



Título del Trabajo Fin de Máster:

***MODELO MATEMÁTICO DE LA RED DE
ABASTECIMIENTO DE LA
COOPERATIVA VALENCIANA EL
PLANTÍO Y LA CAÑADA***

Intensificación:

HIDRÁULICA URBANA

Autor:

TORDERA LLEDÓ, FRANCESC VICENT

Director/es:

DR. IGLESIAS REY, PEDRO LUIS

***DR. MARTÍNEZ SOLANO, FRANCISCO
JAVIER***

Fecha: SEPTIEMBRE, 2014

Título del Trabajo Fin de Máster:

MODELO MATEMÁTICO DE LA RED DE ABASTECIMIENTO DE LA COOPERATIVA VALENCIANA EL PLANTÍO Y LA CAÑADA

Autor: **TORDERA LLEDÓ, FRANCESC**

Tipo	A <input checked="" type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/>	Lugar de Realización	VALENCIA
Director	PEDRO LUIS IGLESIAS REY	Fecha de Lectura	Septiembre
Codirector1	FRANCISCO JAVIER MATÍNEZ		
Codirector2	SOLANO		
Tutor	<NOMBRE Y APELLIDOS>		

Resumen:

La realización del modelo matemático de la red de abastecimiento de la "Cooperativa Valenciana El Plantío y La Cañada" ha consistido en:

- 1. Análisis de la demanda: determinación de los consumos y su modulación, a partir de los datos obtenidos tanto del sistema de telemando como de los datos de facturación.*
- 2. Análisis de la producción: determinación de los caudales inyectados realmente en la red para el período de tiempo acorde con la demanda.*
- 3. Mejora en el nivel de detalle de la simulación, en el modelo matemático, de los puntos de producción de la red (depósitos, pozos y grupos de presión).*
- 4. Detección (y mejora) de posibles problemas topológicos y topográficos en el modelo matemático.*
- 5. Introducción de los caudales no controlados (diferencia entre los inyectados y los demandados) en el modelo matemático.*

Una vez elaborado el modelo (determinación de la red, la demanda y los puntos de producción), se han efectuado una serie de simulaciones, comparando el comportamiento de éste con los datos obtenidos del sistema de telemando.

Se ha podido comprobar el funcionamiento anómalo del modelo en relación a la simulación de al menos 2 puntos de producción.

The elaboration of the mathematic model about the "Cooperativa Valenciana El Plantío y La Cañada" water distribution net has been basically:

- 1. Demand analysis: Water consumption and modulation, from telemetering system and billing meter data.*
- 2. Production analysis: Real injected water flows determination during a time period according with the determined demand.*
- 3. Simulation detail level improvement, on the mathematical model, about the water net production points (water tanks, wells and pumps).*
- 4. Detection (and improvement) of possible topological and topographical problems related to the mathematical model.*
- 5. Uncontrolled water flows input (difference between injected and demanded water) into the mathematical model.*

On the finished model (net,demand and production points determination), some series of simulations were made, comparing the model behavior with the telemetering system data.

Anomalous model functioning was proved related to at least 2 production points simulation.

La realització del model matemàtic de la xarxa d'abastiment de la "Cooperativa Valenciana El Plantío y La Cañada" ha consistit bàsicament en:

- 1. Anàlisi de la demanda: determinació del cabals i la seua modulació, a partir de dades obtinguts tant del sistema de telecomandament com de les dades de facturació.***
- 2. Anàlisi de la producció: Determinació dels cabals injectats realment en la xarxa per al període de temps acord amb la demanda.***
- 3. Millora del nivell de detall de la simulació, en el model matemàtic, dels punts de producció de la xarxa (depòsits, pous i grups de pressió).***
- 4. Detecció (i millora) de possibles problemes topològics i topogràfics al model matemàtic.***
- 5. Introducció dels cabals no controlats(diferència entre els injectats i els facturats) al model matemàtic.***

Una vegada elaborat el model (determinació de la xarxa, demanda y punts de producció) s'han efectuat una sèrie de simulacions, comparant el comportament d'aquest amb les dades obtingudes del sistema de telecomandament.

S'ha pogut comprovar el funcionament anòmal del model amb relació a la simulació de al menys 2 punts de producció.

Palabras clave:

Modelación matemática de redes / análisis y filtrado de bases de datos de telemando / modulación de la demanda / introducción de caudales no controlados

ÍNDICE

1. - OBJETO DEL ESTUDIO E INTRODUCCIÓN
2. - ANTECEDENTES Y FUENTES DE INFORMACIÓN
3. - DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA HIDRÁULICO
 - 3.1. - LOCALIZACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LA DEMANDA
 - 3.2. - RED DE DISTRIBUCIÓN
 - 3.3. - PUNTOS DE PRODUCCIÓN
 - 3.4. - DATOS Y CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE TELECONTROL
 - 3.5. - DETERMINACIÓN DE LOS CAUDALES INYECTADOS Y CONSUMIDOS DEL AÑO 2010
4. - MODELO MATEMÁTICO DE LA RED
 - 4.1. - METODOLOGÍA
 - 4.2. - DETERMINACIÓN DE LAS DEMANDAS Y DEL PATRÓN DE CONSUMO
 - 4.3. - ELABORACIÓN DE LA TOPOLOGÍA DE LA RED
 - 4.4. - MODELIZACIÓN DE LOS PUNTOS DE PRODUCCIÓN
 - 4.5. - INTRODUCCIÓN DEL CAUDAL NO CONTROLADO (FUGADO) DE LA RED
 - 4.6. - ANÁLISIS Y APLICACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL MODELO MATEMÁTICO
5. - CONCLUSIONES.

APÉNDICE Nº1 : FICHAS DE LOS DEPÓSITOS

APÉNDICE Nº2 : PLANO DE LA RED DE COVAGUAS

APÉNDICE Nº3 : GRÁFICAS DE LA EVOLUCIÓN DEL NIVEL DE LOS DEPÓSITOS

1. - OBJETO DEL ESTUDIO E INTRODUCCIÓN

El objeto del presente estudio es tanto la mejora del modelo matemático actual de la red de transporte de agua a presión de la Cooperativa Valenciana El Plantío y la Cañada (a partir de ahora COVAGUAS), como el análisis de dicho modelo ante los distintos escenarios a simular.

La mejora del modelo matemático se centrará básicamente en cinco aspectos:

1. Análisis de la demanda: determinación de los caudales y su modulación, a partir de los datos obtenidos tanto del sistema de telemando como de los datos de facturación.
2. Análisis de la producción: determinación de los caudales inyectados realmente en la red para el período de tiempo acorde con la demanda.
3. Mejora en el nivel de detalle de la simulación, en el modelo matemático, de los puntos de producción de la red (depósitos, pozos y grupos de presión).
4. Detección (y mejora) de posibles problemas topológicos y topográficos en el modelo matemático.
5. Introducción de los caudales no controlados (diferencia entre los inyectados y los demandados) en el modelo matemático.

Una vez determinado el modelo (determinación de la red y la demanda), se realizará la simulación de diferentes escenarios como aplicación de éste.

2. - ANTECEDENTES Y FUENTES DE INFORMACIÓN

Para la realización del presente estudio, se ha partido de las siguientes fuentes de información:

1. Modelo matemático de la red de abastecimiento de COVAGUAS obtenido del Proyecto Fin de Carrera "PROYECTO DE SECTORIZACIÓN DE LA RED DE SUMINISTRO DE AGUA DE LA COOPERATIVA VALENCIANA EL PRANTÍO Y LA CAÑADA", realizado por Paula Quintá Pérez. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, Universidad Politécnica de Valencia. Año 2013. Incluye además parte de la fotografías provenientes de las visitas realizadas entonces a los puntos de producción y los esquemas de éstos realizados.
2. Datos obtenidos del sistema de telecontrol de COVAGUAS. Período de 2008 a 2010. Incluyen las series temporales completas de todos los sistemas con registro de datos. Además de los originales, parte de ellos también previamente filtrados y corregidos por el Profesor Dr. Francisco Javier Martínez Solano.
3. Datos de facturación de agua de COVAGUAS a particulares. Lecturas de los contadores domiciliarios relativas al año 2010.
4. Información descriptiva de la red de COVAGUAS proveniente del proyecto "ESTUDIO DE DISPONIBILIDAD Y SUFICIENCIA DE CAUDALES RELATIVO AL SUMINISTRO DE AGUA POTABLE AL PAI EL MANISERO. TÉRMINO MUNICIPAL DE BÉTERA (VALENCIA).

5. Información relativa a aspectos puntuales de la topología y conexión de la red de COVAGUAS y de algunos puntos de producción en particular. Información facilitada por Don José Morelli, trabajador encargado de COVAGUAS.
6. Cartografía proveniente del Institut Cartogràfic Valencià (ICV), en concreto de las series ODCV05_2010_ETRS89H30 y ODCV05_2012_ETRS89H30, Ortofotos Digitales de la Comunidad Valenciana de los años 2010 y 2012 y las series de BCV05. Cartografía vectorial 1:5.000 por término municipal de la Comunidad Valenciana. Para los términos municipales de La Pobla de Vallbona, La Eliana, San Antonio de Benagéber, Paterna, Manises y Bétera.

3. - DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA HIDRÁULICO

La Cooperativa Valenciana El Plantío y la Cañada se trata de una empresa concesionaria, constituida el 24 de agosto de 1964 y que gestiona el abastecimiento de agua de una serie de urbanizaciones compuestas básicamente de viviendas unifamiliares, y comprendidas entre los términos municipales de La Pobla de Vallbona, , San Antonio de Benagéber, Paterna y Bétera. Ésta se trata de una cooperativa de usuarios que comprende un total de 9717 suministros que corresponden a cerca de 49000 habitantes.

	Población	Volumen anual (m ³)	Caudal instantáneo (l/s)
Demanda ACTUAL	48.684	5.472.259	174,67

Tabla 1: Datos de abastecimiento de COVAGUAS. Proyecto "PAI MANISERO" 2011.

Para la descripción y caracterización tanto de la red de COVAGUAS como de la demanda y sistema de datos, se procederá desarrollando los siguientes aspectos:

1. Localización y características de la demanda. Qué zona comprende la red de COVAGUAS y qué aspectos relativos a los consumos serán esperables.
2. Red de distribución. Descripción de la red de tuberías objeto del modelo matemático del estudio.
3. Puntos de producción. Se trata de la descripción de los puntos singulares de la red donde se produce el almacenamiento (depósitos), inyección de caudal (pozos) y/o presión (grupos de bombas) o simplemente regulación.
4. Datos y características del sistema de telecontrol. Los datos disponibles para poder realizar tanto la modelización de la red como su posterior comprobación.
5. Determinación de los caudales inyectados y consumidos del año 2010. Se trata de, tras constar el uso exclusivo, a efectos de uso de datos del sistema de telecontrol, del último año disponible completo (año 2010), determinar el rendimiento volumétrico de la red : $\eta = \frac{Vol_{tarifado}}{Vol_{inyectado}}$ para dicho año.

3.2. - RED DE DISTRIBUCIÓN

Ante la gran extensión de la zona abastecida, se hace necesario el determinar el nivel de detalle de las tuberías a modelizar. En este caso, se trata de establecer la red completa, hasta las acometidas domiciliarias, ésta comprende un total de cerca de 352 km de longitud total, a continuación de mostrará una tabla donde se han tabulado los diámetros y su longitud total instalada.

DIÁMETRO [mm]	LONGITUD TOTAL [m]
DN<75	149693
75≤DN<125	115538
125≤DN<200	30325
200≤DN<400	36250
DN≥400	20151

Tabla 2 : Longitudes totales de la red en función del diámetro de la tubería.

Se puede apreciar que cerca de la mitad de la longitud de la red está compuesta por tuberías de diámetro menor, por tanto se comprueba la gran extensión de la zona a abastecer en proporción a la población.

Por otra parte, también se debe hacer constar que, dada la antigüedad de la red (algunas tuberías con cerca de 50 años), y la variedad de diámetros observados, hace que se pueda considerar como cierta la rugosidad absoluta de la tubería con un valor conservador (también dada la topología de ésta y la gran cantidad de acometidas y uniones).

En cuanto a la distribución de su funcionamiento general, antiguamente la red se abastecía principalmente desde la zona sur en el Pozo del Río, de forma que el flujo de caudal era principalmente de sur a norte, habiendo grupos de bombeo intermedios para llegar a las zonas más alejadas y/o elevadas. A partir de la disposición de los pozos y depósitos de La Pobla, se ha invertido dicho sentido de flujo, de forma que actualmente dicha fuente es la principal de abastecimiento de toda la red.

Para ello se han dispuesto dos tuberías (una de 400 mm de diámetro nominal y otra de 350) que constituyen la red arterial principal al norte de la carretera CV-35. La tubería de DN350, llega hasta el depósito de la Conarda. A partir de éste, hay un tramo de tubería de DN250.

El paso de la CV-35 (Sta. Bárbara-Trasvase) se realiza mediante una tubería de DN450, desde la que se conectan el depósito de El Plantío y (mediante una tubería DN250) el depósito de Colinas.

A partir del depósito de El Plantío, continúa una tubería de DN350, que se bifurca más al sur en una de DN250 que conecta con el depósito de la Vallesa, y otra de DN200 que conecta con el depósito de Montecañada.

Por otro lado, desde los pozos del Río y Despeñaperros (la parte más al sur de la red), parte una tubería de DN250, que se bifurca para abastecer toda la zona sur de la Cañada.

A continuación se adjunta una figura donde se grafía lo anteriormente dicho.

Igualmente, en el APÉNDICE N°2 : PLANO DE LA RED DE COVAGUAS se encuentra la red completa grafada en su entorno.

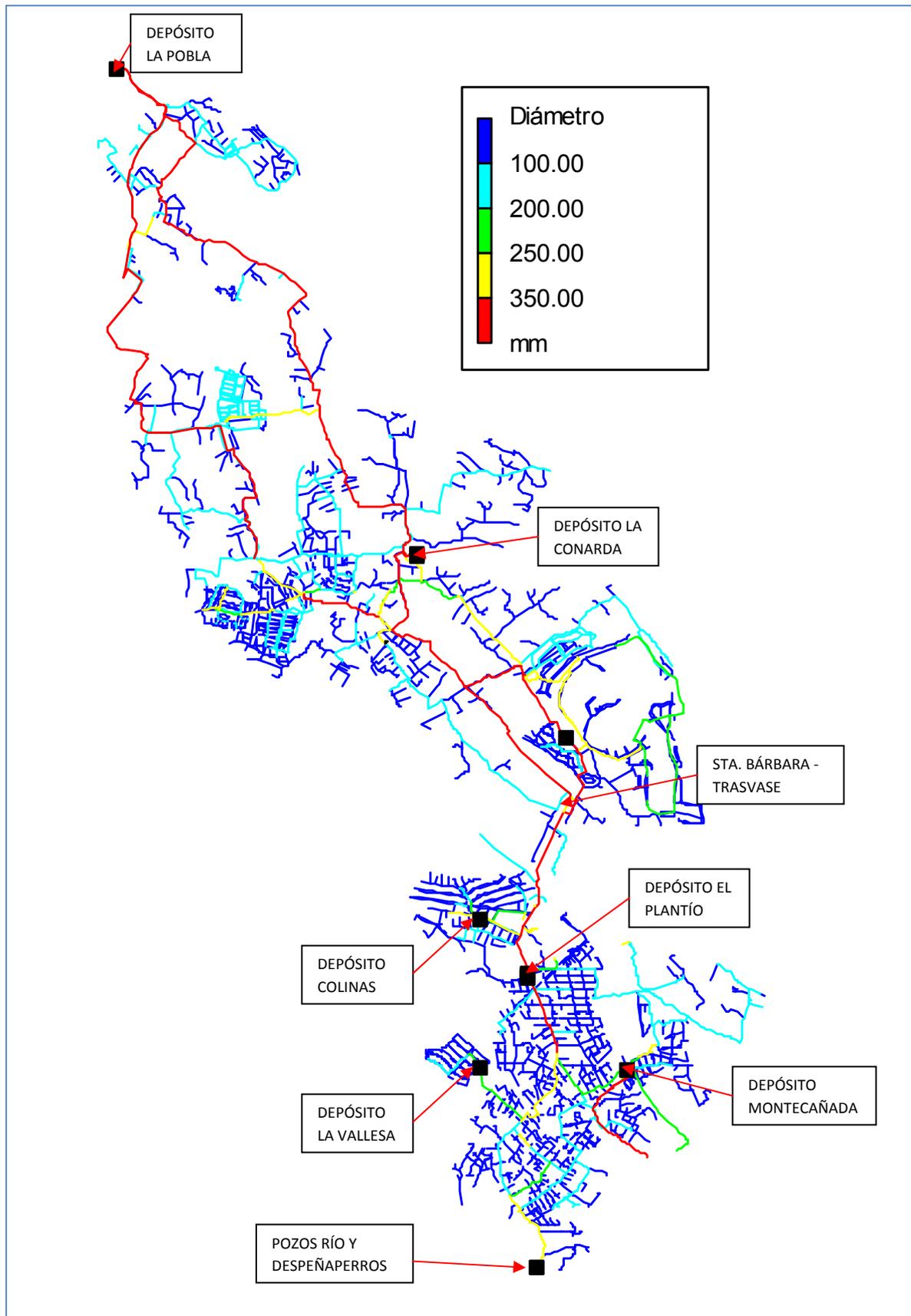


Ilustración 2 : Red de COVAGUAS según el diámetro de las tuberías. Se aprecian las tuberías arteriales (color rojo)

desde la Pobra y hasta El Plantío.

3.3. - PUNTOS DE PRODUCCIÓN

Tal y como se ha indicado anteriormente, se trata de los puntos singulares donde se realiza el almacenamiento (depósitos), inyección de caudal (pozos) y/o presión (grupos de bombas) o simplemente regulación de la red.

Dado que son los medios utilizados para determinar la regulación de la red completa, es de suma importancia el considerarlos para la posterior modelación de ésta.

Por otra parte, dado que se considera que los depósitos con grupo de presión son los puntos de producción con mayor incidencia en el buen funcionamiento de la red, en el APÉNDICE N°1 : FICHAS DE LOS DEPÓSITOS se adjuntan de forma resumida y gráfica los aspectos más importantes de dichos puntos y su modelación a efectos de poder observar de forma conjunta las características. Se trata de los depósitos de Colinas, El Plantío, La Conarda, La Vallesa y Montecañada.

En el APÉNDICE N°2 : PLANO DE LA RED DE COVAGUAS se encuentran localizados cada uno de los puntos de producción.

Se procederá a continuación a la descripción de los puntos de producción en orden según la numeración del sistema de COVAGUAS.

01 - POZO DEL PLA

Se trata de un pozo que data del año 1981, situado junto a la urbanización de Colinas de San Antonio, en la zona más cercana al cruce de la red con la carretera CV-35.

Debido a problemas de extracción de arenas durante el bombeo de agua, se le ha dotado de un desarenador.



Ilustración 3 : Imágenes del Pozo del Pla y del desarenador

Según la información que figura en el Proyecto del PAI “El Manisero”:

Nombre	Término	Referencia Catastral	X	Y	Z
Pou del Plá nº 1	S. Antonio Benagéber	5811126YJ1851S0001LX	716.010	4.381.180	92

Expediente administrativo		1995CP0003			
SONDEO	Nuevo Pou Ricós	Pou Plá nº 1	Pou Plá nº 2	Pou Plá nº 3	
Profundidad (m)	150	105	163	165	
Diámetro revestimiento (mm)	400	350	350	350	
Unidad Hidrogeológica		09.22 Liria – Casinos			
Masa de Agua Subterránea		080.131 Liria – Casinos			
Término Municipal	Paterna	San Antonio de Benagéber			
Provincia		Valencia			
Polígono	17	Urbano	17	17	
Parcela	193	5811126YJ1851S0001LX	174	174	
X	716.257	716.010	715.979	716.043	
Y	4.380.550	4.381.180	4.380.878	4.380.892	
Cota (msnm)	89	92	88	88	
Huso	30	30	30	30	
Instalaciones Electromecánicas		Electrobombas sumergidas			
Origen de la energía eléctrica	C.T.	C.T.	C.T.	C.T.	
Potencia del (Kva)	50	200	200	200	
Tipo de instalación elevadora		Electrobombas sumergidas			
Potencia (CV)	40	68	80	80	
Profundidad de la bomba (m)	112	102	155	155	
Diámetro tubería de impulsión (mm)	100	125	150	150	
Nivel estático (m)	60	63	66	66	
Nivel dinámico (m)	93	88	103	103	
Caudal máximo instantáneo	9	17	15	15	

Tabla 3 : Coordenadas y características electromecánicas e hidráulicas del pozo El Pla, según el Proyecto del Pai “El Manisero”

Actualmente se utiliza únicamente cuando la demanda es mayor (verano). Se comprueba esto ya que según los datos del sistema de telemando, durante el año 2010 se utilizó durante 1/3 de éste aproximadamente.

02 - POZO RICOS

Al igual que el Pozo del Pla, se trata de un pozo con uso limitado a la necesidad puntual de demanda.

Ser halla ubicado en la zona de El Plantío, cerca del depósito del mismo nombre.



Ilustración 4 : Imágenes del Pozo de Ricos

Según la información que figura en el Proyecto del PAI “El Manisero”:

Nombre	Término	Referencia Catastral	X	Y	Z
Nuevo Pou Ricós	Paterna	Polígono 17, parcela 193	716.257	4.380.550	89

Expediente administrativo		1995CP0003		
SONDEO	Nuevo Pou Ricós	Pou Pla nº 1	Pou Pla nº 2	Pou Pla nº 3
Profundidad (m)	150	105	163	165
Diámetro revestimiento (mm)	400	350	350	350
Unidad Hidrogeológica		08.22 Liria – Casinos		
Masa de Agua Subterránea		080.131 Liria – Casinos		
Término Municipal	Paterna	San Antonio de Benagéber		
Provincia		Valencia		
Polígono	17	Urbano	17	17
Parcela	193	5811126YJ18 51S0001LX	174	174
X	716.257	716.010	715.979	716.043
Y	4.380.550	4.381.180	4.380.878	4.380.892
Cota (msnm)	89	92	88	88
Huso	30	30	30	30
Instalaciones Electromecánicas				
Origen de la energía eléctrica	C.T.	C.T.	C.T.	C.T.
Potencia del (Kva)	50	200	200	200
Tipo de instalación elevadora		Electrobombas sumergidas		
Potencia (CV)	40	68	80	80
Profundidad de la bomba (m)	112	102	155	155
Diámetro tubería de impulsión (mm)	100	125	150	150
Nivel estático (m)	60	63	66	66
Nivel dinámico (m)	93	88	103	103
Caudal máximo instantáneo	9	17	15	15

Tabla 4 : Coordenadas y características electromecánicas e hidráulicas del pozo El Pla, según el Proyecto del Pai “El Manisero”

Tal y como se ha indicado anteriormente, actualmente se utiliza únicamente cuando la demanda es mayor (verano). Al igual que el caso del Pozo de el Pla, y según los datos del sistema de telemando, durante el año 2010 se utilizó durante 1/3 de éste aproximadamente.

03 – DEPÓSITO COLINAS

Depósito de sección circular y 1000 m³ de volumen total, dotado de un grupo de bombeo compuesto por un total de 8 bombas, de las cuales 3 no están operativas. Disponen de 2 variadores de potencia, utilizados básicamente para el arranque secuencial de las bombas.

La entrada de agua al depósito, mediante una tubería de DN250 proveniente del trasvase, se bifurca en dos tuberías de DN200 de las que toman además las bombas, pudiendo éstas bombear directamente sin paso por el depósito.

En la salida de DN250 se dispone de un contador Woltmann para el control del caudal inyectado/extraído del depósito. Se hace notar que el contador se encuentra a una corta distancia de la salida de las bombas, sin tramo tranquilizador. En la entrada se encuentra una sonda de presión de la red.

Por último indicar que los calderines de presión visibles en las fotografías no están operativos (una vez se dispone de los variadores).



Ilustración 5 : Imágenes del depósito de Colinas y de los equipos electromecánicos.

El depósito de Colinas, abastece exclusivamente a la urbanización de Colinas de San Antonio, hecho singular pues se puede considerar la única zona sectorizada de la red. Como se desarrollará más adelante, se utilizará esto para poder modelizar la demanda.

04 – DEPÓSITO EL PLANTÍO

Sistema compuesto por tres depósitos interconectados, El Plantío viejo (2x1100 m³) y El Plantío nuevo (2200 m³) con secciones rectangulares.

En la zona cercana al depósito, se hallan asimismo 2 pozos de extracción de pequeño caudal:

Nombre	Término	Referencia Catastral	X	Y	Z
Plantío nº 1	Paterna	5902208YJ1850S0001GT	715.905	4.380.357	83
Plantío nº 2	Paterna	5902208YJ1850S0001GT	715.889	4.380.358	83

Expediente administrativo		1995CP0003			
SONDEO	Pou del Riu	Despeñaperros	Plantío nº 1	Plantío nº 2	
Profundidad (m)	140	162	170	180	
Diámetro revestimiento (mm)	350	350	400	300	
Unidad Hidrogeológica	08.22 Liria – Casinos				
Masa de Agua Subterránea	080.131 Liria – Casinos				
Término Municipal	Paterna	Paterna	Paterna	Paterna	
Provincia	Valencia				
Polígono	14	14	Urbana	Urbana	
Parcela	771	772	5902208YJ1851S0001LX		
X	716.085	716.070	715.905	715.889	
Y	4.376.910	4.376.978	4.380.357	4.380.358	
Cota (msnm)	72	78	83	83	
Huso	30	30	30	30	
Instalaciones Electromecánicas					
Origen de la energía eléctrica	C.T.	C.T.	Red General	Red General	
Potencia del (Kva)	200	200	0	0	
Tipo de instalación elevadora	Electrobombas sumergidas				
Potencia (CV)	75	45	10	25	
Profundidad de la bomba (m)	111	150	165	175	
Diámetro tubería de impulsión (mm)	150	150	60	60	
Nivel estático (m)	42	44	81	85	
Nivel dinámico (m)	106	87	161	160	
Caudal máximo instantáneo	60	20	3	7	

Tabla 5 : Coordenadas y características electromecánicas e hidráulicas de los pozos de El Plantío, según el Proyecto del Pai “El Manisero”

No se disponen de datos de frecuencia de utilización de los pozos, pero dado el pequeño caudal de éstos, probablemente tengan un uso marginal. Su conexión es directa a los depósitos.

En cuanto a la conexión de los depósitos, éstos lo hacen directamente a la tubería de DN450 que proviene del trasvase, alimentándose actualmente casi exclusivamente desde la Pobla.

El grupo de presión dispone de 2 bombas marca SAER, con puntos de funcionamiento (Q [m³/h]; H [m]) de (50;30,3) y (110;19,3).



Ilustración 6 : Tuberías de entrada e interconexión de El Plantío viejo y grupo de presión que alimenta la urbanización adyacente.

El depósito de El Plantío, supone, junto con el de la Pobla y el de la Conarda, los tres medios más importantes de almacenamiento de toda la red de COVAGUAS. A partir de éste, se alimentan a su vez los depósitos de La Vallesa y de Montecañada.

05 – POZOS DEL RÍO Y DE DESPEÑAPERROS

Se trata de 2 pozos cercanos situados cerca del cauce del río Turia, en la zona más al sur de la red de COVAGUAS.

Nombre	Término	Referencia Catastral	X	Y	Z
Pou del Riu	Paterna	Polígono 14, parcela 771	716.085	4.376.910	72
Despeñaperros	Paterna	Polígono 14, parcela 772	716.070	4.376.978	78

Expediente administrativo	1995CP0003			
SONDEO	Pou del Riu	Despeñaperros	Plantío nº 1	Plantío nº 2
Profundidad (m)	140	162	170	180
Diámetro revestimiento (mm)	350	350	400	300
Unidad Hidrogeológica	08.22 Liria – Casinos			
Masa de Agua Subterránea	080.131 Liria – Casinos			
Término Municipal	Paterna	Paterna	Paterna	Paterna
Provincia	Valencia			
Polígono	14	14	Urbana	Urbana
Parcela	771	772	5902208YJ1851S0001LX	
X	716.085	716.070	715.905	715.889
Y	4.376.910	4.376.978	4.380.357	4.380.358
Cota (msnm)	72	78	83	83
Huso	30	30	30	30
Instalaciones Electromecánicas				
Origen de la energía eléctrica	C.T.	C.T.	Red General	Red General
Potencia del (Kva)	200	200	0	0
Tipo de instalación elevadora	Electrobombas sumergidas			
Potencia (CV)	75	45	10	25
Profundidad de la bomba (m)	111	150	165	175
Diámetro tubería de impulsión (mm)	150	150	60	60
Nivel estático (m)	42	44	81	85
Nivel dinámico (m)	106	87	161	160
Caudal máximo instantáneo	60	20	3	7

Tabla 6 : Coordenadas y características electromecánicas e hidráulicas de los pozos del Río y de Despeñaperros, según el Proyecto del Pai “El Manisero”

La conexión de los pozos con el resto de la red se hace mediante una tubería DN250 que conecta con el depósito de la Vallesa (derivación DN200) y conecta con la tubería DN250 que proviene de El Plantío.



Ilustración 7 : Pozo y grupo de bombeo del Río y pozo de Despeñaperros (arriba derecha).

Antiguamente eran la fuente principal de abastecimiento de la red. Actualmente, debido a la presencia de arena en el agua, se utilizan según las necesidades, aproximadamente un 67% de tiempo de uso durante el año 2010 para el pozo del Río, y un 17% para el de Despeñaperros.

07 – POZO SANTA BÁRBARA

Se encuentra situado en la tubería de conexión entre la zona al norte de la carretera CV-35 y la sur de ésta. También llamado el Trasvase.

El sistema consta principalmente de un (antiguo) pozo, un grupo de presión en desuso, un contador Woltmann DN250, una sonda de presión y dos válvulas de seccionamiento sobre la tubería principal de DN300, una de mariposa y otra de compuerta. Como en otros puntos de producción, se observa que la posición del

contador, cercana a derivaciones, válvulas,... sin tramo tranquilizador entrañará posibles inexactitudes en las lecturas.



Ilustración 8 : Imágenes del pto. de producción de Sta. Bárbara y de su instrumentación.

Aun cuando tanto el pozo como el grupo de presión ya no están en activo (el grupo se utilizaba cuando todavía no se abastecía desde el depósito de la Pobra), éste sigue siendo un punto importante en cuanto al funcionamiento general del sistema completo, ya que desde éste se regula el paso de caudal del norte al sur de la CV-35, siendo la tubería DN300 (que después se ensancha a 450 mm) la única que conecta ambas zonas.

La “regulación” se efectúa cerrando manual y parcialmente la válvula de compuerta DN300 de la tubería principal y en función de la lectura del contador. Evidentemente si se quiere garantizar el paso de un caudal dado, el cierre de dicha válvula debería ser variable. Según se comunicó por parte de COVAGUAS, en función de la demanda esperada (básicamente estación del año), ésta se maniobra. Inteligentemente se ha dispuesto de un purgador aguas abajo ante el (gran) descenso de presión que se debe producir. Probablemente estará cavitando.

Tal y como se indicará posteriormente, la utilidad (para el presente estudio) del punto de producción radica en que las lecturas del contador disponibles, es la única lectura intermedia de la red (aparte de los grupos de presión y pozos).

08 – DEPÓSITO LA CONARDA

Junto con La Pobla y El Plantío, es la tercera piedra angular del sistema completo.

Se encuentra situado geográficamente en la parte intermedia de la zona al norte de la carretera CV-35, y por encima de casi toda la red al norte de COVAGUAS al margen de la zona de La Pobla y sus alrededores.

Está compuesto por dos depósitos, Conarda1 y Conarda2 con una capacidad conjunta de 3500 m³ (1133 y 2267 respectivamente) y sección rectangular.

Topológicamente, tiene un primera tubería de alimentación de DN350, que proviene de La Pobla, la cual se bifurca en 2 de DN250, una se conecta directamente a la salida de los depósitos, y la otra conecta con el depósito 1. Previo a la entrada al depósito 1, se acomete la conexión DN250 con el depósito 2, la cual se regula mediante una válvula sostenedora de presión tarada a 10 m.c.a., a posteriori de ésta se bifurca en la tubería salida DN250 del depósito 1, y se vuelve a bifurcarse entonces en la entrada del depósito 1 (regulada de forma análoga a la del depósito 2) y la salida del depósito propiamente dicha, la cual dispone de una válvula antirretorno para evitar la entrada de caudal. En la misma tubería de entrada, se encuentra un antigua bomba en by-pass, actualmente no operativa.



Ilustración 9 : Elementos y equipos correspondientes al depósito de la Conarda.

En cuanto a la salida del depósito 2, ésta se conecta con el grupo de presión compuesto por 6 bombas marca ITUR, 4 de velocidad fija y 2 de provistas de variador de frecuencia. A partir del grupo de presión, parte

una tubería que conecta con la de salida del depósito 1 de DN315. EL depósito 2 tiene una segunda tubería conectada al grupo y de DN400.

Las tuberías de salida, una de ellas (DN315) conecta con la zona más al este de la red de COVAGUAS (Cumbres,...), mientras que la de DN400, alimenta la parte más a oeste del depósito y conecta con el Traslase (Sta. Bárbara).

09 – POZOS DE LA POBLA

Sistema formado por 3 depósitos de sección circular (1000 y 2x3000 m³ de capacidad respectivamente) y dos pozos.

Nombre	Término	Referencia Catastral	X	Y	Z
Pou de la Pobra 1	Pobra Vallbona	Polígono 1, parcela 76	711.098	4.391.091	210
Pou de la Pobra nº 2	Pobra Vallbona	Polígono1, parcela 76	711.109	4.391.046	212

Expediente administrativo	1995CP0003			
SONDEO	Pou de la Pobra nº 1	Pozo de Pérez	Pou del Riu nº 2	Pou de la Pobra nº 2
Profundidad (m)	182	151	150	184
Diámetro revestimiento (mm)	400	350	400	550
Unidad Hidrogeológica	08.22 Liria – Casinos			
Masa de Agua Subterránea	080.131 Liria – Casinos			
Término Municipal	Pobra Vallbona	Paterna	Paterna	Pobra Vallbona
Provincia	Valencia			
Polígono	1	18	14	1
Parcela	76	75	771	76
X	711.098	717.043	716.085	711.109
Y	4.391.091	4.380.730	4.376.915	4.391.046
Cota (msnm)	210	107	72	212
Huso	30	30	30	30
Instalaciones Electromecánicas				
Origen de la energía eléctrica	C.T.	Red General	C.T.	C.T.
Potencia del (Kva)	1.000	0	200	1.000
Tipo de instalación elevadora	Electrobombas sumergidas			
Potencia (CV)	340	25	75	500
Profundidad de la bomba (m)	148	100	120	152
Diámetro tubería de impulsión (mm)	300	100	150	300
Nivel estático (m)	95	51	42	97
Nivel dinámico (m)	97	90	98	100
Caudal máximo instantáneo	140	10	30	220

Tabla 7 : Coordenadas y características electromecánicas e hidráulicas de los pozos de La Pobra 1 y 2, según el Proyecto del Pai “El Manisero”

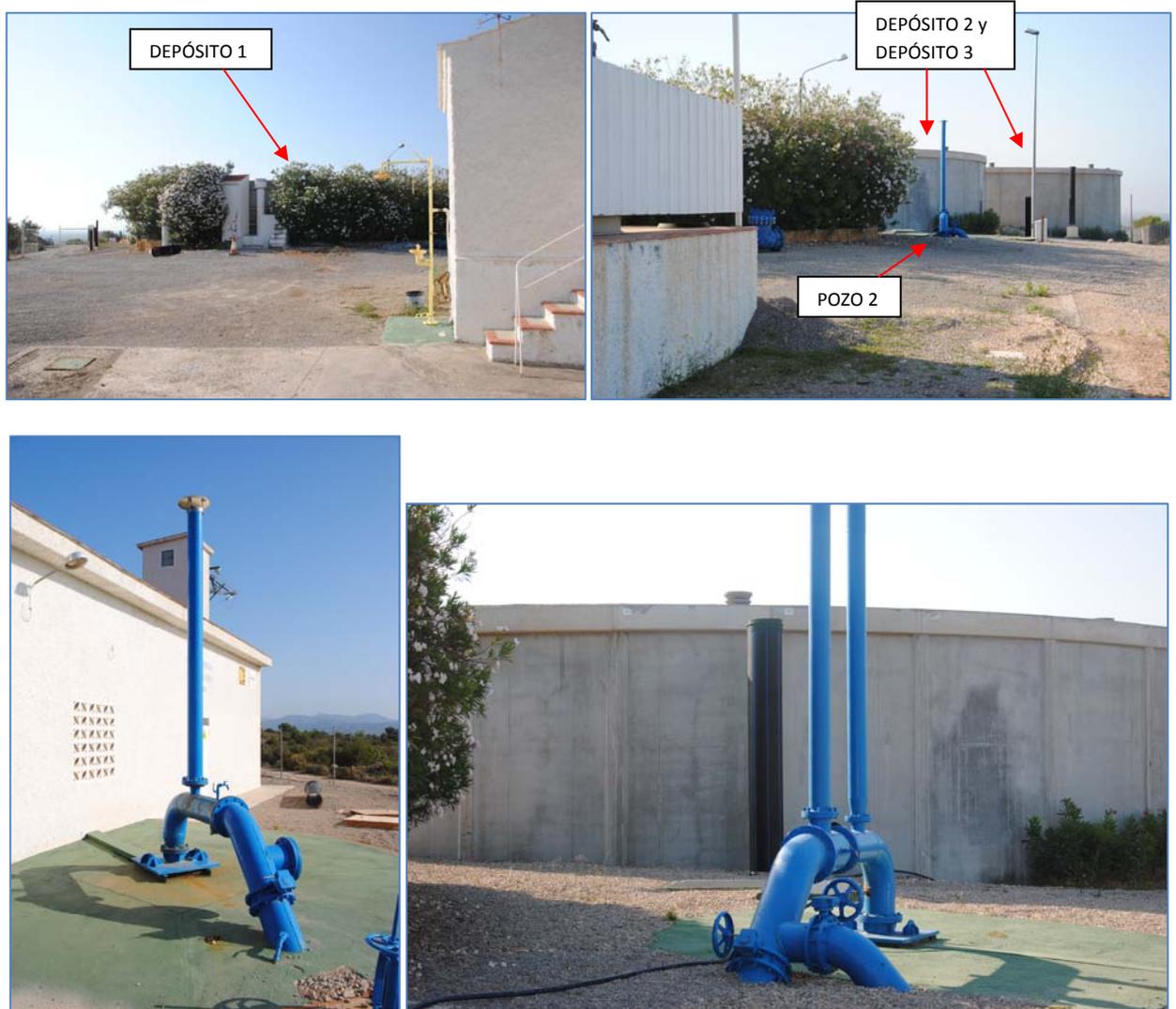


Ilustración 10 : Depósitos y pozos de la La Poble .

La conexión de los pozos se realiza directamente a los depósitos, de forma que las dos tuberías de DN350 y DN400, que alimentan toda la red y toman del sistema de depósitos lo hacen por gravedad desde éstos.

Actualmente supone la principal fuente de suministro de toda la red de COVAGUAS, pudiendo abastecer tanto el depósito de la Conarda como el de El Plantío.

10 – DEPÓSITO LA VALLESA

Depósito de sección cuadrilátera irregular y unos 600 m³ de capacidad, dotado de un grupo de presión formado por 3 bombas, 2xITUR y una BLOCH. Éste alimenta básicamente la urbanización colindante.

El depósito se encuentra conectado a la tubería DN200 que asimismo parte de una derivación con la tubería que interconecta el depósito de El Plantío y los pozos del Río y Despeñaperros.



Ilustración 10 : Imágenes del depósito de La Vallesa y de los equipos electromecánicos.

Ambas tuberías de entrada y salida del depósito a la red son de DN150. Ante la pequeña capacidad del depósito, en la tubería de entrada se ha situado una válvula de mariposa motorizada con el fin de seccionar el paso en caso de hallarse el depósito lleno. Se dispone de un contador woltmann en la salida.

11 – DEPÓSITO MONTECAÑADA

Depósito de sección rectangular y 1000 m³ de capacidad, dotado de un grupo de presión formado por 3 bombas y un calderín. Éste alimenta básicamente las zonas colindantes.

El depósito se encuentra conectado en su entrada con una tubería de DN200 que se puede alimentar tanto desde El Plantío como desde los pozos del Río. Dicha tubería dispone de un by-pass para poder alimentar directamente el grupo sin pasar por el depósito.



Ilustración 11 : Imágenes del depósito de Montecañada y de los equipos electromecánicos.

Como se ha dicho con anterioridad, la función de este depósito consiste en alimentar el grupo para abastecer las urbanizaciones colindantes, más que almacenar, ya que no dispone de instalaciones de clorado.

12 – POZO SAN ABDÓN

Pozo equipado con grupo de presión formado por dos bombas, situado al sur del depósito de la Conarda, y que alimenta la zona aledaña, situada en una zona sobreelevada respecto de los alrededores.

En cuanto al equipamiento electromecánico, el pequeño grupo de bombeo está equipado con dos bombas marca SAER con puntos de funcionamiento (Q [m³/h];H [m]) que oscilarían entre (12;57,4) y (26;17,5). Además de éstas, también dispone de un contador y una sonda de presión en la aspiración del grupo, sin tramo tranquilizador.

Nombre	Término	Referencia Catastral	X	Y	Z
San Abdón	Bétera	4342207YJ1844S0001BM	714.280	4.384.287	145

Expediente administrativo		1995CP0003			
SONDEO	San Miguel	San Abdón	San Antonio nº 1	San Antonio nº 2	
Profundidad (m)	147	165	95	303	
Diámetro revestimiento (mm)	350	400	500	400	
Unidad Hidrogeológica		08.22 Liria – Casinos			
Masa de Agua Subterránea		080.131 Liria – Casinos			
Término Municipal	San Antonio Benageber	Bétera	San Antonio Benageber	San Antonio Benageber	
Provincia		Valencia			
Polígono	Urbana	Urbana	Urbana		
Parcela	5010719YJ1851S0001BX	4342207YJ1844S0001BM	000420100YJ18C0001GQ		
X	715.800	714.280	713.900	713.910	
Y	4.381.090	4.384.287	4.384.868	4.384.868	
Cota (msnm)	80	145	108	108	
Huso	30	30	30	30	
Instalaciones Electromecánicas					
Origen de la energía eléctrica	Red General	C.T.	C.T.	C.T.	
Potencia del (Kva)	0	400	400	400	
Tipo de instalación elevadora		Electrobombas sumergidas			
Potencia (CV)	80	180	100	25	
Profundidad de la bomba (m)	139	150	89	150	
Diámetro tubería de impulsión (mm)	150	150	100	100	
Nivel estático (m)	54	70	45	45	
Nivel dinámico (m)	97	108	75	89	
Caudal máximo instantáneo	20	25	30	10	

Tabla 8 : Coordenadas y características electromecánicas e hidráulicas del pozo de San Abdón, según el Proyecto del Pai “El Manisero”



Ilustración 12 : Pozo y grupo de presión de San Abdón.

Como se ha dicho anteriormente, el grupo de presión, además de impulsar el (posible) caudal extraído del pozo (el cual por lo visto únicamente se utiliza cuando hay gran necesidad de demanda -meses de verano-), también funciona de forma habitual para dar presión a las zonas elevadas cercanas.

13 – POZO SAN MIGUEL

El pozo está situado en las inmediaciones de la urbanización “Colinas de San Antonio”, cerca de los diferentes pozos del Pla.

Aun cuando en el Proyecto del PAI “El Manisero”, este pozo se inventaría como utilizable, realmente está en desuso.



Ilustración 13 : Pozo de San Miguel. En desuso (sin tubería de conexión).

14 - POZOS DEL PLA II y III

Los pozos del Pla 2 y 3 están situados en las inmediaciones de la urbanización “Colinas de San Antonio, más o menos a medio camino entre el cruce de la carretera CV-35 y el depósito de El Plantío.

Al igual que en el caso del pozo del Pla 1, debido a problemas de extracción de arenas durante el bombeo de agua, se les ha dotado de un desarenador.



Ilustración 14 : Imágenes de los Pozos del Pla 2 y 3 y del desarenador

Según la información que figura en el Proyecto del PAI “El Manisero”:

Nombre	Término	Referencia Catastral	X	Y	Z
Pou del Plá nº 2	S.Antonio Benagéber	Polígono 17, parcela 174	715.979	4.380.878	88
Pou del Plá nº 3	S.Antonio Benagéber	Polígono 17, parcela 174	716.043	4.380.892	88

Expediente administrativo	1995CP0003			
	Nuevo Pou Ricós	Pou Plá nº 1	Pou Plá nº 2	Pou Plá nº 3
SONDEO				
Profundidad (m)	150	105	163	165
Diámetro revestimiento (mm)	400	350	350	350
Unidad Hidrogeológica	08.22 Liria – Casinos			
Masa de Agua Subterránea	080.131 Liria – Casinos			
Término Municipal	Paterna	San Antonio de Benagéber		
Provincia	Valencia			
Polígono	17	Urbano	17	17
Parcela	193	5811126YJ18 51S0001LX	174	174
X	716.257	716.010	715.979	716.043
Y	4.380.550	4.381.180	4.380.878	4.380.892
Cota (msnm)	89	92	88	88
Huso	30	30	30	30
Instalaciones Electromecánicas				
Origen de la energía eléctrica	C.T.	C.T.	C.T.	C.T.
Potencia del (Kva)	50	200	200	200
Tipo de instalación elevadora	Electrobombas sumergidas			
Potencia (CV)	40	68	80	80
Profundidad de la bomba (m)	112	102	155	155
Diámetro tubería de impulsión (mm)	100	125	150	150
Nivel estático (m)	60	63	66	66
Nivel dinámico (m)	93	88	103	103
Caudal máximo instantáneo	9	17	15	15

Tabla 9 : Coordenadas y características electromecánicas e hidráulicas de los pozos El Pla 2 y 3, según el Proyecto del Pai “El Manisero”

Al igual que el pozo del Pla 1, se utilizan estos pozos de forma parcial.

15 – DEPÓSITO CUMBRES

Se trata de un depósito y grupo de bombeo situado al norte del Trásvase.

Antes de la puesta en funcionamiento del depósito de La Pobla, cuando el sistema se abastecía principalmente del pozo del Río, funcionaba como medio de almacenamiento y de inyección de presión para la zona cerca a éste. Actualmente, al funcionar el sistema de norte a sur, y habiéndose desdoblado la tubería principal (DN400 y DN450), el grupo de presión se encuentra en desuso, y (según el personal de COVAGUAS) el depósito se utiliza únicamente como de reserva.



Ilustración 15 : Depósito y grupo de presión de Cumbres. En desuso / reserva.

3.4. - DATOS Y CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE TELECONTROL

Se han obtenido los datos completos de todo el sistema de telecontrol de la red de COVAGUAS, desde el año 2008 al año 2011, estando este último no completo. Dichos datos se han separado en bases de datos para cada uno de los elementos descritos en el apartado anterior. Dicho trabajo fue realizado por el Dr. Fco. Javier Martínez Solano.

Las lecturas de cada variable en cada base de datos se hayan ordenadas por orden cronológico, estableciéndose lecturas cada cierto intervalo de tiempo, a veces variable.

De los datos disponibles, se ha elegido como representativo del comportamiento de los puntos de producción, el último año completo, es decir, el año 2010. La información que se incluya, a partir de aquí y en relación al sistema de telemando, será exclusivamente de dicho año completo.

De la información disponible, los datos de interés para el presente estudio serán:

1. CAUDAL : Tomados a partir de contadores con totalizador. Se presentan como volúmenes totales para cada instante de tiempo de la lectura. El caudal será la relación entre el intervalo de volúmenes y el de tiempos.
2. PRESIÓN : Valor puntual de ésta para el instante de tiempo determinado.
3. NIVEL : Valor puntual de la variable en el instante en cuestión.

Una vez determinadas las variables a estudiar, se debe proceder a su vez a la validación de los datos obtenidos, es decir, al filtrado de los mismos. Dicho filtrado se puede separar en dos fases, por un lado, el determinar si un valor es válido o erróneo (VALIDACIÓN), y por otro, a la ordenación o extracción (CONSULTA) de una serie de valores de la base de datos para su posterior análisis o comparación.

VALIDACIÓN

Se han encontrado múltiples errores en las lecturas contenidas en las bases de datos:

- Por un lado, series completas de valores nulos, lo que indica o bien que el instrumento de medición dejó de funcionar, o que lo hizo el adquisidor de datos (data logger). No se debe confundir este tipo de error (ausencia de lectura) con el hecho que una variable no cambie durante un período de tiempo en particular, por ejemplo es posible que una bomba funcione de forma intermitente o durante un período de tiempo determinado, o que el nivel de un depósito no cambie en un espacio de tiempo. Dicho error se ha codificado como "1/24 HORAS. ERROR", lo que significa que en la base de datos únicamente figura un dato en 24 horas sin variación durante todo el año 2010 completo. Evidentemente, las series correspondientes a estos errores no son utilizables.
- Por otro lado, errores de lectura puntuales. Se han encontrado incongruencias en las lecturas de algunas variables. Básicamente se trata o bien de lecturas de contadores que entre una lectura y la siguiente, el valor desciende someramente (posiblemente que ha habido caudal fluyendo en sentido contrario al del contador) o que entre una lectura y la siguiente, el totalizador se reinicie. Igualmente se han encontrado casos en que el caudal resultante entre dos lecturas sucesivas, tiene un valor excesivamente grande para la capacidad de impulsión de la bomba en cuestión. Estos errores son salvables si pueden ser detectados. Los casos puntuales serán descritos más adelante en el apartado correspondiente.

A continuación se adjunta una tabla donde se resumen los datos utilizables y los casos en que se ha encontrado un error del primer tipo. En el primer caso, se incluye una aproximación del intervalo de tiempo entre lecturas.

Autm	Descripción	C. ent	Descripción	Unidades	Tipo	TIPO DE DATOS BD
1	Pozo El Pla	A01	Nivel Pozo	M.C.A.	Nivel Pozo	1/24 HORAS
1	Pozo El Pla	A02	Voltaje	Volts	Voltmetro	
1	Pozo El Pla	A03	Frecuencia	Hz	Generico	
1	Pozo El Pla	A04	Amperaje	%	Amperimetro	
1	Pozo El Pla	A05	Presion Red	Bars	Presion	1/24 HORAS. ERROR
1	Pozo El Pla	AVB	Bateria	Volts	V.Bateria	
1	Pozo El Pla	CA4	Caudal Impulsion	M3	Caudal	1/15 MIN HASTA 4/10/2010. DESPUÉS 1/24 HORAS
2	Pozo Ricos	A01	Nivel Pozo	M.C.A.	Nivel Pozo	1/24 HORAS. ERROR
2	Pozo Ricos	A02	Voltaje	Volts	Voltmetro	
2	Pozo Ricos	A03	Frecuencia	Hz	Amperimetro	
2	Pozo Ricos	A04	Amperaje	%	Amperimetro	
2	Pozo Ricos	A05	Presion Red	Bars	Presion	1/24 HORAS. ERROR
2	Pozo Ricos	AVB	Bateria	Volts	V.Bateria	
2	Pozo Ricos	CA4	Caudal Impulsion	M3	Caudal	1/24 H HASTA 22/02/2010. DESPUÉS 1/15 MIN.
3	Depósito Colinas	A01	Nivel Deposito	M.C.A.	Nivel Deposito	1/15 MIN
3	Depósito Colinas	A02	Voltaje	Volts	Voltmetro	
3	Depósito Colinas	A03	Presion	Bars	Presion	1/24 HORAS. ERROR
3	Depósito Colinas	A04	Cloro Residual	mg/l	Cloro	
3	Depósito Colinas	A05	Variador 1	Hz	Generico	
3	Depósito Colinas	A06	Variador 2	Hz	Generico	
3	Depósito Colinas	AVB	Bateria	Volts	V.Bateria	
3	Depósito Colinas	CA4	Caudal Impulsion	M3	Caudal	+ - CADA 1/15 MIN
4	Depósito El Plantío	A01	Nivel Deposito 1	M.C.A.	Nivel Deposito	VARIABLE. +- CADA 1/15 MIN
4	Depósito El Plantío	A02	Cloro Residual	mg/l	Cloro	
4	Depósito El Plantío	A03	Nivel Pozo 1	M.C.A.	Nivel Pozo	1/24 HORAS. ERROR
4	Depósito El Plantío	A04	Nivel Pozo 2	M.C.A.	Nivel Pozo	1/24 HORAS. ERROR
4	Depósito El Plantío	A05	Presion red	Bars	Presion	VARIABLE. +- CADA 1/15 MIN
4	Depósito El Plantío	A06	Variador Pozo 1	Hz	Generico	
4	Depósito El Plantío	A07	Variador Pozo 2	Hz	Generico	
4	Depósito El Plantío	AVB	Bateria	Volts	V.Bateria	
4	Depósito El Plantío	CA4	Caudal Salida	M3	Caudal	1/15 MIN
5	Pozos Despeña-Rius	A01	Nivel Pozo	M.C.A.	Nivel Pozo	VARIABLE. ERROR
5	Pozos Despeña-Rius	A02	Cloro Residual	mg/L	Cloro	
5	Pozos Despeña-Rius	A03	Volt. Despeñaperros	Volts	Voltmetro	
5	Pozos Despeña-Rius	A04	Presion de impulsion	Bars	Presion	1/15 MIN
5	Pozos Despeña-Rius	A05	Nivel pozo	M.C.A.	Nivel Pozo	VARIABLE. ERROR
5	Pozos Despeña-Rius	A06	Variador Despeña.	Hz	Generico	
5	Pozos Despeña-Rius	A07	Variador G. Presion	Hz	Generico	
5	Pozos Despeña-Rius	AVB	Bateria	Volts	V.Bateria	
5	Pozos Despeña-Rius	CA3	Caudal Riu	M3	Caudal	x 1/15 MIN HASTA 20/09/2010. A PARTIR DE ENTONCES 1/24 H APROX
5	Pozos Despeña-Rius	CA4	Caudal Despeñaperros	M3	Caudal	x INTERVALO VARIABLE
7	Pozo Santa Barbara	A01	Voltmetro	Volts	Voltmetro	
7	Pozo Santa Barbara	A05	Presion Red	Bars	Presion	1/24 HORAS. ERROR
7	Pozo Santa Barbara	AVB	Tension Bateria	Volts	V.Bateria	
7	Pozo Santa Barbara	CA4	Caudal	M3	Caudal	1/10 MIN

Autm	Descripcion	C. ent	Descripcion	Unidades	Tipo	TIPO DE DATOS BD
8	Deposito La Conarda	A01	Voltmetro	Volts	Voltmetro	
8	Deposito La Conarda	A02	Presion de Red	Bars	Presion	1/24 HORAS. CTÉ ¿ERROR?
8	Deposito La Conarda	A03	Nivel Deposito	M.C.A.	Nivel Deposito	VARIABLE.
8	Deposito La Conarda	A04	Cloro Deposi Conarda	mg/l	Cloro	
8	Deposito La Conarda	A05	Presion La Pobla	Bars	Presion	
8	Deposito La Conarda	A06	Cloro red La Pobla	mg/l	Cloro	
8	Deposito La Conarda	AVB	Tension Bateria	Volts	V.Bateria	
8	Deposito La Conarda	CA1	Caudal directo	M3	Caudal	1/10 MIN
8	Deposito La Conarda	CA2	Entrada al deposito	M3	Caudal	1/10 MIN
8	Deposito La Conarda	CA3	Mantenedora	M3	Caudal	1/24 HORAS. ERROR
8	Deposito La Conarda	CA4	Grupo Presion	M3	Caudal	1/10 MIN
9	Pozo La Pobla	A01	Nivel deposito	MCA	Nivel Deposito	x 1/10 MIN
9	Pozo La Pobla	A02	Cloro Residual	mg/l	Cloro	
9	Pozo La Pobla	A03	Nivel Pou Pobla II	MCA	Nivel Pozo	1/24 HORAS. ERROR
9	Pozo La Pobla	A04	Voltmetro	Volts	Voltmetro	
9	Pozo La Pobla	A05	Nivel Pou Pobla I	M.C.A.	Nivel Pozo	VARIABLE.
9	Pozo La Pobla	A06	Deteccion Gas	ppm	Cloro	
9	Pozo La Pobla	AVB	Tension Bateria	Volts	V.Bateria	
9	Pozo La Pobla	CA2	Caudal Pou Pobla II	M3	Caudal	x ENTRE 1/5 MIN Y 1/10 MIN
9	Pozo La Pobla	CA4	Caudal Pou Pobla I	M3	Caudal	x HASTA 28/05/2010, 1/24H ERROR. A PARTIR DE ENTONCES ENTRE 1/5 Y 1/10 MIN
10	Depósito La Vallesa	A01	Presion red	bares	Presion	VARIABLE.
10	Depósito La Vallesa	A02	Cloro libre	ppm	Cloro	
10	Depósito La Vallesa	A03	Nivel Deposito	M.C.A.	Nivel Deposito	VARIABLE.
10	Depósito La Vallesa	AVB	Tension Bateria	Volts	V.Bateria	
10	Depósito La Vallesa	CA4	Caudal Salida	M3	Caudal	1/15 MIN
11	Depósito Montecañada	A02	Amperimetro	Ampers	Amperimetro	
11	Depósito Montecañada	A03	Nivel Deposito	M.C.A.	Nivel Deposito	VARIABLE. +- CADA 1/15 MIN
11	Depósito Montecañada	A04	Presion Red	Bars	Presion	ENTRE 1/15 Y 1/30 MIN
11	Depósito Montecañada	A05	Presion Grupo	Bars	Presion	1/24 HORAS. ERROR
11	Depósito Montecañada	A06	Cloro Residual	mg/l	Cloro	
11	Depósito Montecañada	AVB	Tension Bateria	Volts	V.Bateria	
11	Depósito Montecañada	CA3	Caudal Omnium	M3	Caudal	1/24 HORAS. ERROR
11	Depósito Montecañada	CA4	Caudal Grupo Presion	M3	Caudal	1/15 MIN
12	Pozo San Abdón	A01	Nivel Pozo	M.C.A.	Nivel Pozo	1/24 HORAS. ERROR
12	Pozo San Abdón	A02	Voltmetro	Volts	Voltmetro	
12	Pozo San Abdón	A03	Frecuencia	Hz	Voltmetro	
12	Pozo San Abdón	A04	Amperaje	%	Amperimetro	
12	Pozo San Abdón	A05	Presion Red	Bars	Presion	ENTRE 1/15 Y 1/30 MIN
12	Pozo San Abdón	A06	Cloro residual red	mg/l	Cloro	
12	Pozo San Abdón	CA3	Caudal G.Presion	M3	Caudal	1/24 HORAS. ERROR
12	Pozo San Abdón	CA4	Caudal pozo	M3	Caudal	ALGUNOS DÍAS 1/15 MIN Y OTROS 1/24 HORAS SIN VARIACIÓN
13	Pozo San Miguel	A01	Nivel Pozo	M.C.A.	Nivel Pozo	1/24 HORAS. ERROR
13	Pozo San Miguel	A02	Voltmetro	Volts	Voltmetro	
13	Pozo San Miguel	A03	Frecuencia	Hz	Amperimetro	
13	Pozo San Miguel	A04	Amperaje	Ampers	Voltmetro	
13	Pozo San Miguel	A06	Cloro residual red	mg/l	Cloro	
13	Pozo San Miguel	AVB	Nivel Bateria	Volts	V.Bateria	
13	Pozo San Miguel	CA4	Caudal Pozo	M3	Caudal	1/24 HORAS. ERROR
14	Pou Pla II y III	A01	Nivel Pozo	M.C.A.	Nivel Pozo	VARIABLE.
14	Pou Pla II y III	A02	Voltaje	Volts	Voltmetro	
14	Pou Pla II y III	A03	Frecuencia	Hz	Voltmetro	
14	Pou Pla II y III	A04	Amperaje	Ampers	Amperimetro	
14	Pou Pla II y III	AVB	Nivel Bateria	Volts	V.Bateria	
14	Pou Pla II y III	CA2	Caudal Pou Pla III	M3	Caudal	ALGUNOS DÍAS 1/15 MIN Y OTROS 1/24 HORAS SIN VARIACIÓN
14	Pou Pla II y III	CA4	Caudal Pou Pla II	M3	Caudal	ALGUNOS DÍAS 1/10 MIN Y OTROS 1/24 HORAS SIN VARIACIÓN
15	Deposito Cumbres	A02	Nivel Deposito	M.C.A.	Nivel Deposito	VARIABLE.
15	Deposito Cumbres	A06	Cloro residual	mg/l	Cloro	
15	Deposito Cumbres	CA2	Caudal Impulsion	M3	Caudal	1/24 HORAS. ERROR

CONSULTA

Como se ha indicado anteriormente, la consulta de una base de datos consiste en la extracción de una serie de registros de ésta, ordenados o agregados según un criterio determinado de forma que el valor obtenido tenga el significado buscado.

En nuestro caso, se han obtenido de dicha forma la obtención de los caudales medios a partir de las series históricas, como se indica en las tablas anteriores con variaciones 1/xx minutales. Igualmente se han agregado y analizado los datos del tiempo de uso.

Dichos caudales medios se han obtenido, según el caso, como caudales medios anuales, en m³/h de media durante todo el año para los puntos de producción, ya sea de caudales inyectados en la red (entradas en la modelación) o como comparación entre los valores obtenidos reales y los obtenidos en las simulaciones. Dichas simulaciones son para un instante (con el valor medio) concreto.

En los casos en que ha sido necesario el determinar las modulaciones horarias, para los casos en que se ha simulado un día completo, ha sido necesario la disquisición y ordenación de los caudales tanto por horas, como en función del día de la semana y el mes en cuestión. Esto es debido a la gran variación de demanda que se produce por la gran estacionalidad de los consumos entre meses del año y días de la semana.

A continuación se adjuntan los valores de caudal medio anual para cada uno de los puntos de producción susceptibles de ello. Los caudales horarios según día/mes se incluirán en apartados sucesivos.

Autm	Descripción	C. ent	Descripción	Unidades	Tipo	DATOS FILTRADOS		
1	Pozo El Pla	A01	Nivel Pozo	M.C.A.	Nivel Pozo			
1	Pozo El Pla	A02	Voltaje	Volts	Voltmetro			
1	Pozo El Pla	A03	Frecuencia	Hz	Generico			
1	Pozo El Pla	A04	Amperaje	%	Amperimetro	Volumen total extraído	185775	m3
1	Pozo El Pla	A05	Presion Red	Bars	Presion	Nº horas funcionamiento	2875	
1	Pozo El Pla	AVB	Bateria	Volts	V.Bateria	Fracción de uso	0.328	
1	Pozo El Pla	CA4	Caudal Impulsion	M3	Caudal	Caudal medio de bombeo	64.62	m3/h
2	Pozo Ricos	A01	Nivel Pozo	M.C.A.	Nivel Pozo			
2	Pozo Ricos	A02	Voltaje	Volts	Voltmetro			
2	Pozo Ricos	A03	Frecuencia	Hz	Amperimetro			
2	Pozo Ricos	A04	Amperaje	%	Amperimetro	Volumen total extraído	103900	m3
2	Pozo Ricos	A05	Presion Red	Bars	Presion	Nº horas funcionamiento	2584	
2	Pozo Ricos	AVB	Bateria	Volts	V.Bateria	Fracción de uso	0.295	
2	Pozo Ricos	CA4	Caudal Impulsion	M3	Caudal	Caudal medio de bombeo	40.21	m3/h
3	Depósito Colinas	A01	Nivel Deposito	M.C.A.	Nivel Deposito			
3	Depósito Colinas	A02	Voltaje	Volts	Voltmetro			
3	Depósito Colinas	A03	Presion	Bars	Presion			
3	Depósito Colinas	A04	Cloro Residual	mg/l	Cloro			
3	Depósito Colinas	A05	Variador 1	Hz	Generico	Volumen total extraído	485400	m3
3	Depósito Colinas	A06	Variador 2	Hz	Generico	Nº horas funcionamiento	8667	
3	Depósito Colinas	AVB	Bateria	Volts	V.Bateria	Fracción de uso	0.989	
3	Depósito Colinas	CA4	Caudal Impulsion	M3	Caudal	Caudal medio de bombeo	56.01	m3/h
4	Depósito El Plantío	A01	Nivel Deposito 1	M.C.A.	Nivel Deposito			
4	Depósito El Plantío	A02	Cloro Residual	mg/l	Cloro			
4	Depósito El Plantío	A03	Nivel Pozo 1	M.C.A.	Nivel Pozo			
4	Depósito El Plantío	A04	Nivel Pozo 2	M.C.A.	Nivel Pozo			
4	Depósito El Plantío	A05	Presion red	Bars	Presion			
4	Depósito El Plantío	A06	Variador Pozo 1	Hz	Generico	Volumen total extraído	171331	m3
4	Depósito El Plantío	A07	Variador Pozo 2	Hz	Generico	Nº horas funcionamiento	8653	
4	Depósito El Plantío	AVB	Bateria	Volts	V.Bateria	Fracción de uso	0.988	
4	Depósito El Plantío	CA4	Caudal Salida	M3	Caudal	Caudal medio de bombeo	19.80	m3/h
5	Pozos Despeña-Rius	A01	Nivel Pozo	M.C.A.	Nivel Pozo	RIU		
5	Pozos Despeña-Rius	A02	Cloro Residual	mg/L	Cloro	Volumen total extraído	389816	m3
5	Pozos Despeña-Rius	A03	Volt. Despeñaperros	Volts	Voltmetro	Nº horas funcionamiento	5806	
5	Pozos Despeña-Rius	A04	Presion de impulsión	Bars	Presion	Fracción de uso	0.663	
5	Pozos Despeña-Rius	A05	Nivel pozo	M.C.A.	Nivel Pozo	Caudal medio de bombeo	67.14	m3/h
5	Pozos Despeña-Rius	A06	Variador Despeña.	Hz	Generico	DESPEÑAPERROS		
5	Pozos Despeña-Rius	A07	Variador G. Presion	Hz	Generico	Volumen total extraído	59660	m3
5	Pozos Despeña-Rius	AVB	Bateria	Volts	V.Bateria	Nº horas funcionamiento	1457	
5	Pozos Despeña-Rius	CA3	Caudal Riu	M3	Caudal	Fracción de uso	0.166	
5	Pozos Despeña-Rius	CA4	Caudal Despeñaperros	M3	Caudal	Caudal medio de bombeo	40.95	m3/h
7	Pozo Santa Barbara	A01	Voltmetro	Volts	Voltmetro	Volumen total extraído	1397458	m3
7	Pozo Santa Barbara	A05	Presion Red	Bars	Presion	Nº horas funcionamiento	8652	
7	Pozo Santa Barbara	AVB	Tension Bateria	Volts	V.Bateria	Fracción de uso	0.988	
7	Pozo Santa Barbara	CA4	Caudal	M3	Caudal	Caudal medio de bombeo	161.52	m3/h

Autm	Descripción	C. ent	Descripción	Unidades	Tipo	DATOS FILTRADOS		
8	Deposito La Conarda	A01	Voltmetro	Volts	Voltmetro			
8	Deposito La Conarda	A02	Presion de Red	Bars	Presion			
8	Deposito La Conarda	A03	Nivel Deposito	M.C.A.	Nivel Deposito			
8	Deposito La Conarda	A04	Cloro Deposi Conarda	mg/l	Cloro			
8	Deposito La Conarda	A05	Presion La Pobla	Bars	Presion			
8	Deposito La Conarda	A06	Cloro red La Pobla	mg/l	Cloro			
8	Deposito La Conarda	AVB	Tension Bateria	Volts	V.Bateria			
8	Deposito La Conarda	CA1	Caudal directo	M3	Caudal	Volumen total extraído	908710	m3
8	Deposito La Conarda	CA2	Entrada al deposito	M3	Caudal	Nº horas funcionamiento	8446	
8	Deposito La Conarda	CA3	Mantenedora	M3	Caudal	Fracción de uso	0.964	
8	Deposito La Conarda	CA4	Grupo Presion	M3	Caudal	Caudal medio de bombeo	107.59	m3/h
9	Pozo La Pobla	A01	Nivel deposito	MCA	Nivel Deposito			
9	Pozo La Pobla	A02	Cloro Residual	mg/l	Cloro			
9	Pozo La Pobla	A03	Nivel Pou Pobla II	MCA	Nivel Pozo			
9	Pozo La Pobla	A04	Voltmetro	Volts	Voltmetro			
9	Pozo La Pobla	A05	Nivel Pou Pobla I	M.C.A.	Nivel Pozo			
9	Pozo La Pobla	A06	Deteccion Gas	ppm	Cloro			
9	Pozo La Pobla	AVB	Tension Bateria	Volts	V.Bateria	POBLA I + POBLA II		
9	Pozo La Pobla	CA2	Caudal Pou Pobla II	M3	Caudal	Volumen total extraído	3744921	m3
9	Pozo La Pobla	CA4	Caudal Pou Pobla I	M3	Caudal	Caudal medio de bombeo	427.50	m3/h
10	Depósito La Vallesa	A01	Presion red	bares	Presion			
10	Depósito La Vallesa	A02	Cloro libre	ppm	Cloro	Volumen total extraído	95855.0199	m3
10	Depósito La Vallesa	A03	Nivel Deposito	M.C.A.	Nivel Deposito	Nº horas funcionamiento	8647	
10	Depósito La Vallesa	AVB	Tension Bateria	Volts	V.Bateria	Fracción de uso	0.987	
10	Depósito La Vallesa	CA4	Caudal Salida	M3	Caudal	Caudal medio de bombeo	11.09	m3/h
11	Depósito Montecañada	A02	Amperimetro	Ampers	Amperimetro			
11	Depósito Montecañada	A03	Nivel Deposito	M.C.A.	Nivel Deposito			
11	Depósito Montecañada	A04	Presion Red	Bars	Presion			
11	Depósito Montecañada	A05	Presion Grupo	Bars	Presion			
11	Depósito Montecañada	A06	Cloro Residual	mg/l	Cloro	Volumen total extraído	363611	m3
11	Depósito Montecañada	AVB	Tension Bateria	Volts	V.Bateria	Nº horas funcionamiento	8687	
11	Depósito Montecañada	CA3	Caudal Omnium	M3	Caudal	Fracción de uso	0.992	
11	Depósito Montecañada	CA4	Caudal Grupo Presion	M3	Caudal	Caudal medio de bombeo	41.86	m3/h
12	Pozo San Abdón	A01	Nivel Pozo	M.C.A.	Nivel Pozo			
12	Pozo San Abdón	A02	Voltmetro	Volts	Voltmetro			
12	Pozo San Abdón	A03	Frecuencia	Hz	Voltmetro			
12	Pozo San Abdón	A04	Amperaje	%	Amperimetro			
12	Pozo San Abdón	A05	Presion Red	Bars	Presion	Volumen total extraído	5010	m3
12	Pozo San Abdón	A06	Cloro residual red	mg/l	Cloro	Nº horas funcionamiento	174	
12	Pozo San Abdón	CA3	Caudal G.Presion	M3	Caudal	Fracción de uso	0.020	
12	Pozo San Abdón	CA4	Caudal pozo	M3	Caudal	Caudal medio de bombeo	28.81	m3/h
13	Pozo San Miguel	A01	Nivel Pozo	M.C.A.	Nivel Pozo			
13	Pozo San Miguel	A02	Voltmetro	Volts	Voltmetro			
13	Pozo San Miguel	A03	Frecuencia	Hz	Amperimetro			
13	Pozo San Miguel	A04	Amperaje	Ampers	Voltmetro			
13	Pozo San Miguel	A06	Cloro residual red	mg/l	Cloro			
13	Pozo San Miguel	AVB	Nivel Bateria	Volts	V.Bateria			
13	Pozo San Miguel	CA4	Caudal Pozo	M3	Caudal			
14	Pou Pla II y III	A01	Nivel Pozo	M.C.A.	Nivel Pozo	PLA II		
14	Pou Pla II y III	A02	Voltaje	Volts	Voltmetro	Volumen total extraído	87915	m3
14	Pou Pla II y III	A03	Frecuencia	Hz	Voltmetro	Nº horas funcionamiento	3828	
14	Pou Pla II y III	A04	Amperaje	Ampers	Amperimetro	Fracción de uso	0.437	
14	Pou Pla II y III	AVB	Nivel Bateria	Volts	V.Bateria	Caudal medio de bombeo	22.97	m3/h
14	Pou Pla II y III	CA2	Caudal Pou Pla III	M3	Caudal	PLA III		
14	Pou Pla II y III	CA4	Caudal Pou Pla II	M3	Caudal	Volumen total extraído	279364	m3
						Nº horas funcionamiento	5591	
						Fracción de uso	0.638	
						Caudal medio de bombeo	49.97	m3/h
15	Deposito Cumbres	A02	Nivel Deposito	M.C.A.	Nivel Deposito			
15	Deposito Cumbres	A06	Cloro residual	mg/l	Cloro			
15	Deposito Cumbres	CA2	Caudal Impulsion	M3	Caudal			

Al margen de los caudales obtenidos del sistema de telemando, también se deberá determinar el caudal consumido. Para esto se hará uso de la información proveniente de los datos de facturación del año 2010 (lecturas de los contadores domiciliarios). Dichos caudales se incluirán en apartados posteriores.

3.5. - DETERMINACIÓN DE LOS CAUDALES INYECTADOS Y CONSUMIDOS DEL AÑO 2010

Como se ha indicado anteriormente, es necesario obtener el balance entre volumen inyectado y consumido para poder realizar una correcta caracterización de la red objeto del presente estudio. Para ello, en primer lugar hemos de obtener por un lado los datos de qué volumen de agua se inyectó durante el año 2010, y qué volumen de agua fue el consumido durante dicho año.

VOLUMEN DE AGUA INYECTADA A LA RED EN 2010

Para el cálculo de la cantidad de agua que fue inyectada a la red durante el año 2010, hemos de partir de los datos del sistema de telemando de los puntos de producción en los cuales se halla la creación de recurso, es decir, los caudales de los pozos de extracción.

Durante la obtención de los caudales extraídos de los pozos, se encontraron errores de validación de datos, en concreto, dadas las características de caudal máximo extraído por los equipos electromecánicos (tablas correspondientes al PAI “El Manisero” de la descripción de los pozos) de cada pozo, al realizar las consultas a la base de datos de caudal calculado entre cada 2 registros consecutivos de ésta, se encontraron valores anormalmente altos, del orden de más de 10 veces más grandes, razón por la que se realizó la validación de los caudales extraídos, limitando el caudal así obtenido $Q_{lim} = \frac{(VOL_i - VOL_{i-1})}{(t_i - t_{i-1})}$ a aproximadamente el caudal máximo indicado en las características de los equipos.

Aplicando dicha metodología, se obtuvieron los siguientes valores, para los casos en que se validaron previamente los caudales, es decir que se hallaron errores probablemente en la instrumentación, se adjunta además dichos caudales límite y los máximos obtenidos por consulta en la base de datos:

01 – POZO EL PLA

VTOT [m3]	185775
NUM HORAS TOT	2875
FRACCIÓN USO	0.3282
Q MED [m3/h]	64.6174

02 – POZO RICOS

VTOT [m3]	103900
NUM HORAS TOT	2584
FRACCIÓN USO	0.2950
Q MED [m3/h]	40.2089

05 – POZO RÍO y DESPEÑAPERROS

	RÍO	DESPEÑAPERROS
VTOT [m3]	389816	59660
NUM HORAS TOT	5806	1457
FRACCIÓN USO	0.6628	0.1663

Q MED [m3/h]	67.1402	40.9472
--------------	---------	---------

09 – POZO LA POBLA

VTOT [m3]	3744921
Q MED [m3/h]	427.5025

12 – POZO SAN ABDÓN ($Q_{PAI\ MANISERO}=25\ l/s$)

Q lim [m3/día]	Q max [m3/día]	Q max [m3/h]	Q max [l/s]
2500	2400.00	100.00	27.78

VTOT [m3]	5010
NUM HORAS TOT	173.9167
FRACCIÓN USO	0.0199
Q MED [m3/h]	28.8069

12 – POZO DEL PLA II y III ($Q_{PLA\ II_{PAI\ MANISERO}}=15\ l/s$, $Q_{PLA\ III_{PAI\ MANISERO}}=15\ l/s$)

	Q lim [m3/día]	Q max [m3/día]	Q max [m3/h]	Q max [l/s]
PLA II	1500	1476.56	61.52	17.09
PLA III	1500	1500	62.5	17.36

	PLAII	PLAIII
VTOT [m3]	87915	279364
NUM HORAS TOT	3828	5591
FRACCIÓN USO	0.4369	0.6382
Q MED [m3/h]	22.9694	49.9684

Resultando un total de volumen inyectado de:

COD	POZO		VOL [m3]
1	Pozo El Pla		185775
2	Pozo Ricos		103900
5	Pozos Despeña-Rius	RIU DESPEÑAPERROS	389816 59660
9	Pozo La Poblá		3744921
12	Pozo San Abdón		5010
14	Pou Pla II y III	PLA II PLA III	87915 279364
TOTAL:			4856362

VOLUMEN DE AGUA CONSUMIDA EN LA RED EN 2010

Tal y como se ha indicado anteriormente, para obtener el total de agua consumida se ha partido de las cantidades obtenidas en las lecturas de los contadores para el año 2010. Dichas lecturas se realizan de forma trimestral, de forma que se ha dispuesto de los volúmenes totalizados para 4 instantes (trimestres) del año y para cada uno de los 9717 abonados que figuran en los datos facilitados. De todo ello resultan 3 datos de consumo (diferencia entre lecturas) para cada abonado (m3/trimestre), con lo que únicamente disponemos de

los consumos de $\frac{3}{4}$ partes del año, en concreto, dispondremos de los consumos entre los 1º-2º, 2º-3º y 3º-4º trimestres, con lo que nos faltará el consumo entre el 4º trimestre de 2009 y el 1er de 2010 para poder determinar el consumo anual, es decir, el del primer cuarto del año.

Para poder inferir dicho consumo faltante, partiremos de la modelización de la demanda, punto 4.2 de presente estudio y que se desarrollará más adelante. A partir de dicha modelización, obtendremos el porcentaje de consumo (respecto del resto del consumo anual) esperado para dicho primer trimestre consumido, resultando:

MODELIZACIÓN DE LA DEMANDA : COLINAS					
	1er T	2º T	3er T	4º T	TOTAL
VOLUMEN [m3]	81417	118259	173641	112119	485437
PORCENTAJE	16.7719%	24.3614%	35.7701%	23.0965%	100.0000%

	CALCULADO	MEDIDO	MEDIDO	MEDIDO	
	1er T	2º T	3er T	4º T	TOTAL
VOLUMEN [m3]	437132	607132	1036468	561069	2641801
PORCENTAJE	16.5467%	22.9817%	39.2334%	21.2381%	100.0000%

Con lo que resulta un valor de consumo inferido para el primer cuarto del año de 437132 m3, con lo que el consumo anual de toda la red de COVAGUAS sería 2641801 m3.

RENDIMIENTO VOLUMÉTRICO DE LA RED EN 2010

Con todo, el rendimiento volumétrico calculado para la red de COVAGUAS y el año 2010 resulta:

TOT VOL INYECTADO [m3]	4856362
TOT VOL TARIFADO [m3]	2641801
RENDIMIENTO VOLUMÉTRICO	54.40%

Que resultan unos caudales medios (VOL [l]/AÑO [s]) para todo el año de:

INYECTADO	Q MED [l/s]	153.9942
CONSUMIDO	Q MED [l/s]	83.7710

4. - MODELO MATEMÁTICO DE LA RED

Tal y como se indicó en el apartado correspondiente a la información antecedente, se ha partido de un modelo matemático previo, obtenido del Proyecto Fin de Carrera "PROYECTO DE SECTORIZACIÓN DE LA RED DE SUMINISTRO DE AGUA DE LA COOPERATIVA VALENCIANA EL PRANTÍO Y LA CAÑADA", realizado por Paula Quintá Pérez. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, Universidad Politécnica de Valencia. Año 2013. Para la elaboración del modelo, se partió de datos de un archivo en formato CAD suministrado por COVAGUAS, en el que se hallaban grafadas la red de tuberías, siendo agregadas las acometidas de los más de 9700 abonados como 2886 nodos con demanda.

Por otra parte, respecto de los puntos de producción, éstos se modelizaron de forma lo más simple posible, primando en el modelo lo topología de las tuberías sobre el detalle en éstos.

Para la revisión y mejora del modelo matemático precedente se seguirán el siguiente procedimiento.

1. Metodología. Se desarrollará la metodología de trabajo y cálculo utilizada, para la determinación de los caudales a simular y del patrón de consumo a introducir en el modelo. Además se explicará sucintamente el modelo de cálculo de EPANET, el módulo de cálculo AWAREEPANET, y el procedimiento de interacción y análisis entre ambos.
2. Determinación de las demandas y del patrón de consumo. Se presentarán los resultados tanto de las demandas como de los patrones de consumo a introducir en el modelo, asimismo la extensión temporal de las simulaciones para éstos.
3. Elaboración de la topología de la red. Se resumirá el proceso de mejora de la conectividad de los diferentes nodos a medida que en que se ha avanzado en la realización de las diferentes simulaciones.
4. Modelación de los puntos de producción. Se incluirá el detalle de cómo se han introducido en el modelo de EPANET los diferentes puntos de producción descritos con anterioridad.
5. Introducción del caudal no controlado de la red. A partir de la determinación realizada del rendimiento volumétrico de la red, y mediante la metodología expuesta se presentarán los resultados obtenidos al respecto.
6. Análisis y aplicación del funcionamiento del modelo matemático. Criterios y comprobaciones realizadas para el análisis del modelo realizado, básicamente la comprobación de los caudales simulados con relación a los obtenidos en el sistema de telemando. Asimismo, la realización de la simulación de diferentes escenarios como aplicación del modelo realizado.

4.1. - METODOLOGÍA

Se procederá a explicar la metodología de trabajo según el siguiente esquema:

- Método de cálculo hidráulico de redes.
- Modelización de la demanda.
- Modelización de los puntos de producción.
- Introducción de los caudales constantes. Simulación para un instante dado.
- Análisis de las simulaciones para caudal constante para detectar errores tanto en los puntos de producción como de topología de la red.
- Asignación de los caudales no controlados (diferencia entre los caudales inyectados y los consumidos). Control de caudales en la red simulada.

- Introducción de los patrones de consumo. Simulación para un día completo. Análisis en período extendido del comportamiento de la red.
- Simulación de escenarios.

MÉTODO DE CÁLCULO HIDRÁULICO EN REDES

El cálculo hidráulico de la red de tuberías se ha basado en la simulación del sistema mediante el programa EPANET v2.0 de la U.S. Environmental Protection Agency. En el cual se ha utilizado para el cálculo hidráulico el método de Darcy-Weisbach.

$$h_f = f \cdot \frac{8 \cdot L \cdot Q^2}{g \cdot \pi^2 \cdot D^5}$$

Donde:

- h_f son las pérdidas por fricción, en m.c.a.
- L es la longitud de cada tramo, en m.
- Q es el caudal que circula por la tubería, en l/s.
- g es la aceleración de la gravedad, 9,81 m/s².
- π es la longitud del arco de una semicircunferencia de radio la unidad.
- D es el diámetro interior de la tubería.
- f es el coeficiente de fricción

Para éste, el programa utiliza diferentes expresiones para su cálculo:

- Para régimen laminar ($Re < 2000$) utiliza la fórmula de Hagen-Poiseuille.
- Para régimen turbulento ($Re > 4000$) utiliza la aproximación de Swamee y Jain de la ecuación de Colebrook-White.
- Para el flujo transitorio ($2000 < Re < 4000$) utiliza una interpolación cúbica del ábaco de Moody.

Además, se ha utilizado el módulo AWAREEPANET, desarrollado por AWARE-P Software, el cual es el porte del modelo de cálculo de EPANET sobre la plataforma JAVA. El beneficio del uso de éste es que permite tanto la importación (y cálculo posterior) de archivos de redes de EPANET “.inp” como hojas de cálculo “.xlsx”, así como extraer directamente los resultados de las simulaciones (presiones, caudales,...) también en hojas de cálculo, esto permite el poder interactuar con mucha facilidad en caso de necesitar la realización de simulaciones iteradas, como es el caso.

MODELIZACIÓN DE LA DEMANDA

Como se ha indicado anteriormente, el abastecimiento de la urbanización Colinas de San Antonio, realizado mediante la red de COVAGUAS, lo hace exclusivamente desde el depósito de Colinas, constituyendo

el único sector aislado hidráulicamente del resto, por lo que a partir de la consulta sobre los datos de caudales de salida del depósito, es posible el determinar, sin influencia de sistemas externos, los patrones de consumo de ésta.

Sabiendo que prácticamente toda la totalidad de la red de COVAGUAS está constituida por viviendas unifamiliares, y a falta de datos más certeros, se podría extrapolar los hábitos de consumo de dicha urbanización al resto de la red.

Para extraer los patrones de consumo de los registros temporales de caudales de la base de datos del depósito, se ha procedido de la siguiente manera:

1. Se ha realizado la validación de datos de la serie temporal de registros del contador de salida del depósito, en aras de localizar posibles errores de medición, siendo éstos subsanables, ya que únicamente se encontraron reinicios del totalizador del contador.
2. Para cada intervalo de caudal obtenido por diferencia de volumen en el contador, se ha clasificado según su pertenencia a:
 - a. Hora del día (0-23h).
 - b. Día de la semana (1-7).
 - c. Mes del año (1-12).
3. A partir de esto se han agregado los caudales por:
 - a. Volumen mensual total para cada mes (1-12).
 - b. Volumen total diario medio para cada día de la semana (1-7) de cada mes (1-12). Localizándose el mayor y el menor de ellos.
4. Se ha obtenido asimismo el volumen medio de todos los días del año y se han calculado los coeficientes que, multiplicados por éste, se obtienen los valores extremos obtenidos en (3).
5. Por último, se ha obtenido para el día con mayor demanda su curva de consumo por agregación horaria, e igualmente se ha procedido con el de menor. Se han transformado dichas curvas como porcentaje del valor medio total del año.
6. Se ha determinado asimismo la curva para la media de todos los días del año, obteniéndose asimismo los consumos de ésta como porcentajes del valor medio.

MODELIZACIÓN DE LOS PUNTOS DE PRODUCCIÓN

A partir de los datos obtenidos respecto a los puntos de producción, se ha procedido a realizar su modelación en aras de su introducción en el modelo matemático.

En el caso de los pozos sin grupo de bombeo (excepción de La Pobla), sabiendo que el uso de éstos es intermitente (en función de demandas extraordinarias de caudal), y que al mismo tiempo, en comparación a los

caudales de los pozos del Río y especialmente de La Pobla, su volumen de extracción es pequeño, dichos pozos no se simularán como entradas absolutas de caudal al sistema, limitándose como origen de inyección de agua en el modelo a estos últimos más importantes. Tanto el depósito de La Pobla como los pozos del Río y Despeñaperros se introducirán como “embalses” con lámina de agua de nivel constante.

En cuanto a los grupos de presión de la red, se han introducido con las curvas de las bombas correspondientes en cada caso.

En el caso de las válvulas reguladoras, igualmente se han introducido con las consignas de cada una.

Por último, el caso de los depósitos, se han calculado su “diámetros equivalentes”, es decir, el diámetro de la circunferencia con igual sección. Además, a partir de los archivos del sistema de telecontrol, para los datos de nivel de cada depósito correspondiente al año 2010, se han obtenido sus valores mínimo, máximo y promedio, que constituirán los valores mínimo, máximo e inicial de éstos en el modelo.

INTRODUCCIÓN DE LOS CAUDALES CONSTANTES

Una vez obtenidos los caudales totales demandados medios, máximos y mínimos, para su introducción en el modelo, se ha dividido dichos valores entre el número de nodos totales con demanda de la red, de forma que cada nodo demandará, en principio el mismo caudal. Se ha utilizado dicho sistema ante la falta de datos más detallados de los consumos.

Dichos caudales medios serán los utilizados para realizar simulaciones puntuales, es decir para un instante dado.

En el caso de querer simular la evolución de alguna variable (por ejemplo el nivel de un depósito,...) se deberá utilizar la simulación en período extendido y por tanto introducir asimismo la variación temporal (patrón) de la demanda correspondiente.

Para la introducción de las demandas medias de cada nodo se ha utilizado el módulo de cálculo de AWAREEPANET aprovechado la facilidad de introducción de datos mediante hojas de cálculo.

ANÁLISIS DE SIMULACIONES PARA CAUDAL CONSTANTE

Previo a realizar simulaciones más complejas con más variables a controlar, se han utilizado las diferentes simulaciones realizadas para un caudal dado para poder detectar una primera serie de posibles comportamientos anómalos de la red.

Dicho análisis consiste en comprobar que los flujos y valores de caudal son los esperados, que no hay nodos con presión negativa (el programa lanza un mensaje de alarma en este caso), que no hay nodos aislados o incluso si hay algún nodo con presión inusualmente alta (posible error en la cota de éste).

A medida que detectan dichos comportamientos anómalos en el modelo, se van corrigiendo y volviendo a realizar las simulaciones de forma iterativa. En estos casos en que además de ejecutar la simulación, es conveniente analizar el comportamiento hidráulico de la red, se ha empleado EPANET directamente.

ASIGNACIÓN DE LOS CAUDALES NO CONTROLADOS

Una vez corregidos errores topológicos y de los puntos de producción, se procederá, en el siguiente aspecto de aproximación del modelo al comportamiento hidráulico real de la red de COVAGUAS, a introducir en el modelo el rendimiento volumétrico de ésta, es decir, que ante las demandas de los nodos (consumos obtenidos a partir de la facturación) se inyecten en el modelo los caudales medios obtenidos directamente de las lecturas del sistema de telecontrol. Debido a que los únicos caudales reales de los que se les ha podido obtener el rendimiento han sido los medios anuales, se operará únicamente con éstos.

El procedimiento para la asignación de los caudales no controlados (diferencia entre los facturados y los inyectados) será su modelización como caudales fugados en las tuberías. Aun cuando un pequeño porcentaje de dichos caudales son problemas de medición de los contadores (imprecisiones y sustracciones ilegales), sobretodo ante la gran antigüedad de gran parte de las tuberías, la gran mayor parte del bajo rendimiento de la red es debido a fugas.

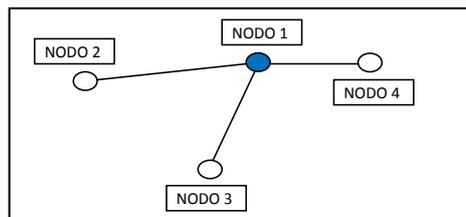
Para la modelación de los caudales fugados en EPANET, se utilizarán los llamados “emisores”. Éstos tratan de simular el comportamiento de una descarga de caudal a la atmósfera mediante un coeficiente (C_e) a introducir en cada nodo y el cual, en función de la presión obtenida en la simulación, determina el caudal descargado, mediante la siguiente expresión:

$$Q_f = C_e \cdot P^\alpha$$

Donde:

- Q_f : Caudal de descarga del nodo.
- C_e : Coeficiente del emisor.
- P : Presión del nodo
- α : Exponente del emisor. Se utilizará el valor de 0,5 pues se consideran los orificios a través de los cuales se presentan las fugas como áreas fijas (Garzón, 2006).

Los caudales fugados se presentan realmente a lo largo del trazado de las tuberías, mientras que los emisores son determinados en cada nodo, por lo que será necesario el transferir cada tramo de tubería al nodo más cercano, considerando que cada tramo de tubería transcurre entre dos nodos, simplemente se asignará la mitad de ésta a cada uno de ambos.



De forma que, por ejemplo en este caso, al NODO 1, le correspondería $L_{NODO\ 1} = \sum \frac{L_{1-2} + L_{1-3} + L_{1-4}}{2}$.

Se considera entonces que el valor de cada coeficiente de descarga C_e de cada nudo "i" es igual a un parámetro " β " multiplicado por la longitud asignada a dicho nudo " L_i ": $C_{e_i} = \beta \cdot L_i$

Con todo ello, el procedimiento para asignar los caudales no controlados será el siguiente:

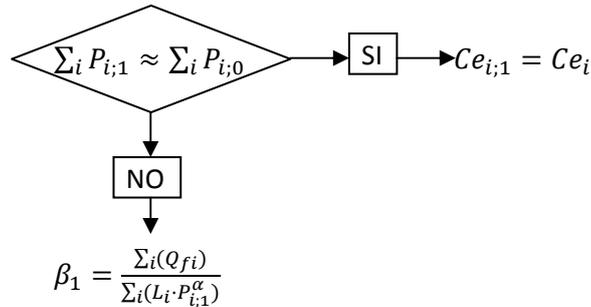
0. Se supondrá un primer valor de " C_{e_0} " para cada nudo "i" y tras simular mediante EPANET se obtendrá la presión en cada nudo " P_i ", calculándose un primer valor de " β ", y donde la suma de todos los " Q_{fi} " es el caudal fugado completo.

$$C_{e_{i,0}} = 0.002 \longrightarrow \text{EPANET 0} \longrightarrow P_{i,0} \longrightarrow \beta_0 = \frac{\sum_i(Q_{fi})}{\sum_i(L_i \cdot P_{i,0}^\alpha)}$$

1. Con dicho primer valor de " β " se calcula el nuevo valor de los coeficientes de descarga de los nodos " C_{e_1} " realizándose la 2ª simulación de EPANET con dichos nuevos valores para los emisores:

$$C_{e_{i,1}} = \beta_0 \cdot L_i \longrightarrow \text{EPANET 1} \longrightarrow P_{i,1}$$

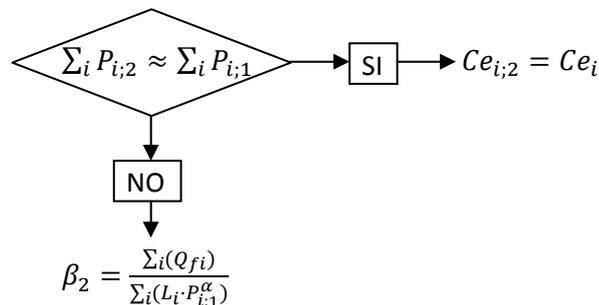
Se comparan los valores de presión obtenidos en 1 con los de 0:



2. Con el nuevo valor de " β " se calcula el siguiente valor para los emisores " C_{e_2} " realizándose la 3ª simulación de EPANET con dichos nuevos valores:

$$C_{e_{i,2}} = \beta_1 \cdot L_i \longrightarrow \text{EPANET 2} \longrightarrow P_{i,2}$$

Se comparan los valores de presión obtenidos en 1 con los de 0:



3. Sucesivamente, se van calculando los nuevos valores de " β " hasta que la suma de las presiones de los nudos entre dos simulaciones consecutivas sea similar, momento en que se adoptarán los últimos valores de " C_e " calculados.

Mediante esta metodología, el balance de caudales se cumple en todas las simulaciones, mientras que los valores en que se ha de buscar la convergencia, son los de presión.

Para realizar las diferentes iteraciones para obtener los valores finales de los coeficientes de los emisores, se ha utilizado el módulo de cálculo de AWAREEPANET, de forma que los cálculos de cada nueva serie de coeficientes entre dos simulaciones consecutivas se ha realizado mediante hojas de cálculo, pudiendo en todo momento realizar el tránsito entre cálculos y valores para cada simulación de forma transparente y sencilla.

Una vez obtenidos los valores para los coeficientes de los emisores para cada nudo, se realiza la comprobación del balance de caudales, donde a partir de los valores de entradas y salidas de embalses y depósitos de la red simulada, se comprueba que los caudales extraídos (demandas + fugas) y de los bombeos corresponden a los obtenidos a partir de los datos del sistema de telecontrol.

Una vez realizadas las correspondientes comprobaciones de los caudales circulantes, en caso de ser satisfactorios, se da por acabado el modelo matemático

INTRODUCCIÓN DE LOS PATRONES DE DEMANDA

A partir del modelo ya calibrado para caudales constantes, corresponde el introducir los patrones de demanda ya obtenidos anteriormente y realizar las simulaciones con variación horaria de consumo, lo que se denomina simulación en período extendido, que en definitiva consiste en la concatenación de diferentes simulaciones con caudal constante.

A partir de estas simulaciones, se puede observar el comportamiento de las diferentes variables del sistema y su evolución, pudiéndose entonces detectar nuevos comportamientos anómalos del modelo.

Análogamente al caso de las simulaciones a caudal constante, corresponde realizar los pertinentes balances de caudales para comparar el comportamiento del modelo respecto a los valores esperados y obtenidos de la red real de COVAGUAS. En el caso de las simulaciones en período extendido, se podrá además comparar la evolución en los niveles de los depósitos.

SIMULACIÓN DE ESCENARIOS

Como último paso en el trabajo desarrollado para la realización y mejora del modelo matemático de la red de COVAGUAS, y como aplicación de éste, se procede a simular posibles escenarios de funcionamiento del sistema.

La simulación considerada ha sido el caso en que se pretenda dejar de utilizar los pozos del Río y Despeñaperros como fuente de agua para la red, debido sobre todo por los problemas de extracción de arena que dichos pozos presentan.

La metodología en este caso consistirá en determinar el caudal a regular en el Trasvase para garantizar el suministro a toda la red a partir únicamente del depósito de La Pobla.

4.2. - DETERMINACIÓN DE LAS DEMANDAS Y DEL PATRÓN DE CONSUMO

Tras aplicar la metodología expuesta anteriormente, se obtienen los siguientes resultados:

En primer lugar los valores medios para cada día de la semana según cada mes del año:

	MES			V TOT [m3]	NºDIAS	Q [m3/día]
ENERO	1	LUNES	1	3540	4	885
TOTAL m3	1	MARTES	2	3025	4	756.25
26869	1	MIÉRCOLES	3	3427	4	856.75
	1	JUEVES	4	3405	4	851.25
	1	VIERNES	5	4354	5	870.8
	1	SÁBADO	6	4439	5	887.8
	1	DOMINGO	7	4679	5	935.8
FEBRERO	2	LUNES	1	3172	4	793
TOTAL m3	2	MARTES	2	3167	4	791.75
23173	2	MIÉRCOLES	3	3250	4	812.5
	2	JUEVES	4	3338	4	834.5
	2	VIERNES	5	3287	4	821.75
	2	SÁBADO	6	3443	4	860.75
	2	DOMINGO	7	3516	4	879
MARZO	3	LUNES	1	4923.66538	5	984.733077
TOTAL m3	3	MARTES	2	4971	5	994.2
31375	3	MIÉRCOLES	3	4968.56	5	993.712
	3	JUEVES	4	3914.58	4	978.645
	3	VIERNES	5	3952.88	4	988.22
	3	SÁBADO	6	4494.49	4	1123.6225
	3	DOMINGO	7	4149.82462	4	1037.45615
ABRIL	4	LUNES	1	4836	4	1209
TOTAL m3	4	MARTES	2	4085	4	1021.25
32492	4	MIÉRCOLES	3	4385	4	1096.25
	4	JUEVES	4	4823	5	964.6
	4	VIERNES	5	5243	5	1048.6
	4	SÁBADO	6	4450	4	1112.5
	4	DOMINGO	7	4670	4	1167.5
MAYO	5	LUNES	1	6705	5	1341
TOTAL m3	5	MARTES	2	4791	4	1197.75
40536	5	MIÉRCOLES	3	5067	4	1266.75
	5	JUEVES	4	4912.62143	4	1228.15536
	5	VIERNES	5	4753.37857	4	1188.34464
	5	SÁBADO	6	6724	5	1344.8
	5	DOMINGO	7	7583	5	1516.6
JUNIO	6	LUNES	1	6318	4	1579.5
TOTAL m3	6	MARTES	2	7200	5	1440
45231.3562	6	MIÉRCOLES	3	7595.1	5	1519.02
	6	JUEVES	4	4865.2562	4	1216.31405
	6	VIERNES	5	5761	4	1440.25
	6	SÁBADO	6	6525	4	1631.25
	6	DOMINGO	7	6967	4	1741.75

	MES			V TOT [m3]	NºDIAS	Q [m3/día]
JULIO	7	LUNES	1	7533.035	4	1883.25875
TOTAL m3	7	MARTES	2	7677	4	1919.25
61839	7	MIÉRCOLES	3	7726	4	1931.5
	7	JUEVES	4	9926	5	1985.2
	7	VIERNES	5	10218	5	2043.6
	7	SÁBADO	6	10236	5	2047.2
	7	DOMINGO	7	8522.965	4	2130.74125
AGOSTO	8	LUNES	1	10710	5	2142
TOTAL m3	8	MARTES	2	10664	5	2132.8
67021	8	MIÉRCOLES	3	8924	4	2231
	8	JUEVES	4	8305	4	2076.25
	8	VIERNES	5	8552	4	2138
	8	SÁBADO	6	8933	4	2233.25
	8	DOMINGO	7	10933	5	2186.6
SEPTIEMBRE	9	LUNES	1	5428.98867	4	1357.24717
TOTAL m3	9	MARTES	2	6162.80133	4	1540.70033
44781.3154	9	MIÉRCOLES	3	7961.02937	5	1592.20587
	9	JUEVES	4	7541.85267	5	1508.37053
	9	VIERNES	5	6367.58883	4	1591.89721
	9	SÁBADO	6	6486.4695	4	1621.61738
	9	DOMINGO	7	4832.585	4	1208.14625
OCTUBRE	10	LUNES	1	5084	4	1271
TOTAL m3	10	MARTES	2	5004	4	1251
40017	10	MIÉRCOLES	3	5068	4	1267
	10	JUEVES	4	5060	4	1265
	10	VIERNES	5	6372	5	1274.4
	10	SÁBADO	6	6667.05333	5	1333.41067
	10	DOMINGO	7	6761.94667	5	1352.38933
NOVIEMBRE	11	LUNES	1	6131	5	1226.2
TOTAL m3	11	MARTES	2	6060	5	1212
37781	11	MIÉRCOLES	3	4960	4	1240
	11	JUEVES	4	4955	4	1238.75
	11	VIERNES	5	5117	4	1279.25
	11	SÁBADO	6	5241	4	1310.25
	11	DOMINGO	7	5317	4	1329.25
DICIEMBRE	12	LUNES	1	4403	4	1100.75
TOTAL m3	12	MARTES	2	4229	4	1057.25
34321	12	MIÉRCOLES	3	5499	5	1099.8
	12	JUEVES	4	5430	5	1086
	12	VIERNES	5	5595	5	1119
	12	SÁBADO	6	4614	4	1153.5
	12	DOMINGO	7	4551	4	1137.75

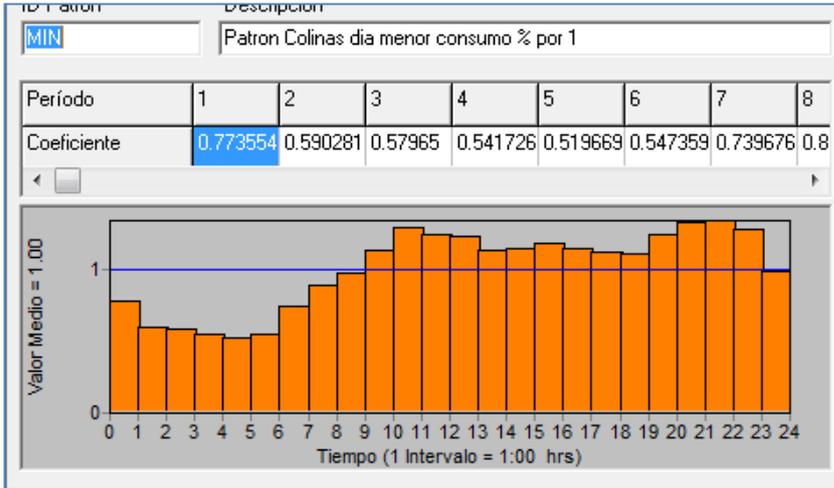
Se obtiene que el día medio del mes con menor consumo es el martes del mes de enero, con un consumo total medio por día de 756,25 m3.

Mientras que el día medio del mes con mayor consumo es el sábado del mes de agosto, con 2233,25 m3.

Como cabía esperar, existe una gran estacionalidad en los consumos a lo largo del año.

En segundo lugar, tras realizar las pertinentes discretizaciones horarias para los días menor, mayor y medio, se obtienen los siguientes patrones de consumo.

DÍA MENOR CONSUMO



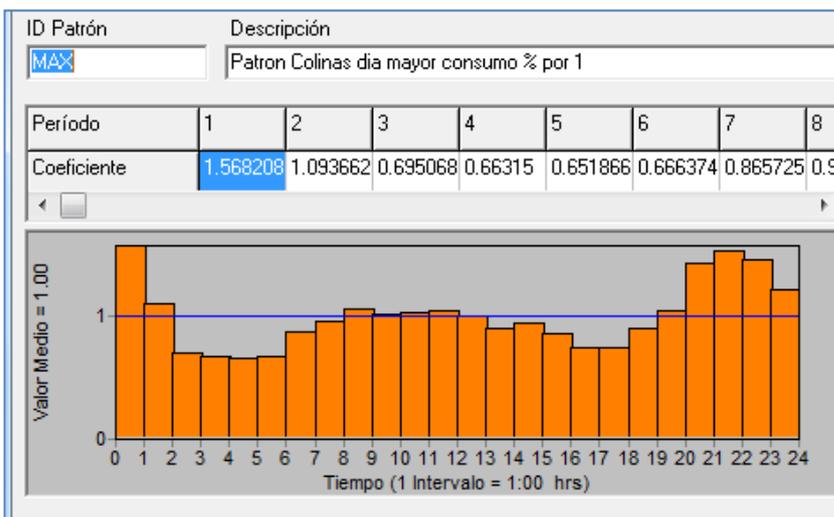
Con los siguientes coeficientes:

HORA	1:00:00	2:00:00	3:00:00	4:00:00	5:00:00	6:00:00	7:00:00	8:00:00	9:00:00	10:00:00	11:00:00	12:00:00
%	0.7736	0.5903	0.5797	0.5417	0.5197	0.5474	0.7397	0.8849	0.9765	1.1249	1.2938	1.2353

HORA	13:00:00	14:00:00	15:00:00	16:00:00	17:00:00	18:00:00	19:00:00	20:00:00	21:00:00	22:00:00	23:00:00	0:00:00
%	1.2301	1.1246	1.1456	1.1790	1.1461	1.1171	1.1041	1.2337	1.3223	1.3365	1.2705	0.9832

Con todo ello resulta un coeficiente multiplicador de la demanda base (obtenida a partir de datos de facturación) de 0,5811, lo que resulta una demanda por nodo de 0,0170 l/s.

DÍA MAYOR CONSUMO



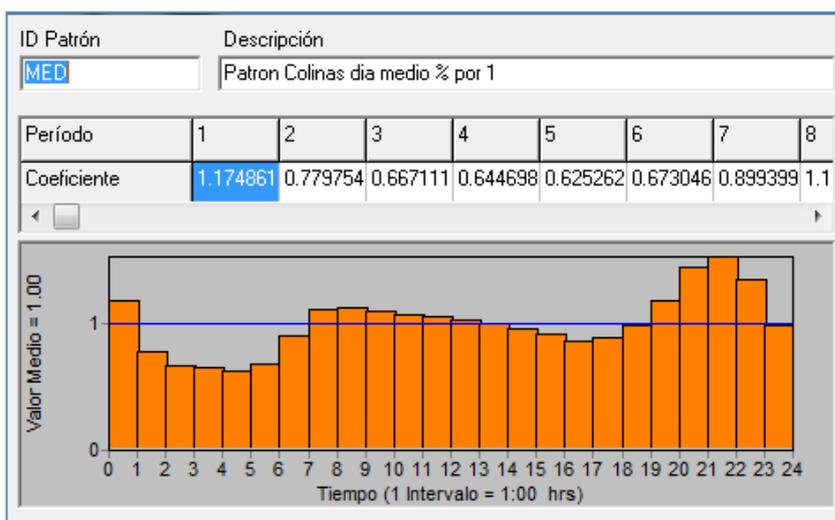
Con los siguientes coeficientes:

HORA	1:00:00	2:00:00	3:00:00	4:00:00	5:00:00	6:00:00	7:00:00	8:00:00	9:00:00	10:00:00	11:00:00	12:00:00
%	1.5682	1.0937	0.6951	0.6632	0.6519	0.6664	0.8657	0.9504	1.0541	1.0103	1.0229	1.0344

HORA	13:00:00	14:00:00	15:00:00	16:00:00	17:00:00	18:00:00	19:00:00	20:00:00	21:00:00	22:00:00	23:00:00	0:00:00
%	0.9938	0.9051	0.9371	0.8575	0.7359	0.7352	0.8996	1.0437	1.4229	1.5276	1.4521	1.2136

Con todo ello resulta un coeficiente multiplicador de la demanda base (obtenida a partir de datos de facturación) de 1,716, lo que resulta una demanda por nodo de 0,0503 l/s.

DÍA CONSUMO MEDIO



Con los siguientes coeficientes:

HORA	1:00:00	2:00:00	3:00:00	4:00:00	5:00:00	6:00:00	7:00:00	8:00:00	9:00:00	10:00:00	11:00:00	12:00:00
%	1.1749	0.7798	0.6671	0.6447	0.6253	0.6730	0.8994	1.1014	1.1267	1.0920	1.0662	1.0445

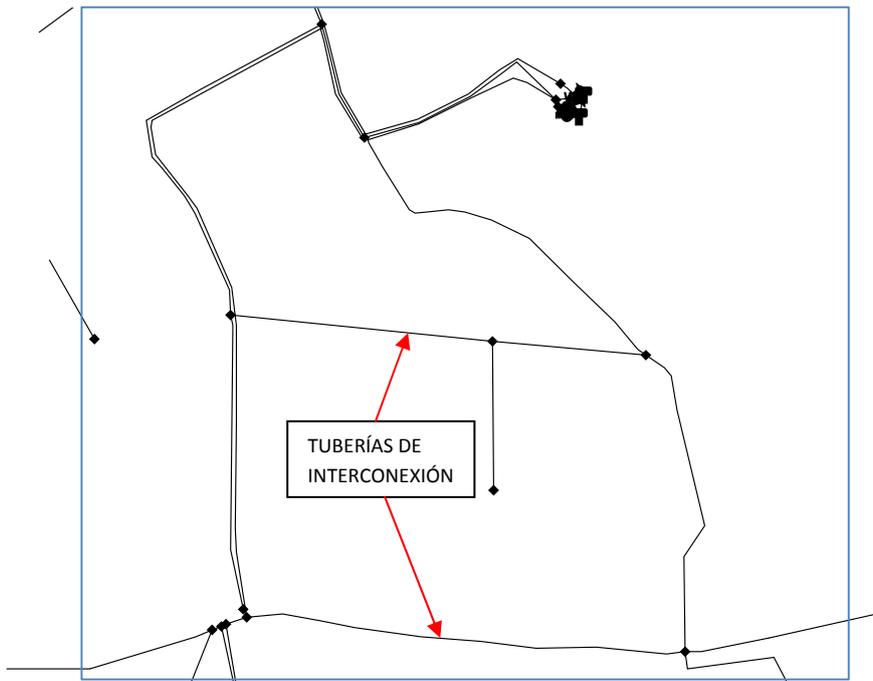
HORA	13:00:00	14:00:00	15:00:00	16:00:00	17:00:00	18:00:00	19:00:00	20:00:00	21:00:00	22:00:00	23:00:00	0:00:00
%	1.0294	0.9992	0.9598	0.9184	0.8617	0.8914	0.9860	1.1786	1.4372	1.5208	1.3477	0.9747

Evidentemente, el coeficiente multiplicador, para la obtención de la demanda media, será 1, con lo que la demanda por nudo será 0,0293 l/s.

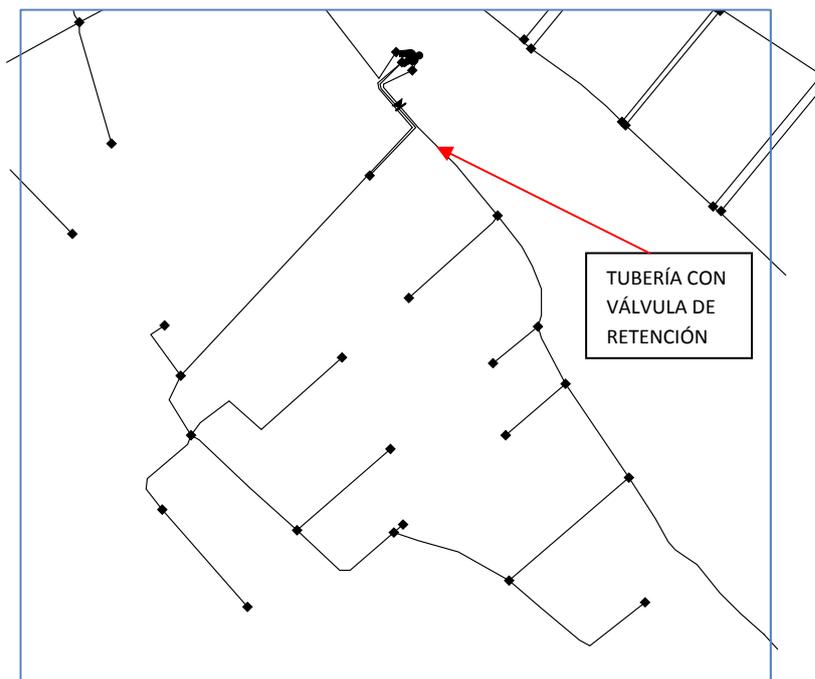
4.3. - ELABORACIÓN DE LA TOPOLOGÍA DE LA RED

Durante la ejecución de las diferentes simulaciones realizadas, se han encontrado varios errores en la conectividad de algunos nodos, asimismo se encontraron errores bastante groseros en algunas cotas topográficas. Se describen de forma sucinta dichos errores detectados:

En la zona de la Conarda, las dos tuberías de salida se encuentran interconectadas en dos puntos. Ello obliga a conectar en ambas tuberías de salida de los depósitos al grupo de bombeo. Se sospecha que podría existir una tercera tubería de salida, pero desde COVAGUAS no han sabido confirmarlo.



En el pozo de San Abdón, se observó que éste rebombeaba continuamente parte del caudal, por lo que se tuvo que poner una válvula de retención en la tubería de retorno.



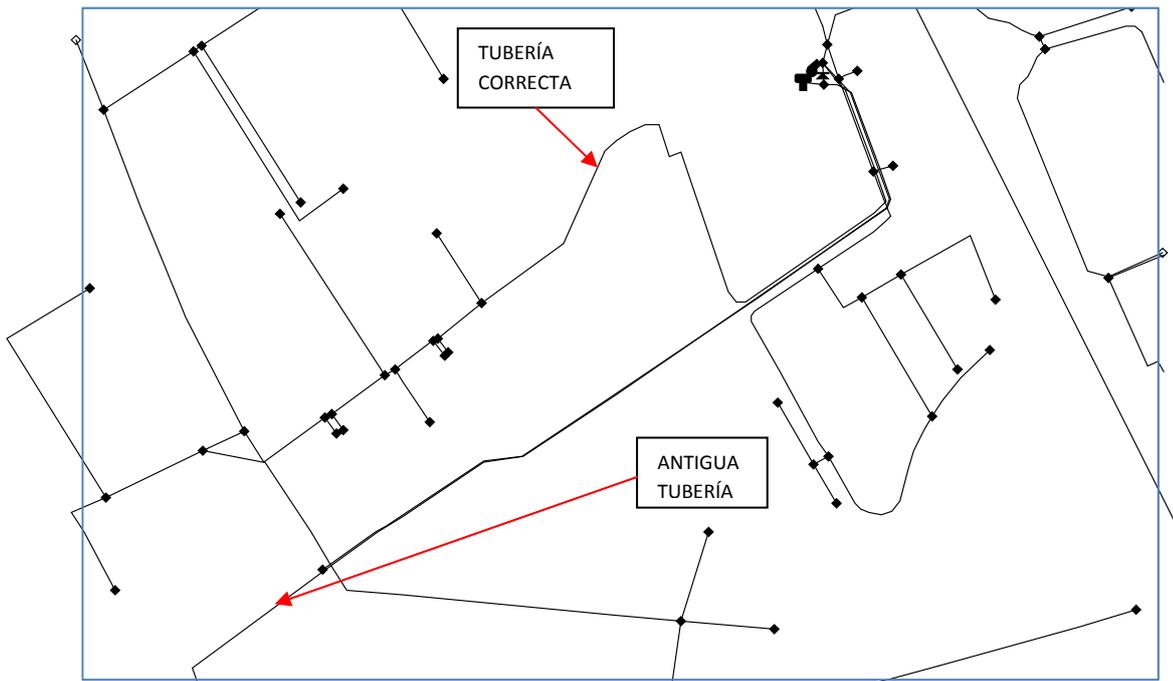
Se conectó la entrada del depósito de Colinas a la tubería que proviene del Traspase, y la salida del grupo de bombeo a la tubería de DN110. Esto fue por indicación del personal de COVAGUAS. Parecería más lógico la conexión de salida a la tubería DN200 del lado de la calle más cercano al depósito. El diagrama se puede consultar en el apartado siguiente.

Se reconectaron los nodos cercanos al depósito de El Plantío a las tuberías provenientes del grupo de bombeo y a la red de distribución local de menor diámetro, para evitar igualmente recirculación de agua del

grupo de presión. Igualmente la cota de los depósitos fue modificada según la topografía del ICV consultada. El diagrama se puede consultar en el apartado siguiente.

Se instaló una válvula antirretorno junto al depósito de la Vallesa por la misma razón de evitar la recirculación de agua en el grupo. El diagrama se puede consultar en el apartado siguiente.

Durante las simulaciones en período extendido, se observó que el depósito de Montecañada se desabastecía continuamente. Tras comprobación de la tubería de conexión de la entrada de este, se comprobó que el depósito estaba desconectado de la tubería DN200 proveniente de El Plantío, por lo que se cambió su conexión. También se modificó la cota del depósito según la cartografía del ICV.



Además de esto, en la zona del trasvase, se comunicó por parte del personal de COVAGUAS, que una tubería incluida en el modelo que actuaba de by-pass en el trasvase, realmente no existía, por lo que se eliminó.

4.4. - MODELIZACIÓN DE LOS PUNTOS DE PRODUCCIÓN

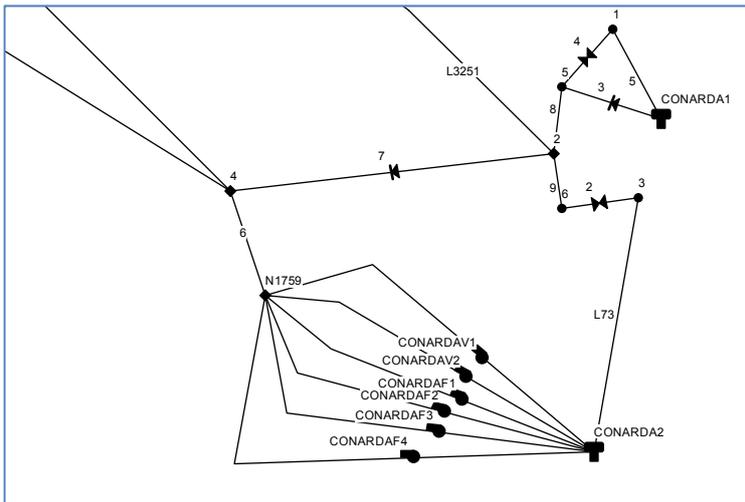
A continuación se incluyen los diagramas del modelo correspondientes a los puntos de producción. Como se dijo con anterioridad, los pozos sin grupo de bombeo no se han considerado. Se incluyen por tanto los 5 depósitos intermedios (La Conarda, El Plantío, Colinas, La Vallesa y Montecañada), además de La Pobra, más los pozos con grupo como son El Río y San Abdón. Por último también se ha incluido el depósito de Cumbres. En el APÉNDICE N°1 : FICHAS DE LOS DEPÓSITOS se incluyen las fichas donde se halla resumida la información relativa a los 5 depósitos.

Tal y como se indicó anteriormente, a partir de los archivos del sistema de telecontrol, para los datos de nivel de cada depósito correspondiente al año 2010, se han obtenido sus valores mínimo, máximo y promedio, que constituirán los valores mínimo, máximo e inicial de éstos en el modelo.

08 DEPÓSITO LA CONARDA

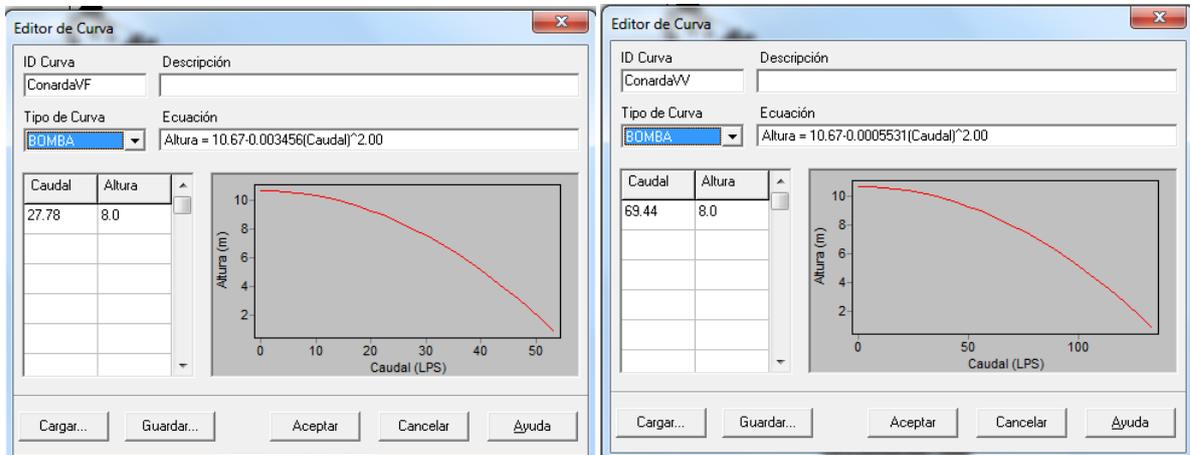
Tal y como se indicó anteriormente, se tuvieron que conectar las dos salidas de los depósitos al grupo, impidiendo a su vez la recirculación entre la salida del bombeo y la entrada al depósito 1.

Se incluyeron ambas válvulas sostenedoras de presión taradas a 10 m.c.a. en las entradas de los dos depósitos.



	Max	Min	Ini
Niveles 1 [m]	4	0	2.59
Niveles 2 [m]	4	0	2.59

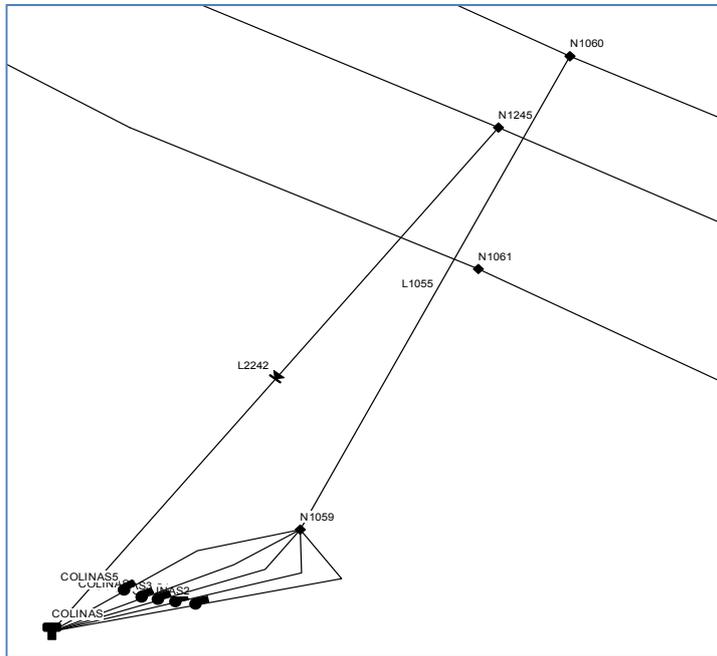
En cuanto a las curvas de las bombas:



Izquierda; la curva de las 4 bombas de velocidad fija. Derecha curva de las 2 bombas de velocidad variable.

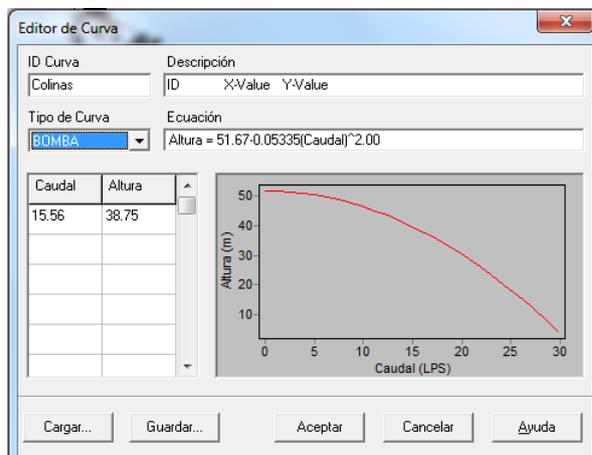
03 DEPÓSITO COLINAS

La única modificación realizada (al margen de la incorporación de éste como depósito en lugar de embalse), fue la conexión de las entradas y salidas.



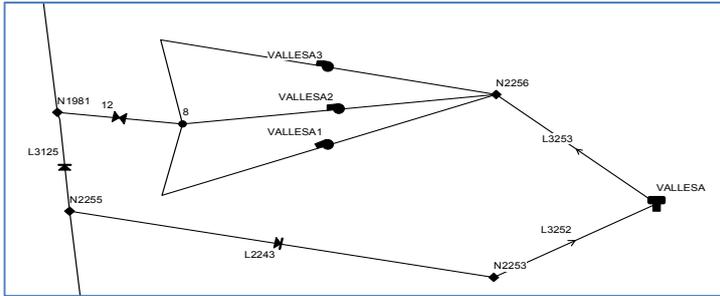
	Max	Min	Ini
Niveles [m]	3.75	0.14	2.81

La curva de las bombas:



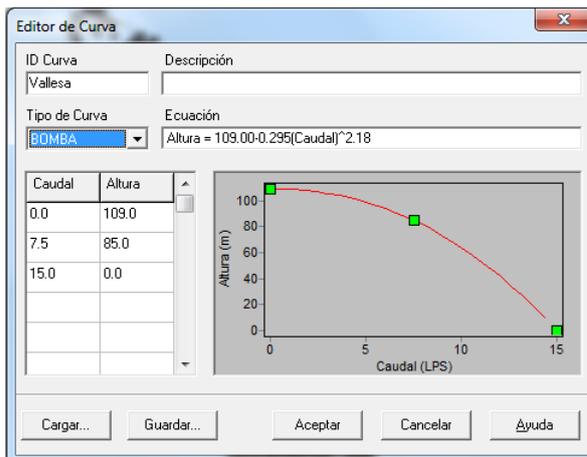
10 DEPÓSITO LA VALLESA

En este caso, además de la válvula de retención mencionada por la recirculación, tras comprobar que las bombas introducían una presión muy excesiva en la red debido al poco caudal impulsado (en algunos puntos superior a 100 m.c.a.), presión que incluso hacía inestable la metodología de introducción de caudales no controlados, se decidió el situar una válvula reductora de presión tarada a 40 m.c.a. Ello es debido posiblemente o a que normalmente únicamente funcionará una de las bombas, o que existirá una tubería independiente de alimentación, y por tanto el grupo también alimentará la zona al sur de éste.



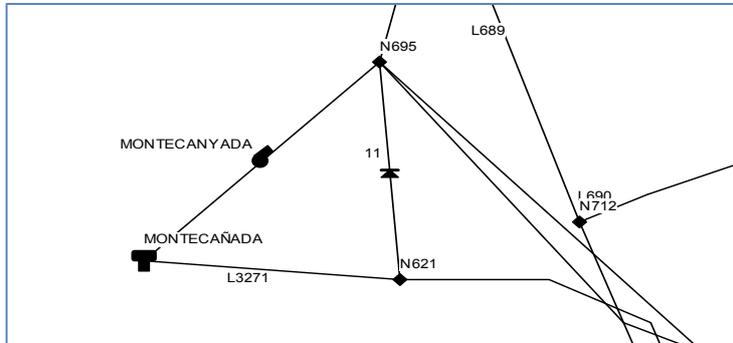
	Max	Min	Ini
Niveles [m]	3.82	0.22	3.17

La curva de las bombas:



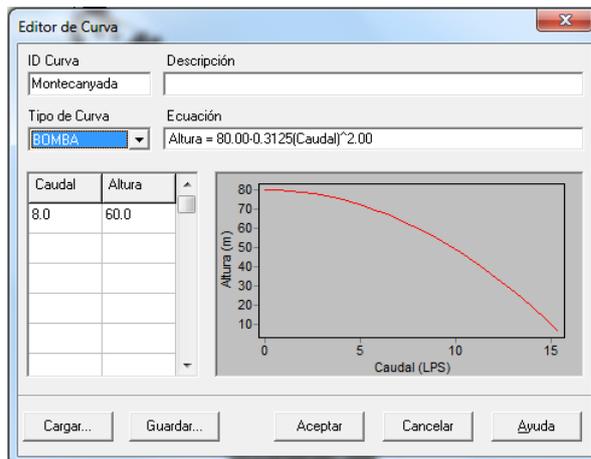
11 DESPÓSITO MONTECAÑADA

En el caso de Montecañada, además de lo mencionado anteriormente en relación a la conexión del depósito, se incluyó una tubería que realiza un by-pass del mismo depósito (con válvula de retención para evitar recirculación de caudal bombeado).



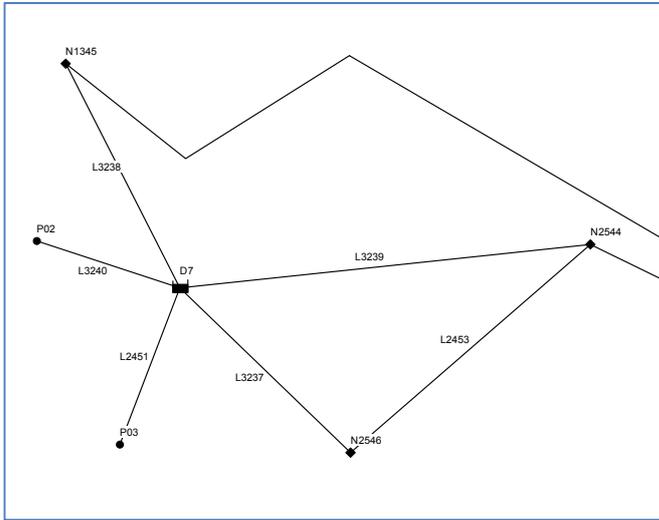
	Max	Min	Ini
Niveles [m]	4	1.81	3.62

La curva de las bombas:



09 DEPÓSITO DE LA POBLA

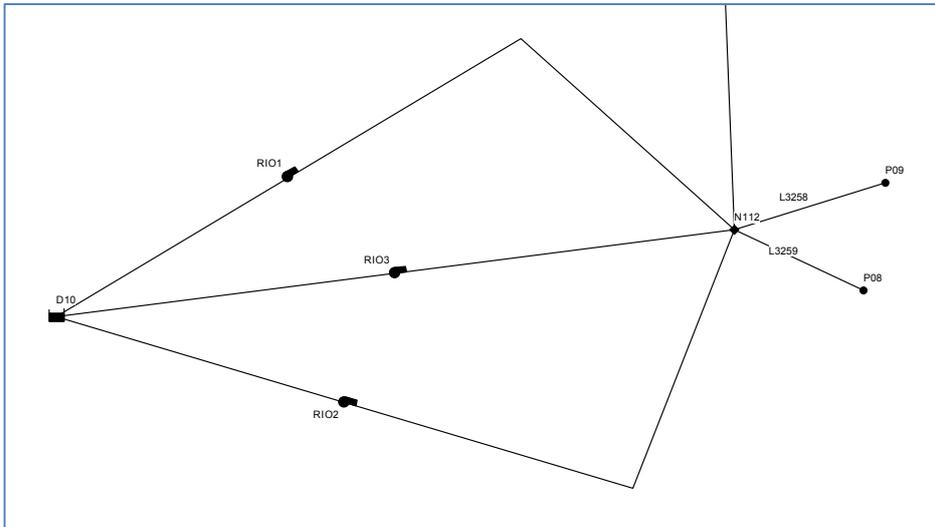
En este caso se dejó la modelización tal y como estaba en el modelo original, ya que a todos los efectos, dichos depósitos funcionan como embalses de cabecera.



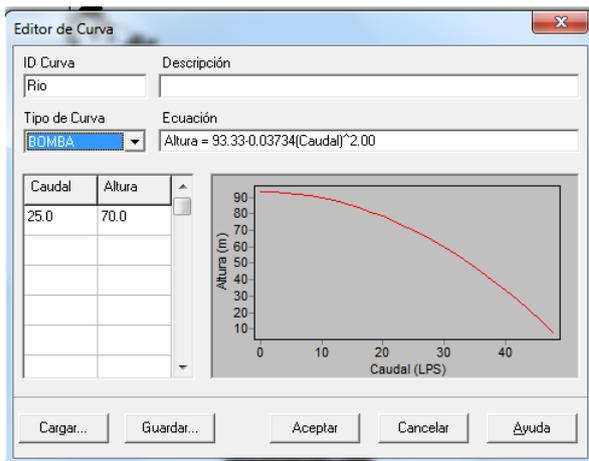
El nivel del embalse es la cota 214.95 m.

05 POZOS DEL RÍO Y DESPEÑAPERROS

Se dejó como en modelo original.

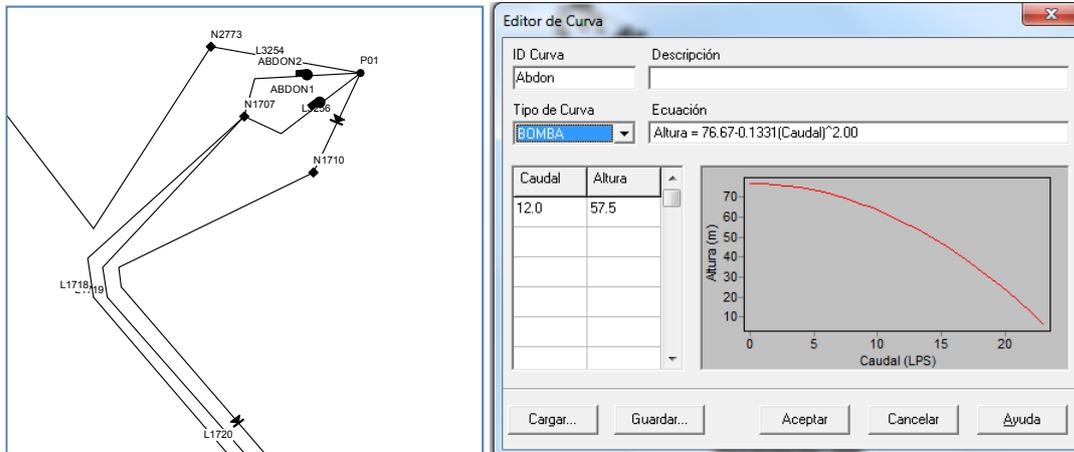


La curva de las bombas:



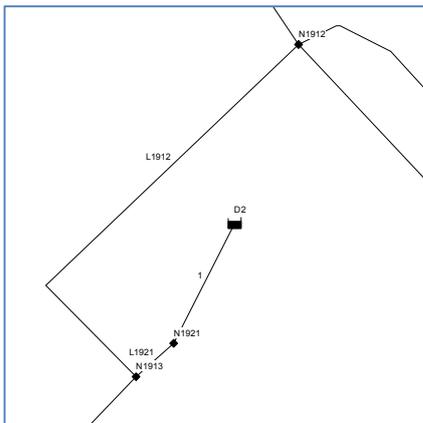
12 POZO DE SAN ABDÓN

A excepción de la conectividad indicada anteriormente, se respetó lo incluido en el modelo original. Se incluye además la curva de las bombas:



15 DEPÓSITO CUMBRES

Al considerarse un depósito en reserva, se eliminaron las bombas y se cerró la tubería que conecta con el embalse.



4.5. - INTRODUCCIÓN DEL CAUDAL NO CONTROLADO (FUGADO) DE LA RED

Aplicando la metodología expuesta anteriormente, se pudo realizar la introducción de los caudales no controlados en 4 iteraciones (5 simulaciones). Tal y como se ha indicado, debido a las altas presiones en la zona de La Vallesa el método era inestable y no se podía reducir la suma de todas las diferencias de presión entre las dos últimas simulaciones a menos de algo más de 1 m.c.a.

Una vez se introdujo la válvula reguladora de presión, el sistema convergió sin problemas. A continuación se adjuntan los parámetros de las diferentes iteraciones:

ITERACIÓN v35-v36			ITERACIÓN v36-v37			ITERACIÓN v37-v38		
nº nudos q	2856		nº nudos q	2856		nº nudos q	2856	
Q TOT TARIFADO	83.7709602	l/s	Q TOT TARIFADO	83.7709602	l/s	Q TOT TARIFADO	83.7709602	l/s
Q POR NUDO	0.0293	l/s	Q POR NUDO	0.0293	l/s	Q POR NUDO	0.0293	l/s
Q TOT INYECTADO	153.994229	l/s	Q TOT INYECTADO	153.994229	l/s	Q TOT INYECTADO	153.994229	l/s
Q DIFERENCIA	70.2232686	l/s	Q DIFERENCIA	70.2232686	l/s	Q DIFERENCIA	70.2232686	l/s
ALFA	0.5		ALFA	0.5		ALFA	0.5	
SUMA L*P^ALFA	2253008.11		SUMA L*P^ALFA	2207350.5		SUMA L*P^ALFA	2206896.25	
SUMABETA	3.1169E-05		SUMABETA	3.1813E-05		SUMABETA	3.182E-05	
SUMA Qi	70.2232686	l/s	SUMA Qi	70.2232686	l/s	SUMA Qi	70.2232686	l/s
SUMA DIF P	33365.7924	m	SUMA DIF P	4053.2319	m	SUMA DIF P	45.8129816	m

ITERACIÓN v38-v39			ITERACIÓN v39-v40		
nº nudos q	2856		nº nudos q	2856	
Q TOT TARIFADO	83.7709602	l/s	Q TOT TARIFADO	83.7709602	l/s
Q POR NUDO	0.0293	l/s	Q POR NUDO	0.0293	l/s
Q TOT INYECTADO	153.994229	l/s	Q TOT INYECTADO	153.994229	l/s
Q DIFERENCIA	70.2232686	l/s	Q DIFERENCIA	70.2232686	l/s
ALFA	0.5		ALFA	0.5	
SUMA L*P^ALFA	2206891.66		SUMA L*P^ALFA	2206891.65	
SUMABETA	3.182E-05		SUMABETA	3.182E-05	
SUMA Qi	70.2232686	l/s	SUMA Qi	70.2232686	l/s
SUMA DIF P	0.4616829	m	SUMA DIF P	0.00419	m

Como se puede observar, la convergencia es correcta pues el suma de las diferencias de presión no llega a las 5 milésimas de m.c.a.

Quisiera mencionar también que la inclusión de los caudales no controlados se ha realizado para la simulación a caudal medio diario constante, en lugar de considerar la simulación del día medio completo en período extendido. Ello se ha considerado por simplicidad, sabiendo que se disponían de origen pocos datos para poder realizar las posteriores comprobaciones (calibración) de la red, añadiendo que no había sido posible el solucionar por falta de información algunos errores de conectividad, el hecho de complicar más los cálculos ante el nivel de incertidumbre existente, se ha considerado redundante.

De todas maneras, tras realizar la simulación en período extendido del día completo con caudal medio, se ha obtenido una demanda conjunta (caudal total inyectado) horaria promedio de 165,54 l/s, un 7,5% superior al caudal medio (debido a las mayores fugas por exceso de presión en las horas valle).

4.6. - ANÁLISIS Y APLICACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL MODELO MATEMÁTICO

Para determinar la bondad en el comportamiento hidráulico del modelo matemático desarrollado, en comparación con la red de COVAGUAS se han realizado las comprobaciones mediante la comparación de los caudales calculados respecto de los obtenidos del sistema de telecontrol. Para ello se ha realizado el balance de entradas-salidas del sistema para las simulaciones con caudal medio diario, ya sean instantáneas o en período extendido.

Las simulaciones realizadas han sido las siguientes (v40 significa el último modelo modificado, o sea, el modelo final):

1. v40 : Simulación instantánea con consumo medio (demanda por nodo 0.0293 l/s).
2. v40_ NMIN : Análoga (1) pero considerando el nivel inicial de los depósitos como el mínimo.
3. v40_ NMAX : Análoga (1) pero considerando el nivel inicial de los depósitos como el máximo.
4. v40_ 24H_MED : Simulación en período extendido con el patrón de consumo de 24h medio.
5. v40_ 24H_MIN : Análoga (4) pero considerando el patrón del día con consumo mínimo.
6. v40_ 24H_MAX : Análoga (4) pero considerando el patrón del día con consumo máximo.
7. v40_ 24H_MED_RIU OFF : Análoga (4) pero imponiendo el suministro exclusivo desde La Pobra.

1 . SIMULACIÓN v40

Tras realizar la simulación, se observa un comportamiento anómalo en La Conarda, donde por una tubería de salida de los depósitos, conectada a la salida del grupo de bombeo, se tiene un caudal en sentido entrante, que después saldrá por la segunda tubería de salida. Esto es debido a la poca presión que aportan las bombas, y probablemente implica lo indicado anteriormente, que la conectividad de las salidas del depósito no es correcta.

El balance total de caudales es correcto (el cálculo de los coeficientes de los emisores se ha hecho para ello).

DEPÓSITOS							
COD	NOMBRE	NUM	NIVEL MAX	NIVEL MIN	NIVEL INI	Q NETO ENTRA	Q NETO SALE
3	COLINAS	1	3.75	0.14	2.81	17.91	-17.91
4	EL PLANTÍO	1	3.27	0.94	2.43	-40.25	40.25
		2	3.27	0.94	2.43	-1.17	1.17
		3	3.27	0.94	2.43	-29.02	29.02
8	LA CONARDA	1	4	0	2.59	68.04	-68.04
		2	4	0	2.59	59.31	-59.31
10	LA VALLESA	1	3.82	0.22	3.17	32.56	-32.56
11	MONTECAÑADA	1	4	1.81	3.62	65.49	-65.49
EMBALSES		Q NETO ENTRA	Q NETO SALE	TOTAL Q CONSUMIDO			
9	LA POBLA	-261.48	261.48	153.83			
15	CUMBRES	-0.03	0.03				
5	RIU	-65.19	65.19				

Por otro lado, los caudales impulsados:

DEPÓSITOS	TELEMANDO		MODELO
COD	Q [l/s]		Q [l/s]
3	15.55694444	BOMBEO	9.1
4			
	5.5	BOMBEO	2.4
8	21.59	DIRECTO	
	29.88611111	BOMBEO	7.75
10	3.077777778	BOMBEO	2.49
11	11.62777778	BOMBEO	11.69
EMBALSES			
9	118.5083333	PROMEDIO SALIDA	261.48
15			
5	30.025	SUMA 2 POZOS	65.19

Se observa que tanto La Vallesa (10) como Montecañada (11) se aproximan bastante los caudales impulsados respecto de los medidos por el sistema de telecontrol, mientras que Colinas (3) está en el mismo orden de magnitud. En ese caso se cree que se debería haber obtenido un caudal más similar al medido por el sistema de telecontrol, ya que se supone que constituye un sector aislado. En el caso de El Plantío (4) se obtiene un caudal aproximadamente la mitad del esperado; es muy posible que alguna conexión de la zona esté mal realizada, y estén entrando caudales provenientes de la tubería desde el Trasvase en la zona que debería estar alimentada por el grupo.

Donde no se aprecian ningún tipo de similitudes entre el modelo y la realidad es en la Conarda (8), ya que la suma de las salidas de éste en la realidad suponen más de 50 l/s, mientras que en el modelo se obtienen menos de 8.

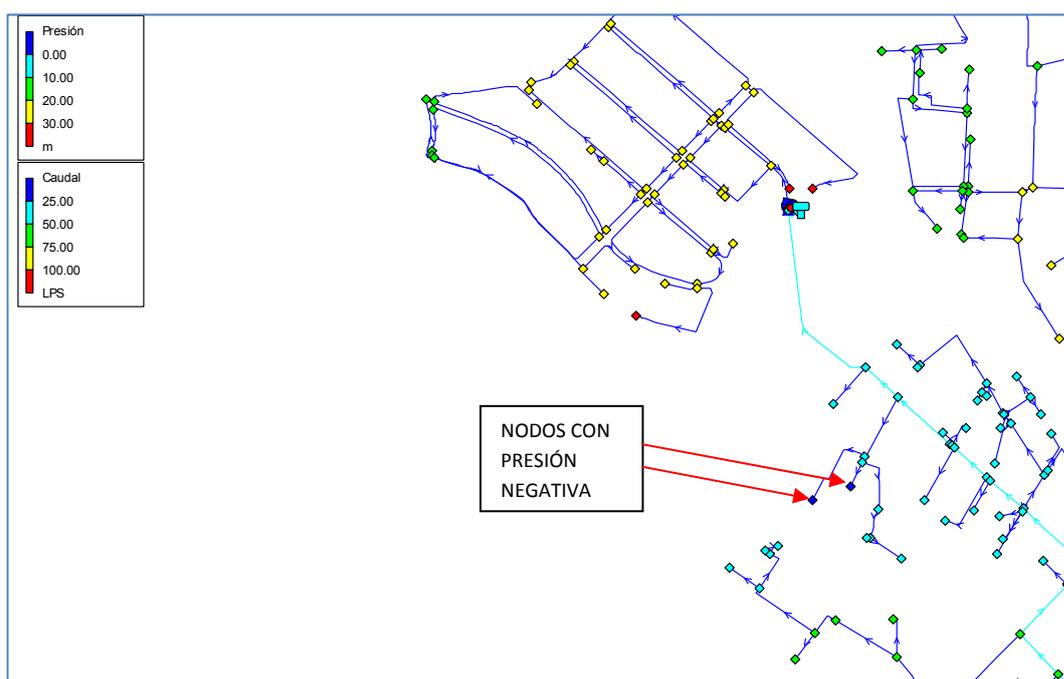
También se quiere hacer mención que si observamos los caudales, medidos en el sistema de telemando, medios inyectados desde La Pobra y El Río, la suma de ambos (aproximadamente 148,5 l/s) es inferior en algo más de 5 l/s al caudal medio. Este debe ser el caudal inyectado a partir de fuentes alternativas.

Por último, indicar que la no coincidencia de los caudales calculados respecto de los medidos en la salida de La Pobra es debido principalmente al llenado de depósitos.

2. SIMULACIÓN v40 NMIN

Variando el nivel inicial de los depósitos, se observa cierta sensibilidad en la respuesta de la red. De hecho se simuló con 1 cm de nivel de agua en cada depósito para el funcionamiento de los grupos.

Se obtienen presiones negativas en un par de nodos cercanos (por el sur y por tanto no alimentados por él) al depósito de la Vallesa, lo que hace pensar que probablemente el depósito debe estar alimentando dicha zona. No se tiene constancia de ello.



Al margen de ello, el balance de caudales obtenido:

DEPÓSITOS							
COD	NOMBRE	NUM	NIVEL MAX	NIVEL MIN	NIVEL INI	Q NETO ENTRA	Q NETO SALE
3	COLINAS	1	3.75	0.14	0.15	38	-38
4	EL PLANTÍO	1	3.27	0.94	0.95	-41.47	41.47
		2	3.27	0.94	0.95	-1.16	1.16
		3	3.27	0.94	0.95	-47.79	47.79
8	LA CONARDA	1	4	0	0.01	66.64	-66.64
		2	4	0	0.01	64.61	-64.61
10	LA VALLESA	1	3.82	0.22	0.23	34.32	-34.32
11	MONTECAÑADA	1	4	1.81	1.82	65.93	-65.93
EMBALSES							TOTAL Q CONSUMIDO
9	LA POBLA					-264.43	264.43
15	CUMBRES					-0.03	0.03
5	RIU					-66.78	66.78
							152.16

Se observa que dado que el caudal total salido del sistema (152,16 l/s) es muy similar al de niveles medios, significa que las presiones no varían en demasía.

3 . SIMULACIÓN v40 NMAX

En el caso de realizar la simulación con el caudal medio pero con el nivel máximo de los depósitos, lo primero que llama la atención es que las bombas de La Conarda son incapaces de aportar caudal, lo que vuelve a apuntar hacia el error de conectividad en la salida de dicho depósito.

En cuanto al balance de caudales:

DEPÓSITOS							
COD	NOMBRE	NUM	NIVEL MAX	NIVEL MIN	NIVEL INI	Q NETO ENTRA	Q NETO SALE
3	COLINAS	1	3.75	0.14	3.75	-9.13	9.13
4	EL PLANTÍO	1	3.27	0.94	3.27	0	0
		2	3.27	0.94	3.27	-1.17	1.17
		3	3.27	0.94	3.27	-1.27	1.27
8	LA CONARDA	1	4	0	4	0	0
		2	4	0	4	0	0
10	LA VALLESA	1	3.82	0.22	3.82	-0.03	0.03
11	MONTECAÑADA	1	4	1.81	4	-7.1	7.1
EMBALSES		Q NETO ENTRA	Q NETO SALE	TOTAL Q CONSUMIDO			
9	LA POBLA	-145.9	145.9	173.53			
15	CUMBRES	-0.03	0.03				
5	RIU	-8.9	8.9				

Se observa que hay 20 l/s de consumo en fugas mayor que en el caso de niveles medios.

Igualmente se observa que en caso de no utilizarse caudal para llenar los depósitos (este es el caso), el caudal aportado por La Pobra, se asemeja bastante más al registrado en el sistema de telemando.

4 . SIMULACIÓN v40 24H MED

Tras realizar la simulación, el programa indica como mensajes de error el hecho que ha habido instantes en que las bombas de La Conarda han sido incapaces de dar caudal.

Se ha comprobado que no ha habido nodos con presión negativa.

Se observa que los depósitos tienden a llenarse completamente, lo que indica que no se alcanzan, después del ciclo completo, las condiciones iniciales. Esto indica que en la red de COVAGUAS, probablemente estén regulando las entradas/salidas de los depósitos.

Se incluye en el APÉNDICE Nº 3 : GRÁFICAS DE LA EVOLUCIÓN DEL NIVEL DE LOS DEPÓSITOS, los resultados relativos al comportamiento de los depósitos.

5. SIMULACIÓN v40 24H MIN

Al igual que en el caso con la demanda media, el programa indica como mensajes de error el hecho que ha habido instantes en que las bombas de La Conarda han sido incapaces de dar caudal.

Análogamente al caso anterior, se ha comprobado que no ha habido nodos con presión negativa.

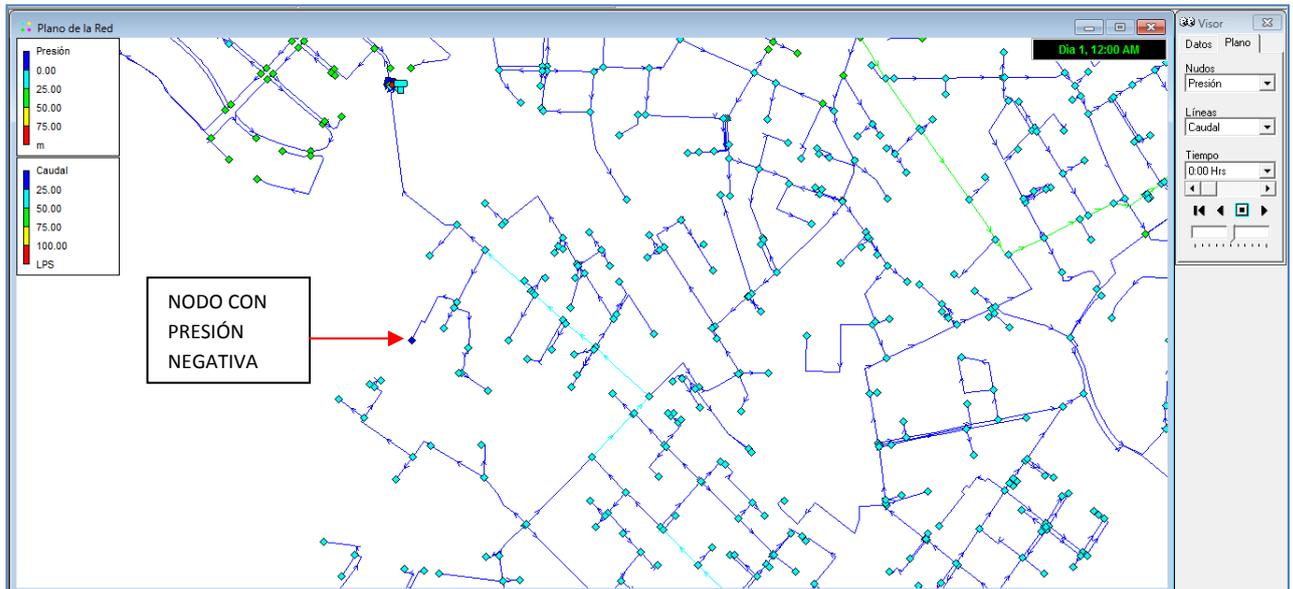
Se observa que los depósitos tienden a llenarse completamente, lo que indica que no se alcanzan, después del ciclo completo, las condiciones iniciales. Esto indica que en la red de COVAGUAS, probablemente estén regulando las entradas/salidas de los depósitos.

Se incluye en el APÉNDICE N° 3 : GRÁFICAS DE LA EVOLUCIÓN DEL NIVEL DE LOS DEPÓSITOS, los resultados relativos al comportamiento de los depósitos.

6. SIMULACIÓN v40 24H MAX

Al igual que en los casos anteriores, el programa indica como mensajes de error el hecho que ha habido instantes en que las bombas de La Conarda han sido incapaces de dar caudal.

Además de esto, se han dado avisos puntuales de presión negativa en uno de los nodos con presión negativa de la simulación (2) (caudal medio con nivel mínimo en depósitos). La razón debería ser la comentada anteriormente.



En general el sistema funciona correctamente, aun algunos pequeños problemas por presión baja. Se debe tener en cuenta que el caudal regulado en el trasvase es el medio. Curiosamente, si se observan los datos de caudal en el trasvase (medidos por el sistema de telemando), se observa que el caudal medio del mes de agosto (cuando se da el caudal máximo) es de algo más de 180 m³/h, del orden de un 15% superior al medio. De todas formas observando el comportamiento de los depósitos, con caudal medio regulado en el trasvase, se comprueba que, al no vaciarse, sigue habiendo recurso suficiente. Los únicos depósitos en vaciarse han sido El Plantío 2 y 3, estando El Plantío 1 lleno al final de la simulación.

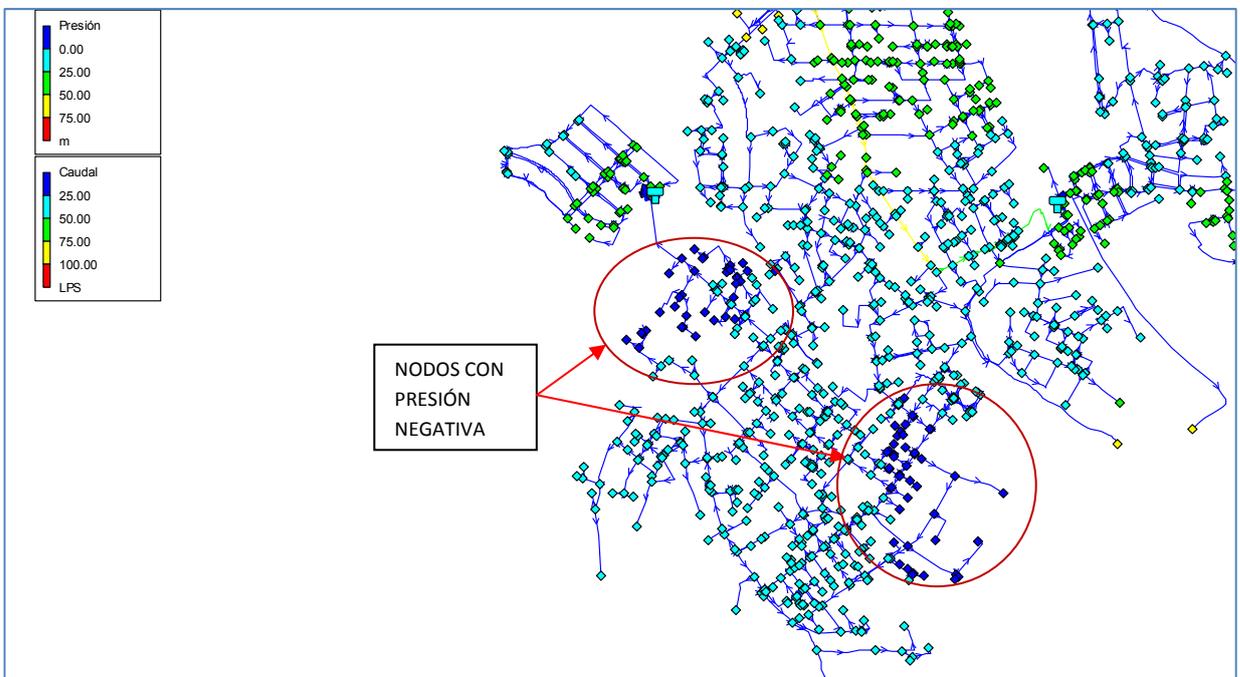
En este caso, viendo el comportamiento de los tres depósitos de El Plantío, se plantea la duda de su comportamiento general, ya que parece ser que se están trasvasando agua entre ellos, posiblemente de forma recurrente.

Se incluye en el APÉNDICE Nº 3 : GRÁFICAS DE LA EVOLUCIÓN DEL NIVEL DE LOS DEPÓSITOS, los resultados relativos al comportamiento de los depósitos.

7. SIMULACIÓN v40 24H MED RIU OFF

En este caso se va a simular el comportamiento de la red en caso de no utilizarse como fuente el bombeo del Río. Se va asimismo intentar determinar el caudal a regular necesario en el Trasvase para garantizar que se alcanzan presiones adecuadas en todo el sistema.

En primer lugar se ha probado utilizando como caudal de regulación del Trasvase el medio. El resultado son dos zonas con presiones negativas:



Tras simular con tres caudales (crecientes) de regulación en el Trasvase, se comprueba que la presión en dichos nodos es independiente de dicho caudal regulado.

La solución posiblemente sea el permitir por un lado la alimentación alternativa (e incluso a ser posible el aumento de capacidad de éste) del depósito de la Vallesa para permitir la alimentación de la zona al sur de éste mediante su grupo de bombeo.

En cuanto a la zona con bajas presiones más cercana al pozo del Río (derecha de la imagen), se debería mejorar su abastecimiento, ya sea mediante una nueva tubería o alimentándola desde algún punto más cercano.

5. - CONCLUSIONES.

Tras la realización del presente estudio, se puede concluir lo siguiente:

RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN Y ANÁLISIS PREVIO

Se ha intentado recopilar toda la información y con el mayor nivel de detalle posible en relación con la red objeto de estudio. Para ello se ha utilizado tanto trabajos técnicos anteriores (un PFC y el Proyecto del PAI “El Manisero”) como de información propia de COVAGUAS (bases de datos del sistema de telemando y entrevistas con personal de la empresa).

Se ha realizado la descripción tanto del funcionamiento general de la red como de los puntos de producción de ésta. Se ha comprobado lo vasta que es la red de abastecimiento a modelar y lo complejo de algunos puntos particulares de ella.

FILTRADO DE DATOS Y OBTENCIÓN DE CAUDALES

Para la determinación de los datos necesarios a extraer de las bases de datos del sistema de telemando, ha sido necesario el comprobar su validación, filtrado y ordenación previos.

A partir de los datos disponibles de facturación y los del sistema de telemando, se han obtenido tanto los caudales a inyectar como las demandas a introducir.

MODELACIÓN DE LA RED

Se ha intentado realizar la modelación de la red con el mayor nivel de detalle posible en los puntos de producción, especialmente los depósitos y grupos de bombeo.

Aun cuando se han podido detectar y solucionar los errores de conectividad de algunos puntos, se han constatado algunos otros errores que por falta de información no se han podido solucionar.

Se han introducido los caudales no controlados de la red, de forma que ante las demandas calculadas a partir de los datos de facturación, el modelo introducía el caudal inyectado obtenido por los datos del sistema de telemando.

ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO DEL MODELO

Se ha procedido a simular un total de 7 escenarios diferentes.

Tras las simulaciones, se ha constatado:

1. El comportamiento incorrecto del depósito y el grupo de bombeo de La Conarda.
2. La incertidumbre sobre la posible conexión con la zona sur del depósito de la Vallesa.
3. Posiblemente haya alguna conexión errónea entre la zona supuestamente alimentada por el grupo de bombeo de El Plantío y la tubería que proviene del Trasvase.

4. El comportamiento general de los depósitos, que tienden a llenarse, no se corresponde con los niveles de éstos obtenidos del sistema de telemando, hecho que hace pensar que se está regulando sus entradas/salidas.
5. Es posible que entre los depósitos de El Plantío se estén realizando transferencias de caudal entre ellos de forma cíclica.
6. Aun cuando se sabe de la simulación incorrecta del depósito de la Conarda, viendo que constantemente en todas las simulaciones, el balance de entradas y salidas de caudal es claramente positiva (entra bastante más que sale), hace pensar que probablemente su importancia en la regulación del sistema (ahora que se abastece de norte a sur), haya decrecido bastante, ya que según parece, el abastecimiento desde La Pobla es suficiente para toda la zona norte, incluso en momentos de máxima demanda.

CONCLUSIONES FINALES

Considerando el trabajo conjunto realizado, se ha podido constatar que hubiera sido necesario el recopilar más información sobre la conectividad de la red para poder desarrollar un modelo que se asemejara más al comportamiento real del sistema. La disponibilidad de datos internos de funcionamiento ha sido bastante escasa, y limitándose ésta a los puntos de producción y sobretodo relativa a los caudales de la red.

El hecho ser una red sin sectorizar, igualmente perjudica el trabajo de intentar realizar una modelación de ésta realista.

Lamentablemente el tiempo disponible para la realización del presente Trabajo de Fin de Máster ha sido muy limitado, y se han presentado bastantes dificultades para poder recabar la información necesaria (y poderla incluir en el modelo) a tiempo.

Valencia, septiembre de 2014.

El autor del Trabajo de Fin de Master:



Francesc Todera Lledó.