



Universidad
Politécnica
de Cartagena | Campus
de Excelencia
Internacional



E.T.S. de Ingeniería de
Caminos, Canales y Puertos
y de Ingeniería de Minas

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS Y DE INGENIERÍA DE MINAS

UNIDAD PREDEPARTAMENTAL DE INGENIERÍA CIVIL

Trabajo de Fin de Máster:

***Estudio de viabilidad para la recuperación energética en la red de abastecimiento de
Cieza***

Jose Ibáñez López
Cartagena, mayo 2020

Dirigido por:
Dr. Sebastián Guillén Ludeña

Agradecimientos

En primer lugar, me gustaría agradecer a Sebastián Guillén Ludeña por todo el tiempo y apoyo incondicional durante la redacción de este proyecto, su dedicación y experiencia en la materia, me han ayudado en la adquisición y mejora de conocimientos.

Agradezco también el interés y la ayuda recibida por parte de Aguas de Cieza y el Excmo. Ayuntamiento de Cieza, ya que sin los datos proporcionados no se podría haber realizado este proyecto.

Por último, y no por ello menos importante, quiero agradecer a todas las personas que me han apoyado durante todo este tiempo, concretamente: a mi familia, Laura y mis amigos.

Resumen

El municipio de Cieza consta con una amplia red de abastecimiento que da servicio a 35134 habitantes. Debido a la orografía del terreno, la red consta de 8 válvulas reguladoras de presión para garantizar que el suministro se realiza a una presión adecuada. En un año, la energía disipada en estas válvulas es de aproximadamente 83000 kWh.

Por otro lado, con la publicación del Real Decreto 244/2019, de 5 de abril, se regulaba el autoconsumo eléctrico en España, permitiendo reducir el gasto energético mediante el autoconsumo.

En este contexto, el objetivo del proyecto es analizar la viabilidad técnica y económica, de instalar microturbinas para la recuperación total o parcial de la energía disipada por las válvulas reductoras de presión, aprovechando esta energía para autoconsumo.

Para el estudio de cada una de las válvulas reductoras de presión, se emplearán datos diarios de caudal y presión, proporcionados por Aguas de Cieza a lo largo de 4 años. Se obtendrá la energía disipada y aprovechable de cada una de las válvulas, el punto de funcionamiento con el que, asignando un rendimiento global inicial, se podrá calcular la potencia por válvula y se realizará un análisis de donde sería rentable colocar una turbina conectada a la red.

De las 8 válvulas instaladas en toda la red, existe una en la que mediante la instalación de una microturbina se puede llegar a recuperar hasta 19200 kWh al año, suponiendo aproximadamente el 40% de la energía disipada en dicha válvula. La energía recuperada se podrá autoconsumir en un polideportivo municipal cercano, situado a menos de 500 metros de la válvula, siendo este uno de los requisitos que marca la guía de autoconsumo.

Según el estudio de viabilidad económica, la rentabilidad de la inversión dependerá del precio de la energía consumida. Así, para un precio de 10 c€/kWh la inversión no se amortizaría durante la vida útil de la microturbina (15 años). Sin embargo para precios de 15 c€/kWh y 20 c€/kWh, la inversión se amortizaría en 9 y 6 años respectivamente.

Abstract

The municipality of Cieza has a wide supply network that serves 35,134 inhabitants. Due to the orography of the terrain in it, the network consists of 8 pressure regulating valves to guarantee that the supply is made with the adequate pressure. In one year, these valves dissipate approximately 83,000 (kWh) of energy.

On the other hand, with the publication of Royal Decree 244/2019, of 5th April, electrical self-consumption in Spain is under regulations, allowing energy consumption to be reduced by self-consumption.

In this context, the objective of the project is to analyze the technical and economic feasibility of installing microturbines for the total or partial recovery of the energy dissipated by the pressure reducing valves, taking advantage of this energy for self-consumption.

For the study of each of the pressure reducing valves, daily flow and pressure data will be used, provided by "Aguas de Cieza" over 4 years. The dissipated and usable energy of each of the valves will be obtained, the operating point with which, assigning an initial global performance can calculate the power per valve and an analysis will be made of where it would be profitable to place a turbine connected to the net.

There are 8 valves installed throughout the network and one in which, by installing a microturbine, up to 19,200 (kWh) per year can be recovered, assuming approximately 40% of the energy dissipated in this valve. The recovered energy can be self-consumed in a nearby municipal sports center, located less than 500 meters from the valve, this being one of the requirements established in the self-consumption guide.

According to the economic feasibility study, the return on investment will depend on the price of the energy consumed. Thus, for a price of 10 c€/kWh, the investment would not be amortized over the life of the microturbine (15 years). However, for prices of 15 c€/kWh and 20 c€/kWh, the investment would be amortized in 9 and 6 years respectively.

Índice general

Agradecimientos	3
Resumen	5
Abstract	7
Índice de figuras	10
Capítulo 1. Introducción.	13
Capítulo 2. Zona de estudio.	17
2.1. Localización y descripción de la red de abastecimiento.....	17
2.2. Sectores donde existen válvulas reductoras de presión (VRP)	24
Capítulo 3. Metodología.	31
3.1. Recopilación y selección de datos	31
3.2. Método para el cálculo de la energía disipada y aprovechable por las válvulas.	35
3.3. Preselección del punto de funcionamiento y del equipo electromecánico	38
3.4. Producción energética y posterior autoconsumo	38
3.4.1. <i>Energía aprovechable por la microturbina</i>	38
3.4.2. <i>Autoconsumo energético</i>	42
3.5. Viabilidad económica	44
Capítulo 4. Resultados.	47
4.1. Recuperación energética	47
4.2. Instalación de microturbina en la válvula 1 de la Lonja	55
4.3. Comprobación del autoconsumo energético y viabilidad económica	62

Capítulo 5. Conclusiones.....	69
Anejo 1	71
Bibliografía	73

Índice de figuras

Figura 2.1: Término municipal de Cieza.	17
Figura 2.2: Esquema de abastecimiento al municipio de Cieza. (Plan director abastecimiento Cieza)	18
Figura 2.3: Emplazamiento de los Depósitos de la MCT en el municipio de Cieza. (Plan director abastecimiento Cieza).....	19
Figura 2.4: Depósitos de la MCT. (Plan director abastecimiento Cieza)	19
Figura 2.5: Depósito de la Mina. (Plan director abastecimiento Cieza)	20
Figura 2.6: Depósitos de Ascoy. (Plan director abastecimiento Cieza)	20
Figura 2.7: Sectores hidráulicos abastecidos por los depósitos de la MCT (Azul) y por los depósitos de Ascoy (naranja). (Plan director abastecimiento Cieza).....	21
Figura 2.8: Población y dotación del municipio de Cieza. (Plan director abastecimiento Cieza)	22
Figura 2.9: Conducciones de transporte desde los depósitos de la MCT. (Plan director abastecimiento Cieza)	22
Figura 2.10: Esquema hidráulico general del sistema de abastecimiento de agua potable del municipio de Cieza. (Plan director abastecimiento Cieza).....	23
Figura 2.11: Válvula reductora de Sanz Orrio.....	24
Figura 2.12: Válvula reductora de San José Obrero Sur.	25
Figura 2.13: Válvula reductora de San José Obrero Norte.....	25
Figura 2.14: Válvula reductora Casco Antiguo.	26
Figura 2.15: Válvula reductora de entrada al Casco Urbano.....	27
Figura 2.16: Válvula reguladora de la Mina.....	27
Figura 2.17: Válvula 1 de la Lonja.	28
Figura 2.18: Válvula 2 de la Lonja.	29
Figura 2.19: Situación de las válvulas 1 y 2 de la Lonja en Cieza.....	30
Figura 3.1: Estación de telemando de la regulación de presión en Azorín. (Plan director abastecimiento Cieza)	32
Figura 3.2: Porcentaje de datos disponibles y útiles para el estudio.....	33
Figura 3.3: Resumen de presiones y caudales medios de las válvulas reductoras.	34
Figura 3.4: Imagen de la curva de la microturbina. (Fabricante Powerturbines)	39
Figura 3.5: Rendimientos de la microturbina, respecto caudal y salto de presión.....	40
Figura 4.1: Gráfica comparativa entre las potencias del año medio.....	48
Figura 4.2: Gráfica comparativa de la energía disipada acumulada para el año medio.	49

Figura 4.3: Puntos de funcionamiento para cada válvula con un rendimiento del 80%.	50
Figura 4.4: Producción de energía y punto de funcionamiento para la válvula 1 de la Lonja	50
Figura 4.5: Producción de energía y punto de funcionamiento para la válvula 2 de la Lonja	51
Figura 4.6: Producción de energía y punto de funcionamiento para la válvula de San Jose Obrero Sur	51
Figura 4.7: Producción de energía y punto de funcionamiento para la válvula de Sanz Orrio	52
Figura 4.8: Producción de energía y punto de funcionamiento para la válvula de San Jose Obrero Norte	52
Figura 4.9: Producción de energía y punto de funcionamiento para la válvula del Casco Antiguo	53
Figura 4.10: Potencias calculadas para un rendimiento del 80%.	53
Figura 4.11: Energía acumulada disipada y aprovechable de cada válvula.	54
Figura 4.12: Puntos tras la digitalización de la curva y respectivos rendimientos.	55
Figura 4.13: Salto de presión de la válvula elegida para colocar la microturbina.	56
Figura 4.14: Caudal de la válvula elegida para colocar la microturbina.	57
Figura 4.15: Gráfica de rendimientos a los que trabaja la microturbina durante el año medio.	58
Figura 4.16: Gráfica de potencias a las que trabaja la microturbina durante el año medio.	58
Figura 4.17: Producción de energía y punto de funcionamiento para la microturbina en la válvula 1 de la Lonja	59
Figura 4.18: Tipo de conexión entre la válvula reductora y la microturbina.	60
Figura 4.19: Dimensiones de la válvula de membrana. (Fabricante Hidroconta)	60
Figura 4.20: Válvula de membrana. (Fabricante Hidroconta)	61
Figura 4.21: Características de presión de la válvula de membrana. (Fabricante Hidroconta)	61
Figura 4.22: Comprobación de distancia entre la válvula 1 de la Lonja donde se sitúa la microturbina y el polideportivo.	63
Figura 4.23: Consumo eléctrico del polideportivo municipal.	63
Figura 4.24: Consumo medio y acumulado anual del polideportivo.	64
Figura 4.25: Clasificación final para autoconsumo energético. (Guía oficial de Autoconsumo)	65
Figura 4.26: Resumen de costos fijos y variables.	66
Figura 4.27: Resultados de VAN y TIR.	66

Capítulo 1

Introducción.

Este Trabajo de Fin de Máster trata sobre el estudio de viabilidad para la recuperación energética en la red de abastecimiento de Cieza.

Cada vez es más habitual la búsqueda de energías alternativas, renovables y no contaminantes, como indica el Gobierno en las sucesivas modificaciones regulatorias emitidas en los últimos años, las energías renovables, de cogeneración y de residuos han tenido un extraordinario desarrollo en los últimos tiempos en España, en buena medida por la existencia de diversos marcos de apoyo que han ido estableciendo incentivos económicos a la producción de electricidad mediante estas tecnologías [1].

En la actualidad, existen poblaciones en las que las pendientes pronunciadas de las calles pueden generar grandes saltos de presión, por lo que, en las redes de abastecimiento de dichas poblaciones, se instalan válvulas reductoras de presión, reduciendo la presión en ciertas zonas evitando la posibilidad de roturas en las conducciones. Una alternativa a dichas válvulas es el uso de microturbinas, que además de realizar la misma función se consigue recuperar energía. Debido a la nueva normativa de autoconsumo, se permitiría siempre y cuando se cumplan unos requisitos, aprovechar la energía producida.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

Aumentando la necesidad de la obtención de energía a partir de recursos renovables, junto con la necesidad de regular la presión, en las redes de suministro de agua potable para reducir la presión de estas, surge la idea de instalar microturbinas en la red de suministro, para que a la vez que se reduce la presión se genere energía eléctrica.

El objetivo principal de este estudio es estudiar la viabilidad técnica y económica la instalación de microturbinas hidroeléctricas para la recuperación de energía de la red de abastecimiento y su autoconsumo como energía eléctrica. El estudio se centra en la red de abastecimiento de Cieza (Murcia), que consta de 8 válvulas reductoras de presión distribuidas en toda su red.

Otro de los objetivos importantes, son los cálculos previos a la obtención del punto de funcionamiento de cada una de las válvulas, donde elegiremos si se emplea turbina o no, para la recuperación de energía.

En base a los resultados obtenidos se realizará un análisis económico, para saber si el proyecto es viable frente a la recuperación energética y posterior autoconsumo.

El presente documento se ha estructurado en cinco capítulos, siendo el primero de ellos esta introducción.

En el capítulo 2 se habla brevemente sobre el municipio de Cieza, la forma en la que se abastece de agua potable, así como la descripción de la red de abastecimiento y donde se encuentran las válvulas reductoras de presión, las cuales se estudiarán posteriormente con mayor detalle.

En el capítulo 3 se describe la metodología empleada para el estudio de cada una de las válvulas reductoras de presión, donde se emplearán datos diarios de caudal y presión proporcionados por Aguas de Cieza a lo largo de 4 años. Se analizarán dichos datos obteniendo el porcentaje que sean útiles para el estudio y no teniendo en cuenta los datos anómalos. Se presentará la forma en la que se obtiene la energía disipada y aprovechable de cada una de las válvulas, el punto de funcionamiento con el que, asignando un rendimiento global inicial, se podrá calcular la potencia por válvula y hacer un análisis de donde sería rentable colocar una turbina conectada a la red. Por otro lado, se comentará la forma para obtener la energía generada por la turbina y poder autoconsumirla teniendo en cuenta el decreto de autoconsumo.

Estudio económico donde se evaluará la rentabilidad, mediante indicadores como el valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR).

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

En el capítulo 4 se analizarán y comentarán los resultados obtenidos, en el cálculo de la energía disipada y aprovechable de las válvulas, la obtención del punto de funcionamiento, la selección de la microturbina y por último la energía aprovechable. Se analizará si es posible obtener una clasificación, dentro de la guía de autoconsumo y se realizará un estudio de viabilidad económica, en tres escenarios diferentes.

Por último, en el capítulo 5 se presentan las principales conclusiones del estudio.

Capítulo 2

Zona de estudio.

2.1. Localización y descripción de la red de abastecimiento

La red objeto de estudio se encuentra en el municipio de Cieza que tiene una extensión de 365,1 km², e incluye el polígono industrial de Ascoy. En la *Figura 2.1* podemos observar la situación del casco urbano de Cieza y el polígono de Ascoy.

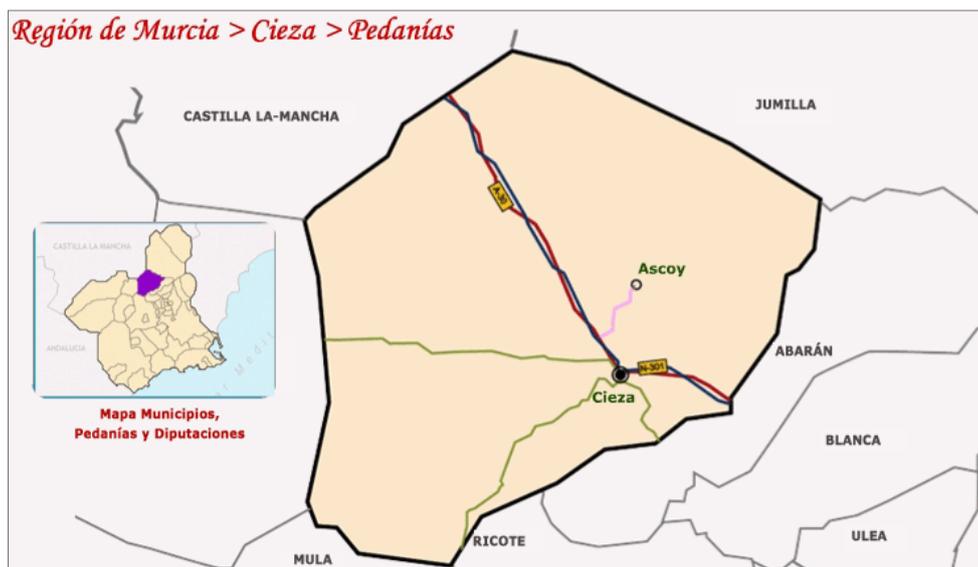


Figura 2.1: Término municipal de Cieza.

CAPÍTULO 2. ZONA DE ESTUDIO

En Cieza no existen instalaciones de producción de agua potable, por lo que la totalidad de los recursos de agua potable disponibles en el municipio son los provenientes de la Mancomunidad de los Canales del Taibilla (MCT), siendo el punto de entrega de los mismos los depósitos que la MCT dispone en el término municipal de Cieza.

Por su parte, los caudales que llegan a estos depósitos provienen de la estación de tratamiento de agua potable de “Sierra de la Espada”, a través de una impulsión inicial y una posterior conducción mixta de agua rodada y sifones, situada en el término municipal de Molina de Segura [2].

En definitiva, el esquema general desde el origen del recurso hasta su abastecimiento al municipio de Cieza es el siguiente:



Figura 2.2: Esquema de abastecimiento al municipio de Cieza. (Plan director abastecimiento Cieza)

Como vemos en la *Figura 2.3*, el abastecimiento de agua potable en el término municipal se realiza desde dos puntos bien diferenciados. Por un lado, los caudales distribuidos directamente desde los Depósitos de la MCT al municipio de Cieza, y por otro lado los distribuidos a través de los Depósitos de Ascoy a la pedanía del mismo nombre [3].



Figura 2.3: Emplazamiento de los Depósitos de la MCT en el municipio de Cieza. (Plan director abastecimiento Cieza)

1) Depósitos de la MCT

En este emplazamiento se encuentran tres depósitos, con un volumen de almacenamiento total de 15.081 m³.



Figura 2.4: Depósitos de la MCT. (Plan director abastecimiento Cieza)

2) Depósito de La Mina

El Depósito de La Mina no es un depósito de distribución en sí, sino que, en la actualidad, sirve exclusivamente para la regulación de caudales que se impulsan posteriormente hasta los depósitos de Ascoy, con una capacidad total de 1.500 m³.



Figura 2.5: Depósito de la Mina. (Plan director abastecimiento Cieza)

3) Depósitos de Ascoy

Los Depósitos de Ascoy, son depósitos de almacenamiento y regulación con destino al suministro de agua a Ascoy y al Paraje de El Búho.

Es un conjunto de dos depósitos de planta circular y con una capacidad total de almacenamiento de 10.000 m³ (5.000 m³ cada uno).

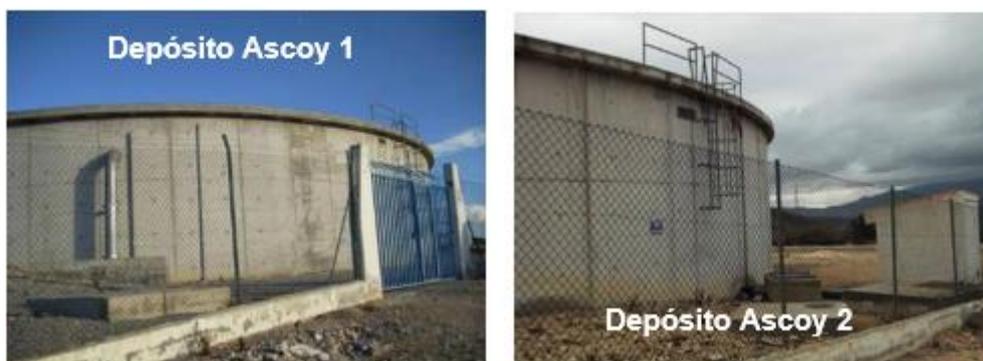


Figura 2.6: Depósitos de Ascoy. (Plan director abastecimiento Cieza)

CAPÍTULO 2. ZONA DE ESTUDIO

Las zonas hidráulicas abastecidas por cada grupo de depósitos quedarían tal y como se muestra en la *Figura 2.6*, representando en azul la zona abastecida por los Depósitos de la MCT donde se incluyen 15 sectores, y en naranja la zona abastecida por los Depósitos de Ascoy con 6 sectores.

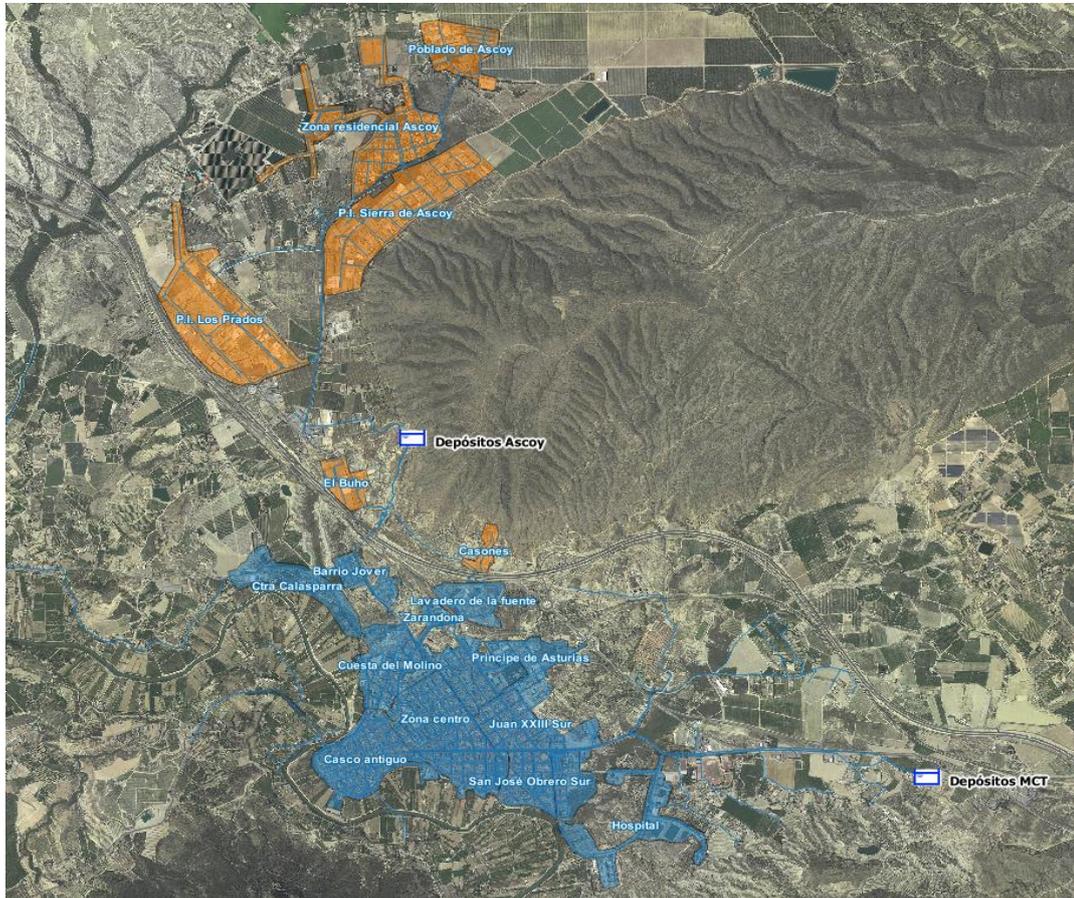


Figura 2.7: Sectores hidráulicos abastecidos por los depósitos de la MCT (Azul) y por los depósitos de Ascoy (naranja). (Plan director abastecimiento Cieza)

En la actualidad, la red de distribución de agua potable tiene una longitud aproximada de 110 km, encontrándose configurada principalmente con tuberías de polietileno, fundición dúctil y PVC.

En cuanto a los diámetros de las conducciones, estos varían desde los 25 mm hasta los 600 mm, destacando sobre todo los diámetros inferiores a 200 mm.

La red se encuentra mallada casi en su totalidad, con lo que se consigue homogeneizar presiones y mejorar las condiciones sanitarias del agua distribuida.

La población actual del municipio de Cieza, junto con las actividades terciarias e industriales existentes, consumen un volumen anual en torno a 1.849.000 m³ de agua potable, lo que supone unos 5.065 m³/día aproximadamente al día.

CAPÍTULO 2. ZONA DE ESTUDIO

POBLACIÓN CIEZA	CAUDAL SUMINISTRADO (m ³ /día)	DOTACIÓN (l/hab. día)
35.134 hab.	5.065	144

Figura 2.8: Población y dotación del municipio de Cieza. (Plan director abastecimiento Cieza)

De toda la red destacar las conducciones que parten de los depósitos de la MCT, de 400 mm y de 600 mm de diámetro respectivamente, que transportan el agua hasta el casco urbano de Cieza, discurriendo ambas paralelamente a través de la carretera N-301 y suministrando durante su recorrido a los sectores hidráulicos y puntos de suministro colindantes (Figura 2.9).



Figura 2.9: Conducciones de transporte desde los depósitos de la MCT. (Plan director abastecimiento Cieza)

Los elementos más importantes de la red se encuentran controlados y accionados de forma remota para conocer en tiempo real cuales son las variables básicas de funcionamiento. En la Figura 2.10, se muestra el esquema hidráulico general del sistema de abastecimiento actual del municipio.

CAPÍTULO 2. ZONA DE ESTUDIO

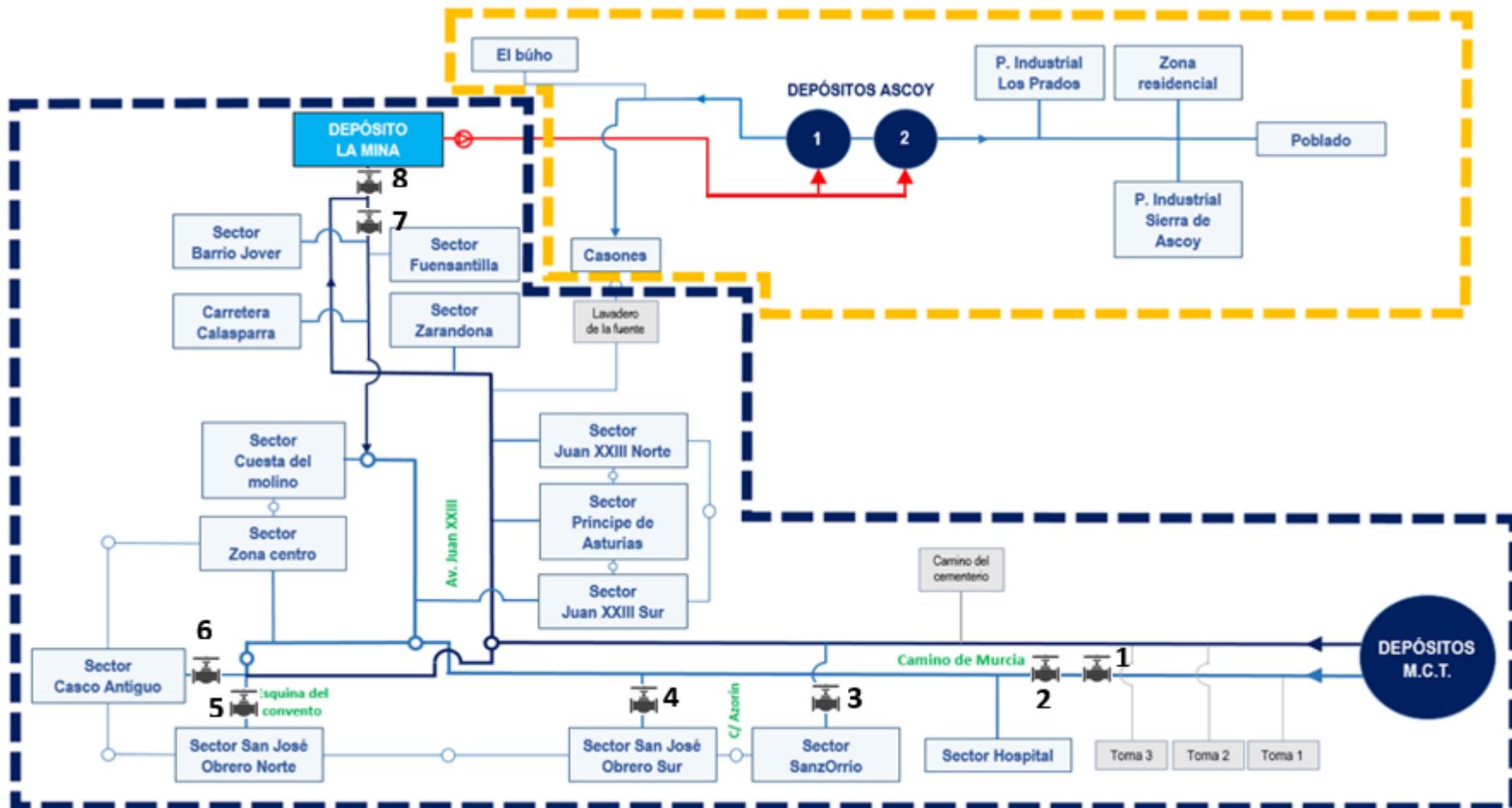


Figura 2.10: Esquema hidráulico general del sistema de abastecimiento de agua potable del municipio de Cieza. (Plan director abastecimiento Cieza)

2.2. Sectores donde existen válvulas reductoras de presión (VRP)

Estas válvulas se encargan de regular la presión en algunos puntos de la red, con el objetivo de reducir las sobrepresiones en la misma y evitar así la fatiga de las propias instalaciones, reduciendo a su vez la pérdida de agua en caso de posibles fugas. En este apartado analizaremos cada uno de los sectores en los que tenemos una válvula reductora de presión y su situación:

- **Válvulas en zona Azorín**

Sector Sanz-Orrio. Situado al Sureste del casco urbano, se abastece mediante la conducción principal de 600 mm que parte de los Depósitos de la MCT. El agua entra al sector por la Calle Azorín, a través de una conducción de fundición dúctil de 100 mm de diámetro, como se observa en el punto 3 de la *Figura 2.10*.



Figura 2.11: Válvula reductora de Sanz Orrio.

En la *Figura 2.11* se observan dos válvulas paralelas, la de la izquierda se trata de una válvula de mariposa y es la que se encuentra en la conducción de FD 100mm, sin embargo, dicha válvula se encuentra fuera de servicio y la que si funciona es la de la derecha, que se trata de un By-pass con una tubería de polietileno con DN 50mm y donde encontramos una válvula de diafragma con PN16.

Sector San José Obrero Sur. Situado al sur del casco urbano, se abastece mediante la conducción principal de 400 mm que parte de los Depósitos de la MCT. El agua entra al sector por la Calle Azorín, a través de una conducción de fundición dúctil de 150 mm de diámetro, como se observa en el punto 4 de la *Figura 2.10*.



Figura 2.12: Válvula reductora de San José Obrero Sur.

En la *Figura 2.12*, vemos como para este sector ocurre lo mismo que para Sanz-Orrio, donde nos encontramos un By-pass, con una tubería de polietileno con DN 63mm y una válvula de diafragma con PN16.

- **Válvulas en zona Convento**

Sector San José Obrero Norte. Situado también al Sur del casco urbano, se abastece mediante la conducción principal de 400 mm que discurre por el Camino de Murcia, como se observa en el punto 5 de la *Figura 2.10*.



Figura 2.13: Válvula reductora de San José Obrero Norte.

CAPÍTULO 2. ZONA DE ESTUDIO

El agua entra al sector por la Esquina del Convento, a través de una conducción de PVC de 160 mm de diámetro.

Podemos ver en la *Figura 2.13*, la válvula reductora de tipo diafragma con un DN 150mm y una PN16.

Sector Casco Antiguo. Situado al Oeste del casco urbano, se abastece mediante la conducción principal de 400 mm que discurre por el Camino de Murcia. El agua entra al sector por la Esquina del Convento, a través de una conducción de fundición dúctil de 250 mm de diámetro, como se observa en el punto 6 de la *Figura 2.10*.



Figura 2.14: Válvula reductora Casco Antiguo.

En la *Figura 2.14*, vemos en la conducción principal una válvula de mariposa, actualmente en desuso con un DN 250mm y en su puesto trabaja una válvula de diafragma con PN16, mediante un By-pass con una tubería de polietileno de DN 63mm.

- ***Válvulas zona Fuensantilla***

Sector Barrio Jover. Situado al Norte del casco urbano, se abastece mediante la conducción principal de 350 mm que discurre por la Carretera de Madrid.

Sector Carretera de Calasparra. Situado al Noroeste del casco urbano, se abastece mediante la conducción principal de 350 mm que discurre por la Carretera de Madrid.

Sector Cuesta del Molino. Situado al Noroeste del casco urbano, se abastece mediante la conducción principal de 350 mm que discurre por la Calle de la Estación.



Figura 2.15: Válvula reductora de entrada al Casco Urbano.

En la *Figura 2.15* podemos observar una válvula de mariposa con DN 300mm y PN16, se encuentra en la conducción principal de FD 350mm, regulando los 3 sectores mencionados anteriormente en dirección hacia el casco urbano y que vemos marcados con el punto 7 en la *Figura 2.10*.

Regulación depósito Mina. Situado al Norte del casco urbano, se abastece mediante la conducción principal de 350 mm que discurre por la Carretera de Madrid, como se observa en el punto 8 de la *Figura 2.10*.



Figura 2.16: Válvula reguladora de la Mina.

CAPÍTULO 2. ZONA DE ESTUDIO

La conducción FD 350mm que va hacia la Mina, se encuentra regulada por una válvula de mariposa con DN 300mm y PN16, como vemos en la *Figura 2.16*.

- **Válvulas zona Lonja**

Las válvulas en esta zona son dos y se encuentran colocadas en serie en la misma conducción de FC 400 mm, la primera de ellas es la que realiza la función principal y la segunda trabaja en caso de fallar la primera, como se observa en el punto 1 y 2 de la *Figura 2.10* respectivamente.

La colocación de las dos válvulas, se debe principalmente a que es el abastecimiento principal, regulando la presión general en todos los sectores hidráulicos del casco urbano.

Válvula 1 Lonja



Figura 2.17: Válvula 1 de la Lonja.

La válvula 1 de la Lonja como vemos en la *Figura 2.17*, se trata de una válvula de paso anular con un DN 350mm y PN16.

Aunque se encuentre situada en la conducción de 400mm, se coloca a la entrada de dicha válvula una reducción para adaptarse al diámetro de 350mm, ampliándose de nuevo tras la salida a la conducción de 400mm.

Válvula 2 Lonja



Figura 2.18: Válvula 2 de la Lonja.

En la *Figura 2.18*, observamos la situación de la válvula reguladora 2 de la Lonja, se trata de una válvula de mariposa con DN 400mm y PN16.

En caso de entrar en funcionamiento, se debería a que en la válvula 1 de la Lonja se ha producido algún fallo y no está operativa.

A continuación, en la *Figura 2.19* se muestra un esquema de donde se encuentran situadas ambas válvulas, y como se encargan de regular la presión de toda la entrada al casco urbano, así como de lo que llega al polígono industrial de Ascoy.

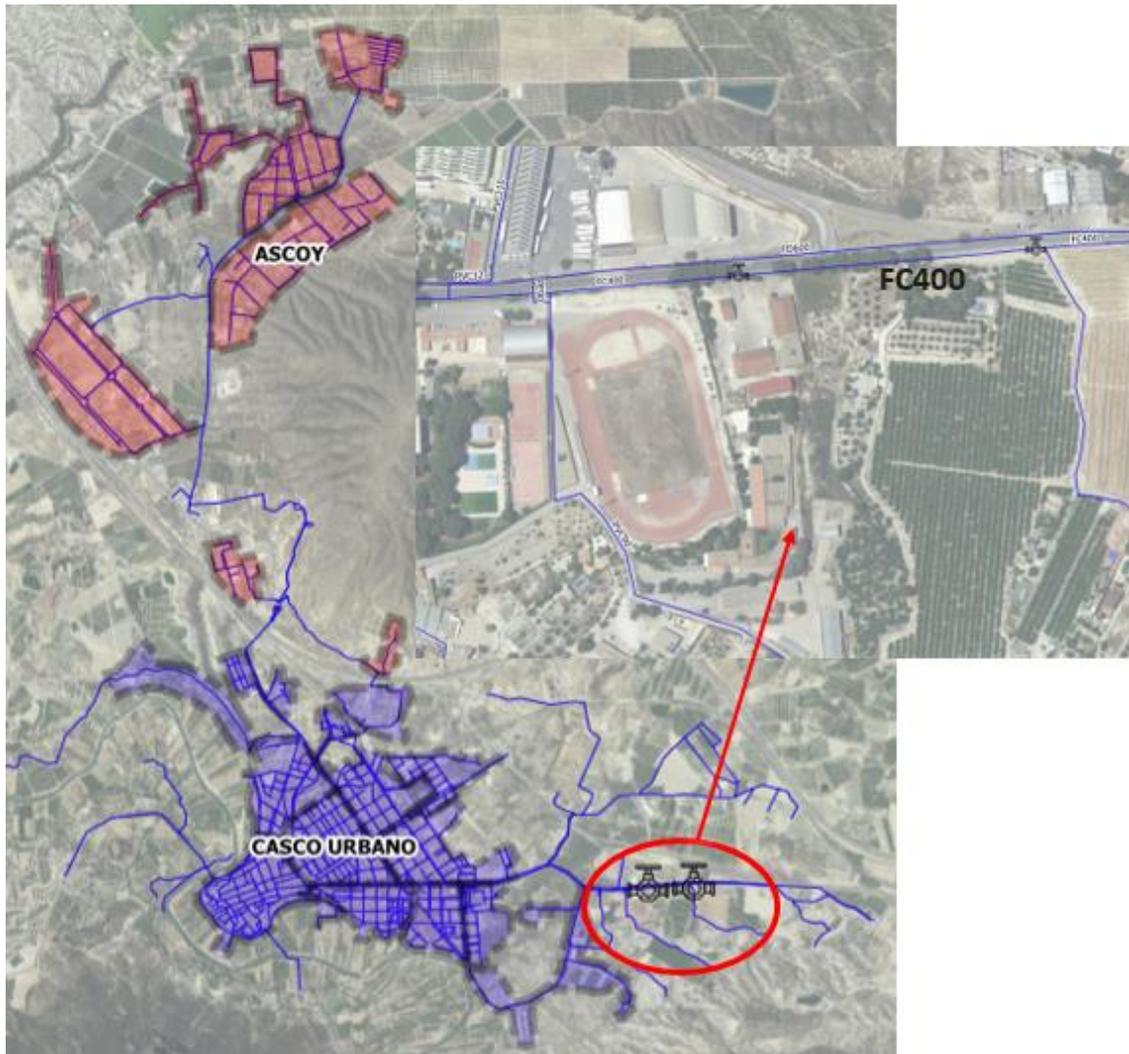


Figura 2.19: Situación de las válvulas 1 y 2 de la Lonja en Cieza.

Capítulo 3

Metodología.

3.1. Recopilación y selección de datos

Los datos empleados para el estudio corresponden a valores medios diarios de presión y caudal durante 4 años. Estos datos han sido facilitados por Aguas de Cieza (empresa mixta entre Hidrogea y el Ayuntamiento de Cieza)

De entre todos los datos existentes, se han seleccionado aquellos datos de presión y caudal relativos a los sectores, donde se encuentran las válvulas reductoras de presión. Para cada una de las válvulas se obtuvieron datos medios diarios de caudal, de presión aguas arriba y de presión aguas abajo de la válvula.

A continuación, en la *Figura 3.1* se puede ver un ejemplo de cómo se muestra el telemando para las válvulas de Azorín.

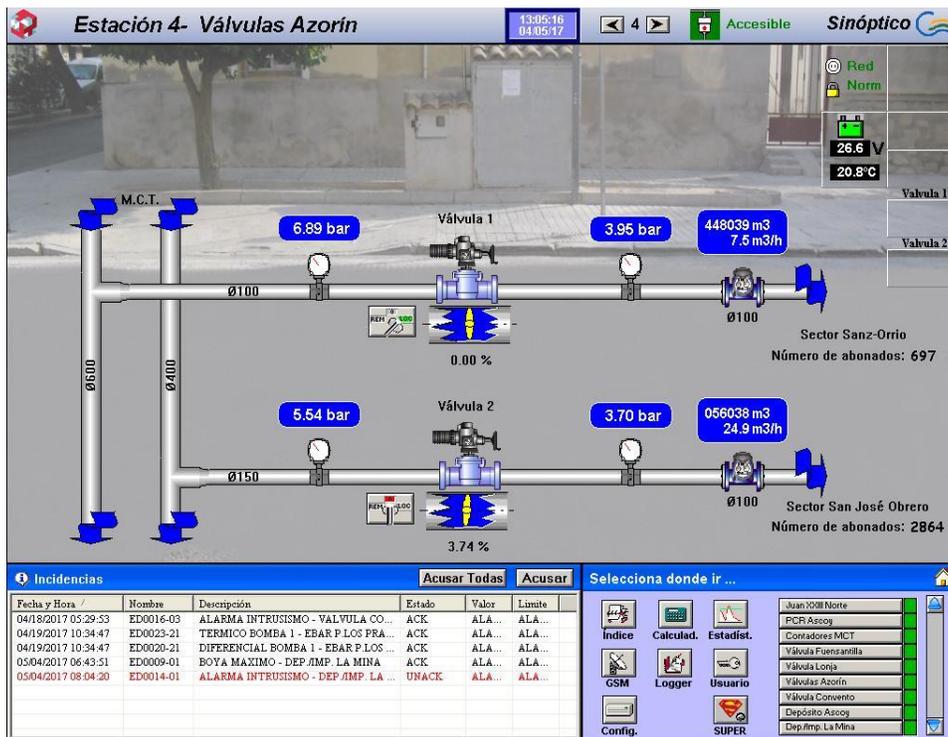


Figura 3.1: Estación de telemando de la regulación de presión en Azorín. (Plan director abastecimiento Cieza)

Las estaciones telecontroladas de válvulas reguladoras, permiten disponer en tiempo real de la información de presiones y caudal y en su caso actuar sobre la misma para conseguir una regulación automática de la presión.

Del conjunto de datos que, obtenidos del telemando, existen algunos que no son útiles para el estudio por alguna de las siguientes razones:

- Uno de los fallos más comunes suele ser que al ser un proceso telecontrolado, en ocasiones las lecturas de los datos tanto de presiones como caudales no se toman de forma correcta.
- Otro de los fallos quizás no tan habitual es que, debido a alguna rotura en alguno de los sectores de la red de abastecimiento, es necesario cortar temporalmente el suministro por la zona habitual a dicho sector y abastecerlo por otra zona, que puede requerir el sentido inverso del flujo de agua a través de la red, ocasionando en la válvula reductora que la diferencia de presiones entre aguas arriba y aguas abajo sea negativa, por lo tanto, no se considera un dato correcto para el estudio.

CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA

De los 4 años que se estudian, que son 2014, 2015, 2016 y 2017, no todos ellos están completos. El año 2014 empieza a contar datos del 1 de julio hasta el 31 de diciembre, el año 2017 cuenta datos desde el 1 de enero hasta el 11 de julio, los años 2015 y 2016 si están completos exceptuando ciertos días en los que puede existir la falta de datos por los fallos que hemos mencionado anteriormente.

Atendiendo a los años de estudio y los fallos que puedan suceder, la *Figura 3.2* muestra el porcentaje de datos útiles para cada año.

	2014		2015		2016		2017	
% DATOS DISPONIBLES	50.0%		100.0%		100.0%		52.3%	
	% DATOS UTILES							
	PRESIÓN	CAUDAL	PRESIÓN	CAUDAL	PRESIÓN	CAUDAL	PRESIÓN	CAUDAL
V. 1 LONJA	48.64	48.36	98.09	98.09	99.18	99.18	52.03	52.03
V. 2 LONJA	42.88	48.36	88.77	98.09	81.92	99.18	18.53	52.03
V. SAN JOSE OBRERO SUR	5.19	48.64	68.5	98.09	99.18	99.18	52.03	52.03
V. SANZ ORRIO	48.64	48.64	98.09	98.09	99.18	99.18	52.03	52.03
V. SAN JOSE OBRERO NORTE	48.64	48.64	98.09	93.98	99.18	99.18	51.76	51.76
V. CASCO ANTIGUO	48.64	48.36	98.09	98.09	99.18	99.18	52.03	52.03
V. MINA	39.62	0	85.48	0	80.27	18.91	26.7	47.67
V. CASCO URBANO	44.26	0	90.41	82.19	96.71	66.31	51.76	52.3

Figura 3.2: Porcentaje de datos disponibles y útiles para el estudio.

CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA

En la *Figura 3.3* podemos observar un resumen de las válvulas reductoras a estudiar, con sus códigos de identificación tanto para presión de aguas arriba, aguas abajo y caudales de cada una de ellas, en los 4 años de estudio.

Los datos que aparecen son las medias anuales de caudal y presiones aguas arriba y aguas abajo de cada válvula.

		CÓDIGO		2014	2015	2016	2017
				MEDIA			
LONJA	VÁLVULA 1 LONJA	PR.AG.ARRIBA (bar)	EA0009-05	4.50	4.50	4.50	4.50
		PR.AG.ABAJO (bar)	EA0002-05	3.40	3.56	3.64	3.62
	VÁLVULA 2 LONJA	PR.AG.ARRIBA (bar)	EA0002-05	3.40	3.56	3.64	3.62
		PR.AG.ABAJO (bar)	EA0003-05	3.36	3.51	3.61	3.63
		CAUDAL (m3/h)	CS0013-07	179.90	216.30	217.94	223.31
AZORÍN	SAN JOSE OBRERO SUR	PR.AG.ARRIBA (bar)	EA0010-04	5.08	5.21	5.30	5.27
		PR.AG.ABAJO (bar)	EA0011-04	4.84	3.87	3.76	3.76
		CAUDAL (m3/h)	EA0002-04	14.29	16.67	17.63	18.69
	SANZ ORRIO	PR.AG.ARRIBA (bar)	EA0008-04	6.86	6.82	6.83	6.81
		PR.AG.ABAJO (bar)	EA0009-04	4.09	4.00	3.95	3.94
		CAUDAL (m3/h)	EA0001-04	5.42	8.10	8.25	8.49
CONVENTO	SAN JOSE OBRERO NORTE	PR.AG.ARRIBA (bar)	EA0002-03	5.80	5.78	5.80	5.77
		PR.AG.ABAJO (bar)	EA0006-03	3.52	3.47	3.76	3.76
		CAUDAL (m3/h)	CS0011-03	17.85	19.78	19.14	18.59
	CASCO ANTIGUO	PR.AG.ARRIBA (bar)	EA0002-03	5.80	5.78	5.80	5.77
		PR.AG.ABAJO (bar)	EA0003-03	4.14	4.50	4.61	4.58
	CAUDAL (m3/h)	CS0010-03	24.70	26.76	26.18	26.94	
FUENSANTILLA	MINA	PR.AG.ARRIBA (bar)	EA0002-06	4.57	4.39	4.53	4.36
		PR.AG.ABAJO (bar)	EA0006-06	3.52	3.72	3.91	4.34
		CAUDAL (m3/h)	CS0015-01	#N/D	#N/D	15.19	18.99
	CASCO URBANO	PR.AG.ARRIBA (bar)	EA0002-06	4.57	4.39	4.53	4.36
		PR.AG.ABAJO (bar)	EA0003-06	4.16	4.13	4.24	4.09
		CAUDAL (m3/h)	CS0013-13 (CUESTA DEL MOLINO)	15.38	24.44	22.28	23.18
			CS0013-14 (CARR. CALASPARRA)	0.75	0.63	0.45	0.56
		CS0013-15 (BARRIO JOVER)	#N/D	1.55	1.49	1.61	
		CS0013 (TOTAL)	#N/D	26.62	24.21	25.35	

Figura 3.3: Resumen de presiones y caudales medios de las válvulas reductoras.

Viendo la *Figura 3.3*, destacamos las válvulas donde la diferencia de presión es superior a 1 kg/cm^2 , las cuales son en la zona de la Lonja la válvula 1, en el sector de Azorín la válvula del sector de Sanz Orrio, en la zona del convento ambas válvulas tanto San Jose Obrero Norte como el Casco Antiguo y en la zona de la Fuensantilla la válvula de la Mina, aunque ésta última los años 2015 y 2016 no llegan a superar dicha presión, si se dan valores cercanos entre $0,6 - 0,7 \text{ kg/cm}^2$.

Por otro lado, los caudales en las distintas válvulas suelen rondar valores entre 0 y 27 m³/h, con la excepción de la válvula 1 y 2 ya que el caudal máximo de media que pasa es de aproximadamente 224 m³/h. Esto se debe principalmente a que se encuentra en la entrada al pueblo y es el abastecimiento principal, donde todo el caudal llega desde los depósitos de la mancomunidad del Taibilla.

Cabe destacar que en la válvula 2 de la zona de la Lonja, aunque el caudal que circula es el mismo que por la 1, la diferencia de presión es prácticamente nula, ya que la que trabaja es la 1 y la 2 es de reserva, en caso de que en la válvula 1 se produzca un fallo.

Según estos datos, se puede intuir que la válvula que disipa más energía es la válvula 1 de la Lonja y, por tanto, presumiblemente será allí donde será más rentable instalar una microturbina para la recuperación de energía.

3.2. Método para el cálculo de la energía disipada y aprovechable por las válvulas

Este estudio se realiza para 8 válvulas situadas en diferentes zonas del casco urbano de Cieza, a partir de los datos medios diarios durante 4 años.

La energía disipada (E_d), es aquella que despende la válvula reductora en forma de calor y que no se recupera, cuyas variables son el caudal, la diferencia de presión entre aguas arriba y aguas abajo, la densidad del fluido y la gravedad [4]. Las fórmulas que relacionan estos parámetros son las siguientes:

La energía la obtenemos:

$$E_d = P_d \cdot T_f$$

Donde:

E_d = energía disipada por la válvula, en KWh.

P_d = potencia disipada en KW.

T_f = tiempo de funcionamiento, en horas.

La potencia la obtenemos:

$$P_d = \rho \cdot g \cdot Q \cdot \Delta h$$

Donde:

P_d = potencia disipada en W, se hace el cociente entre 1000 para obtener en KW.

ρ = densidad en kg/m³. En el caso del agua 1000 kg/m³.

Q = caudal de la instalación en m^3/s .
 Δh = salto de presión en mca.

La energía aprovechable (Ea), es aquella que se puede recuperar a través de una instalación hidráulica y que depende del caudal, de la caída de presión disponible, del rendimiento que se pueda obtener, de la densidad del fluido y del valor de la gravedad. Las fórmulas que relacionan estos parámetros son las siguientes:

La energía la obtenemos:

$$Ea = Pa \cdot Tf$$

Donde:

Ea = energía aprovechable por la válvula, en KWh.
 Pa = potencia aprovechable en KW.
 Tf = tiempo de funcionamiento, en horas.

La potencia la obtenemos:

$$Pa = \rho \cdot g \cdot Q \cdot \Delta h \cdot \mu$$

Donde:

Pa = potencia aprovechable en W, se hace el cociente entre 1000 para obtener en KW.
 ρ = densidad en kg/m^3 . En el caso del agua $1000 kg/m^3$.
 Q = caudal de la instalación en m^3/s .
 Δh = salto de presión en mca.
 μ = rendimiento conjunto de la instalación.

Se ha considerado inicialmente un rendimiento global para la instalación hidráulica del 80%, éste no será el rendimiento final ya que tras obtener la zona en la que se colocará la microturbina y la potencia de ésta, se contactará con el fabricante para que nos indique, que microturbina sería la más adecuada y poder obtener el rendimiento al que trabajaría, ya que será variable a lo largo de los días del año. Los valores de caudal y de diferencia de presiones son los obtenidos en el año medio que hemos calculado.

Para el cálculo de la energía aprovechable se ha calculado la energía con el caudal, la diferencia de presiones y el tiempo de funcionamiento de ambos, por lo que, al tratarse de dos factores, el cálculo se tiene que llevar a cabo en forma de matriz.

Para calcular la energía nos hace falta obtener el tiempo de funcionamiento de la instalación, para ello teniendo en cuenta que el cálculo es para un año medio, calcularemos la probabilidad de que la instalación funcione cada uno de los días del año [5]. La probabilidad se calcula con la siguiente fórmula:

$$Pf = \frac{d}{(dT + 1)} \cdot 100$$

Donde:

Pf = probabilidad de que un valor se produzca o sea superado a lo largo de un año.

d = día que se estudia la probabilidad.

dT = días totales del año medio.

Una vez que ya tenemos la probabilidad en porcentaje, pasamos a calcular el tiempo de funcionamiento por cada día del año y lo obtenemos en horas, para finalmente calcular la energía aprovechable mediante la siguiente fórmula:

$$Tf = \frac{Pf}{100} \cdot 365 \cdot 24$$

Donde:

Tf = tiempo de funcionamiento, en horas.

Pf = probabilidad de que un valor se produzca o sea superado a lo largo de un año.

Como se ha indicado se tiene que realizar una matriz, para ello copiamos los valores de caudal ordenados de forma decreciente en el eje y, eliminamos los posibles valores duplicados y calculamos los tiempos de funcionamiento, realizamos la misma operación para los saltos de presiones, pero las colocamos en el eje x.

Tendremos en cuenta el rendimiento del 80%, destacar también que, al tener dos tiempos de funcionamiento distintos, se tendrá que elegir entre el menor de ambos, en la fórmula de calcular la energía para quedarnos del lado de la seguridad, la fórmula empleada es la siguiente:

$$Ea = \rho \cdot g \cdot Q \cdot \Delta h \cdot \mu \cdot \min(Tf1; Tf2)$$

Donde:

Ea = energía aprovechable por la instalación, en KWh.

ρ = densidad del agua.

Q = caudal de la instalación en m³/s.

Δh = salto de presión en mca.

μ = rendimiento conjunto de la instalación.

Tf1 = tiempo de funcionamiento del salto de presión, en horas.

Tf2 = tiempo de funcionamiento del caudal, en horas.

3.3. Preselección del punto de funcionamiento y del equipo electromecánico

Una vez que ya hemos obtenido la energía aprovechable de cada una de las válvulas, se llevará a cabo la búsqueda del punto óptimo de funcionamiento en cada una de ellas, que será el punto donde la energía aprovechable sea máxima en el año medio. Este punto lleva asociado un par de valores de caudal y diferencia de presiones que corresponden al punto de funcionamiento óptimo de la microturbina a instalar.

Con estos datos, se contacta con el fabricante de microturbinas **Powerturbines** [6], para pedirles información y el posible suministro de una microturbina que se ajuste a los resultados obtenidos.

En base a los datos facilitados, el fabricante nos indicará cuál será el equipo comercial que más se ajusta al punto de funcionamiento calculado.

Con los valores de rendimiento en función de los pares Q-H de la microturbina facilitadas por el fabricante, se recalcula la producción de energía.

3.4. Producción energética y posterior autoconsumo

3.4.1. Energía aprovechable por la microturbina

En el siguiente apartado, se describe la forma en la que se obtiene la energía generada por la microturbina.

CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA

Como se ha realizado en apartados anteriores, para obtener la energía es necesario calcular la potencia y para ello se emplean variables como el caudal, la diferencia de presiones y el rendimiento de la microturbina.

El rendimiento varía en función del caudal y de la diferencia de presiones, dicha variación ha sido obtenida a partir de los datos facilitados por el fabricante.

A continuación, se puede observar en la *Figura 3.4* la curva de la microturbina digitalizada y representada en Excel.

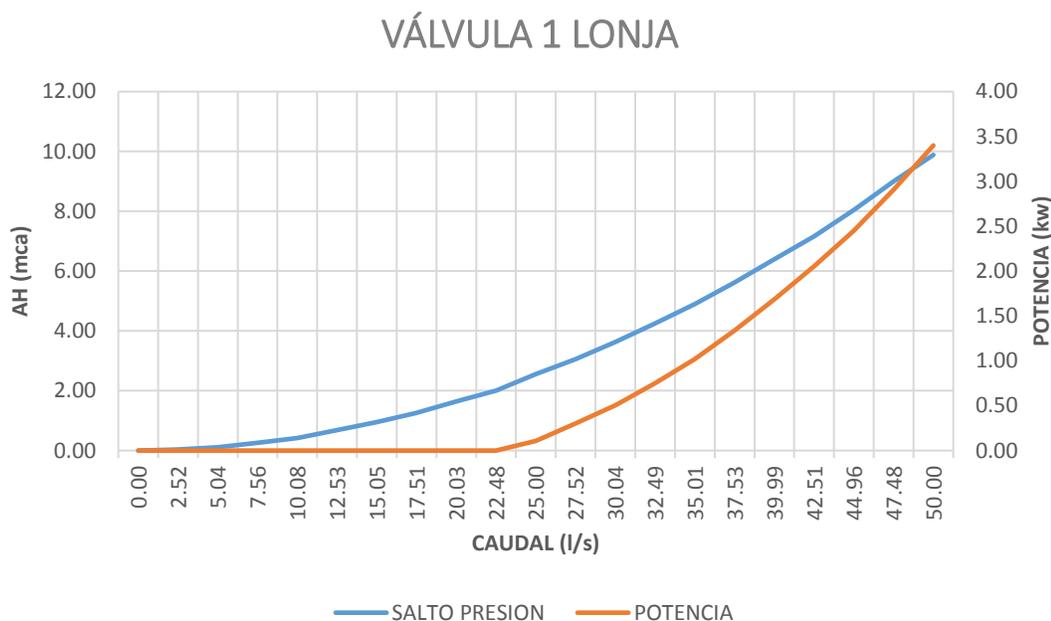


Figura 3.4: Imagen de la curva de la microturbina. (Fabricante Powerturbines)

Observando la gráfica, podemos contemplar como trabajaría la microturbina.

Con respecto a los ejes de caudal y salto de presiones, vemos como la curva crece de 0 a 50 l/s, y los saltos de presión crecen desde 0 hasta aproximadamente 10 mca, quedando la microturbina limitada dentro de este rango de trabajo.

Con respecto a los ejes de caudal y potencia, se puede observar como la curva comienza a crecer a partir de los 22,5 l/s y de los 2 mca, es decir, la microturbina comenzará a generar potencia a partir de dichos valores.

CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA

De las curvas de producción facilitadas por el fabricante, se obtienen los rendimientos de la microturbina para diferentes valores de caudal y de diferencia de presiones, *Figura 3.5*.

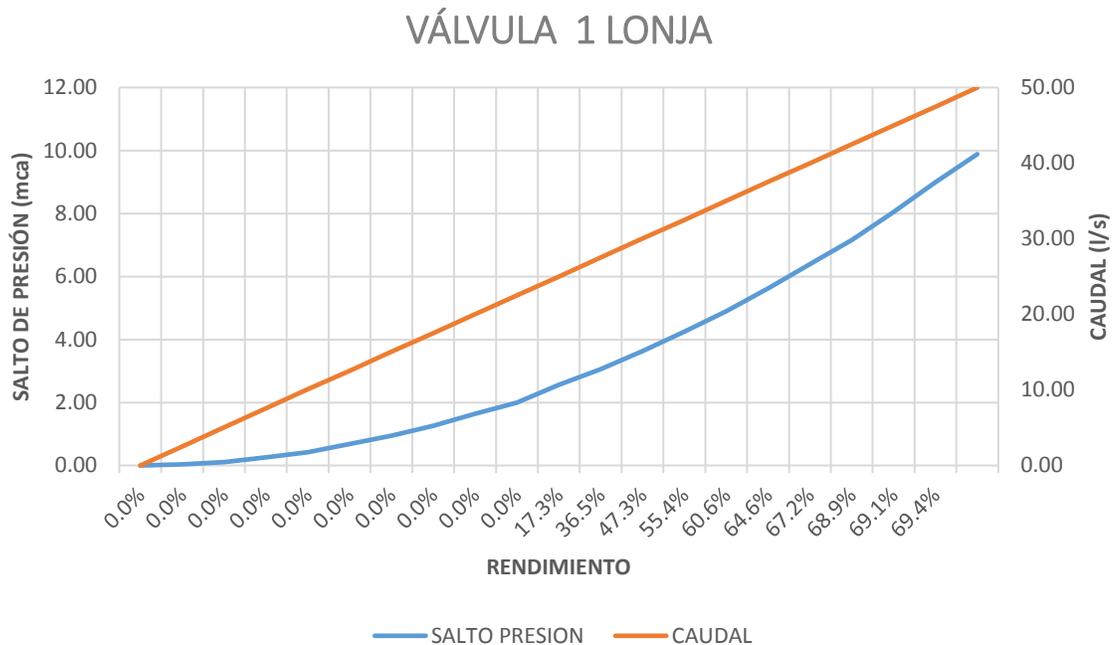


Figura 3.5: Rendimientos de la microturbina, respecto caudal y salto de presión

Llegados a este punto se tendrán dos valores de rendimiento, uno correspondiente al caudal y otro al salto de presión, por lo que, para calcular la potencia, se elegirá el mínimo de ambos para quedarnos del lado de la seguridad.

Se debe de tener en cuenta los límites de caudal y presión, que se han impuesto al ver que el caudal máximo aceptado por la turbina es de 50 l/s, y la presión máxima es de 10 mca, pero sólo a partir de 22,5 l/s y 2 mca empieza a generar potencia. Por tanto, al aplicar la fórmula se condiciona a que, los caudales que sean menores de 22,5 l/s la potencia sea directamente cero, mientras que los que si generarían potencia serían los caudales en el rango de 22,5 a 50 l/s.

Por otro lado, con la presión ocurre lo mismo, si es menor de 2 mca el valor de potencia es directamente cero y, si se encuentra en el rango de 2 a 10 mca se considerará válido ya que generará potencia.

CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA

Los condicionantes y la formulación empleada son los siguientes:

1)

$$Q > Q_{min}$$

$$\Delta h > \Delta h_{min}$$

$$Pa.m = \rho \cdot g \cdot \min(Q; Q_{max}) \cdot \min(\Delta h; \Delta h_{max}) \cdot \min(\mu\Delta h; \mu Q; \mu_{max})$$

2)

$$Q < Q_{min}$$

$$Pa.m = 0$$

3)

$$\Delta h < \Delta h_{min}$$

$$Pa.m = 0$$

Donde:

Pa.m = potencia aprovechable por la microturbina en W, se hace el cociente entre 1000 para obtener en KW.

ρ = densidad en kg/m³. En el caso del agua 1000 kg/m³.

Q = caudal de la instalación en m³/s.

Q_{max} = caudal máximo que acepta la microturbina en m³/s.

Q_{min} = caudal mínimo que acepta la microturbina en m³/s.

Δh = salto de presión en mca.

Δh_{max} = salto de presión máximo que acepta la microturbina en mca.

Δh_{min} = salto de presión mínimo que acepta la microturbina en mca.

$\mu\Delta h$ = rendimiento asociado al salto de presión.

μQ = rendimiento asociado al caudal.

μ_{max} = rendimiento máximo al que trabaja la microturbina.

Una vez calculados los valores de potencia, se obtiene la energía recuperable final por la microturbina.

$$Ea.m = Pa.m \cdot \min(Tf1; Tf2)$$

Donde:

Ea.m = energía aprovechable por la microturbina en KWh.

Pa.m = potencia aprovechable por la microturbina en KW.

Tf1 = tiempo de funcionamiento del salto de presión, en horas.

Tf2 = tiempo de funcionamiento del caudal, en horas.

3.4.2. Autoconsumo energético

El siguiente paso es buscar la forma de aprovechar la energía recuperada, que tal y como se mencionó al inicio del proyecto lo más rentable es para el autoconsumo. En este apartado, nos centraremos en buscar la información necesaria en el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) [7].

El **autoconsumo energético** consiste en el uso de la energía generada por una instalación para el consumo propio.

El desarrollo del autoconsumo garantiza a los consumidores el acceso a alternativas más baratas y respetuosas con los límites del planeta, contribuye a reducir las necesidades de la red eléctrica, genera mayor independencia energética y permite reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

La **Guía Profesional de Tramitación del Autoconsumo** habla sobre los trámites administrativos autonómicos e incide en que en las instalaciones en autoconsumo se realiza un **saldo neto horario entre los consumos de red y los excedentes**. En esta guía se dividen las instalaciones en dos grandes grupos, según sean SIN excedentes o CON excedentes.

Modalidades de autoconsumo:

- **SIN excedentes.** Cuando existen sistemas antivertido que impiden la inyección de energía excedentaria a la red de transporte o distribución. En estas instalaciones el desarrollo tecnológico se alía con el progreso comercial del almacenamiento con baterías, que permite una mejor gestión de los picos de demanda mientras reduce la presión sobre las redes de distribución. En este caso existe un único tipo de sujeto: el consumidor.

- **CON excedentes.** Cuando las instalaciones de generación pueden, además de suministrar energía para autoconsumo, inyectar energía excedentaria en las redes de transporte y distribución. En estos casos existen dos tipos de sujetos: consumidor y productor.

Las instalaciones con excedentes podrán ser:

- CON excedentes ACOGIDAS a compensación

En esta modalidad la energía que no se autoconsume de forma instantánea se vuelca a la red de manera que al final del periodo de facturación (como máximo un mes) el valor de esa energía excedentaria se compensará en la factura del consumidor.

- CON excedentes NO ACOGIDAS a compensación

En esta modalidad la energía que no se autoconsume de forma instantánea se vuelca a la red y se vende obteniendo por ella el precio del mercado eléctrico.

El Real Decreto por otro lado, habilita diversas posibles configuraciones para las instalaciones de generación que podrán ser:

- **Individuales**, cuando exista un único consumidor asociado a la instalación.
- **Colectivos**, cuando existan varios consumidores asociados a la misma instalación de generación. La figura del autoconsumo colectivo permite, por tanto, las instalaciones de autoconsumo en las comunidades de propietarios o en polígonos industriales.

Las instalaciones de generación podrán conectarse de diferentes formas, de manera que serán:

- **Instalaciones próximas en red interior**, cuando se conecten en la red interior de los consumidores.
- **Instalaciones próximas a través de red**, cuando se conecten a las redes de baja tensión que dependan del mismo centro de transformación, o se conecten a menos de 500m del consumidor, o estén ubicadas en la misma referencia catastral que el consumidor.

Para la situación donde se ha decidido colocar la microturbina, se estudia la posibilidad de aprovechar la energía producida, usándola en un polideportivo municipal cercano a la zona, para ello se ha pedido información al ayuntamiento de Cieza, para que nos proporcionen el consumo eléctrico a lo largo de un año del polideportivo, comparar el consumo con nuestra producción a través de la turbina y poder obtener una clasificación dentro de la guía profesional de tramitación del autoconsumo, para comprobar si se cumplen o no los criterios.

3.5. Viabilidad económica

Para el estudio de viabilidad económica se emplearán dos parámetros muy usados, a la hora de calcular la viabilidad de un proyecto que son el VAN (Valor Actual Neto) y el TIR (Tasa Interna de Retorno).

Antes de comenzar con el análisis, debemos de dividir los costes entre fijos y variables [8].

Por un lado, los costes fijos son:

- Turbina + generador + inversor con conexión a baja tensión, donde el precio de este material es el proporcionado por el fabricante de **Power turbines**.
- Coste de la obra civil, para la calderería necesaria para derivaciones.

Por otro lado, nos encontramos con los costes variables, que en nuestro caso los consideramos los costes de operación y mantenimiento (O&M) [9].

Para el cálculo de dichos costes, se realiza aplicando un porcentaje a los costes fijos de cada año.

Para guiarnos sobre el valor de porcentaje que se va a aplicar, se ha consultado el artículo '*Evolución de Costos ERNC*' donde se habla sobre las energías renovables no convencionales, en la parte de costos de la inversión nos centramos en la de equipos electromecánicos, para la transformación de energía.

Concretamente en el apartado de costos de O&M se menciona que una vez construidas y puestas en funcionamiento, las centrales hidroeléctricas por lo general requieren muy poco mantenimiento y los costos de operación se puede mantener bajos, ya que las plantas hidroeléctricas no tienen los costos recurrentes en cuanto a combustibles. Los costos de O&M se dan generalmente como un porcentaje del costo de inversión por kW.

CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA

El estudio del Consejo Europeo de Energías Renovables junto con Greenpeace, utiliza un 4% para los costos de O&M, lo que puede ser apropiado para la energía hidroeléctrica a pequeña escala, pero es demasiado alto para las centrales hidroeléctricas de gran escala. Un estudio hecho por la Agencia Internacional de Energía (IEA), utiliza el 2,2% para la energía hidroeléctrica de gran escala y de 3% para proyectos más pequeños. Un promedio típico de los costos de O&M para la energía hidroeléctrica es de 2,5%, cifra que se utiliza por el Laboratorio Central Oficial de Electrotecnia (LCOE).

En nuestro caso para quedarnos del lado de la seguridad y teniendo en cuenta, que al ser una microturbina se considera una central pequeña, tomaremos un valor intermedio entre, el 4% que emplea el Consejo Europeo de Energías Renovables junto con Greenpeace y el 2,5% que emplea el LCOE, por lo que para este proyecto se aplicara un 3% para los costos de O&M.

Para la evaluación económica del proyecto se utilizarán los indicadores de Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR) [10].

Para ello es necesario conocer el precio de la energía consumida, con el que se calculará el ahorro obtenido mediante la recuperación de energía. Se considerarán tres escenarios distintos, suponiendo un precio de la energía de 10, 15 y 20 céntimos.

Para calcular el VAN se aplicará la siguiente fórmula:

$$VAN = -I + \sum_{n=1}^N \frac{Q_n}{(1+r)^n}$$

Donde:

I = es la inversión inicial en euros.

Q_n = flujo de caja del año n.

R = tasa de interés.

N = número de años de la inversión.

CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA

Para que el proyecto sea rentable, el VAN tendrá que ser superior a cero, lo que significará que recuperaremos la inversión inicial y tendremos más capital que si lo hubiéramos puesto a renta fija.

Para calcular la TIR se aplicará la siguiente fórmula:

$$TIR = \sum_{T=0}^N \frac{Q_n}{(1+r)^n} = 0$$

Donde:

Q_n = flujo de caja del año n .

R = tasa de interés.

N = número de años de la inversión.

La TIR, sería el tipo de interés en el que el VAN se hace cero. Si la TIR es alta, estamos ante un proyecto empresarial rentable, sin embargo, si la TIR es baja, posiblemente no estaríamos ante un proyecto altamente rentable.

Capítulo 4

Resultados.

4.1. Recuperación energética

Tras observar los valores de presión y caudal en la *Figura 3.3*, intuimos en un inicio que la válvula 1 de la Lonja, sería la que más energía disiparía al cabo del año, a continuación, con los resultados obtenidos se comprobará si estábamos en lo cierto.

En primer lugar, se muestran los resultados para la disipación de energía. Se representarán dos gráficas, la primera de ellas realizando una comparativa entre las potencias del año medio de las válvulas y la segunda entre las energías acumuladas.

CAPÍTULO 4. RESULTADOS

- Gráfica comparativa entre las potencias del año medio

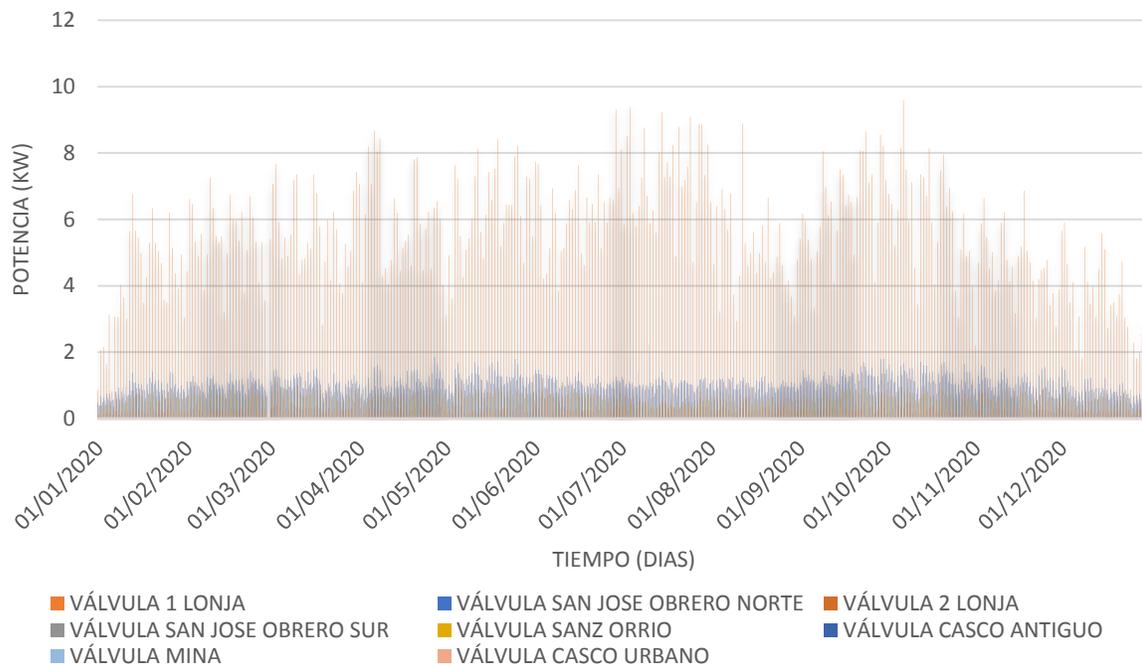


Figura 4.1: Gráfica comparativa entre las potencias del año medio.

En la gráfica de la *Figura 4.1*, se puede ver como predomina la válvula 1 de la Lonja frente al resto, a lo largo de todo el año la potencia va variando con valores relativamente altos, sin embargo, se observan episodios donde la potencia es más baja de lo normal. A principios de año la potencia no alcanza los 2 kW, durante el mes de agosto los valores descienden de los 9 kW hasta los 6 kW aproximadamente, y a partir de octubre decae de manera significativa, desde los 8 kW hasta llegar a los 2 kW.

Para el resto de válvulas ocurre lo mismo, a lo largo de todo el año la potencia va variando, pero en ningún caso se llega a superar los 2,5 kW.

La gran diferencia de potencias entre la válvula 1 de la Lonja y el resto, se debe principalmente a que los caudales que pasan por dicha válvula son muy elevados, ya que es el abastecimiento principal al municipio, mientras que para el resto el caudal es bastante más bajo, por otro lado, la influencia de la presión en la potencia no es tan alta como el caudal, ya que la diferencia que puede existir entre válvulas es menor.

- **Grafica comparativa de las energías acumuladas para el año medio**

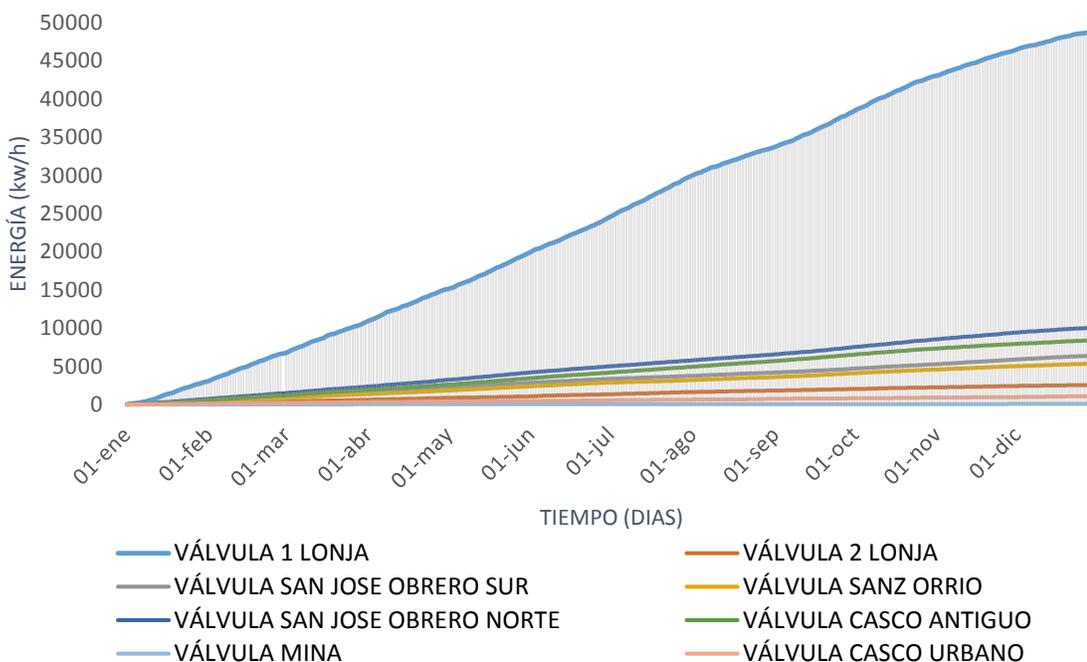


Figura 4.2: Gráfica comparativa de la energía disipada acumulada para el año medio.

En la *Figura 4.2*, se representa la energía acumulada de todas las válvulas para el año medio. Se observa que la energía disipada en un año medio en la válvula de La Lonja es del orden de 50.000 kWh, mientras que para el resto de válvulas esta energía ronda los 10.000 kWh.

Las válvulas de San Jose Obrero Norte y el Casco Antiguo, con valores de energía 10087 y 8425 kWh respectivamente, son las siguientes a la válvula 1 de la Lonja, pero aun así con valores muy alejados. Con valores de energía más bajos nos encontramos a la válvula de San Jose Obrero Sur con 6431 kWh, la de Sanz Orrio con 5364 kWh, y la válvula 2 de la Lonja con 2571 kWh, finalmente las válvulas del Casco Urbano con 1116 kWh y la Mina con una energía tan baja con respecto al resto, que es prácticamente despreciable.

De esta forma corroboramos lo que se había intuido anteriormente, donde la válvula 1 de la Lonja es la que mayor energía disipa con respecto a las demás.

CAPÍTULO 4. RESULTADOS

Dado que la válvula del Casco Urbano y de la Mina son las que menor energía disipan con valores muy bajos, principalmente por la falta de datos, se ha decidido no seguir con el estudio de dichas válvulas, ya que nos alejaríamos de la realidad en los resultados obtenidos.

En la figura *Figura 4.3*, se muestran los resultados para el cálculo de la energía aprovechable, con el rendimiento supuesto inicial del 80%.

Una vez conocida la energía aprovechable de las válvulas pasaremos a obtener el punto de funcionamiento de cada una, el cual se corresponde con el máximo de la curva de energía, con lo que se obtendrá posteriormente la potencia de la máquina.

	ENERGÍA APROVECHABLE	PUNTO DE FUNCIONAMIENTO		
	Energía (Kwh)	Q (m3/h)	Q (m3/s)	AH (mca)
V. 1 LONJA	22698	182,35	0,0507	8,612
V. 2 LONJA	1113	194,12	0,0539	0,448
V. SAN JOSE OBRERO SUR	3061	14,23	0,0040	14,015
V. SANZ ORRIO	2659	6,19	0,0017	28,603
V. SAN JOSE OBRERO NORTE	5210	14,86	0,0041	21,139
V. CASCO ANTIGUO	4147	23,09	0,0064	12,379

Figura 4.3: Puntos de funcionamiento para cada válvula con un rendimiento del 80%.

A continuación, se muestran los puntos de funcionamiento graficados en MATLAB [11].

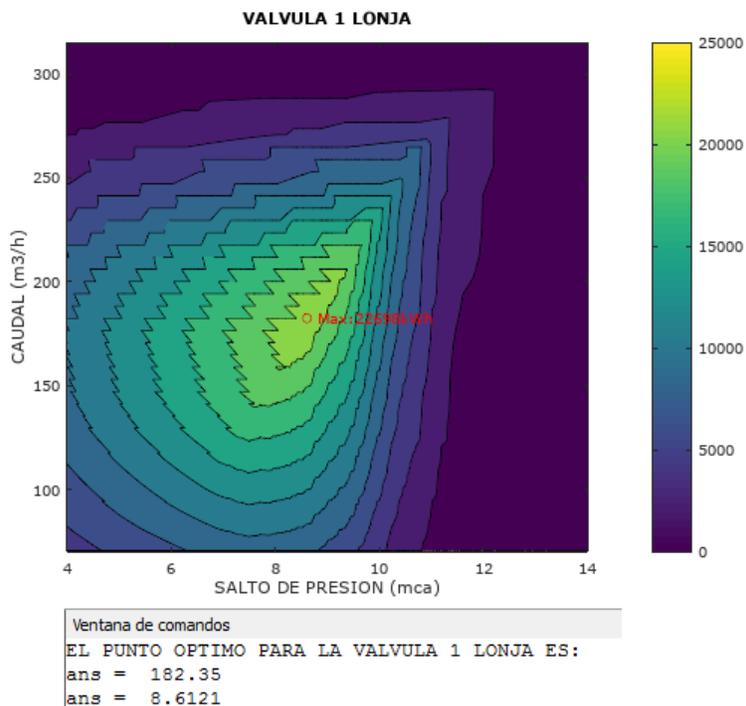


Figura 4.4: Producción de energía y punto de funcionamiento para la válvula 1 de la Lonja

CAPÍTULO 4. RESULTADOS

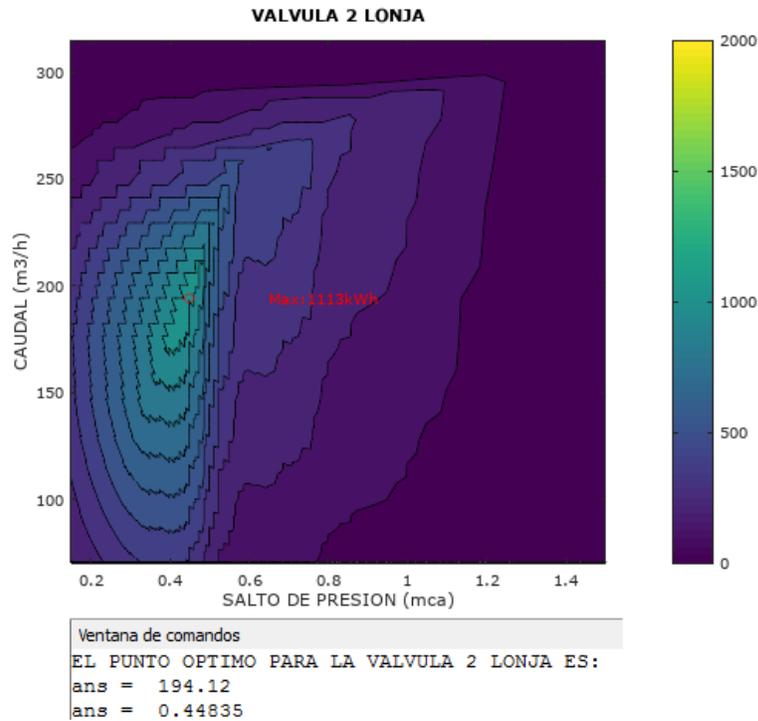


Figura 4.5: Producción de energía y punto de funcionamiento para la válvula 2 de la Lonja

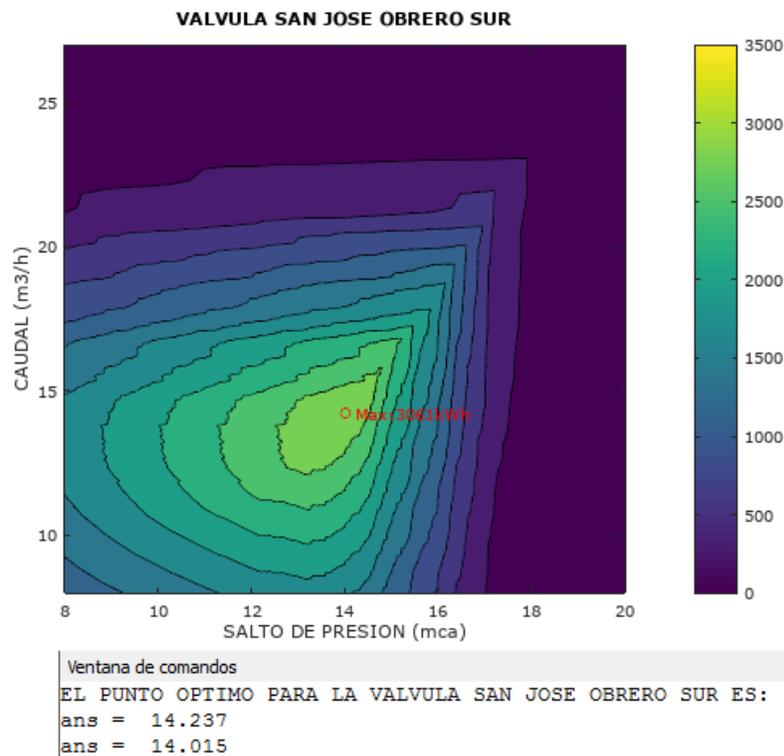


Figura 4.6: Producción de energía y punto de funcionamiento para la válvula de San Jose Obrero Sur

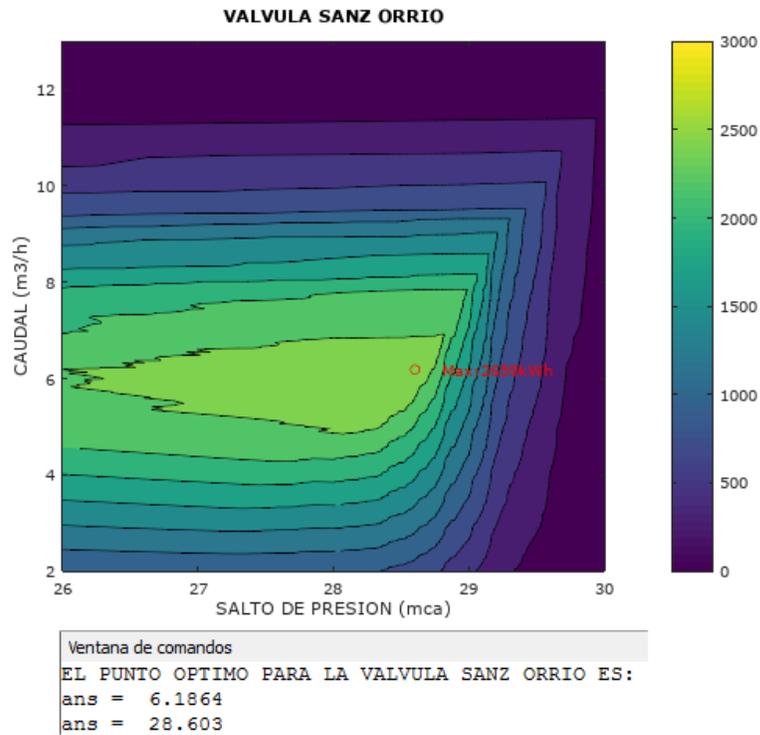


Figura 4.7: Producción de energía y punto de funcionamiento para la válvula de Sanz Orrio

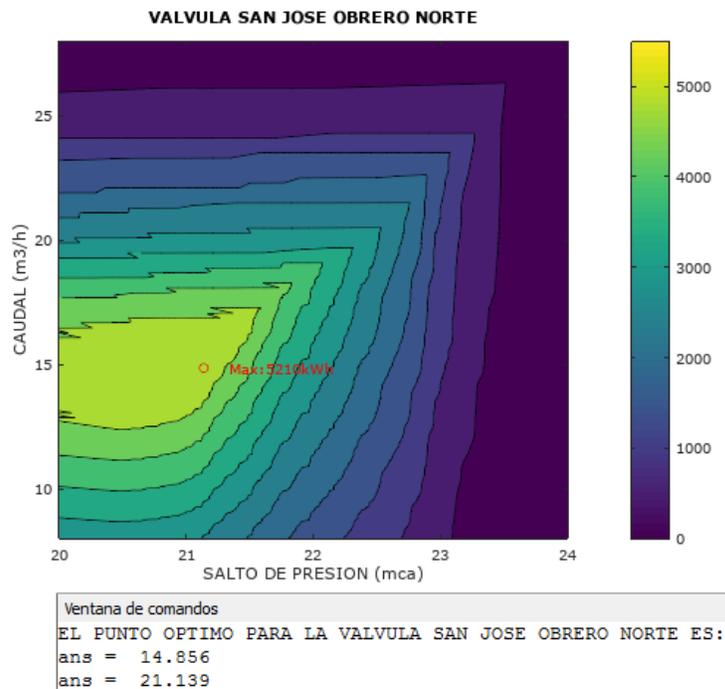


Figura 4.8: Producción de energía y punto de funcionamiento para la válvula de San Jose Obrero Norte

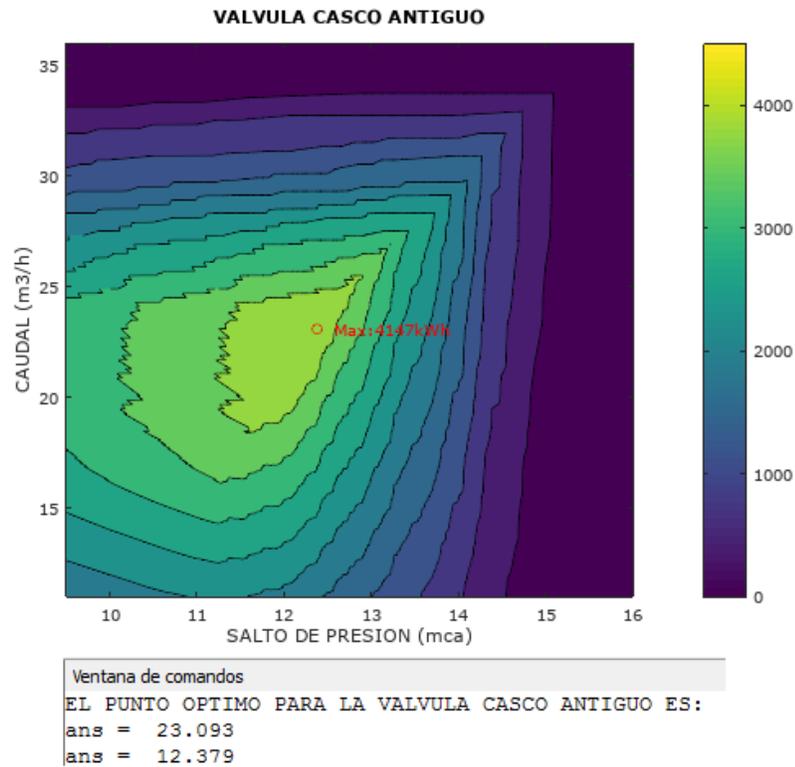


Figura 4.9: Producción de energía y punto de funcionamiento para la válvula del Casco Antiguo

Según los puntos de funcionamiento calculados, la potencia de las microturbinas a instalar en cada una de las válvulas se muestra en la Figura 4.10.

	POTENCIA (KW) TURBINA
V. 1 LONJA	3.42
V. 2 LONJA	0.19
V. SAN JOSE OBRERO SUR	0.43
V. SANZ ORRIO	0.39
V. SAN JOSE OBRERO NORTE	0.68
V. CASCO ANTIGUO	0.62

Figura 4.10: Potencias calculadas para un rendimiento del 80%.

CAPÍTULO 4. RESULTADOS

Observando las potencias obtenidas en la *Figura 4.10*, se llega a la conclusión de que la válvula con mayor potencia, donde sería mayor la recuperación de energía conectando la microturbina con la red eléctrica, y por lo tanto más rentable es en la válvula 1 de la Lonja, mientras que en el resto se podría plantear la idea de usar picoturbinas para cargar baterías de elementos más simples.

A continuación, se mostrará mediante un gráfico de columnas el resumen de la energía acumulada disipada y aprovechable de cada una de las válvulas.

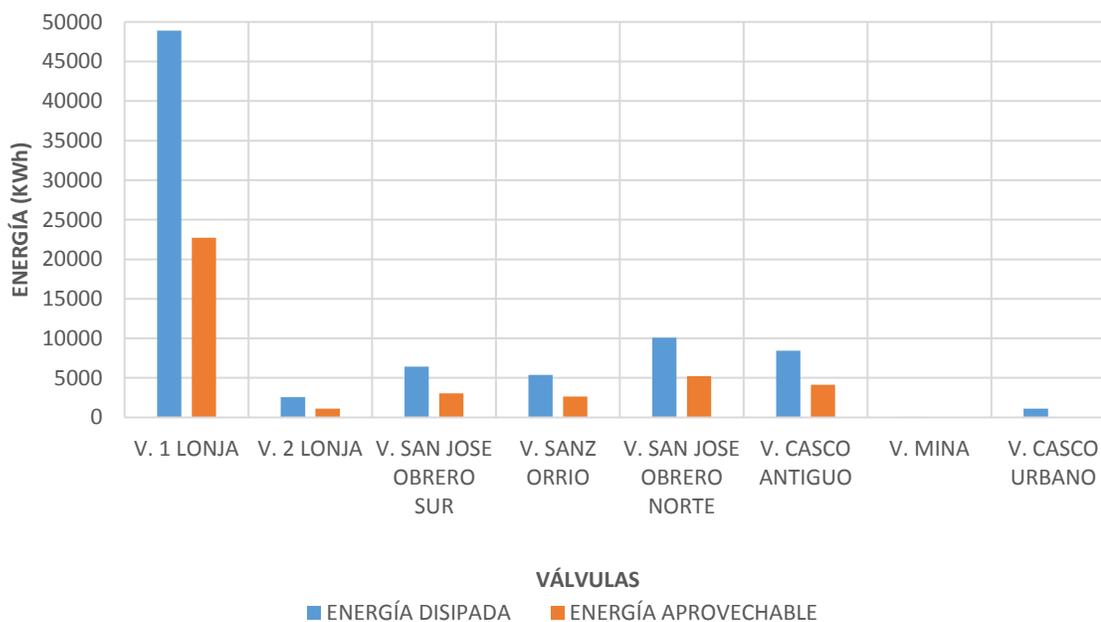


Figura 4.11: Energía acumulada disipada y aprovechable de cada válvula.

En la *Figura 4.11*, podemos ver como la energía aprovechable con respecto a la disipada, suele estar en todas las válvulas alrededor del 50%, excepto en la válvula 2 de la lonja donde es ligeramente más bajo, destacar que como se ha mencionado antes, en las válvulas de la Mina y del Casco Urbano no se ha calculado la energía aprovechable, debido a que los valores de energía disipada son los más bajos.

4.2. Instalación de microturbina en la válvula 1 de la Lonja

Para la válvula 1 de la Lonja, que es la elegida para colocar la microturbina, comparamos el punto de funcionamiento anteriormente calculado con los valores de salto de presión y caudal de la *Figura 4.3*, se puede comprobar como sí entra dentro del rango de trabajo de la curva de la microturbina, donde el rendimiento para el punto óptimo según el fabricante es de 69,4%, obteniendo con los valores marcados en la *Figura 4.12* una potencia de 2,91, aproximándose a 3 kW que es lo que nos marca el fabricante.

La microturbina realiza la función de la válvula reductora de presión dentro de los límites establecidos, en los casos donde no puede mantener una presión correcta, o el caudal de llegada es superior al que se ha limitado, el trabajo pasa a realizarlo la válvula reductora, para evitar de esta forma cualquier tipo de daño en la microturbina. Cabe destacar que, dependiendo del tipo de válvula, sería necesario recalibrarla para poder realizar el trabajo en paralelo con la microturbina.

Con la curva que nos proporciona el fabricante, en la *Figura 4.12*, podemos ver los valores de caudal, salto de presión y potencia que se han obtenido tras la digitalización de dicha curva, y el rendimiento que se ha calculado para cada punto.

CAUDAL (l/s)	SALTO PRESIÓN (mca)	POTENCIA (kw)	RENDIMIENTO
0.00	0.00	0.00	0.0%
2.52	0.04	0.00	0.0%
5.04	0.11	0.00	0.0%
7.56	0.26	0.00	0.0%
10.08	0.42	0.00	0.0%
12.53	0.68	0.00	0.0%
15.05	0.95	0.00	0.0%
17.51	1.26	0.00	0.0%
20.03	1.64	0.00	0.0%
22.48	2.00	0.00	0.0%
25.00	2.56	0.11	17.3%
27.52	3.06	0.30	36.5%
30.04	3.63	0.51	47.3%
32.49	4.24	0.75	55.4%
35.01	4.90	1.02	60.6%
37.53	5.63	1.34	64.6%
39.99	6.39	1.68	67.2%
42.51	7.16	2.06	68.9%
44.96	8.04	2.45	69.1%
47.48	9.00	2.91	69.4%
50.00	9.88	3.40	70.1%

Figura 4.12: Puntos tras la digitalización de la curva y respectivos rendimientos.

CAPÍTULO 4. RESULTADOS

Cabe destacar que, aunque el rendimiento máximo de la microturbina elegida es del 70%, un 10% menor que el supuesto inicialmente, no será constante ya que irá variando en función de los valores de caudal y presión.

A continuación, se muestra los datos de saltos de presión y caudal del año medio graficados, donde se marcarán los límites de presión y caudal entre los que tiene que trabajar la microturbina.

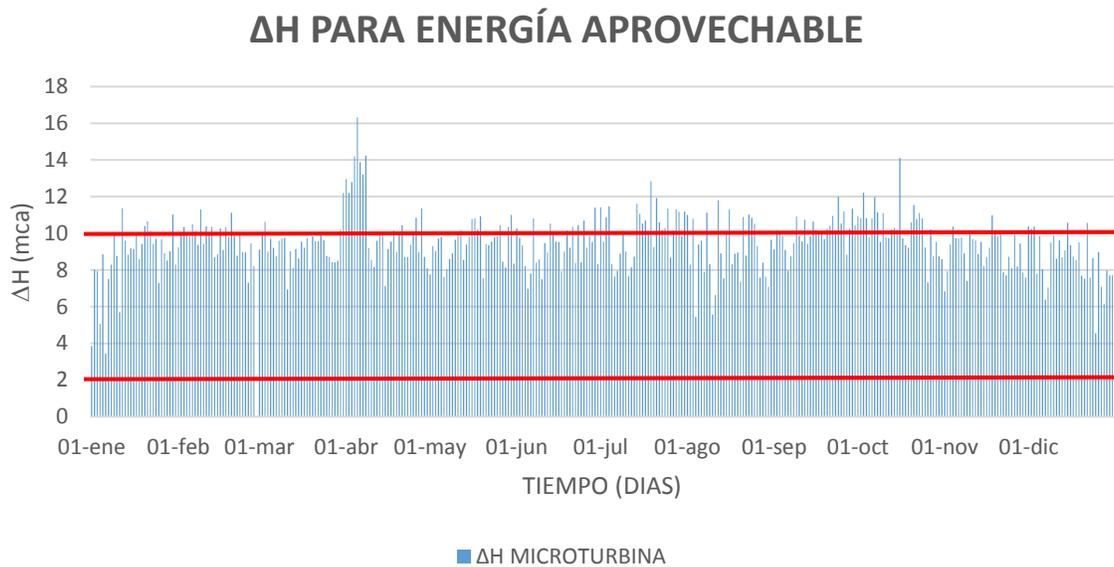


Figura 4.13: Salto de presión de la válvula elegida para colocar la microturbina.

En la gráfica de la *Figura 4.13*, vemos como las presiones dentro del rango de la turbina, mayoritariamente siempre son altas con valores entre los 6 y 10 mca, sin embargo, a principios de año, entre agosto y septiembre y a finales de año, podemos ver como algunas presiones bajan a valores inferiores de 4 mca, pero en ningún momento se da el caso de que estén por debajo de los 2 mca.

Destacar que algunos días como en abril, a finales de julio y principios de agosto o durante octubre, muchos valores de presión superan el máximo de los 10 mca, estos son los que se encuentran fuera del rango de la microturbina, a la hora de calcular la potencia y la energía, se emplea ese valor límite que es el máximo para el que trabaja la microturbina.

CAUDAL PARA ENERGÍA APROVECHABLE

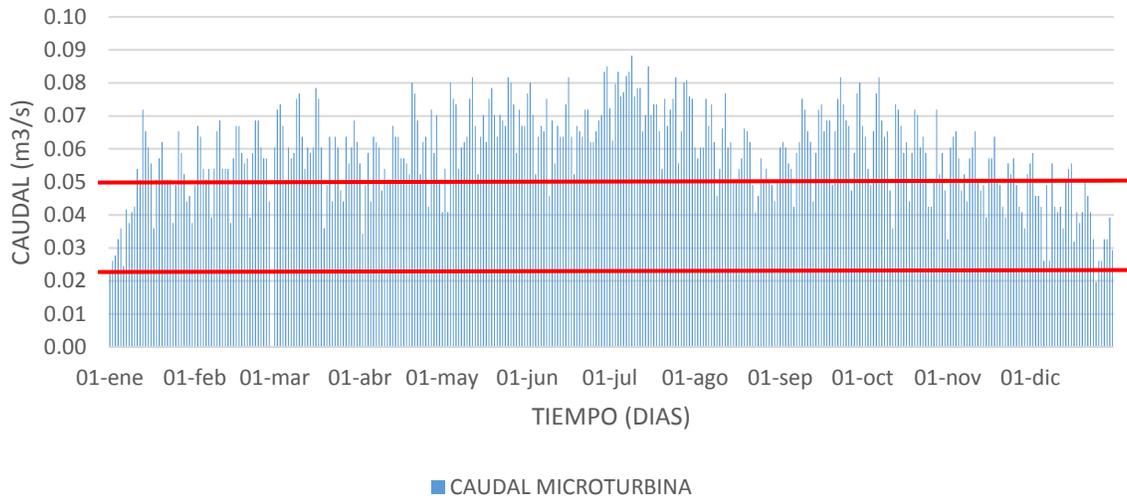


Figura 4.14: Caudal de la válvula elegida para colocar la microturbina.

En la gráfica de la *Figura 4.14*, vemos como la mayoría de los caudales se encuentran con valores elevados por encima de los $0,05 \text{ m}^3/\text{s}$, por lo que al igual que ocurre con el salto de presión, a la hora de calcular la potencia se usaría ese valor límite de $0,05 \text{ m}^3/\text{s}$.

Los caudales que, si se encuentran dentro del rango de la microturbina, suelen estar comprendidos entre los $0,03$ y los $0,05 \text{ m}^3/\text{s}$, sin embargo, en los meses de enero y diciembre se observa una mayor disminución del caudal, con valores cercanos al límite inferior de $0,0225 \text{ m}^3/\text{s}$. Existe sólo un día donde el valor de caudal se encuentra por debajo del límite mínimo, es el 25 de diciembre con $0,019 \text{ m}^3/\text{s}$, para dicho caso la potencia sería cero.

Para el cálculo de la potencia es necesario el rendimiento mínimo entre el salto de presión y el caudal cada uno de los días. Aunque los valores de presión también son más bajos en enero y diciembre al igual que los caudales, al interpolar los rendimientos ocasionados por el caudal, son más bajos que los de la presión, esto genera que el rendimiento de los caudales en la fórmula de la potencia, sea el predominante y por lo tanto genere las potencias más bajas esos meses del año.

RENDIMIENTOS MICROTURBINA

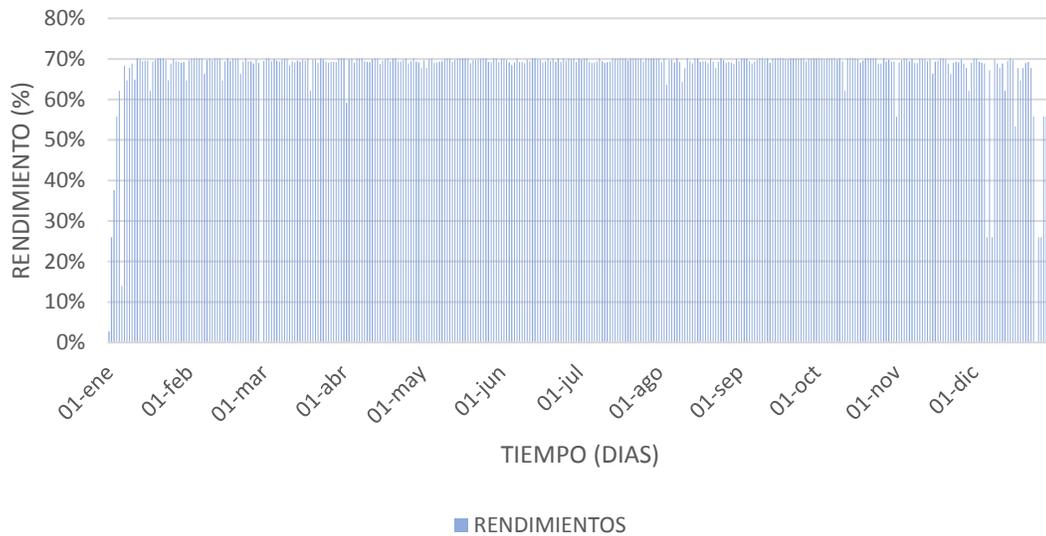


Figura 4.15: Gráfica de rendimientos a los que trabaja la microturbina durante el año medio.

En la gráfica de la *Figura 4.15*, se representa como quedarían los rendimientos a lo largo de todo el año, exceptuando a principios de enero, inicios y finales de diciembre, donde los rendimientos son más bajos, el resto de días la microturbina trabaja prácticamente al máximo rendimiento.

POTENCIA MICROTURBINA

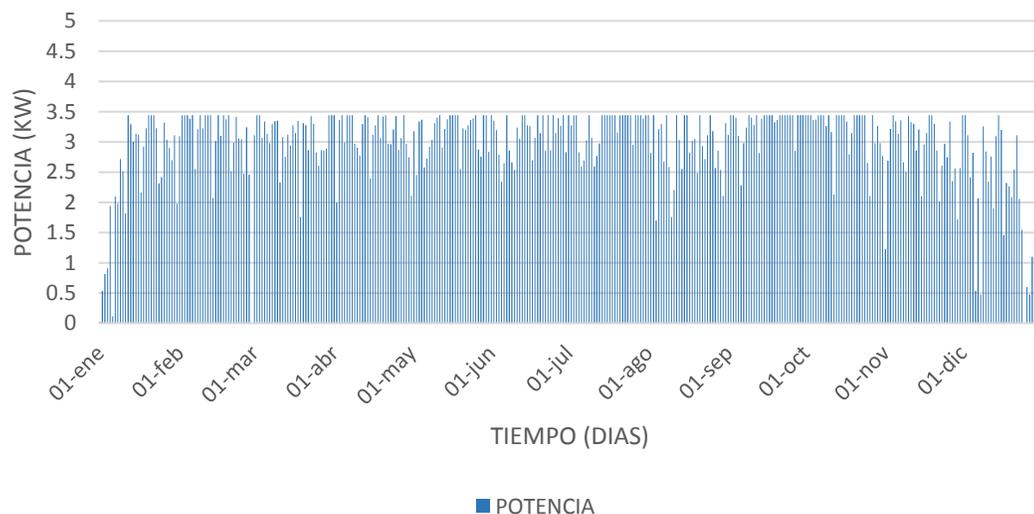


Figura 4.16: Gráfica de potencias a las que trabaja la microturbina durante el año medio.

En la *Figura 4.16*, vemos como la mayoría de los días se da una potencia superior a 1,5 kW, sin embargo, a principios y finales de año se ve como las potencias adquieren valores inferiores a 1 kW, esto se debe a que los caudales en ese tiempo son más bajos de lo normal, por lo tanto, el rendimiento al que trabaja la microturbina es menor.

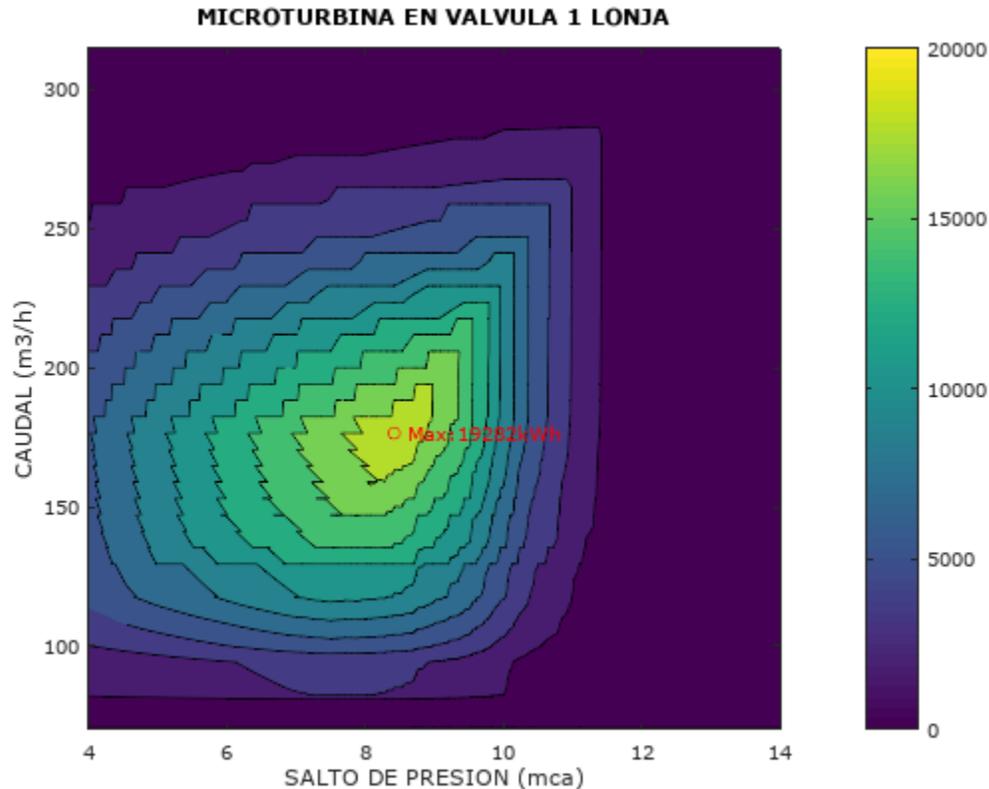


Figura 4.17: Producción de energía y punto de funcionamiento para la microturbina en la válvula 1 de la Lonja

En la *Figura 4.17*, podemos observar como el punto de funcionamiento sigue siendo el mismo que en la *Figura 4.4*, sin embargo la energía recuperada por la microturbina es algo inferior, de 19282 kWh debido a que el rendimiento de trabajo es inferior al 80% que se supuso en un inicio y además va variando cada día, en función del caudal y del salto de presión.

CAPÍTULO 4. RESULTADOS

La conexión entre la válvula reductora y la turbina, se realiza en paralelo mediante un By-pass donde también se coloca una válvula de membrana, antes de la llegada a la turbina, podemos ver la *Figura 4.18*.

Esta configuración es la seleccionada para realizar el estudio de viabilidad, al ser más eficiente en el aprovechamiento del salto disponible y para que en caso de mantenimiento de la turbina no se vea afectado el abastecimiento de agua a la población.

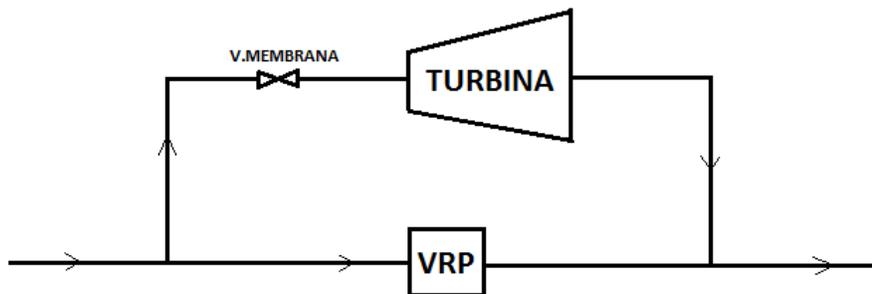


Figura 4.18: Tipo de conexión entre la válvula reductora y la microturbina.

La turbina hidráulica para generación de energía eléctrica es modelo monoblock 125-100-B fabricada en fundición, conexión mediante brida de entrada DN 100mm y brida de salida DN 125mm con PN16, ver *Anejo 1*.

La válvula de membrana actuada por solenoide, PN-16 con unión mediante bridas de diámetro DN 200mm y fabricada en fundición, cuyo fabricante es **Hidroconta** [12], está desarrollada para eliminar el golpe de ariete por su lenta apertura y cierre. Además, su diseño hidrodinámico disminuye la posible turbulencia interna y su cuerpo genera bajas pérdidas de carga.

Calibre		L	h	H	Peso	Conexiones
mm	Pulg.		mm		Kg	
50	2"	186	77	160	7,2	BRIDAS PN16
80	3"	255	90	190	14,0	
100	4"	315	110	220	21,1	
125	5"	335	125	250	25,4	
150	6"	410	145	290	51,0	
200	8"	465	170	340	57,0	
250	10"	650	230	460	125,0	
300	12"	650	230	460	137,0	

Figura 4.19: Dimensiones de la válvula de membrana. (Fabricante Hidroconta)

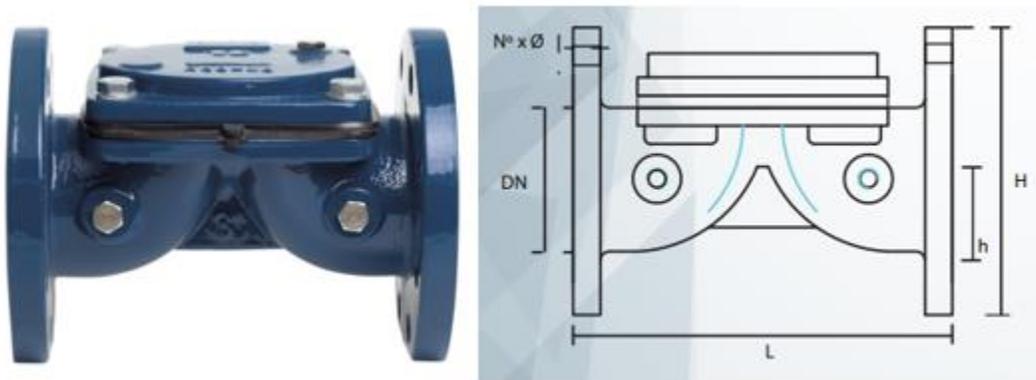


Figura 4.20: Válvula de membrana. (Fabricante Hidroconta)

Calibre		Conexión	Presión mínima de trabajo	Presión Máxima
mm	Pulg.		bar	bar
20	3/4"	Rosca	0,75	16
25	1"	Rosca	0,75	16
32	1-1/2"	Rosca	0,80	16
40	1-1/4"	Rosca	1,10	16
50	2"	Rosca	1,20	16
65	2-1/2"	Rosca	1,50	16
80	3"	Rosca	2,00	16
50	2"	Brida	1,20	16
80	3"	Brida	2,00	16
100	4"	Brida	2,20	16
125	5"	Brida	2,30	16
150	6"	Brida	1,60	16
200	8"	Brida	2,10	16
250	10"	Brida	0,50	16
300	12"	Brida	0,80	16

Figura 4.21: Características de presión de la válvula de membrana. (Fabricante Hidroconta)

La válvula de membrana se coloca en línea con la turbina, para que en caso de que caiga la red eléctrica esta válvula se cerraría y la turbina se pararía. En el By-pass el diámetro antes de la válvula será de 200 mm y posteriormente se ajusta a la entrada de la turbina, una vez pasada la turbina se vuelve a ampliar el diámetro de la tubería a 200 mm y ya se entroncaría con la red principal.

4.3. Comprobación del autoconsumo energético y viabilidad económica

En este apartado, se hablará sobre cómo se puede autoconsumir la energía producida por la microturbina, siempre y cuando se cumplan los requisitos marcados por la guía de autoconsumo energético, por otro lado, se presentarán los resultados obtenidos tras el análisis económico realizado en el capítulo 3, donde se ha ido describiendo la metodología seguida para los cálculos.

Los resultados del análisis se basarán principalmente en los indicadores del VAN y la TIR, para comprobar si el proyecto es rentable o no.

Para poder aprovechar la energía generada por la microturbina, se va a estudiar la posibilidad de realizarlo en un polideportivo municipal cercano, para ello se solicita información al ayuntamiento de Cieza, sobre el consumo eléctrico anual de dicha instalación, finalmente se comprueba si cumplimos los requisitos dentro de la guía profesional de tramitación del autoconsumo.

La forma de conectarse de la instalación de generación, debe ser próxima a través de red, pero para ello debemos comprobar si cumple alguno de los tres requisitos.



Figura 4.22: Comprobación de distancia entre la válvula 1 de la Lonja donde se sitúa la microturbina y el polideportivo.

En la *Figura 4.22*, comprobamos la distancia que existe entre la válvula 1 de la Lonja, zona donde se colocará la microturbina y el polideportivo municipal [13]. La distancia aproximadamente es de 379 metros, por lo que si cumple el requisito de que debe de estar conectado a menos de 500 metros del consumidor.

En la *Figura 4.23*, se muestra los valores de consumo eléctrico desde el año 2014 hasta el 2019 del polideportivo.

	CONSUMO ELÉCTRICO POLIDEPORTIVO MUNICIPAL (kwh)					
	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Enero	11822	12863	12135	15133	13641	14423
Febrero	10568	13842	14405	14177	11419	12410
Marzo	11477	12531	10356	13847	12862	13242
Abril	12145	9600	10050	9733	11478	10746
Mayo	10465	11629	12620	11354	10680	11583
Junio	16778	16341	13836	14745	14411	16767
Julio	23368	16928	#N/D	24870	25562	21686
Agosto	9693.27	12838	40402	16204	19288	12184
Septiembre	11029	12245	11871	10324	12738	12387
Octubre	14183	11046	12471	15759	14254	12361
Noviembre	13765	11303	17448	15043	13802	11840
Diciembre	16298	12965	12797	16407	15610	11577

Figura 4.23: Consumo eléctrico del polideportivo municipal.

CAPÍTULO 4. RESULTADOS

Según la guía de autoconsumo, el balance energético debe ser horario, pero debido a que el ayuntamiento nos ha proporcionado la información de forma mensual, debemos ajustarnos a dicha situación.

Para poder buscar la clasificación dentro de la guía de autoconsumo, es necesario en primer lugar, comparar los datos de consumo eléctrico del polideportivo, con la producción eléctrica de la microturbina, por esa razón se opta por hacer la media de todos los años del consumo eléctrico y formar un año medio, para poder realizar la comparativa.

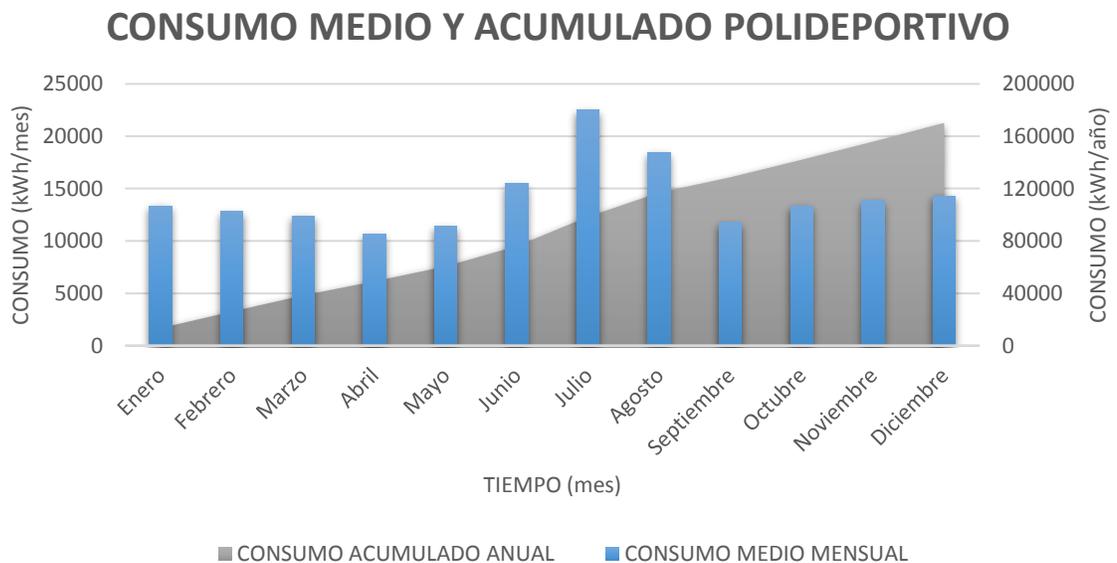


Figura 4.24: Consumo medio y acumulado anual del polideportivo.

En la *Figura 4.24*, vemos como el consumo medio es mayor durante los meses de junio, julio y agosto, principalmente al ser el periodo de verano y donde el acumulado alcanza a final del año los 170000 kWh. El consumo acumulado final es superior a la producción final de la microturbina de 19282 kWh, por lo que, según la guía de autoconsumo, estamos ante la **modalidad de consumo sin excedentes**.

CAPÍTULO 4. RESULTADOS

Se trata de modalidad **individual**, porque existe un único consumidor asociado a la instalación.

Tras el análisis realizado, comprobamos que sí cumplimos los requisitos marcados en la guía de autoconsumo, obteniendo una clasificación dentro de ésta, viéndola resumida en la *Figura 4.25*.



Figura 4.25: Clasificación final para autoconsumo energético. (Guía oficial de Autoconsumo)

CAPÍTULO 4. RESULTADOS

A continuación, en la *Figura 4.26* se muestra el resumen de los costes fijos y variables del estudio.

COSTES FIJOS	
Turbina + generador+inversor con conexión a baja tensión	13,847.94 €
Obra civil	2,000.00 €
COSTES VARIABLES	
Operación y mantenimiento	475.44 €

Figura 4.26: Resumen de costos fijos y variables.

En el cálculo del VAN y la TIR, el flujo de caja correspondiente será el producto de la producción energética de la microturbina y el precio de la energía para cada uno de los escenarios estudiados, menos los costes variables durante toda la vida útil.

En este apartado, se mostrarán los resultados obtenidos tras aplicar el VAN y TIR al estudio realizado.

PRECIO ENERGÍA (euros/kwh)	VAN	TIR
0.1	-768.77 €	4%
0.15	9,238.26 €	13%
0.2	19,245.29 €	20%

Figura 4.27: Resultados de VAN y TIR

En la *Figura 4.27*, se observan los resultados del VAN y la TIR, durante la vida útil de la microturbina, para los tres escenarios de precios a los que nos cobrarían la energía.

CAPÍTULO 4. RESULTADOS

Podemos comprobar como la inversión para la instalación de esta microturbina, no se amortizaría para un precio de la energía de 10 céntimos, donde el VAN es negativo y la TIR es del 4%, siendo inferior a la tasa de interés elegida para el estudio, sin embargo, si sería amortizada para los precios de la energía de 15 y 20 céntimos, produciendo un VAN de 9238 y 19245 euros y una TIR de 13 y 20% respectivamente.

Los resultados de la TIR se corresponden con el VAN cuando se hace cero, es decir, se trata de la rentabilidad máxima que puede alcanzar el proyecto y a partir de ese punto ya no sería viable.

Podemos comprobar como cuando aumenta el precio de la energía, aumenta el porcentaje de la TIR y cuanto mayor sea esta, estaremos ante un proyecto más rentable.

Capítulo 5

Conclusiones.

El recurso del agua para la generación de energía eléctrica y su posterior aprovechamiento, ha sido uno de los motivos para llevar a cabo este proyecto. En este contexto se ha estudiado la viabilidad técnica y económica de la recuperación energética en la red de abastecimiento del casco urbano de Cieza.

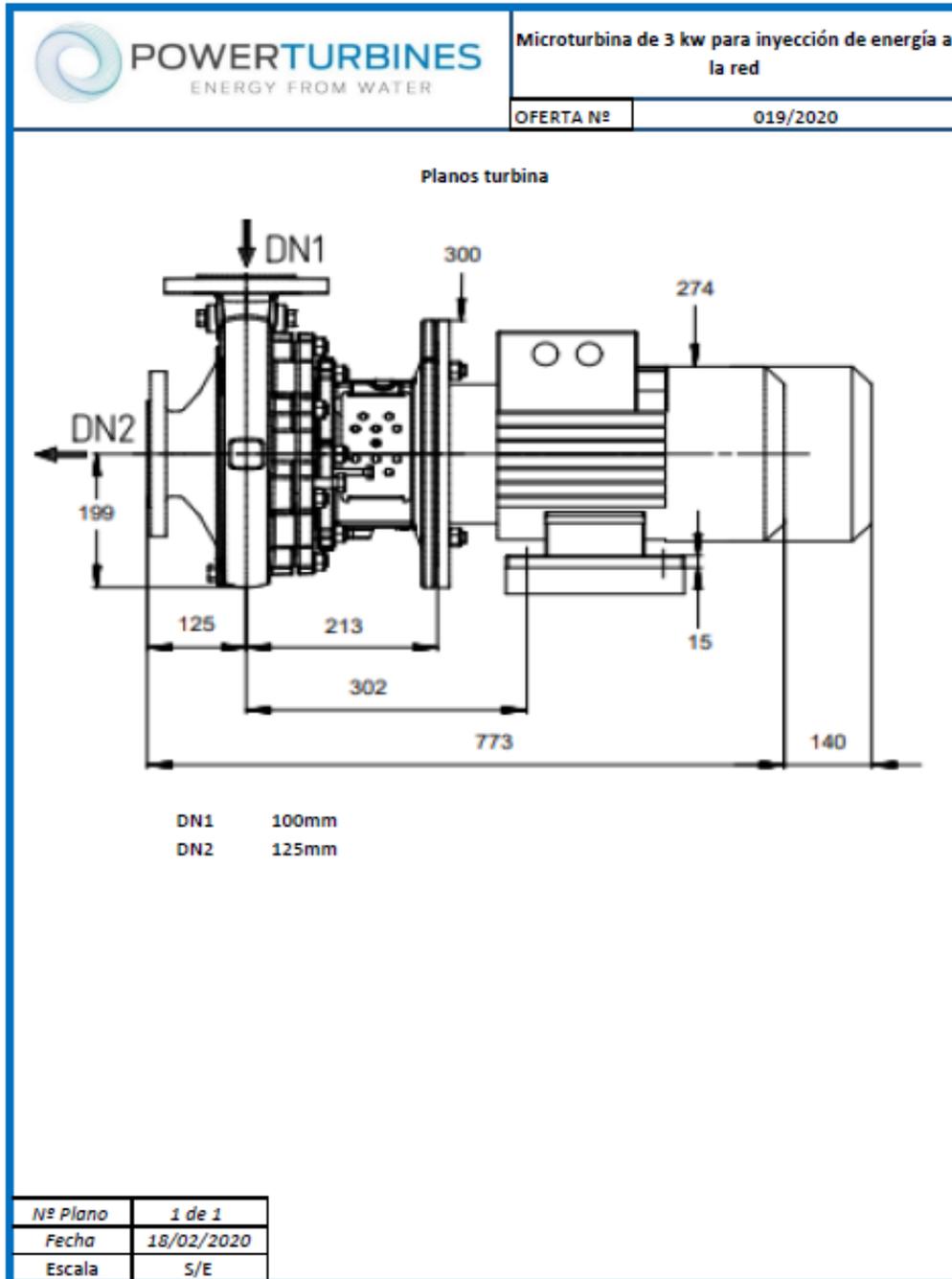
Durante el estudio, se ha calculado la energía disipada de todas las válvulas, así como la energía aprovechable.

De 8 válvulas reductoras instaladas en toda la red, se ha encontrado una en la que se puede llegar a recuperar 19282 kWh al año, suponiendo esta energía el 40% aproximadamente de la que disipa dicha válvula.

Según la guía de autoconsumo, la energía recuperada por la microturbina se puede aprovechar para el consumo en un polideportivo municipal, suponiendo un ahorro anual de hasta 3900 euros, que supone un 11.5% del gasto medio anual en electricidad.

Mediante un análisis de la inversión con los indicadores VAN y TIR, se observa que la amortización de la inversión dependerá del precio de la energía consumida. Así, para un precio de 10 c€/kWh y considerando una tasa de interés del 5%, la inversión no sería amortizada dentro de la vida útil de la turbina (15 años). Sin embargo, para precios de 15 c€/kWh y 20 c€/kWh, la inversión se amortizaría en 9 y 6 años respectivamente.

Anejo 1



Bibliografía

- [1] J. A. J. d. Castro, «La reforma del régimen económico de las instalaciones de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos».
- [2] «PROYECTO 10/14 DE MEJORA DE LA IMPULSIÓN DEL RAMAL DE CIEZA (MU/VARIOS),» Mancomunidad de los Canales del Taibilla, 2017.
- [3] «Plan Director de Abastecimiento de Agua Potable del termino municipal de Cieza (Murcia),» Aguas de Cieza, Ayuntamiento de Cieza, 2017.
- [4] J. S. Bejarano, «Captación, tratamineto, distribución y depuración del agua y su impacto medioambiental,» *Tecnología del agua*, nº 341, 2012.
- [5] F. J. S. S. Román, «Curva de Caudales Clasificados,» Dpto Geología – Universidad de Salamanca (España), 2013.
- [6] Powerturbines, Elche (Alicante), 2012.
- [7] «Guía Profesional de Tramitación del Autoconsumo,» (IDAE), Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, Madrid, 2019.
- [8] «COSTOS DE PRODUCCIÓN DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA,» FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y TECNOLOGÍA.UNT., 2017.
- [9] «Evolución de Costos ERNC,» Universidad Politécnica Católica de Chile, 2012.
- [10] D. M. S. Benedicto, «Análisis de inversiones y proyectos de inversión».
- [11] M. C. C. Fernández, «Manual Básica de MATLAB,» Servicios Informáticos U.C.M.
- [12] Hidroconta (tecnología hidráulica), Murcia.
- [13] QGIS User Guide, 2010.