



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA
DE VALENCIA**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA HIDRÁULICA
Y MEDIO AMBIENTE**

**DESCRIPCIÓN Y MEJORA DEL FUNCIONAMIENTO
DE LA RED DE ABASTECIMIENTO DE SAN
SEBASTIÁN DE LA GOMERA**

TRABAJO FIN DE MÁSTER

**Realizado por:
Domingo Ramón China Herrera**

**Dirigido por:
Dr. Pedro L. Iglesias Rey**

FEBRERO 2011

RESUMEN

El agua ha condicionado tradicionalmente la vida de la población canaria, y continúa hoy en día, siendo un factor determinante y esencial para las posibilidades de desarrollo regional.

La legislación canaria establece diferentes mecanismos de planificación hidráulica, dentro de los cuales, el Plan Hidrológico Insular (PHI), es el instrumento básico para la ordenación y aprovechamiento de los recursos hídricos, estando “destinado a conseguir la mejor satisfacción de las demandas de agua, y a racionalizar el empleo de los recursos hidráulicos de la isla, protegiendo su calidad y economizándolos en armonía con el medio ambiente y los demás recursos naturales” (*artículo 35 de la Ley de Aguas de Canarias*).

El bajo rendimiento general de las redes de distribución de agua potable en la isla de La Gomera queda reflejado en su PHI, donde se estiman unas pérdidas cercanas al 40% en el cómputo global de la isla.

El objetivo del presente Trabajo Fin de Máster es la descripción y mejora del funcionamiento de la red principal de abastecimiento del municipio de San Sebastián de La Gomera.

El trabajo se compone de una descripción de las instalaciones y funcionamiento actual de las redes de la localidad, estimando un balance hidráulico del sistema. Con la intención de reflejar el funcionamiento de la red, se ha elaborado un modelo de simulación matemático utilizando la herramienta de cálculo EPANET 2.0, que permite tomar decisiones, con el fin de mejorar el rendimiento actual del sistema, estimado en un 34%.

La elaboración del modelo se ha basado en las redes principales de distribución, debido al desconocimiento general, por parte de los propios gestores, de la red en baja, tanto de los trazados como del funcionamiento. Aún así, se ha conseguido representar el funcionamiento de las redes de distribución, incluyendo una estimación de las fugas y pérdidas, desarrollando una propuesta de control de presiones mediante válvulas reductoras de presión, que permite cambiar la estrategia de regulación actual, deficitaria en volúmenes para periodos largos, por una nueva estrategia que mejora la garantía de suministro, rebaja los costes energéticos y con ello el coste final del agua en un 21%.

La aplicación de esta estrategia de regulación, unido a efectuar un control exhaustivo de volúmenes inyectados a la red, permitirá mejorar la regulación global del sistema de manera rápida y efectiva, en caso de no realizarse las medidas propuestas, el panorama

no es nada favorable, ya que la tendencia de los defectos encontrados en el sistema, es a empeorar con el paso del tiempo, en el caso de gestionar el recurso y el sistema como en la actualidad, a base de añadir volúmenes para cubrir los defectos.

RESUM

L'aigua ha condicionat tradicionalment la vida de la població canària, i continua avui dia sent un factor determinant i essencial de les possibilitats de desenvolupament regional.

La legislació canària estableix diferents mecanismes de planificació hidràulica, dels quals el Pla Hidrològic Insular (PHI), està concebut com l'instrument bàsic per a l'ordenació i aprofitament dels recursos hídrics, estant "destinat a aconseguir la millor satisfacció de les demandes d'aigua ja racionalitzar l'ús dels recursos hidràulics de l'illa, protegint la seva qualitat i economitant en harmonia amb el medi ambient i els altres recursos naturals" segons dicta l'article 35 de la Llei d'Aigües de Canàries.

El baix rendiment general de les xarxes de distribució d'aigua potable a l'illa de la Gomera queda reflectit en el seu PHI on s'estimen unes pèrdues properes al 40% en el còmput global de l'illa.

L'objectiu d'aquest Treball Fi de Màster és la descripció i millora del funcionament de la xarxa principal d'abastament del municipi de Sant Sebastià de la Gomera.

El treball es compon d'una descripció de les instal·lacions i funcionament actual de les xarxes de la localitat, estimant un balanç hidràulic del sistema. Amb la intenció de reflectir el funcionament de la xarxa s'ha elaborat un model de simulació matemàtic utilitzant l'eina de càlcul EPANET 2.0, que permet prendre decisions per tal de millorar el rendiment actual del sistema, estimat en un 34%.

L'elaboració del model s'ha basat en les xarxes principals de distribució a causa del desconeixement general sobre la xarxa en baixa, tant de traçats com de funcionament, per part dels propis gestors. Tot i això s'ha aconseguit representar el funcionament de les xarxes de distribució, incloent una estimació de les fuites i pèrdues, desenvolupant una proposta de control de pressions mitjançant vàlvules reductores de pressió, que permet canviar l'estratègia de regulació global actual, deficitària en volums en períodes llargs, per una nova estratègia que millorant la garantia de subministrament, rebaixa els costos energètics i amb això el cost final de l'aigua en un 21%.

L'aplicació d'aquesta estratègia de regulació unit efectuar un control exhaustiu de volums injectats a la xarxa permetrà millorar la regulació global del sistema, de manera ràpida i efectiva, en cas de no realitzar-se les mesures proposades, el panorama no és gens favorable, ja que la tendència dels defectes trobats en el sistema és a empitjorar amb el pas del temps, gestionant el recurs i el sistema com en l'actualitat, a base d'afegir volums per cobrir els defectes.

SUMMARY

Water availability has traditionally influenced the life of the Canarian population, and continues today being a key determinant factor of regional development opportunities.

Canarian legislation establishes different mechanisms for water planning; one of them is including the Insular Water Plan (IHP), designed as the basic tool for the management and utilization of water resources. As it is indicated in the Article 35 of the Water Law of the Canary Islands, the IPH is designed to optimize the satisfaction of water demands and to rationalize the use of water resources of the island, protecting its quality and optimizing them in harmony with the environment and other natural resources.

The low yield of the distribution networks of drinking water on the island of La Gomera is reflected in the PHI. Losses are estimated around 40% for the global calculation of the island.

The purpose of this Final Master is the description and improvement of the functioning on the main supply network of San Sebastian de La Gomera, the capital city of the island of La Gomera.

The work consists of a description of the current operating facilities and local networks, estimating a water balance system. With the aim of reflecting the operation of the network, a mathematical simulation model has been developed by using EPANET 2.0, which allows taking decisions to improve the current performance of the system, estimated at 34%.

The development of the model was based on the main distribution networks because there is a lack of knowledge on the secondary /low pressure network both plotted and functioning. In this work the functioning of the distribution networks is represented, including the estimation of leakage and losses, and a proposal for monitoring the pressure by "pressure reducing valves". This can change the current regulatory strategy (with high volumes deficits in long periods) for a new one to improve supply security which reduces energy costs and the final economical cost of water on 21%.

The implementation of this control strategy, together with a rigorous control of the volumes injected into the network, will quickly and effectively improve the general control system., Since the tendency of the system is to get worse over time, due to the fact that the low yield is compensated with the addition of volumes of water.

If the proposed actions are not carried out, there will be no big hope for the future.

ÍNDICE DEL ESTUDIO

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. ANTECEDENTES	1
1.2. MARCO DE ESTUDIO	2
1.3. OBJETIVOS DEL TRABAJO FIN DE MÁSTER.....	5
2. DESCRIPCIÓN Y FUNCIONAMIENTO ACTUAL DE LA RED.....	7
2.1. PROCEDENCIA DE LAS APORTACIONES A LA RED.....	7
2.1.1. <i>Sondeos de Enchereda</i>	7
2.1.2. <i>Pozo Raspaderos</i>	7
2.1.3. <i>Pozo de La Alianza</i>	8
2.2. DEPÓSITOS: CARACTERÍSTICAS Y ESTADO DE CONSERVACIÓN	8
2.2.1. <i>Depósito de Las Cañadas De Hurona</i>	8
2.2.2. <i>Depósito Del Molinito</i>	9
2.2.3. <i>Depósito La Hoya_1</i>	10
2.2.4. <i>Depósito La Hoya_2</i>	11
2.2.5. <i>Depósito La Gallarda</i>	12
2.2.6. <i>Depósito Las Galanas</i>	14
2.2.7. <i>Depósito El Langrero</i>	15
2.2.8. <i>Resumen de los Depósitos</i>	16
2.3. TRAZADOS Y PERFILES LONGITUDINALES DE LA RED.....	17
2.3.1. <i>Tramo Cañadas de Hurona → La Hoya_2</i>	18
2.3.2. <i>Tramo Raspaderos → La Alianza → La Gallarda</i>	19
2.3.3. <i>Tramo Hoya_2 → Avenida José Aguiar</i>	20
2.3.4. <i>Tramo Hoya_2 → El Faro</i>	21
2.3.5. <i>Tramo La Gallarda → Las Galanas</i>	22
2.3.6. <i>Tramo La Gallarda → Cámara Rotura Parador</i>	23
2.3.7. <i>Tramo Cámara Rotura Parador → Casco Urbano → Barranco La Concepción</i>	24
2.3.8. <i>Tramo La Hoya_1 → La Gallarda</i>	25

2.4.	RED EN ALTA. DESCRIPCIÓN Y FUNCIONAMIENTO	26
2.4.1.	<i>Subsistema_1</i>	27
2.4.2.	<i>Subsistema_2</i>	28
2.5.	RED EN BAJA. DESCRIPCIÓN Y FUNCIONAMIENTO	29
2.6.	OPERACIÓN DEL SISTEMA.....	30
2.7.	PARQUE DE CONTADORES.....	31
2.8.	BALANCE VOLUMÉTRICO DEL SISTEMA	32
3.	CONFECCIÓN MODELO DE SIMULACIÓN MATEMÁTICO.....	35
3.1.	MODELO DEL SISTEMA. FUNCIONAMIENTO DE EPANET 2.0.....	35
3.1.1.	<i>Modelo de Simulación Hidráulica:</i>	40
3.2.	CONFECCIÓN DEL MODELO. FASES DE DESAROLLO	40
3.2.1.	<i>Recopilación y organización de la información.</i>	40
3.2.2.	<i>Simplificación de la red de tuberías.</i>	41
3.2.3.	<i>Asignación de cargas.</i>	42
3.2.4.	<i>Curva de modulación de caudales.</i>	43
3.2.5.	<i>Modelación del volumen no registrado (VNR).</i>	46
3.2.6.	<i>Modelación de llenado de depósitos.</i>	48
3.2.7.	<i>Modelación de las bombas.</i>	49
3.2.8.	<i>Introducción de controles simples y programados.</i>	50
3.2.9.	<i>Solución de puntos de funcionamiento problemático.</i>	51
3.3.	MODELO DE SIMULACIÓN. ANÁLISIS DE DISTINTOS ESCENARIOS	52
3.3.1.	<i>Resultados gráficos del modelo de simulación.</i>	53
3.3.2.	<i>Análisis de presiones en régimen permanente.</i>	56
3.3.3.	<i>Evolución en los depósitos. Simulación dinámica.</i>	61
3.3.4.	<i>Estimación del coste energético de bombeo.</i>	63
4.	PROPUESTAS DE MEJORA DE LA RED	65
4.1.	CARTOGRAFÍA GEOREFERENCIADA DE LA RED	65
4.2.	PROPUESTAS DESTINADAS AL AHORRO DE AGUA.....	66
4.2.1.	<i>Valoración de la renovación del parque de contadores.</i>	66

4.2.2.	<i>Valoración de la reducción de presiones en la red.</i>	68
4.2.3.	<i>Valoración del coste de producción.</i>	71
4.3.	PROPUESTA DE MEJORA DE FUNCIONAMIENTO DEL SUBSISTEMA2	72
4.4.	ANÁLISIS GLOBAL DEL SISTEMA DE REGULACIÓN	74
5.	CONCLUSIONES Y ACCIONES FUTURAS	77
5.1.	REFERENTES A LA DESCRIPCIÓN DE LA RED	77
5.2.	REFERENTES A LOS RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN MATEMÁTICA	78
6.	BIBLIOGRAFÍA	79
ANEXO A: DATOS DEL SISTEMA		81
	TABLAS DE APORTACIONES A LA RED	81
	TABLAS DE CAUDALES FACTURADOS POR SECTORES Y CALLES	82
	TABLA DE FACTURACIÓN TRIMESTRAL DE LA DÉCADA	86

ÍNDICE FIGURAS

Figura 1.1: Localización de la isla de la Gomera.....	3
Figura 1.2: Porcentaje de uso doméstico y comercial en el año 2009.....	4
Figura 1.3: Tarifas vigentes de agua de abastecimiento. (Saneamiento no incluido)	4
Figura 2.1: Imágenes del pozo de Raspaderos y conducciones de salida.	7
Figura 2.2: Imágenes del pozo de La Alianza y conducciones de salida.	8
Figura 2.3: Imágenes del depósito de Las Cañadas de Hurona.....	9
Figura 2.4: Imágenes del depósito del Molinito.	10
Figura 2.5: Imágenes del depósito de La Hoya_1.....	11
Figura 2.6: Imágenes del depósito de La Hoya_2.....	12
Figura 2.7: Imágenes del depósito de La Gallarda.	14
Figura 2.8: Imágenes del depósito de Las Galanas.....	15
Figura 2.9: Imágenes del depósito del Langrero.	16
Figura 2.10: Vista aérea de trazados de la red.....	17
Figura 2.11: Perfil longitudinal tramo Cañadas de Hurona → La Hoya_2.....	18
Figura 2.12: Perfil longitudinal tramo Raspaderos → La Alianza → La Gallarda.....	19
Figura 2.13: Perfil longitudinal tramo La Hoya_2 → Av. José Aguiar.....	20
Figura 2.14: Perfil longitudinal tramo La Hoya_2 → El Faro.....	21
Figura 2.15: Perfil longitudinal tramo La Gallarda → Las Galanas.....	22
Figura 2.16: Perfil longitudinal tramo La Gallarda → Cámara Rotura Parador.....	23
Figura 2.17: Perfil longitudinal tramo Cámara Rotura Parador → Casco Urbano → Bco. Concepción.	24
Figura 2.18: Perfil longitudinal tramo La Hoya_1 → La Gallarda.....	25
Figura 2.19: Imagen trazados Subsistema_1.....	26

Figura 2.20: Imagen trazados Subsistema_2.....	27
Figura 2.21: Esquema del balance volumétrico de una red de abastecimiento.	32
Figura 2.22: Porcentajes asignados al total del VNR según encuesta AEAS, 2000.	34
Figura 3.1: Localización de los distintos Sectores de la red.....	42
Figura 3.2: Curvas de modulación doméstica y comercial “tipo”	44
Figura 3.3: Esquema representativo de la independencia entre el punto de descarga y el volumen almacenado en un depósito con entrada superior.	48
Figura 3.4: Esquema representativo de una curva de un solo punto.....	49
Figura 3.5: Perfil longitudinal del tramo Cañadas de Hurona – La Hoya_2.....	51
Figura 3.6: Esquema del trazado de la red en el modelo.	52
Figura 3.7: Balance de caudales del sistema en simulación de 72 horas.....	53
Figura 3.8: Evolución de caudales en bombas del sistema en simulación de 72 horas.	54
Figura 3.9: Evolución de la demanda en nudos del sistema en simulación de 72 horas.....	54
Figura 3.10: Evolución de presiones en nudos del sistema en simulación de 72 horas.....	55
Figura 3.11: Evolución de niveles en los depósitos de cabecera del sistema en simulación de 72 horas.	55
Figura 3.12: Evolución de niveles en los depósitos secundarios del sistema en simulación de 72 horas.	56
Figura 3.13: Gráfico de presiones en la red en régimen permanente indicando sectores.....	56
Figura 3.14: Simulación dinámica de una semana depósitos de cabecera.	61
Figura 3.15: Simulación dinámica de una semana depósitos secundarios.....	62
Figura 3.16: Tiempo de vaciado de los depósitos de cabecera.....	62
Figura 3.17: Tiempo de vaciado de los depósitos que abastecen a barrios.	63
Figura 4.1: Niveles en depósitos de cabecera, tras regular presiones y cambiar la estrategia de regulación.	70

Figura 4.2: Niveles en depósitos secundarios, tras regular presiones y cambiar estrategia de regulación.	70
Figura 4.3: Niveles en depósitos Subsistema2. Funcionamiento tras regular entrada en depósito Hoya2.	72
Figura 4.4: Gráfico de presiones tras regular entrada en depósito Hoya2.	73
Figura 4.5: Niveles en depósitos Subsistema2. Funcionamiento regulando presiones en la red y entrada en depósito Hoya2.	73
Figura 4.6: Balance de caudales en la situación propuesta. Simulación de 144 horas.	74

ÍNDICE TABLAS

Tabla 2.1: Características depósito Cañada de Hurona.	9
Tabla 2.2: Características depósito del Molinito.	10
Tabla 2.3: Características depósito La Hoya_1.	11
Tabla 2.4: Características depósito La Hoya_2.	12
Tabla 2.5: Características depósito La Gallarda.	13
Tabla 2.6: Características depósito Las Galanas.	14
Tabla 2.7: Características depósito El Langrero.	15
Tabla 2.8: Tabla resumen de los depósitos.	16
Tabla 2.9: Datos perfil longitudinal tramo Cañadas de Hurona → La Hoya_2.	18
Tabla 2.10: Datos perfil longitudinal tramo Raspaderos → La Alianza → La Gallarda.	19
Tabla 2.11: Datos perfil longitudinal tramo La Hoya_2 → Av. José Aguiar.	20
Tabla 2.12: Datos perfil longitudinal tramo La Hoya_2 → El Faro.	21
Tabla 2.13: Datos perfil longitudinal tramo La Gallarda → Las Galanas.	22
Tabla 2.14: Datos perfil longitudinal tramo La Gallarda → Cámara Rotura Parador.	23
Tabla 2.15: Datos perfil longitudinal tramo Cámara Rotura Parador → Casco Urbano → Bco. Concepción.	24
Tabla 2.16: Datos perfil longitudinal tramo La Hoya_1 → La Gallarda.	25
Tabla 3.1: Caudal medio diario facturado, nº de calles, abonados y población en cada nudo de consumo por sectores.	42
Tabla 3.2: Caudal medio diario inyectado por Sectores.	44
Tabla 3.3: Reparto entre caudal inyectado, doméstico y comercial en el Sector_2.	45
Tabla 3.4: Caudal horario inyectado en cada sector.	45
Tabla 3.5: Reparto de VNR y cálculo del coeficiente emisor.	46

Tabla 3.6: Superficie de los depósitos y equivalencia en diámetros.....	48
Tabla 3.7: Resultados de la simulación en régimen permanente, $F_d=1$	57
Tabla 3.8: Resultados de la simulación en régimen permanente, $F_{punta}=2.6$	58
Tabla 3.9: Resultados de la simulación en régimen permanente, $F_{valle}=0.2$	59
Tabla 3.10: Comparativa de presiones para los distintos escenarios propuestos.	60
Tabla 3.11: Estimación del coste energético de la red según funcionamiento actual.	64
Tabla 4.1: Pérdidas generadas por el subcontaje del parque de contadores.....	67
Tabla 4.2: Demandas en los nudos de consumo en la situación actual y aplicando reducción de presiones.	69
Tabla 4.3: Consumo energético con regulación de las presiones.	71
Tabla 4.4: Análisis del coste de producción.	71

1. INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

A comienzos de la década de los noventa, la situación del agua en la isla de La Gomera era especialmente dramática. Las capitales municipales, generalmente localizadas en zonas costeras, comenzaban a demandar mayores caudales de agua para abastecimiento, debido a la recuperación demográfica experimentada tras la profunda crisis económica de los años 60, que provocó la emigración de prácticamente la mitad de la población isleña.

Este aumento de la demanda, unido a un empobrecimiento paulatino de la calidad de las aguas, debido a la ubicación de los pozos en las proximidades de la desembocadura de los barrancos, provocó un peligroso avance continuo de la cuña salina. Este hecho hizo cambiar a nivel insular la estrategia de explotar en demasía esos pozos costeros, buscando el recurso a través de sondeos profundos en la zona de medianías y desechando la opción de instalar desaladoras de agua de mar por su elevado coste de producción y mantenimiento.

En esa misma década, comenzó a redactarse el Plan Hidrológico Insular (PHI) de la Gomera que entró en vigor en Mayo 2003 y cuyo objetivo puede sintetizarse en: *"el aprovechamiento sostenible de sus recursos hídricos"*, es decir, un aprovechamiento que asegure la conservación de los recursos para que esté garantizada permanentemente su disponibilidad futura.

Este PHI aún vigente, en referencia a la infraestructura insular de abastecimiento, indica que las redes de distribución en la isla, se caracterizan por un relieve extraordinariamente accidentado, hecho que unido a una población muy dispersa, motivan unas estructuras de abastecimiento complejas y muy numerosas en instalaciones.

Además, la utilización de una gran variedad de materiales y dificultades en el acceso a los trazados por donde discurren las tuberías, provoca un esfuerzo especial de conservación que no es fácil de organizar ni mantener.

En consecuencia el estado de las redes de distribución presenta serias deficiencias, entre ellas:

Riesgo permanente de roturas, que provocarían cortes de suministro al tratarse principalmente de redes ramificadas.

Elevadas pérdidas, que se traducen en una bajísima eficiencia de la gestión hídrica en la isla de La Gomera.

Previamente a la aprobación del PHI, concretamente en el año 2001, el Consejo Insular de Aguas de La Gomera encarga a la empresa Canaragua S.A. la elaboración de un informe denominado, *Consultoría y Asistencia para la Realización de Auditoria de Sistemas Públicos de Abastecimiento de Agua Potable en la Isla de la Gomera*, en el que se describe de forma muy general el estado de los abastecimientos de la isla, reflejando serias deficiencias en la gestión y distribución del agua de abastecimiento.

Uno de los datos más preocupantes que refleja el estudio realizado en el 2001 es el bajísimo rendimiento en las redes de distribución, en especial en el municipio de San Sebastián de La Gomera, donde el rendimiento de la red se estimaba en un 40%, el menor de toda la isla.

Por ello, y con el fin de analizar el estado actual de la red, este trabajo se centra en la elaboración de un estudio preliminar sobre la red principal de abastecimiento de la capital del municipio de San Sebastián de La Gomera.

1.2. MARCO DE ESTUDIO

La isla de La Gomera es la segunda más pequeña en superficie del archipiélago Canario con 370 Km² y forma de macizo redondo con su pico más alto en el centro, desde el que se excavan en el terreno profundos barrancos radiales que moldean una orografía muy abrupta.

Se encuentra situada al oeste de la isla de Tenerife, al sureste de la isla de La Palma y al noreste de la isla del Hierro.

La isla se divide en seis municipios, San Sebastián de La Gomera, donde se encuentra localizada la capital de la isla, Hermigua, Agulo, Vallehermoso, Valle Gran Rey y Alajeró

El Término Municipal de San Sebastián de la Gomera, limita al norte con el municipio de Hermigua y al suroeste con el de Alajeró, encontrándose dos núcleos urbanos diferenciados; San Sebastián, principal núcleo urbano, capital de la isla y por otra parte La Laguna de Santiago y Tecina. La separación geográfica entre ambos núcleos de aproximadamente unos 10 kilómetros, pero la dificultad orográfica, al tener que atravesar abruptos barrancos, hace que tanto los puntos de suministro como las redes de distribución sean completamente independientes, permitiendo este hecho, la realización de este estudio preliminar centrado en la red de abastecimiento de la capital del municipio, San Sebastián.

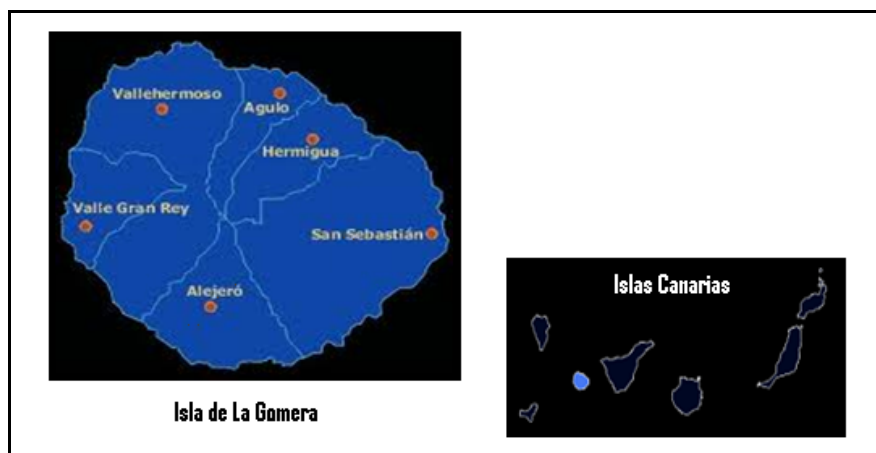


Figura 1.1: Localización de la isla de la Gomera.

El modelo de gestión de la red de abastecimiento corre a cargo de la propia entidad local, gestionándose directamente por el Ayuntamiento.

El Instituto Nacional de Estadística (INE) en el año 2009 indica que la población del municipio de San Sebastián de la Gomera era de 8965 habitantes, y en ese mismo año el número de abonados según datos municipales corresponde a un total de 4916 abonados.

La población del municipio ha seguido una evolución constante de crecimiento en la última década, pasando de tener 7001 habitantes en el año 2000, a tener una población de 8965 habitantes en el año 2009.

Actualizando estos valores al año 2010 según datos municipales. En la actualidad la red de abastecimiento de San Sebastián, abastece a 8511 habitantes, contabilizando 4139 abonados, una vez descontados los habitantes y abonados del núcleo urbano de La Laguna de Santiago (Tecina).

Los volúmenes totales facturados a lo largo de la última década han aumentado, pasando de 453544 m³ facturados en el año 2000 a los 521602 m³ facturados en 2009, aunque este aumento del 13% del consumo facturado, no se corresponde con el 23% de incremento poblacional que ha sufrido el municipio en la misma década.

En la facturación por parte del consistorio municipal se distingue entre 2 tipos de usos, doméstico y comercial, para el año 2009 el consumo total facturado es de 521602 m³, de los cuales, 420414 m³ pertenecen a consumo doméstico y 101188 m³ a consumo comercial.

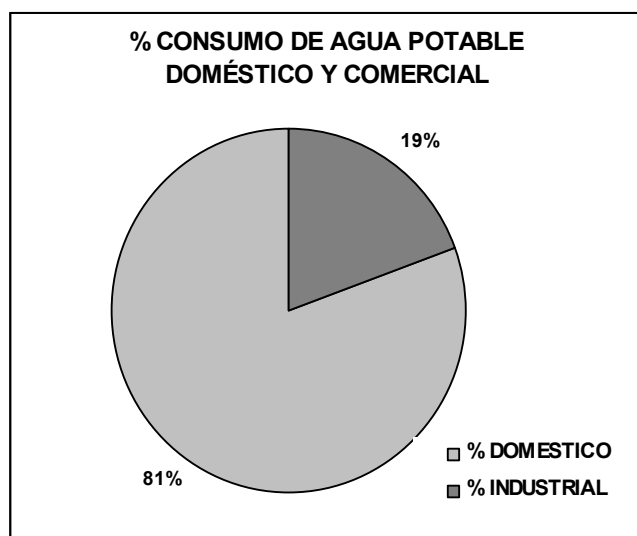


Figura 1.2: Porcentaje de uso doméstico y comercial en el año 2009.

La tarificación del agua de abastecimiento se realiza por bloques, facturándose como cuota de suministro el primero de los bloques completo, tanto en el caso de uso doméstico siendo de 15 m³ (10.70 €), como comercial 30 m³ (25.60 €), tarificando en caso de superar ese primer bloque los volúmenes restantes según las tarifas indicadas en cada uno de los bloques que se muestran en la *Figura 1.3*, en estas tarifas no se incluye el saneamiento, que se tarifica por separado.

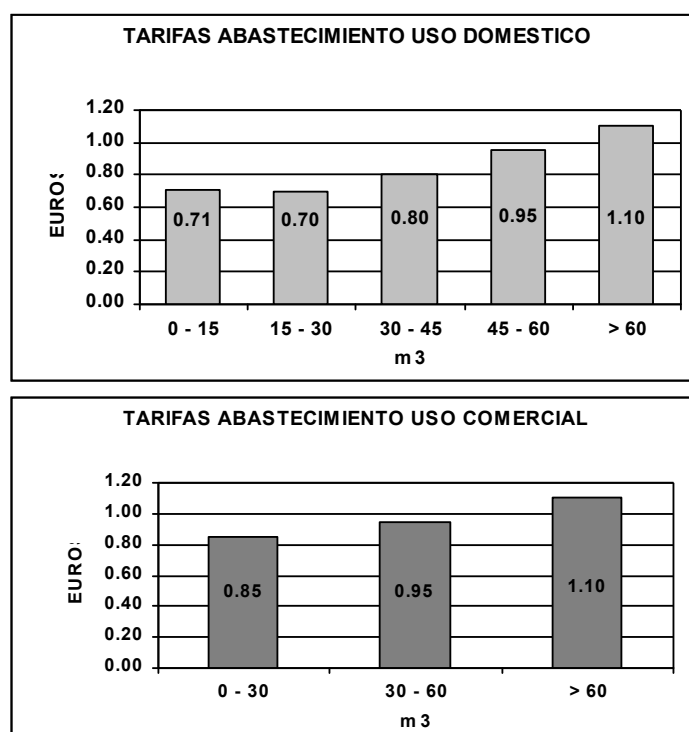


Figura 1.3: Tarifas vigentes de agua de abastecimiento. (Saneamiento no incluido)

1.3. OBJETIVOS DEL TRABAJO FIN DE MÁSTER

El objetivo general del presente trabajo es la realización de un estudio actualizado, sobre el estado y funcionamiento de la red principal de abastecimiento del municipio de San Sebastián de La Gomera.

Con tal fin, se consideran los siguientes objetivos específicos:

1. - Realizar una descripción general del estado actual de la red de abastecimiento en la localidad de San Sebastián de la Gomera.

Indicando, aportaciones a la red, depósitos, trazados y conducciones generales que la componen, así como el balance volumétrico global y la operación actual del sistema.

2. - Elaborar un modelo de simulación matemática, que represente el estado actual de funcionamiento de la red.

Utilizando los resultados obtenidos en la simulación matemática de distintos escenarios, para proponer posibles soluciones de mejora, tanto de gestión como de regulación, que permitan mejorar el funcionamiento general del sistema.

2. DESCRIPCIÓN Y FUNCIONAMIENTO ACTUAL DE LA RED

2.1. PROCEDENCIA DE LAS APORTACIONES A LA RED

El origen del agua destinada al abastecimiento en el municipio de San Sebastián de la Gomera es en su totalidad subterráneo. Procede de distintos sondeos y pozos localizados en tres zonas productoras, la zona de Enchereda, el pozo de Raspaderos y el pozo de la Alianza.

2.1.1. Sondeos de Enchereda

Las inyecciones de caudal a la red por parte de estos sondeos es de 313 m³/día el sondeo de Enchereda_II, 663 m³/día el sondeo de Los Campos y 45 m³/día el sondeo de Ventana del Diablo, lo que suma una media de 1020 m³ al día según datos facilitados por el propio Consejo Insular de Aguas.

2.1.2. Pozo Raspaderos

Pozo propiedad municipal, perforado en el terreno a cota 171 metros y con 100 metros de profundidad. Cuenta con una bomba sumergida de 75 CV de potencia que aporta un caudal de 25 l/s a 100 metros de altura. Respecto a su conservación, se observa en la tubería de impulsión una rotura y parte del caudal que impulsa vuelve a caer al pozo. Su funcionamiento diario es de aproximadamente 14 horas desde las 06:00 hasta las 20:00 horas. Se dispone de contador a la salida de pozo para conocer los volúmenes inyectados.



Figura 2.1: Imágenes del pozo de Raspaderos y conducciones de salida.

2.1.3. Pozo de La Alianza

Instalación de titularidad municipal. Perforada en el terreno a cota 33 metros y con una profundidad de aproximadamente 40 metros. Cuenta con dos bombas sumergidas cada una de 100 CV de potencia y un caudal de 20 l/s a una altura de 160 metros. Una de las bombas funciona en continuo las 24 horas, la segunda funciona 12 horas diarias desde las 20:00 hasta las 08:00. Los volúmenes inyectados se controlan mediante contador a la salida del pozo.

Existe además en este mismo pozo, un equipo más con una potencia de 250 CV capaz de aportar 40 l/s a 250 metros de altura, que lleva unos 10 años instalado y nunca ha sido puesto en servicio desconociéndose los motivos.



Figura 2.2: Imágenes del pozo de La Alianza y conducciones de salida.

2.2. DEPÓSITOS: CARACTERÍSTICAS Y ESTADO DE CONSERVACIÓN

La red de distribución dispone de un total de 7 depósitos con capacidad para almacenar 11950 m³, a continuación se realizará una descripción con las características y estado de conservación de cada uno, aunque cabe destacar que se controlan los volúmenes entrantes pero no los salientes en ninguno de los depósitos salvo el depósito de Las Cañadas de Hurona.

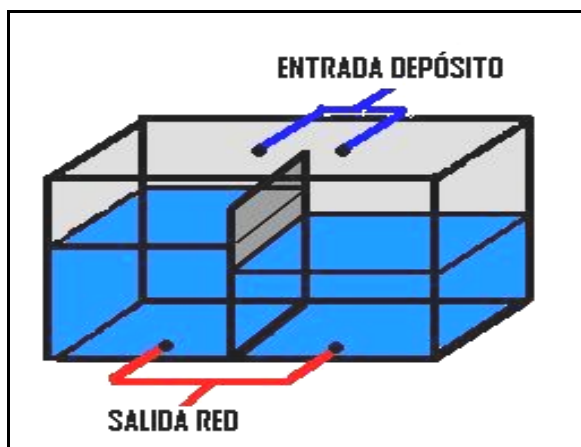
2.2.1. Depósito de Las Cañadas De Hurona:

Construido en hormigón armado y planta rectangular semienterrada, a cota 315 metros. Proporciona una capacidad de almacenaje de 2000 m³, divididos en dos vasos independientes. La entrada se produce por la parte superior, en tubería de acero galvanizado de 6", que llena cada uno de los vasos y salida inferior para cada uno de ellos, uniéndose en una única tubería igual en material y diámetro a la de entrada.

Dispone de un contador para controlar los volúmenes suministrados hacia los depósitos del Molinito y la Hoya_2.

No dispone de elementos de regulación a la entrada y salida, disponiendo únicamente de válvulas de seccionamiento en tuberías de entrada y salida para cada uno de los vasos.

Tabla 2.1: Características depósito Cañada de Hurona.



DEPÓSITO CAÑADA HURONA	
VOLUMEN	2000 m ³
COTA SOLERA	315 metros
DIMENSIONES	RECTANGULAR (34 x 15 x 4) metros
Nº VASOS	2
ENTRADA	SUPERIOR INDEPENDIENTE A CADA VASO SIN REGULACIÓN
DESDE	SONDEOS CONSEJO INSULAR
SALIDA	INFERIOR INDEPENDIENTE A CADA VASO SIN REGULACIÓN
HACIA	DEPÓSITOS MOLINITO Y HOYA_2
DESAGÜE DE FONDO	SI DISPONE
CLORACIÓN	NO DISPONE
CONSERVACIÓN	BUENA EN GENERAL

Su estado de conservación es bastante bueno, siendo junto con el depósito de La Hoya_2 los de más reciente construcción, el perímetro del depósito está protegido, para evitar la entrada de personal no autorizada en las instalaciones.



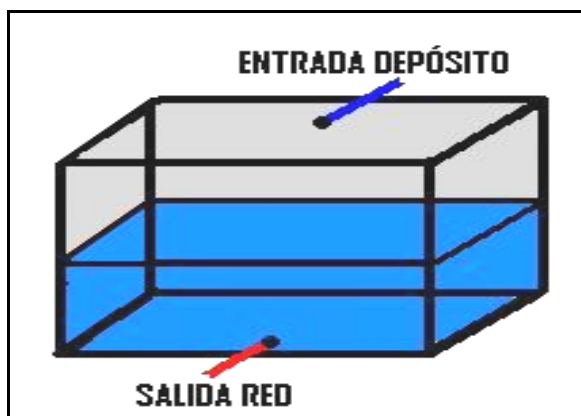
Figura 2.3: Imágenes del depósito de Las Cañadas de Hurona.

2.2.2. Depósito Del Molinito

Depósito de una capacidad aproximada de 200 m³, fabricado en hormigón armado con planta rectangular en un único vaso a cota 155 metros. Recibe las aportaciones mediante derivación desde la conducción proveniente del depósito de Las Cañadas de Hurona, la entrada se realiza en tubería de acero galvanizado de 3" por la parte superior y se encuentra regulada manualmente mediante una válvula de compuerta de 2". No dispone de control de nivel o boya por lo que en caso de llenarse, se desbordaría por los rebosaderos que hacen la función de rejillas de ventilación.

La salida se produce desde la toma de fondo en tubería de acero galvanizado de 2" para abastecer al Barrio del Molinito.

Tabla 2.2: Características depósito del Molinito.



DEPÓSITO DEL MOLINITO	
VOLUMEN	200 m ³
COTA SOLERA	155 metros
DIMENSIONES	RECTANGULAR (12 x 6 x 3) metros
Nº VASOS	1
ENTRADA	SUPERIOR CON REGULACIÓN VÁLVULA DE COMPUERTA
DESDE	DEPÓSITO CAÑADAS DE HURONA
SALIDA	INFERIOR SIN REGULACIÓN.
HACIA	BARRIO DEL MOLINITO
DESAGÜE DE FONDO	SI DISPONE
CLORACIÓN	CLORADOR AUTOMÁTICO CON PLACA SOLAR
CONSERVACIÓN	BUENA REHABILITADO

Su estado de conservación es bueno debido a que recientemente se ha acondicionado tanto su parte interior como exterior, protegiendo su perímetro mediante vallado. Dispone también de clorador automático alimentado por placas solares con baterías.



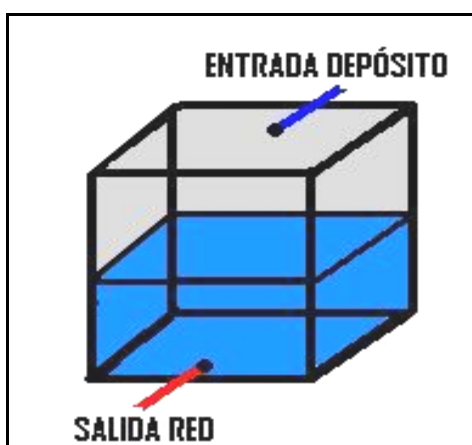
Figura 2.4: Imágenes del depósito del Molinito.

2.2.3. Depósito La Hoya_1

Este depósito posee capacidad para almacenar aproximadamente unos 250 m³. Construido con planta cuadrada de sólo un vaso y estructura de hormigón armado, se encuentra situado a cota 218 metros en la zona denominada de La Hoya.

Se alimenta a través de una impulsión desde el depósito situado en el barrio de La Gallarda. La entrada se produce por la parte superior en tubería de acero galvanizado de 2" de diámetro, con regulación mediante válvula de boya. Desde él se abastece al barrio de La Gallarda mediante conducción del mismo material y diámetro.

Tabla 2.3: Características depósito La Hoya_1.



DEPÓSITO LA HOYA_1	
VOLUMEN	250 m3
COTA SOLERA	218 metros
DIMENSIONES	CUADRADO (10 x 9 x 3) metros
Nº VASOS	1
ENTRADA	SUPERIOR CON REGULACIÓN VÁLVULA DE BOYA
DESDE	IMPULSIÓN DEPÓSITO LA GALLARDA
SALIDA	INFERIOR SIN REGULACIÓN.
HACIA	BARRIO LA GALLARDA
DESAGÜE DE FONDO	SI DISPONE
CLORACIÓN	CLORADOR AUTOMÁTICO CON RED ELÉCTRICA
CONSERVACIÓN	BUENA REHABILITADO

Su estado de conservación es bastante bueno, no presenta fugas y se han realizado recientemente obras de vallado y rehabilitación, tanto en los exteriores como en el interior y cámara de llaves, dispone de conexión a la red eléctrica y clorador automático.

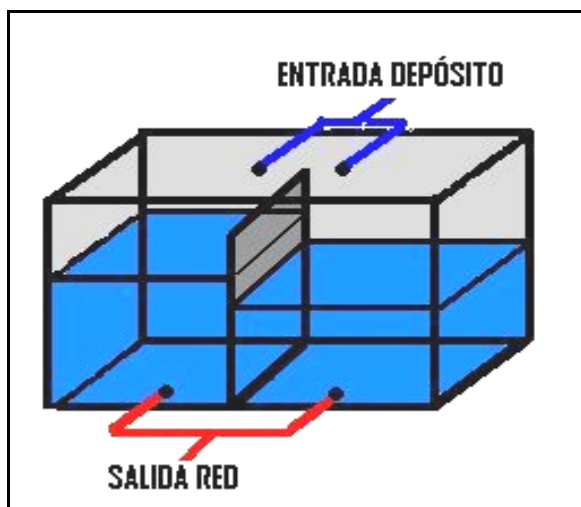


Figura 2.5: Imágenes del depósito de La Hoya_1.

2.2.4. Depósito La Hoya_2

Construido en hormigón armado con planta rectangular semienterrada a cota 201 metros. Tiene una capacidad de aproximadamente 7000 m³, divididos en dos vasos independientes y se abastece desde el depósito de cañadas de Hurona. La entrada se produce por la parte superior en tubería de hierro dulce de 10", que se bifurca en dos para cada uno de los vasos. La salida, se produce desde el fondo de cada uno de los vasos, uniéndose en una única tubería de acero galvanizado de 6", que abastece a las zonas de camino de Puntallana, camino de San Cristóbal, El Faro y avenida José Aguiar.

Tabla 2.4: Características depósito La Hoya_2.



DEPÓSITO LA HOYA_2	
VOLUMEN	7000 m ³
COTA SOLERA	205 metros
DIMENSIONES	RECTANGULAR (65 x 28 x 4) metros
Nº VASOS	2
ENTRADA	SUPERIOR INDEPENDIENTE A CADA VASO SIN REGULACIÓN.
DESDE	DEPÓSITO CAÑADAS DE HURONA
SALIDA	INFERIOR INDEPENDIENTE A CADA VASO SIN REGULACIÓN.
HACIA	CMNO. PUNTALLANA, CMNO. SAN CRISTÓBAL, EL FARO Y AV. JOSÉ AGUAR
DESAGÜE DE FONDO	SI DISPONE
CLORACIÓN	CLORADOR AUTOMÁTICO CON RED ELÉCTRICA
CONSERVACIÓN	BUENA, CORROSIÓN SIN FUGA EN TUBERÍA DE ENTRADA

Su perímetro se encuentra protegido mediante vallado. El estado de conservación es bueno en general, sólo se observan desperfectos por corrosión en la tubería de entrada al depósito, sin llegar a producirse fuga. Esta conducción de hierro dulce de 10" de diámetro, fue utilizada para aprovechar los últimos 1000 metros de conducción de una antigua impulsión desde el pozo de La Alianza que nunca llegó a entrar en servicio y que pretendía mediante un bombeo conectar dicho pozo con este depósito.

En este depósito se realiza la cloración del agua mediante clorador automático conectado a la red eléctrica.



Figura 2.6: Imágenes del depósito de La Hoya_2.

2.2.5. Depósito La Gallarda

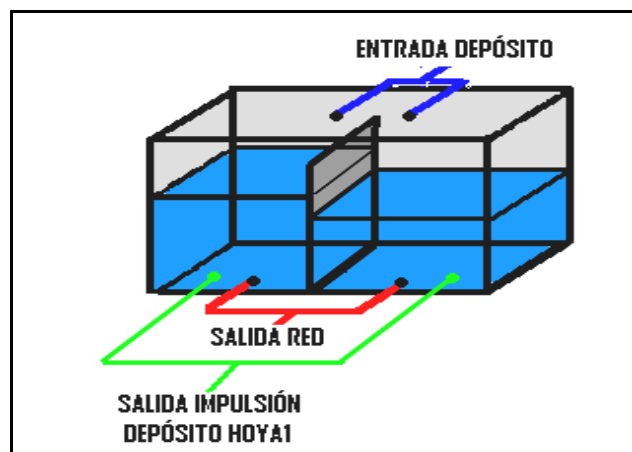
También fabricado en hormigón armado de planta rectangular y capacidad de 2000 m³ en dos vasos independientes, se encuentra situado en el barrio de La Gallarda a una cota

de 150 metros. Las entradas provienen desde el pozo de la alianza donde se eleva tanto el caudal extraído de ese pozo, como el extraído y no consumido del pozo de Raspaderos situado en el Barranco de La Villa. La entrada se produce en tubería de fundición de 200 mm, que se bifurca en dos para llenar por la parte superior a cada uno de los vasos. La salida se sitúa al fondo de cada vaso, uniéndose en una única tubería del mismo material y diámetro que la entrada, para abastecer la zona de La Ladera, el depósito de Las Galanas, La Orilla del Llano, y tras romper carga la conducción en una cámara situada en las proximidades del Parador de Turismo, abastecer al Puerto, Casco Urbano, Barrio del Calvario y Barranco de la Concepción.

No dispone de elementos de regulación a la entrada ni a la salida, únicamente válvulas de seccionamiento a la salida de ambos vasos.

A este mismo depósito hay conectada una bomba de 15 CV de potencia que extrae 5 l/s a 100 metros de altura hasta el depósito de La Hoya_1, funcionando 16 horas diarias.

Tabla 2.5: Características depósito La Gallarda.



DEPÓSITO LA GALLARDA	
VOLUMEN	2000 m ³
COTA SOLERA	150 metros
DIMENSIONES	RECTANGULAR (30 x 18 x 4) metros
Nº VASOS	2
ENTRADA	SUPERIOR INDEPENDIENTE A CADA VASO SIN REGULACIÓN.
DESDE	POZOS RASPADEROS Y LA ALIANZA
SALIDA	INFERIOR SIN REGULACIÓN.
HACIA	DEPÓSITO HOYA _1, LA LADERA, ORILLA DEL LLANO, DEPÓSITO DE LAS GALANAS, CASCO URBANO Y EL CALVARIO
DESAGÜE DE FONDO	SI DISPONE
CLORACIÓN	CLORADOR AUTOMÁTICO CON RED ELÉCTRICA
CONSERVACIÓN	BUENA, MEJORAR CÁMARA DE LLAVES

Su estado de conservación es bueno, no presenta fugas ni defectos de estructura, encontrándose su perímetro murado para evitar el acceso al recinto, dentro del cual, se dispone de una caseta de cloración anexa, con cloradores automáticos conectados a la red eléctrica.



Figura 2.7: Imágenes del depósito de La Gallarda.

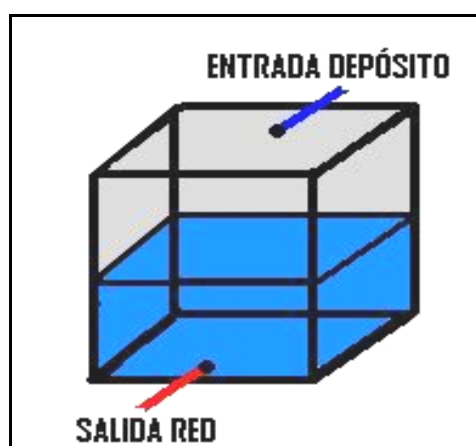
2.2.6. Depósito Las Galanas

Se trata de un depósito de 250 m³ de volumen en un único vaso, fabricado en hormigón armado con planta cuadrada, a cota 111 metros. Situado en la parte alta del barrio de Las Galanas, actualmente está finalizando su rehabilitación ya que presentaba filtraciones y faltaba proteger la instalación mediante vallado del perímetro.

Para la entrada se utiliza tubería de acero galvanizado de 2", regulando mediante válvula de boya, por la parte superior, las aportaciones provenientes del depósito de La Gallarda del que se alimenta. La salida, se produce por la parte inferior en el mismo material y diámetro que la entrada, para abastecer al barrio de Las Galanas y la zona superior del barrio del Calvario.

Dispone de clorador automático alimentado mediante placa solar y baterías.

Tabla 2.6: Características depósito Las Galanas.



DEPÓSITO LAS GALANAS	
VOLUMEN	250 m ³
COTA SOLERA	111 metros
DIMENSIONES	CUADRADO (10 x 9 x 3) metros
Nº VASOS	1
ENTRADA	SUPERIOR CON REGULACIÓN VÁLVULA DE BOYA
DESDE	DEPÓSITO LA GALLARDA
SALIDA	INFERIOR SIN REGULACIÓN.
HACIA	BARRIO LAS GALANAS Y PARTE ALTA DEL CALVARIO
DESAGÜE DE FONDO	SI DISPONE
CLORACIÓN	CLORADOR AUTOMÁTICO CON PLACA SOLAR
CONSERVACIÓN	FINALIZANDO SU REHABILITACIÓN

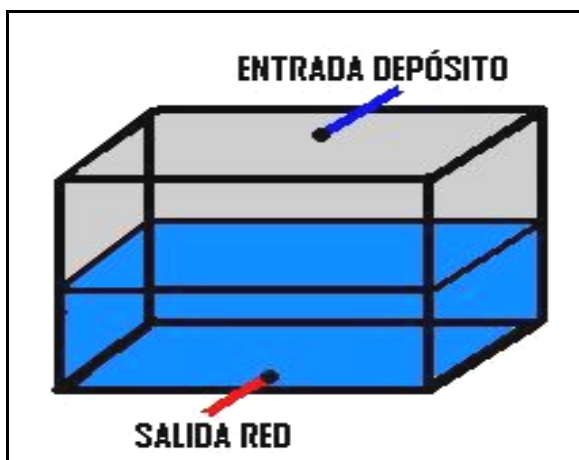


Figura 2.8: Imágenes del depósito de Las Galanas.

2.2.7. Depósito El Langrero

Construido en hormigón armado de planta cuadrada y un único vaso a cota 90 metros, tiene una capacidad de almacenamiento de 250 m³. El estado del depósito es bueno, no presenta fugas, aunque su perímetro no se encuentra protegido. Su llenado se produce por la parte superior, mediante tubería de acero galvanizado 2" de diámetro. Dispone de regulación de entrada mediante válvula de compuerta manual y válvula de boya. Su salida inferior, abastece al barrio del mismo nombre mediante tubería de acero galvanizado de 2". Posee clorador automático conectado a la red eléctrica.

Tabla 2.7: Características depósito El Langrero.



DEPÓSITO EL LANGRERO	
VOLUMEN	250 m ³
COTA SOLERA	90 metros
DIMENSIONES	RECTANGULAR (12 x 8 x 3) metros
Nº VASOS	1
ENTRADA	SUPERIOR CON REGULACIÓN VÁLVULA DE COMPUERTA Y VÁLVULA DE BOYA
DESDE	POZO RASPADEROS
SALIDA	INFERIOR SIN REGULACIÓN.
HACIA	BARRIO DEL MOLINITO
DESAGÜE DE FONDO	SI DISPONE
CLORACIÓN	CLORADOR AUTOMÁTICO CON RED ELÉCTRICA
CONSERVACIÓN	BUENO REHABILITADO



Figura 2.9: Imágenes del depósito del Langrero.

2.2.8. Resumen de los Depósitos

Tabla 2.8: Tabla resumen de los depósitos.

DEPÓSITO	VOLÚMEN (m³)	COTA (m)	DIMENSIONES (m)	Nº VASOS	ENTRADA	DESDE	SALIDAS	HACIA
CAÑADAS DE HURONA	2000	315	(34 x 15 x 4)	2	SUPERIOR SIN REGULACIÓN	SONDEOS CONSEJO INSULAR	INFERIOR SIN REGULACIÓN	DEPÓSITOS MOLINITO Y HOYA_2
EL MOLINITO	200	155	(12 x 6 x 3)	1	SUPERIOR REGULACIÓN COMPUERTA	DEPÓSITO CAÑADA HURONA	INFERIOR SIN REGULACIÓN	BARRIO EL MOLINITO
LA HOYA_1	250	218	(10 x 9 x 3)	1	SUPERIOR REGULACIÓN BOYA	IMPULSIÓN DEPÓSITO LA GALLARDA	INFERIOR SIN REGULACIÓN	BARRIO LA GALLARDA
LA HOYA_2	7000	205	(65 x 28 x 4)	2	SUPERIOR SIN REGULACIÓN	DEPÓSITO CAÑADA HURONA	INFERIOR SIN REGULACIÓN	CMNO. PUNTALLANA CMNO. SAN CRISTÓBAL, EL FARO Y JOSÉ AGUAR
LA GALLARDA	2000	150	(30 x 18 x 4)	2	SUPERIOR SIN REGULACIÓN	POZOS RASPADERO Y LA ALIANZA	INFERIOR SIN REGULACIÓN	DEPÓSITO HOYA_1, LA LADERA, ORILLA DEL LLANO, DEPÓSITO DE LAS GALANAS, CASCO URBANO Y EL CALVARIO
LAS GALANAS	250	111	(10 x 9 x 3)	1	SUPERIOR REGULACIÓN BOYA	DEPÓSITO LA GALLARDA	INFERIOR SIN REGULACIÓN	BARRIO LAS GALANAS
EL LANGRERO	250	90	(12 x 8 x 3)	1	SUPERIOR REGULACIÓN COMPUERTA Y BOYA	POZO RASPADERO	INFERIOR SIN REGULACIÓN	BARRIO DEL LANGRERO

2.3. TRAZADOS Y PERFILES LONGITUDINALES DE LA RED

Con el fin de poder analizar con más detalle los trazados principales, se ha dividido la red en ocho tramos.

Al no disponer el consistorio municipal, de cartografía actualizada de la red de abastecimiento de la localidad:

Se han recorrido tramo a tramo los diferentes trazados, acompañado de operarios municipales, con la intención de analizarlos y posteriormente, obtener sus perfiles longitudinales.

Para la obtención de las cotas del terreno, se ha utilizado el sistema de información territorial del Gobierno de Canarias (Grafcan), obteniendo los perfiles longitudinales mediante interpolación de éstas.



Figura 2.10: Vista aérea de trazados de la red

A continuación se detallan los perfiles longitudinales de cada tramo de la red.

2.3.1. Tramo Cañadas de Hurona → La Hoya_2.

Tabla 2.9: Datos perfil longitudinal tramo Cañadas de Hurona → La Hoya_2.

TRAMO CAÑADAS DE HURONA - LA HOYA_2			
pk	TRAZADO (m)	COTA (m)	OBSERVACIONES
0+000	0	315	DEPÓSITO CAÑADAS HURONA
0+500	500	272	
1+000	1000	232	
1+500	1500	194	
2+000	2000	163	
2+300	2300	146	ROTONDA TF-711 (REGULACIÓN)
2+600	2600	153	DEPÓSITO MOLINITO
3+000	3000	153	CANAL
3+600	3600	153	CONEX. REPETIDOR
3+780	3780	264	REPETIDOR (VENTOSA)
4+000	4000	241	
4+500	4500	205	DEPÓSITO LA HOYA_2

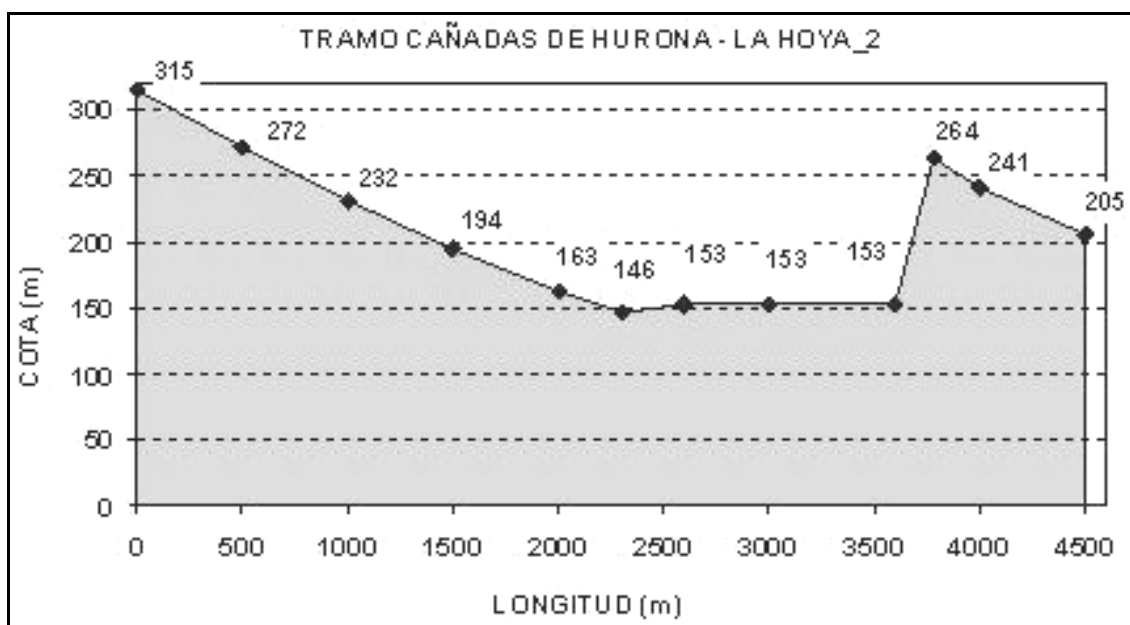


Figura 2.11: Perfil longitudinal tramo Cañadas de Hurona → La Hoya_2.

2.3.2. Tramo Raspaderos → La Alianza → La Gallarda.

Tabla 2.10: Datos perfil longitudinal tramo Raspaderos → La Alianza → La Gallarda.

TRAMO RASPADEROS - LA ALIANZA - LA GALLARDA			
pk	TRAZADO (m)	COTA (m)	OBSERVACIONES
0+000	0	171	POZO RASPADEROS
0+500	500	157	EL ATAJO
1+000	1000	138	
1+500	1500	127	EL JORADO
2+000	2000	115	SAN BARTOLO
2+500	2500	106	
3+000	3000	87	SAN ANTONIO
3+500	3700	73	EL LANGRERO
4+000	4000	57	
4+500	4500	42	
5+000	5000	33	POZO LA ALIANZA
5+500	5500	23	ESCUELA DE IDIOMAS
6+000	6000	15	AV. JOSÉ AGUIAR
6+030	6030	24	CRUCE TF-711
6+100	6100	58	
6+200	6200	118	
6+250	6250	151	CANAL
6+700	6700	150	DEP_GALLADA

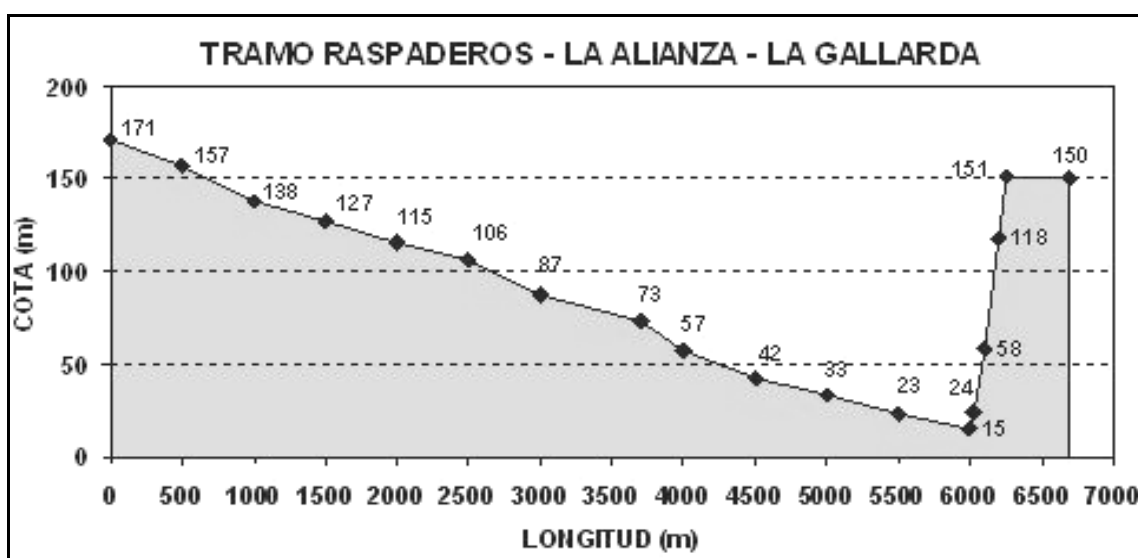


Figura 2.12: Perfil longitudinal tramo Raspaderos → La Alianza → La Gallarda.

2.3.3. Tramo Hoya_2 → Avenida José Aguiar.

Tabla 2.11: Datos perfil longitudinal tramo La Hoya_2 → Av. José Aguiar.

TRAMO HOYA_2 - AV. JOSÉ AGUIAR			
pk	TRAZADO (m)	COTA (m)	OBSERVACIONES
0+000	0	201	DEPÓSITO LA HOYA_2
0+200	200	150	CANAL
0+850	850	150	RANCHO HURONA
1+150	1150	150	DEPÓSITO LA GALLARDA
1+650	1650	151	
1+750	1750	86	
1+850	1850	25	CRUCE TF-711 (VRP)
1+900	1900	15	AV. JOSÉ AGUIAR
2+150	2150	18	RUIZ DE PADRÓN
2+350	2350	22	ESCUELA DE IDIOMAS
2+700	2700	28	CENTRO SALUD

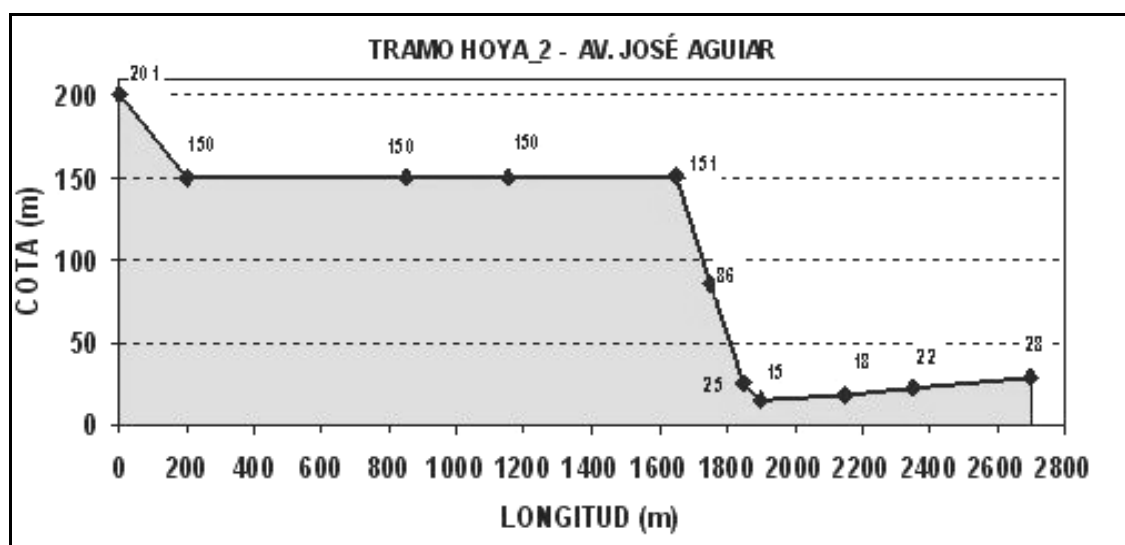


Figura 2.13: Perfil longitudinal tramo La Hoya_2 → Av. José Aguiar.

2.3.4. Tramo Hoya_2 → El Faro.

Tabla 2.12: Datos perfil longitudinal tramo La Hoya_2 → El Faro.

TRAMO HOYA_2 - EL FARO			
pk	TRAZADO (m)	COTA (m)	OBSERVACIONES
0+000	0	201	DEPÓSITO LA HOYA_2
0+200	200	150	CANAL
0+850	850	150	RANCHO HURONA
0+780	980	130	
1+300	1300	123	CMNO. PUNTALLANA COLEGIO (VRP)
1+700	1700	105	CANCHA LA LOMADA
1+800	1800	93	BARRIADA SAN CRISTOBAL
1+900	1900	97	CMNO. DE SAN CRISTOBAL
2+200	2200	85	CEMENTERIO
2+800	2800	63	EL FARO

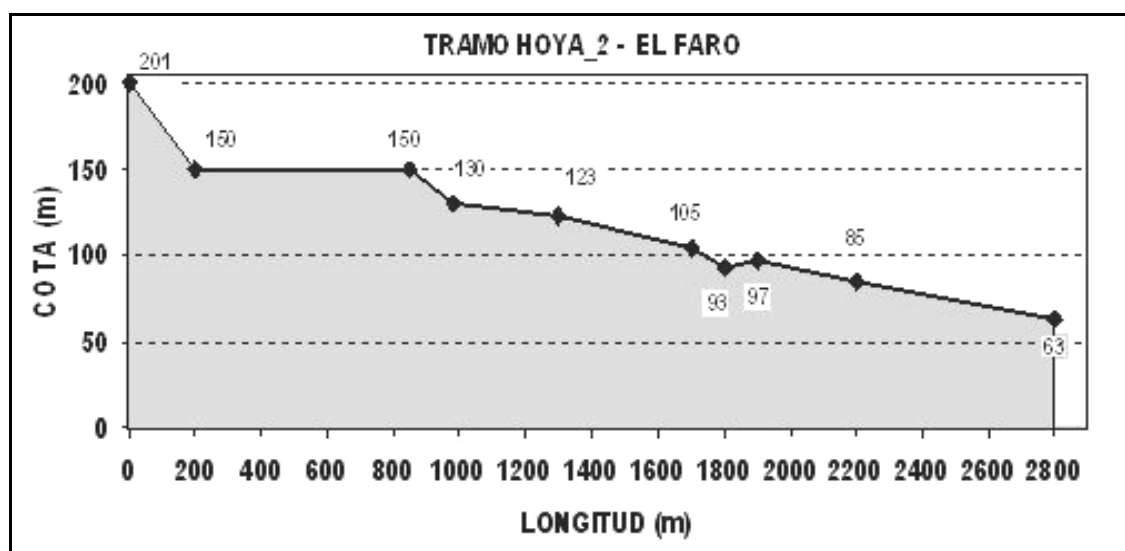


Figura 2.14: Perfil longitudinal tramo La Hoya_2 → El Faro.

2.3.5. Tramo La Gallarda → Las Galanas.

Tabla 2.13: Datos perfil longitudinal tramo La Gallarda → Las Galanas.

TRAMO LA GALLARDA - LAS GALANAS			
pk	TRAZADO (m)	COTA (m)	OBSERVACIONES
0+000	0	150	DEPÓSITO LA GALLARDA
0+280	280	139	
0+450	450	118	ROQUE S/S
0+550	550	107	ORILLA DEL LLANO
0+740	740	67	
0+800	800	36	C/ LA PISTA (ESCALERAS)
0+950	950	9	C/ LA LUZ
1+100	1100	2	PLAZA IGLESIA
1+400	1400	6	ROTONDA 5°CENT.
1+850	1850	39	CANCHA GALANAS
1+900	1900	49	
2+100	2100	62	
2+300	2300	91	
2+400	2400	111	DEPÓSITO LAS GALANAS

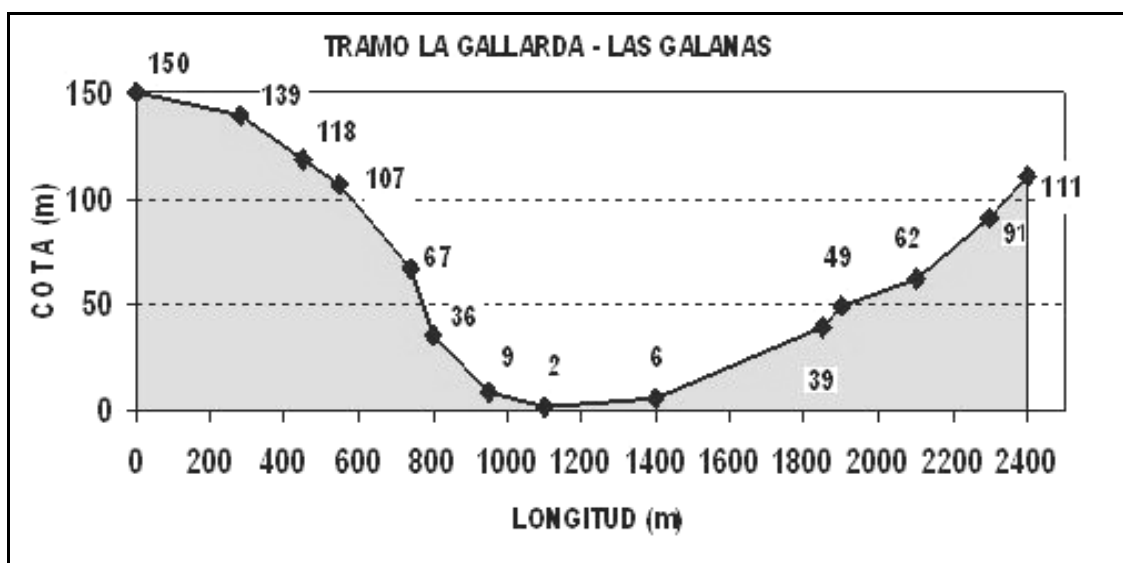


Figura 2.15: Perfil longitudinal tramo La Gallarda → Las Galanas.

2.3.6. Tramo La Gallarda → Cámara Rotura Parador.

Tabla 2.14: Datos perfil longitudinal tramo La Gallarda → Cámara Rotura Parador.

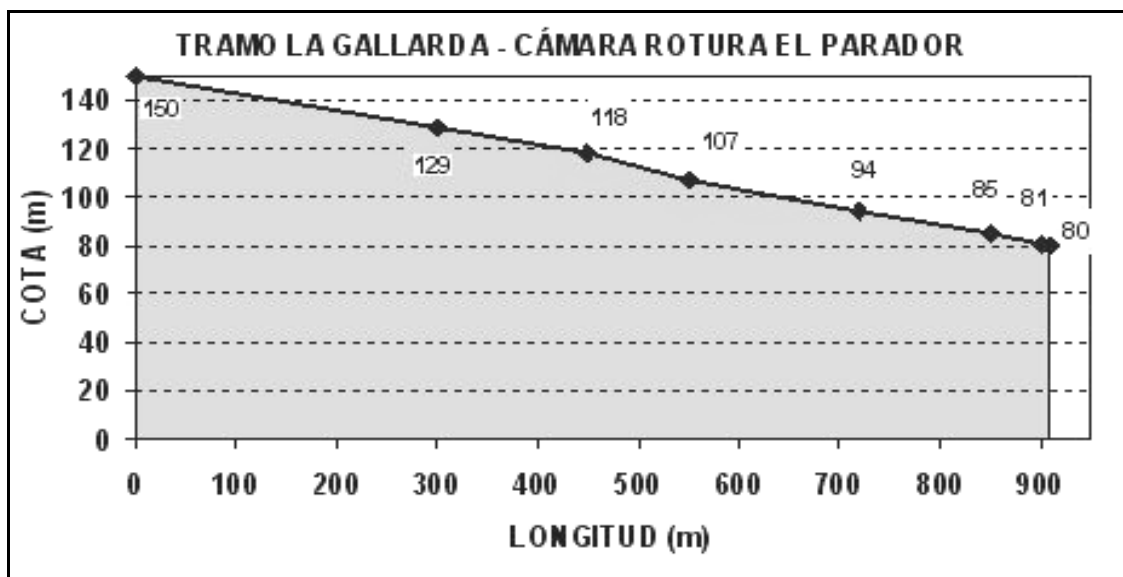


Figura 2.16: Perfil longitudinal tramo La Gallarda → Cámara Rotura Parador.

2.3.7. Tramo Cámara Rotura Parador → Casco Urbano → Barranco La Concepción.

Tabla 2.15: Datos perfil longitudinal tramo Cámara Rotura Parador → Casco Urbano → Bco. Concepción.

CÁMARA ROTURA EL PARADOR - CASCO URBANO - BCO. LA CONCEPCIÓN			
pk	TRAZADO (m)	COTA (m)	OBSERVACIONES
0+000	0	80	CÁMARA DE ROTURA
0+050	50	52	RAMAL PUERTO
0+150	150	43	
0+250	250	37	C/ LA PISTA (ESCALERAS)
0+400	400	9	C/ LA LUZ
0+550	550	2	PLAZA LA IGLESIA
0+650	650	2	4 CAMINOS
0+750	750	3	ARMAS FERNANDEZ
0+950	950	7	EL CALVARIO
1+100	1100	14	ENTRADA BCO. CONCEPCIÓN
1+300	1300	9	BCO. CONCEPCIÓN

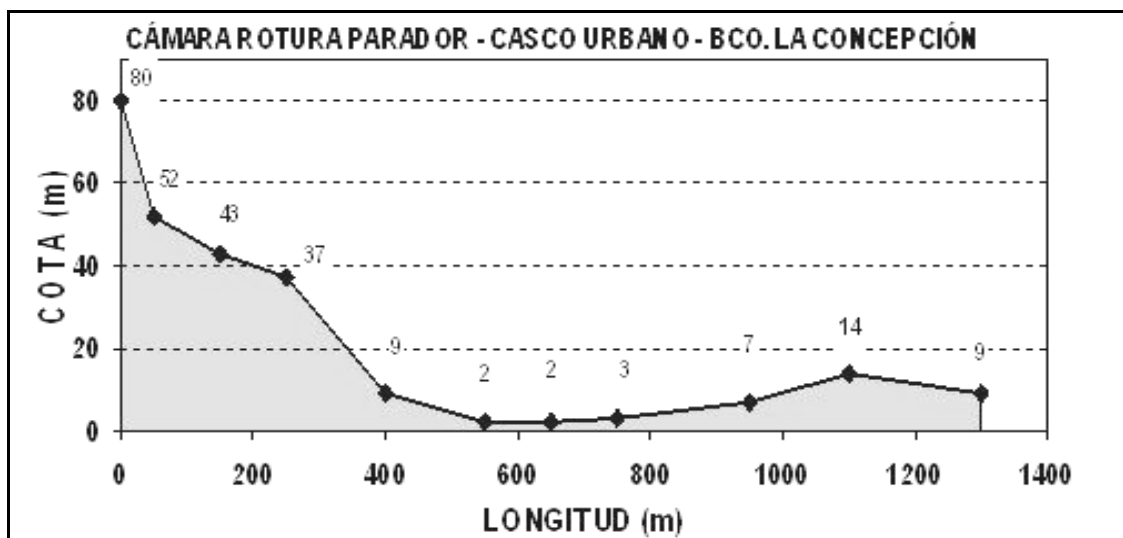


Figura 2.17: Perfil longitudinal tramo Cámara Rotura Parador → Casco Urbano → Bco. Concepción.

2.3.8. Tramo La Hoya_1 → La Gallarda.

Tabla 2.16: Datos perfil longitudinal tramo La Hoya_1 → La Gallarda.

TRAMO LA HOYA_1 - LA GALLARDA			
pk	TRAZADO (m)	COTA (m)	OBSERVACIONES
0+000	0	218	DEPÓSITO LA HOYA_1
0+100	100	209	
0+200	200	199	
0+300	300	186	
0+400	400	174	
0+460	460	173	
0+560	560	155	BARRIO LA GALLARDA

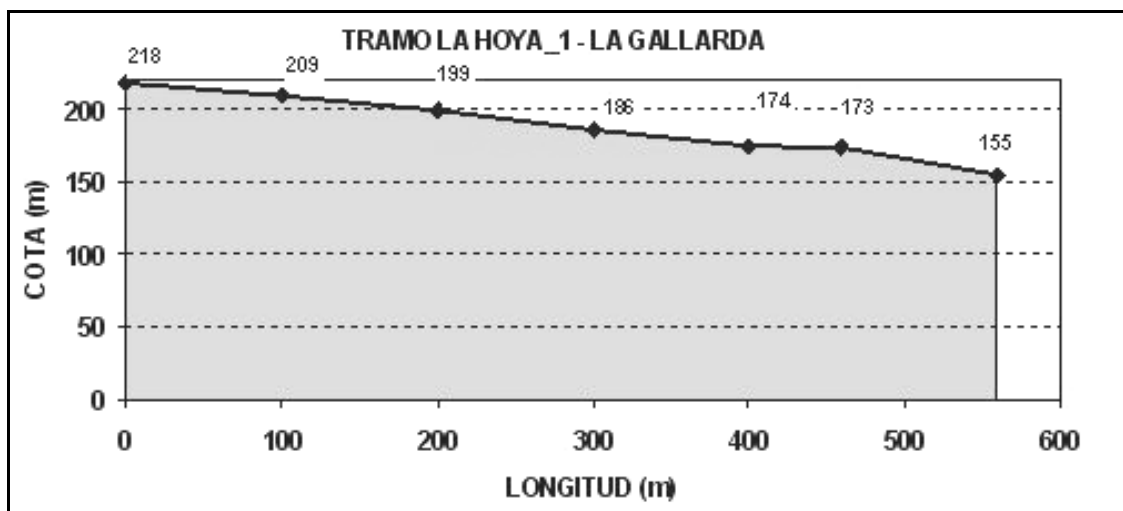


Figura 2.18: Perfil longitudinal tramo La Hoya_1 → La Gallarda.

2.4. RED EN ALTA. DESCRIPCIÓN Y FUNCIONAMIENTO

Entendiendo por red en alta, las conducciones principales de aducción y transporte desde los puntos productores de agua hasta su distribución a redes secundarias, arteriales y de servicio, se distinguen dos subsistemas dentro de la red estudiada.

Subsistema_1, impulsa caudales desde los pozos de Raspaderos y La Alianza, hasta el depósito de La Gallarda, que actúa como depósito de cabecera para las zonas de Orilla del Llano, Casco Urbano y depósitos de La Hoya_1 y Las Galanas.

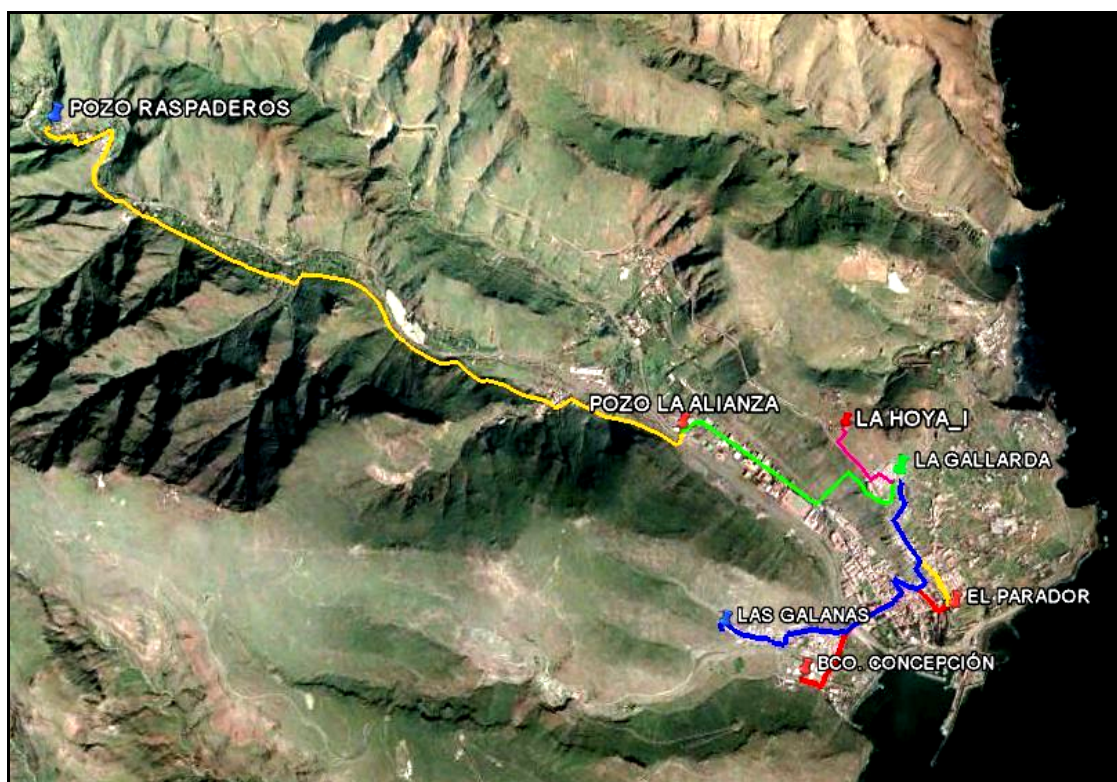


Figura 2.19: Imagen trazados Subsistema_1.

Subsistema_2, transporta los caudales suministrados por el Consejo Insular de Aguas de La Gomera desde el depósito de Cañadas de Hurona, hacia los depósitos del Molinito, que abastece al barrio del mismo nombre, y La Hoya_2, que actúa como depósito de cabecera para abastecer las zonas de La Lomada y Av. José Aguiar.



Figura 2.20: Imagen trazados Subsistema_2.

A continuación se realiza una breve descripción de las conducciones de ambos subsistemas, atendiendo a su material, diámetro y puntos de derivación a redes secundarias.

2.4.1. Subsistema_1.

Desde el pozo de Raspaderos parte una conducción de fundición de 200 mm, que en su trayecto deriva pequeños caudales hacia los barrios de El Atajo, El Jorado, San Antonio, San Bartolo y el depósito del Langrero.

Esta conducción de fundición de diámetro 200 mm, continúa su camino hasta llegar a las proximidades del pozo de La Alianza, uniéndose con la conducción de acero galvanizado de diámetro 6" que sale de dicho pozo, impulsando ambos caudales, continuando en fundición 200 mm, hasta el depósito de La Gallarda de 2000 m³, a cota 150 metros.

Desde este depósito, se distribuye en tubería de fundición con tramos antiguos de fibrocemento, ambas en diámetro 200 mm. Esta conducción, entrega caudales al lo largo de su trayecto a redes secundarias, en las zonas de Orilla del Llano (Ojila), hacia el depósito de Las Galanas, mediante conducción de polietileno PE_63, de manera directa y sin consumos, Barriadas del Molino y curva del Parador. Conectando en las cercanías del Parador de Turismo con una cámara de rotura de presión, provista de

una válvula de regulación manual de compuerta a la entrada y válvula de boya para evitar vertidos.

Un bombeo de 5 l/s a 100 metros de altura y 15 CV de potencia, conecta el depósito de La Gallarda con el de La Hoya_1 a través de una conducción directa de polietileno PE_63. Posteriormente, desde el depósito de La Hoya_1, se abastece al barrio de La Gallarda mediante conducción de acero galvanizado AG_2”.

Desde la cámara de rotura, parte una conducción de fibrocemento de 200mm de diámetro, derivando caudales hacia redes secundarias en calle La Pista, calle Pista de Las Palmitas, punto en el que la conducción, pasa a ser de fundición diámetro 150 mm, calle de La Luz, Plaza de La Iglesia, intersección Calle Ruiz de Padrón con Avenida de Colón, intersección calle Profesor Armas Fernández con Avenida de Colón, entrada al barrio del Calvario y barranco de La Concepción.

Es en este tramo, desde la cámara de rotura del Parador, hasta el barranco de La Concepción es donde se concentra prácticamente la totalidad de los consumos comerciales de la red de la localidad.

2.4.2. Subsistema_2.

Por otro lado, los caudales obtenidos de los sondeos, propiedad del Consejo Insular de Aguas de La Gomera, son conducidos por tuberías propias de este organismo, hasta el depósito de las Cañadas de Hurona.

Previamente se deriva una pequeña parte de caudal hacia el pozo de Raspaderos, por una conducción de 2000 metros, en acero galvanizado de 2” de diámetro, que se regula manualmente, mediante válvula de compuerta en las proximidades del pozo. El único propósito de este tramo es suministrar caudales en horario nocturno, cuando la bomba del pozo se encuentra parada, hacia los barrios de El Atajo, El Jorado, San Antonio, San Bartolo y el depósito del Langrero.

Desde el depósito de Las Cañadas de Hurona, parte una aducción por gravedad con tubería de acero galvanizado y diámetro 6” que se regula manualmente en las proximidades a la rotonda del Molinito en la carretera TF_711 mediante válvula de compuerta.

Posteriormente, se deriva parte del caudal transportado hacia el depósito del Molinito, conectando un pequeño tramo de acero galvanizado de 3” donde se regula mediante válvula de compuerta la entrada al depósito.

La conducción procedente del depósito de Las Cañada de Hurona, continúa hasta entrar en el depósito de La Hoya_2. La entrada al mismo, se efectúa en tubería de hierro dulce de 10". El cambio de material y diámetro, se produce para aprovechar una conducción anterior que debía haber conectado el pozo de la Alianza con el depósito de La Hoya_2. Esta transición se produce unos 1000 metros antes de la entrada en el depósito.

La conducción, que hasta entonces discurría junto a un antiguo canal a la cota 153 metros, pasa en 280 metros de longitud, a cota 264 metros. En ese punto, hay instalada una ventosa, que al permitir la entrada de aire en la conducción, provoca que su funcionamiento sea en lámina libre, ya que no se regula la entrada al depósito de La Hoya 2.

Desde el depósito de La Hoya 2, parte una tubería de acero galvanizado de diámetro 6", que se ramifica dos conducciones:

Una conducción de diámetro 4" del mismo material, para abastecer la zona de La Lomada, derivando hacia redes secundarias en los siguientes puntos; Camino de Puntallana, Cancha de La Lomada, barriada de San Cristóbal, Camino de San Cristóbal, Cementerio y Faro. En este tramo se regula la presión mediante válvula reductora tarada a 30 m.c.a. instalada antes de la derivación al Camino de Puntallana.

Y otra conducción del mismo material en diámetro 6", que abastece la zona cercana al pozo de La Alianza, derivando a redes secundarias en el cruce de Las Palmitas, avenida José Aguiar, Ruiz de Padrón, Escuela de Idiomas y centro de salud de San Sebastián. Como elemento de regulación en el tramo se encuentra instalada una válvula reductora de presión antes de la derivación en el cruce de Las Palmitas tarada a 30 m.c.a.

2.5. RED EN BAJA. DESCRIPCIÓN Y FUNCIONAMIENTO

Abarca las conducciones que van desde la red en alta, hasta las acometidas domiciliarias, es decir, las redes arteriales y de servicio. Estas se encuentran enterradas aproximadamente medio metro bajo la rasante de la vía, transcurriendo tanto por la calzada como por la acera.

La zona del casco urbano posee redes arteriales malladas, pero la forma de operar la red, al seccionar mediante válvulas las mallas, provoca la generación de un sentido único de flujo, funcionando como una simple red ramificada. Estas válvulas sólo se

operan para realizar operaciones de reparación en la red. El resto de zonas y barrios posee red ramificada.

Se distingue entre red antigua, principalmente en hierro galvanizado de 1 a 2" de diámetro, y red nueva que utiliza tanto fundición de diámetro 100 y 80 mm, como acero galvanizado de 2" y polietileno PE_75 y PE_63 mm. Como se puede observar, una amplia mezcla de materiales y diámetros.

Se ha realizado una importante inversión por parte del Ayuntamiento en los últimos años en sustituir la red antigua debido a su deterioro, pretendiendo reducir las pérdidas, pero curiosamente, existen zonas donde se continúa operando con ambas redes (nueva y antigua) al mismo tiempo.

No se controlan los volúmenes de salida de ninguno de los depósitos, ni en ninguna de las derivaciones a redes secundarias, por lo que no se conoce los caudales reales que se están suministrando a la red en baja.

Las acometidas domiciliarias son generalmente de diámetros pequeños, con contadores domiciliarios de diámetros entre $\frac{3}{4}$ " y $\frac{1}{2}$ ", su compra e instalación, corre a cargo de los abonados.

El entramado de conducciones antiguas y nuevas (algunas conectadas entre sí), la gran variedad de materiales, diámetros y el no tener control volumétrico de la red desde la entrada a los depósitos hasta los contadores domiciliarios provoca un completo desconocimiento de la red en baja de la localidad, lo que complica en gran medida su estudio.

2.6. OPERACIÓN DEL SISTEMA

Un único operario municipal es el encargado del control de la red, vigilar niveles de depósitos, arranque y paradas de las bombas y control de la regulación.

Todo se realiza manualmente, a voluntad del operario, siguiendo la estrategia descrita a continuación.

Cuando los depósitos caen de nivel, en el subsistema_1 se aumenta el número de horas de funcionamiento de la segunda bomba del pozo de La Alianza y en caso necesario, no se para la bomba del pozo de Raspaderos.

El subsistema_2, en la actualidad es deficitario en volúmenes por lo que habitualmente se solicita al Consejo Insular de Aguas de La Gomera, que

derive un aporte extra de volumen con el fin de recuperar los niveles perdidos en los depósitos.

En lo referente a la red en baja de la localidad, se dispone de dos parejas de operarios (fontanero y ayudante), que son los encargados de realizar las operaciones de reparación en la red.

Únicamente se realiza un mantenimiento correctivo en caso de rotura, nunca preventivo, las reparaciones se solventan generalmente en escaso tiempo, pero en forma de “parches” localizados, existiendo una alta probabilidad de que en un periodo no muy prolongado puedan volver a aparecer defectos.

2.7. PARQUE DE CONTADORES

Los contadores son los encargados de contabilizar los volúmenes extraídos de la red de abastecimiento a la vez que son utilizados para la facturación, su estado de conservación y correcto funcionamiento es vital para el sistema, ya que en caso de no recibir un mantenimiento básico, pueden inducir grandes pérdidas en forma de subcontaje.

El parque de contadores de la localidad, compuesto en el año 2010 según datos municipales por 4139 aparatos, presenta serias deficiencias respecto a su mantenimiento e instalación.

Se observa en muchos de los casos, contadores antiguos, instalados a la intemperie, en lugar de encontrarse en una arqueta protegidos y los que se encuentran en arquetas no tiene suficiente espacio para su correcta colocación debiendo colocarse inclinados para posibilitar su lectura, provocando un desgaste mayor de sus piezas internas y por tanto reduciendo con mayor celeridad su capacidad de medir en el rango para el que fueron fabricados.

No se realizan campañas de sustitución de contadores por antigüedad.

En caso de ser necesaria la renovación de un contador (al detectar el lector que se encuentra parado), se notifica al abonado para que proceda a la compra de uno nuevo, corriendo el coste del aparato a cargo del abonado y la colocación del mismo tras la instalación de un precinto, a cargo del Ayuntamiento.

Este motivo provoca que aún continúen contadores instalados de más de 30 años sin ningún tipo de mantenimiento.

El no disponer de una adecuada gestión y conocimiento del parque de contadores, supondrá una limitación a la hora de confeccionar el modelo de simulación ya que se deberá recurrir a valores estimados. Asimismo, la renovación del parque de contadores, llevaría a la mejora del balance del sistema al reducirse considerablemente el volumen no registrado y consumido, mejorando la eficiencia de la gestión.

2.8. BALANCE VOLUMÉTRICO DEL SISTEMA

Para la realización de un correcto balance volumétrico del sistema es necesario conocer todas las entradas y salidas al mismo.

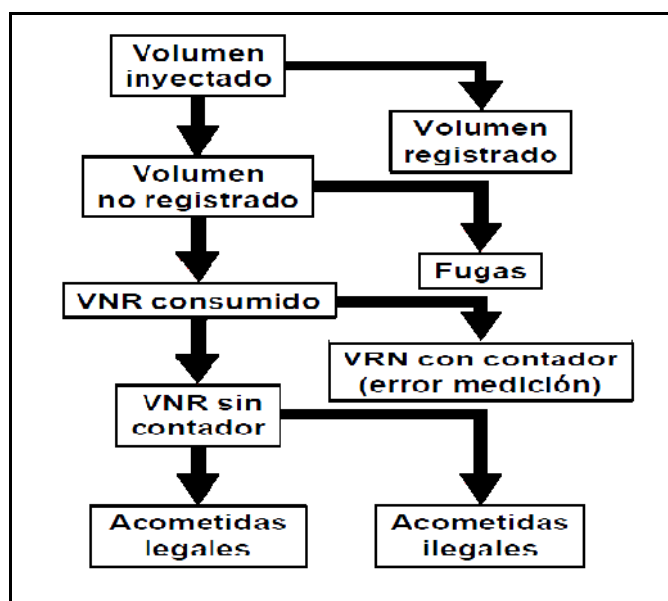


Figura 2.21: Esquema del balance volumétrico de una red de abastecimiento.

Por parte del consistorio municipal, no se controlan los datos de inyección al sistema y únicamente se controlan los volúmenes registrados, utilizados para la facturación trimestral. (En caso de controlarse no queda registro de ellos)

Por este motivo se ha realizado una campaña de toma directa de datos en las zonas productoras, con el fin de conocer los volúmenes inyectados al sistema.

Se han controlado los volúmenes inyectados a la red, para ello se han tomado lecturas diarias de los volúmenes registrados en los contadores instalados para tal fin, en las distintas zonas productoras.

La duración de la campaña de toma de datos ha sido de 60 días en los pozos de Raspaderos y La Alianza (pozos de propiedad municipal), y de 90 días en los sondeos de la zona de Enchereda (pertenecientes al Consejo Insular de la Gomera).

Los resultados obtenidos de la campaña de datos (incluidos en el *Anexo A*), reflejan estabilidad en las lecturas diarias, esto permite la utilización de los valores medios de toda la campaña, como volumen medio diario inyectado en cada zona productora.

Volúmenes inyectados: como valor medio diario, se inyectaron a la red 4421 m³, que se repartieron de la siguiente manera entre las distintas zonas productoras:

Pozo de La Alianza: 2569 m³/día.

Pozo de Raspaderos: 832 m³/día.

Sondeos de Enchereda: 1021 m³/día.

Por otra parte y según datos de volúmenes facturados, facilitados por la oficina de recaudación municipal, del tercer trimestre del año 2010 (coincidiendo con la campaña de datos de volúmenes inyectados), el volumen medio registrado en el periodo controlado resultó ser de 1497 m³.

Con estos datos, al dividir el volumen registrado entre el volumen inyectado a la red, se obtiene un bajo rendimiento global del sistema inferior al 34%.

Esto implica que el 66% del volumen diario inyectado, es decir, 2924 m³ corresponden al volumen no registrado (VNR), que se fragmenta en:

Volumen no registrado y consumido:

Consumo con ausencia de contador.

Conexiones ilegales.

Avería o error de medición del contador.

Limpieza de calles y otros usos municipales no registrados.

Volumen no registrado y no consumido:

Fugas en la red.

Tareas de limpieza y mantenimiento.

Reboses y evaporación en depósitos.

El no conocer la distribución real del volumen no registrado, por no tener un control volumétrico sobre la red, supondrá una limitación en la elaboración del modelo de simulación matemática, siendo necesaria la utilización de valores estimados en otros trabajos como pueden ser, los datos reflejados en la encuesta de la Asociación Española de Abastecimientos de Agua y Saneamiento (AEAS, 2000), sobre como se

reparten los distintos porcentajes del total de volumen de agua no registrada (VNR), en los abastecimientos españoles, incluidos los canarios, permitiendo de esta manera estimar el balance volumétrico total de la red.

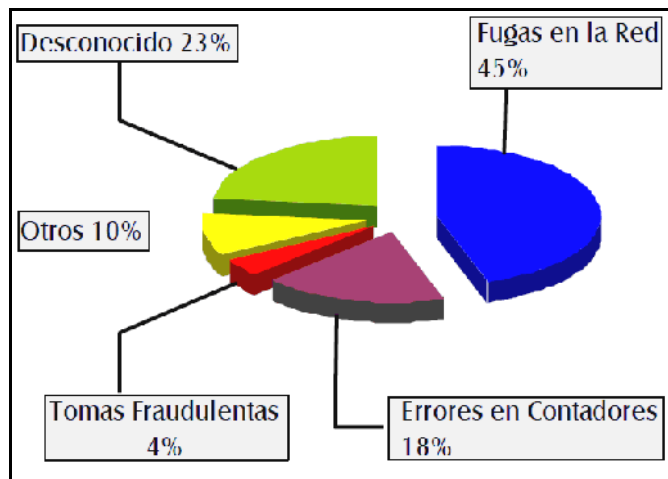


Figura 2.22: Porcentajes asignados al total del VNR según encuesta AEAS, 2000.

3. CONFECCIÓN MODELO DE SIMULACIÓN MATEMÁTICO

Con la finalidad de poder analizar distintos escenarios sobre el funcionamiento de la red de abastecimiento de la localidad de San Sebastián de La Gomera, se ha elaborado un modelo de simulación matemática utilizando el programa EPANET 2.0 que permite realizar simulaciones en periodo extendido del comportamiento hidráulico de redes de tuberías a presión.

3.1. MODELO DEL SISTEMA. FUNCIONAMIENTO DE EPANET 2.0

Este apartado comenta cómo EPANET 2.0 modeliza los objetos físicos que constituyen el sistema de distribución así como sus parámetros operacionales. De forma somera también se explica cómo simula el comportamiento hidráulico de la red.

EPANET 2.0 modeliza un sistema de distribución de agua cómo una serie de líneas conectadas a nudos. Los nudos representan conexiones, embalses y depósitos. Las líneas representan tuberías, bombas y válvulas de control.

Conexiones: Las conexiones son puntos en la red donde se unen las líneas o por donde entra o sale el agua de la red. La información básica que se requiere para las conexiones es cota y demanda de agua.

Los resultados que se obtienen de las conexiones a lo largo de toda la simulación son: altura piezométrica (energía interna por unidad de masa del fluido) y presión.

Las conexiones también pueden tener:

- Demanda variable con el tiempo.

- Distintas categorías de demanda asignadas al mismo nudo.

- Demandas negativas, indicando que el agua entra en la red.

- Contener emisores, haciendo que el caudal descargado dependa de la presión.

Embalses: Los embalses son nudos que representan una fuente externa infinita o un sumidero para el sistema. Son utilizados para modelizar lagos, ríos, acuíferos subterráneos y conexiones a otros sistemas.

Las principales características de un embalse es su altura piezométrica que es igual a la altura por encima del nivel del mar.

Debido a que el embalse es un punto frontera de la red, su altura no puede verse afectada por lo que ocurra en el resto del sistema. Por lo tanto no se ordenan características de salida.

Depósitos (Tanques): Los depósitos son nudos con capacidad de almacenamiento, donde el volumen de agua almacenada puede variar con el tiempo a lo largo de la simulación.

Las características principales para los depósitos son:

Cota, donde el nivel de agua es cero.

Diámetro o geometría si no es cilíndrico.

Valores iniciales máximos y mínimos del nivel de agua.

El principal valor que se pide a lo largo del tiempo es el nivel de la superficie libre de agua.

Los depósitos operan limitados por sus niveles máximo y mínimo. EPANET 2.0 detiene el aporte de caudal si el nivel del tanque está al mínimo y detiene el consumo de caudal si el nivel del depósito se encuentra en su máximo.

Emisores: Los emisores son mecanismos asociados a las conexiones que modelizan la descarga de caudal a la atmósfera a través de unos orificios. El caudal que atraviesa el emisor varía en función de la presión del nudo:

$$q = Cp^\gamma$$

Siendo q = caudal, p = presión, C = coeficiente de emisor (descarga), y γ = exponente de la presión.

Los emisores son usados para modelizar el caudal a través de rociadores o sistemas de irrigación en la red considerándolos como una característica de las conexiones y no como un elemento más en la red. También pueden ser usados para modelizar pérdidas en las conexiones entre tuberías, estimando el coeficiente de descarga y el exponente de presión de rotura de la conexión o junta, o para modelizar una boca de extinción de fuegos.

Tuberías: Las tuberías son líneas que llevan el agua de un punto a otro de la red.

EPANET 2.0 asume que todas las tuberías se encuentran completamente llenas en todo momento. La dirección de caudal va desde el extremo con altura piezométrica (energía

interna por unidad de peso del agua) mayor hacia el extremo de la conducción con menor altura, siguiendo siempre el sentido de la disminución de la altura. Los parámetros hidráulicos más importantes para las tuberías son: nudos de entrada y salida, diámetro, longitud, coeficiente de rugosidad (para determinar pérdidas), estado (abierta, cerrada o con una válvula).

Los parámetros de estado de las tuberías se emplean para contemplar elementos tales como válvulas de corte o seccionamiento o válvulas de retención.

Los principales valores que podemos obtener son, caudal, velocidad, pérdidas y factor de fricción de Darcy-Weisbach.

Las pérdidas de carga en la conducción debido a la rugosidad de las paredes de la tubería pueden medirse utilizando tres métodos diferentes:

Método de Darcy-Weisbach es el más exacto teóricamente. Se puede aplicar para cualquier líquido en cualquier régimen que se encuentre.

Método de Hazen-Williams: es el más utilizado en el ámbito anglosajón. No se puede usar con otro líquido que no sea agua y fue desarrollado originalmente únicamente para régimen turbulento.

Método de Chezy-Manning es el más utilizado para conductos funcionando en lámina libre.

Cada método utiliza la siguiente ecuación para calcular las pérdidas entre el nudo inicial y el nudo final de la tubería:

$$h_L = Aq^B$$

Siendo h_L = pérdidas por longitud, q = caudal (Volumen/Tiempo), A = coeficiente de resistencia, y B = exponente del caudal.

Cada método utiliza un coeficiente de rugosidad diferente que debe ser estimado empíricamente.

Con el método de Darcy-Weisbach, EPANET 2.0 utiliza diferentes expresiones correspondientes a las distintas zonas en las que el factor de fricción f presenta comportamientos distintos. De esta forma, dependiendo del régimen de trabajo:

Para régimen laminar ($Re < 2,000$) utiliza la fórmula de Hagen- Poiseuille.

Para régimen turbulento ($Re > 4,000$) utiliza la aproximación de Swamee y Jain de la ecuación de Colebrook-White.

Para flujo transitorio ($2,000 < Re < 4,000$) utiliza una interpolación cúbica del ábaco de Moody.

Las tuberías pueden abrirse o cerrarse en determinados instantes de tiempo o cuando existan unas condiciones específicas, como por ejemplo cuando el nivel del tanque cae o llega a determinado punto, o cuando la presión en los nudos cae o llega a determinados valores.

Pérdidas Menores: Las pérdidas menores o pérdidas locales, se deben a la existencia de turbulencias en codos y conexiones. La importancia de incluir éstas pérdidas depende de la distribución en planta de la red y el grado de exactitud requerido. Pueden contabilizarse asignando a la tubería un coeficiente de pérdidas menores.

$$h_L = K \left(\frac{v^2}{2g} \right)$$

Siendo K = coeficiente de pérdidas menores, v = velocidad del flujo (Longitud/Tiempo), y g = aceleración de la gravedad (Longitud/Tiempo).

Bombas: Las bombas son elementos que aportan energía al fluido incrementando su altura piezométrica. Las características más importantes para una bomba son su entrada y salida y su curva característica (relación entre la altura y caudal de la bomba).

Los parámetros de salida más importantes son el caudal y la carga. El caudal fluye únicamente en una dirección dentro de la bomba y EPANET 2.0 no permite que una bomba trabaje fuera del rango que determina su curva característica.

Si las condiciones del sistema requieren que la bomba trabaje fuera de sus posibilidades, EPANET 2.0 intentará desconectarla y en caso de que el sistema requiera un caudal mayor que el que puede trasegar, EPANET extrapolará una curva para el caudal requerido aunque produzca una altura negativa. En ambos casos aparecerá un mensaje de advertencia.

Al igual que las tuberías, las bombas pueden activarse (arranque) y desactivarse (desconectarse) en determinados momentos establecidos por el usuario o bien cuando existan ciertas condiciones en la red.

EPANET 2.0 también puede tener en cuenta el consumo de energía y el coste de la bomba. A cada bomba se le puede asignar una curva de eficiencia y una lista de

precios de energía. Si no se dispone de estos valores entonces utiliza unas condiciones energéticas generales.

Válvulas: Las válvulas son líneas que limitan la presión y el caudal en puntos específicos de la red. Sus principales parámetros característicos son, nudos de entrada y salida, diámetro, consigna o tarado y estado. Los valores de salida suelen ser el caudal y las pérdidas.

Los diferentes tipos de válvulas que incluye EPANET son:

Válvulas Reductoras de Presión (VRP) limitan la presión en un punto de la red de tuberías.

Válvulas Sostenedoras de Presión (VSP) mantienen una presión determinada en un punto específico de la red de tuberías.

Válvulas de Rotura de Carga (VRC) fuerzan a que la caída de presión en la válvula sea siempre un valor predeterminado. El caudal que atraviesa la válvula puede ir en ambas direcciones.

Válvulas Controladoras de Caudal (VCQ) limitan el caudal a un valor específico.

Válvulas Reguladoras por Estrangulación (VRG) simulan una válvula parcialmente cerrada ajustando adecuadamente el valor del coeficiente de pérdidas menores.

Válvulas de Propósito General (VPG) se utilizan para representar una línea con un comportamiento diferente y una relación caudal - pérdidas que no abarcan las fórmulas hidráulicas estándar.

Las válvulas de compuerta y las válvulas de retención, que cierran o abren completamente las tuberías, no están consideradas como elementos separados sino que se incluyen como una característica de la tubería en la que se encuentran.

Cada tipo de válvula tiene un parámetro consigna que define su punto de operación:

Presión para las VRP, VSP, y VRC.

Caudal para las VCQ.

Coeficiente de pérdidas para las VRG.

Curva característica de pérdidas para las VPG.

Debido a su modelación, cuando quiera incluir una válvula en la red debe seguir las siguientes instrucciones:

Las VRP, VSP o VCQ no pueden conectarse directamente a un embalse o depósito siendo necesario utilizar un tramo de tubería para separarlos.

2 VRP no pueden compartir el mismo nudo aguas abajo o conectarse en serie.

2 VSP no pueden compartir el mismo nudo aguas arriba ni conectarse en serie.

No se puede estar conectar una VSP al nudo aguas abajo de una VRP.

3.1.1. Modelo de Simulación Hidráulica:

El modelo de simulación hidráulica de EPANET 2.0 calcula alturas en conexiones y caudales en líneas, para un conjunto fijo de niveles de embalse, niveles de depósitos, y demandas de agua a lo largo de una sucesión de instantes temporales.

Desde un instante de tiempo, los siguientes niveles de depósitos y demandas en las conexiones son actualizadas, de acuerdo a los patrones de tiempo que se les ha asociado, mientras que los niveles del tanque son actualizados utilizando los datos solución de caudal.

La solución de altura y caudal, en un determinado punto a lo largo del tiempo, supone el cálculo simultáneo, de la conservación del caudal en cada conexión, y la relación de pérdidas, que supone su paso a través de los elementos de todo el sistema.

Ese proceso, conocido como equilibrado hidráulico de la red, requiere métodos iterativos de resolución de ecuaciones no lineales, como puede ser, el "Algoritmo del Gradiente".

3.2. CONFECCIÓN DEL MODELO. FASES DE DESARROLLO

La elaboración de un modelo de simulación se ordena en distintas fases de desarrollo que se irán describiendo a lo largo de este apartado.

3.2.1. Recopilación y organización de la información.

Esta fase consiste en reunir la mayor cantidad de información útil para la realización del modelo, topología de la red, depósitos, bombeos, elementos especiales, datos de aportaciones y facturación de caudales.

Como punto de partida se ha realizado un recorrido por la red de la localidad junto a un operario municipal, con el fin de inventariar las características de cada una de las conducciones, en especial materiales y diámetros que la componen, así como instalaciones singulares como depósitos y bombeos en zona productoras.

Al no disponerse de cartografía actualizada por parte municipal, se ha recurrido al sistema de información territorial del Gobierno de Canarias (Grafcan), de donde se han extraído las longitudes y cotas de los trazados.

Para obtener las aportaciones al sistema, se han tomado datos directos de lecturas diarias, por un periodo de 60 días en las zonas productoras de propiedad municipal y 90 días en zonas productoras perteneciente al Consejo Insular de La Gomera.

Además se han controlado las entradas a cada uno de los depósitos de regulación y almacenamiento que componen la red, al no disponerse de elementos de medición a la salida de los depósitos, no ha sido posible conocer las salidas desde los depósitos hacia la red.

Se ha suministrado por parte del consistorio municipal, datos disponibles sobre volúmenes registrados:

Volúmenes totales facturados trimestralmente durante la última década.

Volúmenes facturados en el tercer trimestre del año 2010, coincidiendo con la campaña de toma de datos, referidos a facturación por calles indicando el número de abonados en cada una de las calles.

Población a abastecer en cada una de las calles, actualizado al año 2010.

Toda esta información se puede consultar con detalle en el *Anexo A* de este Trabajo.

3.2.2. Simplificación de la red de tuberías.

Debido al entramado de conducciones antiguas y nuevas, la gran variedad de materiales, diámetros y la incertidumbre sobre el funcionamiento de la red en baja, el modelo de simulación se centrará en la red en alta de la localidad, al disponerse un mejor conocimiento sobre su funcionamiento real.

Para realizar esta simplificación, se introducirán nudos de consumo en los puntos de la red principal donde se deriva caudal hacia los distintos sectores mediante redes secundarias, con la condición de reflejar en el modelo a todos los abonados, aún

siendo pocos en cantidad, al tratarse de pequeños barrios aislados con necesidad de suministro.

3.2.3. Asignación de cargas.

Al disponer de los consumos trimestrales facturados en cada calle de la localidad, se ha procedido a su agrupación de la siguiente manera, un total de 138 calles se han agrupado en 33 nudos de consumo a lo largo de 7 sectores, estimando los caudales en función de los habitantes residentes en cada calle, respecto a la población total de la localidad (ver Anexo A):

Los consumos de calles que comparten derivación desde redes secundarias, constituyen un nudo de consumo aplicado directamente en dicho punto sobre la red principal.

La distribución en planta de la red, ha permitido agrupar los distintos nudos de consumo permitiendo subdividir la red en sectores, dependiendo de las zonas o barrios a los que abastecen.

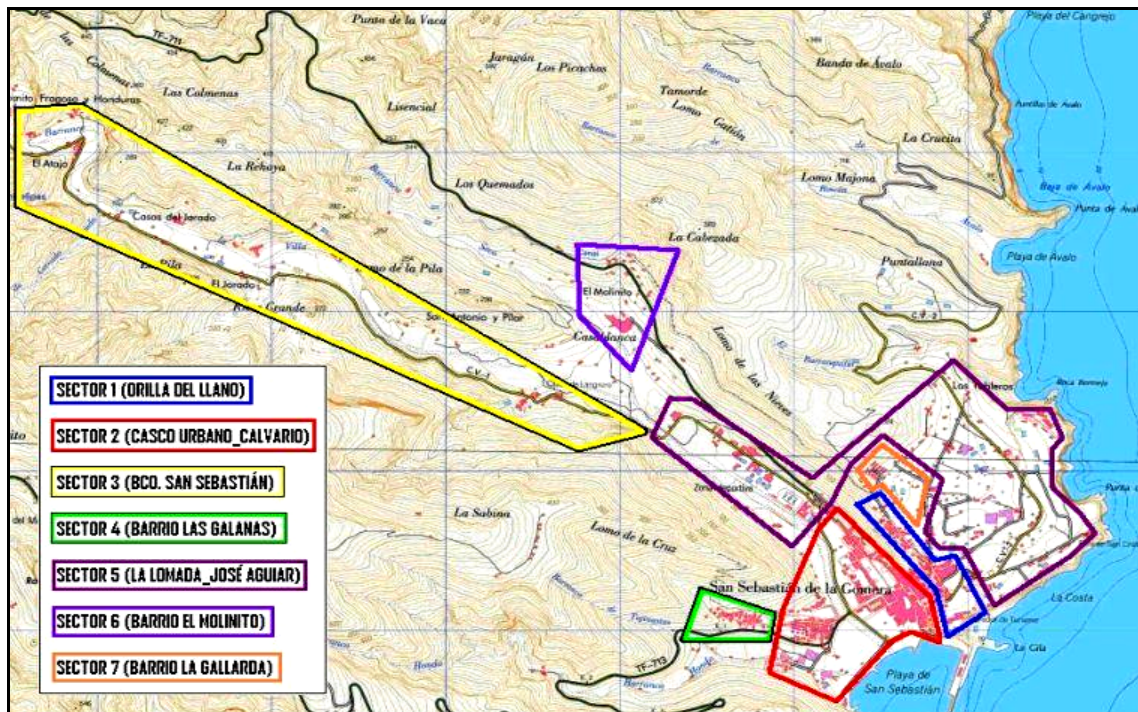


Figura 3.1: Localización de los distintos Sectores de la red.

La asignación de cargas en la red, resulta como se muestra en la *Tabla 3.1*

Tabla 3.1: Caudal medio diario facturado, nº de calles, abonados y población en cada nudo de consumo por sectores.

SECTOR_1 ORILLA DEL LLANO	Q. MEDIO FACTURADO (l/s)	Nº CALLES	Nº ABONADOS	POBLACIÓN (Hab.)
N.C. ROQUE S/S	0.18	7	57	168
N.C. OJILA	0.23	1	60	169.5
N.C. ORILLA DEL LLANO	0.39	1	100	282.5
N.C. EL MOLINO (ORILLA)	0.46	9	133	389
N.C. CURVA PARADOR	0.30	1	2	4
TOTAL SECTOR_1	1.56	19	352	1013
SECTOR_2 CASCO URBANO_EL CALVARIO	Q. MEDIO FACTURADO (l/s)	Nº CALLES	Nº ABONADOS	POBLACIÓN (Hab.)
N.C. LA PISTA	1.06	6	213	375
N.C. PISTA PALMITAS	0.54	3	155	361
N.C. C/LA LUZ	0.26	7	94	200
N.C. PLAZA IGLESIA	1.68	9	467	926
N.C. 4 CAMINOS	2.65	11	644	1178
N.C. ARMAS FDEZ.	1.87	3	539	746
N.C. EL CALVARIO	1.40	18	284	759
N.C. ENTRADA BCO.	0.07	1	16	21
N.C. BCO. CONCEPCIÓN	0.21	2	32	27
TOTAL SECTOR_2	9.73	60	2444	4593
SECTOR_3 BCO. SAN SEBASTIÁN	Q. MEDIO FACTURADO (l/s)	Nº CALLES	Nº ABONADOS	POBLACIÓN (Hab.)
N.C. EL ATAJO	0.09	1	27	42
N.C. EL JORADO	0.12	1	24	31
N.C. SAN BARTOLO	0.18	1	51	58
N.C. SAN ANTONIO	0.02	1	8	18
N.C. EL LANGRERO	0.26	1	54	150
TOTAL SECTOR_3	0.67	5	164	299
SECTOR_4 LAS GALANAS	Q. MEDIO FACTURADO (l/s)	Nº CALLES	Nº ABONADOS	POBLACIÓN (Hab.)
N.C. BARRIO LAS GALANAS	0.49	10	161	371
SECTOR_5 LA LOMADA_J. AGUIAR	Q. MEDIO FACTURADO (l/s)	Nº CALLES	Nº ABONADOS	POBLACIÓN (Hab.)
N.C. CMNO. PUNTALLANA COLEGIO	0.44	1	125	361
N.C. CANCHA LA LOMADA	0.19	3	79	73
N.C. BARRIADA SAN CRISTOBAL	0.39	8	112	295
N.C. CMNO. DE SAN CRISTOBAL	0.88	2	153	206
N.C. CEMENTERIO	0.07	1	19	48
N.C. EL FARO	0.32	1	19	70
N.C. BARRIADAS SAN SEBASTIÁN	0.08	6	28	85
N.C. JOSE AGUIAR	0.07	1	2	0
N.C. RUIZ DE PADRÓN	0.06	1	3	0
N.C. ESCUELA DE IDIOMAS	0.84	1	112	233
N.C. CENTRO DE SALUD	0.07	1	5	0
TOTAL SECTOR_5	3.39	26	657	1371
SECTOR_6 EL MOLINITO	Q. MEDIO FACTURADO (l/s)	Nº CALLES	Nº ABONADOS	POBLACIÓN (Hab.)
N.C. EL MOLINITO	0.65	10	186	325
SECTOR_7 LA GALLARDA	Q. MEDIO FACTURADO (l/s)	Nº CALLES	Nº ABONADOS	POBLACIÓN (Hab.)
N.C. BARRIO LA GALLARDA	0.83	7	175	539

3.2.4. Curva de modulación de caudales.

Los consumos asignados a cada nudo de la red varían a lo largo del día no permaneciendo constantes por lo que se verán afectados por una curva de modulación diaria. Esta modulación de caudales depende directamente de los hábitos de consumo de cada sector. En caso de este estudio preliminar, la falta de contadores a la salida de

todos los depósitos que inyectan a red, para la realización de mediciones, ha imposibilitado el cálculo de la curva.

Es por ello que se ha estimado una curva de modulación diaria “tipo” para el consumo doméstico y otra para el consumo comercial, pudiendo estimar de esa manera los patrones de consumo diarios para cada tipo de uso, doméstico y comercial.

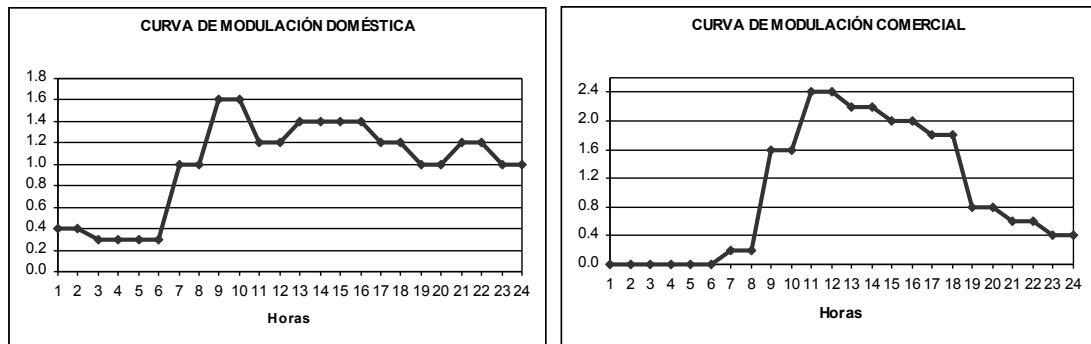


Figura 3.2: Curvas de modulación doméstica y comercial “tipo”

Conociendo el caudal inyectado diario de 4421 m³/día y la población a abastecer en cada sector, se ha calculado el caudal medio diario inyectado por sectores.

Tabla 3.2: Caudal medio diario inyectado por Sectores.

SECTORES	POBLACIÓN (Habitantes)	Q MEDIO DIARIO (m ³ /día)
SECTOR_1 (ORILLA DEL LLANO)	1013	526
SECTOR_2 (CASCO URBANO_CALVARIO)	4593	2386
SECTOR_3 (BCO. SAN SEBASTIÁN)	299	155
SECTOR_4 (LAS GALANAS)	371	193
SECTOR_5 (LA LOMADA_J. AGUIAR)	1371	712
SECTOR_6 (EL MOLINITO)	325	169
SECTOR_7 (LA GALLARDA)	539	280
TOTAL	8511	4421

Cabe destacar que el Sector_2, que abastece al Casco Urbano y Barrio del Calvario, agrupa la práctica totalidad del consumo comercial de la red, por ese motivo la curva de modulación comercial sólo afectará a este sector.

Los consumos comerciales suponen un 19% del total facturado, cargando únicamente a ese sector toda la actividad comercial, el porcentaje de consumo comercial en ese sector será un 35% de su volumen inyectado y el 65% corresponderá a consumo doméstico como se refleja en la Tabla 3.3, a continuación.

Tabla 3.3: Reparto entre caudal inyectado, doméstico y comercial en el Sector_2.

SECTOR_2 CASCO URBANO	Q MEDIO INYECTADO (m³/día)	Q MEDIO DOMÉSTICO(*) (m³/día)	Q MEDIO COMERCIAL(**) (m³/día)
N.C. LA PISTA	194.81	126.62	68.18
N.C. PISTA PALMITAS	187.53	121.90	65.64
N.C. C/LA LUZ	103.90	67.53	36.36
N.C. PLAZA IGLESIA	481.04	312.68	168.37
N.C. 4 CAMINOS	611.95	397.77	214.18
N.C. ARMAS FDEZ.	387.54	251.90	135.64
N.C. EL CALVARIO	394.29	256.29	138.00
N.C. ENTRADA BCO.	10.91	7.09	3.82
N.C. BCO. CONCEPCIÓN	14.03	9.12	4.91
TOTAL SECTOR_2	2386	1551	835

(*) Nota: El caudal medio doméstico es el 65% del caudal medio inyectado en el Sector_2.

(**) Nota: El caudal medio comercial es el 35% del caudal medio inyectado en el Sector_2.

De cada sector se ha calculado el caudal medio horario inyectado [Q(t)], y aplicando el coeficiente de modulación horaria [C_m(t)], se ha obtenido el caudal modulado en cada sector para cada hora [Q_m], cumpliendo la expresión;

$$Q(t) = C_m(t) \cdot Q_m$$

Mostrándose el caudal horario resultante para cada sector en la *Tabla 3.4*.

Tabla 3.4: Caudal horario inyectado en cada sector.

Horas	Q MEDIO HORARIO (m³/h)		SECTOR 1	SECTOR 2	SECTOR 3	SECTOR 4	SECTOR 5	SECTOR 6	SECTOR 7
	Cm Doméstico	Cm Comercial (*)							
			21.93	99.42	6.47	8.03	29.68	7.03	11.67
0	0.4	0.0	8.77	25.85	2.59	3.21	11.87	2.81	4.67
1	0.4	0.0	8.77	25.85	2.59	3.21	11.87	2.81	4.67
2	0.3	0.0	6.58	19.39	1.94	2.41	8.90	2.11	3.50
3	0.3	0.0	6.58	19.39	1.94	2.41	8.90	2.11	3.50
4	0.3	0.0	6.58	19.39	1.94	2.41	8.90	2.11	3.50
5	0.3	0.0	6.58	19.39	1.94	2.41	8.90	2.11	3.50
6	1.0	0.2	21.93	71.58	6.47	8.03	29.68	7.03	11.67
7	1.0	0.2	21.93	71.58	6.47	8.03	29.68	7.03	11.67
8	1.6	1.6	35.08	159.07	10.36	12.85	47.48	11.26	18.67
9	1.6	1.6	35.08	159.07	10.36	12.85	47.48	11.26	18.67
10	1.2	2.4	26.31	161.06	7.77	9.64	35.61	8.44	14.00
11	1.2	2.4	26.31	161.06	7.77	9.64	35.61	8.44	14.00
12	1.4	2.2	30.70	167.02	9.06	11.24	41.55	9.85	16.33
13	1.4	2.2	30.70	167.02	9.06	11.24	41.55	9.85	16.33
14	1.4	2.0	30.70	160.06	9.06	11.24	41.55	9.85	16.33
15	1.4	2.0	30.70	160.06	9.06	11.24	41.55	9.85	16.33
16	1.2	1.8	26.31	140.18	7.77	9.64	35.61	8.44	14.00
17	1.2	1.8	26.31	140.18	7.77	9.64	35.61	8.44	14.00
18	1.0	0.8	21.93	92.46	6.47	8.03	29.68	7.03	11.67
19	1.0	0.8	21.93	92.46	6.47	8.03	29.68	7.03	11.67
20	1.2	0.6	26.31	98.42	7.77	9.64	35.61	8.44	14.00
21	1.2	0.6	26.31	98.42	7.77	9.64	35.61	8.44	14.00

22	1.0	0.4	21.93	78.54	6.47	8.03	29.68	7.03	11.67
23	1.0	0.4	21.93	78.54	6.47	8.03	29.68	7.03	11.67
TOTAL	24.h.	24 h.	526 (m³/día)	2386 (m³/día)	155 (m³/día)	193 (m³/día)	712 (m³/día)	169 (m³/día)	280 (m³/día)

(*) Nota: El coeficiente de modulación comercial sólo afecta al Sector_2 donde se concentra la actividad comercial de la localidad.

3.2.5. Modelación del volumen no registrado (VNR).

Conociendo que el volumen inyectado a la red corresponde a 4421 m³/día y el volumen registrado es de 1497 m³/día, hecho que supone un rendimiento global próximo al 34%, el VNR, que equivale a la diferencia de volumen inyectado menos el volumen facturado, es de 2925 m³/día.

Se ha asumido un reparto del VNR, donde el 55% del VNR es consumido repartiéndose en proporción al caudal medio facturado en cada nudo de consumo siendo afectado por la curva de modulación pero independiente de la presión en los nudos y el 45% restante de VNR no es consumido, modelándose como un emisor dependiente de la presión en cada nudo de consumo.

Para ello se ha calculado el valor del coeficiente emisor, tomando como exponente de emisor 0.5, conocido el caudal que atraviesa el emisor y la presión del nudo quedando como resultado:

$$C_{emisor} = \frac{q_f}{\sqrt{p}}$$

Siendo q_f = caudal fugado en el nudo, p = presión en el nudo.

De esta manera los resultados obtenidos se reflejan en la *Tabla 3.5*.

Tabla 3.5: Reparto de VNR y cálculo del coeficiente emisor.

SECTOR_1 (ORILLA DEL LLANO)							
NUDOS DE CONSUMO	Q MEDIO FACTURADO	% NUDO	Q PERDIDO NUDOS (l/s)	Q FUGADO NUDOS (l/s)	PRESIÓN NUDOS (mca)	C. EMISOR	TOTAL INYECTADO (l/s)
N.C. ROQUE S/S	0.18	0.010	0.189	0.155	31.13	0.03	0.52
N.C. OJILA	0.23	0.013	0.250	0.205	41.87	0.03	0.69
N.C. ORILLA DEL LLANO	0.39	0.022	0.417	0.342	54.47	0.05	1.15
N.C. EL MOLINO (ORILLA)	0.46	0.027	0.498	0.408	63.17	0.05	1.37
N.C. CURVA PARADOR	0.30	0.017	0.324	0.265	68.07	0.03	0.89
SECTOR_2 (CASCO URBANO - CALVARIO)							
NUDOS DE CONSUMO	Q MEDIO FACTURADO	% NUDO	Q PERDIDO NUDOS (l/s)	Q FUGADO NUDOS (l/s)	PRESIÓN NUDOS (mca)	C. EMISOR	TOTAL INYECTADO (l/s)

3. CONFECCIÓN MODELO DE SIMULACIÓN MATEMÁTICO

N.C. LA PISTA	1.06	0.061	1.138	0.931	26.90	0.18	3.13
N.C. PISTA PALMITAS	0.54	0.031	0.581	0.476	41.56	0.07	1.60
N.C. C/LA LUZ	0.26	0.015	0.276	0.226	68.61	0.03	0.76
N.C. PLAZA IGLESIA	1.68	0.097	1.808	1.479	74.72	0.17	4.97
N.C. 4 CAMINOS	2.65	0.153	2.843	2.326	74.35	0.27	7.82
N.C. ARMAS FDEZ.	1.87	0.108	2.005	1.640	73.21	0.19	5.51
N.C. EL CALVARIO	1.40	0.081	1.507	1.233	69.15	0.15	4.14
N.C. ENTRADA BCO.	0.07	0.004	0.072	0.059	62.14	0.01	0.20
N.C. BCO. CONCEPCIÓN	0.21	0.012	0.226	0.185	67.14	0.02	0.62
SECTOR_3 (BCO. SAN SEBASTIÁN)							
NUDOS DE CONSUMO	Q MEDIO FACTURADO	% NUDO	Q PERDIDO NUDOS (l/s)	Q FUGADO NUDOS (l/s)	PRESIÓN NUDOS (mca)	C. EMISOR	TOTAL INYECTADO (l/s)
N.C. EL ATAJO	0.09	0.005	0.092	0.075	25.15	0.01	0.25
N.C. EL JORADO	0.12	0.007	0.126	0.103	52.37	0.01	0.35
N.C. SAN BARTOLO	0.18	0.011	0.197	0.161	63.01	0.02	0.54
N.C. SAN ANTONIO	0.02	0.001	0.025	0.020	88.37	0.00	0.07
N.C. BARRIO EL LANGRERO	0.26	0.015	0.278	0.228	38.26	0.04	0.77
SECTOR_4 (LAS GALANAS)							
NUDOS DE CONSUMO	Q MEDIO FACTURADO	% NUDO	Q PERDIDO NUDOS (l/s)	Q FUGADO NUDOS (l/s)	PRESIÓN NUDOS (mca)	C. EMISOR	TOTAL INYECTADO (l/s)
N.C. BARRIO LAS GALANAS	0.49	0.028	0.524	0.429	59.05	0.06	1.44
SECTOR_5 (LA LOMADA)							
NUDOS DE CONSUMO	Q MEDIO FACTURADO	% NUDO	Q PERDIDO NUDOS (l/s)	Q FUGADO NUDOS (l/s)	PRESIÓN NUDOS (mca)	C. EMISOR	TOTAL INYECTADO (l/s)
N.C. CMNO. PUNTALLANA.	0.44	0.025	0.473	0.387	30.00	0.07	1.30
N.C. CANCHA LA LOMADA	0.19	0.011	0.203	0.166	46.82	0.02	0.56
N.C. BARRIADA SAN CRISTOBAL	0.39	0.022	0.417	0.341	58.58	0.04	1.15
N.C. CMNO. SAN CRISTOBAL	0.88	0.051	0.945	0.773	54.43	0.10	2.60
N.C. CEMENTERIO	0.07	0.004	0.072	0.059	66.38	0.01	0.20
N.C. EL FARO	0.32	0.019	0.347	0.284	88.30	0.03	0.95
N.C. CRUCE PALMITAS	0.08	0.004	0.083	0.068	30.00	0.01	0.23
N.C. JOSE AGUIAR	0.07	0.004	0.075	0.061	39.99	0.01	0.21
N.C. RUIZ DE PADRÓN	0.06	0.003	0.060	0.049	36.96	0.01	0.16
N.C. ESCUELA IDIOMAS	0.84	0.048	0.902	0.738	32.94	0.13	2.48
N.C. CENTRO SALUD	0.07	0.004	0.071	0.058	26.94	0.01	0.19
SECTOR_6 (EL MOLINITO)							
NUDOS DE CONSUMO	Q MEDIO FACTURADO	% NUDO	Q PERDIDO NUDOS (l/s)	Q FUGADO NUDOS (l/s)	PRESIÓN NUDOS (mca)	C. EMISOR	TOTAL INYECTADO (l/s)
N.C. EL MOLINITO	0.65	0.038	0.702	0.574	90.24	0.06	1.93
SECTOR_7 (LA GALLARDA)							
NUDOS DE CONSUMO	Q MEDIO FACTURADO	% NUDO	Q PERDIDO NUDOS (l/s)	Q FUGADO NUDOS (l/s)	PRESIÓN NUDOS (mca)	C. EMISOR	TOTAL INYECTADO (l/s)
N.C. BARRIO LA GALLARDA	0.83	0.048	0.891	0.729	53.08	0.10	2.45

3.2.6. Modelación de llenado de depósitos.

Conocidas las dimensiones de los depósitos que componen la red, EPANET 2.0, representa a los depósitos como recintos cilíndricos, solicitando como datos altura y diámetro. En la *Tabla 3.6*, se indican las dimensiones de cada depósito y su equivalencia en diámetro para el área de la base.

Tabla 3.6: Superficie de los depósitos y equivalencia en diámetros.

DEPÓSITO	VOLÚMEN (m³)	LARGO (m)	ANCHO (m)	ALTURA (m)	ÁREA BASE (m²)	DIÁMETRO DEPÓSITO (m)
CAÑADAS DE HURONA	2000	34	15	4	510	25.5
EL MOLINITO	200	12	6	3	72	9.6
LA HOYA_I	250	10	9	3	90	10.7
LA HOYA_II	7000	65	28	4	1820	48.1
LA GALLARDA	2000	30	18	4	540	26.2
LAS GALANAS	250	10	9	3	90	10.7
EL LANGRERO	250	12	8	3	96	11.1
CÁMARA DE ROTURA	50	5	5	2	25	5.6

La totalidad de los depósitos de la red, independientemente de si poseen regulación a la entrada, son llenados por la parte superior, provocando que el punto de descarga no se encuentre afectado por la cantidad de agua almacenada en ese momento en el depósito, (Esquema reflejado en la *Figura 3.3*).

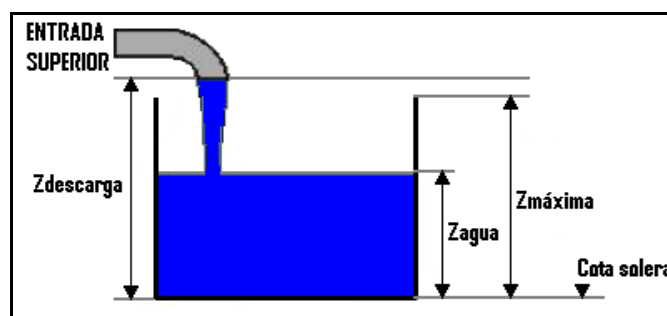


Figura 3.3: Esquema representativo de la independencia entre el punto de descarga y el volumen almacenado en un depósito con entrada superior.

Para poder representar en el modelo matemático la entrada superior, sin afectar a los cálculos, se debe modelar el llenado de los depósitos de una forma particular:

Justo antes de la entrada al depósito se incluye una válvula sostenedora de presión (VSP) tarada a cero "0", para simular la descarga a la atmósfera en ese punto. La altura de la válvula debe ser la misma que la tubería de entrada ($Z_{descarga}$).

La tubería de salida se conecta por la parte inferior, a la cota de la solera.

El nivel de agua en el depósito (Zagua) variará en cada instante de tiempo en función de los volúmenes entrantes y salientes.

La diferencia entre la tubería de descarga y el nivel de la lámina de agua, representa la altura del chorro de agua que entra en el depósito.

Suponiendo que la altura máxima del depósito ($Z_{\text{máxima}}$), sea superior a la altura de la tubería de entrada (Z_{descarga}), se debe incluir una válvula de retención en el modelo para evitar el retorno del agua hacia la tubería de entrada cuando el nivel de la lámina de agua, supere su altura.

De esta forma se han modelado los siete depósitos y la cámara de rotura presentes en la red, introduciendo en cada caso sus respectivos datos.

3.2.7. Modelación de las bombas.

Se desconoce la curva característica de las bombas instaladas en el sistema, conociéndose únicamente por parte del operario encargado de la regulación, el caudal teórico que aportan a una determinada altura.

Por ese motivo, se ha modelado el funcionamiento de las bombas en el sistema, mediante una curva característica de un solo punto (altura [H_n] - caudal [Q_n]) conocido, que representa el punto de funcionamiento de la bomba.

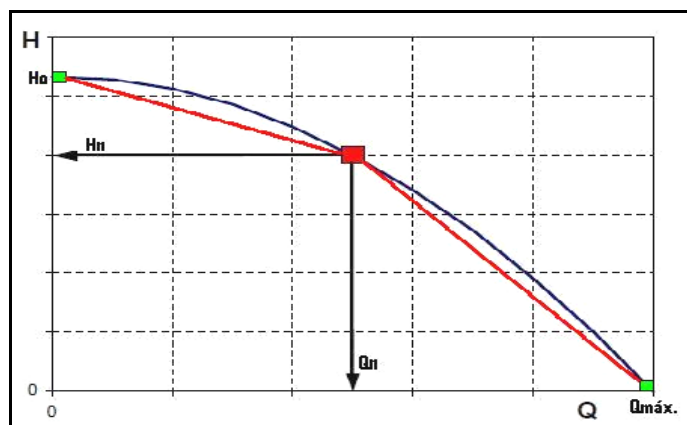


Figura 3.4: Esquema representativo de una curva de un solo punto.

En este caso y para obtener la curva, EPANET 2.0 añade un punto anterior [H_o], suponiendo que la altura a caudal cero es el 133% de la altura nominal y un punto posterior suponiendo, que el caudal máximo [$Q_{\text{máx}}$] a altura cero es el doble del caudal nominal.

3.2.8. Introducción de controles simples y programados.

Se han introducido controles simples para simular el funcionamiento de las válvulas de boya en los depósitos que tiene su entrada regulada mediante estos dispositivos.

Introduciendo de estos controles, se indica al programa que cierre o abra la tubería de entrada al depósito, al llegar a un determinado nivel la lámina de agua, evitando el rebose por el aliviadero.

A continuación, se puede ver como ejemplo los controles simples, asociados a la cámara de rotura de presión, instalada en las proximidades del Parador de Turismo de la localidad, cuya altura máxima es de 2 metros, indicando que se cierre la entrada, si el nivel en la cámara superar los 1.9 metros y que se abra cuando el nivel sea inferior a 1.7 metros.

LINK VSP_PARADOR CLOSED IF NODE CÁMARA_ROTURA ABOVE 1.9

LINK VSP_PARADOR OPEN IF NODE CÁMARA_ROTURA BELOW 1.7

Esta secuencia de controles es válida para simular una válvula de boya instalada en cualquier depósito, modificando la tubería de entrada y los niveles correspondientes en cada caso.

Por otro lado, las reglas de control programado, permiten fijar distintas consignas a los elementos del modelo, para simular su funcionamiento en el sistema.

Se han utilizado reglas de control programado, para simular el arranque y parada diaria de las bombas a las horas determinadas según la regulación actual del sistema.

Como ejemplo se indica a continuación la secuencia programada que afecta a la bomba del pozo de Raspaderos, con un funcionamiento diario de 14 horas, arrancando a las 6:00 am y parando a las 8:00 pm.

RULE 1

IF SYSTEM CLOCKTIME >= 8 PM THEN PUMP RASPADEROS STATUS IS CLOSED

RULE 2

IF SYSTEM CLOCKTIME >= 6 AM THEN PUMP RASPADEROS STATUS IS OPEN

En la secuencia anterior se ordena al programa en la primera regla (*RULE 1*), que la bomba de Raspaderos, permanezca parada a partir de las 8:00 de la tarde y mediante la segunda regla (*RULE 2*) se ordena el arranque de la bomba a partir de las 6 de la mañana.

Las reglas de control se encuentran numerada, teniendo prioridad las primeras sobre las siguientes, pudiendo introducirse tantas reglas como sea necesario para controlar los distintos elementos del sistema, haciendo referencia a cada uno de ellos.

3.2.9. Solución de puntos de funcionamiento problemático.

A la hora de introducir datos al modelo han aparecido varios problemas en puntos localizados de la red.

→ Sondeos Enchereda: No se dispone de datos sobre las bombas instaladas ni de las curvas caudal-altura, por lo que han tenido que ser simuladas como nudos de consumo con demanda negativa simulando la introducción de caudal a la red, ya que si se conocen las aportaciones medias diarias de cada uno de estos sondeos.

Suponiendo una inyección horaria constante, y para evitar que se vean afectados estos nudos por la curva de modulación horaria introducida en el modelo, se ha definido un patrón de consumo constante denominado *PATRON_SONDEO*, que afecta únicamente a los tres nudos que representan los sondeo de Enchereda.

→ Problema de diseño y funcionamiento en el Subsistema_2:

Como se adelantó en el *apartado 2.4.2* de este mismo estudio, el último tramo de la conducción que conecta el depósito de Las Cañadas de Hurona con del depósito de La Hoya_2, funciona en lámina libre.

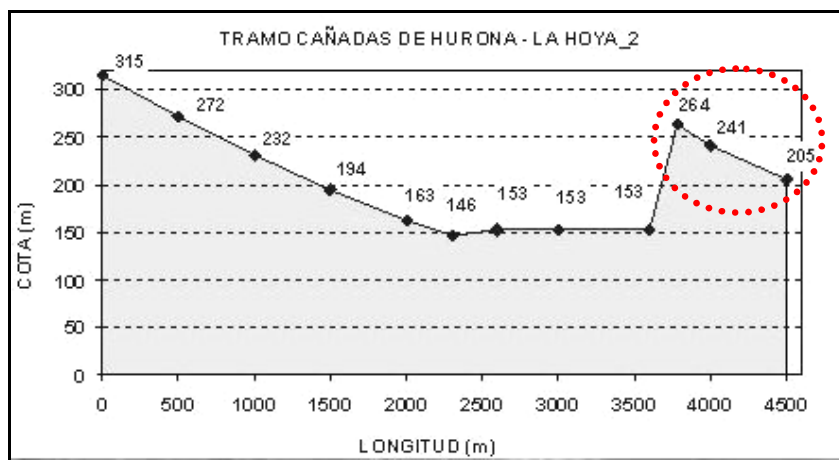


Figura 3.5: Perfil longitudinal del tramo Cañadas de Hurona – La Hoya_2.

Como se puede observar en el perfil longitudinal del trazado (Figura 3.5), aproximadamente a 900 metros del final existe un fuerte desnivel donde la conducción pasa de cota 153 a cota 264 metros, en una longitud de tan sólo

280 metros. Ese brusco desnivel, junto a la falta de regulación a la entrada del depósito de La Hoya_2 (punto final del tramo) y la instalación de una ventosa en el punto de cota 264 metros (favoreciendo la entrada de aire a la tubería), provoca que en su último tramo antes de entrar en el depósito de La Hoya_2, el funcionamiento de la conducción sea en lámina libre.

Como se indicó en apartados anteriores, EPANET 2.0 siempre considera tubo lleno por lo que para poder simular correctamente el funcionamiento de ese tramo, ha sido necesario instalar una VSP con consiga cero "0" simulando una descarga a presión atmosférica en el punto donde se encuentra situada la ventosa.

3.3. MODELO DE SIMULACIÓN. ANÁLISIS DE DISTINTOS ESCENARIOS

Una vez conocido el funcionamiento de EPANET 2.0 y las distintas fases de desarrollo del modelo en los apartados anteriores, se dispone de un modelo inicial sin calibrar al no disponerse de medios para la toma de mediciones adicionales que permitan su correcta validación.

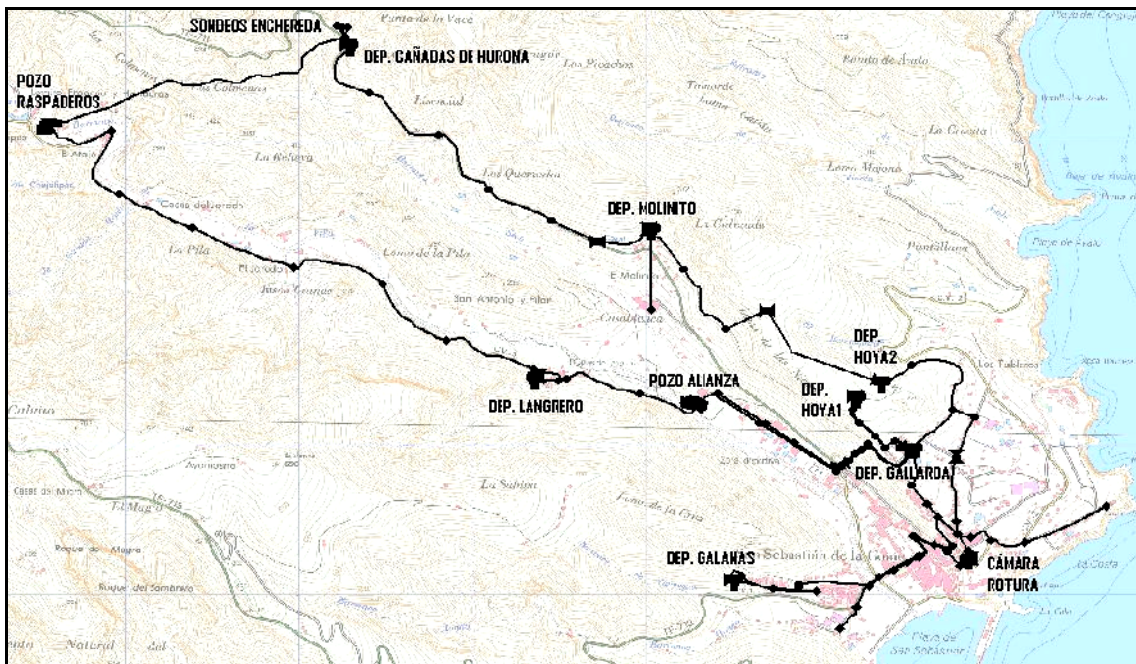


Figura 3.6: Esquema del trazado de la red en el modelo.

Siendo conscientes de esta limitación, la utilización del modelo inicial confeccionado para este trabajo, podrá ser utilizada para realizar:

Simulaciones en régimen permanente para analizar las presiones en la red en episodios punta y valle.

Así como, realizar simulaciones dinámicas, con el fin de analizar la evolución temporal de los volúmenes almacenados en los depósitos, verificando si los resultados obtenidos, se corresponden con el comportamiento dinámico actual de la red de la localidad.

3.3.1. Resultados gráficos del modelo de simulación.

En este subapartado, se expondrán distintos resultados gráficos extraídos del modelo, que representan el funcionamiento actual de la red, mediante simulaciones tanto en régimen permanente como dinámicas con una duración total de 72 horas.

Para comenzar, el balance global de caudales en la red (*Figura 3.7*), refleja las variaciones de caudal consumido (verde) por efecto de la modulación de caudales, produciéndose el consumo máximo de las 8:00 a las 9:00 horas de cada día. Por otra parte se observa, estabilidad en los caudales producidos (rojo) con picos diarios durante las dos horas (de 6:00 a 8:00) en que se solapa el funcionamiento de las dos bombas del Pozo de La Alianza y la bomba del pozo de Raspaderos.

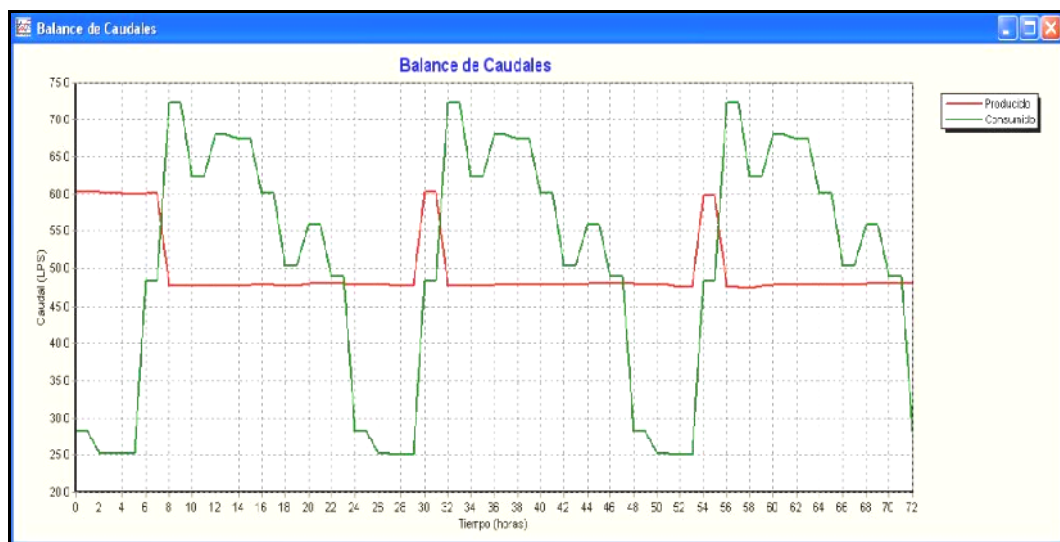


Figura 3.7: Balance de caudales del sistema en simulación de 72 horas.

Observando los caudales en las bombas (*Figura 3.8*), se puede comprobar el correcto funcionamiento de los controles programados, parando diariamente la bomba de La Alianza2 desde las 8:00 hasta las 20:00 horas y la bomba de Raspaderos desde las 20:00 hasta las 6:00 del día siguiente.

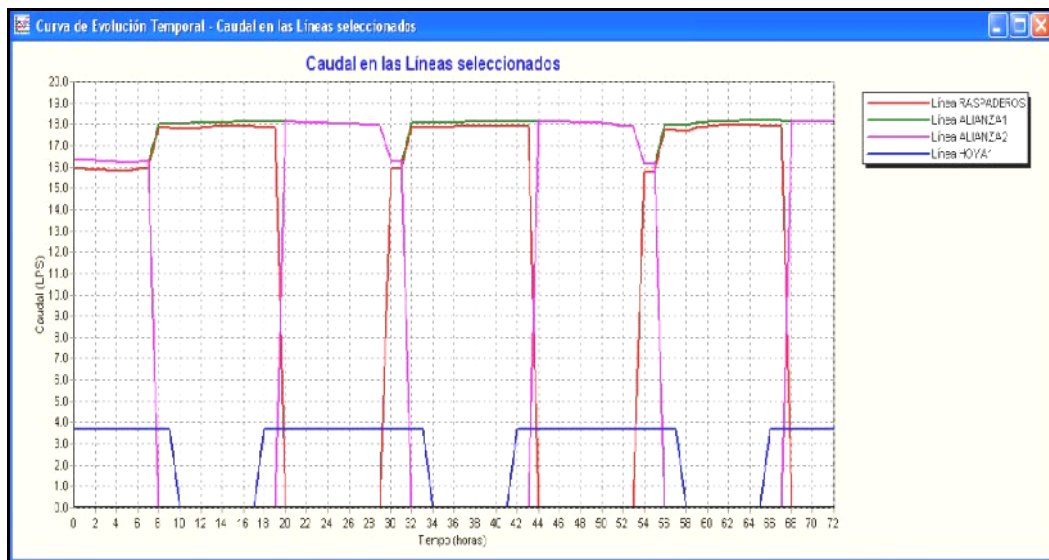


Figura 3.8: Evolución de caudales en bombas del sistema en simulación de 72 horas.

Para analizar la evolución temporal de las demandas (Figura 3.9), se han tomado cuatro nudos de consumo representativos de distintos sectores. Distinguiéndose por su alto caudal demandado el Nudo ARMAS_FDEZ (verde), ubicado en el Sector_2 (casco urbano) donde se concentran con diferencia las mayores demandas al tener que abastecer a la mayor cantidad de población junto a los consumos comerciales de la localidad

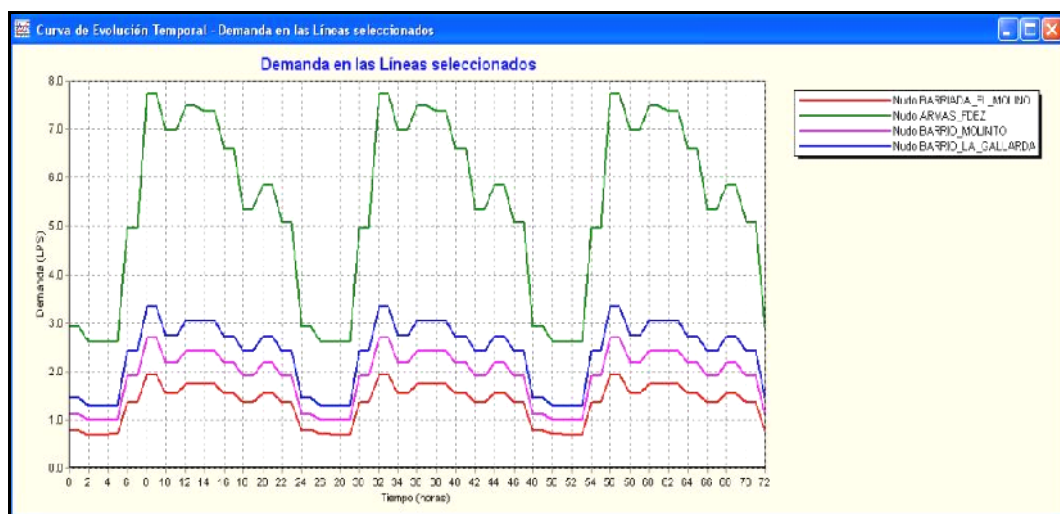


Figura 3.9: Evolución de la demanda en nudos del sistema en simulación de 72 horas.

Analizando las presiones en los mismos cuatro nudos representativos de distintos sectores se aprecia la relación existente entre la demanda y la presión, observando como en los instantes en los que aumenta la demanda (Figura 3.9), disminuye la presión (Figura 3.10). Esta relación no se cumple en el nudo BARRIADA_EL_MOLINO (rojo), debido a que este nudo se encuentra en las proximidades de la cámara de

rotura de carga (Sector_1), viéndose afectado por el cierre y apertura de la válvula de boya que regula la entrada a la cámara, provocando esos característicos picos de presión.

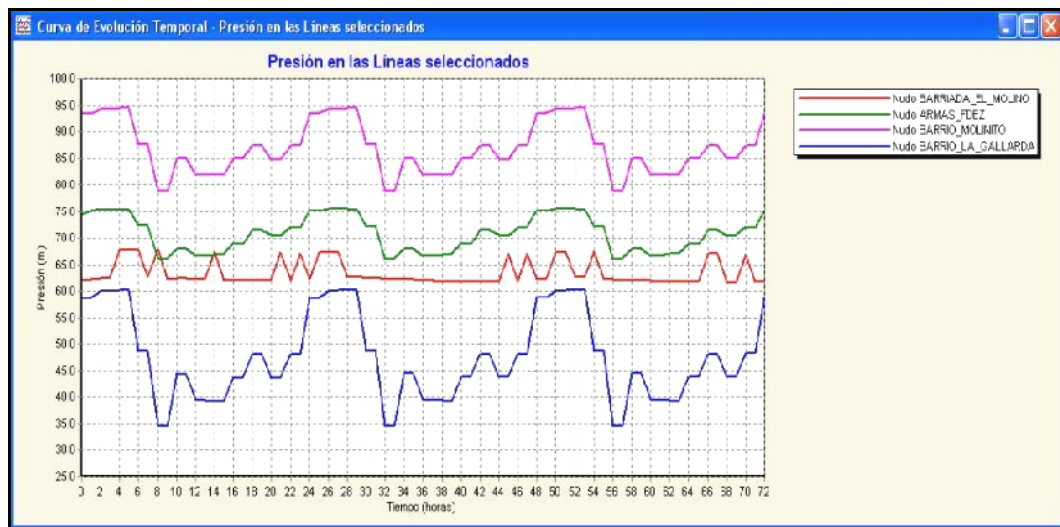


Figura 3.10: Evolución de presiones en nodos del sistema en simulación de 72 horas.

La evolución temporal de niveles en los depósitos de cabecera (Figura 3.11), representa, tanto en el depósito del Subsistema_1 (DEP_GALLARDA), como en los depósitos del Subsistema_2 (DEP_HURONA y DEP_HOYA_2) un ligero, pero continuo descenso de niveles en ambos subsistemas.

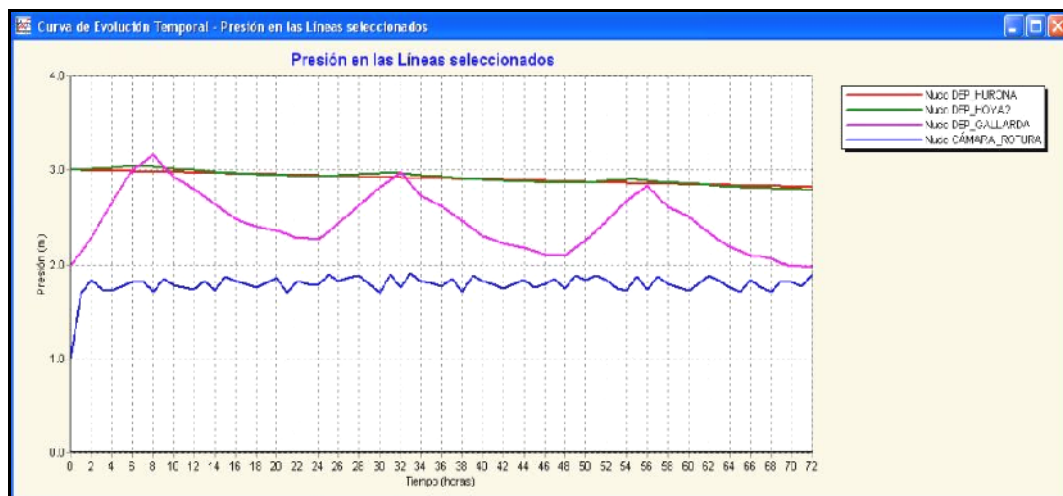


Figura 3.11: Evolución de niveles en los depósitos de cabecera del sistema en simulación de 72 horas.

Por otra parte, mientras los depósitos de cabecera no queden vacíos, se puede apreciar en la Figura 3.12, que los depósitos secundarios que abastecen a barrios, mantienen un funcionamiento correcto sin perder nivel almacenado

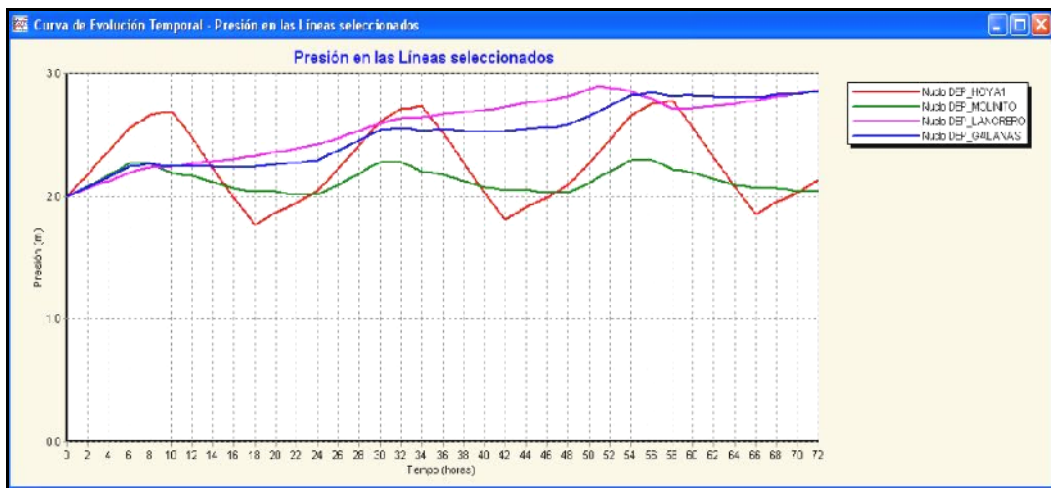


Figura 3.12: Evolución de niveles en los depósitos secundarios del sistema en simulación de 72 horas.

3.3.2. Análisis de presiones en régimen permanente.

Se ha realizado una simulación en régimen permanente de la red con el fin de conocer las presiones y demandas en los nudos para un estado normal de funcionamiento, obteniéndose el gráfico de contorno de presiones que refleja la Figura 3.13, donde se puede apreciar con claridad, el efecto de no encontrarse regulada la entrada al depósito de La Hoya_2 marcándose en rojo la zona de funcionamiento en lámina libre descrita en apartados anteriores. A parte, también se observa que las presiones son de forma general, suficientes en toda la red, incluso excesivas en el Sector_6 (barrio del Molinito) y en la parte final del Sector_3 (barranco San Sebastián) con zonas del trazado que superan los 100 m.c.a.

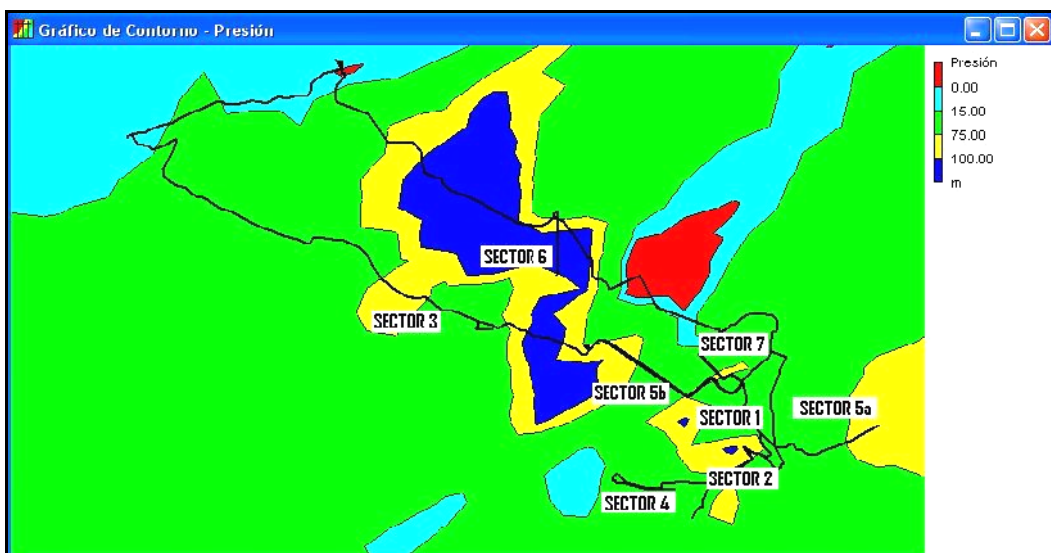


Figura 3.13: Gráfico de presiones en la red en régimen permanente indicando sectores.

Para un factor de demanda (Fd) igual a 1, representando un funcionamiento normal de la red, y con el fin de analizar de manera más detallada las presiones, se han reflejado en la *Tabla 3.7* los valores numéricos de demanda y presión en cada uno de los nudos de consumo, que componen los distintos sectores.

Tabla 3.7: Resultados de la simulación en régimen permanente, Fd=1.

SECTOR_1 ORILLA DEL LLANO	Demanda (l/s)	Presión (m.c.a.)
Conexión ROQUE_S/S	0.42	30.1
Conexión OJILA	0.53	40.75
Conexión ORILLA_DEL_LLANO	0.93	53.2
Conexión BARRIADA_EL_MOLINO	1.06	61.79
Conexión CURVA_PARADOR	0.68	66.64
SECTOR_2 CASCO URBANO	Demanda (l/s)	Presión (m.c.a.)
Conexión LA_PISTA	2.21	26.89
Conexión PISTA_PALMITAS	1.1	41.56
Conexión LA_LUZ	0.56	68.6
Conexión PLAZA_IGLESIA	3.5	74.7
Conexión 4_CAMINOS	5.52	74.32
Conexión ARMAS_FDEZ	3.88	73.19
Conexión EL_CALVARIO	2.94	69.12
Conexión ENTRADA_CONCEPCIÓN	0.16	62.12
Conexión BARRANCO_CONCEPCIÓN	0.42	67.12
SECTOR_3 BCO. SAN SEBASTIÁN	Demanda (l/s)	Presión (m.c.a.)
Conexión ATAJO	0.17	22.13
Conexión JORADO	0.24	48.52
Conexión SAN_BARTOLO	0.42	59.74
Conexión SAN_ANTONIO	0.05	86.24
Conexión BARRIO_EL_LANGRERO	0.62	38.28
SECTOR_4 LAS GALANAS	Demanda (l/s)	Presión (m.c.a.)
Conexión BARRIO_LAS_GALANAS	1.17	59.18
SECTOR_5 LA LOMADA_J. AGUIAR	Demanda (l/s)	Presión (m.c.a.)
Conexión CRUCE_PALMITAS	0.17	30
Conexión JOSE_AGUIAR	0.16	39.98
Conexión RUIZ_DE_PADRÓN	0.14	36.94
Conexión ESCUELA_IDIOMAS	1.97	32.92
Conexión CENTRO_SALUD	0.15	26.92
Conexión CMNO_PUNTALLANA	1.02	30
Conexión CANCHA_LOMADA	0.41	46.9
Conexión BARRIADA_SAN_CRISTOBAL	0.87	58.68
Conexión CMNO_SAN_CRISTOBAL	2.02	54.54
Conexión CENENTERIO	0.18	66.48
Conexión FARO	0.75	88.41
SECTOR_6 EL MOLINITO	Demanda (l/s)	Presión (m.c.a.)
Conexión BARRIO_MOLINITO	1.52	90.8
SECTOR_7 LA GALLARDA	Demanda (l/s)	Presión (m.c.a.)
Conexión BARRIO_LA_GALLARDA	1.94	53.97

Con el fin de analizar y comprobar si existen presiones suficientes en la red, se ha simulado un escenario punta aplicando al modelo un factor punta de 2.6, representando la *Tabla 3.8* los valores numéricos de demandas y presiones en cada nudo de consumo, resultantes de dicha simulación.

Tabla 3.8: Resultados de la simulación en régimen permanente, Fpunta=2.6.

SECTOR_1 ORILLA DEL LLANO	Demanda (l/s)	Presión (m.c.a.)
Conexión ROQUE_S/S	0.83	29.56
Conexión OJILA	1.06	40.17
Conexión ORILLA_DEL_LLANO	1.83	52.56
Conexión BARRIADA_EL_MOLINO	2.13	61.13
Conexión CURVA_PARADOR	1.38	65.97
SECTOR_2 CASCO URBANO	Demanda (l/s)	Presión (m.c.a.)
Conexión LA_PISTA	4.26	26.64
Conexión PISTA_PALMITAS	2.14	40.48
Conexión LA_LUZ	1.05	65.18
Conexión PLAZA_IGLESIA	6.69	69.08
Conexión 4_CAMINOS	10.53	67.78
Conexión ARMAS_FDEZ	7.4	66.33
Conexión EL_CALVARIO	5.58	62.11
Conexión ENTRADA_CONCEPCIÓN	0.28	55.11
Conexión BARRANCO_CONCEPCIÓN	0.82	60.1
SECTOR_3 BCO. SAN SEBASTIÁN	Demanda (l/s)	Presión (m.c.a.)
Conexión ATAJO	0.38	21.38
Conexión JORADO	0.52	47.77
Conexión SAN_BARTOLO	0.84	59.01
Conexión SAN_ANTONIO	0.1	85.62
Conexión BARRIO_EL_LANGRERO	1.22	36.52
SECTOR_4 LAS GALANAS	Demanda (l/s)	Presión (m.c.a.)
Conexión BARRIO_LAS_GALANAS	2.27	49.74
SECTOR_5 LA LOMADA_J. AGUIAR	Demanda (l/s)	Presión (m.c.a.)
Conexión CRUCE_PALMITAS	0.35	30
Conexión JOSE_AGUIAR	0.33	39.94
Conexión RUIZ_DE_PADRÓN	0.28	36.81
Conexión ESCUELA_IDIOMAS	3.91	32.71
Conexión CENTRO_SALUD	0.31	26.71
Conexión CMNO_PUNTALLANA	2.05	30
Conexión CANCHA_LOMADA	0.85	43.94
Conexión BARRIADA_SAN_CRISTOBAL	1.77	55.11
Conexión CMNO_SAN_CRISTOBAL	4.03	50.6
Conexión CENENTERIO	0.34	62.43
Conexión FARO	1.49	84.18
SECTOR_6 EL MOLINITO	Demanda (l/s)	Presión (m.c.a.)
Conexión BARRIO_MOLINITO	2.98	74.7
SECTOR_7 LA GALLARDA	Demanda (l/s)	Presión (m.c.a.)
Conexión BARRIO_LA_GALLARDA	3.66	27.89

En la *Tabla 3.9*, se indican los valores de demandas y presiones con el fin de analizar la presencia de presiones excesivas, al realizar la simulación de un escenario valle con un factor (F_{valle}) igual a 0.2.

Tabla 3.9: Resultados de la simulación en régimen permanente, $F_{valle}=0.2$.

SECTOR_1 ORILLA DEL LLANO	Demanda (l/s)	Presión (m.c.a.)
Conexión ROQUE_S/S	0.22	30.36
Conexión OJILA	0.26	41.03
Conexión ORILLA_DEL_LLANO	0.48	53.51
Conexión BARRIADA_EL_MOLINO	0.53	62.11
Conexión CURVA_PARADOR	0.33	66.97
SECTOR_2 CASCO URBANO	Demanda (l/s)	Presión (m.c.a.)
Conexión LA_PISTA	1.19	26.97
Conexión PISTA_PALMITAS	0.58	41.86
Conexión LA_LUZ	0.31	69.56
Conexión PLAZA_IGLESIA	1.89	76.27
Conexión 4_CAMINOS	2.99	76.15
Conexión ARMAS_FDEZ	2.1	75.11
Conexión EL_CALVARIO	1.6	71.09
Conexión ENTRADA_CONCEPCIÓN	0.1	64.09
Conexión BARRANCO_CONCEPCIÓN	0.22	69.09
SECTOR_3 BCO. SAN SEBASTIÁN	Demanda (l/s)	Presión (m.c.a.)
Conexión ATAJO	0.07	22.5
Conexión JORADO	0.1	48.9
Conexión SAN_BARTOLO	0.21	60.11
Conexión SAN_ANTONIO	0.03	86.56
Conexión BARRIO_EL_LANGRERO	0.32	38.78
SECTOR_4 LAS GALANAS	Demanda (l/s)	Presión (m.c.a.)
Conexión BARRIO_LAS_GALANAS	0.61	61.83
SECTOR_5 LA LOMADA J. AGUIAR	Demanda (l/s)	Presión (m.c.a.)
Conexión CRUCE_PALMITAS	0.08	30
Conexión JOSE_AGUIAR	0.08	39.99
Conexión RUIZ_DE_PADRÓN	0.08	36.98
Conexión ESCUELA_IDIOMAS	0.99	32.98
Conexión CENTRO_SALUD	0.07	26.98
Conexión CMNO_PUNTALLANA	0.51	30
Conexión CANCHA_LOMADA	0.19	47.7
Conexión BARRIADA_SAN_CRISTOBAL	0.42	59.64
Conexión CMNO_SAN_CRISTOBAL	1	55.6
Conexión CENENTERIO	0.1	67.58
Conexión FARO	0.38	89.56
SECTOR_6 EL MOLINITO	Demanda (l/s)	Presión (m.c.a.)
Conexión BARRIO_MOLINITO	0.77	95.22
SECTOR_7 LA GALLARDA	Demanda (l/s)	Presión (m.c.a.)
Conexión BARRIO_LA_GALLARDA	1.03	61.65

Una vez obtenidos los valores de demanda y presión en los distintos escenarios, normal, valle y punta, se procede en la *Tabla 3.10* a realizar una comparativa de los valores de presión en los escenarios punta y valle, respecto al escenario de

funcionamiento normal. Comparando por un lado los descensos de presión producidos en el escenario punta y los aumentos producidos en el escenario valle.

Tabla 3.10: Comparativa de presiones para los distintos escenarios propuestos.

	Fd=1	Fpunta=2.6		Fvalle=0.2	
	Presión (m.c.a.)	Presión (m.c.a.)	Descenso Presiones (m.c.a.)	Presión (m.c.a.)	Incremento Presiones (m.c.a.)
SECTOR_1 ORILLA DEL LLANO					
Conexión ROQUE_S/S	30.1	29.56	-0.54	30.36	0.26
Conexión OJILA	40.75	40.17	-0.58	41.03	0.28
Conexión ORILLA_DEL_LLANO	53.2	52.56	-0.64	53.51	0.31
Conexión BARRIADA_EL_MOLINO	61.79	61.13	-0.66	62.11	0.32
Conexión CURVA_PARADOR	66.64	65.97	-0.67	66.97	0.33
SECTOR_2 CASCO URBANO					
Conexión LA_PISTA	26.89	26.64	-0.25	26.97	0.08
Conexión PISTA_PALMITAS	41.56	40.48	-1.08	41.86	0.3
Conexión LA_LUZ	68.6	65.18	-3.42	69.56	0.96
Conexión PLAZA_IGLESIA	74.7	69.08	-5.62	76.27	1.57
Conexión 4_CAMINOS	74.32	67.78	-6.54	76.15	1.83
Conexión ARMAS_FDEZ	73.19	66.33	-6.86	75.11	1.92
Conexión EL_CALVARIO	69.12	62.11	-7.01	71.09	1.97
Conexión ENTRADA_CONCEPCIÓN	62.12	55.11	-7.01	64.09	1.97
Conexión BARRANCO_CONCEPCIÓN	67.12	60.1	-7.02	69.09	1.97
SECTOR_3 BCO. SAN SEBASTIÁN					
Conexión ATAJO	22.13	21.38	-0.75	22.5	0.37
Conexión JORADO	48.52	47.77	-0.75	48.9	0.38
Conexión SAN_BARTOLO	59.74	59.01	-0.73	60.11	0.37
Conexión SAN_ANTONIO	86.24	85.62	-0.62	86.56	0.32
Conexión BARRIO_EL_LANGRERO	38.28	36.52	-1.76	38.78	0.5
SECTOR_4 LAS GALANAS					
Conexión BARRIO_LAS_GALANAS	59.18	49.74	-9.44	61.83	2.65
SECTOR_5 LA LOMADA J. AGUIAR					
Conexión CRUCE_PALMITAS (VRP)	30	30	0	30	0
Conexión JOSE_AGUIAR	39.98	39.94	-0.04	39.99	0.01
Conexión RUIZ_DE_PADRÓN	36.94	36.81	-0.13	36.98	0.04
Conexión ESCUELA_IDIOMAS	32.92	32.71	-0.21	32.98	0.06
Conexión CENTRO_SALUD	26.92	26.71	-0.21	26.98	0.06
Conexión CMNO_PUNTALLANA (VRP)	30	30	0	30	0
Conexión CANCHA_LOMADA	46.9	43.94	-2.96	47.7	0.8
Conexión BARRIADA_SAN_CRISTOBAL	58.68	55.11	-3.57	59.64	0.96
Conexión CMNO_SAN_CRISTOBAL	54.54	50.6	-3.94	55.6	1.06
Conexión CENENTERIO	66.48	62.43	-4.05	67.58	1.1
Conexión FARO	88.41	84.18	-4.23	89.56	1.15
SECTOR_6 EL MOLINITO					
Conexión BARRIO_MOLINITO	90.8	74.7	-16.1	95.22	4.42
SECTOR_7 LA GALLARDA					
Conexión BARRIO_LA_GALLARDA	53.97	27.89	-26.08	61.65	7.68

Los resultados obtenidos en la comparativa de las simulaciones de los distintos escenarios, indica un comportamiento estable de las presiones, sin producirse grandes variaciones entre los escenarios punta y valle, de manera general y salvo determinadas excepciones, como puede ser el Sector_7, que sufre un descenso de presiones en el

escenario punta de aproximadamente un 50%, aunque la presión en el nudo de consumo sigue siendo suficiente (27.89 m.c.a.), para el tipo de edificación de la zona, viviendas unifamiliares de no más de 3 alturas.

Se observa también en la *Tabla 3.10*, un funcionamiento general de la red con exceso de presiones debido a la topografía del terreno por donde discurre la red, principalmente en el Sector_2 a partir del nudo de consumo de la calle de La Luz, en Sector_5 (zona de La Lomada) y el Sector_6, que abastece la barrio del Molinito, superándose en todos ellos los 60 m.c.a. en un escenario de funcionamiento normal.

3.3.3. Evolución en los depósitos. Simulación dinámica.

Los resultados sobre la evolución en los depósitos al realizar una simulación dinámica durante una semana (144 horas) en el modelo, para los depósitos de cabecera, y depósitos que abastecen a barrios, son los siguientes.

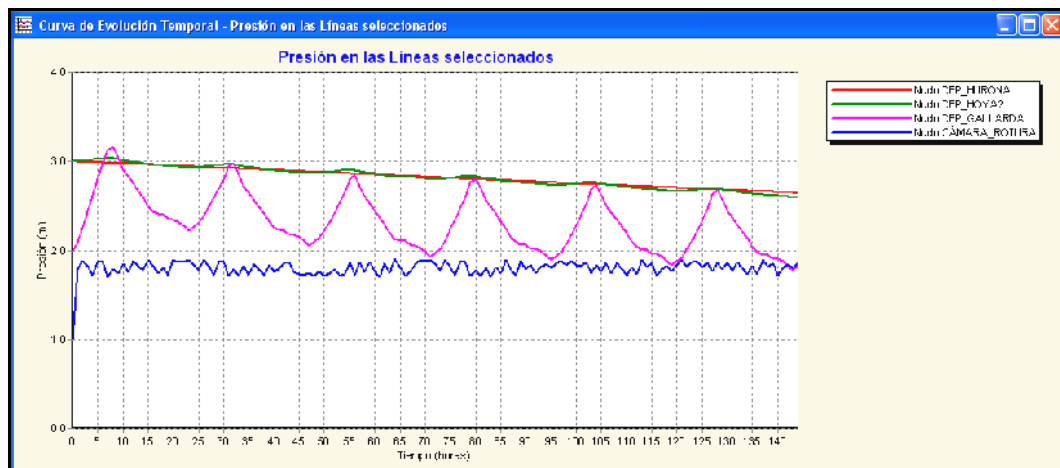


Figura 3.14: Simulación dinámica de una semana depósitos de cabecera.

Los depósitos de cabecera tienen tendencia a vaciarse a lo largo del tiempo (*Figura 3.9*), la simulación ha partido de un nivel inicial de 3 metros de altura en cada uno de los depósitos y 1 metro de altura en la cámara de rotura de carga situada en el parador de turismo.

Esa tendencia a vaciarse, se corresponde con la información aportada por el operario de la red y se compensa aumentando las horas de bombeo en el Subsistema1, para recuperar el depósito de La Gallarda, y la aportación de un volumen extra por parte del Consejo Insular de Aguas de La Gomera, al Subsistema2 para recuperar los depósitos de Cañadas de Hurona y La Hoya_2.

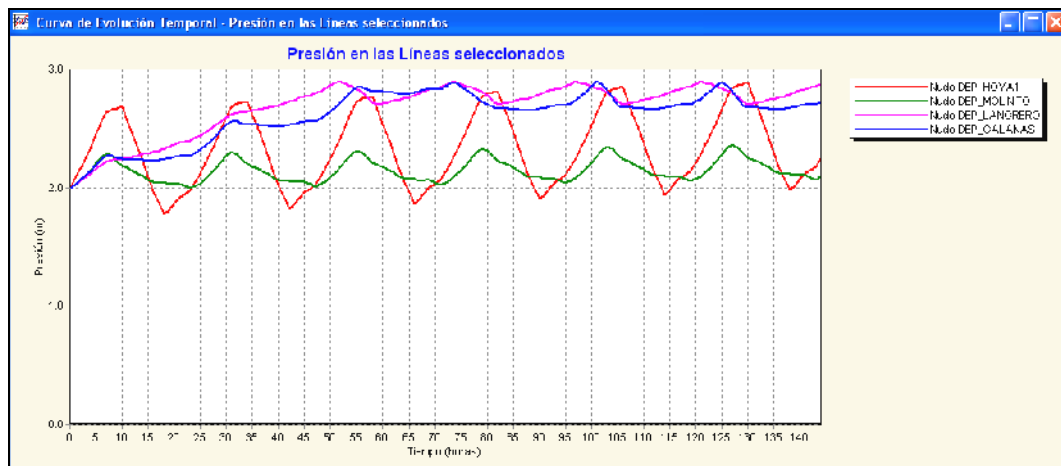


Figura 3.15: Simulación dinámica de una semana depósitos secundarios.

Por otra parte los depósitos que abastecen a barrios, se comportan de manera estable entre niveles normales de 2 y 3 metros, siendo este valor, la altura máxima de todos ellos.

Desconectando en el modelo las aportaciones a la red, se ha analizado el tiempo de vaciado de los depósitos, con el fin de conocer el tiempo máximo de actuación, ante un eventual fallo en el sistema de bombeo, obteniendo los resultados siguientes.

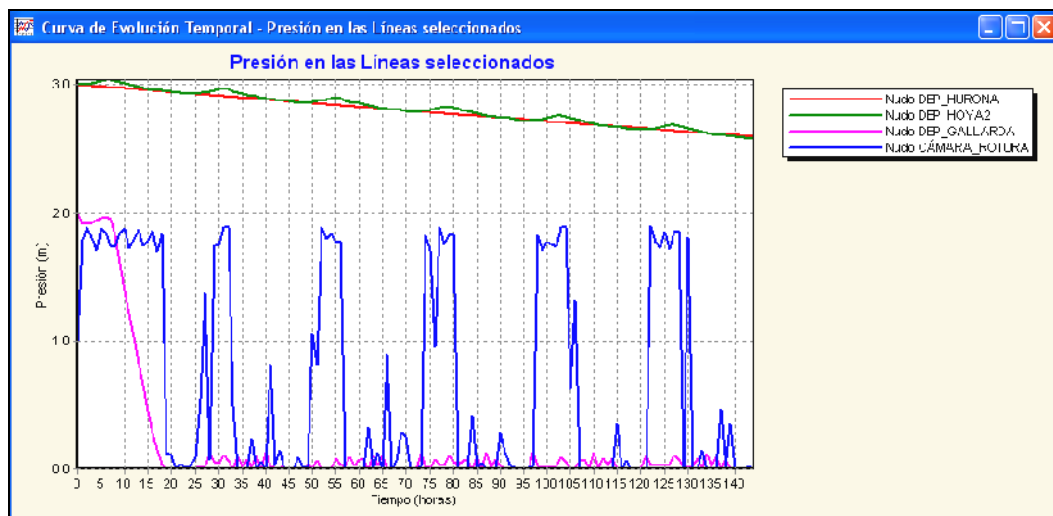


Figura 3.16: Tiempo de vaciado de los depósitos de cabecera.

Al desconectar las bombas que abastecen al Subsistema1, como se puede apreciar en la Figura 3.16, el depósito de cabecera de La Gallarda, que soporta la mayor carga de consumos abasteciendo al Sector_2, se vacía en 18 horas, desconectando el sistema y provocando el vaciado de la cámara de rotura de carga.

Por otro lado, los depósitos del Subsistema2, aún continuando con la tendencia negativa, no llegan a vaciarse en el tiempo de simulación estudiado (144 horas) al

desconectar las aportaciones de los sondeos de Enchereda, debido a su gran capacidad de almacenamiento, y su menor carga de consumos.

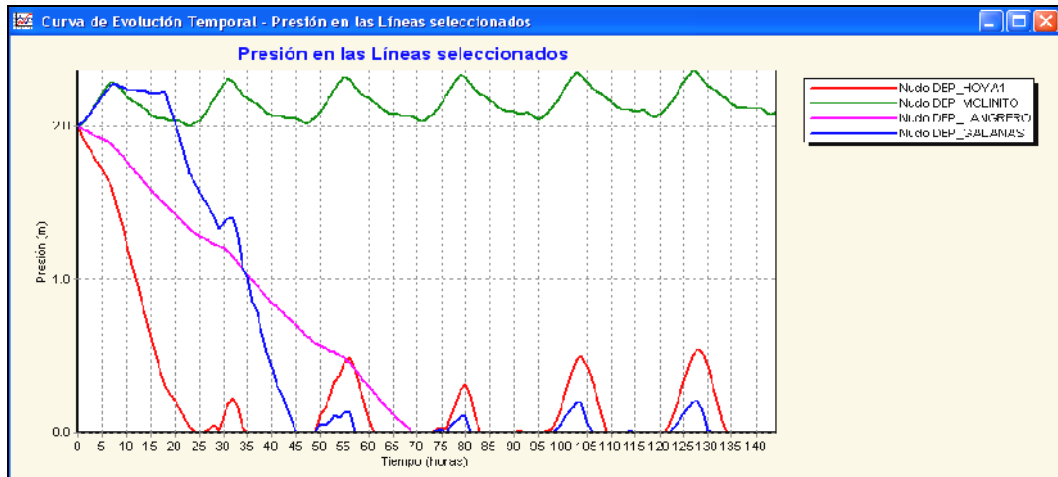


Figura 3.17: Tiempo de vaciado de los depósitos que abastecen a barrios.

El depósito de La Hoya1, que se alimenta del depósito de La Gallarda mediante bombeo, se vacía en un tiempo de 24 horas desde que se produce el corte de las aportaciones al sistema, el depósito de Las Galanas, se descarga a las 45 horas y en el depósito del Langrero, este hecho se produce a las 68 horas de cortar las aportaciones.

Respecto al depósito del Molinito, mantiene su nivel, debido a que está abastecido desde el depósito de las Cañadas de Hurona en el Subsistema2, que como se comentó en la Figura 3.16, en el tiempo de simulación analizado, no llega a vaciarse debido a su gran volumen respecto a la carga de consumos que soporta.

3.3.4. Estimación del coste energético de bombeo

El cálculo de la energía consumida por las bombas del sistema se obtiene al calcular la potencia absorbida por el elemento en cada instante, multiplicado por la duración de dicho instante:

$$E = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H}{\eta} \Delta t = \frac{9.81 \cdot Q \cdot H \cdot \Delta t}{60 \cdot \eta}$$

Siendo: γ = el peso específico del agua (9810 N/m³), Q = el caudal impulsado, en m³/s, H = la altura manométrica aportada por la bomba, en m.c.a., η = rendimiento del conjunto formado por la bomba y el motor eléctrico y t = el intervalo de cálculo elegido, en minutos.

Se ha utilizado, para la estimación del coste de la energía, una tarifa eléctrica general de estructura binaria, con un término de facturación de potencia fijo, de 4.95 €/kW*mes, y un término de facturación de energía dependiente del tiempo de funcionamiento con un precio base de 0,075 €/kWh.

Aplicando sobre el término de facturación de energía, los siguientes complementos diarios por discriminación horaria:

En horas valle (00:00 → 08:00 horas) un descuento del 43% sobre el precio base.

En horas punta (12:00 → 16:00 horas) un recargo del 70% sobre el precio base

El resto del día (de 08:00 → 12:00 y de 16:00 → 24:00 horas) al precio base, sin recargos ni descuentos

Introduciendo en el modelo los datos estimados del coste de la energía, se han extraído los resultados reflejados en la *Tabla 3.11*, realizando una simulación del estado actual de funcionamiento de la red, con el propósito de obtener valores de referencia que permitan comparar económicamente un cambio en la estrategia de regulación general de la red.

Tabla 3.11: Estimación del coste energético de la red según funcionamiento actual.

INFORME DE CONSUMO DE ENERGÍA EN FUNCIONAMIENTO ACTUAL.						
BOMBA	PORCENTAJE UTILIZACIÓN	RENDIMIENTO MEDIO	kW·h/m ³	POTENCIA MEDIA (KW)	POTENCIA MÁX (KW)	COSTE (€/día)
RASPADEROS	62.5	75	0.37	23.26	23.58	28.96
ALIANZA1	100	75	0.62	39.99	40.37	70.3
ALIANZA2	50.01	75	0.62	39.58	40.37	25.51
HOYA1	65.09	75	0.42	5.49	5.53	5.02
<i>TÉRMINO ENERGÍA</i>						<i>129.78</i>
<i>TÉRMINO DE POTENCIA</i>						<i>517</i>

Con todo ello, el coste energético estimado de la red es aproximadamente de 647 €/día, obtenido al sumar los términos de potencia y energía, lo que supone un coste mensual energético de 19410 €/mes.

4. PROPUESTAS DE MEJORA DE LA RED

La falta de información y conocimiento, de la red de abastecimiento de la localidad de San Sebastián de la Gomera, tiene su origen en algunos puntos clave:

La cartografía referente a la red, se encuentra desactualizada o es inexistente.

Las modificaciones y ampliaciones efectuadas en la red en los últimos tiempos no se han integrado a la cartografía de la localidad, entre otros motivos por el tipo de formato manejado, principalmente planos en papel que no se han unificado en un formato digital que facilite el manejo y la organización de los mismos.

Desconocimiento real de los consumos de la red de abastecimiento y su distribución espacial.

Este desconocimiento tiene su origen en la ausencia de contadores en puntos intermedios de la red, como por ejemplo a la salida de los depósitos o entrada a los distintos sectores y a la falta de fiabilidad de las lecturas de un parque de contadores envejecido por la falta de mantenimiento.

El desconocimiento de las condiciones de instalación de algunos elementos.

Existe una escasa información sobre las maniobras de regulación en la red, esto es debido a que se opera la red sin seguir un patrón definido y de manera completamente manual por medio de un operario, encargado de mantener un funcionamiento “estable”, en la medida de lo posible con los medios disponibles. Se echa en falta información de control sobre niveles en pozos y depósitos, estado real de las válvulas del sistema, curvas características reales de los elementos, con el fin de aumentar el conocimiento sobre la red.

En este capítulo se proponen mejoras a los distintos defectos o deficiencias encontrados en la red de abastecimiento de la localidad de San Sebastián de la Gomera, analizando el beneficio de su implantación futura.

4.1. CARTOGRAFÍA GEOREFERENCIADA DE LA RED

Es necesaria la realización de una cartografía georeferenciada y actualizada de la red, que incluya inventariado de todos los elementos que la componen, principalmente en

la red en baja, donde se tiene un alto grado de desconocimiento de los trazados que están operando y los que se encuentran fuera de servicio.

Evitando la situación típica en caso de avería, de no saber la ubicación o el elemento exacto a maniobrar, aplicando la técnica “prueba-error” para liberar de presión la tubería y proceder a su reparación.

Sería muy recomendable la ejecución de un plan de normalización de elementos, donde se realice un inventario de todos los elementos que componen el sistema, indicando sus propiedades físicas y de funcionamiento, además de edades y estado de conservación.

Con el fin de cambiar, la tendencia a realizar un mantenimiento totalmente correctivo, como ocurre en la actualidad y agilizando las tareas de mantenimiento y reparación, al localizar con mayor celeridad el elemento sobre el que se debe actuar.

Asimismo sería conveniente, realizar informes detallados de incidencias cada vez que se realicen tareas de reparación o mantenimiento, sobre los elementos que componen la red, indicando el lugar, la fecha, el motivo de la incidencia, el elemento reparado y como se ha efectuado la reparación.

Permitiendo de esta manera tener una estadística de roturas y defectos por zonas, conociendo y ubicando puntos o lugares potencialmente conflictivos.

4.2. PROPUESTAS DESTINADAS AL AHORRO DE AGUA

El problema básico del sistema no es un problema de disponibilidad del recurso, es el bajo rendimiento global de la red, estimado en un 34%.

El hecho de que por parte del consistorio municipal se haya invertido en la sustitución de tramos de la red no ha mejorado este rendimiento, por lo que se proponen distintas actuaciones destinadas al ahorro de agua.

4.2.1. Valoración de la renovación del parque de contadores.

Estos elementos son básicos en la estimación del rendimiento de la red, ya que a través de ellos se toman las lecturas de salida del sistema.

La tendencia natural de los contadores, que al fin y al cabo son elementos mecánicos con una cierta tolerancia en su capacidad de medida, es a desviar su curva de error

hacia la zona del subcontaje, hecho que generalmente se agudiza con el paso de los años

Este efecto, motiva y justifica una política encaminada a la renovación y control del parque de contadores, transcurridos aproximadamente unos 10 años desde su instalación, aunque su sustitución puede ser inferior en tiempo.

El volumen de agua no registrada (VNR) por subcontaje, se estima en un 18% según encuesta AEAS (2000). Otros autores como Andrés (1993), lo estima en un 15%, Amirola (1997) en un 30% y Skarda (1997) incluso hasta en un 43%. Aún con esta variedad de estimaciones, queda claro que una actuación de renovación del parque de contadores, mejorará el rendimiento global del sistema.

Como ejemplo se han realizado cálculos muy básicos sobre una posible renovación de parque de contadores.

Se ha estimado el coste de cada aparato instalado en 60 €, teniendo en cuenta que el parque se compone de 4139 aparatos, la inversión supondría un total de 248340 €, que pueden parecer excesivos pero veamos cómo se recupera la inversión.

Siendo el VNR total de 2925 m³/día y aplicando según tarifas municipales para la facturación municipal un precio unitario del agua de abastecimiento de 1 €/m³. Se han estimado los siguientes valores en pérdidas económicas y tiempo de recuperación de la inversión inicial.

Tabla 4.1: Pérdidas generadas por el subcontaje del parque de contadores.

VALORES ESTIMADOS	m ³ DIARIOS NO FACTURADOS	PERDIDAS DIARIAS (€)	PERDIDAS ANUALES (€)	RECUPERACIÓN (AÑOS)	RECUPERACIÓN (MESES)
ANDRES 1993 (15% DEL VNR)	439	439	160133	1.6	19
AEAS 2000 (18% DEL VNR)	526	526	192159	1.3	16
AMIROLA, 1997 (30% DEL VNR)	877	877	320265	0.8	9
SKARDA, 1997 (43% DEL VNR)	1258	1258	459047	0.5	6

En la *Tabla 4.1* se indica, que las pérdidas económicas generadas por subcontaje en el parque de contadores, posibilitan a grandes números, la recuperación del capital invertido en la sustitución del parque, en periodos estimados que van desde los 6 hasta los 19 meses, en definitiva un periodo inferior a 2 años.

Existe la opción de escoger un sector piloto de la red y realizar la sustitución de los contadores, observando en un primer instante, la recuperación del volumen registrado, y posteriormente, teniendo como referencia este volumen, determinar para las características de la red estudiada, su grado de envejecimiento por el paso del tiempo,

con la intención de estimar un tiempo de sustitución adecuado para próximos cambios.

La rápida recuperación del capital invertido, unido a los defectos en la instalación y el mantenimiento del parque de contadores descritos en el capítulo 2 de este estudio, motiva una renovación general del parque de contadores, que permita:

Conocer el rendimiento real del sistema, al aumentar las lecturas y por tanto el volumen de agua registrado.

Facilitando de esta manera, una mejor estimación del balance volumétrico del sistema, minimizando el volumen de agua no registrado consumido, y permitiendo estimar mejor el nivel de fugas en la red (volumen no registrado y no consumido).

4.2.2. Valoración de la reducción de presiones en la red.

Parte del volumen no registrado de la red, se debe al agua no consumida, que comúnmente se conoce como fugas. El porcentaje estimado en los abastecimientos españoles del volumen de fugas en las redes de abastecimiento es de un 45% (AEAS, 2000).

Ese caudal fugado a través de defectos en las tuberías, depende directamente de la presión en la red, de forma que a mayor presión, mayor será el caudal fugado, según la relación.

$$Q_f = K_f \cdot p^x$$

Siendo Q_f = el caudal fugado, p = la presión en el punto de descarga, K_f = la constante de proporcionalidad y x = exponente de la presión que varía en un rango entre 0.5 y 2.5 según las dimensiones de la rotura.

Cabe recordar que el análisis de presiones realizado en el capítulo anterior (*apartado 3.3.2*), indicaba la existencia de presiones elevadas de funcionamiento generalizado en zonas concretas de la red.

Por este motivo, se ha modificado el modelo de simulación elaborado, introduciendo válvulas reductoras de presión en los distintos sectores de la red.

Se han introducido válvulas reductoras, en el Sector_2 (previo a la conexión de La Luz), Sector_3 (previo a la conexión del Langrero), Sector_4, Sector_6 y Sector_7.

Junto a las válvulas ya instaladas en el Sector_5, se ha reducido el tarado de todas a 25 m.c.a.

Estas modificaciones sobre la regulación de presiones en el modelo, ha reducido en un 10% la demanda del sistema, pasando de 37.88 l/s en la situación inicial a demandar un caudal de 34.24 l/s, una vez regulada la presión en la red.

Tabla 4.2: Demandas en los nudos de consumo en la situación actual y aplicando reducción de presiones.

NUDOS DE CONSUMO	DEMANDA SIN REGULACIÓN DE PRESIONES (l/s)	DEMANDA CON REGULACIÓN DE PRESIONES (l/s)
Conexión JOSE_AGUIAR	0.16	0.16
Conexión RUIZ_DE_PADRÓN	0.14	0.14
Conexión ESCUELA_IDIOMAS	1.97	1.91
Conexión CENTRO_SALUD	0.15	0.15
Conexión CMNO_PUNTALLANA	1.02	0.99
Conexión CANCHA_LOMADA	0.41	0.4
Conexión BARRIADA_SAN_CRISTOBAL	0.87	0.86
Conexión CMNO_SAN_CRISTOBAL	2.02	1.98
Conexión CENENTERIO	0.18	0.18
Conexión FARO	0.75	0.74
Conexión ATAJO	0.17	0.18
Conexión JORADO	0.24	0.24
Conexión SAN_BARTOLO	0.42	0.42
Conexión SAN_ANTONIO	0.05	0.05
Conexión TF-711	0.17	0.16
Conexión ROQUE_S/S	0.42	0.42
Conexión OJILA	0.53	0.49
Conexión ORILLA_DEL_LLANO	0.93	0.87
Conexión BARRIADA_EL_MOLINO	1.06	1.01
Conexión CURVA_PARADOR	0.68	0.65
Conexión LA_PISTA	2.21	2.21
Conexión PISTA_PALMITAS	1.1	1.1
Conexión LA_LUZ	0.56	0.46
Conexión PLAZA_IGLESIA	3.5	2.98
Conexión 4_CAMINOS	5.52	4.7
Conexión ARMAS_FDEZ	3.88	3.29
Conexión EL_CALVARIO	2.94	2.46
Conexión ENTRADA_CONCEPCIÓN	0.16	0.12
Conexión BARRANCO_CONCEPCIÓN	0.42	0.35
Conexión BARRIO_MOLINITO	1.52	1.28
Conexión BARRIO_EL_LANGRERO	0.62	0.58
Conexión BARRIO_LAS_GALANAS	1.17	1.01
Conexión BARRIO_LA_GALLARDA	1.94	1.7
TOTAL DEMANDADO (l/s)	37.88	34.24

Sin llegar a ser una reducción muy significativa del volumen demandado, esta reducción de un 10%, ha permitido modificar la estrategia de regulación general del sistema.

La bomba de Raspaderos, ha pasado a funcionar 24 horas, en lugar de las 14 horas actuales, esto permite anular la conexión existente entre los sondeos de Enchereda y el pozo de Raspaderos ya que no es necesario aportar caudal en horario nocturno al Sector_3.

Por otra parte, se puede eliminar del sistema la bomba Alianza2 entre otros motivos por el aumento de las aportaciones diarias desde el pozo de Raspaderos.

La mejora del sistema al introducir los cambios propuestos, ha sido muy significativa, ya que con esta estrategia de regulación todos los depósitos del sistema tienen tendencia a aumentar los volúmenes almacenados, frente a la situación actual descrita en el capítulo anterior (*apartado 3.3.3*), consiguiendo que el Subsistema2 no sea deficitario en aportaciones (*Figura 4.1*), al no enviar caudales hacia el Subsistema1 en horario nocturno.

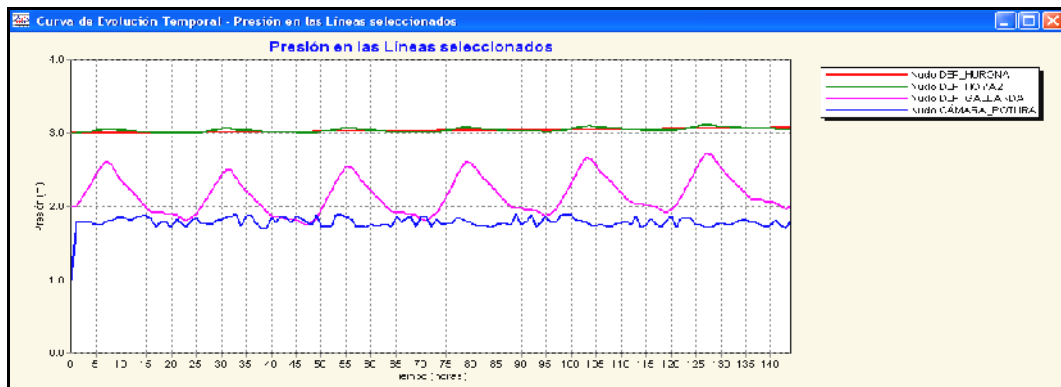


Figura 4.1: Niveles en depósitos de cabecera, tras regular presiones y cambiar la estrategia de regulación.

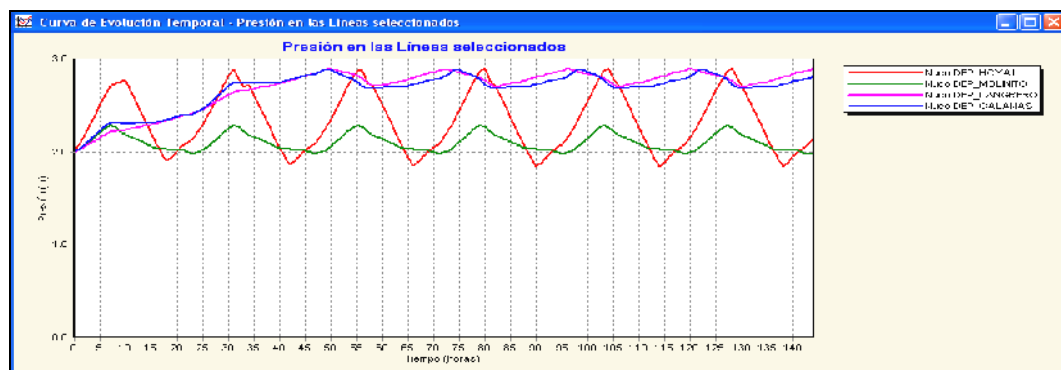


Figura 4.2: Niveles en depósitos secundarios, tras regular presiones y cambiar estrategia de regulación.

Analizando el coste energético de bombeo, para la nueva estrategia de regulación propuesta, manteniendo la misma estimación del coste de la energía que en el

apartado 3.3.4 del capítulo anterior, se obtienen los resultados indicados a continuación en la *Tabla 4.3*.

Tabla 4.3: Consumo energético con regulación de las presiones.

<i>INFORME DE CONSUMO DE ENERGÍA CON VÁLVULAS REDUCTORAS DE PRESIÓN.</i>						
BOMBA	PORCENTAJE UTILIZACIÓN	RENDIMIENTO MEDIO	kW-h/m ³	POTENCIA MEDIA (KW)	POTENCIA MÁX (KW)	COSTE (€/día)
RASPADEROS	100	75	0.36	23.66	23.72	41.48
ALIANZA1	100	75	0.61	40.29	40.42	70.63
HOYA1	66.24	75	0.42	5.07	5.56	4.66
<i>TÉRMINO ENERGÍA</i>						<i>116.77</i>
<i>TÉRMINO DE POTENCIA</i>						<i>344.85</i>

Como resultado, se observa un coste energético diario de aproximadamente 462 €/día al sumar los términos potencia y energía, siendo el coste energético mensual de toda la instalación de 13849 €/mes, que comparados con los 19410 €/mes de coste energético mensual actual, supone una reducción de los costes energéticos del 28%.

Por tanto según las estimaciones realizadas, mediante regulación de presiones a través del modelo, se puede reducir la demanda del sistema en un 10% y el coste energético en un 28%.

4.2.3. Valoración del coste de producción.

Analizado en el apartado anterior la reducción del coste energético debido a la instalación de válvulas reductoras de presión en la red para controlar los caudales fugados, se estimará en este apartado el coste en €/m³ consumido.

Mediante la estrategia de reducción de presiones del apartado anterior se ha obtenido una reducción de aproximadamente un 10% de consumo en la red, pasando de 3273 a 2958 m³/día consumidos. y los costes energéticos se han reducido en un 28% pasando de 647 a 462 €/día.

Tabla 4.4: Análisis del coste de producción.

ANÁLISIS DE COSTES PRODUCCIÓN	SIN REGULACIÓN	CON REGULACIÓN	COMPARATIVA (%)
CONSUMOS (m ³ /día)	3273	2958	-10%
Coste Energético (€/día)	643.81	461.62	-28%
Coste (€ / m ³ consumido)	0.20	0.16	-21%

Relacionando consumos y costes en la situación de funcionamiento actual y en el supuesto caso de regular las presiones del sistema se obtiene la *Tabla 4.4*, donde se indican unos costes de producción de 0.20 y 0.16 €/m³ consumidos en cada supuesto.

Esto supone en porcentaje, una reducción del coste de producción del 21%, además también se reducirán todos los costes asociados al volumen en función al 10% que han decrecido los consumos, por ejemplo los costes de tratamiento del agua.

4.3. PROPUESTA DE MEJORA DE FUNCIONAMIENTO DEL SUBSISTEMA2

Como se ha comentado en capítulos anteriores, en el Subsistema2, existe un punto conflictivo en el que el funcionamiento de la tubería, pasa a ser en lámina libre, tras superar un punto alto en el trazado.

Este hecho se produce debido a la falta de regulación a la entrada del depósito de La Hoya_2.

Se ha analizado un posible cambio de trazado, añadiendo 900 metros de tubería bordeando la cresta de la montaña, suavizando el perfil longitudinal de la conducción, pero el resultado, ha sido el mismo al continuar siendo necesaria la regulación a la entrada al depósito.

Esto ha provocado desestimar la posible solución de cambio del trazado, debido a los costes asociados a la instalación de la tubería, ya que continúa siendo necesaria la regulación a la entrada del depósito.

Por ello, la solución propuesta para mejorar el funcionamiento de este tramo es la instalación de una válvula de regulación a la entrada del depósito de La Hoya_2, que unida a la regulación conjunta del Subsistema2, permita solventar este problema de funcionamiento actual.

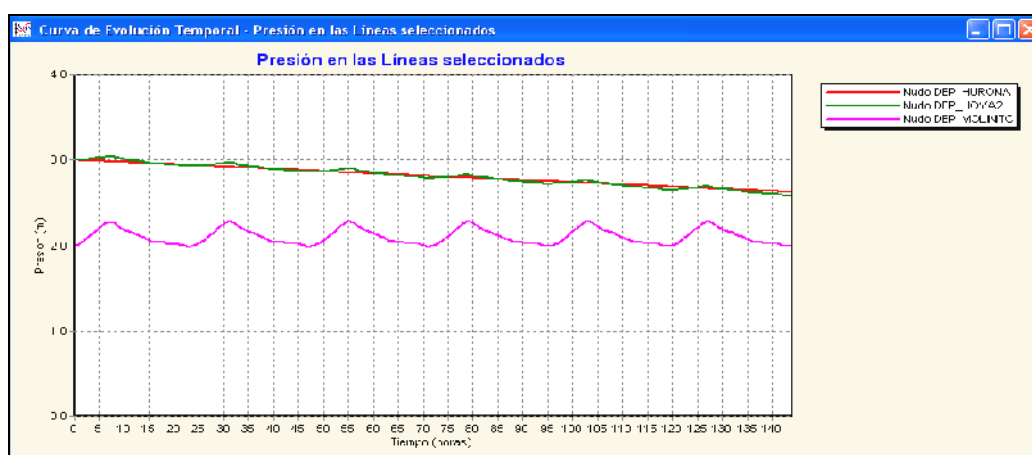


Figura 4.3: Niveles en depósitos Subsistema2. Funcionamiento tras regular entrada en depósito Hoya2.

Mediante regulación conjunta del Subsistema2, operando las válvulas de la conducción proveniente del depósito de Cañadas de Hurona (consigna: 2600), entrada al Molinito

(consigna: 2240) y entrada a La Hoya2 (consigna: 5150), quedando solventados los problemas asociados al funcionamiento en lámina libre de ese tramo en la situación actual, como se puede ver en la *Figura 4.4*

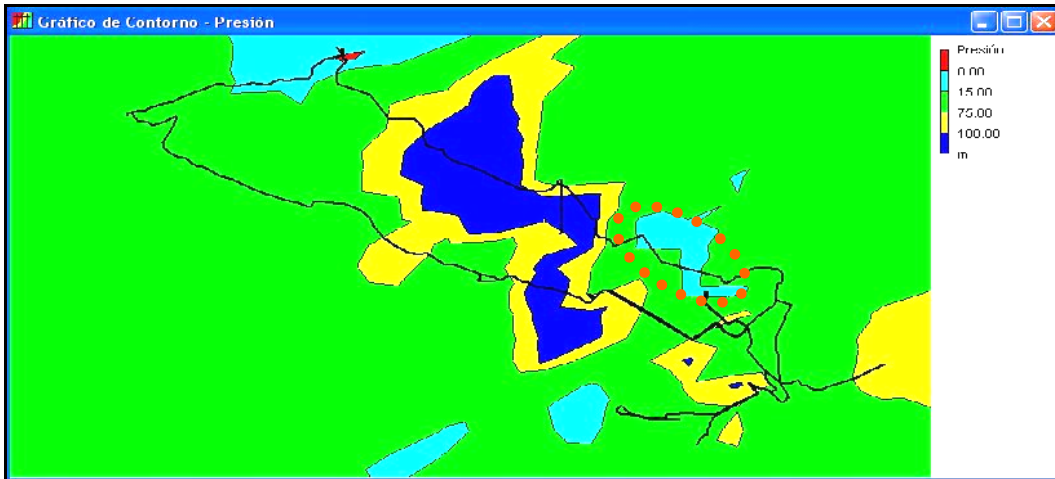


Figura 4.4: Gráfico de presiones tras regular entrada en depósito Hoya2.

En caso de realizar la regulación de presiones en la red descritas en el capítulo anterior, instalando válvulas reductoras de presión y modificando los bombeos. El resultado de la regulación conjunta del Subsistema2 sería, válvula de la conducción proveniente del depósito de Cañadas de Hurona (consigna: 2000), entrada al Molinito (consigna: 3000) y entrada a La Hoya2 (consigna: 4000), quedando solventados los problemas asociados al funcionamiento en lámina libre de ese tramo, y mejorando la estabilización de niveles en los depósitos que tiene tendencia positiva a largo plazo, como se puede observar a continuación en la *Figura 4.5*.

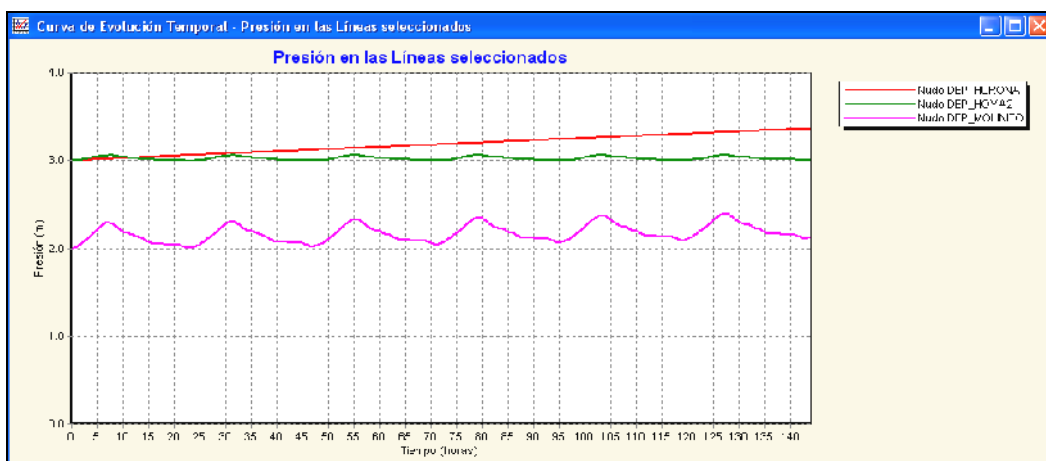


Figura 4.5: Niveles en depósitos Subsistema2. Funcionamiento regulando presiones en la red y entrada en depósito Hoya2.

4.4. ANÁLISIS GLOBAL DEL SISTEMA DE REGULACIÓN

Como se ha descrito en capítulos anteriores, el funcionamiento del sistema se regula de manera manual y según considere el operario encargado.

La situación actual de funcionamiento es deficitaria en aportaciones en el Subsistema2, hecho que se corrige, solicitando una aportación de volumen extra al Consejo Insular de Aguas de La Gomera, y en caso de necesitar recuperar niveles en los depósitos del Subsistema1, se aumentan las horas de bombeo para compensar.

Realizando las modificaciones indicadas en el capítulo anterior:

Renovación del parque de contadores.

Regulación de las presiones en la red, mediante la instalación de válvulas reductoras de presión, con el fin de reducir los volúmenes fugados del sistema.

Se consigue una mejora significativa del funcionamiento conjunto de la red estabilizando los caudales producidos (*Figura 4.6*), haciendo que los depósitos mantengan e incluso aumenten su nivel en todo el sistema (*Figura 4.4*) y reduciendo el coste, energético y de tratamiento del agua.

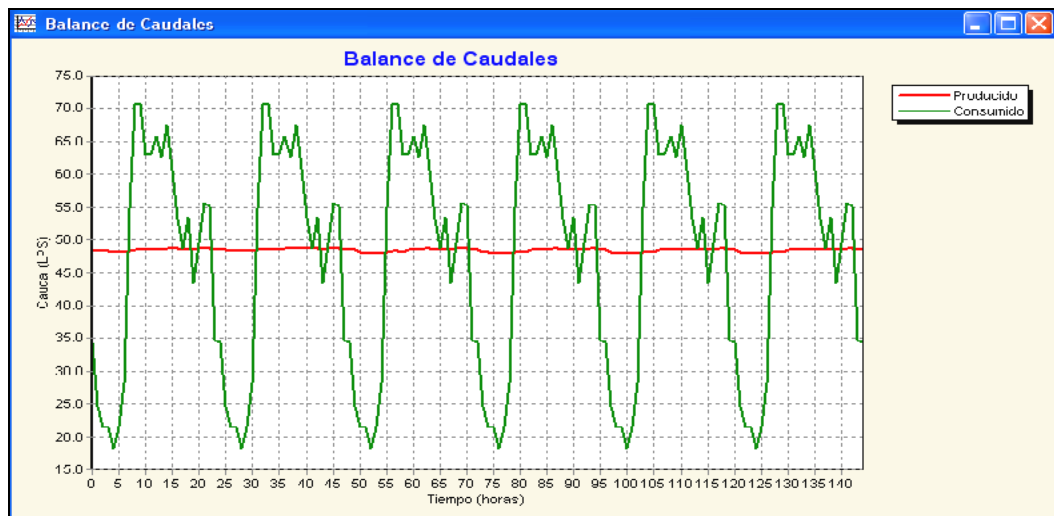


Figura 4.6: Balance de caudales en la situación propuesta. Simulación de 144 horas.

La renovación del parque de contadores, puede llegar a suponer un 18% del total del volumen no registrado del sistema, (según se estima en la encuesta AEAS, 2000), esto supondría registrar 2023 m³/día, en lugar de los actuales 1497 m³/día que se registran de media.

La reducción de presiones provoca según se estima una disminución del volumen inyectado del 10%, este hecho provoca que el volumen inyectado, incluidas las aportaciones del Consejo Insular de Aguas de La Gomera, pasen de 4421 m³/día, a ser de 3979 m³/día.

Con la unión de ambas medidas, se pasaría de un paupérrimo rendimiento global inicial del 34%, a un bajo rendimiento global de la red estimado en un 51%. Todo ello además favorecido por una reducción del coste del metro cúbico de agua consumido del 21%.

5. CONCLUSIONES Y ACCIONES FUTURAS

5.1. REFERENTES A LA DESCRIPCIÓN DE LA RED

1) Es fundamental conocer el funcionamiento real del sistema.

En la actualidad la forma de operar la red es completamente manual y basada en la experiencia adquirida por el operario. Los contadores situados en los depósitos, se encuentran instalados a la entrada a éstos y no a la salida, no pudiendo reflejar las variaciones temporales de consumo en la red, provocando el no poder obtener una simple curva de modulación diaria de caudales. No se controlan a diario las aportaciones al sistema, y si es así, no quedan reflejadas en ningún documento. Es necesaria, la instalación de caudalímetros en los puntos de entrada a la red y contadores a la salida de los depósitos, con objeto de hacer un buen balance hidráulico del sistema.

2) Otra acción importante es la elaboración de una cartografía completa, actualizada y georeferenciada de la red.

Dicha cartografía debería incluir un inventario completo de los elementos que la componen, desde los puntos de producción hasta las acometidas domiciliarias. Esto último es especialmente importante en los trazados de la red en baja, ya que el solape de la red antigua y la red moderna (que en algunas zonas operan al mismo tiempo), hacen que no quede claro por dónde circula el agua, complicando incluso las operaciones de reparación de la red (en la actualidad, en caso de rotura o problema, la manera de proceder es mediante “prueba - error”, esto es, cerrando y abriendo válvulas hasta encontrar la que corta el suministro para proceder a la reparación).

3) Es necesario un plan de control activo de fugas en el sistema dado el bajo rendimiento global de la red, el cual ha sido estimado en un 34 %.

En la actualidad, puesto que el problema no está asociado a la disponibilidad del recurso, se compensan las pérdidas inyectando más caudal a la red.

4) Los defectos encontrados en la colocación de los contadores, unidos a la antigüedad del parque ya que son los abonados los que corren con toda la inversión de adquirir el aparato, hacen que las lecturas se desvíen cada vez más hacia la zona del subcontaje.

Así, se hace necesario un cambio en la política de sustitución de contadores. Podrían plantearse distintas alternativas tales como:

Que el consistorio municipal cargue con los gastos de la renovación a expensas de recuperar el dinero invertido en forma de un aumento de las lecturas de facturación.

Incluir una tasa de mantenimiento dentro de la facturación, donde en el tiempo estimado de cambio se haya amortizado el coste del mismo.

5.2. REFERENTES A LOS RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN MATEMÁTICA

5) Mejora y regulación del funcionamiento del Subsistema2.

Los resultados de la modelación han mostrado que en el último tramo de entrada al depósito de La Hoya_2 se produce flujo en lámina libre, debido a la entrada de aire por una ventosa situada en un punto alto del trazado.

6) La simulación mediante regulación de presiones en la red (instalación de VRP) pone de manifiesto la posibilidad de reducir el volumen fugado en un 10%.

7) La disminución del volumen inyectado, debido a la reducción del volumen fugado, posibilita un cambio en la estrategia actual de regulación, que aumenta los niveles en los depósitos de ambos subsistemas, dejando atrás la tendencia a perder niveles en el Subsistema2, (depósitos Cañadas de Hurona y La Hoya_2).

Gracias a esta nueva estrategia de regulación, se reducen los costes energéticos en un 28% y los costes de producción finales, sin incluir la reducción en costes de tratamiento, en un 21 %.

8) La aplicación conjunta de las medidas propuestas en este estudio, provocarían un aumento del rendimiento global de la red, de un paupérrimo 34%, a un 51% sin prácticamente generar costes al organismo gestor.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Arregui, F.,1998. Propuesta de una Metodología Para el Análisis y Gestión del Parque de contadores de Agua de un Abastecimiento. Tesis Doctoral. UPV. Valencia.
- Consultoría y Asistencia para la Realización de Auditorías de Sistemas Públicos de Abastecimiento de Agua Potable en la isla de La Gomera. Canaraguas, (2001).
- Encuesta de la Asociación Española de Abastecimientos y Saneamientos, (2000).
- Ingeniería Hidráulica en los Abastecimientos de Agua. Ed. GMMF-UPV. Valencia, 2003.
- Ley de Aguas de Canarias (Ley 12/1990).
- Plan Hidrológico Insular de La Gomera (2003).
- Manual Epanet 2.0 vE, Traducido por el GMMF-UPV.
- Web del Instituto Nacional de Estadística, (INE). www.ine.es.
- Web del Sistema de Información Territorial del Gobierno de Canarias, (GRAFCAN). www.grafcan.es.

ANEXO A: DATOS DEL SISTEMA

TABLAS DE APORTACIONES A LA RED

DÍA	POZO RASPADEROS	POZO LA ALIANZA	DEP. HURONA	DEP. HOYA_2	DEP. MOLINITO	DEP. GALANAS	DEP. LANGRERO
	m3 DIARIOS	m3 DIARIOS	m3 DIARIOS	m3 DIARIOS	m3 DIARIOS	m3 DIARIOS	m3 DIARIOS
16-jul-10	860	2446	858	720	138	78	52
17-jul-10	886	2510	865	730	135	80	50
18-jul-10	892	2511	927	790	137	75	49
19-jul-10	941	2518	810	680	130	77	51
20-jul-10	906	2509	794	660	134	75	50
21-jul-10	809	2501	817	680	137	76	54
22-jul-10	910	2521	804	670	134	77	48
23-jul-10	880	2508	808	670	138	79	53
24-jul-10	860	2506	1010	1010	0	77	51
25-jul-10	793	2497	826	690	136	73	50
26-jul-10	916	2520	850	710	140	79	48
27-jul-10	861	2505	862	720	142	77	49
28-jul-10	848	2513	827	690	137	75	52
29-jul-10	947	2587	919	780	139	76	50
30-jul-10	953	2580	885	750	135	77	49
01-ago-10	941	2597	922	790	132	74	48
02-ago-10	950	2593	897	760	137	73	52
03-ago-10	948	2590	918	780	138	79	50
04-ago-10	945	2576	926	790	136	80	48
05-ago-10	848	2626	884	750	134	77	49
06-ago-10	760	2638	913	780	133	74	50
07-ago-10	889	2630	922	790	132	75	52
08-ago-10	778	2634	867	730	137	77	52
09-ago-10	776	2632	949	810	139	79	51
10-ago-10	860	2633	883	750	133	81	54
11-ago-10	815	2614	867	730	137	80	47
12-ago-10	853	2594	925	780	145	76	49
13-ago-10	801	2652	893	760	133	73	53
14-ago-10	794	2620	827	690	137	78	50
15-ago-10	836	2625	878	740	138	78	51
16-ago-10	808	2622	853	720	133	75	52
17-ago-10	844	2476	912	780	132	79	49
18-ago-10	749	2865	876	740	136	77	49
19-ago-10	836	2511	865	730	135	74	51
20-ago-10	761	2114	893	760	133	73	50
21-ago-10	847	2710	838	700	138	79	52
22-ago-10	808	2690	823	690	133	75	48
23-ago-10	778	2701	840	710	130	79	49
24-ago-10	805	2569	881	750	131	77	53
25-ago-10	743	2677	890	760	130	75	51
26-ago-10	864	2540	923	790	133	74	50
27-ago-10	749	2614	915	780	135	77	48

28-ago-10	824	2656	904	770	134	72	49
29-ago-10	711	2658	929	790	139	79	51
30-ago-10	903	2545	869	730	139	77	53
31-ago-10	857	2653	882	740	142	75	49
01-sep-10	784	2631	925	790	135	78	52
02-sep-10	753	2616	953	820	133	75	49
03-sep-10	830	2655	874	740	134	79	51
04-sep-10	743	2571	916	780	136	75	53
05-sep-10	810	2582	883	750	133	78	51
06-sep-10	706	2496	897	760	137	82	50
07-sep-10	749	2174	916	780	136	77	48
08-sep-10	741	2417	886	750	136	74	49
09-sep-10	855	2134	903	770	133	76	53
10-sep-10	814	2649	868	730	138	81	51
11-sep-10	825	2593	838	700	138	80	50
12-sep-10	715	2703	869	730	139	78	53
13-sep-10	826	2631	885	750	135	79	49
14-sep-10	830	2615	915	780	135	77	47
15-sep-10	814	2638	928	790	138	79	52

APORTACIONES REALES CONSEJO INSULAR DE AGUAS DE LA GOMERA						
SONDEOS	ENCHEREDA II		LOS CAMPOS		VENTANA DIABLO	
	m3	nº horas	m3	nº horas	m3	nº horas
15-jun-10	413009	8013	229194	5709	309248	2136
15-sep-10	384845	6921	169496	4753	305233	1928
Trimestral	28164	1092	59698	956	4015	208
Diario	313	12.1	663	10.6	45	2.3
Qsondeos (l/s)	3.62		7.68		0.52	
TOTAL (m3/día)	1021					
TOTAL (l/s)	11.82					

TABLAS DE CAUDALES FACTURADOS POR SECTORES Y CALLES.

SECTOR ORILLA DEL LLANO				CAUDAL MEDIO FACTURADO
CALLE	NUDO DE CONSUMO	Nº Contadores	Nº Habitantes	(m³/Trim.)
ACEVIÑO	ROQUE S/S	8	17	114
ADERNO	ROQUE S/S	3	9	54
BARBUZANO	ROQUE S/S	8	21	133
BREZO	ROQUE S/S	1	0	29
CEDRO (EL)	ROQUE S/S	26	80	775
VERODE	ROQUE S/S	3	3	20
LAUREL	ROQUE S/S	8	38	247
OJILA	OJILA	60	170	1812
ORILLA DEL LLANO	ORILLA DEL LLANO	100	283	3020
JOSE ARTIGAS	EL MOLINO (ORILLA)	5	20	111
JOSE MARTI	EL MOLINO (ORILLA)	2	6	65
NUÑEZ DE BALBOA	EL MOLINO (ORILLA)	9	51	249
ORELLANA	EL MOLINO (ORILLA)	7	30	130
SAN MARTIN	EL MOLINO (ORILLA)	10	23	268

SUCRE	EL MOLINO (ORILLA)	16	36	332
SIMON BOLIVAR	EL MOLINO (ORILLA)	28	85	572
EL MOLINO	EL MOLINO (ORILLA)	51	70	1755
EL CASCANTE	EL MOLINO (ORILLA)	5	68	125
HORCA (LA)	CURVA PARADOR	2	4	2347

SECTOR LA VILLA - EL CALVARIO				CAUDAL MEDIO FACTURADO
Denominación de Abonado/Vía	NUDO DE CONSUMO	Nº Contadores	Nº Habitantes	(m³/Trim.)
PUERTO	PUERTO (MUELLE)	2	56	644
CAÑADA LAS PALOMAS	PUERTO (CLUB NAUTICO)	27	20	924
PISTA (LA)	LA PISTA	136	210	5988
HILA (LA)	LA PISTA	23	49	370
PESCADORES (LOS)	LA PISTA	3	10	28
PINTA (LA)	LA PISTA	22	30	281
PISTA DE LAS PALMITAS	PISTA PALMITAS	144	340	4024
JUAN SEBASTIAN ELCANO	PISTA PALMITAS	5	5	75
MONTAÑA CLARA	PISTA PALMITAS	6	16	107
MINELA	C/LA LUZ	7	18	277
HOYO (DEL)	C/LA LUZ	5	9	79
LUZ (LA)	C/LA LUZ	37	67	656
HERNAN CORTES	C/LA LUZ	10	6	153
LADERA (LA)	C/LA LUZ	25	69	539
SALMOR (EL)	C/LA LUZ	3	0	71
SAN BORONDON	C/LA LUZ	7	31	222
REPUBLICA DE PANAMA	PLAZA LA IGLESIA	12	35	268
REAL	PLAZA LA IGLESIA	245	457	6337
CONSTITUCION (DE LA)	PLAZA LA IGLESIA	37	106	1929
NORIA (LA)	PLAZA LA IGLESIA	23	42	950
REPUBLICA DE CUBA	PLAZA LA IGLESIA	16	48	364
REPUBLICA DE VENEZUELA	PLAZA LA IGLESIA	29	69	798
SAN SEBASTIAN	PLAZA LA IGLESIA	51	77	1363
TORRES PADILLA	PLAZA LA IGLESIA	3	0	12
VIRGEN DE GUADALUPE	PLAZA LA IGLESIA	51	92	1059
REPUBLICA DE CHILE	PUEBLO (4 CAMINOS)	29	38	370
TANQUITO (EL)	PUEBLO (4 CAMINOS)	86	184	2323
RUIZ DE PADRON	PUEBLO (4 CAMINOS)	356	577	11342
AMELIA (DE)	PUEBLO (4 CAMINOS)	3	5	23
AMERICAS (DE LAS)	PUEBLO (4 CAMINOS)	31	85	1477
BREÑUSCA (LA)	PUEBLO (4 CAMINOS)	2	6	52
COLON (DE)	PUEBLO (4 CAMINOS)	118	196	3351
DESCUBRIDORES (DE LOS)	PUEBLO (4 CAMINOS)	9	52	1259
MOLINA (LA)	PUEBLO (4 CAMINOS)	1	3	18
NASA (LA)	PUEBLO (4 CAMINOS)	1	9	18
NIÑA (LA)	PUEBLO (4 CAMINOS)	8	23	337
PROF ARMAS FERNANDEZ	PUEBLO (M. RODRIGUEZ)	326	509	9449
QUINTO CENTENARIO	PUEBLO (M. RODRIGUEZ)	202	214	4912
TORRE (LA)	PUEBLO (M. RODRIGUEZ)	11	23	143
CAÑADA DEL HERRERO	EL CALVARIO	46	120	1130
RIVERA	EL CALVARIO	9	5	341

CRUZ (LA)	EL CALVARIO	6	15	144
IPALAN	EL CALVARIO	24	54	665
AGANA	EL CALVARIO	4	24	89
AMALAHUIGUE	EL CALVARIO	1	5	37
CAMINO DE LAS NIEVES	EL CALVARIO	90	193	1916
CALVARIO (EL)	EL CALVARIO	29	84	4504
HAUTACUPERCHE	EL CALVARIO	2	11	54
HUPALUPO	EL CALVARIO	4	18	124
IBALLA	EL CALVARIO	15	45	545
JONAY	EL CALVARIO	7	30	273
MULAGUA	EL CALVARIO	14	28	231
OJILA	EL CALVARIO	12	40	207
ORONE	EL CALVARIO	3	22	77
ZARZITA	EL CALVARIO	1	5	133
SAN PEDRO	EL CALVARIO	10	25	235
LA CONCEPCION	EL CALVARIO	7	35	201
GENERAL SUR TF 713	ENTRADA BCO. CONCEPCIÓN	16	21	519
LAMERO (EL)	BCO. CONCEPCIÓN	13	12	946
CONCEPCION (LA)	BCO. CONCEPCIÓN	19	15	687

SECTOR BCO. SAN SEBASTIÁN				CAUDAL MEDIO FACTURADO
Denominación de Abonado/Vía	NUDO DE CONSUMO	Nº Contadores	Nº Habitantes	(m³/Trim.)
ATAJO (EL)	EL ATAJO	27	42	664
JORADO (EL)	EL JORADO	24	31	910
SAN BARTOLO	SAN BARTOLO	51	58	1426
SAN ANTONIO	SAN ANTONIO	8	18	179
LANGRERO	EL LANGRERO	54	150	2014

SECTOR LAS GALANAS				CAUDAL MEDIO FACTURADO
Denominación de Abonado/Vía	NUDO DE CONSUMO	Nº Contadores	Nº Habitantes	(m³/Trim.)
ALEGRANZA	LAS GALANAS	13	18	284
FUERTEVENTURA	LAS GALANAS	7	3	198
GALANAS (LAS)	LAS GALANAS	36	108	1076
GARA	LAS GALANAS	13	16	185
GRAN CANARIA	LAS GALANAS	15	30	200
HIERRO (EL)	LAS GALANAS	13	36	461
ISLA DE LOBOS	LAS GALANAS	18	42	487
LANZAROTE	LAS GALANAS	14	44	322
PALMA (LA)	LAS GALANAS	17	28	217
TENERIFE	LAS GALANAS	15	46	362

SECTOR LA LOMADA				CAUDAL MEDIO FACTURADO
Denominación de Abonado/Vía	NUDO DE CONSUMO	Nº Contadores	Nº Habitantes	(m³/Trim.)
CAMINO DE PUNTALLANA	CMNO. PUNTALLANA COLEGIO	125	361	3425
MANUEL DE FALLA	CANCHA LA LOMADA	37	50	925
ISAAC ALBENIZ	CANCHA LA LOMADA	31	13	333
LA PANADERIA	CANCHA LA LOMADA	11	10	211
AVALO	BARRIADA SAN CRISTOBAL	7	35	390
ERA (LA)	BARRIADA SAN CRISTOBAL	24	65	752

GUANCHA (LA)	BARRIADA SAN CRISTOBAL	9	29	284
GUINCHO (EL)	BARRIADA SAN CRISTOBAL	6	20	182
MACHAL	BARRIADA SAN CRISTOBAL	8	28	302
MAJONA	BARRIADA SAN CRISTOBAL	41	68	490
OROJA	BARRIADA SAN CRISTOBAL	10	24	245
ROQUE BERMEJO	BARRIADA SAN CRISTOBAL	7	26	371
CAMINO DE SAN CRISTOBAL	CMNO. DE SAN CRISTOBAL	43	86	1241
CAMINO LOMO DEL CLAVO	CMNO. DE SAN CRISTOBAL	110	120	5596
CARRETERA AL FARO	CEMENTERIO	19	48	521
CAMINO AL FARO	EL FARO	19	70	2508
AMAPOLA	BARRIADA S/S.	1	10	71
CLAVEL	BARRIADA S/S.	1	9	138
GERANIO	BARRIADA S/S.	10	17	93
GLADIOLO	BARRIADA S/S.	5	17	90
JAZMIN	BARRIADA S/S.	6	19	76
TULIPAN	BARRIADA S/S.	5	13	129
FERNANDO PADILLA (INSTIT.)	JOSE AGUIAR	2		543
FELIX CASANOVA AYALA	RUIZ DE PADRÓN	3		433
JOSE AGUIAR	ESCUELA DE IDIOMAS	112	233	6528
ALIANZA (LA)	CENTRO DE SALUD	5		512

SECTOR EL MOLINITO				CAUDAL MEDIO FACTURADO
Denominación de Abonado/Vía	NUDO DE CONSUMO	Nº Contadores	Nº Habitantes	(m³/Trim.)
GENERAL 711	EL MOLINITO	13	116	107
MOLINITO (EL)	EL MOLINITO	120	50	3488
REPUBLICA DE COLOMBIA	EL MOLINITO	2		57
REPUBLICA DE COSTA RICA	EL MOLINITO	7	31	279
REPUBLICA DE ECUADOR	EL MOLINITO	1	3	39
REPUBLICA DE EL SALVADOR	EL MOLINITO	13	44	484
REPUBLICA DE GUATEMALA	EL MOLINITO	3		11
REPUBLICA DE HONDURAS	EL MOLINITO	3	11	31
REPUBLICA DE MEJICO	EL MOLINITO	14	44	364
REPUBLICA DE NICARAGUA	EL MOLINITO	10	26	216

SECTOR LA GALLARDA				CAUDAL MEDIO FACTURADO
Denominación de Abonado/Vía	NUDO DE CONSUMO	Nº Contadores	Nº Habitantes	(m³/Trim.)
CAÑADAS DEL TEIDE	LA GALLARDA (LA HOYA)	12	42	328
GALLARDA (LA)	LA GALLARDA (LA HOYA)	32	123	1289
GARAJONAY	LA GALLARDA (LA HOYA)	12	40	377
PLACERES	LA GALLARDA (LA HOYA)	41	136	1609
ROQUES (LOS)	LA GALLARDA (LA HOYA)	54	105	2059
TIMANFAYA	LA GALLARDA (LA HOYA)	12	45	433
CALDERA DE TABURIENTE	LA GALLARDA (LA HOYA)	12	48	348

TABLA DE FACTURACIÓN TRIMESTRAL DE LA DÉCADA

CONSUMO DE AGUA POTABLE EN SAN SEBASTIÁN DE LA GOMERA					
AÑO	TRIMESTRE	DOMÉSTICO	COMERCIAL	m ³ /TRIMESTRE	m ³ TOTALES/AÑO
2000	1ºT 00	73799	30484	104283	453544
	2ºT 00	74575	30025	104600	
	3ºT 00	101536	42576	144112	
	4ºT 00	69011	31538	100549	
2001	1ºT 01	71606	29497	101103	447760
	2ºT 01	83650	29167	112817	
	3ºT 01	97565	30967	128532	
	4ºT 01	81411	23897	105308	
2002	1ºT 02	68750	22010	90760	466236
	2ºT 02	96018	29009	125027	
	3ºT 02	119998	36384	156382	
	4ºT 02	71484	22583	94067	
2003	1ºT 03	84434	26774	111208	466621
	2ºT 03	91865	26497	118362	
	3ºT 03	76306	24790	101096	
	4ºT 03	96362	39593	135955	
2004	1ºT 04	63075	21290	84365	470808
	2ºT 04	111095	32564	143659	
	3ºT 04	89119	29214	118333	
	4ºT 04	100262	24189	124451	
2005	1ºT 05	92502	26568	119070	448244
	2ºT 05	88899	26574	115473	
	3ºT 05	37150	18394	55544	
	4ºT 05	126876	31281	158157	
2006	1ºT 06	74986	21671	96657	480765
	2ºT 06	95743	25573	121316	
	3ºT 06	121761	32253	154014	
	4ºT 06	85553	23225	108778	
2007	1ºT 07	77753	23968	101721	534986
	2ºT 07	98247	31184	129431	
	3ºT 07	150527	39338	189865	
	4ºT 07	92136	21833	113969	
2008	1ºT 08	75865	19922	95787	472990
	2ºT 08	87423	22903	110326	
	3ºT 08	118181	31662	149843	
	4ºT 08	93896	23138	117034	
2009	1ºT 09	117945	27987	145932	521602
	2ºT 09	92549	23427	115976	
	3ºT 09	103934	25321	129255	
	4ºT 09	105986	24453	130439	