiento para 3 diámetros. Se descarta su empleo en la red.

Una vez descartados los materiales y/o series de timbraje, se incluye esta primera optimización en el apéndice nº 10.2.

Finalizada la primera optimización, se recibe información acerca del punto de la red con condiciones de suministro limitantes, indicando el trayecto desde la cabecera al nodo más desfavorable. Esta advertencia será de gran utilidad, puesto que estos valores pueden condicionar sobremanera los resultados obtenidos en toda la red, permitiendo abaratar la red cuyos diámetros de cabecera vengán condicionados por dichos puntos mediante la minoración de la presión de consigna en dicho nodo.

Asimismo, del resultado del dimensionamiento de tuberías, se han modificado aquellos tramos cuya eliminación de diámetros supone descartar longitudes cortas y así tener menos variedad de diámetros, facilitando la ejecución y mantenimiento.

Analizados determinados supuestos, se ha considerado dimensionar el tramo procedente de la balsa en acero helicosoldado revestido (ACH) en diámetro 1800 mm para disminuir la velocidad máxima que podría circular por el mismo.

Además, se han realizado ajustes en los tramos definidos por nodos de unión donde se ha previsto algún cruce con infraestructura existente y de una envergadura especial (cruce con autovía, vías ferroviarias, cruces con canal y carreteras de primer orden) donde se ha sustituido el diámetro y material de la optimización por el correspondiente al cruce, que normalmente se realizará en PE100 o en acero helicoidal.

Para facilitar el cálculo y tener una visualización general de cada una de las redes diseñadas, en el apéndice nº 10.4 se muestra un sinóptico de la red de GESTAR una vez evaluada, indicando en los nudos de consumo conocido (hidrantes), la numeración del nodo, la dotación, la cota y presión de consigna; y para las líneas (tuberías) el diámetro nominal, material, caudal de línea y numeración del ramal.

12. ANÁLISIS HIDRÁULICO

12.1 OBJETO DEL ANÁLISIS HIDRÁULICO ESTACIONARIO

El objeto de este apartado es recoger la metodología de trabajo y resultados del proceso de análisis hidráulico estacionario, en una serie de escenarios y supuestos que permiten verificar las condiciones de diseño y los márgenes de operación y explotación del sistema.

Para ello se procede a la simulación del comportamiento de la red proyectada mediante la herramienta informática GESTAR 2014, haciendo uso de diversas utilidades de generación de escenarios y análisis de redes que aporta el programa en su última versión.



12.2 EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN DE DISEÑO

Se verificará que el comportamiento de la configuración de la red diseñada, incluyendo los reajustes, es correcto, para las condiciones de diseño impuestas, simulando el comportamiento del sistema ante demandas que presenten caudales en cabecera semejantes a los de diseño (obtenidos por la formulación de Clément con el grado de calidad especificado según el número de hidrantes servidos).

Para ello se generan y simulan hidráulicamente un número significativo de escenarios aleatorios de demanda, satisfaciendo un porcentaje de apertura de hidrantes que permiten comprobar cuándo las presiones encontradas son semejantes o superiores a las presiones de consigna establecidas (originales o rebajadas).

Se simula mediante la herramienta sorteos encadenados de GESTAR 2014 un total de **5000 escenarios** aleatorios para la red con un porcentaje de apertura igual a la simultaneidad de diseño requerida (52 %) y con altura piezométrica de alimentación fijada, lo que supone un número de escenarios suficiente para los propósitos de verificación y detección de disfunciones.

La altura piezométrica utilizada en el análisis se corresponde con la cota de 1/3 del calado de la balsa de acumulación elevada (385 m).

Las presiones de consigna asignadas a los hidrantes en las simulaciones para disparar la alarma por margen de presión insuficiente se especificaron de acuerdo a los requisitos de presión nominales del apartado nº 8. El margen de tolerancia para considerar una condición de alimentación insuficiente (alarma de presión) se ha tomado de 5 mca.

Se consideró para la simulación unas pérdidas de carga singulares distribuidas, utilizando la opción correspondiente, con un valor del 5 %, equivalente al empleado en la fase de dimensionado.

En el siguiente listado se muestra un resumen de infracciones para la condición de simultaneidad del 52 % conforme a los retoques realizados después del dimensionado (básicamente sustituir la tubería de 1700 mm por el diámetro 1800, en ACH y PRFV, y sustituir la trazada de 1500 PRFV por otra de 1400 mm). Se muestra el número de infracciones (presión inferior a la de consigna con tolerancia 5 mca) para los hidrantes que han mostrado alguna infracción de 5000 escenarios (se debe tener en cuenta que dichas alarmas no se producen en proporción a los 5000 escenarios, sino a aquellos que su condición es abierto, aproximadamente el 52 % de 5000 escenarios, unos 2600 escenarios):

Desglose de Alarmas por Componentes:

- Demanda Conocida CC150: 17Alarmas
- Demanda Conocida CC149: 7Alarmas
- Demanda Conocida CC154: 7Alarmas
- Demanda Conocida CC152: 13Alarmas
- Demanda Conocida CC148: 14Alarmas
- Demanda Conocida CC143: 14Alarmas
- Demanda Conocida CC134: 1Alarmas



- Demanda Conocida CC115: 2Alarmas
- **Demanda Conocida CC107: 56Alarmas**
- Demanda Conocida CC105: 26Alarmas
- Demanda Conocida CC103: 25Alarmas
- Demanda Conocida CC99: 4Alarmas
- Demanda Conocida CC98: 12Alarmas
- Demanda Conocida CC91: 2Alarmas
- Demanda Conocida CC78: 2Alarmas
- Demanda Conocida CC77: 5Alarmas
- Demanda Conocida CC69: 5Alarmas
- Demanda Conocida CC68: 8Alarmas
- Demanda Conocida CC67: 2Alarmas
- Demanda Conocida CC66: 7Alarmas
- Demanda Conocida CC59: 1Alarmas

Promedio de Alarmas por Escenario: promedio de Número Alarmas 0,046 (4,6 %)

Nodos con Presión Mínimas Menores (en Escenarios válidos):

- Demanda Conocida CC143: 35.875 m
- Demanda Conocida CC150: 36.02728 m
- Demanda Conocida CC111: 37.98123 m
- Demanda Conocida CC107: 38.02859 m
- Demanda Conocida CC110: 38.099 m

Una vez realizados los reajustes considerados necesarios (aumento de diámetros en determinados tramos respetando las condiciones de velocidades mínimas), se obtienen los siguientes resultados, igualmente calculando 5000 escenarios aleatorios con equiprobabilidad en la apertura o cierre de las centralizaciones de hidrantes (52 % abiertos):

Desglose de Alarmas por Componentes:

- Demanda Conocida CC152: 2Alarmas
- Demanda Conocida CC134: 2Alarmas
- Demanda Conocida CC133: 2Alarmas
- Demanda Conocida CC115: 4Alarmas
- Demanda Conocida CC105: 2Alarmas
- Demanda Conocida CC103: 1Alarmas
- Demanda Conocida CC67: 2Alarmas
- **Demanda Conocida CC66: 9Alarmas**
- Demanda Conocida CC59: 1Alarmas

Promedio de Alarmas por Escenario: promedio de Número Alarmas 0,005 (0,5 %)



Nodos con Presión Mínimas Menores (en Escenarios válidos):

- Demanda Conocida CC111: 37.14505 m
- Demanda Conocida CC110: 37.26239 m
- Demanda Conocida CC150: 37.38657 m
- Demanda Conocida CC143: 38.41309 m
- Demanda Conocida CC105: 38.57654 m

En resumen, de los 5000 sorteos encadenados realizados, se ha pasado de más 90 alarmas a menos de 20. Globalmente el porcentaje de infracciones de más de 5 mca para la condición de diseño es del 0,5 %. Lo que se considera suficiente y con margen de seguridad adecuado. El diseño de la Red Balsa correspondiente a esta evaluación se muestra en el apéndice nº 10.4.

De los resultados de las simulaciones se deduce que, para los caudales de diseño, las condiciones de demanda aleatoria no generan prácticamente escenarios donde la acumulación local de consumos desborden las condiciones promedio. En cualquier caso, para que durante la explotación del sistema no se presenten este tipo de fenómenos, el sistema de telecontrol podrá intervenir anticipadamente para impedir una demanda excesiva.

13. REDES ESTE Y OESTE

Análogamente a la Red Balsa, se evalúan las redes Este y Oeste dimensionadas igualmente con el programa GESTAR. Las presiones manométricas de cada nudo de cabecera serán las mínimas resultantes de los 5000 escenarios analizados anteriormente, en concreto: para la Red Este, 63,6 mca, y para la Red Oeste, 55,6. Dichas presiones las deberán suministrar los equipos de reimpulsión que se diseñarán en el anejo nº 14.

Del análisis del dimensionamiento óptimo de redes se obtiene que es recomendable dividir cada una de las redes Este y Oeste en dos subredes ya que la variación de la cota de tomas abastecidas es muy elevada (sobre todo en la Red Este), penalizando sobremanera las tomas más elevadas al resto de la red si ésta se dimensionara para una sola presión de impulsión: penaliza en cuanto a la potencia de impulsión (gasto energético) y penaliza en cuanto al timbraje de tuberías (gasto de inversión). Así, se han diferenciado en redes de alta presión y de baja presión, con los siguientes resultados que se resumen a continuación:

- RED ESTE ALTA:
 - o Las necesidades de reimpulsión se establecen en 50 mca.
 - o El caudal de diseño se establece en 247 l/s, coincidente con el caudal máximo previsto (acumulado) porque el número de centralizaciones a abastecer es de tan sólo tres.
- RED ESTE BAJA:
 - o Las necesidades de reimpulsión se establecen en 10 mca.
 - o El caudal de diseño se establece en 621 l/s, siendo el máximo caudal previsto para un grado de apertura equivalente de aproximadamente el 80 % de 667 l/s.



- De 600 escenarios analizados una vez “retocada” el dimensionamiento de la red, no se registran alarmas para un margen inferior de presión de más de 2,5 mca.
- Se diseñará la ejecución de un by-pass que permitirá en determinadas ocasiones suministrar agua a presión a esta subred.
- RED OESTE ALTA:
 - Las necesidades de reimpulsión se establecen en 45 mca con el objeto de optimizar los diámetros de la red.
 - De 1200 escenarios analizados equiprobables, con un grado de “apertura” del 74 % de la centralización de hidrantes, no se registran alarmas que represente una bajada de la presión de relevancia.
 - El caudal de diseño se establece en 895 l/s. El valor máximo para el grado de apertura previsto es de 917 l/s.
 - Se planteará la ejecución de un by-pass que permita en determinadas ocasiones suministrar agua a presión a aquellas tomas favorables en cuanto a su cota y en función de la presión existente en la Red Balsa.
- RED OESTE BAJA:
 - Las necesidades de reimpulsión se establecen en 15 mca con el objeto de optimizar los diámetros de la red.
 - De 800 escenarios analizados equiprobables, con un grado de “apertura” del 74 % de la centralización de hidrantes, no se registran alarmas que represente una bajada de la presión de relevancia.
 - El caudal de diseño se establece en 895 l/s. El valor máximo para el grado de apertura previsto es de 917 l/s.
 - Se diseñará la ejecución de un by-pass que permitirá en determinadas ocasiones suministrar agua a presión a esta subred.

Las salidas de resultados del diseño óptimo, antes de realizar los ajustes correspondientes se muestran en el apéndice nº 10.2. Los croquis resultantes una vez hechas todas las modificaciones se muestran en el anejo nº 10.4.

En el documento Planos se incluirán todas las redes con las pequeñas modificaciones que hubiera que realizar por cambios de trazado, cruces especiales, etc.

GOBIERNO DE EXTREMADURA

Consejería de Agricultura,
Desarrollo Rural, Medio Ambiente y Energía

**DELIMITACIÓN CARTOGRÁFICA,
ANTEPROYECTO Y ESTUDIO DE COSTES DE LA
ZONA REGABLE DE ARROYO DEL CAMPO
(BADAJOZ)**

EXPTE.: 1433SE1FR393



Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural:
Europa invierte en las zonas rurales

APÉNDICE Nº 10.1

CAUDALES DE LÍNEA



RED BALSA					
Tubería	Q Acumulado	Q Clément	Q Diseño	Hidrantes Abastecidos	Área abastecida
	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s		ha
TU1	0,048	0,079	0,048	1	25,5452
TU2	0,054	0,091	0,054	1	30,8623
TU3	0,042	0,070	0,042	1	23,3303
TU4	0,036	0,060	0,036	1	19,5282
TU5	0,030	0,051	0,030	1	17,9268
TU6	0,021	0,030	0,021	1	7,5156
TU7	0,027	0,040	0,027	1	10,2895
TU8	0,036	0,061	0,036	1	21,2382
TU10	0,039	0,065	0,039	1	21,0310
TU11	0,045	0,077	0,045	1	27,3062
TU12	0,066	0,112	0,066	1	39,0360
TU13	0,090	0,157	0,090	1	58,7310
TU14	0,039	0,064	0,039	1	19,9464
TU15	0,117	0,155	0,117	2	63,3965
TU16	0,054	0,094	0,054	1	34,3597
TU24	0,036	0,058	0,036	1	17,7140
TU25	0,033	0,056	0,033	1	19,4662
TU26	0,309	0,276	0,276	8	157,8572
TU27	0,024	0,039	0,024	1	11,9032
TU29	0,048	0,079	0,048	1	25,2420
TU30	0,027	0,040	0,027	1	10,5742
TU31	0,066	0,115	0,066	1	42,1990
TU32	0,042	0,071	0,042	1	24,6306
TU33	0,048	0,083	0,048	1	30,6795
TU34	0,083	0,145	0,083	1	53,9200
TU35	0,027	0,041	0,027	1	11,1010
TU36	0,033	0,055	0,033	1	18,0720
TU37	0,051	0,082	0,051	1	24,5881
TU38	0,030	0,047	0,030	1	13,5646
TU39	0,045	0,077	0,045	1	27,0126
TU40	0,045	0,074	0,045	1	23,6096
TU43	0,048	0,082	0,048	1	28,7169
TU44	0,042	0,067	0,042	1	19,6716
TU45	0,072	0,125	0,072	1	46,9320
TU46	0,047	0,082	0,047	1	30,2790
TU47	0,042	0,073	0,042	1	26,8990
TU49	0,054	0,093	0,054	1	34,0020
TU50	0,024	0,042	0,024	1	15,3556



RED BALSA					
Tubería	Q Acumulado	Q Clément	Q Diseño	Hidrantes Abastecidos	Área abastecida
	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s		ha
TU51	0,027	0,045	0,027	1	14,8180
TU52	0,060	0,023	0,060	1	1,6430
TU53	0,069	0,120	0,069	1	44,1805
TU54	0,068	0,119	0,068	1	44,4180
TU55	0,057	0,099	0,057	1	37,2770
TU56	0,036	0,058	0,036	1	17,3030
TU57	0,104	0,181	0,104	1	68,1230
TU58	0,061	0,106	0,061	1	39,9180
TU59	0,057	0,099	0,057	1	37,3160
TU60	0,030	0,052	0,030	1	19,3010
TU61	0,041	0,071	0,041	1	26,6290
TU62	0,031	0,054	0,031	1	20,2920
TU63	0,027	0,044	0,027	1	13,8810
TU64	0,019	0,033	0,019	1	11,8960
TU65	0,018	0,027	0,018	1	7,3021
TU66	0,033	0,057	0,033	1	21,2050
TU70	0,031	0,054	0,031	1	19,8200
TU71	0,036	0,059	0,036	1	18,6968
TU72	0,105	0,121	0,105	3	55,1018
TU73	0,039	0,068	0,039	1	24,5702
TU74	0,031	0,054	0,031	1	20,1850
TU75	0,018	0,027	0,018	1	7,5315
TU76	0,024	0,042	0,024	1	15,5220
TU78	0,018	0,027	0,018	1	7,5315
TU79	0,030	0,047	0,030	1	13,4885
TU80	0,024	0,035	0,024	1	9,3129
TU82	0,054	0,092	0,054	1	31,7833
TU83	0,015	0,022	0,015	1	5,9470
TU84	0,027	0,046	0,027	1	15,9400
TU86	0,036	0,053	0,036	1	13,9597
TU87	0,030	0,045	0,030	1	12,0005
TU90	0,027	0,046	0,027	1	15,8181
TU91	0,036	0,059	0,036	1	18,7040
TU92	0,042	0,069	0,042	1	22,1910
TU94	0,033	0,055	0,033	1	17,5204
TU98	0,024	0,035	0,024	1	8,9782
TU101	0,027	0,045	0,027	1	15,0829
TU104	0,048	0,082	0,048	1	28,4710



RED BALSA					
Tubería	Q Acumulado	Q Clément	Q Diseño	Hidrantes Abastecidos	Área abastecida
	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s		ha
TU107	0,027	0,042	0,027	1	12,1902
TU108	0,030	0,051	0,030	1	17,7337
TU109	0,207	0,206	0,206	7	120,1051
TU113	0,020	0,035	0,020	1	12,5330
TU116	0,265	0,220	0,220	5	114,2871
TU119	0,090	0,043	0,090	1	3,6763
TU121	0,027	0,044	0,027	1	14,0290
TU125	0,027	0,035	0,027	1	8,0216
TU127	0,042	0,064	0,042	1	18,0333
TU128	0,039	0,066	0,039	1	22,5973
TU131	0,033	0,049	0,033	1	13,2400
TU133	0,051	0,088	0,051	1	32,1852
TU137	0,042	0,071	0,042	1	23,5787
TU140	0,038	0,066	0,038	1	24,3350
TU142	0,048	0,078	0,048	1	24,5596
TU145	0,018	0,031	0,018	1	10,3942
TU146	0,222	0,200	0,200	6	103,5408
TU147	0,075	0,130	0,075	1	48,0219
TU148	0,036	0,061	0,036	1	21,1674
TU620	0,027	0,040	0,027	1	10,2895
TU621	0,012	0,018	0,012	1	4,8695
TU683	0,027	0,041	0,027	1	11,1010
TU686	0,024	0,033	0,024	1	7,8741
TU687	0,051	0,082	0,051	1	24,5881
TU738	0,119	0,173	0,119	2	75,0874
TU748	0,156	0,195	0,156	3	97,5091
TU796	0,087	0,083	0,087	3	31,0830
TU836	0,012	0,013	0,012	1	2,4769
TU845	0,039	0,049	0,039	2	17,2949
TU1022	0,069	0,120	0,069	1	44,1805
TU1023	0,061	0,106	0,061	1	39,9180
TU1024	0,090	0,157	0,090	1	58,7310
TU1027	0,051	0,084	0,051	1	27,0400
TU1032	0,030	0,049	0,030	1	15,3853
TU1033	0,033	0,052	0,033	1	15,6248
TU1034	0,279	0,258	0,258	7	142,4719
TU1035	0,246	0,237	0,237	6	126,8471
TU1036	0,177	0,184	0,177	4	85,6749



RED Balsa					
Tubería	Q Acumulado	Q Clément	Q Diseño	Hidrantes Abastecidos	Área abastecida
	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s		ha
TU1038	0,090	0,123	0,090	2	50,9005
TU1039	0,042	0,071	0,042	1	23,4943
TU1040	0,102	0,130	0,102	2	49,8587
TU1041	0,060	0,093	0,060	1	26,3644
TU1042	0,129	0,145	0,129	3	60,4329
TU1043	0,129	0,145	0,129	3	60,4329
TU1046	2,563	2,303	2,303	24	2228,8491
TU1047	3,223	2,677	2,677	37	2627,4780
TU1048	0,021	0,027	0,021	1	6,0810
TU1049	0,258	0,312	0,258	4	167,1420
TU1051	0,030	0,052	0,030	1	19,3010
TU1052	0,591	0,558	0,558	11	362,6072
TU1053	0,042	0,069	0,042	1	22,1410
TU1055	0,240	0,280	0,240	4	146,1042
TU1056	0,156	0,218	0,156	2	97,7670
TU1058	0,104	0,181	0,104	1	68,1230
TU1059	0,165	0,237	0,165	2	108,0410
TU1060	0,048	0,082	0,048	1	28,4100
TU1062	0,137	0,192	0,137	2	88,5985
TU1063	0,194	0,244	0,194	3	125,8755
TU1065	1,489	1,573	1,489	1	1617,0000
TU1068	0,155	0,220	0,155	2	96,8413
TU1069	0,194	0,246	0,194	3	116,7877
TU1071	0,838	0,544	0,544	20	387,7772
TU1074	2,380	2,181	2,181	20	2116,3201
TU1075	2,186	2,039	2,039	17	1999,5320
TU1078	3,242	2,689	2,689	38	2639,3740
TU1079	3,260	2,696	2,696	39	2646,6760
TU1085	8,625	5,884	5,884	156	5599,9048
TU48	0,042	0,049	0,042	2	16,8444
TU103	0,072	0,076	0,072	3	30,3329
TU81	0,099	0,100	0,099	4	46,2729
TU85	0,114	0,108	0,108	5	52,2199
TU603	0,168	0,164	0,164	6	84,0032
TU77	0,104	0,119	0,104	4	63,0585
TU772	0,073	0,089	0,073	3	42,8735
TU886	0,024	0,042	0,024	1	15,5220
TU89	0,413	0,329	0,329	14	212,8236



RED BALSA					
Tubería	Q Acumulado	Q Clément	Q Diseño	Hidrantes Abastecidos	Área abastecida
	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s		ha
TU912	0,245	0,219	0,219	8	128,8204
TU1113	0,141	0,141	0,141	4	65,7619
TU1258	0,102	0,104	0,102	3	41,1917
TU88	0,066	0,076	0,066	2	25,9602
TU1259	0,030	0,045	0,030	1	12,0005
TU1260	0,518	0,381	0,381	17	269,5367
TU1261	0,105	0,124	0,105	3	56,7131
TU1262	0,078	0,102	0,078	2	40,8950
TU1263	0,042	0,069	0,042	1	22,1910
TU93	0,542	0,390	0,390	18	277,3678
TU96	0,024	0,033	0,024	1	7,8311
TU97	0,046	0,080	0,046	1	29,7340
TU1264	0,226	0,228	0,226	6	131,9199
TU1265	0,768	0,541	0,541	24	409,2877
TU99	0,015	0,016	0,015	1	2,7572
TU1266	0,039	0,040	0,039	2	11,7354
TU1267	0,807	0,521	0,541	26	421,0231
TU110	0,861	0,554	0,554	27	449,8220
TU1268	0,054	0,089	0,054	1	28,7989
TU95	0,180	0,187	0,180	5	102,1859
TU1269	0,075	0,104	0,075	2	47,0841
TU1270	0,042	0,074	0,042	1	29,5637
TU100	0,039	0,067	0,039	1	23,8045
TU1271	0,066	0,083	0,066	2	31,2973
TU1272	0,030	0,046	0,030	1	12,6005
TU111	0,021	0,035	0,021	1	11,9427
TU1273	0,882	0,566	0,566	28	461,7647
TU112	0,054	0,090	0,054	1	29,7531
TU1274	0,936	0,600	0,600	29	491,5178
TU1275	0,963	0,613	0,613	30	503,7080
TU114	1,017	0,651	0,651	31	538,5308
TU1276	0,054	0,094	0,054	1	34,8228
TU106	0,177	0,183	0,177	6	102,3714
TU1277	0,018	0,030	0,018	1	9,2481
TU105	0,159	0,172	0,159	5	93,1233
TU1278	0,078	0,109	0,078	2	46,6750
TU1279	0,030	0,052	0,030	1	18,2040
TU1280	0,081	0,099	0,081	3	46,4483



RED BALSA					
Tubería	Q Acumulado	Q Clément	Q Diseño	Hidrantes Abastecidos	Área abastecida
	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s		ha
TU1257	0,018	0,031	0,018	1	10,5639
TU102	0,063	0,085	0,063	2	35,8844
TU1281	0,036	0,061	0,036	1	20,8015
TU1282	1,224	0,776	0,776	38	658,6359
TU1283	1,244	0,788	0,788	39	671,1689
TU115	1,391	0,893	0,893	41	761,0141
TU1284	0,099	0,172	0,099	1	64,3000
TU1285	0,147	0,209	0,147	2	89,8452
TU1286	1,956	1,184	1,184	55	1040,0780
TU1287	1,908	1,157	1,157	53	1012,2130
TU1288	1,878	1,139	1,139	52	994,2863
TU1289	1,725	1,058	1,058	47	915,0306
TU1073	1,460	0,938	0,938	42	800,7435
TU117	0,073	0,127	0,073	1	47,6690
TU1290	0,192	0,140	0,192	4	66,6181
TU1291	0,039	0,068	0,039	1	25,4748
TU1292	0,153	0,103	0,153	3	41,1433
TU118	0,036	0,063	0,036	1	23,4380
TU120	0,126	0,082	0,126	2	27,1143
TU1293	0,027	0,044	0,027	1	14,0290
TU1072	0,153	0,156	0,153	5	79,2557
TU1294	0,117	0,127	0,117	4	59,7275
TU622	0,075	0,087	0,075	3	36,3972
TU1295	0,048	0,068	0,048	2	26,1077
TU1296	2,775	1,992	1,992	57	1604,5940
TU1297	2,754	1,985	1,985	56	1597,0780
TU1081	4,904	3,124	3,124	107	2713,5740
TU1298	4,865	3,107	3,107	105	2696,2791
TU1299	2,090	1,256	1,256	48	1091,6851
TU1300	2,066	1,241	1,241	47	1076,3290
TU846	2,066	1,241	1,241	47	1076,3290
TU1301	2,012	1,206	1,206	46	1042,3270
TU1302	0,045	0,073	0,045	1	22,8066
TU1303	1,967	1,182	1,182	45	1019,5210
TU1304	1,811	1,080	1,080	42	922,0114
TU1305	1,769	1,053	1,053	41	895,1124
TU1306	1,650	0,972	0,972	39	820,0250
TU1307	0,812	0,595	0,595	19	432,2479



RED BALSA					
Tubería	Q Acumulado	Q Clément	Q Diseño	Hidrantes Abastecidos	Área abastecida
	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s		ha
TU1308	0,765	0,562	0,562	18	401,9689
TU1309	0,567	0,407	0,407	15	277,7513
TU1310	0,255	0,231	0,231	7	125,8220
TU149	0,090	0,124	0,090	2	55,3101
TU1311	0,042	0,071	0,042	1	24,6306
TU730	0,198	0,247	0,198	3	124,2176
TU1312	0,126	0,176	0,126	2	77,2856
TU729	0,312	0,268	0,268	8	151,9293
TU1313	0,270	0,241	0,241	7	132,2577
TU798	0,177	0,163	0,163	5	78,4323
TU1314	0,051	0,089	0,051	1	32,5810
TU1315	0,045	0,075	0,045	1	25,1085
TU1317	0,039	0,057	0,039	1	14,7683
TU1319	0,171	0,182	0,171	4	88,7749
TU1320	0,141	0,164	0,141	3	75,2103
TU1321	0,090	0,120	0,090	2	50,6222
TU1322	0,045	0,074	0,045	1	23,6096
TU1323	0,195	0,193	0,193	5	96,6490
TU688	0,257	0,284	0,257	5	157,6629
TU1064	0,221	0,262	0,221	4	140,3599
TU1324	0,027	0,045	0,027	1	14,4844
TU1061	0,066	0,092	0,066	2	35,2383
TU1325	0,018	0,026	0,018	1	6,8283
TU1057	0,222	0,286	0,222	3	145,3570
TU1326	0,036	0,062	0,036	1	21,7850
TU1050	0,321	0,348	0,321	6	197,2020
TU1327	0,300	0,341	0,300	5	191,1210
TU1328	0,042	0,071	0,042	1	23,9790
TU1077	2,532	2,283	2,283	23	2208,5569
TU1329	0,152	0,187	0,152	3	92,2370
TU1330	0,111	0,151	0,111	2	65,6080
TU1070	2,069	1,962	1,962	15	1936,1360
TU1331	0,580	0,480	0,480	14	319,1356
TU1030	0,526	0,438	0,438	13	284,7759
TU1332	0,060	0,104	0,060	1	38,2902
TU1031	0,126	0,150	0,126	3	68,6145
TU1333	0,090	0,123	0,090	2	50,9005
TU1044	0,033	0,056	0,033	1	19,4662



RED BALSA					
Tubería	Q Acumulado	Q Clément	Q Diseño	Hidrantes Abastecidos	Área abastecida
	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s		ha
TU1334	0,057	0,095	0,057	1	31,4343
TU1037	0,222	0,223	0,222	5	114,9439
TU1335	0,045	0,078	0,045	1	29,2690
TU892	0,161	0,170	0,161	4	83,7502
TU1336	0,123	0,137	0,123	3	59,4152
TU144	0,039	0,064	0,039	1	20,7123
TU143	0,084	0,105	0,084	2	38,7029
TU1337	0,036	0,053	0,036	1	14,1433
TU1338	0,677	0,447	0,447	16	304,0270
TU1339	0,062	0,108	0,062	1	40,3170
TU139	0,615	0,398	0,398	15	263,7100
TU141	0,264	0,246	0,246	7	129,7989
TU1340	0,075	0,127	0,075	1	43,1213
TU1341	0,351	0,247	0,247	8	133,9111
TU1342	0,309	0,215	0,215	7	110,3324
TU1343	0,018	0,031	0,018	1	11,0996
TU138	0,291	0,203	0,204	6	99,2328
TU136	0,087	0,108	0,087	2	40,2049
TU1344	0,045	0,073	0,045	1	22,1716
TU135	0,204	0,140	0,204	4	59,0279
TU1346	0,168	0,160	0,160	5	77,8657
TU1347	0,057	0,073	0,057	2	26,8383
TU129	0,018	0,021	0,018	1	4,2410
TU1348	0,189	0,171	0,171	6	86,6776
TU130	0,021	0,032	0,021	1	8,8119
TU1349	0,045	0,068	0,045	1	18,8775
TU17	0,031	0,054	0,031	1	20,0140
TU1021	0,435	0,366	0,366	11	226,4717
TU1350	0,466	0,388	0,388	12	246,4857
TU1351	0,798	0,847	0,798	1	557,0000
TU1352	1,460	0,938	0,938	42	800,7435
TU122	0,069	0,117	0,069	1	39,7294
TU132	0,030	0,041	0,030	1	9,9924
TU1353	0,063	0,071	0,063	2	23,2324
TU1082	5,221	3,285	3,285	113	2872,8799
TU1083	4,964	3,126	3,126	108	2715,2170
TU1354	3,305	2,720	2,720	40	2670,5820
TU1080	0,045	0,074	0,045	1	23,9060



RED BALSA					
Tubería	Q Acumulado	Q Clément	Q Diseño	Hidrantes Abastecidos	Área abastecida
	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s		ha
TU1045	8,625	5,884	5,884	156	5599,9048
TU1084	5,287	3,319	3,319	115	2908,1179
TU1054	3,196	2,664	2,664	36	2613,5969
TU1355	3,154	2,641	2,641	35	2591,4561
TU1066	0,101	0,176	0,101	1	65,9790
TU1029	0,111	0,151	0,111	2	65,6080
TU1067	0,060	0,104	0,060	1	38,5680
TU1028	0,558	0,599	0,558	1	389,3800
TU1254	9,183	6,442	6,442	157	5989,2852
TU18	0,051	0,086	0,051	1	29,2637
TU19	0,036	0,055	0,036	1	15,2315
TU20	0,051	0,088	0,051	1	32,1852
TU21	0,141	0,104	0,141	2	35,7955
TU22	0,090	0,043	0,090	1	3,6103
TU9	0,111	0,121	0,111	3	51,0274
TU23	0,039	0,067	0,039	1	24,1283
TU67	0,072	0,083	0,072	2	26,8991
TU68	0,030	0,051	0,030	1	17,4710
TU69	0,045	0,077	0,045	1	27,3062
TU123	0,039	0,065	0,039	1	21,0310
TU124	0,054	0,090	0,054	1	29,2880
TU28	0,126	0,112	0,126	4	45,8513
TU41	0,063	0,071	0,063	2	24,4042
TU42	0,036	0,048	0,036	1	10,8595



RED ESTE-ALTA					
Tubería	Q Acumulado	Q Clément	Q Diseño	Hidrantes Abastecidos	Área abastecida
	m³/s	m³/s	m³/s		ha
TU1	0,072	---	0,072	1	31,8450
TU11	0,247	---	0,247	3	97,3560
TU14	0,247	---	0,247	3	97,3560
TU3	0,072	---	0,072	1	31,8450
TU4	0,094	---	0,094	1	28,9700
TU6	0,175	---	0,175	2	65,5110
TU7	0,081	---	0,081	1	36,5410
TU2	0,081	---	0,081	1	36,5410



RED ESTE-BAJA					
Tubería	Q Acumulado	Q Clément	Q Diseño	Hidrantes Abastecidos	Área abastecida
	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s		ha
TU3	0,124	0,216	0,124	1	52,7570
TU4	0,057	0,100	0,057	1	24,9260
TU5	0,087	0,152	0,087	1	37,2340
TU6	0,038	0,063	0,038	1	12,8790
TU7	0,046	0,081	0,046	1	20,6690
TU9	0,042	0,070	0,042	1	14,4570
TU10	0,057	0,083	0,057	1	13,6300
TU25	0,023	0,037	0,023	1	7,4069
TU26	0,115	0,202	0,115	1	51,8040
TU27	0,132	0,184	0,132	2	50,7390
TU28	0,340	0,394	0,340	5	139,7830
TU29	0,455	0,506	0,455	6	191,5870
TU30	0,455	0,506	0,455	6	191,5870
TU61	0,045	0,071	0,045	1	13,5050
TU63	0,027	0,047	0,027	1	11,3610
TU64	0,208	0,285	0,208	3	89,0440
TU65	0,042	0,069	0,042	1	13,8130
TU66	0,088	0,120	0,088	2	34,4820
TU68	0,042	0,070	0,042	1	14,4570
TU71	0,159	0,171	0,159	3	45,6740
TU72	0,604	0,601	0,601	10	246,3549
TU73	0,543	0,566	0,543	8	226,0690
TU74	0,566	0,578	0,566	9	233,4759
TU75	0,566	0,578	0,566	9	233,4759
TU12	0,181	0,266	0,181	2	77,6830
TU13	0,124	0,216	0,124	1	52,7570
TU14	0,763	0,621	0,621	13	292,0289
TU1	0,099	0,120	0,099	2	28,0870
TU2	0,060	0,094	0,060	1	17,5870



RED OESTE-ALTA					
Tubería	Q Acumulado	Q Clément	Q Diseño	Hidrantes Abastecidos	Área abastecida
	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s		ha
TU19	0,094	0,165	0,094	1	41,6730
TU20	0,068	0,116	0,068	1	25,5400
TU21	0,105	0,180	0,105	1	40,6440
TU22	0,027	0,044	0,027	1	8,7594
TU23	0,072	0,123	0,072	1	27,2350
TU24	0,075	0,111	0,075	1	18,9740
TU32	0,887	0,738	0,765	12	352,3244
TU33	1,129	0,895	0,895	16	446,0654
TU38	0,072	0,120	0,072	1	25,2460
TU45	0,105	0,180	0,105	1	40,6440
TU47	0,438	0,464	0,438	6	172,8860
TU48	0,068	0,116	0,068	1	25,5400
TU49	0,087	0,150	0,087	1	35,1070
TU52	0,344	0,377	0,344	5	131,2130
TU53	0,506	0,515	0,506	7	198,4260
TU54	0,105	0,185	0,105	1	47,1720
TU55	0,611	0,603	0,603	8	239,0700
TU56	0,638	0,617	0,617	9	247,8294
TU58	0,815	0,765	0,765	11	325,0894
TU2	0,035	0,062	0,035	1	15,5790
TU3	0,038	0,065	0,038	1	14,7620
TU4	0,073	0,102	0,073	2	30,3410
TU8	0,197	0,235	0,197	3	71,6240
TU7	0,197	0,235	0,197	3	71,6240
TU10	0,057	0,094	0,057	1	19,1480
TU11	0,242	0,275	0,242	4	93,7410
TU12	0,045	0,079	0,045	1	22,1170
TU18	0,072	0,125	0,072	1	30,0880
TU25	0,743	0,710	0,710	10	295,0014
TU1	0,235	0,264	0,235	4	84,4220
TU26	0,109	0,191	0,109	1	46,7910
TU5	0,068	0,117	0,068	1	27,2300



RED OESTE-BAJA					
Tubería	Q Acumulado	Q Clèment	Q Diseño	Hidrantes Abastecidos	Área abastecida
	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s		ha
TU13	0,03	0,051	0,030	1	11,4010
TU14	0,049	0,082	0,049	1	17,2110
TU15	0,042	0,040	0,042	1	4,2085
TU16	0,023	0,037	0,023	1	8,5194
TU17	0,038	0,065	0,038	1	14,2700
TU33	0,322	0,303	0,303	7	111,6099
TU34	0,079	0,108	0,079	2	28,6120
TU36	0,068	0,119	0,068	1	30,3360
TU39	0,171	0,178	0,171	4	57,3339
TU40	0,25	0,240	0,240	6	85,9459
TU42	0,042	0,040	0,042	1	4,2085
TU44	0,03	0,051	0,030	1	11,4010
TU5	0,03	0,051	0,030	1	11,4010
TU8	0,322	0,303	0,303	7	111,6099
TU9	0,072	0,121	0,072	1	25,6640
TU7	0,25	0,240	0,240	6	85,9459
TU11	0,322	0,303	0,303	7	111,6099
TU27	0,133	0,147	0,133	3	43,0639
TU28	0,065	0,060	0,065	2	12,7279