

MASTER UNIVERSITARIO EN INCICIACIÓN A LA INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRARIAS  
Y DEL MEDIO NATURAL.

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE HUESCA. UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA

Director: Ricardo Aliod Sebastián

---

TÍTULO:

**“Desarrollo e Implementación de Estrategias y  
Herramientas en GESTAR2014 para el  
Dimensionado de Redes de Riego Presurizadas  
con Funcionamiento a Turnos.”**

Autora:

*Susana García Asín*

*Diciembre 2013*



<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>3</b>
<b>2. DISEÑO CONCEPTUAL DEL MÉTODO .....</b>	<b>5</b>
2.1 ESTABLECIMIENTO DE LOS TURNOS DE RIEGO.....	5
2.1.1 <i>Caudal nominal de la red y caudales de diseño. relación entre dotación y número de turnos.....</i>	5
2.1.2 <i>Determinación del número de turnos.....</i>	7
2.1.3 <i>Asignación de turnos .....</i>	12
2.2 DIMENSIONADO REDES CON FUNCIONAMIENTO A TURNOS .....	14
2.2.1 <i>Generalidades y datos necesarios .....</i>	14
2.2.2 <i>Descripción del algoritmo implementado para el dimensionado de redes con altura de cabecera conocida, con funcionamiento a turnos .....</i>	16
2.2.3 <i>Descripción del algoritmo implementado para el dimensionado de redes con altura de cabecera desconocida, con funcionamiento a turnos .....</i>	22
2.3 VALIDACIÓN DEL DIMENSIONADO: PLANIFICACIÓN Y SIMULACIÓN DE LOS TURNOS.....	27
<b>3. IMPLEMENTACIÓN Y DESARROLLO DEL MÉTODO .....</b>	<b>28</b>
<b>4. EJEMPLO DE APLICACIÓN DE LAS ESTRATEGIAS Y HERRAMIENTAS DESARROLLADAS PARA DIMENSIONADO A TURNOS Y COMPARACIÓN DE RESULTADOS CON DIMENSIONADO A LA DEMANDA.....</b>	<b>29</b>
4.1 CASO DE ESTUDIO: RED “MEDIANAWORKINGCASE”.....	29
4.2 DATOS PARA EL DIMENSIONADO .....	30
4.2.1 <i>Caudales de diseño.....</i>	30
4.2.2 <i>Parámetros para el dimensionado .....</i>	30
4.2.3 <i>Materiales .....</i>	31
4.2.4 <i>Datos bombeo directo .....</i>	32
4.3 METODOLOGÍA DIMENSIONADO DE LA RED CON FUNCIONAMIENTO A LA DEMANDA.....	33
4.3.1 <i>Caudales de diseño (Clement) .....</i>	33
4.3.2 <i>Dimensionado de la red “MedianaWorkingCase” con funcionamiento a la demanda .....</i>	33
4.3.1 <i>Verificación del diseño.....</i>	34
4.4 METODOLOGÍA DIMENSIONADO DE LA RED “MEDIANAWORKINGCASE” CON FUNCIONAMIENTO A TURNOS .....	35
4.4.1 <i>Asignacion de turnos previa al dimensionado en la red “MedianaWorkingCase”</i>	35
4.4.2 <i>Dimensionado de la red “MedianaWorkingCase” con funcionamiento a turnos.</i>	37
4.4.3 <i>Verificación del diseño.....</i>	38
4.5 RESULTADOS .....	39
<b>5. CONCLUSIONES.....</b>	<b>40</b>
<b>6. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>42</b>
 <b>APENDICE A: MANUAL DE USO.....</b>	<b>44</b>
<b>APENDICE B: DOTACIONES .....</b>	<b>61</b>
<b>APENDICE C. MEDICIONES .....</b>	<b>74</b>
<b>APENDICE D. RESULTADOS SIMULACIONES .....</b>	<b>80</b>

**CONTENIDO SOPORTE DIGITAL:**

Instalador GESTAR2014

Manual de usuario

CASO DE ESTUDIO “MedianaWorkingCASE”

DEMANDA

Modelo de la red y ficheros de resultados

TURNOS

Modelo de la red y ficheros de resultados

## 1. INTRODUCCIÓN

Si bien en los sistemas de distribución colectiva de agua a presión para usos de riego la disponibilidad permanente del suministro ha favorecido la explotación de los mismos en condiciones de demanda aleatoria, la explotación de estos sistemas con funcionamiento organizado, está cobrando creciente interés técnico y económico debido a la necesidad de ahorro energético, de económica en las inversiones y de eficiencia de uso de los recursos hídricos. Esta posibilidad se ve potenciada por las facilidades que aportan las nuevas tecnologías (sistemas de gestión, telecontrol...) para la gestión y la planificación del riego.

Por otra parte, los procesos de riego en parcela, de tipo agronómico o jardinería, se realizan mediante secuencias organizadas o turnos.

A la hora de economizar en la fase de diseño, la ventaja de estos sistemas radica en que los caudales circulantes por las tuberías son menores y por tanto puede existir una disminución en el coste total (Alduan y Monserrat 2008). El agrupamiento de las tomas de riego en sectores que operen en turnos de riego establecidos, evita el sobredimensionado de la red y de los equipos de bombeo (Arviza et al 2003; IDAE 2008). También es frecuente encontrar sistemas de riego a turnos en pequeñas redes destinadas a producciones familiares en zonas rurales de baja tecnificación, donde además la escasa magnitud de los caudales disponibles en cabecera, o la falta de automatismos de regulación y/o organización social, así lo aconseja.

Hasta ahora, las grandes redes colectivas de riego a presión en el contexto de sistemas de producción para comercialización de los productos, sido diseñadas para un funcionamiento a la demanda, teniendo en cuenta caudales punta de diseño obtenidos a partir de la primera fórmula de Clément (Clément 1966). Estableciendo una organización de riego a turnos, se producen caudales menores que los que se dan en los sistemas de riego a la demanda. La organización del riego, permite establecer unos caudales de diseño no estadísticos, y con una buena planificación, fijarlos para un funcionamiento eficiente de los equipos de impulsión y un reparto del tiempo de riego que optimice el coste de la energía en función de las tarifas eléctricas establecidas.

La mejora y la automatización de los métodos de dimensionado de tuberías en redes de distribución a presión con funcionamiento a turnos, permite obtener combinaciones de diámetros más económicas con funcionamientos fiables, e instalaciones viables y de calidad.

Dado que el dimensionado de las conducciones principales dentro de una parcela, atiende a los mismos criterios de optimización que se aplican a redes de distribución general a turnos, puesto que los sectores dentro de la parcela, obedecen a un funcionamiento organizado, estos métodos son aplicables a la proyección de riegos en parcela.

Ante estos antecedentes, se han desarrollado una serie de algoritmos para el dimensionado de conducciones de sistemas con riego organizado a turnos, aplicable a las conducciones de distribución general y a conducciones principales de parcela que alimentan sectores, que se ha incorporado como un nuevo módulo en la aplicación GESTAR2014,

El objeto del Trabajo Fin de Master es desarrollar, implementar y describir algoritmos y herramientas que obtengan el dimensionado de las conducciones en sistemas de riego a presión operando a turnos (tanto para conducciones principales de parcela que alimentan sectores, como para conducciones de redes de distribución general) con altura de cabecera conocida y altura de cabecera desconocida.

Las soluciones adaptadas que se han implementado y presentarán en este Trabajo Fin de Master son:

- ✓ **Herramientas y estrategias de definición de turnos:** especificación del número de turnos, duración y definición de los aspersores o hidrantes pertenecientes al turno.
- ✓ **Herramientas y estrategias de dimensionado:** se desarrolla y potencia un algoritmo que optimiza los diámetros de manera ágil y general, garantizando todos los turnos de riego, aplicable a redes de distribución general y a tuberías principales que alimentan sectores en el riego en parcela. Este nuevo algoritmo, salva la limitación de los métodos que en el proceso dimensionado adoptan como diámetro de diseño el mayor de cada tramo en común, sin tener en cuenta el posible ahorro en los tramos aguas abajo.
- ✓ **Herramientas de simulación de turnos:** GESTAR2014 incorpora una potente herramienta para la planificación y simulación de los turnos, permitiendo analizar el comportamiento hidráulico y energético del sistema en evoluciones temporales.

Como **ejemplo de uso de las estrategias y herramientas y caso de estudio**, se aplicará el algoritmo y la metodología de diseño y análisis completa, a una red distribución general, con altura de cabecera desconocida (red con bombeo en cabecera) formada por 94 hidrantes que suministran agua a 596 Ha. Con el objeto de comprobar los costes relativos, se presentarán los resultados del dimensionado del mismo caso de estudio, diseñado para un funcionamiento a la demanda.

Finalmente, se ha elaborado un apartado en el manual de uso de GESTAR2014, donde viene redactado el uso de las herramientas de la aplicación desarrolladas (APENDICE A. Manual de uso).

En los siguientes capítulos de esta memoria se van a desarrollar los objetivos señalados describiendo el diseño conceptual de los algoritmos y estrategias punto por punto, se expondrán los resultados de la aplicación de las herramientas, y finalmente se presentarán las conclusiones extraídas de este trabajo de investigación.

## 2. DISEÑO CONCEPTUAL DEL MÉTODO

### 2.1 ESTABLECIMIENTO DE LOS TURNOS DE RIEGO

#### 2.1.1 Caudal nominal de la red y caudales de diseño. relación entre dotación y número de turnos

##### ***Caudal Nominal de la red a Turnos ( $Q_{Nt}$ ) y Caudales de Diseño ( $Qd$ ).***

Para el diseño de redes de riego con funcionamiento a turnos, tomaremos como caudales de diseño, los caudales acumulados. Es decir, el caudal de diseño de un tramo, corresponderá a la suma de los caudales instalados aguas abajo.

Cada tramo, tendrá tantos caudales de diseño como turnos en los que intervenga, y cada uno de estos caudales de diseño será igual a la suma de las dotaciones de los hidrantes (o nodos de consumo en general) aguas abajo, considerándose todos los hidrantes del turno en cuestión, abiertos.

Denominamos Caudal Nominal de la red a turnos ( $Q_{Nt}$ ), el mayor de los caudales de diseño del primer tramo o tubería principal de la red.

El ahorro de diseñar una red con funcionamiento a turnos, frente a un dimensionado a la demanda, viene dado por la reducción de caudales en la cabecera, y en los ramales si la agrupación en turnos se ha realizado siguiendo criterios de reparto de caudales.

Debido a la tendencia de precios crecientes exponencialmente de los grandes diámetros, la mayor parte del ahorro al diseñar una red con funcionamiento a turnos, viene dado por la reducción de caudal en las conducciones comunes a gran parte de la red, más aún en redes cuya tubería principal es de gran longitud. Por lo tanto, establecer un reparto de turnos que consiga reducir el caudal de diseño en una parte significativa de la red, respecto al que obtendríamos con un diseño de caudales probabilístico para redes con funcionamiento a la demanda, será uno de los objetivos de la estrategia de establecimiento de los turnos de riego.

Para conseguir que el  $Q_{Nt}$  sea menor que el  $Qd$  con funcionamiento a la demanda, se actuará sobre las dotaciones de los hidrantes, tiempos de riego y la duración y número de turnos.

##### ***Relación Dotación-Número de turnos.***

Las dotaciones se establecen de manera que pueda suministrarse el volumen necesario diario de la parcela, en el mes de máximas necesidades, dentro de la JER.

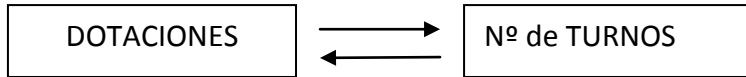
Cuando se ajustan las dotaciones en un riego a la demanda, los criterios y valores pueden ser diferentes. El tiempo disponible efectivo para el riego del hidrante suele ser mayor para riegos a la demanda. En el caso de redes con funcionamiento a turnos, el tiempo efectivo de riego del hidrante, es el tiempo de duración del turno de riego, puesto que fuera de él, no es posible abrir. Introduciremos el término Jornada Efectiva de Riego del Turno (*JERt*), igual a la duración del turno.

El número de turnos de la red, se fijará de manera que la duración total de todos los turnos, no sobrepase el tiempo establecido como *JER* de la red.

Las dotaciones determinan los tiempos necesarios de riego de los hidrantes. Los tiempos de riego de los hidrantes, condicionan la duración del turno y a su vez, el numero de turnos posibles dentro de un *JER* establecido.

La dotación influye directamente en la duración de los turnos y en el número de turnos posibles. Y el número de turnos que queramos diseñar, puede condicionar un aumento de dotación para que sea posible regar en el tiempo límite, creándose una dependencia de estos factores bidireccional:

La dotación influye en el número de turnos, y si deseamos aumentar el número de turnos, esto puede condicionar un cambio en las dotaciones.



Dependerá de las necesidades de diseño y de las posibilidades de la red, que condicionemos las dotaciones al número de turnos, o viceversa.

Denominaremos *Dotación Teórica (Dt)* a la dotación mínima necesaria para suministrar el volumen que cubre las necesidades de los cultivos en la superficie instalada en el hidrante en un día del mes de máximas necesidades, en un tiempo de riego establecido, menor que el *JERt*.

Para calcular la *Dt* de cada hidrante, se aplica la siguiente expresión.

$$Dt_i = \frac{Qfc * Sup_i * 24h * 3600s}{T_i}$$

Siendo:

$D_t$  Dotación teórica (l/s) necesaria para suministrar el volumen necesario en un día en la parcela en el mes de máximas necesidades, con el tiempo de riego establecido.

$i$  Hidrante

$T$  Tiempo establecido de riego del hidrante (hrs)

$Q_{fc}$  Caudal ficticio continuo de la zona (l/s ha y día)

$Sup$  Supercie (ha)

La  $D_t$  puede dejarse como dotación definitiva, tarando el hidrante al detalle. O bien puede “normalizarse”, ajustando la dotación a valores más usados y prácticos. Esta dotación corregida, la denominaremos *Dotación Normalizada ( $D_N$ )*.

Además de los criterios agronómicos, a la hora de “normalizar” las dotaciones, se debe considerar también otro tipo de factores como:

- ✓ El tipo de amueblamiento en parcela. Si se va a instalar riego por goteo, los sectores o posturas de riego, tendrán un caudal máximo tolerable.
- ✓ Dotación mínima-máxima del proyecto. Por cuestiones económicas, de calidad, normativas y seguridad, en ocasiones, se establece un tamaño mínimo o/y de tamaño máximo de hidrante.
- ✓ Tamaño de los hidrantes: Caudales normalizados de los hidrantes (en el caso de no tarar los hidrantes a valores particulares).

En el caso de corregir la dotación, el  $T_{nec}$  de riego deja de ser el establecido inicialmente, y deberá ser recalculado, aplicando la expresión anterior fijando como dotación la  $D_N$ . Si los nuevos tiempos de riego de los hidrantes son menores después de la corrección, se dará cierto grado de libertad a la hora de abrir el hidrante dentro de la  $JER_t$ , flexibilizando el uso de la red, o bien se puede barajar la posibilidad de aplicar un turno más.

#### 2.1.2 Determinación del número de turnos

El número de turnos en los que agrupar la apertura de las tomas de riego, depende directamente de la *Jornada Efectiva de Riego (JER)* considerada. Este dato, dado en función del tipo de red y de diversos factores agronómicos, será determinante para el buen planteamiento del diseño de la operativa de riego y del dimensionado de las tuberías.

En el caso de redes alimentadas desde balsa, la *JER* será más extensa ya que estas redes no dependen de restricciones horarias por las tarifas eléctricas. En estos casos la *JER* considerada oscila entre la 24 h (disponibilidad total para el riego) y el tiempo que se descuento a la jornada total por condiciones de insolación, viento y tareas de mantenimiento de la red.

Cuando se trata de redes alimentadas con bombeo directo, la *JER* viene condicionada por las tarifas eléctricas. La *JER* debe estimarse en función de los periodos horarios más baratos en el mes de máximas necesidades de riego. El periodo más barato, en el mes de Julio en España, actualmente abarca 8 horas del día. En general, tiempo insuficiente para abastecer las necesidades de riego de toda la superficie, por lo que suele contratarse también el segundo periodo más barato. El tiempo contratado de suministro eléctrico de los dos periodos, suman 16 horas, por lo que actualmente se considera un *JER* máximo de 16 horas para redes alimentadas por bombeo directo.

A la hora de establecer el número de turnos, se debe cumplir que, dentro de la jornada efectiva de riego inicial, exista tiempo suficiente para regar todos los turnos, con la dotación establecida. y el tiempo de cada turno permita suministrar el volumen de agua necesario en las parcelas, para el mes de máximas necesidades.

Para tantejar el número máximo número de turnos posible se evalúan los tiempos necesarios de riego de los hidrantes. Para calcular el tiempo necesario de riego de cada hidrante, se aplica la siguiente expresión:

$$T_{nec_i} = \frac{Qfc * Sup_i * 24h * 3600s}{D_{Ni}}$$

Siendo:

$T_{nec}$  Tiempo necesario para suministrar el volumen necesario en un día en la parcela en el mes de máximas necesidades, con la dotación normalizada establecida. (hrs)

$i$  Hidrante

$D_N$  Dotación normalizada establecida (l/s)

$Qfc$  Caudal ficticio continuo de la zona (l/s ha y día)

$Sup$  Superficie (ha)

El  $T_{nec}$  máximo de todos los hidrantes de la red, nos determinará el número de turnos inicial, y el tiempo mínimo de riego que tendrán que tener los turnos.

$$n^{\circ} Turnos <= \left\lfloor \frac{JER}{TNecMax} \right\rfloor$$

$$JERt = TNec Max$$

Los tiempos de riego, dependen de la dotación fijada y condicionarán el número de turnos de riego. Las superficies, las necesidades de los cultivos y la *JER*, son parámetros dados por las características de la zona, los cultivos, y el tipo de alimentación de presión de la red, siendo propiedades de la red no modificables. En la fase de diseño, es posible ajustar las dotaciones para que los tiempos de riego sean favorables para el establecimiento de turnos. Con dotaciones mayores, se reducen los tiempos de riego, y por lo tanto pueden establecerse más turnos dentro de una misma *JER*, con la precaución de que estos aumentos de dotación no generen aumentos de caudal instantáneo en cabecera que se traduzcan en la necesidad de tuberías con mayores diámetros y consecuentemente mayor inversión.

Repartiendo el caudal total instalado en la red en el número de turnos establecido, obtenemos un caudal por turno inicial orientativo que tomaremos como caudal nominal. Si este  $Q_{Nt}$  orientativo inicial, es superior al caudal de diseño en cabecera calculado para la red con un funcionamiento a la demanda, no se cumple el objetivo de reducir caudales. En este caso, habrá que considerar el diseño de la red con un funcionamiento a la demanda, o bien, rediseñar el planteamiento del diseño a turnos, aumentando el número de turnos y si es necesario, la dotación en los hidrantes.

En la figura Figura 1 se presenta un proceso lógico para llegar a un número orientativo de turnos máximos que acepta la red. Para disminuir el caudal en cabecera y así obtener dimensionados más económicos, se busca maximizar el número de turnos cumpliendo que la suma de la duración de todos los turnos no supere la  $JER$ , y que el tiempo de riego de los hidrantes no superen el tiempo de duración del turno al que pertenecen.

En primer lugar se estima un caudal de turno repartiendo de manera equitativa el caudal instalado entre un  $Nº de Turnos$  inicial, y se acepta este como  $Q_{Nt}$  de la red. Para estimar el  $Q$  instalado, se ajustan dotaciones iniciales para que  $T\ riego < JERt$ .

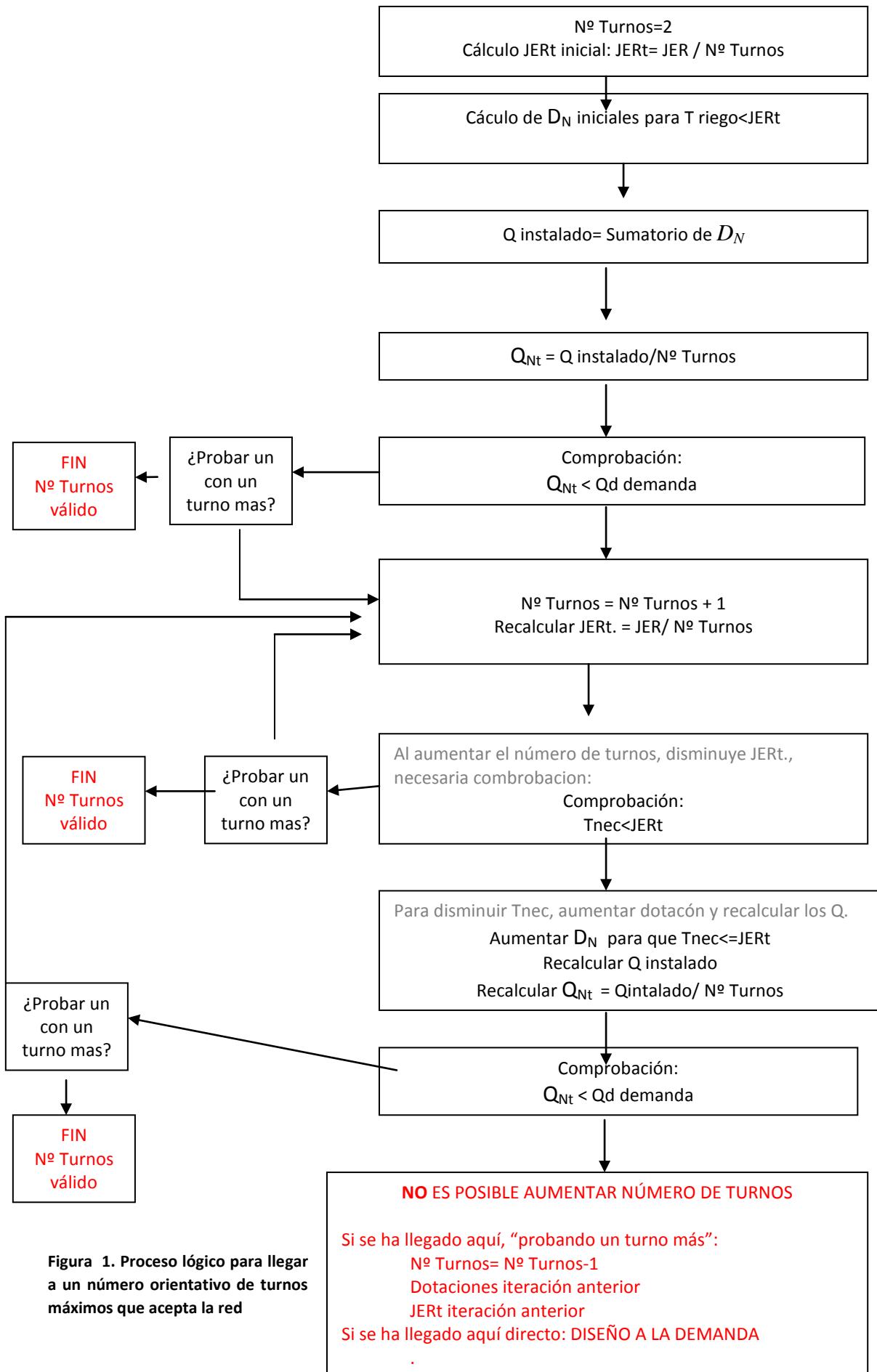
Si este  $Q_{Nt}$  es mayor que el caudal de diseño para un funcionamiento a la demanda ( $Qd$ ), aumentamos el  $Nº de Turnos$ , con el objetivo de disminuir  $Q_{Nt}$ . Esto supone una reducción de la duración de los turnos, por lo que se deberá comprobar que los  $T_{nec}$  de riego de los hidrantes, no superan el nuevo tiempo disponible para el riego ( $JERt$ ).

Si el  $T_{nec}$  supera el nuevo tiempo disponible de riego del turno ( $JERt$ ), se procede a elevar las dotaciones para reducir los  $T_{nec}$ . El caudal instalado total aumenta, por lo que se deberá comprobar de nuevo si el  $Q_{Nt}$  es menor que el  $Qd$  para riego a la demanda.

En el caso de que el  $Q_{Nt}$  de red a turnos, siga superando el  $Qd$  para funcionamiento a la demanda, significará que no es posible aumentar el número de turnos.

Si este análisis se inicia con el numero de turnos mínimo, dos, y en la primera comprobación de caudales, obtenemos caudales mayores que a la demanda, y no permite aumento de numero de turnos, se interpreta que posiblemente, sea más favorable económico y operacionalmente un diseño de la red con funcionamiento a la demanda.

En cada comprobación, si es positiva, podemos dar por válidos los valores, o bien podemos incrementar el número de turnos y repetir las comprobaciones y el proceso hasta llegar al número de turnos orientativo máximo admisible en la red.



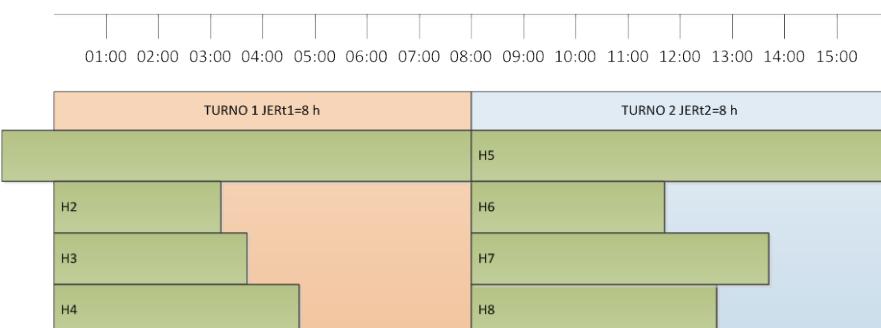
## Turnos de duración diferente para encajar mayor número de turnos

En ocasiones, no encajan dos turnos en la red, aún apurando las dotaciones al máximo, excediendo el  $T_{nec\ max}$  de riego el  $JER_t$ . Este análisis propuesto anterior, es orientativo, y considera  $JER_t$  homogéneos. En estos casos, evaluando los  $T_{nec}$  de los hidrantes y estableciendo turnos de riego de duración diferente, podría encajarse mayor número de turnos que el orientativo. En esta estrategia, interviene también la operación de reparto y agrupación de hidrantes, introduciéndonos en el capítulo siguiente.

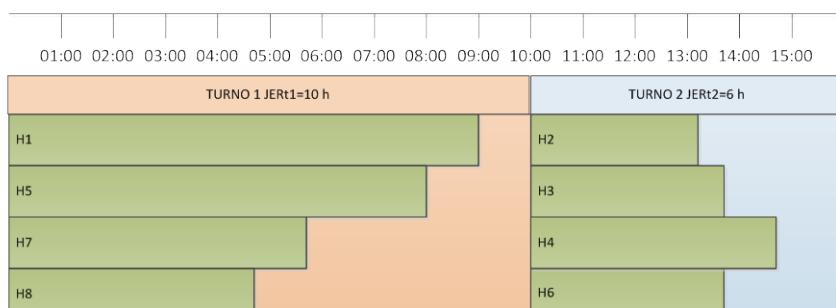
Los turnos de duración diferente, serán aplicables y efectivos en los casos en los que los  $T_{nec}$  de los hidrantes son heterogéneos, siendo sólo una parte de hidrantes los que su  $T_{nec}$  supera el  $JER_t$  inicial orientativo.

Asignando más horas a un turno, y agrupando en él los hidrantes más exigentes en tiempo, y repartiéndo el resto del tiempo hasta completar la  $JER$  con otro turno, con menos duración y agrupando en estos los hidrantes con menores tiempos necesarios de riego, podemos encajar más turnos que a priori.

La Figura 2 ilustra un caso en el que gracias al reparto en turnos con duraciones diferentes, se consigue establecer dos turnos, siendo que a priori, sin analizar los tiempos de riego detalladamente, no era posible la opción de red con funcionamiento a turnos



Turnos de igual duración.  $T_{nec}$  de riego de Hidrante1 excede  $JER_t$



Turnos de diferente duración.  $T_{nec}$  de riego no exceden  $JER_t$  y es posible establecer dos turnos

**Figura 2. Reparto de turnos duraciones diferentes**

La duración del turno, será como mínimo, el  $T_{nec}$  máximo de los hidrantes agrupados en el mismo. Si los tiempos de riego no son uniformes, existirá cierto grado de libertad en la apertura de los hidrantes con menor  $T_{nec}$ . Aún produciéndose este fenómeno, se considerará como caudal de diseño para el turno, el caudal acumulado o suma de todas las dotaciones como medida conservadora.

Si los tiempos de riego no fueran uniformes, resultando grados de libertad de apertura del hidrante mayores, podría considerarse un caudal de diseño probabilístico dentro de cada turno. Este planteamiento reduciría los caudales en cabecera y abarataría el coste de las tuberías, siempre valorando las contraprestaciones que esto implica: rigidez en la gestión y la falta de margen para cambios operacionales ante imprevistos.

### 2.1.3 Asignación de turnos

El proceso de dimensionado de la red con riego organizado requiere previamente la asignación de turnos. Los turnos o agrupaciones de hidrantes que van a regar al mismo tiempo no son fijados de manera aleatoria, deben agruparse por algún criterio o la combinación de varios.

Las propiedades de los hidrantes a tener en cuenta a la hora de distribuir los hidrantes en los diferentes turnos de riego son por ejemplo, la cota, la dotación, el tiempo necesario de riego etc...así como otros topológicos y operacionales derivados de la casuística y uso particular de cada red.

Una vez dispuestos los números de turnos y su  $JER_t$ , se procede al reparto o agrupación de los hidrantes. Los criterios y estrategias propuestas para realizar este reparto son: *Tanteo usando uno o varios criterios propuestos*.

**Caudal de diseño en cabecera (dotaciones de los hidrantes):** Los hidrantes se agrupan en los diferentes turnos sumando en cabecera un caudal inferior al obtenido con la formula de Clèment y lo más homogéneo posible para todos los turnos. Si existen grandes diferencias entre las dotaciones de los hidrantes, para facilitar esta operación, se recomienda clasificar los hidrantes por rangos de dotaciones, y así poder realizar este reparto equitativamente.

Para conseguir un  $Q_{Nt}$  adecuado y unos caudales en los turnos igualados, es útil hacer una clasificación previa de hidrantes por rango de dotaciones, repartiendo los hidrantes de mayor dotación entre todos los turnos para no descompensar los caudales en cabecera, y sean lo más homogéneos posible entre los turnos.

**No acumulación de caudal en ramales finales:** En los ramales, se asignarán los turnos de manera que no coincidan en el mismo turno hidrantes contiguos en el ramal, para no sobrecargarlo. Para agilizar este reparto en ramales, se presenta un método que relaciona matemáticamente el turno del hidrante con la posición en el ramal, sin

que existan hidrantes contiguos del mismo turno. Se describe este método denominado *Procedimiento de reparto directo, alternando turnos en ramales, para dotaciones homogéneas*, en el siguiente punto de este capítulo.

**Tiempos necesarios de riego.** Puede interesar agrupar a todos los hidrantes con  $T_{nec}$  mayores en un turno de duración adaptado a esta propiedad (estrategia descrita en el capítulo anterior), o bien puede interesar no agrupar los hidrantes de mayor  $T_{nec}$  en el mismo turno, para dejar cierta holgura y no alcanzar el  $Q_{Nt}$  durante todas las horas de duración del turno.

**Cota** (en el caso de que exista la posibilidad de hacer pisos de bombeo): si hay zonas con una cota claramente diferenciada, y el sistema de alimentación de la red es por bombeo directo, el establecimiento de turnos de riego con diferentes alturas nominales de impulsión es una estrategia que abarataría tanto los costes en tuberías si los caudales son menores que a la demanda, como los costes energéticos al adaptar el bombeo a las necesidades de presión de cada turno evitando excesos de energía en los hidrantes que necesitan menos presión. Esta estrategia, no se ha tratado en este documento, quedando como desarrollos futuros derivados de esta investigación.

#### ***Procedimiento de reparto directo, alternando turnos en ramales, para dotaciones homogéneas.***

Para obtener el turno al que pertenece un hidrante puede usarse la siguiente generalización:

$$Ht = (HidAA+1) - (NºTurno * / HidAA/NºTurnos/ )$$

Siendo:

$Ht$  Turno al que pertenece el hidrante

$HidAA$  Hidrantes aguas abajo, siendo 0 para el hidrante final

$Nº turnos$  Número de turnos

En la Figura 3 se muestra como de manera sencilla, en una hoja de cálculo, conociendo en número de hidrantes aguas abajo, puede asignarse los turnos de riego automáticamente.

		$= (C4+1)-($B$1*ENTERO(C4/$B$1))$		
	A	B	C	D
1	Nº Turnos	3		
2				
3	Ramal	Hid	HidAA	Turno
4		Hid1	10	2
5		Hid2	9	1
6		Hid3	8	3
7		Hid4	7	2
8		Hid5	6	1
9		Hid6	5	3
10		Hid7	4	2
11		Hid8	3	1
12		Hid9	2	3
13		Hid10	1	2
14		Hid11	0	1
15				
16				

Figura 3. Hoja de cálculo para asignación de turnos en ramales

En el caso de que las dotaciones sean muy heterogéneas en el ramal, los caudales pueden quedar descompensados, por lo que se recomendaría aplicar además, estrategias de repartos de caudales por clasificación de dotaciones.

La asignación de turnos influye en el coste de la red resultante. Para una cierta asignación de turnos hay un coste mínimo, pero podría existir otra asignación distinta que condujera a un coste más económico. La inclusión de la definición de turnos como variable de decisión dentro del proceso de optimización, es un aspecto en que hay pocas contribuciones y que supone una complejidad más allá del alcance de los objetivos de este trabajo. En cualquier caso señalar, que la contrapartida de una red operando a turnos, en que así mismo, los turnos estén optimizados para un mínimo coste, supondrá una excesiva rigidez a la hora de permitir cambios de explotación futuros.

## 2.2 DIMENSIONADO REDES CON FUNCIONAMIENTO A TURNOS

### 2.2.1 Generalidades y datos necesarios

#### **Generalidades:**

Los turnos se supone han sido prefijados antes del proceso de dimensionado, con los criterios y metodologías de establecimiento de turnos que se adapten mejor al sistema a diseñar.

#### **Método de Dimensionado de la Serie Económica Mejorada.**

Consiste en el dimensionado económico de una serie de tuberías, conociendo los caudales de línea y debiendo satisfacerse una única restricción de presión mínima en el extremo aguas abajo de la serie, todo ello bajo la hipótesis de diámetros continuos.

El problema de optimización consiste en minimizar el coste total de la serie de tuberías dado por la expresión función objetivo siguiente, satisfaciendo las restricciones en las pérdidas de carga totales de la serie:

$$\text{Minimizar } C_T = \sum_{j \in S_k} A_j D_j^{a_j} L_j \quad (\text{función objetivo})$$

$$\text{sujeto a } \sum_{j \in S_k} M_j L_j q_j^{m_j} D_j^{-r_j} \leq h_{f,adm} \quad (\text{restricción})$$

Se resuelve por medio del método de los Multiplicadores de Lagrange. Para ello se define una función Lagrangiana auxiliar:

$$\ell(D_j, \lambda_k) = \sum_{j \in S_k} A_j D_j^{a_j} L_j + \lambda_k \left( \sum_{j \in S_k} M_j L_j q_j^{m_j} D_j^{-r_j} - h_{f,adm} \right)$$

cuyas variables independientes son los diámetros de las tuberías  $D_j$  y el multiplicador de Lagrange  $\lambda_k$  correspondiente a la restricción de presión en la serie  $k$ .

El valor de los diámetros  $D_i$  buscados resultara ser (González y Aliod 2003).

$$D_i = \left( \frac{\lambda_k^{conv} r_i M_i q_i^{m_i}}{A_i a_i} \right)^{\frac{1}{a_i + r_i}}$$

Siendo:

$CT$	Coste Total
$A, a$	Coeficientes interpolación precios
$D$	Diámetro tubería
$L$	Longitud tubería
$j$	Línea
$q$	Caudal
$M$	Coeficiente pérdidas de carga
$\lambda_k$	Multiplicador de Lagrange
$H_f adm$	Pérdida de carga admisible

El procedimiento general consiste en dimensionar trayecto de tuberías sucesivamente haciendo uso en primer lugar de las expresiones anteriores que proporcionan el valor del diámetro teórico a aplicar en cada línea de trayecto; posteriormente se normaliza el diámetro de las tuberías del trayecto, y en caso de necesidad, se modifica su valor hasta conseguir que las presiones en los nudos del trayecto sean superiores al valor mínimo establecido como requisito de diseño, para el estado de caudales circulantes que se haya definido.

El criterio para escoger el trayecto inicial de tuberías a dimensionar consiste en calcular la pendiente hidráulica disponible en los trayectos encabezados por nudos de altura piezométrica conocida y terminados en nudos con una restricción de presión mínima. El trayecto que presente el mínimo valor de pendiente hidráulica disponible será el trayecto crítico a dimensionar. El primer trayecto crítico se denomina **Senda Crítica**.

## Datos necesarios para el diseño de una red

De forma resumida, los datos previos necesarios para llevar a cabo el diseño de una red de riego son los mismos que para el dimensionado de la red con funcionamiento a la demanda

-Trazado y cotas.

-Datos de los hidrantes: dotación, requisito de presión, superficie, caudal ficticio continuo ( $qfc$ )

-Caudales de diseño.

-Necesidades de presión

-Materiales a emplear: rugosidades, timbrajes, diámetros interiores y precios

-Velocidades de circulación permitida máxima y aconsejable mínima

-Datos para caso con bombeo:

-Precios de la energía

-Rendimiento estimado para la estación de bombeo

-Volúmenes anuales a elevar.

### 2.2.2 Descripción del algoritmo implementado para el dimensionado de redes con altura de cabecera conocida, con funcionamiento a turnos

El proceso comienza dimensionando cada uno de los turnos, como una red de riego independiente, con un caudal de diseño de cada tramo igual a las suma de las dotaciones asignadas aguas abajo en las tomas abiertas en cada turno, utilizando para ello el Método de Dimensionado de la Serie Económica Mejorada (González y Aliod 2003).

De estos dimensionados se obtienen tantas soluciones para cada tramo como turnos en los que el tramo en cuestión interviene.

A continuación se selecciona el turno crítico, definido como el turno cuya senda crítica sea la de menor pendiente. La senda crítica de menor pendiente de todos los turnos, pasa a considerarse la *senda prioritaria*. Para esta senda prioritaria, se toma como solución los resultados del dimensionado del turno crítico. En el resto de

conducciones, quedan sin asignar los diámetros, entrando como incógnitas en las siguientes optimizaciones turno a turno.

Sucesivamente, se dimensionan de nuevo todos los turnos, forzando los diámetros de los tramos en común con el trayecto de la senda prioritaria anterior, permitiendo así ajustar los diámetros, dado que los trayectos en común tendrán diámetros mayores que los necesarios para alcanzar la presión requerida en los trayectos críticos de segundo orden. El proceso se repite hasta que todas las conducciones han sido fijadas (Figura 4).

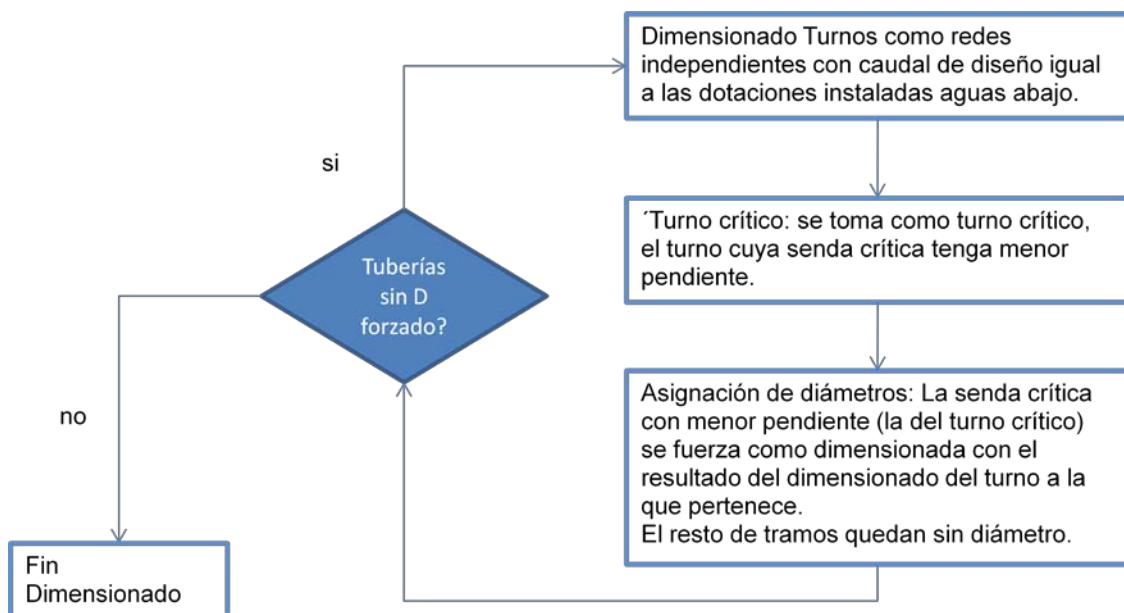


Figura 4: Descripción del algoritmo implementado para el dimensionado de redes con funcionamiento a turnos y altura de cabecera conocida

De esta manera se obtiene un dimensionado que garantiza el buen funcionamiento de los sectores de riego dentro de una parcela, o de los hidrantes en una red a turnos, alcanzando como mínimo, la presión requerida en el trayecto más crítico y reduciendo, en la medida de posible el resto de diámetros, para ajustar la presión en los turnos o sectores no prioritarios, aprovechando los “excesos de diámetro” instalados aguas arriba de un tramo necesario para alimentar otros turnos, economizando la instalación.

Para ilustrar el proceso, a continuación se describe la aplicación paso a paso del algoritmo implementado en una red tipo.

### **Descripción de la aplicación del algoritmo en una red tipo.**

La red tipo considerada, es una red ramificada de altura de cabecera conocida, , con 8 hidrantes pertenecientes a 3 turnos de riego Figura 5. Se ilustra paso a paso con figuras los pasos del proceso de dimensionado. En la Figura 6, viene indicado el código de colores y signos empleado.

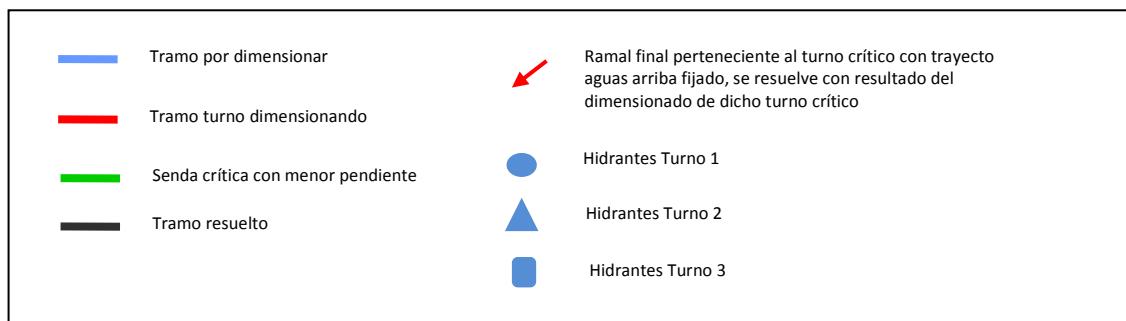


Figura 5. Leyenda código colores y signos para a figuras ejemplo algoritmo dimensionado turnos.

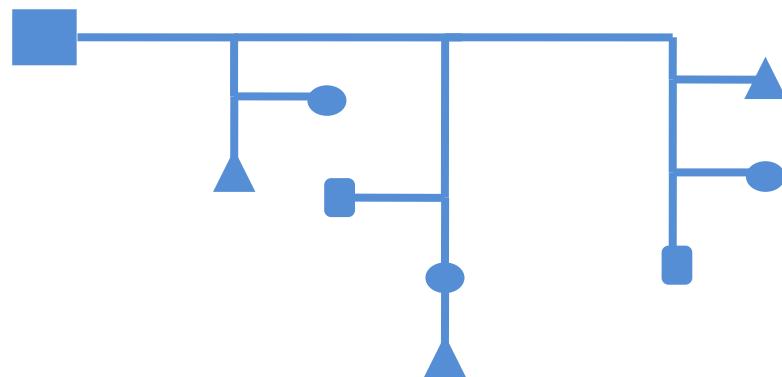


Figura 6. Ejemplo algoritmo dimensionado turnos. Red de riego sin dimensionar

**Paso 1.** Dimensionado de los tres turnos de riego de manera independiente:

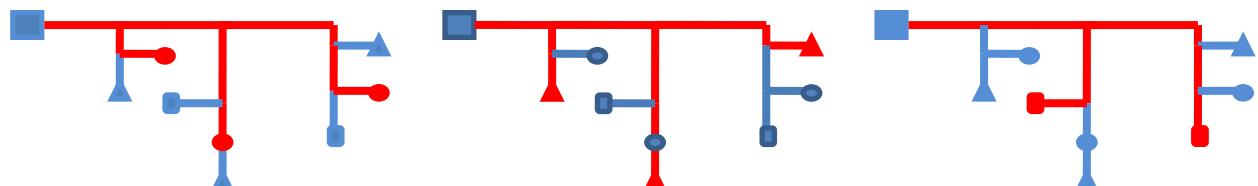


Figura 7. . Ejemplo algoritmo dimensionado turnos .  
Dimensionado de los turnos de manera independiente. 1º Iteración. (3dimensionados)

**Paso2.** Identificación de la senda prioritaria. Se toma como senda prioritaria, la senda crítica con menor pendiente hidráulica de las resultantes de los tres dimensionados. Los tramos pertenecientes a dicha senda prioritaria se fijan como tuberías instaladas con los diámetros y material resultantes del dimensionado del turno correspondiente. Esta será la solución definitiva para esta senda.

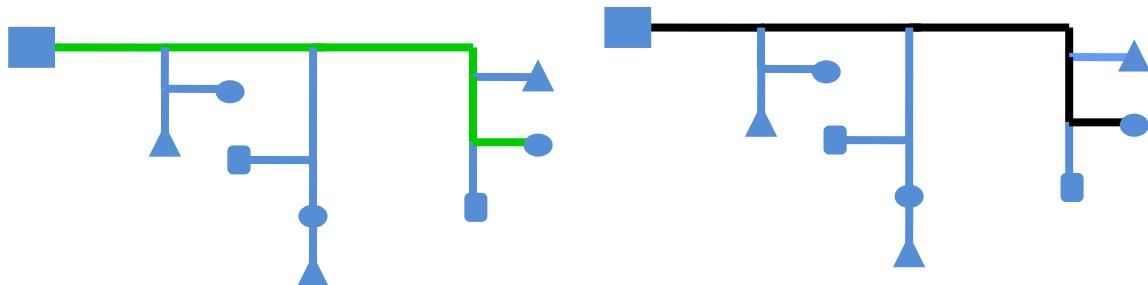


Figura 8. Ejemplo algoritmo dimensionado turnos. Identificación de la senda crítica con menor pendiente y fijación del trayecto como resuelto.

**Paso3.** Dimensionado de los tres turnos de manera independiente, considerando como tuberías instaladas los tramos pertenecientes a la senda prioritaria fijada en el paso anterior

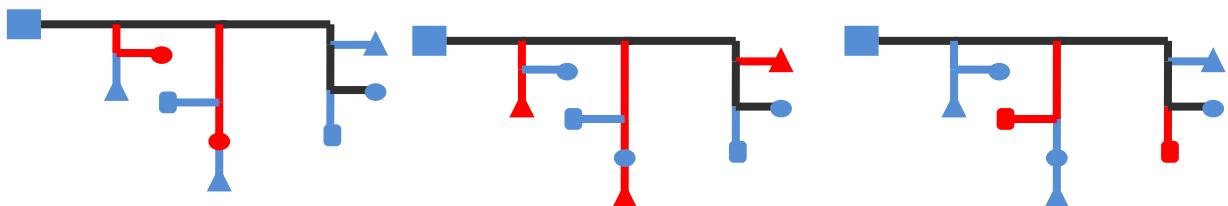


Figura 9. Ejemplo algoritmo dimensionado turnos. Dimensionado de los turnos de manera independiente, considerando como tuberías instaladas las tuberías ya resueltas. 2º Iteración (3 dimensionados)

**Paso4.** Identificación de la nueva senda prioritaria y resolución del tramo. Los ramales finales cuyo trayecto aguas arriba hasta cabecera esté ya fijado, y que pertenezcan al turno crítico (turno al que pertenece la senda prioritaria) quedan resueltos con la solución del dimensionado de dicho turno crítico aunque no pertenezcan a la senda prioritaria. Indicado en la Figura 10, con una flecha roja.

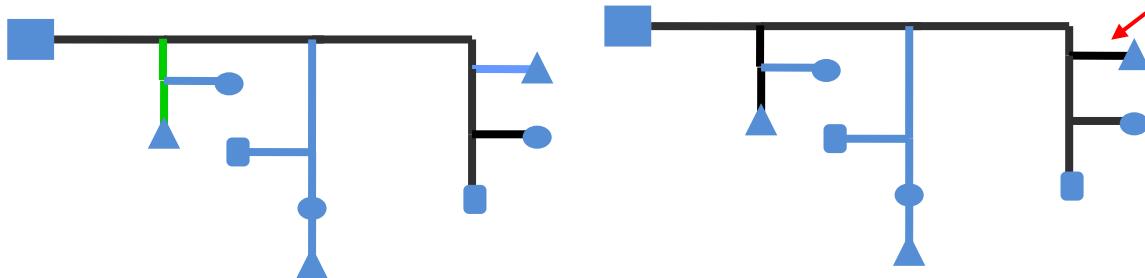


Figura 10. Ejemplo algoritmo dimensionado turnos. Identificación de la senda crítica con menor pendiente y fijación del trayecto como resuelto. Fijación de tramo final perteneciente a turno crítico.

**Paso5.** Dimensionado de los tres turnos de manera independiente, considerando como tuberías instaladas los tramos ya resueltos. Las tuberías que quedan por dimensionar, tienen tramos en común aguas arriba con las sendas prioritarias anteriores, más críticas Estos diámetros mayores que los necesarios para dar la presión mínima a los nodos, producen una ganancia de presión que permite el estrangulamiento de los ramales finales.

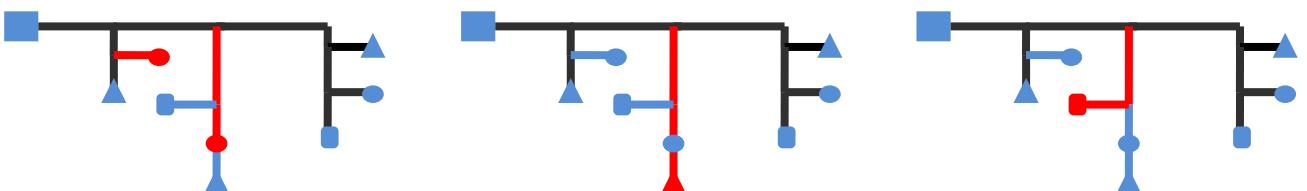


Figura 11. Ejemplo algoritmo dimensionado turnos. Dimensionado de los turnos de manera independiente, considerando como tuberías instaladas las tuberías ya resueltas. 3<sup>a</sup> Iteración (3 dimensionados)

**Paso6.**Identificación de la senda crítica con menor pendiente hidráulica, y fijación de tramo como resuelto:

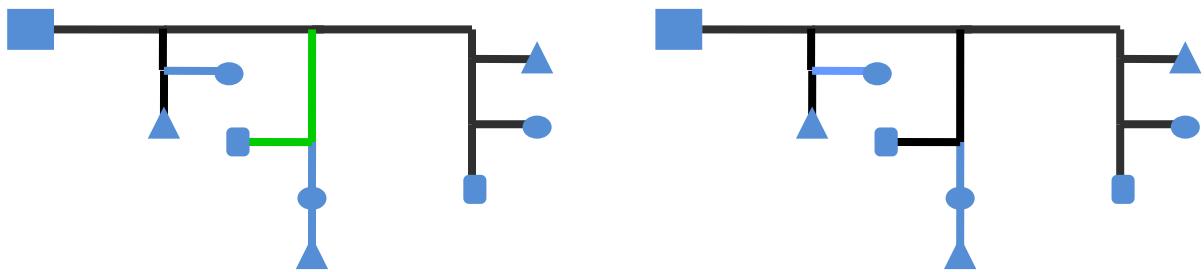


Figura 12. Ejemplo algoritmo dimensionado turnos. Identificación de la senda crítica con menor pendiente y fijación del trayecto como resuelto.

**Paso7.**Dimensionado de los turnos de manera independiente fijando como tuberías instaladas las ya resueltas. Las tuberías que abastecen al Turno 3 están ya solucionadas por lo que dimensiona los tubos “libres” del Turno 1 y 2.

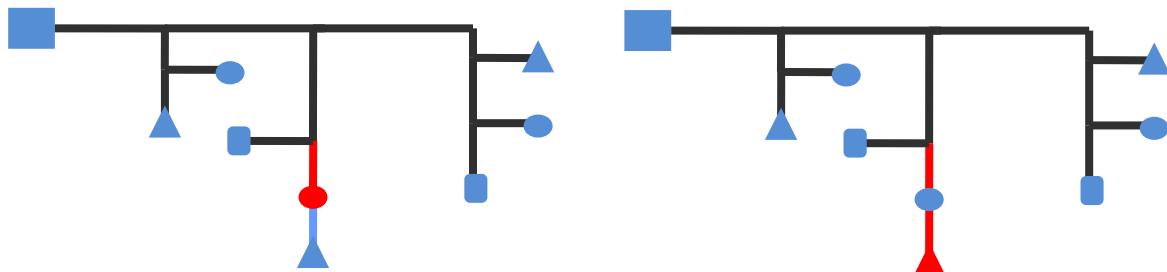


Figura 13. Ejemplo algoritmo dimensionado turnos. Dimensionado de los turnos de manera independiente, considerando como tuberías instaladas las tuberías ya resueltas. 4<sup>a</sup> Iteración (2 dimensionados)

**Paso 8.** Identificación de la senda crítica con menor pendiente hidráulica, y fijación de tramo como resuelto. Todos los tramos están ya fijados, fin del dimensionado.

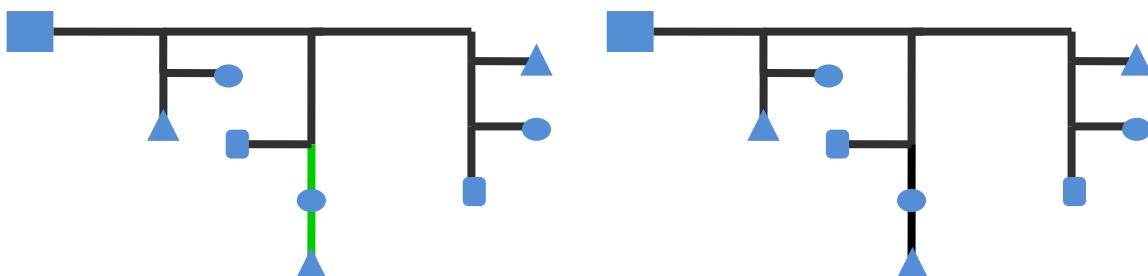


Figura 14. Ejemplo algoritmo dimensionado turnos. Identificación de la senda crítica con menor pendiente y fijación del trayecto como resuelto.

Para resolver esta red se ha realizado 4 iteraciones y un total de 11 procesos de dimensionado utilizando para ello el Método de Dimensionado de la Serie Económica Mejorada (González y Aliod 2003)

#### 2.2.3 Descripción del algoritmo implementado para el dimensionado de redes con altura de cabecera desconocida, con funcionamiento a turnos

El mismo proceso de dimensionado para H cabecera conocida, puede resolver también los **sistemas con altura de cabecera desconocida (bombeo en cabecera con la altura de impulsión grado de libertada a resolver)**, recurriendo a un proceso iterativo que realiza un **barrido de posibles diseños con altura de impulsión distintas** y que obtiene del mínimo de la función de COSTE TOTAL ANUAL. (Figura 15)

El COSTE TOTAL ANUAL en función de la H de impulsión, es la suma de Coste Amortización de Conducciones Anual y el Coste Energía Anual.

En la formulación del diseño óptimo de redes con bombeo directo contemplando el coste energético existe una relación inversa entre el coste de la energía consumida en la campaña de riego y los diámetros de la red elegidos.

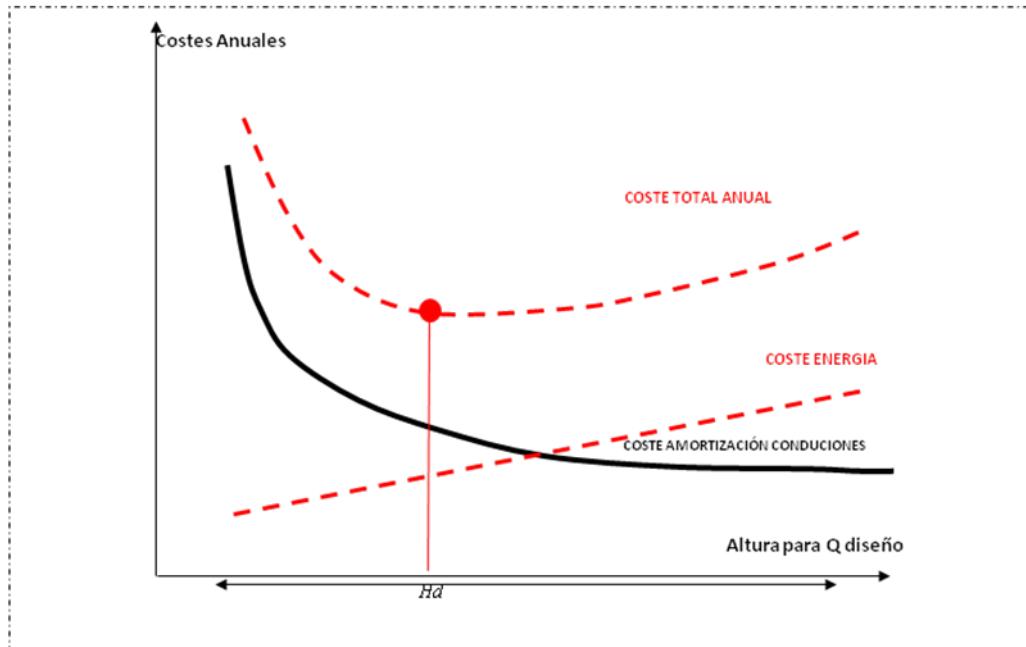


Figura 15. Mínimo en la función Coste Total Anual en función de  $H$  de impulsión

Para encontrar una solución óptima, se ha desarrollado e implementado un algoritmo que evalúa la función de COSTE TOTAL ANUAL, dentro de un rango de alturas de impulsión viables hasta detectar un valor mínimo.(Figura 16).

En primer lugar, se estima una  $H$  mínima necesaria en cabecera asignando. Se calcula el valor mínimo que debe adoptar la presión en cabecera para obtener presiones superiores al valor de consigna en los nodos, considerando que en las tuberías del trayecto se presenta una pendiente hidráulica de referencia mínima (p.e 0.0015). Esta  $H$ , será la altura de partida del barrido.

A continuación se procede a un dimensionado de la red a turnos con altura de cabecera conocida, tal como se describe en el capítulo anterior.

Una vez dimensionada la red, se computa el Coste Amortización Conducciones Anual y el Coste Energía Anual para la  $H$  de cabecera impuesta.

El **Coste Amortización Conducciones Anual** es igual al pago anual de un préstamo basándose en pagos constantes y en una tasa de interés constante, siendo el valor actual, el coste de las conducciones.

El **Coste Energía Anual** se compone de dos términos, uno que contabiliza el consumo energético y otro la potencia contratada.

El término de *Coste Energético Anual*, se estima con la formulación simplificada (*CES*) para cada uno de los turnos, teniendo en cuenta el Volumen particular de cada turno, el total será la suma del Coste Energético Anual de todos los turnos.

$$CES_t = \frac{\rho g \cdot V_t}{\eta} \cdot H_i$$

$$\text{Coste Energético Anual} = \sum CES_t \cdot p$$

Siendo:

$CES_t$	Consumo Energético Anual del turno
$\rho$	Densidad
$g$	Gravedad
$V_t$	Volumen anual elevado en el turno.
$H_i$	Altura de impulsión evaluada
$\mu$	Rendimiento estación de bombeo
$p$	Precio energía ponderado en volumen

Para cada turno, se aplica la siguiente expresión, obteniendo la potencia nominal en función de su  $Q_{Nt}$ .

$$P_t = \frac{\rho g Q_{Nt} H_i}{\eta}$$

Siendo:

$P_t$	Potencia nominal del turno
$Q_{Nt}$	Caudal nominal del turno
$H_i$	Altura de impulsión evaluada
$\mu$	Rendimiento estación de bombeo

El *Coste Potencia Contratada Anual* se calcula en base a la Potencia nominal máxima de los turnos de la red.

$$\text{Coste Anual Potencia Contratada} = P_{max} \times \text{Precio ponderado} \times 12$$

$$\text{Coste Energía Anual} = \text{Coste Energético Anual} + \text{Coste Potencia Contratada Anual}$$

La suma de ambos términos nos dará el **COSTE TOTAL ANUAL** para esta combinación de diámetros y esta  $H$ .

Se vuelve a dimensionar la red, pero imponiendo una altura en cabecera conocida igual a la anterior más un incremento (valor que pueda ser sensible a cambio de resultado), se obtiene el COSTE TOTAL ANUAL para este valor de altura en cabecera incrementado.

Se compara el COSTE TOTAL ANUAL anterior con el obtenido después de incrementar la altura en cabecera, y si el nuevo COSTE TOTAL ANUAL es mayor, significa un cambio de tendencia en la función (pasa a ser creciente) Entre las dos  $H$ , se encuentra un mínimo local. Consideraremos como resultado óptimo, la combinación de diámetros obtenidos antes del incremento de la altura en cabecera que produce el cambio de tendencia. Y como  $H$  de impulsión nominal, la altura sin el incremento que se impuso como altura conocida.

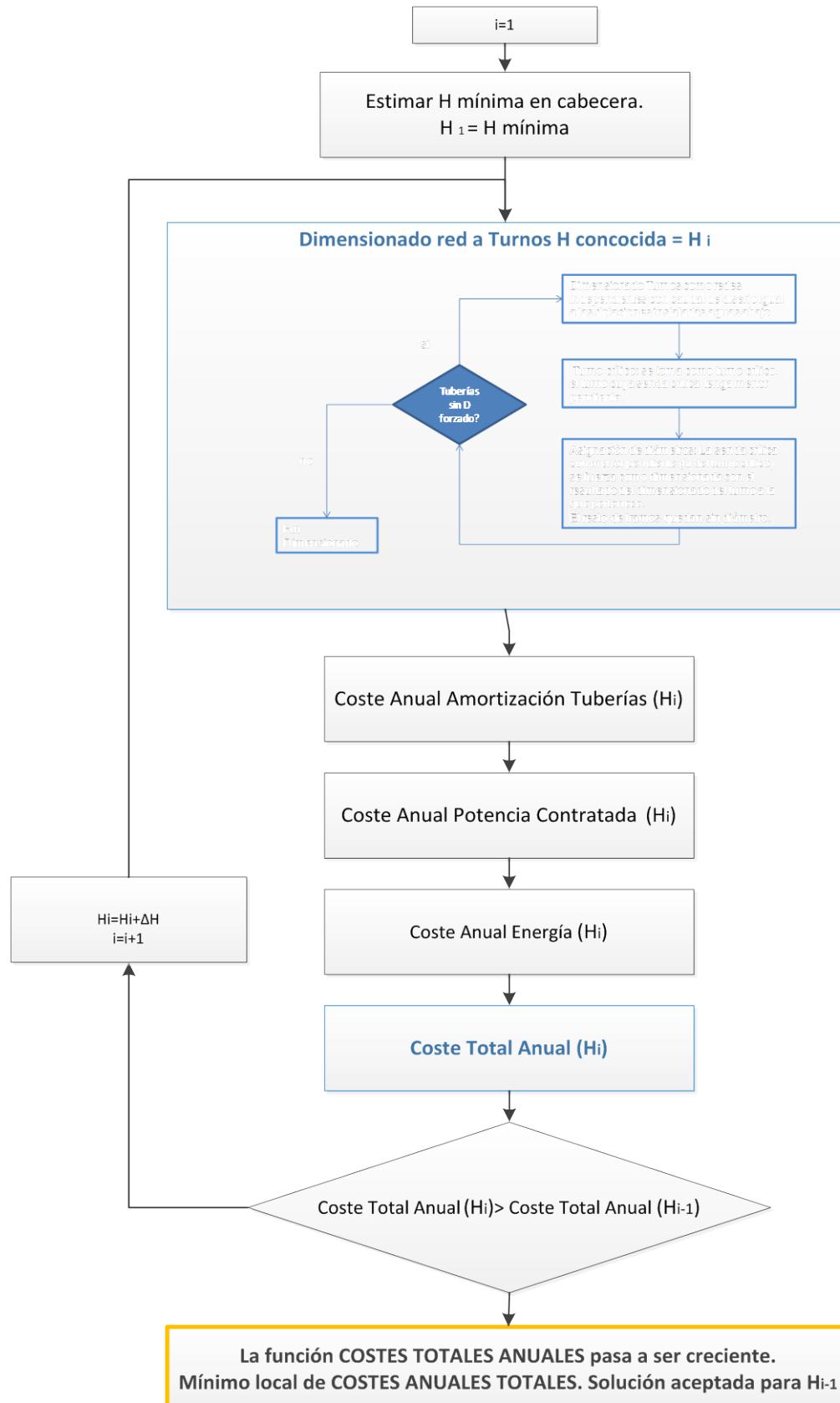


Figura 16. Algoritmo Dimensionado a Turnos H Cabecera Desconocida

## **2.3 VALIDACIÓN DEL DIMENSIONADO: PLANIFICACIÓN Y SIMULACIÓN DE LOS TURNOS**

Una vez dimensionada la red, es importante la verificación de las condiciones de diseño mediante la simulación de turnos y de herramientas de planificación que permitan analizar el comportamiento hidráulico y energético del sistema.

La verificación de presiones en condiciones de diseño en el caso de la red dimensionada con riego a turnos, pasa por simular cada uno de los turnos, y comparar las presiones alcanzadas con las establecidas como consigna.

El objetivo de esta fase, es validar la solución obtenida y proceder a su reajuste local si el proyectista lo considera conveniente. La simulación del comportamiento de cada turno muestra el estado hidráulico-energético completo del sistema en cuanto a presiones alcanzadas en los hidrantes, velocidades en conducciones, caudales circulantes, potencias consumidas para todos los turnos en un momento determinado, y para una evolución temporal del sistema a lo largo del tiempo (planificación de campañas, niveles en balsas, consumo de energía total, etc.).

En la etapa de simulación, puede cuantificarse el efecto de diversos cambios en la construcción de la red, como sería reducción de algún diámetro y la magnitud de las repercusión en la presión obtenida en algunas tomas, que puede ser admisible, permitiendo un posterior ajuste de la red.

También resulta relevante estudiar la flexibilidad de la red en su explotación, analizando el impacto de incluir riegos de hidrantes fuera de turno en un momento dado, de cambiar la asignación de turnos, aumentar las dotaciones, etc.

### 3. IMPLEMENTACIÓN Y DESARROLLO DEL MÉTODO

La solución detallada en el capítulo anterior, se ha implementado desarrollado e integrado en el software existente GESTAR2014.

GESTAR2014 es una herramienta de referencia para la ingeniería hidráulica de redes de riego a presión, desarrollado por el Grupo de Investigación Gestar, del Área de Mecánica de Fluidos, Escuela Politécnica Superior (Huesca), Universidad de Zaragoza.

Los algoritmos de cálculo y la interfaz gráfica (Figura 17) se han desarrollado en una serie de módulos en lenguaje de programación MS Visual Basic 6. Estos módulos interactúan con los ya existentes de dimensionado óptimo de redes y con la librería de cálculo Netcal18.dll (desarrollada en lenguaje Fortran).

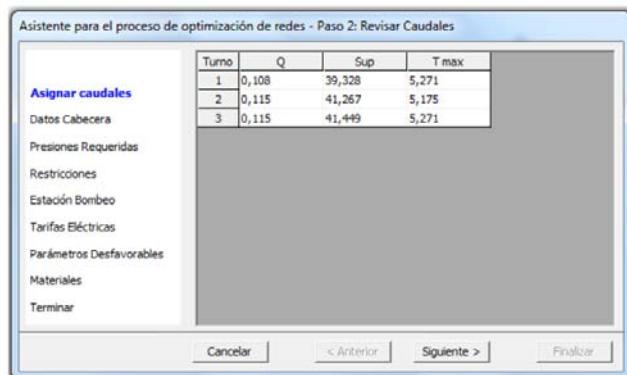


Figura 17: Herramienta de definición de turnos de riego.

Además del algoritmo de dimensionado a turnos, se han implementado e integrado en GESTAR2014 soluciones adaptadas a este proceso, incorporando nuevas herramientas de definición de turnos: especificación del número de turno, duración y definición de aspersores o hidrantes pertenecientes a turnos, planificación y simulación de los mismos (Figura 18)

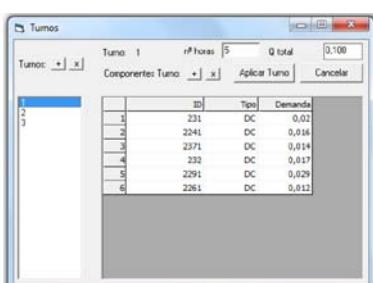


Figura 18: Herramienta de definición de turnos de riego

En el CD adjunto a este documento., está disponible la aplicación GESTAR2014, para su instalación y uso en modo EDUCACIONAL. En el APENDICE A. Manual de Uso, puede consultarse el uso de las herramientas implementadas y que son objeto del presente trabajo.

## 4. EJEMPLO DE APLICACIÓN DE LAS ESTRATEGIAS Y HERRAMIENTAS DESARROLLADAS PARA DIMENSIONADO A TURNOS Y COMPARACIÓN DE RESULTADOS CON DIMENSIONADO A LA DEMANDA.

### 4.1 CASO DE ESTUDIO: RED “MEDIANAWORKINGCASE”

El caso de estudio corresponde al dimensionado a turnos de una red de riego de distribución general, previamente dimensionada para un funcionamiento a la demanda. Para validar el algoritmo se procede a dimensionar la red operando a la demanda y funcionando a turnos, para comprobar a continuación los costes relativos y el buen funcionamiento hidráulico del sistema.

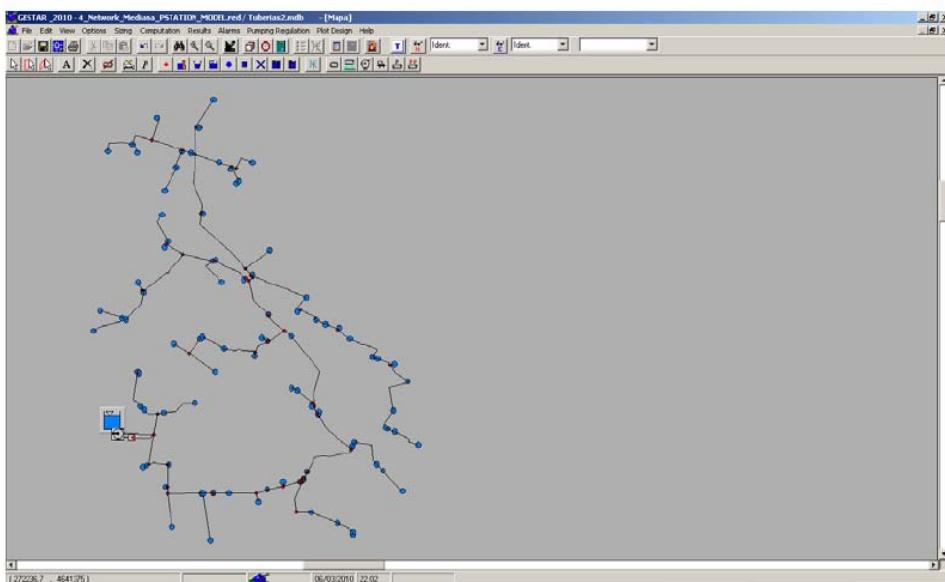


Figura 19. Red “MedianaWorkingCase” modelizada en GESTAR2014

La red “MedianaWorkingCase” (Figura 19) consta de 95 hidrantes, y abastece a una superficie de 595,8 ha. La dotación anual es de 7.482 m<sup>3</sup>/ha. Se alimenta de un bombeo directo con cota y las presiones de consigna en los hidrantes se calculan a partir de 45 mca antes del hidrante, más la diferencia de cota máxima dentro de la parcela (parcelas con cobertura por aspersión). Los materiales a emplear en el dimensionado son PRFV y PVC molecular. El *Caudal Ficticio Continuo* de la zona se considera 0.75 l/s ha y día, y la *Jornada Efectiva de Riego*, 15 h.

La topología y datos previos han sido modelizados al detalle en la aplicación GESTAR2014.

## 4.2 DATOS PARA EL DIMENSIONADO

### 4.2.1 Caudales de diseño

$Qfc$ : 0.75 l/s ha y día

JER 15 horas (24 horas- 8 horas periodo punta- 1 hora eventualidades)

*Garantías de suministro* de la formulación de Clément para dimensionado a la demanda:

1 a 4 hidrantes: acumulado

5 a 14: Clement GS 99%

15 en adelante: Clement GS 95%

### 4.2.2 Parámetros para el dimensionado

Presión mínima en nodos de unión. 3 mca

$V_{min}$  0,5 m/s,  $V_{max}$ = 2,5 m/s

Amortización 25 años. Tasa descuento: 4%

Incremento longitud pérdidas singulares distribuidas: 5%

Margen de presión timbrado: 10 mca.

#### 4.2.3 Materiales

Base de datos por defecto de la aplicación, "TUBERIAS2.mdb"

Materiales : PRFV (rugosidad 0.01 mm) y PVC molecular (rugosidad 0.007mm)

TUB_COMERC		
Referencia	Dinterior	Precio/ml
400_(PRFV-10)	400	74,62
500_(PRFV-10)	500	114,86
600_(PRFV-10)	600	138,22
700_(PRFV-10)	700	171,76
800_(PRFV-10)	800	209,33
900_(PRFV-10)	900	250,59
1000_(PRFV-10)	1000	313,68
1200_(PRFV-10)	1200	417,76
1400_(PRFV-10)	1400	617,01
400_(PRFV-16)	400	85,45
500_(PRFV-16)	500	116,5
600_(PRFV-16)	600	142,26
700_(PRFV-16)	700	181,76
800_(PRFV-16)	800	233,55
900_(PRFV-16)	900	259,7
1000_(PRFV-16)	1000	317,81
1200_(PRFV-16)	1200	459,18
1400_(PRFV-16)	1400	690,95
400_(PRFV-20)	400	88,45
500_(PRFV-20)	500	136,55
600_(PRFV-20)	600	183,77
700_(PRFV-20)	700	228,28
800_(PRFV-20)	800	287,43
900_(PRFV-20)	900	343,16
1000_(PRFV-20)	1000	443,24
1200_(PRFV-20)	1200	624,66
400_(PRFV-6)	400	69,21
500_(PRFV-6)	500	96,39
600_(PRFV-6)	600	135,85
700_(PRFV-6)	700	169,79
800_(PRFV-6)	800	192,59
900_(PRFV-6)	900	233
1000_(PRFV-6)	1000	290,65

TUB_COMERC		
Referencia	Dinterior	Precio/ml
1200_(PRFV-6)	1200	414,78
1400_(PRFV-6)	1400	509,75
125_(PVCM-10)	115,4	10,93
140_(PVCM-10)	129,2	12,1
160_(PVCM-10)	147,6	13,8
200_(PVCM-10)	184,6	18,72
250_(PVCM-10)	230,8	25,24
315_(PVCM-10)	290,8	35,07
400_(PVCM-10)	369,4	55,2
500_(PVCM-10)	461,8	85,76
125_(PVCM-16)	110,2	13,51
140_(PVCM-16)	123,4	15,3
160_(PVCM-16)	141	17,95
200_(PVCM-16)	176,2	25,31
250_(PVCM-16)	220,4	35,45
315_(PVCM-16)	277,6	53,23
400_(PVCM-16)	352,6	82,54
500_(PVCM-16)	440,6	130,41

Tabla 1. Timbajes, diámetros y precios de los materiales para el dimensionado

#### 4.2.4 Datos bombeo directo

Rendimiento global: 70%

Dotación anual: 7.482 m<sup>3</sup>/ha año.

Distribución de volúmenes y tarifas: Se aplican precios de la energía ponderados en volumen, simulando un periodo con precio plano, en el que el recargo será 0 y le corresponderá el 100% del volumen. El método de ponderación de los precios viene descrito en el APÉNDICE A. Manual de uso, en el PASO 7 del asistente.

Precio Base del kWh= **0,060955** €/kWh

Precio: Base Potencia Contratada =**0,074833** €/kW mes y periodo

	P1	P2	P3	P4	P5	P6
<b>Reparto Volumen (m<sup>3</sup>)</b>	<b>4.457.783</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
Reparto Volumen (%)	100	0	0	0	0	0
Energía Recargos (%)	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>Reparto Potencia (%)</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
Potencia Recargos (%)	0	0	0	0	0	0

## 4.3 METODOLOGÍA DIMENSIONADO DE LA RED CON FUNCIONAMIENTO A LA DEMANDA

### 4.3.1 Caudales de diseño (Clement)

Para el dimensionado de la red con funcionamiento a la demanda, se han tomado como caudales de diseño, los caudales resultantes de aplicar la formulación de Clément (Clèment 1966)

Los datos empleados el cálculo de los caudales de diseño son los detallados en el apartado 4.2.1 de este capítulo

Las dotaciones corresponden a los valores de proyecto originales asignados para funcionamiento a la demanda (APENDICE B. Tabla B1)

Los caudales resultantes para cada tramo, se presentan en el APENDICE B Tabla B4 .

Como resultado general tenemos:

$Q_d$  en cabecera= 0.850 m<sup>3</sup>/s

$Q$  instalado 1.726 m<sup>3</sup>/seg

Simultaneidad de Diseño 50 %

### 4.3.2 Dimensionado de la red “MedianaWorkingCase” con funcionamiento a la demanda

Una vez asignadas las dotaciones y los turnos de riego, se procede a cargar esta información en el modelo de red de la aplicación GESTAR2014.

GESTAR2014 dispone de herramientas para el proceso de dimensionado de la red con funcionamiento a la demanda. El módulo de optimización aplica rutinas de dimensionado óptimo de redes ramificadas que incorporan el Método de la Serie Económica Mejorada (González y Aliod, 2003).

Siguiendo el asistente según se indica en el manual de usuario (“ManualGESTAR2014.pdf”), con los datos presentados en este capítulo, en el apartado 4.2 DATOS PARA EL DIMENSIONADO, obtendremos el dimensionado de la red.

Una vez terminado el proceso, GESTAR2014 genera un fichero con los resultados del dimensionado e importará los diámetros y materiales de la solución, al

modelo de la red. EL CD adjunto a este documento contiene los ficheros que genera la aplicación con los resultados. En el APENDICE C. Mediciones, se presentan los diámetros y costes por tramo obtenidos.

El resumen de resultados del dimensionado es el siguiente:

H(m)	80.45
Tuberías €	1.490.41,63
Coste Energetico Anual€	90.274,67
Coste Amortización Tub€	89.075,77
<b>TOTAL TOTAL ANUAL€</b>	<b>181.750</b>

**Tabla 2. Resumen resultados dimensionado a la demanda**

#### **4.3.1 Verificación del diseño**

Para la verificación del sistema de red funcionando a la demanda, se han simulado 300 escenarios aleatorios al 50 % de apertura de hidrantes (*Simultaneidad de Diseño* de la red), tomando como presión a comparar con la presión de consigna para obtener los márgenes de presión, la calculada como media estadística de todas las simulaciones. En ningún caso, se contabilizan valores de márgenes de presión negativos.

Las presiones mínimas para todos los hidrantes, son tolerables y las máximas no superan los timbrajes instalados. (APÉNDICE D. Resultados de las simulaciones. Tabla D1)

## 4.4 METODOLOGÍA DIMENSIONADO DE LA RED “MEDIANAWORKINGCASE” CON FUNCIONAMIENTO A TURNOS

### 4.4.1 Asignacion de turnos previa al dimensionado en la red “MedianaworkingCase”

Dado que la *JER* es reducida (15 horas) para una dotación anual elevada (7.482 m<sup>3</sup>/ha año.) e hidrantes con probabilidades de apertura altas, tomaremos como planteamiento inicial el número de turnos mínimo (*Nº Turnos* = 2).

La organización del riego en un número elevado de turnos para *JER* reducidas con volúmenes de agua elevados, requeriría dotaciones en los hidrantes por encima de lo usual para las instalaciones en la parcela a instalar. Además unas dotaciones excesivamente elevadas, podrían tener un efecto contrario al objetivo de establecimiento de turnos, acumulando caudales instantáneos en el turno, por encima del que resultaría con un riego a la demanda.

$$JER_{t=} JER/Nº\ Turnos = 15/2 = 7.5\ horas$$

Ajustamos dotaciones para que *T* necesario de riego del hidrante, no supere 7.5 horas(*JER<sub>t</sub>*), indicando un *Tnec* de riego de 7h, y así dejar 0.5 de margen.

Así pues, la Dotación teórica (m<sup>3</sup>/s) será:

$$Dt_i = \frac{Qfc * Sup_i * 24h * 3600s}{T_i} = \frac{0.75 * Sup_i * 24h * 3600s}{7}$$

Una vez calculada la *Dt<sub>i</sub>*, se “normaliza” o ajusta a tamaños de hidrante estándar con el siguiente criterio:

Dotación Teórica < ≈0.006 ---- Dotación Ajustada = 0.006

Dotación Teórica < ≈0.013 ---- Dotación Ajustada = 0.012

Dotación Teórica <≈0.017 ---- Dotación Ajustada = 0.016

Dotación Teórica <≈0.019 ---- Dotación Ajustada = 0.018

Dotación Teórica <≈ 0.023 ---- Dotación Ajustada = 0.022

Dotación Teórica <≈0.027 ---- Dotación Ajustada = 0.026

Dotación Teórica <≈0.030 ---- Dotación Ajustada = 0.030

Dotación Teórica >≈0.030 ---- Dotación Ajustada = 0.032

Las  $Dt_i$  que ronden los valores límite, se les asignará el valor de dotación ajustada correspondiente al del límite. En estos casos, el tiempo necesario de riego, superará ligeramente las 7 horas impuestas, no causando incumplimiento de tiempos que se dejó un margen de 0.5 h ( $JERT=7.5$  h)

A continuación, se obtienen los nuevos  $T_{nec}$  de riego de los hidrantes, para la  $D_N$  impuesta según :

$$T_{nec_i} = \frac{Qfc * Sup_i * 24h * 3600s}{D_{Ni}}$$

Para agrupar los hidrantes en los turnos equilibrando caudales, se han clasificado los hidrantes por tamaño (dotación), distribuyendo el grupo de hidrantes del mismo tamaño entre los dos turnos de manera equitativa.

Posteriormente, de manera visual en el modelo de la red, se han supervisado los ramales con más hidrantes para comprobar que no se acumula exceso de caudal en alguno de los turno

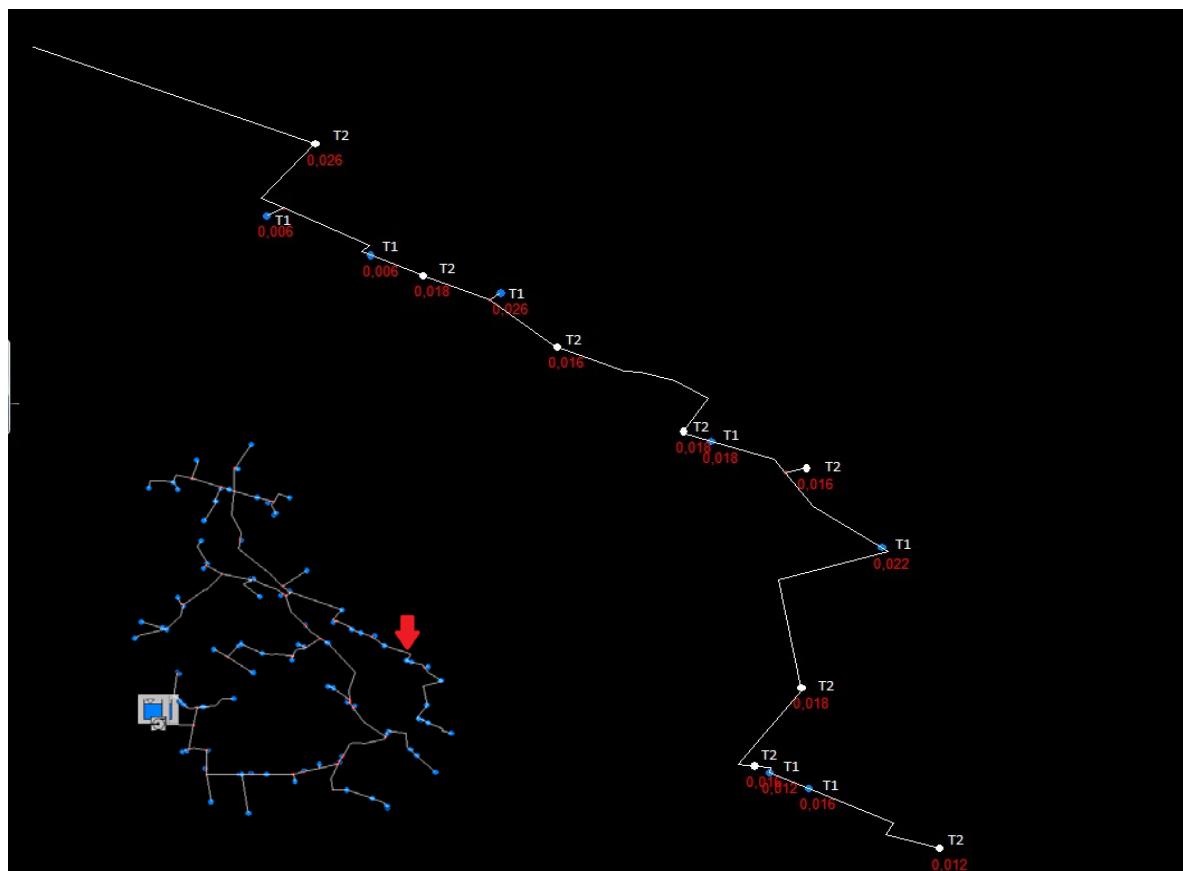


Figura 20. Ramal con hidrantes repartidos en turnos de manera alterna y equilibrando caudales

Según la asignación inicial que reparte los hidrantes por tamaño sin tener en cuenta la posición, el ramal que se muestra en la Figura 20, acumulaba hidrantes continuos en el mismo turno y acumulaba exceso de caudal, por lo que se reasignó nuevamente los turnos alternando turnos y tanteando caudales. En la Figura 20, el dato en rojo corresponde a la dotación en m<sup>3</sup>/s del hidrante, en blanco el turno al que pertenece. Los hidrantes del Turno 1 en el ramal se representan en azul y los hidrantes del Turno 2 en blanco.

La aplicación de la metodología de asignación de Dotaciones teóricas y cálculo de Tiempos necesarios de riego se ha implementado mediante una hoja de cálculo (APÉNDICE B: Dotaciones. Tabla B1). En la columna turnos se indica el reparto definitivo de los hidrantes en los turnos. En la tabla B3 de mismo apéndice, se listan los caudales circulantes para cada turno.

EL caudal instalado total es de 1.666 m<sup>3</sup>/s , repartido en 0.836 m<sup>3</sup>/s en el turno 1 y 0.93 m<sup>3</sup>/s en el turno 2:

Q instalado	1,666
Q (m <sup>3</sup> )T1	0,836
Q (m <sup>3</sup> ) T2	0,83

Cabe destacar que a las parcelas pequeñas les corresponde una dotación teórica muy baja, por debajo de la Dotación normalizada o ajustada mínima. Estos hidrantes tienen tiempos necesarios de riego muy por debajo del *JERT*, esto les confiere un elevado grado de libertad a la hora de abrir, aunque para la estimación de caudales de diseño para el dimensionado, esto no se tenga en cuenta.

#### 4.4.2 Dimensionado de la red “MedianaWorkingCase” con funcionamiento a turnos

Una vez asignadas las dotaciones y los turnos de riego, se procede a cargar esta información en el modelo de red de la aplicación GESTAR2014.

GESTAR2014 dispone de herramientas propias para este proceso. La carga de datos de hidrantes viene detallada en el manual de usuario “ManualGestar2014.pdf” que se incluye en el instalador, o bien puede descargarse en la página web [www.gestarcad.com](http://www.gestarcad.com).

Con el modelo actualizado, se procede al dimensionado con los datos presentados en este capítulo, en el apartado 4.2 DATOS PARA EL DIMENSIONADO.

Una vez terminado el proceso, tal como se describe en el apartado específico de dimensionado a turnos del manual de usuario (APÉNDICE A: Manual de uso)

,GESTAR2014 nos mostrará la  $H$  de impulsión de los equipos de bombeo, el Coste Energía Anual y la tabla de mediciones con los materiales y diámetros adoptados para cada tramo, así como el coste total de las conducciones. Las mediciones de tuberías resultantes pueden consultarse en el APENDICE C . Mediciones

El resumen de resultados del dimensionado es el siguiente:

H(m)	76,17
Tuberías €	1.391.548,73
Coste Energetico Anual	85.380,31
Coste Amortización Tub	89.075,77 €
<b>TOTAL TOTAL ANUAL</b>	<b>174.456,08 €</b>

Tabla 3. Resumen resultado dimensionado a turnos

#### 4.4.3 Verificación del diseño

Para verificar que la solución adoptada, garantiza las presiones en los hidrantes para todos los turnos y cumple el rango de velocidades en las conducciones podemos simular cada uno de los turnos con la herramienta de simulación que integra GESTAR2014 y cuyo uso viene descrito en el manual de usuario.

En esta fase, puede refinarse el diseño, retocando algún diámetro de algún ramal atendiendo a criterios particulares, y verificando de manera inmediata que el cambio no compromete los requisitos del servicio.

Los resultados de las simulaciones se visualizan en la ventana del mapa GESTAR2014 (márgenes de presión, presión, velocidades etc...) y también se exportan a tablas de MS Excel .

En las tablas de resultados de simulación de los turnos (APENDICE D, Tabla D2), comprobamos la ausencia de Márgenes de Presión negativos, entendiendo como Margen de Presión la diferencia entre la Presión alcanzada en el hidrante y la Presión de Consigna del mismo.

En este caso, no se consideran valores estadísticos, la condición de diseño es una apertura del 100% dentro del turno.

## 4.5 RESULTADOS

Con un funcionamiento a turnos, y dimensionando las conducciones con la herramienta implementada en GESTAR2014 en el caso de estudio “MedianaWorking Case”, se consigue un ahorro de 3% en la inversión de tuberías. y un 5% en el coste energético del bombeo, traduciéndose en un coste menor anual total del 4%. (Tabla 4)

Los resultados del dimensionado de la red, para ambas hipótesis de funcionamiento (a la demanda y a turnos) se reflejan en la APÉNDICE C: Mediciones. Tabla C1)

Se observa que para la tubería principal de cabecera, en ambos dimensionados, se obtiene el mismo diámetro, PRFV-16DN 700 . En el comienzo de la red no varían los resultados del diseño a turnos o la demanda. Al tratarse de una red con una *JER* reducida, típica de las redes con bombeo directo, con probabilidades de apertura de los hidrantes altas, imposibilita el reparto de caudales más fraccionado en turnos. Esto hace, que no se reduzca sensiblemente el caudal en cabecera respecto del obtenido a la demanda. Aún así, la organización lógica del riego en los ramales y la efectividad del método de diseño implementado, evita acumulación de caudales y optimiza los diámetros, resultando un sistema tanto en inversión como en consumo energético más económico.

	DEMANDA	TURNOS	Ahorro
H (m)	80,45	76,17	
Q diseño(m <sup>3</sup> /s)	0,85	0,83	
Q instalado(m <sup>3</sup> /s)		1,66	
Potencia (kw)	959,57		
Coste Conducciones €	1.429.041,63	1.391.548,73	3%
Coste Amortización Anual€	91.475,76	89.075,77	3%
Coste Energía Anual €	90.224,67	85.380,31	5%
<b>COSTE TOTAL ANUAL€</b>	<b>181.700,43</b>	<b>174.456,08</b>	<b>4%</b>

Tabla 4. Comparativa resultados dimensionados a la demanda y a turnos

Los ahorros en inversión pueden alcanzar hasta el 20% en redes con jornadas efectivas de riego superiores y probabilidades de apertura de hidrantes mayores, como en el caso de estudio “WorkedExample” desarrollado como trabajo previo a este informe (García Asín, S et al 2011).

## 5. CONCLUSIONES

Se ha implementado y validado un algoritmo que permite superar las simplificaciones y limitaciones que otras estrategias de diseño a turnos adolecen. El algoritmo, es general y flexible, permitiendo considerar diferentes criterios de diseño, por lo que aumenta la operabilidad y eficacia en la optimización de diámetros en cualquier tipo de red que sirva caudales determinados por turnos preestablecidos, ya sea en el interior de una parcela, como en la red de distribución general.

Las redes con Jornadas Efectivas de Riego extensas (redes alimentadas desde balsa generalmente) permiten el establecimiento de más número de turnos, fraccionando el caudal instalado resultando diseños con menor inversión en tuberías que los obtenidos para redes con funcionamiento a la demanda para el mismo servicio. Este efecto será más significativo en los casos en los que el caudal de diseño para funcionamiento a la demanda, ofrezca garantías de suministro elevadas, superando en gran medida el caudal continuo de la red.

En el caso de redes con Jornadas Efectivas de Riego reducidas (redes alimentadas por bombeo directo), difícilmente si las probabilidades de apertura de los hidrantes son altas será posible reducir el caudal de diseño obtenido para un diseño de riego a la demanda, por la no disponibilidad de tiempo para distribuir los volúmenes en caudales más bajos. Las diferencias en la inversión serán menores, y vendrán dadas mayormente por el reparto lógico de los turnos en los ramales y por el efecto de aprovechamiento de diámetros mayores aguas arriba en los nodos no críticos propio del algoritmo desarrollado.

La optimización de las pérdidas de carga hace que las alturas de impulsión resultantes sean más favorables, repercutiendo también en la reducción de consumos energéticos.

Gracias al control de quien y cuando se riega, se garantiza el uso de los equipos de bombeo a rendimientos adecuados y en los períodos más baratos, permitiendo optimizar no solo el consumo, sino también el coste energético.

Si las necesidades de presión entre los turnos son diferenciadas, puede obtenerse un ahorro añadido importante adaptando las consignas de impulsión de la estación de bombeo y así evitar excesos de consumo de energía en los turnos menos exigentes. De ahí la importancia de las nuevas herramientas de análisis hidráulico y control de la estación de bombeo y de la red de manera conjunta.

Como investigación futura y continuación del presente trabajo de investigación se está adaptando el algoritmo actual para que solucione el dimensionado óptima con funcionamiento a turnos con altura de cabecera desconocida variable de en cada turno.

El funcionamiento organizado en turnos de las redes de riego compromete la adaptabilidad de la capacidad de transporte y de uso de la red ante cambios futuros, pero garantizan el funcionamiento al cien por cien, bajo las condiciones de diseño. El caudal circulante en una red funcionando a turnos no se alejará de su caudal de diseño (cercano al caudal continuo de la red), evitando picos de caudal producidos por la aleatoriedad de la demanda.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

Alduan A & Monserrat J. (2008). *Estudio comparativo entre la organización a la demanda y por turnos en redes de riego a presión*. XXVI Congreso Nacional de Riegos Huesca.

Arviza J; Martínez F; Llopis E (2003). *Propuesta de una metodología para la distribución óptima de tomas en sectores en redes de riego a presión con organización por turnos*. XXI Congreso Nacional De Riegos Mérida.

Clément, R. (1996). *Calcul des débits Dans les réseaux d'irrigation fonctionant a la demande*. La Houille Blanche, n.5.

IDAE. (2008). *Protocolo de auditoría energética para las comunidades de regantes*. Ministerio de Industria.

García Asín, S; Aliod R; Paño J; Seral, P. (2010) .*Nuevas herramientas implementadas en Gestar2010 para el diseño y análisis de redes de distribución en parcela*. Actas del XXVIII Congreso Nacional de Riegos León.

García Asín, S; Ruiz Cebollada, R; Aliod R; Paño J ; Seral, P; Faci, E (2011) .*Nueva herramientas implementada en Gestar2010 para el dimensionado de tuberías principales en redes de distribución en parcela y redes de distribución general a turnos*. Actas del XXIX Congreso Nacional de Riegos Córdoba.

González, C. & Aliod, R. (2003). *Mejoras en el método de la serie económica para el dimensionado de redes ramificadas*. Actas del XXI Congreso Nacional de Riegos. Mérida (Badajoz).

Labey, Y; Olson, MA; Galand, A; Tsioritis, N; (1988). *Design and optimization of irrigation distribution networks*. FAO Irrigation and Drainage paper. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Manuales de uso:

Diopcal, descripción y uso de la aplicación. Grupo de Investigación y Desarrollo de Modelos Hidráulicos. Departamento de Ingeniería Hidráulica. Universidad Politécnica de Valencia.

Manual GESTAR2014. Grupo de Investigación GESTAR.. Área de Mecánica de Fluidos. Escuela Politécnica Superior Huesca. Universidad de Zaragoza. [www.gestarcad.com](http://www.gestarcad.com).

## APENDICES

## **APENDICE A: Manual de Uso**

---

## I. ASIGNACION DE TURNOS DE RIEGO

Previo a la optimización de una red a turnos, deberá asignarse a cada uno de los hidrantes que constituyen la red un turno de riego. Para ello, se facilitan al usuario diversos procedimientos que a continuación se describen.



En la barra de herramientas se encuentra el ícono Al pulsar en este ícono, mediante la ventana de la Figura A.1, el usuario deberá generar el número de turnos necesario para la red a estudio (según el criterio del proyectista), precisando el *número de horas* de riego consideradas para cada turno. Del mismo modo, esta herramienta será de gran utilidad para la asignación del mismo turno de riego a varios hidrantes (*nodos de demanda conocida; hidrantes regulador*). La operativa de la ventana (Figura A.1) se describe a continuación.

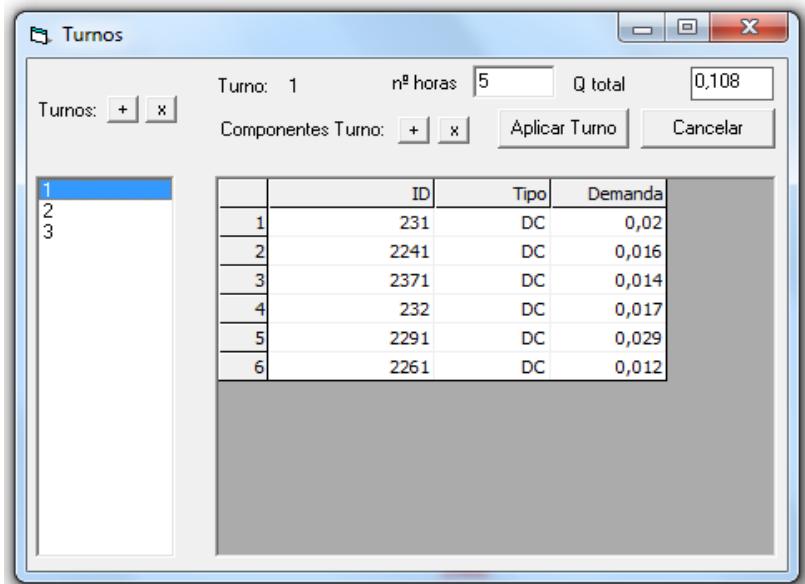


Figura A.1. Ventana *Turnos*.

- ◆ **Turnos.** Junto al enunciado *Turnos*, se habilitan dos iconos, que permiten la adición de nuevos turnos () , quedando disponible en el listado en la parte izquierda de la ventana y cuya denominación seguirá el orden correlativo o su eliminación () , tras su selección desde el listado. Las modificaciones en este listado con estos iconos, quedarán siempre guardadas al cerrar la ventana mediante el aspa (esquina superior derecha).
- ◆ **Turno.** Desde esta opción, se muestra cuál es el número de turno que ha sido seleccionado en el listado, quedando editable para su configuración. En la tabla se especificarán los componentes de ese *Turno*.
- ◆ **Nº horas.** En el cuadrante *nº horas*, el usuario precisará el *número de horas* de riego que el proyectista adjudica al *Turno* seleccionado (se admiten números decimales). Este valor será tenido

en cuenta en el caso de que se lleven a cabo simulaciones en *Evolución Temporal a Turnos* (ver pág. **¡Error! Marcador no definido.**).

- ◆ **Q total.** GESTAR facilita en esta casilla, la suma de *caudales de demanda* de los hidrantes incluidos en el *Turno*.
- ◆ **Componentes Turno.** a través del ícono *Turnos* a la ventana de la Figura A.1. Se habilitan dos iconos, que permiten la adición de nuevos hidrantes a ese turno (  ), o su exclusión (  ). Para su adicción, será necesario realizar una *Selección Múltiple* del hidrante/hidrantes a incluir en el Turno (*rectangular*, ver pág. **¡Error! Marcador no definido.**, o *irregular*, ver pág. **¡Error! Marcador no definido.**). Para excluir un hidrante del turno, bastará con seleccionarlo en la tabla y pulsar el botón .
- ◆ **Aplicar turno.** Las especificaciones del turno en selección quedan grabadas, y cargadas en la red.
- ◆ **Cancelar.** Se cierra la ventana *Turnos* sin aplicar a la red las especificaciones realizadas para el turno activo.

#### Asignación individual

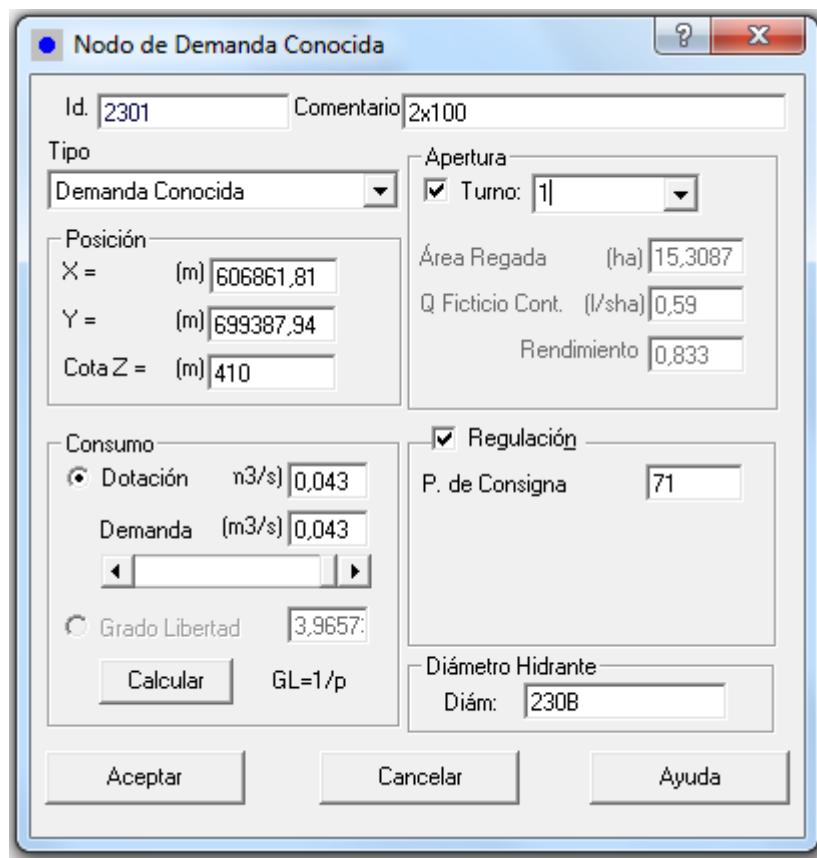


Figura A.2. *Nodo de Demanda Conocida*. Opción *Turno* activa.

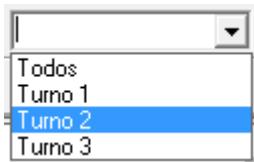
Al realizar una *selección individual* (ver pág. **¡Error! Marcador no definido.**) de un *nodo de Demanda Conocida* o de un *nodo Hidrante Regulador*, el usuario podrá realizar una asignación particular para ese *nodo* del turno, tras activar la opción *Turno* del cuadrante *Apertura* (Figura A.2).

Por defecto, mediante el desplegable el usuario tendrá a su disposición dos turnos que asignar al *hidrante*. Para generar un mayor número de turnos en la red abierta, el usuario deberá hacerlo

previamente mediante el ícono *Turnos*  de la barra de herramientas (Figura ), quedando entonces seleccionables desde el desplegable.

#### **Apertura de Hidrantes de un Turno de Riego**

En la línea superior de la barra de herramientas, a la derecha de la misma, se encuentra un desplegable similar al de la Figura ..



**Figura A.3. Desplegable Apertura de Hidrantes de un Turno**

Seleccionando desde el desplegable el turno correspondiente, quedarán abiertos en la red exclusivamente los hidrantes que hayan sido asignados a ese turno, con un valor de caudal igual al de *Demandas*. En caso de que la red contenga *Hidrantes* cuya apertura o cierre se haya declarado de forma *Incondicional*, su estado no se verá modificado tras la selección de *Apertura de Hidrantes de un Turno* mediante el desplegable (Figura A.3).

Seguidamente, el usuario podrá escoger la opción  **Calcular** (ver pág. **¡Error! Marcador no definido.** del ManualUsuarioGestar2014), obteniendo un análisis hidráulico inicial del turno activo, que le permitirá revisar los valores de caudal asignados al *Elemento Tubería* en Cabecera por el asistente de dimensionado (Figura A.4), o bien tras el proceso de dimensionado, realizar una comprobación exhaustiva de las condiciones de operación (ver pág. **¡Error! Marcador no definido.** del ManualUsuarioGestar2014). Desde GESTAR, también se facilita el análisis del sistema mediante herramientas de *Evolución Temporal* para el funcionamiento por *Turnos* (pág. **¡Error! Marcador no definido.** del ManualUsuarioGestar2014).

## **II. OPTIMIZACIÓN DE LA RED A TURNOS**

---

El usuario accede al proceso de optimización de la red a turnos mediante el comando *Optimización Red a Turnos* del menú *Dimensionar* de GESTAR. Será necesaria la generación previa de la red estrictamente ramificada que se deseé dimensionar tal y como se especifica en el apartado **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, del ManualUsuarioGestar2014 ,**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Del mismo modo, previo a la apertura del asistente de *Dimensionado a Turnos*, deberá haberse asignado a cada uno de los *Hidrantes* un *Turno* de riego .

#### **PARTICULARIDADES DE LA OPTIMIZACIÓN DE LA RED A TURNOS**

La técnica de optimización de diámetros implementada, identifica el sector o **turno de riego crítico** (el turno de riego cuya senda crítica sea la de menor pendiente hidráulica), dimensionando la tubería principal para servir como mínimo, la presión de entrada necesaria en el sector o hidrante perteneciente a dicha senda, considerando este trayecto, como prioritario.

El proceso comienza dimensionando cada uno de los turnos, como redes de riego independientes, con un caudal de diseño del tramo en turno igual a la suma de las dotaciones instaladas aguas abajo, utilizando para ello el *Método de Dimensionado de la Serie Económica Mejorada* (Gonzalez y Aliod 2003, ver Capítulo Final REFERENCIAS del ManualUsuarioGestar2014). A continuación se selecciona el turno crítico, definido como el turno cuya senda crítica sea la de menor pendiente. La senda crítica de menor pendiente de todos los turnos, pasa a considerarse la senda prioritaria. Para esta senda prioritaria, se toma como primera solución los resultados del dimensionado del turno crítico. En el resto de conducciones, quedan sin asignar los diámetros, entrando como incógnitas en las siguientes optimizaciones turno a turno.

Sucesivamente, se dimensionan de nuevo todos los turnos, forzando los diámetros de los tramos en común con el trayecto de la senda prioritaria anterior, permitiendo así ajustar los diámetros, dado que los trayectos en común tendrán diámetros mayores que los necesarios para alcanzar la presión requerida en los trayectos críticos de segundo orden. El proceso se repite hasta que todas las conducciones han sido fijadas.

De esta manera se obtiene un dimensionado que garantiza el buen funcionamiento de los sectores de riego dentro de una parcela, o de los hidrantes en una red a turnos, alcanzando como mínimo, la presión requerida en el trayecto más crítico y reduciendo, en la medida de posible el resto de diámetros, para ajustar la presión en los turnos o sectores no prioritarios, aprovechando los “excesos de diámetro” instalados aguas arriba de un tramo necesario para alimentar otros turnos, economizando la instalación.

#### **ASISTENTE OPTIMIZACIÓN DE DIÁMETROS RED A TURNOS**

El asistente para el caso de *Optimización Red a Turnos* omite de forma deliberada el *PASO 1*, con el fin de que la numeración del resto de *PASOS* sea coincidente con la utilizada en el asistente de *Optimización Red a Demanda*.

#### **PASO 2: REVISAR CAUDALES**

Asistente para el proceso de optimización de redes - Paso 2: Revisar Caudales

Turno	Q	Sup	T max
1	0,108	39,328	5,271
2	0,115	41,267	5,175
3	0,115	41,449	5,271

**Asignar caudales**

- Datos Cabecera
- Presiones Requeridas
- Restricciones
- Estación Bombeo
- Tarifas Eléctricas
- Parámetros Desfavorables
- Materiales
- Terminar

**Botones:** Cancelar, < Anterior, Siguiente >, Finalizar

**Figura A.4. Asistente para el proceso de optimización de redes-Paso 2: Revisar Caudales**

Desde el asistente se facilita al usuario una tabla resumen (Figura A.4), con información de parámetros relevantes para cada turno, obtenidos a partir de los valores definidos en la red previamente por el usuario, para su revisión.

- **Q.** Caudal que circula por el *Elemento Tubería* de **Cabecera** para ese turno de riego. Es resultante de la acumulación de *Demandas* de caudal de los hidrantes incluidos en el turno
- **Sup.** Sumatorio del Área Regada por los *Hidrantes* (ha) contenidos en el turno .
- **T max.** Duración de apertura del *hidrante* (en horas) (ver ANEXO PROBABILIDAD DE APERTURA DE UN HIDRANTE, pág. ¡Error! Marcador no definido. del ManualUsuarioGestar2014) , para aquel *hidrante* incluido en el turno con las mayores necesidades de duración del riego (*T máximo*).

### PASO 3: DATOS DE CABECERA



**Figura A.5 Asistente OPTIMIZACIÓN DE DIÁMETROS. Paso 3: Datos de Cabecera**

- ♦ **Datos de Cabecera.** Quedará hábil una u otra opción de las que a continuación se detallan, en función de la topología de la red a análisis.

- **Presión Conocida.** Para el caso de redes sin *Elemento Bomba* en cabecera (alimentación por gravedad). GESTAR carga los valores definidos en el *Nodo* de cabecera referentes al *Identificador*, *Cota*, *Presión Conocida* y *Altura Piezométrica*. Seleccionando el botón *Editar*, el usuario podrá acceder a cada una de las celdas y modificar cada uno de estos datos.
- **Presión Desconocida.** Para el cálculo de redes con *Elemento Bomba* en cabecera. Los valores de *Presión Conocida* y *Altura Piezométrica* aparecerán como incógnitas. El usuario podrá *Editar* los datos tal y como se ha explicado en la opción anterior.

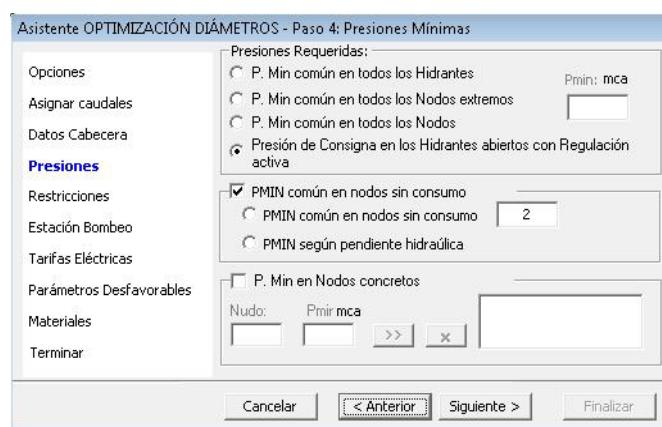
- ♦ **Pendientes.**

- **Pendiente Nodo Crítico.** De uso exclusivo para el caso de redes con bombeo directo. Para la estimación de la altura de cabecera en primera aproximación, el proceso de optimización utiliza una pendiente hidráulica fija para todos los *Nodos* de la red, de manera que el *Nodo* crítico es el que mayor altura necesita en cabecera, con dicha pendiente supuesta. El **usuario experto** podrá modificar el valor de la *Pendiente (hidráulica) del nodo crítico*, que podría conducir a obtener *Nodos* críticos diferentes para alturas de cabecera distintas, lo que puede aportar soluciones de la optimización ligeramente mejoradas en alguna ocasión. RECOMENDACIÓN: Dimensionar las redes con bombeo directo mediante la minimización, resultante de un proceso de barrido, con diferentes alturas en cabecera impuestas, de la suma de costes de amortización de las *Tuberías* y de los gastos energéticos. Mediante tal estrategia este parámetro deja de intervenir.

- **Pendiente Bifurcaciones.** En los *Nodos* con bifurcaciones existe un requerimiento de presión mínima que es corresponde con la mayor presión necesaria para llegar a todos los *Nodos* extremos que se alimentan desde la bifurcación con la altura piezométrica requerida, tomando una pendiente hidráulica mínima 0,0015 m/m.. Se ha observado que si se relaja el valor de esta pendiente mínima, en ocasiones el resultado final tenderá a ser más económico. Desde esta opción se permite a **usuarios expertos** retocar el requerimiento de altura piezométrica en los *Nodos* correspondientes a ramificaciones, en términos de modificar dicha a *pendiente hidráulica mínima* para alcanzar las alturas piezométricas requeridas en todos los *Nodos* con requisito de presión y que se alimentan desde una bifurcación concreta. Recomendación: Tantear con valores entre 0,002 y 0,0001 m/m

#### **PASO 4: PRESIONES MÍNIMAS**

Las presiones mínimas solicitadas por el usuario para realizar la optimización, serán evidentemente un factor decisivo en el cálculo del dimensionado y la obtención de los resultados.



**Figura A.6 Asistente OPTIMIZACIÓN DE DIÁMETROS. Paso 4: Presiones mínimas**

Desde GESTAR se facilitan cuatro opciones EXCLUYENTES entre sí. Para las tres primeras, el usuario deberá fijar la presión mínima en m.c.a. en la casilla habilitada a la derecha.

- ◆ **Presión Mínima Común en todos los Nodos de Consumo.** La presión mínima fijada será tenida en cuenta en el proceso de cálculo únicamente para los *Nodos* de *Consumo Conocido*.
- ◆ **Presión Mínima Común en todos los Nodos Extremos.** El valor de presión mínima afectará exclusivamente a los *Nodos* de final de línea.
- ◆ **Presión Mínima Común en todos los Nodos.** La presión mínima asignada se relacionará tanto a los *Nodos* de *Consumo Conocido* como a *Nodos* de *Unión*, resultando pues la opción más exigente.
- ◆ **Presión de Consigna en los Hidrantes.** En este caso será necesario que el usuario haya activado la casilla referente a regulación en los *Nodos* de *Consumo Conocido* o *Hidrante Regulador*, detallando la presión de consigna para cada uno de los *Nodos* que desee sean considerados en el proceso de optimización.
- ◆ **Presión Mínima en Nodos Concretos.** Desde este cuadro de diálogo se podrán introducir requerimientos de presión mínima en determinados nudos. Se introducirán el número identificador del nudo y la presión mínima en m.c.a. para cada pareja de datos. Su uso es FACULTATIVO y COMPATIBLE con cualquiera de las alternativas anteriores. Los parámetros que se rellenen en esta opción no se SOBRESCRIBIRÁN sobre la *red actual*, quedando reflejados exclusivamente en los ficheros de entrada y salida de resultados generados en el proceso de optimización. Será de utilidad para asignar presiones mínimas a *Nodos* de paso así como realizar cambios puntuales en la presión de consigna.

## PASO 5: RESTRICCIONES

Para que el asistente continúe con el proceso de optimización, se solicitan los límites de diseño que debe fijar el proyectista para la velocidad de circulación del fluido en los conductos, así como diversos datos económicos.

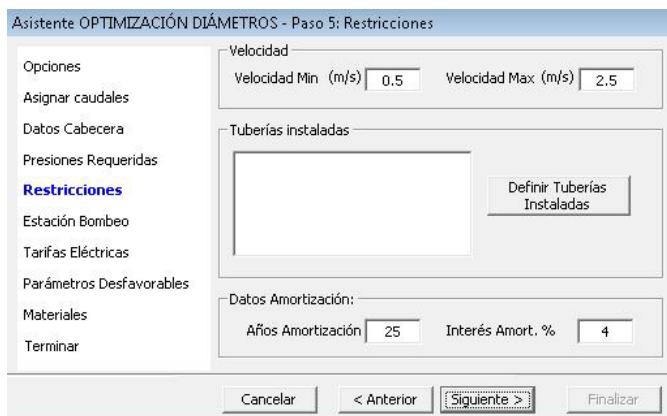


Figura A.7 Asistente OPTIMIZACIÓN DE DIÁMETROS. Paso 5: Restricciones

### ♦ Velocidad.

- **Velocidad Mínima.** En esta casilla deberá precisarse la velocidad mínima admisible, en m/s, de manera que sirva de alarma para indicar situaciones donde la pérdida de carga admisible (relacionada con la velocidad) es demasiado reducida.
- **Velocidad Máxima.** Se impone la velocidad máxima permisible con el fin de que no existan problemas de erosión, cavitación y transitorios en las conducciones. Los costes globales de la red serán sensibles a este parámetro, reduciéndose conforme la velocidad máxima se incrementa. No obstante, deberá considerarse a su vez que el aumento de este valor repercutirá directamente en la fiabilidad de la instalación. Un análisis detallado de transitorios en la red permitirá conocer este máximo admisible de manera que sea lo más alto posible, sin comprometer la seguridad de la misma.

### ♦ Tuberías Instaladas.

En el Asistente de Optimización a Turnos, la opción de bloquear tramos de red para que su diámetro no sea modificado en la optimización no se encuentra accesible.

### ♦ Datos Amortización.

- **Años Amortización.** En esta casilla deberá formularse el *plazo de amortización* de la inversión, esto es, los años de vida útil considerados para la instalación proyectada, según el criterio del usuario. En los casos con presión en cabecera desconocida, puede plantearse la disyuntiva de cuál es el plazo de amortización a llenar, si bien el de las *Tuberías* o el de los equipos de bombeo. Éste último suele ser inferior, pero su coste no interviene significativamente en el proceso de optimización no sólo porque su importe es de índole menor en comparación con al red, sino porque también lo es su

dependencia con la altura de impulsión, aconsejando la definición del periodo de amortización de las *Tuberías*.

- **Interés Amortización.** Del mismo modo, el usuario deberá fijar el tipo de interés de amortización esperado, expresado en forma de porcentaje.

### **PASO 6: ESTACIÓN DE BOMBEO**

En los casos de redes generadas con un *Elemento bomba* en cabecera, se activan los cuadros de diálogo referentes a la *Estación de Bombeo y Tarifas Eléctricas*.



Figura A.8 Asistente OPTIMIZACIÓN DE DIÁMETROS. Paso 6: Estación de Bombeo

#### ◆ Estación de Bombeo

- **Rend. %.** Deberá fijarse en esta casilla el rendimiento ponderado de la estación de bombeo en porcentaje. (Por defecto se aplica un valor del 70%).
- **Cos ( $\phi$ ).** Desde esta casilla el usuario introducirá el valor del *factor de potencia reactiva* de la estación. El valor por defecto asignado desde el programa GESTAR es de 0,8997, que no supone ni recargo ni descuento.
- **Volumen ( $m^3$ ).** Se especificará el volumen estimado que se bombea anualmente en cada periodo tarifario,  $V_i$ , de manera que si el volumen anual a bombear es  $V$ :

$$V = \sum_{i=1}^{NP} V_i$$

- **Calcular Volumen.** Si se desconoce el volumen bombeado anualmente,  $V$ , se permite que sea evaluado desde GESTAR, en función de la superficie total regada y a dotación anual en  $m^3/ha$ . El volumen calculado se ubica en una franja arbitraria, por defecto P1, y puede ser posteriormente redistribuido entre las diferentes periodos de tarifas según la estimación del usuario.

## PASO 7: TARIFAS ELÉCTRICAS

Como ya se ha apuntado, la definición de esta ventana será necesaria únicamente en el dimensionado de redes con equipo de bombeo en cabecera.



Figura A.9 Asistente OPTIMIZACIÓN DE DIÁMETROS. Paso 7: Tarifas Eléctricas

- Incremento Anual de Coste de la Energía (%):** Incremento anual en % de los precios base de las tarifas (energía y potencia) durante el periodo de amortización de la inversión, *lan*. Supuesto constante en todos los años.

*Precio Base del kWh y del kW en el periodo de referencia:*

- Precio Base del kWh (€/kWh):** Se especificará el valor del parámetro  $PkWh_{base}$  (precio del kWh en el periodo de referencia) utilizado en las expresiones del apartado 8.3 para el cálculo del coste energético. En caso de no usar el reparto de volúmenes en períodos (todo el volumen anual asignado a un solo periodo en el PASO 6), se introduce como *Precio base kWh*,  $PkWh_{base}$ , el coste medio ponderado en volumen,  $\overline{PkWh}$  (ver apartado 8.3), y se establecerán valores de recargo nulos (0%) para el *Recargo del Precio kWh* en todos los períodos de la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** FIGURA 8.16.
- Precio Base de Potencia kW (€/kw mes):** Se especificará el precio base del Kw contratado en el periodo de referencia,  $PkW_{base}$ , utilizado en el cálculo de las expresiones del apartado 8.3 para el cálculo del coste energético. En caso de no discriminar la potencia contratada en los distintos períodos, es decir 100% de *Potencia Nominal Necesaria*

$$PNN_{kW} = \frac{\rho \cdot g \cdot H_d \cdot Q_d}{1000 \cdot \eta_p}$$

disponible formalmente en todos los periodos, se introduce como *Precio base kW* en el periodo de referencia,  $PkW_{base}$ , el coste medio ponderado en potencia contratada,  $\overline{PkW}$  (ver apartado 8.3), y se establecerán valores de recargo nulos (0%) para el precio del kW en todos los periodos del *Recargo Precio Kw* en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

- **Tipo de Precios Base:** Se selecciona una combinación de  $PkWh_{base}$  y  $PkW_{base}$  de entre las registrados en base de datos de *Tarifas Eléctricas*, o bien, se permite una introducción manual de los mismos seleccionando el valor “*Personalizada*” (elección por defecto).

*Recargos del kWh por periodos (P1 a P6):*

- **Recargo Precio kWh (%) :** Si para el cómputo de los costes energéticos en el paso anterior PASO 6, se ha optado por repartir el volumen anual elevado  $V$ , en distintos periodos de tarificación,  $V_i$ , de manera que:

$$V = \sum_{i=1}^{NP} V_i$$

deberán indicarse los coeficientes de recargo del kWh (y descuentos, con signo negativo),  $IkWh_i$ , en %, aplicados a cada periodo respecto al *Precio Base del kWh*, de manera que la expresión del *Coste Energético Simplificado*,  $CES_\epsilon$ , se calcula:

$$CES_\epsilon = \sum_{i=1}^{NP} \frac{\rho \cdot g \cdot H_d \cdot V_i}{1000 \cdot 3600 \cdot \eta_p} PkWh_{base} \cdot (1 + \frac{IkWh_i}{100}) \cdot K_{reac} \cdot K_{incAnual}$$

Siendo:

$V_i$ : Volumen (m<sup>3</sup>) elevado anualmente por la estación en cada periodo  $i$

$PkWh_{base}$ : *Precio Base kWh*

$IkWh_i$ : *Recargo / Descuento* del precio del kWh en el periodo en %

$K_{reac}$ : Término de potencia reactiva en función del cos  $\varphi$ .

$K_{incAnual}$ : Término de incremento anual del coste de la energía.

- **Tipo de Discriminación:** Se selecciona un tipo de distribución de recargos por periodo, de entre los registrados en base de datos de *Tarifas Eléctricas*, o bien, se permite una introducción manual de los mismos seleccionando el valor “*Personalizada*” (elección por defecto).

*Recargo del Precio del kW por Periodos (P1 a P6):*

- **Recargo Precio kwh (%)** : Si para el computo del coste de la potencia contratada se especifican *Repartos de Potencia* contratada no uniformes, distintos del 100% en todos los periodos, deberán indicarse los coeficientes de *Recargo del precio del kW* (y descuento, con signo negativo) respecto al *Precio Base de Potencia Contratada*, correspondiente a cada periodo,  $IkW_i$  (%). **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** GESTAR estima el coste anual de la potencia contratada,  $CPC_\epsilon$ ; mediante la expresión:

$$CPC_\epsilon = \left( \frac{\rho \cdot g \cdot Q_d \cdot H_d}{1000 \cdot \eta_p} \right) \sum_{i=1}^{NP} \frac{R_i}{100} \cdot PkW_{base} \cdot (1 + \frac{IkW_i}{100}) \cdot 12 \cdot K_{reac} \cdot K_{incAnual}$$

Siendo:

$R_i$ : Los *Coeficientes de Reparto de la Potencia Contratada (%)* para el periodo  $i$

$PkW_{base}$ : *Precio base del kW* por mes en el periodo de referencia

$IkW_i$ : *Recargo/Descuento (%)* del precio base del kW/mes en el periodo  $i$

$K_{reac}$  : Término de potencia reactiva en función del cos  $\varphi$ .

$K_{incAnual}$  : Término de incremento anual del coste de la energía.

- **Tipo de Discriminación:** Se selecciona un tipo de distribución de recargos por periodo, de entre los registrados en base de datos de *Tarifas Eléctricas*, o bien, se permite una introducción manual de los mismos seleccionando el valor “Personalizada” (elección por defecto).

*Reparto de la potencia contratada por periodos:*

- **Reparto por Periodos (%):** *Coeficientes de Reparto de Potencia del Periodo i*,  $R_i$ , que corresponde al % de potencia contratada en cada periodo respecto a la *Potencia Nominal Necesaria*,  $PNN_{kW}$  para bombear el caudal de diseño,  $Q_d$ , de la conducción de cabecera a la altura de presión nominal de diseño,  $H_d$ , con un rendimiento ponderado  $\eta_p$ .

$$PNN_{kW} = \frac{\rho \cdot g \cdot H_d \cdot Q_d}{1000 \cdot \eta_p}$$

Con los *Coeficientes de Reparto de la Potencia Contratada*, es posible considerar una contratación uniforme en todos los periodos e igual a  $PNN_{kW}$  ( $R_i = 100\%$  en todos los periodos) o bien suponer que en determinados periodos más costosos, se va utilizar menos potencia. Para configurar periodos no contratados, el respectivo *Coeficiente de Reparto de la Potencia Contratada* será 0%.

Si se desea consignar una potencia contratada superior a  $PNN_{kW}$ , por ejemplo para contemplar potencia consumida por equipos, perdidas, margen de seguridad, pueden indicarse valores de  $R_i$  superiores al 100%.

**Alternativas a la introducción de repartos y recargos por periodos de potencia y energía mediante uso de valores medios ponderados**

Alternativamente a la especificación por el usuario de los coeficientes individuales,  $IkWh_i$  y volúmenes  $V_i$ , y en el caso general, en que la tarifa de consumo se estructure en  $NP$  tramos, puede utilizarse como *Precio Base del kWh* ( $PkWh_{base}$ ) el precio medio ponderado en volumen, calculándolo previamente como:

$$\overline{PkWh} = \frac{\sum_{i=1}^{NP} V_i \cdot PkWh_{base} (1 + \frac{IkWh_i}{100})}{V}$$

a la par que se anulan los recargos/descuentos de la tarifa en todas las casillas de la FIGURA 8.16.

Alternativamente a la especificación por el usuario de los coeficientes individuales,  $IkW_i$  y  $R_i$ , puede introducirse directamente, como *Precio Base del kW* ( $PkW_{base}$ ) por mes y periodo, el precio medio del kW (por mes y periodo) ponderado con la potencia contratada en cada periodo,  $\overline{PkW}_{1/NP}$ , calculándola previamente mediante la expresión:

$$\overline{PkW}_{1/NP} = \frac{1}{NP} \sum_{i=1}^{NP} \frac{R_i}{100} \cdot PkW_{base} \cdot (1 + \frac{IkW_i}{100})$$

a la par que se establece entonces, como reparto de potencia contratada,  $R_i = 100\%$  en todos los periodos, y se anulan los recargos/descuentos  $IkW_i = 0\%$  en todas las casillas de la FIGURA 8.16. También, puede eliminarse la división por el factor  $1/NP$ , obteniéndose el precio medio del kW por mes, pero a cambio, el reparto de potencia será del 100% en un determinado periodo (p.e.  $P1$ ,  $R_1 = 100\%$ ) y el resto de valores  $R_i$  nulos, 0%.

En el caso en que, además, la potencia contratada en todos los periodos sea la misma ( $R_i$  constante) e igual al 100% de  $PNN_{kW}$ ,  $\overline{PkW}$  queda:

$$\overline{PkW}_{1/NP} = \frac{1}{NP} \sum_{i=1}^{NP} \cdot PkW_{base} \cdot (1 + \frac{IkW_i}{100})$$

Es decir, el precio medio del kW (por mes y periodo) ponderado con la potencia contratada en cada periodo, es sencillamente, la suma de los precios por kW y mes de las potencias en cada periodo, extendida a todos los periodos y dividida entre el numero de periodos.

*Ejemplo de aplicación:*

- ◆ *Precio Base del kWh*: Precio base, por ejemplo, del periodo más barato. 0,054 €/kWh.
- ◆ *Precio: Base Potencia Contratada*, por ejemplo, el del periodo más barato, 0,1 €/kW por mes.

	<b>P1</b>	<b>P2</b>	<b>P3</b>	<b>P4</b>	<b>P5</b>	<b>P6</b>
<b>Reparto Volumen (m<sup>3</sup>)</b>	62.408	124.817	303.129	303.129	900.472	2.763.825
Reparto Volumen (%)	1,4	2,8	6,8	6,8	20,2	62

Energía Recargos (%)	110	90	70	30	10	0
Reparto Potencia (%)	30	30	50	50	100	100
Potencia Recargos (%)	80	50	40	40	10	0

Los parámetros equivalentes a esta especificación, utilizando valores medios ponderados para el precio del kWh consumido y del Kw contratado, serían

- ♦ *Precio Base del kWh* ( Precio medio kWh ponderado en volumen consumido en cada periodo):

$$\overline{P_{kWh}} = 0,054 \text{ €} \text{ } k\text{W}^{-1} (0,620 \cdot 1,0 + 0,202 \cdot 1,1 + 0,068 \cdot 1,3 +$$

$$0,068 \cdot 1,7 + 0,028 \cdot 1,9 + 0,014 \cdot 2,1) = 0,060955 \text{ €/kWh.}$$

- ♦ El volumen anual total, **4.457.783 m<sup>3</sup>**, se asigna íntegramente al primer periodo P1. siendo los recargos del precio de la energía nulos en todos los periodos: 0%, 0%, 0%, 0%, 0%
- ♦ *Precio Base Potencia Contratada*: (Precio medio kW mes y periodo ponderado en potencia contratada en cada periodo):

$$\overline{P_{kW_{1/6}mes\_y\_periodo}} = \frac{1}{6} 0,1 \text{ €} \text{ } k\text{W}^{-1} \cdot (1,0 \cdot 1,0 + 1,0 \cdot 1,1 + 0,5 \cdot 1,4 + \\ + 0,5 \cdot 1,4 + 0,3 \cdot 1,5 + 0,3 \cdot 1,8) = 0,449 / 6 = 0,074833 \text{ €/kW mes y periodo}$$

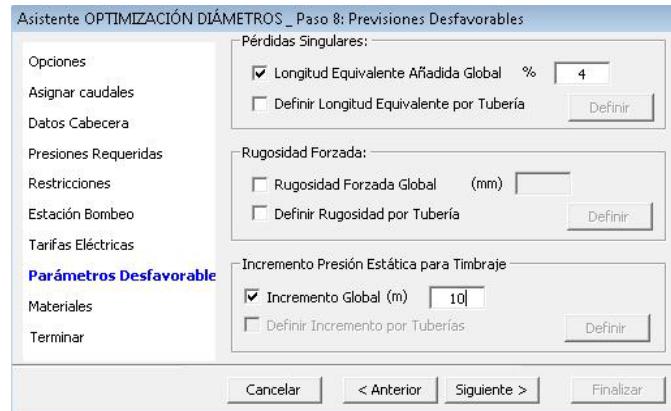
- ♦ Recargo precio base potencia contratada: 0%, 0%, 0%, 0%, 0%, 0%
- ♦ Reparto potencia contratada: 100%, 100%, 100%, 100%, 100%, 100%.

#### EDICIÓN TARIFAS ELÉCTRICAS

Mediante la opción *Tarifas* habilitada en la ventana (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) del paso 7 del asistente, se da acceso a la herramienta de gestión de *Tarifas Eléctricas*, que se describe en el apartado 12.7 **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** (pág.**¡Error! Marcador no definido.**). Mediante esta herramienta, se visualizan y gestionan los datos de la base de datos de *Tarifas Eléctricas*, donde se almacenan los precios de la energía y la potencia, así como diferentes discriminaciones de precios de ambos términos de la facturación.

#### PASO 8: PREVISIONES DESFAVORABLES

Mediante este cuadro de diálogo se otorga al proyectista la posibilidad de definir una serie de márgenes de seguridad en aquellos presupuestos que exista incertidumbre con respecto a la situación real o no hayan sido definidos en la red generada previamente. El asistente de dimensionado permite establecer simultáneamente criterios mayorantes genéricos, aplicados a todos los tramos de la red, y tramo a tramo en *Tuberías* específicas.



**Figura A.10 Asistente OPTIMIZACIÓN DE DIÁMETROS. Paso 8: Previsiones Desfavorables.**

- ◆ **Pérdidas singulares.** Permite definir longitudes equivalentes para incorporar las perdidas de carga singulares.
  - **Longitud Equivalente Añadida Global,** o bien de manera global (como porcentaje a añadir a la longitud definida en cada tramo) una longitud equivalente, para incorporar la existencia de pérdidas singulares específicas.
  - **Definir Longitud Equivalente por Tramos.** Facilita imponer en cada tramo de la red (a través de la ventana de la Figura A.11) una longitud equivalente, quedando inutilizada para el dimensionado la longitud especificada para ese *Elemento* en la *red actual* (sin SOBRESCRIBIRLA).

ID	Longitud(m)	Longitud Eq.(m)
TU2	179,79	0
TU1	80,07	0
TU3	12,38	0
TU6	247,69	0
TU5	274,09	0
TU8	23,70	0
TU7	12,67	0
TU10	18,69	0
TU9	116,19	0
TU12	76,19	0
TU11	53,85	0
TU13	50,13	0
TU16	220,87	0
TU15	71,56	0
TU18	180,42	0
TU17	76,00	0
TU19	290,36	0
TU22	391,77	0
TU21	233,02	0
TU24	239,45	0
TI173	187,99	0

**Figura A.11 Definir Longitud Equivalente por Tramos**

- ◆ **Rugosidad Forzada.** De manera similar al caso anterior, se permite establecer, de forma global o a un grupo de *Tuberías*, *Rugosidades* distintas de las consignadas en la base de datos de tuberías para cada *Material* en fase de optimización.
- ◆ **Incremento de la Presión Estática para Timbraje.** El incremento de la presión estática para el *Timbraje* de las *Tuberías* se puede establecer de manera global y por tramos de *Tubería*, lo que

permite refinar y reducir eventualmente el coste de la red, si mediante un análisis de transitorios en la red se ajustan por zonas o tramos los incrementos de presión respecto a la estática de acuerdo a los valores máximos de sobrepresión calculados en el transitorio de la red.

### PASO 9: MATERIAL

GESTAR utilizará como base de datos de *Material* que se encuentra asociada a la red, en formato Microsoft ACCESS 97 .

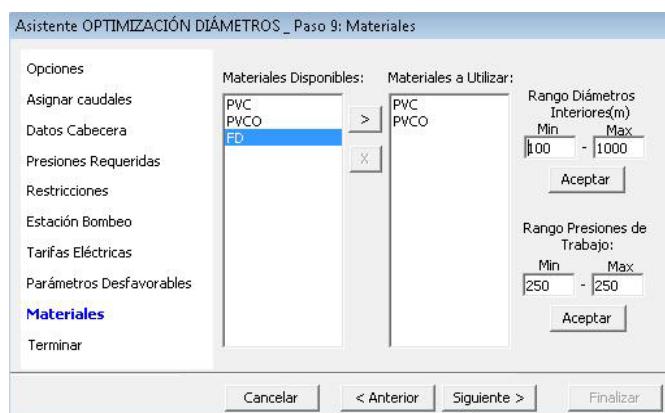
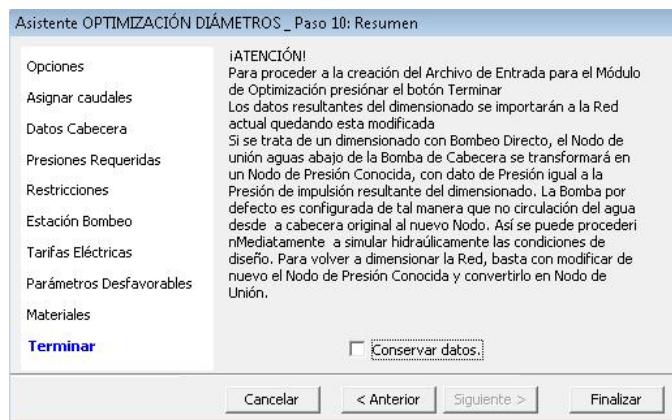


Figura A.12 Asistente OPTIMIZACIÓN DE DIÁMETROS. Paso 9: *Material*.

- ◆ **Materiales Disponibles.** En la lista de selección aparecen todos los *Material* definidos desde la base de datos asociada a la red.
- ◆ **Materiales a Utilizar.** El usuario incluirá en esta lista los *Material* que solicita se tengan en cuenta en la optimización a partir de la lista de *Material* disponibles.
- ◆ **Rango de Diámetros Interiores.** Esta opción permite restringir el tamaño de las *Tuberías* que se tendrán en cuenta en la optimización para cada uno de los *Material*.
- ◆ **Rango de Presiones de Trabajo.** Permite limitar la *Base de Datos de Tubería* que formarán parte de la optimización para el *Material* seleccionado desde el listado de *Material a utilizar* en función de la Presión de Trabajo que pueden soportar.

Como ya se ha comentado en el apartado ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia., al realizar las recomendaciones para la generación del *Elemento Tubería*, una correcta definición de los *Material* que entran en el proceso de optimización económica será de vital importancia para la obtención del dimensionado óptimo.

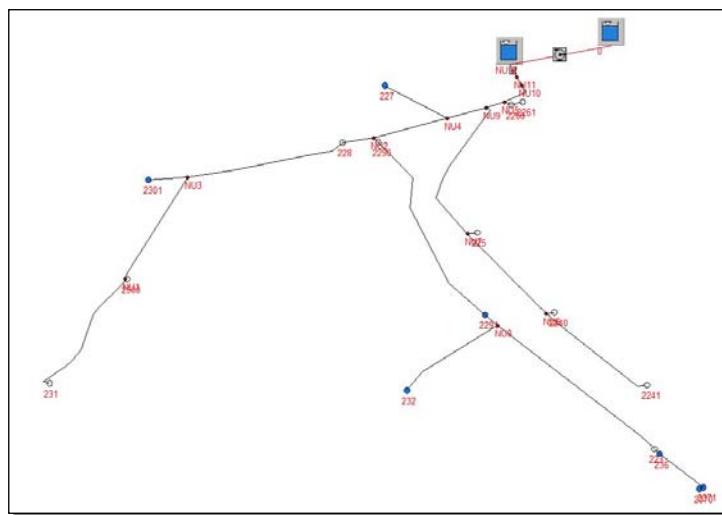
## **PASO 10: RESUMEN**



**Figura A.13 Asistente OPTIMIZACIÓN DE DIÁMETROS. Paso 10: resumen**

- ◆ **Conservar Datos.** Escogiendo esta alternativa, los datos definidos durante el proceso de dimensionamiento quedarán guardados y accesibles para los posteriores dimensionados que el usuario realice a través del asistente de OPTIMIZACIÓN.

Según se explica en el cuadro de diálogo del último paso del asistente, al dimensionar una red con *Elemento Bomba* en cabecera, GESTAR transformará el *Nodo de Unión* aguas abajo del *Elemento Bomba* en un *Nodo de Presión Conocida*, tal y como queda reflejado en el ejemplo de la Figura A.14. Este *Nodo* pasará a funcionar como *Nodo de Cabecera*, quedando inhabilitados el *Nodo de cabecera* real y el *elemento Bomba*. Desde el nuevo *Nodo de Presión Conocida* el usuario recibirá información acerca de cuál es la presión nominal que se requiere desde la estación de bombeo para que se cumplan los requerimientos definidos con los resultados de diámetros obtenidos.



**Figura A.14 Ejemplo Red con *Elemento Bomba en cabecera* OPTIMIZADA.**

Al finalizar con éxito el proceso de optimización, los resultados obtenidos serán cargados en la red, y almacenados en un fichero PDF para su posterior consulta (ver apartado **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, pág. **¡Error! Marcador no definido.** del ManualUsuarioGestar2014).

## **APENDICE B: Dotaciones**

---

Id	Dot (m3/s)	Sup(ha)	Qfc	R	Prob
186	0,018	6,4634	0,75	0,625	0,43
185	0,018	3,3823	0,75	0,625	0,23
184	0,018	8,4258	0,75	0,625	0,56
41	0,018	3,4514	0,75	0,625	0,23
182	0,018	6,2722	0,75	0,625	0,42
183	0,018	5,979	0,75	0,625	0,40
42	0,018	6,1468	0,75	0,625	0,41
43	0,018	4,9177	0,75	0,625	0,33
48	0,018	4,3493	0,75	0,625	0,29
49	0,018	4,7748	0,75	0,625	0,32
53	0,018	1,4651	0,75	0,625	0,10
62	0,018	6,6492	0,75	0,625	0,44
59	0,018	3,596	0,75	0,625	0,24
194	0,018	2,5249	0,75	0,625	0,17
57	0,018	6,5828	0,75	0,625	0,44
197	0,018	2,2238	0,75	0,625	0,15
50	0,018	9,652	0,75	0,625	0,64
196	0,018	4,8391	0,75	0,625	0,32
51	0,018	7,8507	0,75	0,625	0,52
195	0,018	5,5212	0,75	0,625	0,37
54	0,018	5,9881	0,75	0,625	0,40
52	0,018	7,4933	0,75	0,625	0,50
56	0,018	4,9526	0,75	0,625	0,33
55	0,018	6,5615	0,75	0,625	0,44
60	0,018	5,1353	0,75	0,625	0,34
58	0,018	4,6104	0,75	0,625	0,31
34	0,018	2,5387	0,75	0,625	0,17
193	0,018	6,4267	0,75	0,625	0,43
33	0,018	7,2134	0,75	0,625	0,48
32	0,018	5,9285	0,75	0,625	0,40
192	0,018	1,8567	0,75	0,625	0,12
31	0,018	4,1656	0,75	0,625	0,28
188	0,018	6,2766	0,75	0,625	0,42
29	0,018	3,6833	0,75	0,625	0,25
28	0,018	9,1043	0,75	0,625	0,61
47	0,018	4,8425	0,75	0,625	0,32
45	0,018	5,3127	0,75	0,625	0,35
46	0,018	4,5895	0,75	0,625	0,31
44	0,018	5,2426	0,75	0,625	0,35
36	0,018	6,5364	0,75	0,625	0,44
39	0,018	8,3603	0,75	0,625	0,56
191	0,018	5,6156	0,75	0,625	0,37
35	0,018	6,5651	0,75	0,625	0,44
27	0,018	6,4975	0,75	0,625	0,43
189	0,018	5,1829	0,75	0,625	0,35
190	0,02	10,3445	0,75	0,625	0,62
23	0,018	7,2483	0,75	0,625	0,48
24	0,018	2,3099	0,75	0,625	0,15
22	0,018	1,9195	0,75	0,625	0,13

Id	Dot (m <sup>3</sup> /s)	Sup(ha)	Qfc	R	Prob
175	0,02	10,3217	0,75	0,625	0,62
26	0,018	2,5466	0,75	0,625	0,17
181	0,018	4,7111	0,75	0,625	0,31
178	0,018	7,6278	0,75	0,625	0,51
180	0,018	4,495	0,75	0,625	0,30
179	0,018	5,5468	0,75	0,625	0,37
38	0,018	8,3772	0,75	0,625	0,56
37	0,024	13,2537	0,75	0,625	0,66
173	0,02	10,7467	0,75	0,625	0,64
174	0,018	4,0408	0,75	0,625	0,27
25	0,018	5,1029	0,75	0,625	0,34
40	0,02	11,239	0,75	0,625	0,67
18	0,018	5,7774	0,75	0,625	0,39
177	0,018	2,8593	0,75	0,625	0,19
17	0,018	5,5767	0,75	0,625	0,37
16	0,018	8,3821	0,75	0,625	0,56
15	0,018	7,8303	0,75	0,625	0,52
19	0,018	4,6399	0,75	0,625	0,31
172	0,02	10,4566	0,75	0,625	0,63
21	0,02	11,9189	0,75	0,625	0,72
20	0,018	6,0498	0,75	0,625	0,40
171	0,02	11,1662	0,75	0,625	0,67
13	0,018	6,5637	0,75	0,625	0,44
14	0,018	7,4664	0,75	0,625	0,50
12	0,018	6,2807	0,75	0,625	0,42
12-2	0,018	3,4263	0,75	0,625	0,23
10	0,018	7,8711	0,75	0,625	0,52
11	0,02	11,6996	0,75	0,625	0,70
158	0,018	2,3847	0,75	0,625	0,16
2	0,018	3,3241	0,75	0,625	0,22
9	0,018	6,0176	0,75	0,625	0,40
7	0,018	0,9945	0,75	0,625	0,07
8	0,018	9,1506	0,75	0,625	0,61
168	0,02	10,4757	0,75	0,625	0,63
169	0,018	8,1352	0,75	0,625	0,54
6	0,018	8,5184	0,75	0,625	0,57
4	0,018	2,8339	0,75	0,625	0,19
3	0,02	10,2174	0,75	0,625	0,61
5	0,018	7,8054	0,75	0,625	0,52
170	0,018	8,2653	0,75	0,625	0,55
166	0,018	7,2432	0,75	0,625	0,48
167	0,018	5,5896	0,75	0,625	0,37
1	0,024	13,0391	0,75	0,625	0,65
30	0,018	6,3743	0,75	0,625	0,42

Tabla B1: Dotaciones originales del proyecto para dimensionado a la demanda

Id	Sup (ha)	Q_fc	Rend	V (m3)	Dot (m3/s)	Dot Ajustada	Tnec (h)	Turno
7	0,995	0,75	0,625	64,444	0,00256	0,006	2,98	1
192	1,857	0,75	0,625	120,314	0,00477	0,006	5,57	1
197	2,224	0,75	0,625	144,102	0,00572	0,006	6,67	1
22	1,920	0,75	0,625	124,384	0,00494	0,006	5,76	1
24	2,310	0,75	0,625	149,682	0,00594	0,006	6,93	1
53	1,465	0,75	0,625	94,938	0,00377	0,006	4,40	2
34	2,539	0,75	0,625	164,508	0,00653	0,012	3,81	1
4	2,834	0,75	0,625	183,637	0,00729	0,012	4,25	1
2	3,324	0,75	0,625	215,402	0,00855	0,012	4,99	1
12-2	3,426	0,75	0,625	222,024	0,00881	0,012	5,14	1
59	3,596	0,75	0,625	233,021	0,00925	0,012	5,39	1
174	4,041	0,75	0,625	261,844	0,01039	0,012	6,06	1
48	4,349	0,75	0,625	281,835	0,01118	0,012	6,52	1
46	4,590	0,75	0,625	297,400	0,01180	0,012	6,88	1
19	4,640	0,75	0,625	300,666	0,01193	0,012	6,96	1
49	4,775	0,75	0,625	309,407	0,01228	0,012	7,16	1
56	4,953	0,75	0,625	320,928	0,01274	0,012	7,43	1
196	4,839	0,75	0,625	313,574	0,01244	0,012	7,26	1
158	2,385	0,75	0,625	154,529	0,00613	0,012	3,58	2
47	4,843	0,75	0,625	313,794	0,01245	0,012	7,26	2
194	2,525	0,75	0,625	163,614	0,00649	0,012	3,79	2
26	2,547	0,75	0,625	165,020	0,00655	0,012	3,82	2
177	2,859	0,75	0,625	185,283	0,00735	0,012	4,29	2
185	3,382	0,75	0,625	219,173	0,00870	0,012	5,07	2
41	3,451	0,75	0,625	223,651	0,00888	0,012	5,18	2
29	3,683	0,75	0,625	238,678	0,00947	0,012	5,52	2
31	4,166	0,75	0,625	269,931	0,01071	0,012	6,25	2
180	4,495	0,75	0,625	291,276	0,01156	0,012	6,74	2
58	4,610	0,75	0,625	298,754	0,01186	0,012	6,92	2
181	4,711	0,75	0,625	305,279	0,01211	0,012	7,07	2
43	4,918	0,75	0,625	318,667	0,01265	0,012	7,38	2
25	5,103	0,75	0,625	330,668	0,01312	0,016	5,74	1
45	5,313	0,75	0,625	344,263	0,01366	0,016	5,98	1
179	5,547	0,75	0,625	359,433	0,01426	0,016	6,24	1
167	5,590	0,75	0,625	362,206	0,01437	0,016	6,29	1
18	5,777	0,75	0,625	374,376	0,01486	0,016	6,50	1
189	5,183	0,75	0,625	335,852	0,01333	0,016	5,83	2
60	5,135	0,75	0,625	332,767	0,01321	0,016	5,78	2
44	5,243	0,75	0,625	339,720	0,01348	0,016	5,90	2
195	5,521	0,75	0,625	357,774	0,01420	0,016	6,21	2
17	5,577	0,75	0,625	361,370	0,01434	0,016	6,27	2
191	5,616	0,75	0,625	363,891	0,01444	0,016	6,32	2
32	5,929	0,75	0,625	384,167	0,01524	0,016	6,67	2
183	5,979	0,75	0,625	387,439	0,01537	0,018	5,98	1

9	6,018	0,75	0,625	389,940	0,01547	0,018	6,02	1
42	6,147	0,75	0,625	398,313	0,01581	0,018	6,15	1
188	6,277	0,75	0,625	406,724	0,01614	0,018	6,28	1
30	6,374	0,75	0,625	413,055	0,01639	0,018	6,37	1
186	6,463	0,75	0,625	418,828	0,01662	0,018	6,46	1
13	6,564	0,75	0,625	425,328	0,01688	0,018	6,56	1
57	6,583	0,75	0,625	426,565	0,01693	0,018	6,58	1
33	7,213	0,75	0,625	467,428	0,01855	0,018	7,21	1
55	6,562	0,75	0,625	425,185	0,01687	0,018	6,56	1
35	6,565	0,75	0,625	425,418	0,01688	0,018	6,57	1
166	7,243	0,75	0,625	469,359	0,01863	0,018	7,24	1
36	6,536	0,75	0,625	423,559	0,01681	0,018	6,54	2
54	5,988	0,75	0,625	388,029	0,01540	0,018	5,99	2
20	6,050	0,75	0,625	392,027	0,01556	0,018	6,05	2
182	6,272	0,75	0,625	406,439	0,01613	0,018	6,27	2
12	6,281	0,75	0,625	406,989	0,01615	0,018	6,28	2
193	6,427	0,75	0,625	416,450	0,01653	0,018	6,43	2
27	6,498	0,75	0,625	421,038	0,01671	0,018	6,50	2
62	6,649	0,75	0,625	430,868	0,01710	0,018	6,65	2
23	7,248	0,75	0,625	469,690	0,01864	0,018	7,25	2
14	7,466	0,75	0,625	483,823	0,01920	0,022	6,11	1
178	7,628	0,75	0,625	494,281	0,01961	0,022	6,24	1
15	7,830	0,75	0,625	507,403	0,02014	0,022	6,41	1
10	7,871	0,75	0,625	510,047	0,02024	0,022	6,44	1
170	8,265	0,75	0,625	535,591	0,02125	0,022	6,76	1
38	8,377	0,75	0,625	542,843	0,02154	0,022	6,85	1
184	8,426	0,75	0,625	545,992	0,02167	0,022	6,89	1
51	7,851	0,75	0,625	508,725	0,02019	0,022	6,42	1
39	8,360	0,75	0,625	541,747	0,02150	0,022	6,84	1
52	7,493	0,75	0,625	485,566	0,01927	0,022	6,13	2
5	7,805	0,75	0,625	505,790	0,02007	0,022	6,39	2
169	8,135	0,75	0,625	527,161	0,02092	0,022	6,66	2
16	8,382	0,75	0,625	543,160	0,02155	0,022	6,86	2
6	8,518	0,75	0,625	551,992	0,02190	0,022	6,97	2
28	9,104	0,75	0,625	589,959	0,02341	0,026	6,30	1
3	10,217	0,75	0,625	662,088	0,02627	0,026	7,07	1
190	10,345	0,75	0,625	670,324	0,02660	0,026	7,16	1
168	10,476	0,75	0,625	678,825	0,02694	0,026	7,25	2
8	9,151	0,75	0,625	592,959	0,02353	0,026	6,34	2
175	10,322	0,75	0,625	668,846	0,02654	0,026	7,15	2
172	10,457	0,75	0,625	677,588	0,02689	0,026	7,24	2
50	9,652	0,75	0,625	625,450	0,02482	0,026	6,68	2
173	10,747	0,75	0,625	696,386	0,02763	0,03	6,45	1
40	11,239	0,75	0,625	728,287	0,02890	0,03	6,74	1
187	11,888	0,75	0,625	770,342	0,03057	0,03	7,13	1
171	11,166	0,75	0,625	723,570	0,02871	0,03	6,70	2

11	11,700	0,75	0,625	758,134	0,03008	0,03	7,02	2
21	11,919	0,75	0,625	772,345	0,03065	0,03	7,15	2
1	13,039	0,75	0,625	844,934	0,03353	0,032	7,33	2
37	13,254	0,75	0,625	858,840	0,03408	0,032	7,46	2

**Tabla B2: Dotaciones ajustadas y reparto de turnos en hidrantes para dimensionado a turnos**

<b>ID</b>	<b>ELEM</b>	<b>N I</b>	<b>N F</b>	<b>TURNO1 CAUDAL (m3/s)</b>	<b>TURNO2 CAUDAL (m3/s)</b>
ID				CAUDAL	CAUDAL
ELEM	N I	N F		(m3/s)	(m3/s)
TU2	193	34	0,012	0,000	
TU3	33	193	0,012	0,018	
TU4	192	32	0,030	0,034	
TU5	187	28	0,026	0,000	
TU6	NU3	178	0,022	0,000	
TU7	180	NU3	0,022	0,012	
TU8	179	180	0,022	0,024	
TU9	174	173	0,030	0,000	
TU10	NU4	NU5	0,060	0,056	
TU12	45	47	0,000	0,012	
TU13	46	45	0,016	0,012	
TU14	44	46	0,028	0,012	
TU15	36	44	0,028	0,028	
TU16	39	36	0,028	0,046	
TU17	NU8	39	0,050	0,046	
TU18	35	NU8	0,050	0,062	
TU19	27	35	0,068	0,062	
TU20	189	27	0,068	0,080	
TU21	NU9	189	0,068	0,096	
TU22	23	NU9	0,094	0,096	
TU23	24	23	0,094	0,114	
TU24	NU10	24	0,100	0,114	
TU25	177	18	0,016	0,000	
		02-			
TU26	12	dic	0,012	0,000	
TU27	171	NU11	0,102	0,068	
TU28	NU12	13	0,132	0,098	
TU29	158	11	0,000	0,030	
TU30	168	NU13	0,030	0,042	
TU31	NU14	3	0,038	0,022	
TU32	169	NU15	0,066	0,070	
TU33	167	166	0,018	0,000	
TU34	NU17	NU16	0,034	0,032	
TU35	NU16	1	0,000	0,032	
TU90	NU34	53	0,000	0,006	
TU91	NU10	22	0,006	0,000	
TU92	NU1	54	0,000	0,018	
TU93	NU14	170	0,022	0,000	
TU94	NU16	167	0,034	0,000	
TU95	NU12	172	0,000	0,026	
TU96	NU4	174	0,042	0,000	
TU99	NU36	185	0,000	0,012	
TU100	38	179	0,038	0,024	
TU101	NU3	181	0,000	0,012	
TU102	NU9	190	0,026	0,000	
TU103	NU8	191	0,000	0,016	
TU104	31	188	0,018	0,000	
TU105	196	197	0,006	0,000	
TU107	NU37	NU38	0,760	0,776	
TU108	NU38	NU39	0,748	0,776	

<b>ID</b>	<b>TURNO1</b>			<b>TURNO2</b>
<b>ELEM</b>	<b>N I</b>	<b>N F</b>	<b>CAUDAL</b> <b>(m3/s)</b>	<b>CAUDAL</b> <b>(m3/s)</b>
TU110	NU1	NU40	0,696	0,710
TU111	NU40	NU41	0,696	0,688
TU112	NU41	NU42	0,684	0,688
TU113	NU42	NU43	0,666	0,688
TU114	NU43	NU44	0,636	0,658
TU115	NU44	NU45	0,636	0,642
TU117	NU45	NU46	0,636	0,630
TU118	NU46	NU47	0,600	0,596
TU119	NU47	NU48	0,582	0,584
TU120	NU49	187	0,056	0,000
TU121	NU48	NU50	0,564	0,584
TU122	NU50	26	0,508	0,572
TU123	NU5	38	0,060	0,024
TU124	26	NU7	0,508	0,560
TU125	16	17	0,046	0,028
TU126	NU51	16	0,046	0,050
TU127	NU52	12	0,012	0,018
TU128	NU11	NU51	0,068	0,050
TU129	NU53	171	0,102	0,098
TU130	13	NU53	0,114	0,098
TU132	175	NU10	0,106	0,114
TU133	NU54	NU55	0,258	0,380
TU134	NU55	NU56	0,152	0,210
TU135	NU56	NU57	0,152	0,192
TU136	3	4	0,012	0,000
TU137	8	7	0,006	0,000
TU138	6	8	0,006	0,026
TU139	NU58	158	0,000	0,042
TU140	NU13	NU58	0,012	0,042
TU141	NU15	NU14	0,060	0,022
TU142	NU57	NU17	0,130	0,192
TU144	NU50	NU49	0,056	0,012
TU145	17	40	0,030	0,000
TU147	NU49	29	0,000	0,012
TU148	NU58	2	0,012	0,000
TU149	NU13	9	0,018	0,000
TU150	NU7	NU4	0,102	0,056
TU151	NU46	192	0,036	0,034
TU153	NU42	55	0,018	0,000
TU154	NU41	56	0,012	0,000
TU155	NU40	52	0,000	0,022
TU156	NU2	51	0,022	0,000
TU157	NU55	21	0,000	0,030
TU158	NU56	20	0,000	0,018
TU160	NU44	60	0,000	0,016
TU161	NU45	58	0,000	0,012
TU162	NU17	169	0,066	0,092
TU163	NU15	6	0,006	0,048
TU164	NU54	NU12	0,132	0,124
TU165	NU39	49	0,012	0,000
TU166	NU38	48	0,012	0,000
TU167	NU57	10	0,022	0,000

<b>ID</b>			<b>TURNO1</b>	<b>TURNO2</b>
<b>ELEM</b>	<b>N I</b>	<b>N F</b>	<b>CAUDAL</b> <b>(m3/s)</b>	<b>CAUDAL</b> <b>(m3/s)</b>
TU168	NU51	15	0,022	0,000
TU169	NU17	168	0,030	0,068
TU171	NU11	NU52	0,034	0,018
TU172	NU53	19	0,012	0,000
TU173	NU47	31	0,018	0,012
TU174	NU5	37	0,000	0,032
TU175	NU55	175	0,106	0,140
TU176	17	177	0,016	0,012
TU177	NU52	14	0,022	0,000
TU178	3	5	0,000	0,022
TU179	NU48	30	0,018	0,000
TU116	32	33	0,030	0,018
TU1	195	NU1	0,696	0,728
TU152	NU2	195	0,696	0,744
TU109	196	NU2	0,718	0,744
TU180	50	196	0,736	0,744
TU181	NU34	50	0,736	0,770
TU182	NU39	NU34	0,736	0,776
TU146	NU37	43	0,018	0,012
TU183	43	42	0,018	0,000
TU106	NU60	NU37	0,778	0,788
TU184	NU35	41	0,040	0,024
TU97	NU35	183	0,018	0,018
TU185	183	182	0,000	0,018
TU98	41	184	0,040	0,012
TU186	184	NU36	0,018	0,012
TU187	NU36	186	0,018	0,000
TU143	NU43	NU18	0,030	0,030
TU188	NU18	57	0,030	0,030
TU189	57	194	0,012	0,030
TU190	194	59	0,012	0,018
TU191	59	62	0,000	0,018
TU170	NU60	NU35	0,058	0,042
TU192	1INI	NU60	0,836	0,830
TU159	NU6	25	0,016	0,000
TU131	NU6	NU54	0,390	0,504
TU11	NU7	NU6	0,406	0,504

**Tabla B3. Caudales circulantes turnos**

Id	Nodo inicial	Nodo final	CaudalDiseno
TU2	193	34	0,018
TU3	33	193	0,036
TU4	192	32	0,072
TU5	187	28	0,018
TU6	NU3	178	0,018
TU7	180	NU3	0,036
TU8	179	180	0,054
TU9	174	173	0,02
TU10	NU4	NU5	0,1050664
TU12	45	47	0,018
TU13	46	45	0,036
TU14	44	46	0,054
TU15	36	44	0,072
TU16	39	36	0,07646891
TU17	NU8	39	0,09112258
TU18	35	NU8	0,101879
TU19	27	35	0,1136757
TU20	189	27	0,1251311
TU21	NU9	189	0,1345354
TU22	23	NU9	0,1508233
TU23	24	23	0,1626815
TU24	NU10	24	0,1670476
TU25	177	18	0,018
TU26	12	12-2	0,018
TU27	171	NU11	0,1308195
TU28	NU12	13	0,167553
TU29	158	11	0,02
TU30	168	NU13	0,074
TU31	NU14	3	0,056
TU32	169	NU15	0,1085072
TU33	167	166	0,018
TU34	NU17	NU16	0,06
TU35	NU16	1	0,024
TU90	NU34	53	0,018
TU91	NU10	22	0,018
TU92	NU1	54	0,018
TU93	NU14	170	0,018
TU94	NU16	167	0,036
TU95	NU12	172	0,02
TU96	NU4	174	0,038
TU99	NU36	185	0,018
TU100	38	179	0,072
TU101	NU3	181	0,018
TU102	NU9	190	0,02

Id	Nodo inicial	Nodo final	CaudalDiseno
TU103	NU8	191	0,018
TU104	31	188	0,018
TU105	196	197	0,018
TU107	NU37	NU38	0,7911616
TU108	NU38	NU39	0,7852519
TU110	NU1	NU40	0,7289723
TU111	NU40	NU41	0,7190991
TU112	NU41	NU42	0,7123712
TU113	NU42	NU43	0,703618
TU114	NU43	NU44	0,677435
TU115	NU44	NU45	0,6704423
TU117	NU45	NU46	0,6641192
TU118	NU46	NU47	0,6316418
TU119	NU47	NU48	0,6173895
TU120	NU49	187	0,038
TU121	NU48	NU50	0,6087812
TU122	NU50	26	0,5764714
TU123	NU5	38	0,08197972
TU124	26	NU7	0,5728444
TU125	16	17	0,074
TU126	NU51	16	0,08542643
TU127	NU52	12	0,036
TU128	NU11	NU51	0,09947672
TU129	NU53	171	0,148082
TU130	13	NU53	0,156518
TU132	175	NU10	0,1706892
TU133	NU54	NU55	0,3616841
TU134	NU55	NU56	0,216082
TU135	NU56	NU57	0,2070648
TU136	3	4	0,018
TU137	8	7	0,018
TU138	6	8	0,036
TU139	NU58	158	0,038
TU140	NU13	NU58	0,056
TU141	NU15	NU14	0,074
TU142	NU57	NU17	0,195741
TU144	NU50	NU49	0,056
TU145	17	40	0,02
TU147	NU49	29	0,018
TU148	NU58	2	0,018
TU149	NU13	9	0,018
TU150	NU7	NU4	0,1303408
TU151	NU46	192	0,072
TU153	NU42	55	0,018

Id	Nodo inicial	Nodo final	CaudalDiseno
TU154	NU41	56	0,018
TU155	NU40	52	0,018
TU156	NU2	51	0,018
TU157	NU55	21	0,02
TU158	NU56	20	0,018
TU160	NU44	60	0,018
TU161	NU45	58	0,018
TU162	NU17	169	0,1223714
TU163	NU15	6	0,054
TU164	NU54	NU12	0,1836325
TU165	NU39	49	0,018
TU166	NU38	48	0,018
TU167	NU57	10	0,018
TU168	NU51	15	0,018
TU169	NU17	168	0,08452799
TU171	NU11	NU52	0,054
TU172	NU53	19	0,018
TU173	NU47	31	0,036
TU174	NU5	37	0,024
TU175	NU55	175	0,1864569
TU176	17	177	0,036
TU177	NU52	14	0,018
TU178	3	5	0,018
TU179	NU48	30	0,018
TU116	32	33	0,054
TU1	195	NU1	0,7369975
TU152	NU2	195	0,7444317
TU109	196	NU2	0,7547143
TU180	50	196	0,7643712
TU181	NU34	50	0,7767338
TU182	NU39	NU34	0,7787902
TU146	NU37	43	0,036
TU183	43	42	0,018
TU106	NU60	NU37	0,8059762
TU184	NU35	41	0,072
TU97	NU35	183	0,036
TU185	183	182	0,018
TU98	41	184	0,054
TU186	184	NU36	0,036
TU187	NU36	186	0,018
TU143	NU43	NU18	0,072
TU188	NU18	57	0,072
TU189	57	194	0,054
TU190	194	59	0,036

Id	Nodo inicial	Nodo final	CaudalDiseno
TU191	59	62	0,018
TU170	NU60	NU35	0,0890678
TU192	1INI	NU60	0,8510593
TU159	NU6	25	0,018
TU131	NU6	NU54	0,4865675
TU11	NU7	NU6	0,4936873

**Tabla B4. Caudales diseño para dimensionado a la demanda**

## **APENDICE C. Mediciones**

---

ID	N I	N F	LONG (m)	DEMANDA				TURNOS			
				MAT-TIMBRAJE	D Nomí	Precio/u (€/m)	Precio Tramo (€)	MAT-TIMBRAJE	DNomí	Precio/u (€/m)	Precio Tramo (€)
TU2	193	34	234,15	PVCM-16	125	13,51	3163,4	PVCM-16	125	13,51	3163,4
TU3	33	193	77,53	PVCM-16	160	17,95	1391,7	PVCM-16	125	13,51	1047,4
TU4	192	32	36,469	PVCM-16	250	35,45	1292,8	PVCM-16	160	17,95	654,62
TU5	187	28	47,152	PVCM-16	125	13,51	637,02	PVCM-16	140	15,3	721,42
TU6	NU3	178	137,18	PVCM-16	125	13,51	1853,3	PVCM-10	125	10,93	1499,4
TU7	180	NU3	154,48	PVCM-16	160	17,95	2772,9	PVCM-10	125	10,93	1688,5
TU8	179	180	24,51	PVCM-10	200	18,72	458,83	PVCM-10	125	10,93	267,89
TU9	174	173	52,304	PVCM-10	125	10,93	571,68	PVCM-10	140	12,1	632,88
TU10	NU4	NU5	161,19	PVCM-10	315	35,07	5652,8	PVCM-10	250	25,24	4068,3
TU12	45	47	225,74	PVCM-16	125	13,51	3049,8	PVCM-16	125	13,51	3049,8
TU13	46	45	58,168	PVCM-16	160	17,95	1044,1	PVCM-16	125	13,51	785,85
TU14	44	46	31,14	PVCM-16	200	25,31	788,15	PVCM-16	140	15,3	476,44
TU15	36	44	192,61	PVCM-16	250	35,45	6828	PVCM-16	140	15,3	2946,9
TU16	39	36	374,16	PVCM-16	250	35,45	13264	PVCM-16	200	25,31	9470
TU17	NU8	39	193,4	PVCM-16	250	35,45	6856,1	PVCM-16	200	25,31	4895
TU18	35	NU8	117,36	PVCM-16	315	53,23	6247	PVCM-16	250	35,45	4160,4
TU19	27	35	44,057	PVCM-16	315	53,23	2345,2	PVCM-16	250	35,45	1561,8
TU20	189	27	291,82	PVCM-16	315	53,23	15533	PVCM-16	250	35,45	10345
TU21	NU9	189	124,88	PVCM-16	315	53,23	6647,3	PVCM-16	315	53,23	6647,3
TU22	23	NU9	97,916	PVCM-16	315	53,23	5212,1	PVCM-16	315	53,23	5212,1
TU23	24	23	77,608	PVCM-16	400	82,54	6405,8	PVCM-16	315	53,23	4131,1
TU24	NU10	24	159,54	PVCM-16	400	82,54	13169	PVCM-16	315	53,23	8492,5
TU25	177	18	167,71	PVCM-10	160	13,8	2314,5	PVCM-10	140	12,1	2029,3
TU26	12	02-dic	274,7	PVCM-10	125	10,93	3002,5	PVCM-10	125	10,93	3002,5
TU27	171	NU11	215,82	PVCM-16	315	53,23	11488	PVCM-16	315	53,23	11488
TU28	NU12	13	274,66	PRFV-16	400	85,45	23469	PVCM-16	400	82,54	22670

Continua...

Continuación...

ID	N I	N F	LONG (m)	DEMANDA			TURNO				
				MAT-TIMBRAJE	D Nomí	Precio/u (€/m)	Precio Tramo (€)	MAT-TIMBRAJE	DNomí	Precio/u (€/m)	Precio Tramo (€)
TU29	158	11	26,887	PVCM-10	125	10,93	293,87	PVCM-10	140	12,1	325,33
TU30	168	NU13	96,888	PVCM-10	250	25,24	2445,5	PVCM-10	160	13,8	1337,1
TU31	NU14	3	205,7	PVCM-10	250	25,24	5191,8	PVCM-10	200	18,72	3850,7
TU32	169	NU15	65,122	PVCM-10	315	35,07	2283,8	PVCM-10	250	25,24	1643,7
TU33	167	166	7,5793	PVCM-10	125	10,93	82,842	PVCM-10	125	10,93	82,842
TU34	NU17	NU16	257,76	PVCM-10	400	55,2	14229	PVCM-10	315	35,07	9039,8
TU35	NU16	1	287,32	PVCM-10	315	35,07	10076	PVCM-10	315	35,07	10076
TU90	NU34	53	306,63	PVCM-16	125	13,51	4142,5	PVCM-10	125	10,93	3351,4
TU91	NU10	22	26,267	PVCM-16	125	13,51	354,86	PVCM-16	125	13,51	354,86
TU92	NU1	54	82,605	PVCM-16	125	13,51	1116	PVCM-16	125	13,51	1116
TU93	NU14	170	215,54	PVCM-10	200	18,72	4034,9	PVCM-10	200	18,72	4034,9
TU94	NU16	167	24,965	PVCM-10	160	13,8	344,52	PVCM-10	160	13,8	344,52
TU95	NU12	172	21,761	PVCM-16	125	13,51	294	PVCM-16	140	15,3	332,95
TU96	NU4	174	10,762	PVCM-10	160	13,8	148,51	PVCM-10	160	13,8	148,51
TU99	NU36	185	12,094	PVCM-10	125	10,93	132,18	PVCM-10	125	10,93	132,18
TU100	38	179	184,65	PVCM-10	250	25,24	4660,6	PVCM-10	200	18,72	3456,7
TU101	NU3	181	252,53	PVCM-16	125	13,51	3411,7	PVCM-16	125	13,51	3411,7
TU102	NU9	190	19,254	PVCM-16	125	13,51	260,13	PVCM-16	140	15,3	294,59
TU103	NU8	191	27,86	PVCM-16	125	13,51	376,38	PVCM-16	125	13,51	376,38
TU104	31	188	22,72	PVCM-16	125	13,51	306,95	PVCM-16	125	13,51	306,95
TU105	196	197	439,3	PVCM-16	125	13,51	5935	PVCM-10	125	10,93	4801,6
TU107	NU37	NU38	136,8	PRFV-10	700	171,76	23497	PRFV-10	700	171,76	23497
TU108	NU38	NU39	210	PRFV-10	700	171,76	36070	PRFV-10	700	171,76	36070
TU110	NU1	NU40	83,974	PRFV-16	700	181,76	15263	PRFV-16	700	181,76	15263
TU111	NU40	NU41	116,07	PRFV-16	700	181,76	21097	PRFV-16	700	181,76	21097
TU112	NU41	NU42	131,6	PRFV-16	700	181,76	23919	PRFV-16	700	181,76	23919
TU113	NU42	NU43	11,009	PRFV-16	700	181,76	2000,9	PRFV-16	700	181,76	2000,9
TU114	NU43	NU44	26,112	PRFV-16	700	181,76	4746,2	PRFV-16	700	181,76	4746,2
TU115	NU44	NU45	69,063	PRFV-16	700	181,76	12553	PRFV-16	700	181,76	12553

Continua...

Continuación...

ID	N I	N F	LONG (m)	DEMANDA				TURNOS			
				MAT-TIMBRAJE	D Nomi	Precio/u (€/m)	Precio Tramo (€)	MAT-TIMBRAJE	DNomí	Precio/u (€/m)	Precio Tramo (€)
TU117	NU45	NU46	436,33	PRFV-16	700	181,76	79308	PRFV-16	700	181,76	79308
TU119	NU47	NU48	68,337	PRFV-16	600	142,26	9721,6	PRFV-16	700	181,76	12421
TU120	NU49	187	160,76	PVCM-16	160	17,95	2885,6	PVCM-16	200	25,31	4068,7
TU121	NU48	NU50	21,016	PRFV-16	600	142,26	2989,7	PRFV-16	700	181,76	3819,8
TU122	NU50	26	699,88	PRFV-16	600	142,26	99566	PRFV-16	700	181,76	127211
TU123	NU5	38	236	PVCM-10	250	25,24	5956,8	PVCM-10	250	25,24	5956,8
TU124	26	NU7	72,486	PRFV-16	600	142,26	10312	PRFV-16	700	181,76	13175
TU125	16	17	295,55	PVCM-10	315	35,07	10365	PVCM-10	250	25,24	7459,6
TU126	NU51	16	17,069	PVCM-10	315	35,07	598,61	PVCM-10	250	25,24	430,82
TU127	NU52	12	23,659	PVCM-10	160	13,8	326,5	PVCM-10	125	10,93	258,6
TU128	NU11	NU51	460,93	PVCM-16	315	53,23	24536	PVCM-10	250	25,24	11634
TU129	NU53	171	9,6724	PVCM-16	315	53,23	514,86	PVCM-16	315	53,23	514,86
TU130	13	NU53	16,352	PVCM-16	400	82,54	1349,7	PVCM-16	315	53,23	870,42
TU132	175	NU10	161,29	PVCM-16	400	82,54	13313	PVCM-16	315	53,23	8585,3
TU133	NU54	NU55	65,746	PRFV-16	600	142,26	9353	PRFV-16	600	142,26	9353
TU134	NU55	NU56	72,735	PRFV-16	500	116,5	8473,6	PRFV-16	600	142,26	10347
TU135	NU56	NU57	627,97	PRFV-16	500	116,5	73159	PRFV-16	600	142,26	89336
TU136	3	4	249,15	PVCM-10	140	12,1	3014,7	PVCM-10	125	10,93	2723,2
TU137	8	7	241,89	PVCM-16	125	13,51	3267,9	PVCM-10	125	10,93	2643,8
TU138	6	8	157,6	PVCM-10	160	13,8	2174,9	PVCM-10	125	10,93	1722,6
TU139	NU58	158	129,43	PVCM-10	160	13,8	1786,1	PVCM-10	160	13,8	1786,1
TU140	NU13	NU58	33,927	PVCM-10	200	18,72	635,11	PVCM-10	160	13,8	468,19
TU141	NU15	NU14	233,05	PVCM-10	250	25,24	5882,1	PVCM-10	200	18,72	4362,6
TU142	NU57	NU17	556	PRFV-16	500	116,5	64774	PRFV-10	500	114,86	63863
TU144	NU50	NU49	20,014	PVCM-16	200	25,31	506,56	PVCM-16	200	25,31	506,56
TU145	17	40	260,2	PVCM-10	250	25,24	6567,4	PVCM-10	200	18,72	4870,9
TU147	NU49	29	5,1296	PVCM-16	125	13,51	69,301	PVCM-16	125	13,51	69,301
TU148	NU58	2	188,57	PVCM-10	125	10,93	2061,1	PVCM-10	125	10,93	2061,1

Continua...

Continuación...

ID	N I	N F	LONG (m)	DEMANDA			TURNO				
				MAT-TIMBRAJE	D Nomí	Precio/u (€/m)	Precio Tramo (€)	MAT-TIMBRAJE	DNomí	Precio/u (€/m)	Precio Tramo (€)
TU149	NU13	9	25,054	PVCM-10	125	10,93	273,84	PVCM-10	125	10,93	273,84
TU151	NU46	192	27,801	PVCM-16	250	35,45	985,54	PVCM-16	160	17,95	499,03
TU153	NU42	55	2,5125	PVCM-16	125	13,51	33,943	PVCM-16	125	13,51	33,943
TU154	NU41	56	41	PVCM-16	125	13,51	553,91	PVCM-16	125	13,51	553,91
TU155	NU40	52	8,5253	PVCM-16	125	13,51	115,18	PVCM-16	125	13,51	115,18
TU156	NU2	51	5	PVCM-16	125	13,51	67,55	PVCM-16	125	13,51	67,55
TU157	NU55	21	6,4403	PVCM-16	125	13,51	87,009	PVCM-16	160	17,95	115,6
TU158	NU56	20	244,81	PVCM-16	125	13,51	3307,4	PVCM-16	125	13,51	3307,4
TU160	NU44	60	4,0005	PVCM-16	125	13,51	54,047	PVCM-16	125	13,51	54,047
TU161	NU45	58	3,8207	PVCM-16	125	13,51	51,617	PVCM-16	125	13,51	51,617
TU162	NU17	169	38,285	PVCM-10	315	35,07	1342,7	PVCM-10	250	25,24	966,31
TU163	NU15	6	13,629	PVCM-10	200	18,72	255,14	PVCM-10	200	18,72	255,14
TU164	NU54	NU12	30,12	PRFV-16	400	85,45	2573,7	PVCM-16	400	82,54	2486,1
TU165	NU39	49	12,229	PVCM-10	125	10,93	133,66	PVCM-10	125	10,93	133,66
TU166	NU38	48	7,5804	PVCM-10	125	10,93	82,853	PVCM-10	125	10,93	82,853
TU167	NU57	10	7,501	PVCM-16	125	13,51	101,34	PVCM-10	125	10,93	81,986
TU168	NU51	15	85,417	PVCM-10	125	10,93	933,61	PVCM-10	125	10,93	933,61
TU169	NU17	168	180,37	PVCM-10	250	25,24	4552,6	PVCM-10	250	25,24	4552,6
TU171	NU11	NU52	152,07	PVCM-16	200	25,31	3848,9	PVCM-10	160	13,8	2098,6
TU172	NU53	19	260,85	PVCM-16	125	13,51	3524	PVCM-16	125	13,51	3524
TU173	NU47	31	5,1304	PVCM-16	160	17,95	92,091	PVCM-16	125	13,51	69,312
TU174	NU5	37	38,102	PVCM-10	125	10,93	416,45	PVCM-10	140	12,1	461,03
TU175	NU55	175	439,23	PVCM-16	400	82,54	36254	PVCM-16	315	53,23	23380
TU176	17	177	33,069	PVCM-10	200	18,72	619,04	PVCM-10	140	12,1	400,13
TU177	NU52	14	33,136	PVCM-10	125	10,93	362,18	PVCM-10	125	10,93	362,18
TU178	3	5	91,821	PVCM-10	125	10,93	1003,6	PVCM-10	125	10,93	1003,6
TU179	NU48	30	20	PVCM-16	125	13,51	270,2	PVCM-16	125	13,51	270,2
TU116	32	33	327,6	PVCM-16	200	25,31	8291,6	PVCM-16	160	17,95	5880,5
TU1	195	NU1	371,97	PRFV-16	700	181,76	67609	PRFV-16	700	181,76	67609

Continua...

Continuación...

ID	N I	N F	LONG (m)	DEMANDA				TURNO			
				MAT-TIMBRAJE	D Nomí	Precio/u (€/m)	Precio Tramo (€)	MAT-TIMBRAJE	DNomí	Precio/u (€/m)	Precio Tramo (€)
TU152	NU2	195	337,96	PRFV-16	700	181,76	61428	PRFV-16	700	181,76	61428
TU109	196	NU2	331,23	PRFV-16	700	181,76	60204	PRFV-16	700	181,76	60204
TU180	50	196	11,688	PRFV-16	700	181,76	2124,4	PRFV-10	700	171,76	2007,5
TU181	NU34	50	404,96	PRFV-16	700	181,76	73605	PRFV-10	700	171,76	69555
TU182	NU39	NU34	66,001	PRFV-10	700	171,76	11336	PRFV-10	700	171,76	11336
TU146	NU37	43	342,7	PVCM-10	160	13,8	4729,2	PVCM-10	125	10,93	3745,7
TU183	43	42	34,243	PVCM-10	125	10,93	374,28	PVCM-10	125	10,93	374,28
TU106	NU60	NU37	272,13	PRFV-10	700	171,76	46741	PRFV-10	800	209,33	56965
TU184	NU35	41	115,63	PVCM-10	250	25,24	2918,5	PVCM-10	160	13,8	1595,7
TU97	NU35	183	43,275	PVCM-10	160	13,8	597,19	PVCM-10	125	10,93	472,99
TU185	183	182	268,77	PVCM-10	125	10,93	2937,6	PVCM-10	125	10,93	2937,6
TU98	41	184	46,723	PVCM-10	200	18,72	874,66	PVCM-10	160	13,8	644,78
TU186	184	NU36	365,31	PVCM-10	160	13,8	5041,3	PVCM-10	125	10,93	3992,8
TU187	NU36	186	16,536	PVCM-10	125	10,93	180,74	PVCM-10	125	10,93	180,74
TU143	NU43	NU18	302,34	PVCM-16	250	35,45	10718	PVCM-16	160	17,95	5427
TU188	NU18	57	100,93	PVCM-16	250	35,45	3577,9	PVCM-16	160	17,95	1811,7
TU189	57	194	211,57	PVCM-16	200	25,31	5354,9	PVCM-16	160	17,95	3797,7
TU190	194	59	135,43	PVCM-16	160	17,95	2431	PVCM-16	125	13,51	1829,7
TU191	59	62	23,109	PVCM-16	125	13,51	312,2	PVCM-16	125	13,51	312,2
TU170	NU60	NU35	198,75	PVCM-10	250	25,24	5016,5	PVCM-10	200	18,72	3720,6
TU192	1INI	NU60	223	PRFV-10	700	171,76	38302	PRFV-10	800	209,33	46681
TU159	NU6	25	4,3266	PVCM-16	125	13,51	58,453	PVCM-16	125	13,51	58,453
TU131	NU6	NU54	367,12	PRFV-16	600	142,26	52226	PRFV-16	600	142,26	52226
TU11	NU7	NU6	186,45	PRFV-16	600	142,26	26525	PRFV-16	600	142,26	26525

Importe Total 1429040,786

Importe Total 1391547,834

TABLA C1. Mediciones “Mediana WorkingCase” para dimensionado a la demanda y a turnos.

## **APENDICE D. Resultados Simulaciones**

---

HID	CONSUM	COTA	P. CONSIG.	P. min	P. Media	P. Max	P. MARGEN
	m3/s	m	mca	mca	mca	mca	mca
1	0,02	352,51	46,27	43,82	47,72	51,68	1,45
170	0,02	349,76	45,51	43,90	48,94	54,13	3,43
168	0,02	333,88	61,29	60,77	65,60	70,14	4,31
4	0,02	341,31	48,50	48,58	53,23	62,67	4,73
179	0,02	346,72	48,79	48,34	53,84	59,17	5,05
3	0,02	341,45	51,96	51,48	57,03	62,53	5,06
18	0,02	338,86	52,75	51,02	57,85	65,86	5,10
169	0,02	335,57	59,54	60,66	64,83	68,60	5,29
40	0,02	344,48	48,04	46,49	53,50	60,24	5,46
37	0,02	333,52	61,93	64,68	67,91	72,55	5,98
166	0,02	343,84	49,74	52,20	56,14	60,36	6,40
15	0,02	336,73	52,83	53,69	59,87	67,99	7,04
38	0,02	337,9	55,38	58,86	63,66	68,00	8,28
2	0,02	333,46	52,79	56,72	61,10	70,56	8,31
174	0,02	328,8	65,97	71,32	74,30	77,23	8,33
14	0,02	329,1	60,32	62,37	68,65	75,62	8,33
5	0,02	338,2	49,47	52,80	58,26	65,78	8,79
197	0,02	330,83	62,11	70,53	71,16	83,35	9,05
177	0,02	336,25	50,95	54,70	61,26	68,47	10,31
167	0,02	344,12	45,00	52,08	55,95	60,08	10,95
17	0,02	336,03	50,40	55,18	61,42	68,69	11,02
16	0,02	338,36	48,50	53,78	60,04	66,36	11,54
53	0,02	325,84	68,97	80,70	81,13	89,54	12,16
XX	0,02	331,73	47,32	54,11	60,45	72,99	13,13
178	0,02	326,74	53,58	59,92	67,85	79,15	14,27
12	0,02	331,89	51,46	59,74	66,05	72,83	14,59
173	0,02	332,23	54,75	66,55	69,59	73,53	14,84
6	0,02	336,4	48,53	59,42	63,59	67,76	15,06
42	0,02	345,5	49,94	62,41	65,63	71,13	15,69
7	0,02	327,34	47,45	59,10	63,31	76,82	15,86
43	0,02	342,09	52,49	66,54	69,52	74,54	17,03
26	0,02	320,02	66,08	81,12	83,91	86,43	17,83
184	0,02	348,12	48,73	63,71	67,42	69,41	18,69
9	0,02	332,44	46,55	61,11	66,02	71,58	19,47
182	0,02	345,1	45,00	61,89	64,82	72,43	19,82
185	0,02	344,5	45,00	58,78	64,87	73,03	19,87
186	0,02	345,79	45,00	57,39	64,88	71,74	19,88
180	0,02	334,32	45,73	60,34	65,80	71,57	20,07
158	0,02	329,34	46,53	61,21	66,96	74,68	20,43
41	0,02	341,72	52,82	70,87	73,74	75,81	20,92
8	0,02	331,7	46,07	61,13	67,04	72,46	20,97
172	0,02	317,53	62,44	80,46	83,77	87,69	21,33
19	0,02	323,96	47,34	67,49	70,48	81,13	23,14
11	0,02	328,58	45,00	61,28	68,27	75,44	23,27
181	0,02	321,53	45,54	62,08	69,15	84,36	23,61
171	0,02	320,68	57,18	77,37	80,79	84,39	23,61
183	0,02	346,78	45,00	65,89	68,68	70,75	23,68
13	0,02	318,9	57,91	79,31	82,55	86,20	24,64
10	0,02	327,23	48,11	69,92	73,70	77,39	25,59

Continua....

**Continuación.....**

HID	CONSUM	COTA	P. CONSIG.	P. min	P. Media	P. Max	P. MARGEN
	m3/s	m	mca	mca	mca	mca	mca
187	0,02	320,72	55,73	78,26	81,77	87,38	26,04
49	0,02	333,2	54,60	81,53	81,83	82,40	27,23
48	0,02	337,88	48,48	77,81	77,99	78,37	29,51
50	0,02	324,36	59,41	88,64	89,32	89,85	29,91
20	0,02	319,51	45,86	72,50	75,78	85,57	29,92
28	0,02	322,96	48,03	74,78	78,33	85,14	30,30
36	0,02	304,17	54,89	71,14	86,51	98,80	31,62
25	0,02	318,72	51,92	81,26	84,07	87,18	32,15
27	0,02	306,74	55,51	78,65	88,06	96,30	32,55
189	0,02	304,92	58,63	84,14	91,53	98,29	32,90
35	0,02	305,1	55,23	79,83	89,59	97,93	34,36
24	0,02	308,85	54,04	84,06	89,77	94,82	35,73
47	0,02	291,04	53,32	73,81	90,15	111,93	36,83
196	0,02	324,44	52,04	88,52	89,17	89,74	37,13
21	0,02	313,21	50,75	85,18	88,44	91,86	37,69
22	0,02	311,35	49,17	82,10	87,04	92,52	37,87
195	0,02	317,94	55,39	92,45	93,54	94,42	38,15
23	0,02	307,06	53,23	85,35	91,60	96,52	38,37
51	0,02	320,94	52,98	90,65	91,50	92,31	38,52
29	0,02	317,88	47,77	86,01	88,30	90,29	40,53
39	0,02	298,96	53,22	81,68	93,93	104,01	40,71
52	0,02	310,19	58,96	98,46	99,69	101,00	40,73
175	0,02	307,13	51,66	88,03	92,91	96,94	41,25
54	0,02	311,58	55,09	95,23	96,62	99,81	41,53
46	0,02	299,75	46,51	72,71	88,59	103,22	42,08
44	0,02	299,98	47,39	73,11	89,59	102,99	42,20
188	0,02	313,5	49,98	90,83	92,85	95,14	42,87
30	0,02	315,39	46,53	88,65	90,92	92,83	44,39
45	0,02	297,8	45,13	73,01	89,78	105,17	44,65
190	0,02	306,8	45,05	83,32	90,45	96,52	45,40
56	0,02	306,61	55,88	100,79	102,08	104,30	46,20
191	0,02	302,5	45,00	80,77	91,22	100,49	46,22
31	0,02	313,53	45,52	91,40	93,42	95,15	47,90
33	0,02	305,07	52,04	94,18	99,95	104,14	47,91
55	0,02	302,53	58,68	105,27	106,81	108,04	48,13
57	0,02	302,32	56,20	101,44	105,42	108,24	49,22
192	0,02	312,37	46,02	93,74	95,43	96,97	49,41
32	0,02	308,71	47,86	97,16	99,00	100,51	51,14
60	0,02	303,69	52,33	103,88	105,49	106,80	53,16
194	0,02	301,49	50,36	97,99	103,56	109,07	53,20
59	0,02	300,38	48,47	95,26	102,40	110,18	53,93
62	0,02	299,9	49,23	95,13	103,20	110,66	53,97
34	0,02	294,2	47,74	96,67	102,24	115,01	54,50
58	0,02	301,87	50,81	105,49	107,14	108,40	56,33
193	0,02	301,96	45,12	95,09	101,86	107,25	56,74

**Tabla D1 . Resultados simulaciones “MedianaWorkingCase” dimensionada a la demanda**

TURN O1	ALT. PIEZ HID	ALT. PIEZ (m)	PRESIÓN (m)	CONSUMO (m <sup>3</sup> /s)	COTA (m)	P. CONSIGNA (m)	P. MARGEN (m)
	170	395,53	45,77	0,022	349,76	45,5100	0,26
	40	392,88	48,40	0,030	344,48	48,0400	0,36
	18	392,33	53,47	0,016	338,86	52,7500	0,72
	3	394,47	53,02	0,026	341,45	51,9600	1,06
	4	391,95	50,64	0,012	341,31	48,5000	2,14
	179	398,16	51,44	0,016	346,72	48,7900	2,65
	15	392,98	56,25	0,022	336,73	52,8300	3,42
	14	395,29	66,19	0,022	329,1	60,3200	5,87
	38	399,73	61,83	0,022	337,9	55,3800	6,45
	186	397,54	51,75	0,018	345,79	45,0000	6,75
	166	400,71	56,87	0,018	343,84	49,7400	7,13
	174	402,02	73,22	0,012	328,8	65,9700	7,25
	178	388,53	61,79	0,022	326,74	53,5800	8,21
	184	405,6	57,48	0,022	348,12	48,7300	8,75
	42	405,29	59,79	0,018	345,5	49,9400	9,85
	2	397,66	64,20	0,012	333,46	52,7900	11,41
	167	400,87	56,75	0,016	344,12	45,0000	11,75
	173	400,4	68,17	0,030	332,23	54,7500	13,42
	02	393,28	61,55	0,012	331,73	47,3200	14,23
	197	409,4	78,57	0,006	330,83	62,1100	16,46
	183	409,16	62,38	0,018	346,78	45,0000	17,38
	9	399,13	66,69	0,018	332,44	46,5500	20,14
	187	400,66	79,94	0,030	320,72	55,7300	24,21
	49	412,02	78,82	0,012	333,2	54,6000	24,22
	13	401,15	82,25	0,018	318,9	57,9100	24,34
	7	399,6	72,26	0,006	327,34	47,4500	24,81
	48	412,72	74,84	0,012	337,88	48,4800	26,36
	10	401,7	74,48	0,022	327,23	48,1100	26,37
	19	397,72	73,76	0,012	323,96	47,3400	26,42
	28	399,25	76,29	0,026	322,96	48,0300	28,26
	35	391,51	86,41	0,018	305,1	55,2300	31,18
	46	377,49	77,74	0,012	299,75	46,5100	31,23
	25	402,88	84,16	0,016	318,72	51,9200	32,24
	45	376,26	78,46	0,016	297,8	45,1300	33,33
	24	396,5	87,65	0,006	308,85	54,0400	33,61
	196	410,67	86,23	0,012	324,44	52,0400	34,19
	39	387,43	88,47	0,022	298,96	53,2200	35,25
	51	409,51	88,57	0,022	320,94	52,9800	35,59
	22	397,5	86,15	0,006	311,35	49,1700	36,98
	57	398,63	96,31	0,018	302,32	56,2000	40,11
	33	397,4	92,33	0,018	305,07	52,0400	40,29
	188	404	90,50	0,018	313,5	49,9800	40,52
	30	404,07	88,68	0,018	315,39	46,5300	42,15
	190	394,85	88,05	0,026	306,8	45,0500	43,00
	56	406,68	100,07	0,012	306,61	55,8800	44,19
	55	406,78	104,25	0,018	302,53	58,6800	45,57
	192	404,79	92,42	0,006	312,37	46,0200	46,40
	59	396,11	95,73	0,012	300,38	48,4700	47,26
	34	393,47	99,27	0,012	294,2	47,7400	51,53

Tabla D2 . Resultados simulaciones “MedianaWorkingCase” dimensionada a turnos. TURNO 1

**TURNO2**

HID	ALT. PIEZ (m)	PRESIÓN (m)	CONSUMO (m <sup>3</sup> /s)	COTA (m)	P. CONSIGNA (m)	P. MARGEN (m)
1	399,23	46,72	0,03	352,51	46,2700	0,45
168	398,11	64,23	0,03	333,88	61,2900	2,94
169	399,05	63,48	0,02	335,57	59,5400	3,94
37	400,01	66,49	0,03	333,52	61,9300	4,56
5	394,31	56,11	0,02	338,2	49,4700	6,64
177	396,34	60,09	0,01	336,25	50,9500	9,14
17	396,53	60,50	0,02	336,03	50,4000	10,10
16	397,02	58,66	0,02	338,36	48,5000	10,16
6	398,3	61,90	0,02	336,4	48,5300	13,37
8	391,77	60,08	0,03	331,7	46,0700	14,01
158	390,26	60,92	0,01	329,34	46,5300	14,39
12	397,8	65,91	0,02	331,89	51,4600	14,45
182	405,12	60,02	0,02	345,1	45,0000	15,02
43	409,78	67,69	0,01	342,09	52,4900	15,20
11	389,42	60,84	0,03	328,58	45,0000	15,84
41	410,46	68,74	0,01	341,72	52,8200	15,92
53	410,96	85,12	0,01	325,84	68,9700	16,15
26	402,76	82,74	0,01	320,02	66,0800	16,66
185	406,51	62,01	0,01	344,5	45,0000	17,01
36	376,17	72,00	0,02	304,17	54,8900	17,11
180	399,49	65,17	0,01	334,32	45,7300	19,44
172	400,1	82,57	0,03	317,53	62,4400	20,13
47	365,77	74,73	0,01	291,04	53,3200	21,41
171	400,01	79,33	0,03	320,68	57,1800	22,15
44	369,58	69,60	0,02	299,98	47,3900	22,21
27	386,13	79,39	0,02	306,74	55,5100	23,88
189	390,21	85,29	0,02	304,92	58,6300	26,66
50	410,5	86,14	0,03	324,36	59,4100	26,73
181	394,75	73,22	0,01	321,53	45,5400	27,68
20	394,21	74,70	0,02	319,51	45,8600	28,84
23	391,63	84,57	0,02	307,06	53,2300	31,34
195	408,38	90,44	0,02	317,94	55,3900	35,05
175	395,12	87,99	0,03	307,13	51,6600	36,33
191	384,12	81,62	0,02	302,5	45,0000	36,62
21	400,59	87,38	0,03	313,21	50,7500	36,63
52	406,7	96,52	0,02	310,19	58,9600	37,56
29	404	86,12	0,01	317,88	47,7700	38,35
54	405,09	93,51	0,02	311,58	55,0900	38,42
62	389,66	89,76	0,02	299,9	49,2300	40,53
194	393,85	92,36	0,01	301,49	50,3600	42,00
31	404,21	90,68	0,01	313,53	45,5200	45,16
32	403,47	94,76	0,02	308,71	47,8600	46,90
60	406,18	102,49	0,02	303,69	52,3300	50,16
193	398,8	96,84	0,02	301,96	45,1200	51,72
58	406,06	104,19	0,01	301,87	50,8100	53,38

**Tabla D3 . Resultados simulaciones “MedianaWorkingCase” dimensionada a turnos. TURNO 2**

