

Trabajo Fin de Máster

DIAGNÓSTICO, PROPUESTAS DE MEJORAS Y ANÁLISIS DE FENÓMENOS TRANSITORIOS EN EL SISTEMA DE CONDUCCIÓN DE AGUA POTABLE A UNA ZONA URBANA DE VALENCIA

Intensificación: *HIDRÁULICA URBANA*

Autor:

CHRISTIAN XAVIER BRICEÑO LEÓN

Tutor:

DR. VICENT ESPERT ALEMANY

Cotutor/es:

DRA. PILAR CONEJOS FUERTES

FEBRERO, 2018



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

máster en ingeniería
hidráulica y medio ambiente
mihma

Agradecimientos

A Dios por haberme permitido seguir formándome como profesional y ser humano, a mis padres Marco Alberto y Patricia, mi hermano Marco Vinicio y mi abuelitos por apoyarme, guiarme siempre todo este tiempo que no he estado con mi familia y por ser un motor y motivación para conseguir más objetivos en mi vida profesional. También de manera especial un agradecimiento a mis tutores Dr. Vicent Espert y Dra. Pilar Conejos por ayudarme y brindarme sus conocimientos para la elaboración de este trabajo y un agradecimiento a todos mis profesores del Máster de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente de la Universidad Politécnica de Valencia por enriquecer mis conocimientos profesionales.

Dedicatoria

Este trabajo va dedicado a Dios, mis padres Marco Alberto y Patricia, mi hermano Marco Vinicio y toda mi familia que son impulso en los caminos y objetivos que pueda lograr en mi vida profesional. También va dedicado este trabajo de manera especial al Club Sport Emelec por darme tantas alegrías durante todo este tiempo que he estado lejos de mi linda familia.

Resumen Del Trabajo Fin de Máster

Datos del proyecto
Título del TFM en español: Diagnostico, propuesta de mejoras y análisis de fenómenos transitorios en el sistema de conducción de agua potable a una zona urbana de Valencia
Título del TFM en ingles: Diagnosis, proposal of improvements and analysis of transients phenomena of the water potable conduction line to a Valencia's urban zone
Título del TFM en Valenciano:
Alumno: Christian Xavier Briceño León
Tutor: Dr. Vicent Espert Alemany
Cotutor/es: Dra. Pilar Conejos Fuertes
Director experimental:
Fecha de Lectura: Febrero, 2018

Resumen
En español (máximo 5000 caracteres)
<p>El presente trabajo tiene como primer objetivo realizar el análisis del flujo en régimen extendido de la línea de conducción de agua potable existente en la actualidad y que abastece a una zona urbana de Valencia, en la que se incluirá una ampliación de demandas, donde hay que abastecer a un nuevo depósito y a nuevas demandas intermedias, para de esta manera tener el diagnostico de su funcionamiento actual y futuro, caracterización de los problemas existentes, definición de sistemas de operación y propuesta de mejoras factibles. Como segundo objetivo se realizará el estudio del funcionamiento del sistema en régimen transitorio, tras la parada de los grupos de bombeo que alimentan la red de distribución, para definir los sistemas de protección más adecuados y la posible modificación de los ya existentes.</p> <p>Para ello se ha recopilado toda la información necesaria de la conducción, los perfiles topográficos, sistema de bombeo instalado, dimensiones de los depósitos, demandas actuales y futuras, se ha elaborado la modelación matemática con los datos disponibles en el software Allievi profesional que facilita y agiliza el análisis de cálculo y simulación en régimen permanente y transitorio.</p> <p>Se realizan y analizan distintas propuestas de mejoras del sistema para su funcionamiento en régimen extendido tomando como base la ampliación de la conducción; entre ellas se propone la sustitución de la arqueta de rotura de carga existente por un depósito de regulación de mayor capacidad, añadiendo válvulas de llenado con control de nivel en los</p>

distintos depósitos, regulación del sistema de bombeo con controles de nivel, etc. Además, se dimensiona y analiza el tipo de válvulas a utilizar, tiempos de apertura y cierre; niveles en el depósito de impulsión para arranque y parada del equipo de bombeo; se verifica que las velocidades son adecuadas en las tuberías de la impulsión, el no desbordamiento y vaciado de los depósitos, etc.

Una vez comprobado el correcto funcionamiento del sistema en régimen extendido con las modificaciones realizadas, se analiza el mismo en régimen transitorio originado por una parada brusca de la estación de bombeo por un fallo eléctrico; dimensionándose los elementos de protección necesarios para amortiguar los fenómenos transitorios que afectaren a la conducción.

En resumen, se trata de estudiar el funcionamiento en condiciones diarias de una instalación de impulsión de agua potable para abastecimiento de una zona urbana de Valencia. Esta instalación está construida en la actualidad, aunque su funcionamiento no es el inicialmente previsto debido a la existencia de una arqueta de rotura de carga que fácilmente puede desbordar o vaciarse. Como primer objetivo de este trabajo se propondrán las modificaciones del sistema necesarias para abastecer adecuadamente a las zonas urbanas a alimentar, tanto las actuales como las futuras, comprobándose la bondad de estas modificaciones mediante simulaciones del funcionamiento del sistema en régimen diario. Y como segundo objetivo se revisará el sistema de protección contra transitorios hidráulicos instalado, el cual habrá de adaptarse a las nuevas condiciones de funcionamiento en base a las modificaciones propuestas. Por ello se definirá un nuevo sistema de protección, según las exigencias del sistema modificado.

En valenciano (máximo 5000 caracteres)

El present treball té com a primer objectiu realitzar l'anàlisi del flux en règim estès de la línia de conducció d'aigua potable existent en l'actualitat i que proveeix a una zona urbana de València, en la qual s'inclourà una ampliació de demandes, on cal proveir a un nou dipòsit i a noves demandes intermèdies, para d'aquesta manera tenir el diagnòstic del seu funcionament actual i futur, caracterització dels problemes existents, definició de sistemes d'operació i proposta de millores factibles. Com a segon objectiu es realitzarà l'estudi del funcionament del sistema en règim transitori, després de la parada dels grups de bombament que alimenten la xarxa de distribució, per a definir els sistemes de protecció més adequats i la possible modificació dels ja existents.

Per a açò s'ha recopilat tota la informació necessària de la conducció, els perfils topogràfics, sistema de bombament instal·lat, dimensions dels dipòsits, demandes actuals i futures, s'ha elaborat la *modelación matemàtica amb les dades disponibles en el programari *Allievi professional que facilita i agilita l'anàlisi de càlcul i simulació en règim permanent i transitori.

Es realitzen i analitzen diferents propostes de millores del sistema per al seu funcionament en règim estès prenent com a base l'ampliació de la conducció; entre elles es proposa la substitució de l'arqueta de trencament de càrrega existent per un dipòsit de regulació de major capacitat, afegint vàlvules d'ompliment amb control de nivell en els diferents dipòsits, regulació del sistema de bombament amb controls de nivell, etc. A més, es *dimensiona i

analitza el tipus de vàlvules a utilitzar, temps d'obertura i tancament; nivells en el dipòsit d'impulsió per a arrencada i parada de l'equip de bombament; es verifica que les velocitats són adequades en les canonades de la impulsió, el no desbordament i buidatge dels dipòsits, etc.

Una vegada comprovat el correcte funcionament del sistema en règim estès amb les modificacions realitzades, s'analitza el mateix en règim transitori originat per una parada brusca de l'estació de bombament per una fallada elèctrica; *dimensionándose els elements de protecció necessaris per a esmorteir els fenòmens transitoris que afectessin a la conducció.

En resum, es tracta d'estudiar el funcionament en condicions diàries d'una instal·lació d'impulsió d'aigua potable per a proveïment d'una zona urbana de València. Aquesta instal·lació està construïda en l'actualitat, encara que el seu funcionament no és l'inicialment previst a causa de l'existència d'una arqueta de trencament de càrrega que fàcilment pot desbordar o buidar-se. Com a primer objectiu d'aquest treball es proposaran les modificacions del sistema necessàries per a proveir adequadament a les zones urbanes a alimentar, tant les actuals com les futures, comprovant-se la bondat d'aquestes modificacions mitjançant simulacions del funcionament del sistema en règim diari. I com a segon objectiu es revisarà el sistema de protecció contra transitoris hidràulics instal·lat, el qual haurà d'adaptar-se a les noves condicions de funcionament sobre la base de les modificacions proposades. Per açò es definirà un nou sistema de protecció, segons les exigències del sistema modificat.

En inglés (máximo 5000 caracteres)

This work has as first objective to do a flow analysis in extended regime of potable water conduction that supply to a urban zone in Valencia, this conduction will be include an extension of demands where is a new storage tank and new urban demands throughout the conduction in order to have the diagnosis of the operation system in the present and in the future. The characterization the current problems, definition types of operation in the system and a proposal of feasible improvements. The second objective is to do a study of the system in transient regime that can be caused by an accidental stop of the station pump or an inadequate move in the valves.

Accordingly, it has been compiled all the necessary information in the conduction, such as: topographic profiles, pumping system installed, storage tank dimensions, existing and future urban demands. Then, it has been elaborated a mathematical model with the available data in the professional Allievi software, that helps to make more easy the calculation analysis and simulates daily and transient regime in the system.

It will be done and analyzed different proposals improvements in extending regime to the conduction with its new demands, including the substitution the break pressure tank to a new storage tank with a higher capacity, adding filling valves with water level controls in the storage tanks, regulating the pumping system with water level controls in the impulsion storage tank, etc. Besides, it will be analyzed the types of valves to use, valves time of opening and closing, water level in the storage tank to start and stop the pumping system, will be verified admissible velocities in the pipes, and the not overflow and emptied of the storage tanks.

Once, it has been verified a correct performance of the system in extending regime with its proposed modifications It will be analyzed the transient regime induced by an accidental shutdown of the pumping system by electricity failing, in order to design the necessary protection elements to reduce the transient phenomena that affects the conduction.

In summary, this work will explain the performance of an installation that impulse potable water to supply urban demands in Valencia. This system is constructed in the present. However, its operation is not initially planned because the current pressure break tank overflows or emptied easily. As a first objective of this work is to propose all the necessary modifications in the system in order to supply in adequate way the present and future urban demands and verified the performance of its modifications through the analysis in extended regime and as a second objective is to study the system of transient protection that was initially installed and will be adapted to the new necessities according to the proposed modifications. Therefore, It will be defined a new system of transient protection if it will be necessary.

Palabras clave español (máximo 5): Conducción, Allievi, Bombeo, Transitorios, Calderines

Palabras clave valenciano (máximo 5): Conducció, Allievi, Bombament, Transitoris, Calderines

Palabras clave inglés (máximo 5): Pipeline, Allievi, Pumping, Transients, Air vessels

Contenido

1. Capítulo 1. Introducción	11
1.1 Antecedentes	13
1.2 Objetivos	14
1.2.1 Objetivo Principal	14
1.2.2 Objetivos Específicos.....	14
2 Capítulo 2. Sistema de Conducción de Agua Potable.....	15
2.1 Reservoirio de Aspiración.	16
2.2 Estación de Bombeo.....	16
2.3 Línea de Conducción 1 Impulsión (Estación de Bombeo-Arqueta de Rotura).....	18
2.4 Arqueta de Rotura.....	19
2.5 Depósito 3	19
2.6 Línea de Conducción 2 a Gravedad (Arqueta de Rotura-Depósito 2).....	20
2.7 Depósito 2	20
2.8 Demandas Urbanas	20
3 Capítulo 3. Modelo del Sistema de Conducción	22
3.1 Característica del Programa	22
3.2 Introducción de los Modelos en un Sistema Hidráulico.....	23
3.2.1 Modelos No inerciales.....	24
3.2.2 Modelo Inerciales.....	25
3.3 Sistema de Unidades utilizados en el sistema.....	27
3.4 Elementos del sistema de conducción en el modelo.....	27
3.4.1 Datos en los Depósitos	27
3.4.2 Tuberías de las líneas de impulsión.....	28
3.4.3 Estación de Bombeo.....	30
3.4.4 Válvulas	32
3.4.5 Consumo en las Demandas Urbanas.....	34
4 Capítulo 4. Diagnostico y Análisis de la Conducción	38
4.1 Análisis de la Situación 1 (Inicial)	38
4.1.1 Simulación del modelo en régimen permanente.....	39
4.1.2 Simulación del sistema en régimen extendido	40
4.2 Análisis de la Situación 2 (Aumento de Consumos)	48
4.2.1 Simulación del modelo en régimen permanente.....	48
4.2.2 Simulación del modelo en régimen de periodo extendido.....	51

5	Capítulo 5. Propuesta de Mejoras a la Conducción	54
5.1	Propuesta 1: Nuevo Depósito y válvulas de llenado en los depósitos	55
5.1.1	Diseño del Nuevo Depósito	56
5.1.2	Control en las válvulas de llenado para los Depósitos 4, 3 y 2.....	57
5.1.3	Estación de bombeo	59
5.1.4	Variables hidráulicas en las conducciones	62
5.1.5	Envolvente de alturas piezométricas en las conducciones	63
5.1.6	Evolución de Caudales de Entrada/Salida y Evolución de niveles en los depósitos 64	
5.1.7	Control Sobre la Estación de Bombeo.....	69
5.1.8	Energía Consumida por la Estación de Bombeo.....	72
5.2	Propuesta 2: Regulación del Depósito Nuevo mediante maniobras de paradas y arranques en la estación de bombeo.....	72
5.2.1	Funcionamiento de la Regulación en la Estación de Bombeo	73
5.2.2	Niveles en el Depósito de Impulsión para Arranque y Parada de la Bomba.....	74
5.2.3	Duración de Arranque y Parada del equipo de Bombeo.....	74
5.2.4	Control en las Válvulas de Llenado para los Depósito 2 y 3.....	74
5.2.5	Variables Hidráulicas en las Conducciones	75
5.2.6	Estación de Bombeo	76
5.2.7	Evolución de Presiones a la salida de la estación de bombeo	76
5.2.8	Envolventes de las Alturas piezométricas en las conducciones.....	77
5.2.9	Evolución de Caudales de Entrada/Salida y Niveles en los depósitos.....	78
5.2.10	Energía consumida por la Estación de bombeo	84
5.3	Propuesta 3: Regulación del Depósito 3 mediante controles de paradas y arranque en la Estación de Bombeo.....	84
5.3.1	Niveles en el Depósito de Impulsión para Arranque y Parada de la bomba.....	85
5.3.2	Duración de Arranque y Parada del equipo de Bombeo.....	86
5.3.3	Control en la Válvula de Llenado para el Depósito 2	86
5.3.4	Variables Hidráulicas en las Conducciones	86
5.3.5	Evolución de Caudales y Presiones en la estación de bombeo.....	88
5.3.6	Envolventes de Alturas piezométricas en las conducciones.	89
5.3.7	Evolución de Caudales de Entrada/Salida y Niveles en los depósitos.....	90
5.3.8	Energía consumida por la estación de bombeo	94
6	Capítulo 6. Estudio de los Transitorios Hidráulicos.....	95
6.1	Consideraciones para el estudio de los Fenómenos Transitorios.....	95

6.2	Transitorios Generados por Válvulas y Sistema de Bombeo	95
6.3	Estructuras de Protección frente a los Fenómenos Transitorios	98
6.4	Análisis de Transitorios en el Sistema con las Modificaciones Implementadas	101
6.4.1	Cálculo de la celeridad	101
6.4.2	Cálculo de la Inercia	101
6.4.3	Análisis del Régimen Transitorio por un cierre rápido de la válvula de llenado del depósito 2.....	102
6.4.4	Análisis del Régimen Transitorio por parada brusca en la estación de bombeo (Sin Estructura de Protección).....	108
6.4.5	Análisis del Régimen Transitorio con la estructura de protección.....	110
7	Capítulo 7. Conclusiones.....	116
8	Capítulo 8. Bibliografía	119
9	Anexos.....	120

1. Capítulo 1. Introducción

El presente trabajo obedece a la necesidad de conocer el diagnóstico de una instalación de conducción existente de agua potable en una zona urbana de la Provincia de Valencia. Inicialmente el proyecto tenía previsto la conducción de agua potable desde un reservorio mediante una impulsión por bombeo a una urbanización denominada (urbanización 1) y a un depósito de regulación (depósito 2) desde una arqueta de rotura ubicada en la cota más alta de la conducción. Este depósito 2 alimentará a una urbanización 2. Sin embargo actualmente no existe consumo en la urbanización 1. Con el paso de los años desde que fue construida la conducción, han existido varios cambios no contemplados inicialmente. Estos cambios se han realizado por la necesidad de abastecer de agua potable a nuevas demandas entre ellas una urbanización 4 y un depósito 3 de uso privado que regulará los consumos de una urbanización 3, debido a un importante crecimiento de la población y desarrollo urbanístico de la zona. Todo esto lleva a la incertidumbre si la instalación de la conducción construida funciona de manera adecuada, por lo que se realizará un diagnóstico del sistema y un análisis de alternativas de mejoras a la instalación. El sistema será simulado en el software Allievi Profesional como plataforma de cálculo hidráulico.

En la figura 1.1 se observa un esquema del sistema en la situación inicial, mientras que en la figura 1.2 se visualiza el sistema con las nuevas demandas previstas.

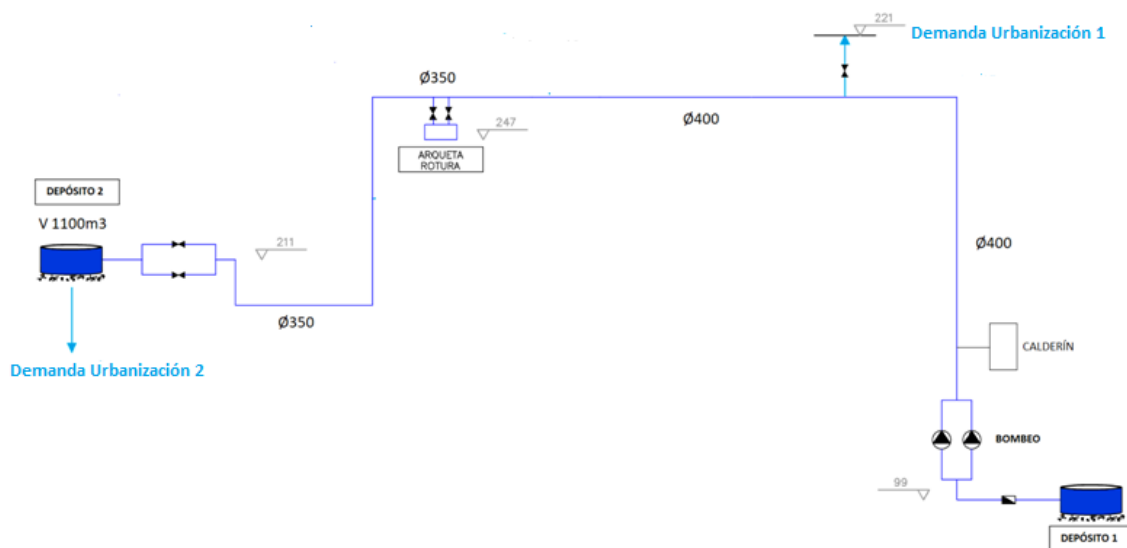


Figura 1.1: Instalación del sistema en la situación inicial

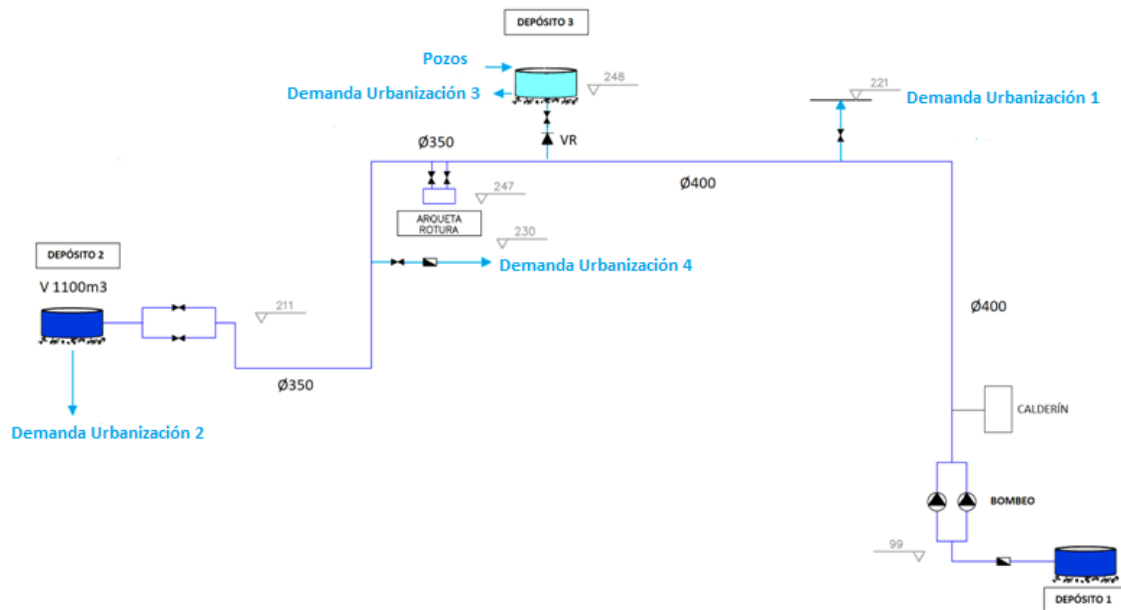


Figura 1.2: Instalación del sistema con las nuevas demandas previstas

Primero se recopilará toda la información disponible de los estudios de la conducción (Topografía de la zona, perfiles de la línea de conducción, características del sistema de bombeo instalado, tipo de válvulas instaladas, dimensiones de los depósitos, demandas de las urbanizaciones, curvas de modulación de las demandas). Toda esta información recopilada servirá para modelar el sistema en el programa Allievi, analizando los resultados de la simulación en régimen diario para obtener el diagnóstico de la instalación.

Se realizarán varias propuestas de mejoras al sistema, las cuales son:

- 1) Reemplazar la arqueta de rotura por un nuevo depósito de regulación denominado (depósito 4) e instalando válvulas de llenado con control de nivel a la entrada de los depósitos 2, 3 y 4.
- 2) Realizar la regulación con encendido y parada de bombas, donde la estación de bombeo impulsará el agua potable hacia el depósito 4. Esta regulación se realizará mediante un autómata programable (PLC) ubicado en la estación de bombeo que recibirá señales del control de niveles en el depósito.
- 3) Impulsar el agua potable hacia el depósito 3, aislando la arqueta de rotura del sistema mediante válvulas de seccionamiento y regular dicho depósito con encendido y parada de bombas.

Se simularán las distintas alternativas de mejora en régimen diario comparando sus resultados en el análisis.

Finalmente, se realizará el análisis y estudio de fenómenos transitorios a las distintas alternativas de mejoras al sistema ocasionados por el paro accidental de la estación de bombeo, para seleccionar y calcular los elementos de protección necesarios al sistema. Se analizará la propuesta de mejora más conveniente al sistema de acuerdo a las comparaciones de los resultados obtenidos de las distintas alternativas de mejoras a la instalación.

1.1 Antecedentes

En el año 2006 se construyó la instalación de la conducción de agua potable para satisfacer las demandas de agua potable a una urbanización en una zona urbana de Valencia. En un inicio la instalación consistió en una impulsión directa mediante conducciones de fundición dúctil desde un reservorio ubicado la cota de solera a 99 m.s.n.m mediante un sistema de bombeo hasta una arqueta de rotura y desde la arqueta alimentar por gravedad a un depósito 2 en la que hay que abastecer las demandas de una urbanización. La aspiración del sistema de bombeo es realizada desde un reservorio.

El condicionante principal de la conducción para alimentar los distintos suministros del sistema, reside en que la impulsión tiene que salvar un fuerte desnivel a lo largo de la conducción. Para evitar presiones negativas en el punto más elevado de la conducción se instaló una arqueta de rotura con cota de solera está a 247 m.s.n.m. Desde ese punto hasta el depósito el suministro se producirá por gravedad.

Debido al crecimiento poblacional y desarrollo urbanístico de la zona de estudio, se plantea la necesidad de alimentar a un nuevo depósito (depósito 3) para que este último alimente a una urbanización privada (urbanización 3). Respecto a este depósito es importante comentar que es de propiedad privada, dispone de una cota de solera de 248 m.s.n.m, una altura de 4.5 m y un volumen total de 1750 m³. Hay que tomar en cuenta que la cota de solera de este depósito se encuentra un metro más elevado con respecto a la cota de solera de la arqueta de rotura, por lo tanto en un principio el sistema de impulsión por bombeo no podría alimentar a este último depósito. Adicionalmente, se plantea alimentar a otra urbanización (urbanización 4) directamente desde el sistema.

Con lo descrito en esta nueva situación del sistema es de vital importancia realizar un diagnóstico al sistema de de conducción, plantear las mejoras, definir los sistemas de operación necesarias para que la instalación tenga un correcto funcionamiento.

En la siguiente figura 1.3 se observa la planimetría de la zona donde se encuentra ubicado el sistema de conducción de agua potable:

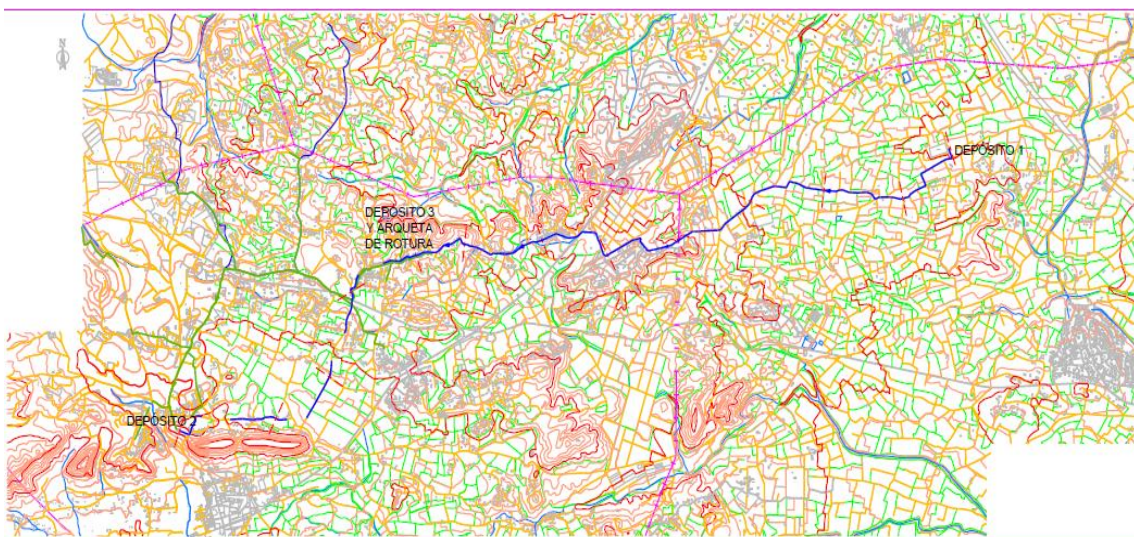


Figura 1.3: Planimetría de la Zona en Estudio

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Principal

El presente trabajo final de máster tiene como objetivo principal simular el sistema de conducción de agua potable en una zona urbana de Valencia con los distintos cambios que se plantean realizar en la instalación para analizar sus condiciones de funcionamiento y determinar los principales problemas y diferencias del sistema que se han generado con los distintos cambios con respecto al diseño inicial de la instalación. Posteriormente se realizará una serie de propuesta de mejora al sistema que permita garantizar un correcto funcionamiento, finalmente se realizará un estudio de fenómenos transitorios y diseñar los elementos de protección necesarios para proteger al sistema ante los fenómenos transitorios.

1.2.2 Objetivos Específicos

Modelar la instalación en la situación actual y con sus futuras modificaciones en el programa Allievi, ingresando al programa todos los datos recopilados del sistema como: el perfil topográfico de la conducción, diámetros de las tuberías de la conducción, curva característica de la bomba de impulsión, cotas y volúmenes de los distintos depósitos, curvas de modulación de los consumos en las urbanizaciones y simular el sistema en régimen diario analizando y comparando los resultados obtenidos de presiones, perdidas de carga, velocidades, variaciones de nivel de los depósitos etc. en las dos situaciones.

Realizar una serie de propuestas de mejoras al sistema entre las que se destacan; la sustitución de la arqueta de rotura por un nuevo depósito de regulación e instalación de válvulas de llenado a la entrada de los depósitos con control de niveles de los depósitos; regulación del sistema con encendido y parada de las bombas de acuerdo con control de niveles del nuevo depósito de impulsión propuesto; otra alternativa será regular el sistema con encendido y paradas pero esta vez utilizando el depósito 3 como depósito de impulsión con control de niveles y sin la necesidad de construir un nuevo depósito y. Se calculará el volumen del nuevo depósito propuesto, se establecerán los niveles máximos y mínimos de los depósitos para los controles de niveles, se determinarán tiempos adecuados para apertura y cierre de válvulas y se simularán en Allievi en régimen diario verificando que las velocidades de las conducciones sean las adecuadas y el no vaciado y desbordamiento de los depósitos.

Finalmente se elaborará un estudio de fenómenos transitorios de las distintas propuestas de mejoras ante una posible parada accidental del equipo de bombeo, se calculará la celeridad de las conducciones, la inercia del equipo de bombeo para ingresar estos datos en el programa y simular el sistema en régimen transitorio. Se diseñarán los elementos de protección necesarios para proteger el sistema y evitar daños de los fenómenos transitorios.

2 Capitulo 2. Sistema de Conducción de Agua Potable

Actualmente la zona en estudio se abastece de agua potable por un sistema de conducción construido en el año 2006. El abastecimiento estaba proyectado inicialmente con una impulsión directa mediante bombeo desde un reservorio hasta una arqueta de rotura ubicada en la cota más alta del perfil de la conducción. En el diseño inicial se tiene previsto alimentar de manera directa a una urbanización localizada a 5000 m desde el inicio de la línea de impulsión, sin embargo en la actualidad no existe consumo en dicha urbanización. Las tuberías de esta impulsión son de material de fundición dúctil. La conducción desde la arqueta de rotura hasta deposito 2 es mediante gravedad con tuberías de material de fundición dúctil, este último deposito regulará los caudales de consumo de la urbanización 2 con un consumo medio de 1440 m³/día.

Con el desarrollo urbanístico de la zona, surge a posteriori la necesidad de alimentar a un nuevo depósito 3 de uso privado, con una capacidad de 1750 m³, ubicado a 75 m de la arqueta de rotura y en una cota de solera de 248 m.s.n.m. Dicho depósito alimentará de agua potable a una urbanización 3 localizada a 900 m de la arqueta de rotura y la acometida estará en la cota 230 m.s.n.m.

En las figuras 2.1 y 2.2 se observa el esquema del sistema en la situación 1 y situación 2 respectivamente.

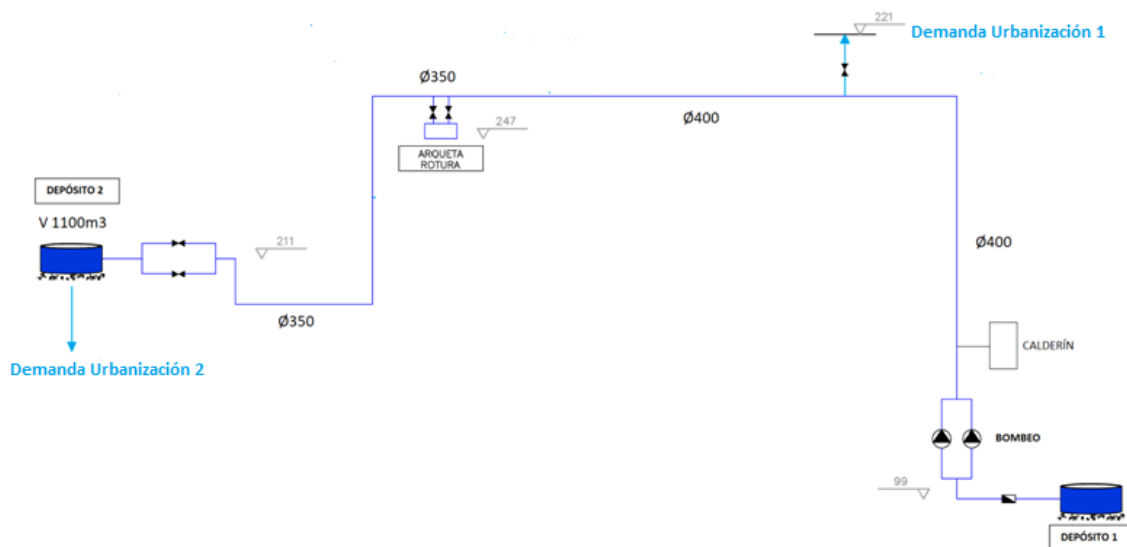


Figura 2.1: Sistema en la situación 1

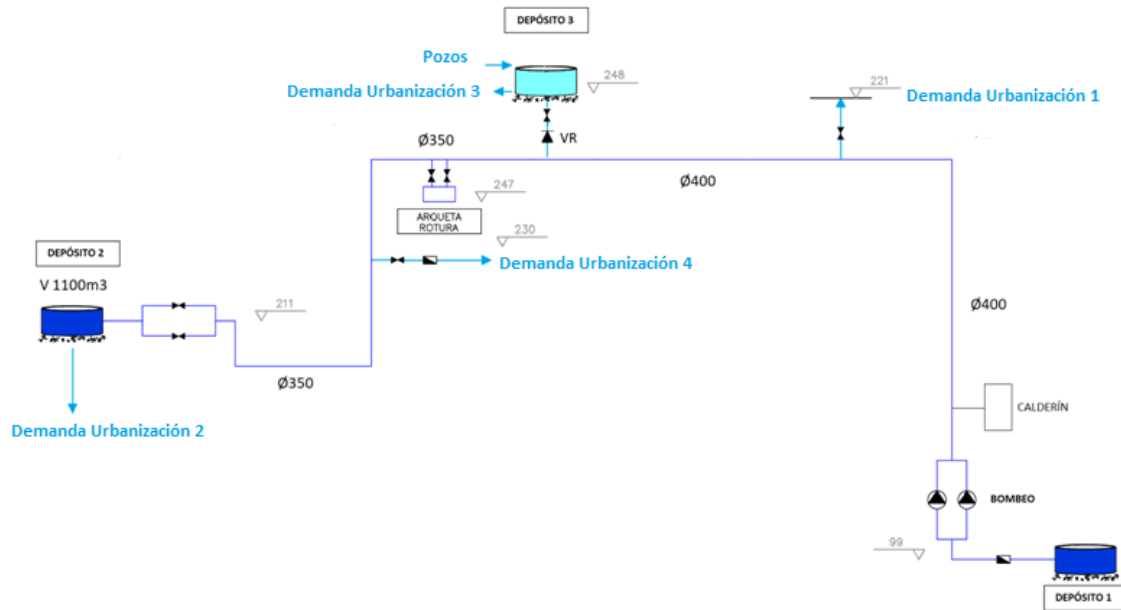


Figura 2.2. Esquema del sistema en la situación 2

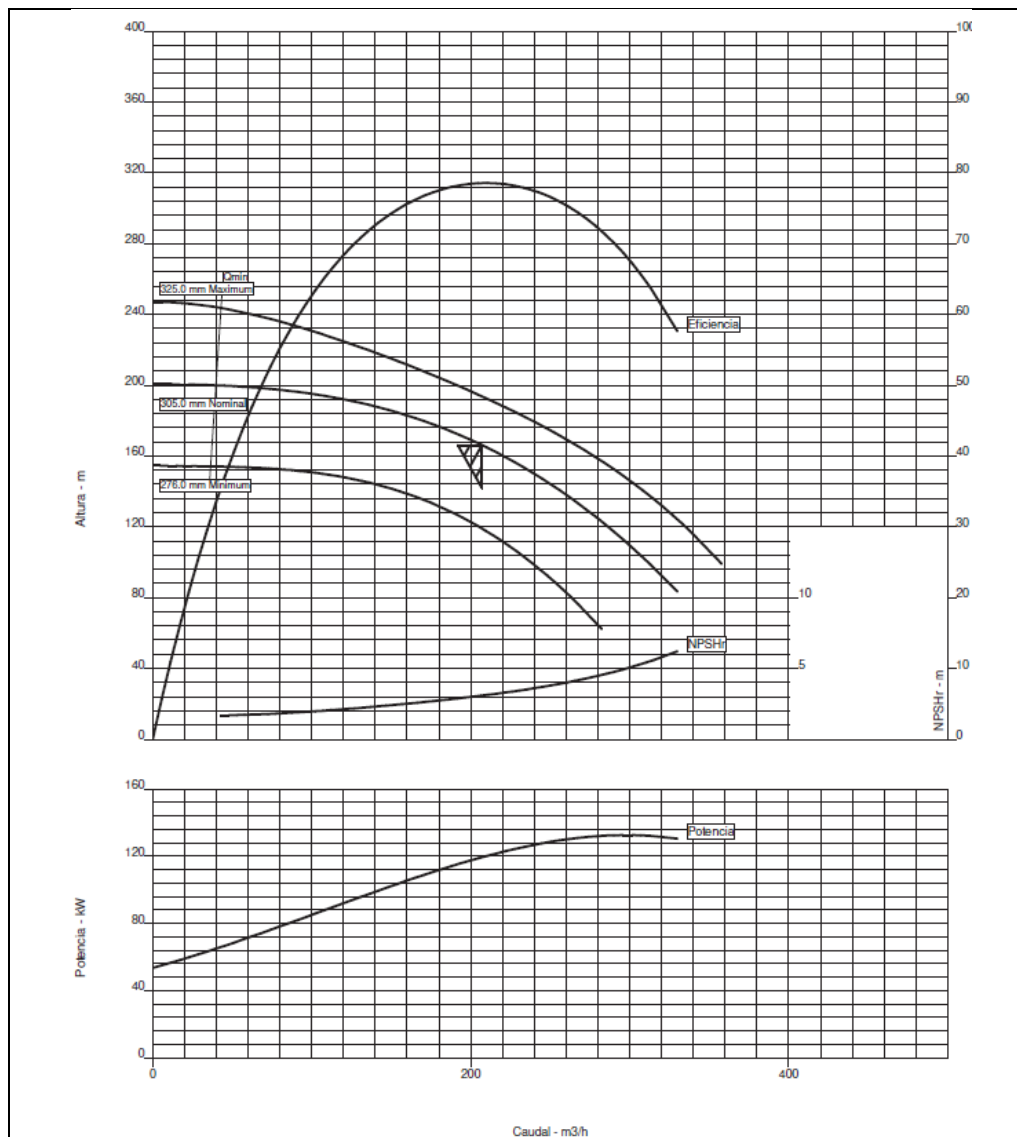
2.1 Reservorio de Aspiración.

La conducción se alimentará desde un reservorio (D1) de tipo enterrado construido de hormigón armado con una cota de fondo de 99 m.s.n.m. El reservorio será alimentado desde una planta de tratamiento de la zona, la entrada de agua al depósito se produce desde la parte superior del mismo a una cota de 104 m.s.n.m. Este reservorio es la aspiración del sistema de bombeo ubicado en la cota de solera del mismo. Se desconoce la capacidad del reservorio, sin embargo para fines prácticos de la modelación del sistema se lo considerará como un depósito de capacidad infinita.

2.2 Estación de Bombeo

La estación de bombeo está ubicada sobre el reservorio de donde succionará el agua. El sistema de bombeo consta de dos bombas verticales multi-etapa de las mismas características donde solo funciona una bomba y la otra bomba es de reserva en caso de mantenimiento o algún daño de la primera bomba.

La bomba centrífuga consta de 6 etapas, el diámetro de rodete es de 305 mm, su velocidad de giro nominal es de 1440 rpm. El punto óptimo de funcionamiento la bomba es con un caudal de 207 m³/h (57.5 l/s) y una altura de 166 m, el cual es obtenido de la curva característica del fabricante como se observa en la gráfica 2.1 y tabla 2.1.



Gráfica 2.1: Curva característica de la bomba proporcionado por el fabricante

Bombeo	
Velocidad bomba	90% (45Hz)
Q 1 bomba 90%	43.72 l/s
Q nominal (m³/h)	207
H nominal (m)	166

Tabla 2.1: Punto óptimo de funcionamiento de la bomba

La instalación de la estación de bombeo cuenta con un sistema de control, válvulas de control automático con cierre progresivo y válvulas de retención. El panel de control tiene la función de recibir y mandar señales a la estación de bombeo con el fin de tomar acciones automáticas en este. Es así que el panel de control recibirá una señal digital de la válvula de control cuando esté cerca de cerrarse o abrirse denomina final de carrera. En el proceso de arranque de la bomba, la válvula de control estará inicialmente cerrada y al arrancar la bomba, la válvula de control se abrirá al 100% en un tiempo corto determinado. En el proceso de paro de la bomba, la válvula de control estará abierta al 100% y se cerrará paulatinamente hasta al final de carrera de la válvula donde se mandará esta señal al panel de control y este a la vez mandará

la orden de parar la bomba. La válvula de retención tiende la función de impedir el flujo de agua al sentido inverso de la impulsión con el fin de evitar que el agua en sentido inverso haga girar de manera contraria al motor de la bomba provocado el daño de esta.

A continuación del sistema de bombeo, se encuentra instalado un calderín anti-ariete de vejiga de forma horizontal con una capacidad de 6.00 m^3 y una presión máxima de servicio de 250 con unas dimensiones de 1.50 m de diámetro y 3.40 m de longitud. Las tuberías de conexión y entronque al calderín son de fundición dúctil con un diámetro (DN = 250 mm). Este calderín fue instalado con el fin de atenuar los fenómenos transitorios provocados por una maniobra brusca en el sistema. En la figura 2.3 se observa el esquema de la instalación del sistema de bombeo.

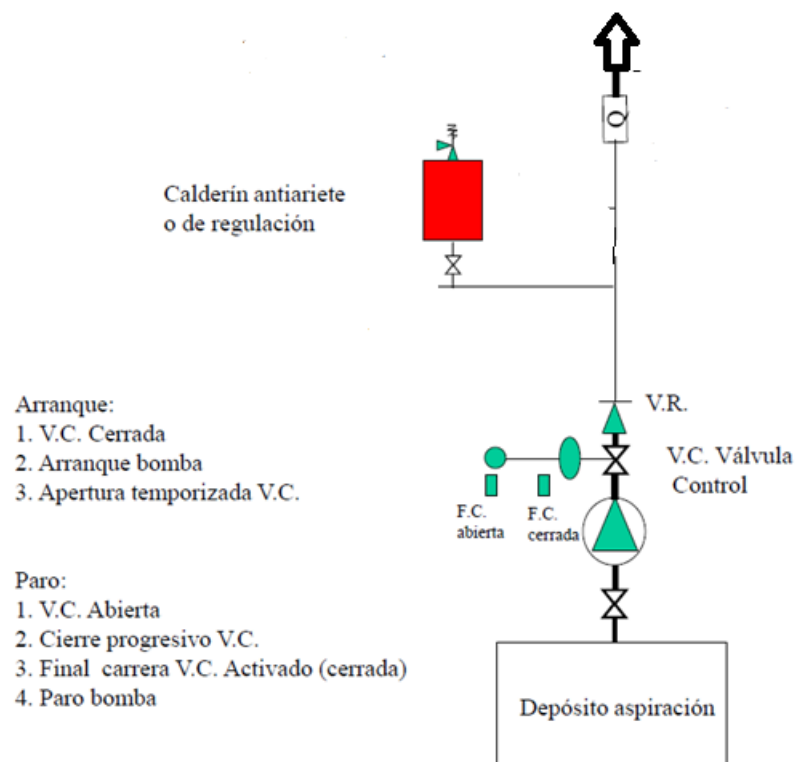


Figura 2.3: Esquema representativo de la instalación de la estación de bombeo

2.3 Línea de Conducción 1 Impulsión (Estación de Bombeo-Arqueta de Rotura)

La impulsión (Estación de Bombeo-Arqueta de Rotura) es una conducción por bombeo debido a que su perfil topográfico es variado en sus cotas. Además, cabe resaltar que la impulsión por bombeo debe salvar una altura geométrica de 148.00 m. La conducción está conformada por tuberías de fundición dúctil con una clase de espesor (K9), tipo de unión flexible y un diámetro nominal de 400 mm. La arqueta de rotura, el depósito 3 y la urbanización 2 serán alimentados por esta línea de conducción por bombeo.

Las conducciones de fundición dúctil de clase K9, en este tipo de tuberías el diámetro nominal es aproximado al diámetro interior y el diámetro exterior es el diámetro nominal más el espesor de la tubería. En la tabla 2.2 se muestra los diámetros comerciales, espesor y presión máxima de trabajo de las tuberías.

FUNDICION DUCTIL K9			
DN	Dext (mm)	Esp (mm)	Pmax (bar)
100	118	9.0	85
125	144	9.5	85
150	170	10.0	79
200	222	11.0	62
250	274	12.0	54
300	326	13.0	49
350	378	14.0	45
400	429	14.5	42
500	532	16.0	38
600	635	17.5	36
700	738	19.0	34

Tabla 2.2: Catálogo diámetros comerciales en tuberías fundición dúctil

A lo largo de esta conducción están instaladas una serie de válvulas de seccionamiento para el mantenimiento y una serie de ventosas en puntos altos de la conducción para la admisión o expulsión de aire en el vaciado y llenado de las tuberías.

2.4 Arqueta de Rotura

La arqueta de rotura es de material de hormigón armado, sus secciones son de 2x2 m y una altura máxima de 1.75 m teniendo una capacidad de 7 m³, debido a su volumen pequeño comparando con el caudal impulsado por la bomba, su capacidad de regulación es prácticamente nula y su función es solo de rotura de presión. La entrada y salida de agua es por la cota de solera a 247 m.s.n.m. Las tuberías de entrada y salida a la arqueta están conectadas entre sí por una tubería de diámetro nominal (DN = 350 mm), formando un by-pass en la arqueta para circular agua en caso de que la arqueta entre en mantenimiento. Cada una de estas tuberías constan de una válvula de paso anular de diámetro nominal (DN = 350 mm) para regular o seccionar el paso del agua cuando el caso lo amerite.

2.5 Depósito 3

El depósito 3 corresponde a las necesidades actuales del sistema de alimentar y regular los caudales de los consumidores de la urbanización 3. Este depósito fue construido de hormigón armado y localizado en las proximidades de la arqueta rotura a unos 75 m de la arqueta de rotura con una cota de solera de 248 m.s.n.m. Constará de dos vasos: Un vaso rectangular con un volumen de 1000 m³ y vaso circular de 750 m³, ambos vasos están conectados por una tubería que los une por la parte inferior de los mismos y tendrán una altura máxima de 4.5 m. Como se ha mencionado anteriormente este depósito no es de carácter público sino de propiedad privada, es por eso que a la entrada de este depósito alimentado por la parte inferior consta de una válvula de retención para evitar que el flujo del agua del depósito entre al sistema, además consta de otra válvula de paso anular para regular los caudales cuando el caso amerite. Adicionalmente este depósito será alimentado por unos pozos de agua ajenos al sistema. Las tuberías de entrada y salida así como también sus válvulas serán de fundición dúctil con un diámetro nominal (DN = 400 mm).

2.6 Línea de Conducción 2 a Gravedad (Arqueta de Rotura-Depósito 2)

La línea de conducción 2 corresponde desde la arqueta de rotura hasta el depósito 2 con una longitud total de 4346.60 m, funciona por gravedad con un perfil topográfico variado en cotas. El desnivel entre la arqueta de rotura y el depósito 2 es de 36.00 m. La tubería es de fundición dúctil de clase (K9) con tipo de unión flexible y con un diámetro nominal (DN = 350 mm). Esta conducción inicialmente solo alimenta al depósito 2 por la cota de solera para poder regular los caudales consumidos de la urbanización 2. Adicionalmente, existe la necesidad de alimentar a los futuros consumos de la urbanización 4, localizado a 900 m de la arqueta de rotura y en una cota a 230 m.s.n.m.

Al igual que en la línea de impulsión 1 están instalados una serie de válvulas de seccionamiento para su mantenimiento y reparación y ventosas para la admisión y liberación de aire en el vaciado y llenado de tuberías.

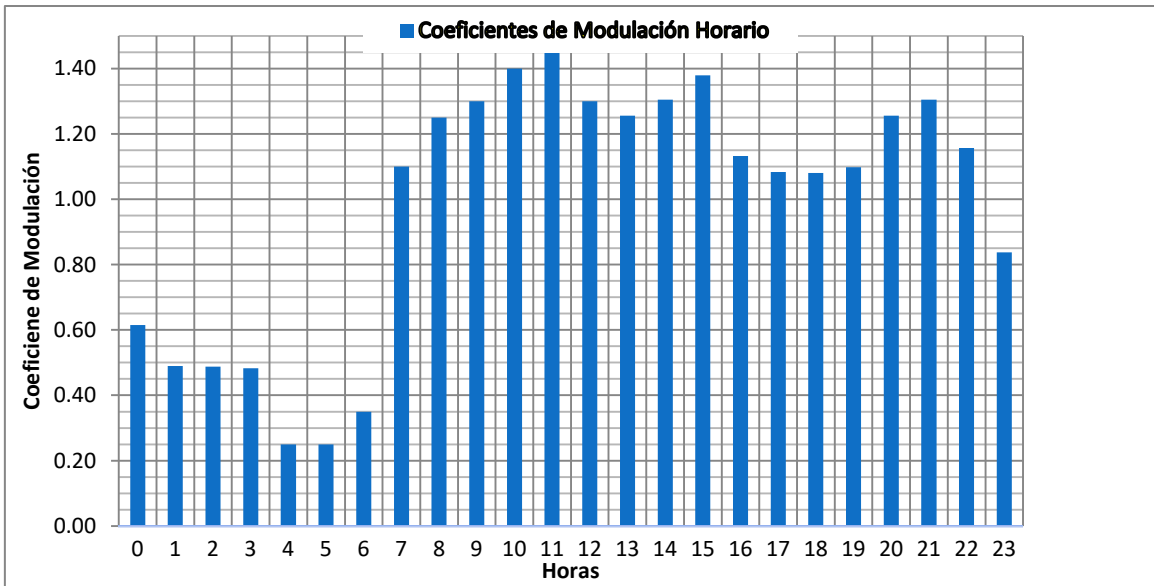
2.7 Depósito 2

El depósito 2 fue construido con hormigón armado, tiene un volumen de capacidad de 1100 m³ y una altura máxima de 3.25 m. A la entrada de este depósito por la parte inferior del mismo a una cota de 211 m.s.n.m se encuentran instaladas dos válvulas conectadas en paralelo y con un diámetro nominal (DN = 350 mm). Estas válvulas fueron instaladas con el fin de regular el caudal de entrada a dicho depósito cuando la ocasión amerite de acuerdo a los consumos de la urbanización 2.

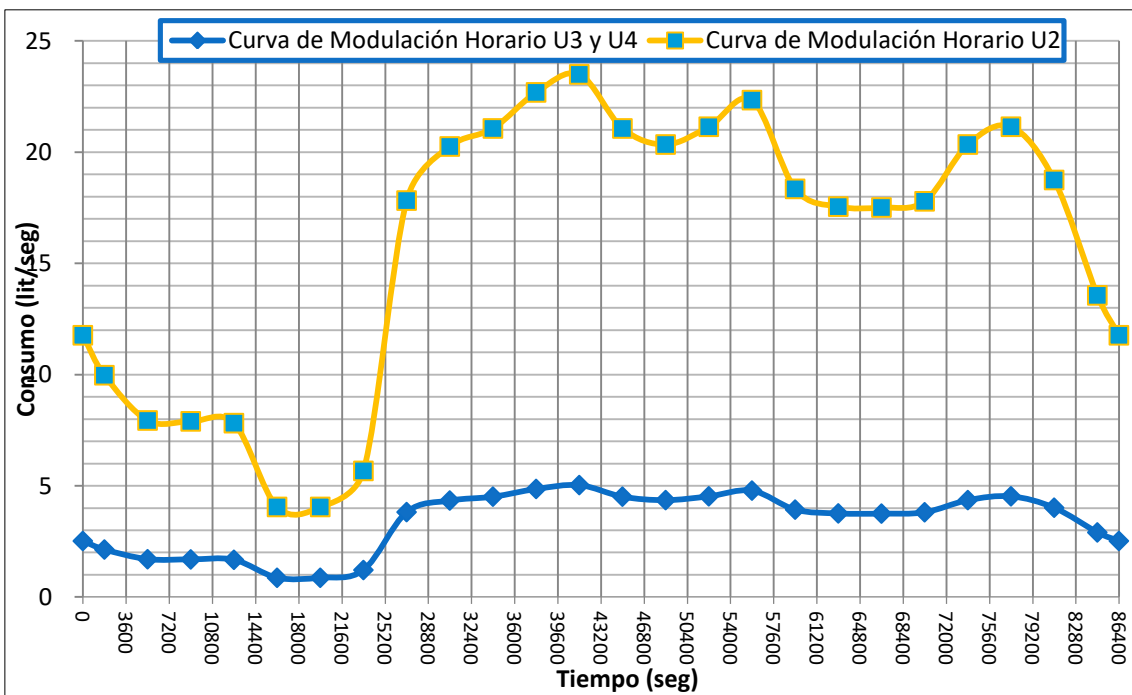
2.8 Demandas Urbanas

Existen 3 urbanizaciones en todo el sistema, donde la urbanización 2 tiene un consumo promedio de 1400 m³/día, mientras que las urbanizaciones 3 y 4 tendrán un consumo promedio estimado de 300 m³/día. No se poseen datos del número de habitantes, el número de viviendas ni las curvas de modulación de consumo horario en las demandas. De acuerdo a la "NTE-IFA 1976 para Suministro de agua en núcleos residenciales hasta 12000 habitantes" la dotación para viviendas es de 945 litro/vivienda/día. El consumo de la urbanización 2 es de 300 m³/día, por lo que se estima que dicha urbanización tiene un total de 1482 viviendas aproximadamente. En cambio para la urbanización 3 y 4 con un consumo de 300 m³/día se podría estimar un total de 318 viviendas en cada urbanización. Para determinar las curvas de modulación de consumo en las urbanizaciones, se propondrán unos coeficientes de modulación de consumo horario para zonas urbanas residenciales tipo en la ciudad de Valencia obtenidas de la tesis doctoral (J. Soriano, 2012). Multiplicando el caudal medio consumido de las urbanizaciones (Qm) en l/s por cada coeficiente de modulación horario propuesto se obtiene las curvas de modulación de las urbanizaciones.

En las siguientes graficas 2.2 y 2.3 muestran el coeficiente de modulación propuesto los y las curvas de modulación para cada tipo de consumo.



Gráfica 2.2: Curva de Modulación de la Demanda de viviendas tipo (Soriano Olivares 2012)



Gráfica 2.3: Curvas de Modulación para los consumos en las urbanizaciones.

Como se puede observar en la grafica 2.2 y 2.3, se destaca que los mayores consumos se producen entre las 10:00 am y 12:00 pm con un patrón de consumo punta de 1.45, mientras que los consumos más bajos se producen entre las 0:00 am y las 07:00 am.

3 Capítulo 3. Modelo del Sistema de Conducción

3.1 Característica del Programa

El programa Allievi es un software informático que permite simular y analizar los efectos transitorios en un sistema hidráulico a presión. Esto significa un cambio en el espacio y tiempo de las condiciones de funcionamiento del sistema. Admite que por el sistema circule un líquido a presión por gravedad a partir de depósitos, impulsado por estaciones de bombeo o una combinación de una serie de depósitos y estaciones de bombeo. Para la regulación del caudal circulante por las conducciones, el sistema puede disponer de diferentes tipos de válvulas que pueden ser instaladas en las conducciones. El programa puede simular diferentes maniobras al sistema hidráulico que genere transitorios que son principalmente, la puesta en marcha y parada de bombas, además como la apertura y cierre de válvulas.(ITA 2015)

El método de cálculo utilizado en el programa es el método de las características que es un método de resolución en los modelos dinámicos elásticos. Para el cálculo de pérdidas en conductos a presión, el programa utiliza la formula de Darcy-Weisbach y para pérdidas locales o menores el programa utiliza el coeficientes de pérdidas adimensional (k).

En un sistema hidráulico, el régimen transitorio se inicia a partir del régimen permanente cuando se produce alguna maniobra del sistema. En el programa Allievi, el régimen permanente se obtiene procesando el régimen transitorio a partir de unas condiciones de funcionamiento cualesquiera, con los elementos del sistema en las condiciones iniciales. Los valores de partida del régimen transitorio se adoptan cuando en el cálculo se obtiene unas condiciones de funcionamiento que no varían con el tiempo.(ITA 2015)

Durante el transitorio del sistema se producen intercambios de energía cinética a energía de presión y otra vez a energía cinética, produciendo oscilaciones de caudal, velocidad y presión al interior de las conducciones. Las oscilaciones de presiones producen picos de máximos y mínimos. Excesivas presiones máximas pueden romper las conducciones de las tuberías si no dispone de la suficiente resistencia mecánica. Si las presiones mínimas descienden por debajo de la presión atmosférica se pueden producir grietas e incluso colapso de las conducciones.

Los efectos perjudiciales que se pueden producir en un transitorio hidráulico se puede atenuar proporcionando mayor resistencia mecánica al sistema, o protegiendo la instalación con estructuras o elementos que permitan disminuir la amplitud de dichas oscilaciones y mantener los picos de presiones en unos límites aceptables. Por consiguiente, el software se lo puede utilizar en la fase de diseño de los elementos de protección contra transitorios como en la fase de verificación del correcto funcionamiento del sistema hidráulico.(ITA 2015)

El sistema hidráulico a simular en el programa está compuesto por una serie de elementos, los cuales se interconectan entre sí a través de sus nudos extremos. En general, cada elemento dispone de dos nudos, uno de entrada y otro de salida. Los elementos de un sistema hidráulico que se pueden simular en el programa son los siguientes:

1. Depósitos, con o sin vertedero.
2. Estaciones de Bombeo.

3. Estructuras de control de caudal: válvulas o pérdidas localizadas.
4. Estructuras de protección: Chimeneas, tanques unidireccionales o calderines.
5. Ventosas, que se pueden distribuir a lo largo de las conducciones.
6. Imposición de leyes de caudal o de altura piezométricas en puntos extremos de tuberías.
7. Turbinas Francis.
8. Conductos en lamina libre

En la siguiente figura 3.1 se muestran los tipos de elementos considerados para modelar un sistema hidráulico en el programa.



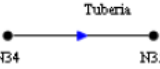

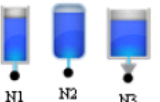
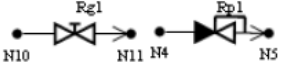


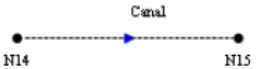
Tipos de Elemento	Representación Gráfica en ALLIEVI
1. Nudos	 Nudo
2. Depósitos	 N16 N17
3. Tuberías	 N34 N35
4. Estaciones de bombeo	 N30 N31
5. Estructuras de Protección	 N1 N2 N3
6. Estructuras de control de caudal	 N10 N11 N4 N5
7. Leyes de caudal (Q) o de altura (H)	 N12 N13
8. Turbinas Francis	 Tb1 N43 N44
9. Conductos en lámina libre	 N14 N15

Figura 3.1: Cuadro de los tipos de elementos en Allievi. (ITA 2015)

3.2 Introducción de los Modelos en un Sistema Hidráulico.

Una de las características fundamentales de los modelos de análisis de conducciones hidráulicas a presión es la presencia de la variación del tiempo. El objetivo de un modelo es obtener los valores de las variables significativas en el sistema como las presiones en los nudos caudales en las líneas, además de la obtención de la variación a lo largo del tiempo de estas variables.

De acuerdo a (Abreu and Et Al 1995), los modelos de análisis en un sistema se pueden clasificar en:

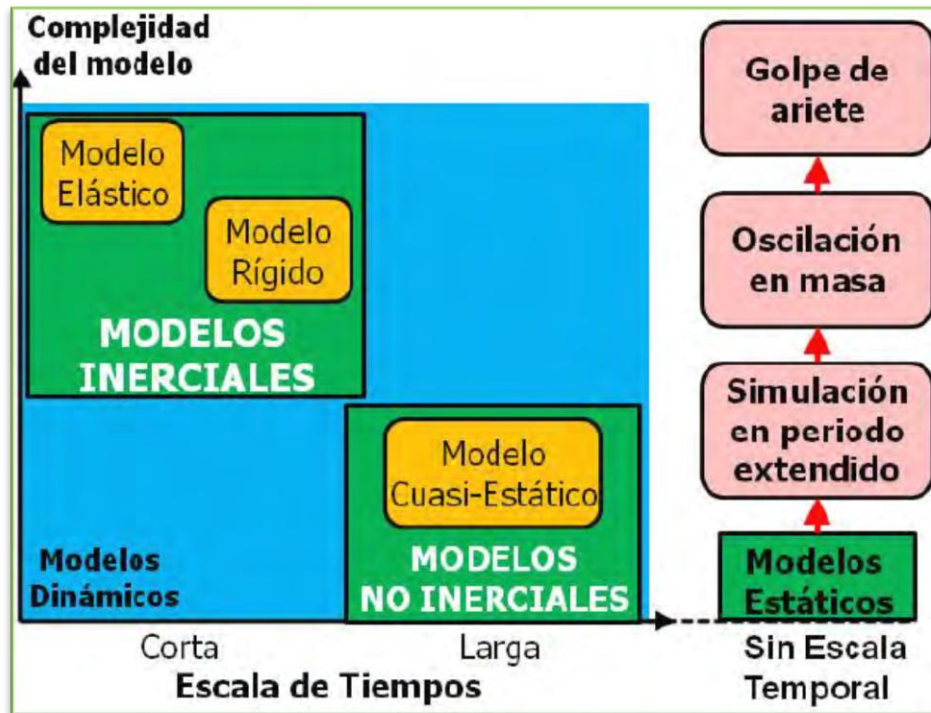


Figura 3.2: Cuadro de Clasificación del Análisis de un modelo (Iglesias, Fuertes, and Pérez 2001)

- Modelo estático o modelos de análisis en régimen permanente. Su objetivo es determinar los valores de las variables del sistema para una situación dada, sin tomar en cuenta sus variaciones temporales de parámetros como (consumos, niveles, etc.). Es decir son modelos en un determinado instante en que sus parámetros y variables son fijos.
- Modelo dinámico, o modelos de análisis en régimen transitorio. Son modelos en los que intervienen tiempos de corta duración o larga duración en los parámetros del sistema que, lógicamente determinan una variación temporal del sistema hidráulico. Los modelos dinámicos según su variación temporal se pueden clasificar en modelos no inerciales y modelos inerciales.

3.2.1 Modelos No inerciales

De acuerdo a la referencia (Abreu and Et Al 1995), estos modelos en los que se desprecia la inercia del fluido, de forma que la característica dinámica de este tipo de modelos es de disponer de una serie de condiciones de contorno variables con el tiempo, su análisis para cada instante es un modelo estático. La variación entre un instante de cálculo y el siguiente proviene de la actuación de parámetros como niveles en los depósitos, demandas en los nudos, etc.

Este tipo de modelos también se los denomina cuasi-estáticos o modelos de simulación en un periodo extendido siendo su característica principal de resolver una sucesión de simulaciones estáticas. Este modelo se utilizará para realizar el análisis y diagnóstico del funcionamiento de la instalación a lo largo de un día.

3.2.2 Modelo Inerciales

Los modelos inerciales se subdividen en dos grupos, de acuerdo a si se toma en cuenta o no la elasticidad de fluido y las paredes de la conducción. De tal forma los modelos inerciales según (Abreu and Et Al 1995) pueden ser:

- **Modelo Elástico:** Tiene la característica fundamental de considerar la elasticidad del fluido y de la conducción. Estos son los modelos más utilizados para simular el golpe de ariete en las conducciones provocadas por maniobras bruscas en el sistema analizado, denominado el fenómeno de transitorios rápido.
- **Modelo rígido:** Se lo denomina como modelo de oscilación en masa, a diferencia de los modelos elásticos, no tienen en cuenta la elasticidad del fluido y de la conducción. Cuando las maniobras en el sistema son lo suficientemente lentas, este modelo ofrece resultados suficientemente precisos.

Como se detalló en los apartados anteriores, los modelos dinámicos consisten en determinar las variables de un sistema hidráulico, presión (p) y velocidades (V) de cualquier punto de una conducción en un instante del tiempo cualquiera.

Para determinar las funciones $p(x,t)$ y $V(x,t)$ resultan a partir de la solución de un complejo sistema de ecuaciones diferenciales que resultan de la aplicación de los siguientes puntos. (Abreu and Et Al 1995)

- Un balance diferencial de masas y de fuerzas en un volumen de control de la conducción, obteniendo la ecuación de continuidad y la ecuación de la cantidad de movimiento, resolviéndolos en un sistema de ecuaciones.
- Una condición inicial del sistema que indica valores de sus variables en el instante del inicio del estudio.
- Las condiciones de contorno que describen el comportamiento de los elementos situados en los extremos de las conducciones que pueden ser elementos como válvulas, nivel de un depósito o estación de bombeo, estos elementos son los que generan los transitorios hidráulicos y modifican las perturbaciones del sistema.

Aplicando el balance diferencia de masas y de fuerzas en un volumen de control observado en las figuras 3.3 y 3.4, se obtienen las ecuaciones diferenciales 1 y 2 respectivamente.

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{V_{cf}}^{V_{ci}} \rho * dV + \int_{S_{cf}}^{S_{ci}} \rho * V * dA = 0 \quad (1)$$

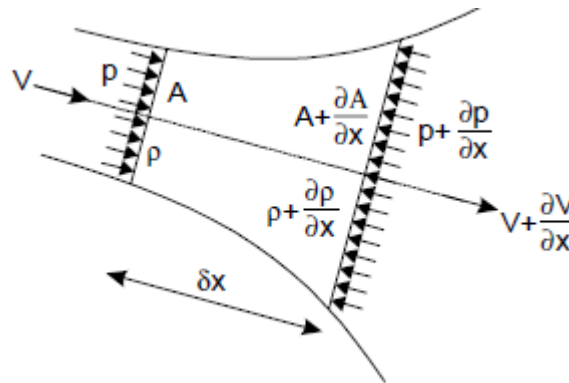


Figura 3.3: Balance de masas en el volumen de control

$$\delta W_x = g \left(\rho + \frac{\partial \rho}{\partial x} \frac{\delta x}{2} \right) \left(A + \frac{\partial A}{\partial x} \frac{\delta x}{2} \right) \delta x - \rho * g * A * \delta x \quad (2)$$

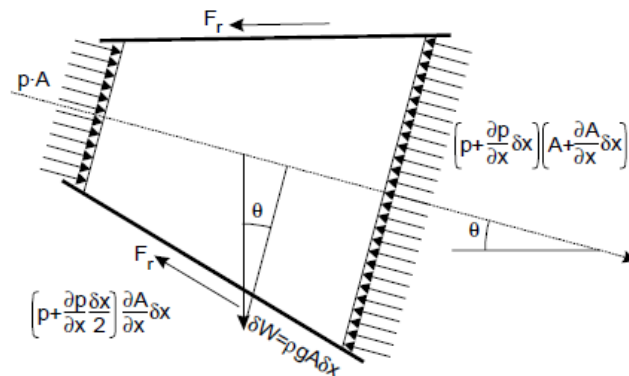


Figura 3.4: Balance de fuerzas en el volumen de control

Simplificando las ecuaciones 1 y 2, se obtiene las ecuaciones 3 y 4 respectivamente.

$$\frac{g}{a^2} * \frac{dH}{dt} + \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{g}{a^2} * V \text{sen} \theta = 0 \quad (3)$$

$$\frac{dV}{dt} + f \frac{V * |V|}{2D} + g \frac{\partial H}{\partial x} = 0 \quad (4)$$

Donde: H es la altura piezométrica; V es la velocidad; g es la gravedad; D es diámetro de la conducción; f es el factor de fricción de la conducción y a es la celeridad de la conducción.

No existe ninguna expresión matemática que permita tener una solución exacta del sistema de ecuaciones. Por tal razón las técnicas de solución al son los análisis numéricos que solo pueden ser eficientes en el uso de programas en computadores. Uno de los métodos más utilizado es el método de las características (MOC), método utilizado como desarrollo de cálculo en Allievi. Este método fue desarrollado como método computacional a finales de los

años 60 por Evangelisti (1969) y posteriormente por Chaudhry (1987), Wyle y Streeter (1993) y Almeida y Koelle (1992). Este método resulta explícito en el tiempo, esto supone que para determinar valores como la altura piezométrica, caudal o velocidad en un determinado punto e instante en la conducción es tan solo necesario conocer valores de cuanto acontece en instantes anteriores de cálculo. (Iglesias, Fuertes, and Pérez 2001)

El programa Allievi aplica el método MOC integrando las ecuaciones en instantes de tiempos determinados en Δt y en puntos concretos sobre la conducción Δx , cumpliendo la condición $\frac{\Delta x}{\Delta t} = a$, donde a es la celeridad de la onda de presión en la conducción. (ITA 2015)

Con esta hipótesis, las ecuaciones diferenciales se transforman en ecuaciones algebraicas lineales 5 y 6 como se observa a continuación:

$$H_i^{n+1} - H_{i-1}^n + \frac{a}{g}(V_i^{n+1} - V_{i-1}^n) + \frac{f_{i-1}^n * \Delta x}{D} * V_{i-1}^n |V_{i-1}^n| = 0 \quad (5)$$

$$H_i^{n+1} - H_{i+1}^n - \frac{a}{g}(V_i^{n+1} - V_{i+1}^n) - \frac{f_{i+1}^n * \Delta x}{D} * V_{i+1}^n |V_{i+1}^n| = 0 \quad (6)$$

Con este sistema de ecuaciones se puede calcular la altura piezométrica H y la velocidad V en un punto i de la conducción y en un instante $n+1$, partiendo de valores H y V en los puntos $i-1$ y $i+1$ en un instante n . (ITA 2015)

3.3 Sistema de Unidades utilizados en el sistema.

El sistema de unidades en las que se expresarán los datos y variables del sistema hidráulico de conducción serán en unidades métricas. Siendo así las unidades:

- Longitud y cota: metros (m)
- Diámetros, Rugosidad, Espesor: milímetros (mm)
- Perdidas: metros (m)
- Sección: metros cuadrados (m^2)
- Volumen: metros cúbicos (m^3)
- Caudal: litros por segundo (l/s)
- Presión: metros (m)
- Velocidad: metros por segundo (m/s)
- Aceleración: metros por segundo cuadrado (m/s^2)

3.4 Elementos del sistema de conducción en el modelo.

Los datos de los elementos del sistema de conducción que se han descrito en el capítulo 2 como (Volumen de los depósitos, perfil topográfico de las líneas de conducción, características de la estación de bombeo, características de las válvulas, consumo en las urbanizaciones), se procede a modelar el sistema de conducción con las distintas propuestas de mejora en el programa.

3.4.1 Datos en los Depósitos

Los primeros elementos a representar son los depósitos, reservorio y la arqueta de rotura del sistema. En el caso del reservorio será modelado como un depósito de dimensiones infinitas y la arqueta de rotura se representará como un depósito pequeño.

Los datos principales a ingresar en el programa son la cota de solera del depósito, cota del nivel del agua y su sección. Adicionalmente, se debe determinar el tipo del depósito de grandes dimensiones (infinito) como es en el caso para representar el reservorio (D1) o de pequeñas dimensiones en el caso de los depósitos 2, 3 (D2, D3) y la arqueta de rotura (AR). Como se muestra en la tabla 3.1:

Depósitos - Datos básicos						
Nombre	Ni	Nf	Zs (m)	Tipo	S (m ²)	Z0 (m)
D1	N1	---	99	GD ▾		104
D1.1	N6	---	99	GD ▾		104
D3	N14	N15	248	PD ▾	388.88	250
AR	N21	N22	247	PD ▾	4	247.75
D2	N38	N39	211	PD ▾	338.46	212.5

Tabla 3.1: Datos básicos de los depósitos.

Los depósitos (D2, D3) y la arqueta de rotura (AR) son depósitos considerados de regulación. Para poder determinar si se desbordan o no dichos depósitos en el análisis del sistema, se colocarán vertederos o aliviaderos cuya cota de cresta representará la cota máxima de un depósito, donde los caudales desbordados pasarán por estos. Para este modelo se interesa si existe o no desbordamiento sin importar la cantidad de caudal desbordado en los depósitos, por lo que no tiene importancia las dimensiones del vertedero y su descarga. Para efectos prácticos se asumirá que los vertederos tendrán una longitud de 2 metros, una descarga libre con un coeficiente de descarga de 0.8, como se muestra en la tabla 3.2.

Vertedero/Aliviadero			
L (m)	Z Cresta (m)	Cq	Descarga
			▾
			▾
2	252.5	0.8	--- ▾
2	251.5	0.8	--- ▾
2	214.25	0.8	--- ▾

Tabla 3.2: Datos de los vertederos en los depósitos

3.4.2 Tuberías de las líneas de impulsión

Para representar las conducciones, se los dibuja con el elemento tubería en el programa que une los nudos iniciales y finales de elementos como depósitos, estación de bombeo o válvulas utilizadas en el sistema.

Los datos básicos a ingresar en las tuberías son el diámetro interior que para este caso el diámetro interior es igual al diámetro comercial en tuberías de fundición dúctil, la longitud de las conducciones, el espesor de las conducciones, la celeridad de ondas en las conducciones, el perfil topográfico de las líneas de conducciones y la rugosidad absoluta de las conducciones donde se asumirá una rugosidad de 0.1 mm valor típico para conductos de fundición dúctil.

Para la simulación del sistema en régimen permanente y de periodo extendido, la celeridad en la conducción no tendrá mayor injerencia en los cálculos de programa ya que no se simulará

ninguna maniobra brusca de los elementos del sistema, como ya se explicó en anteriores párrafos.

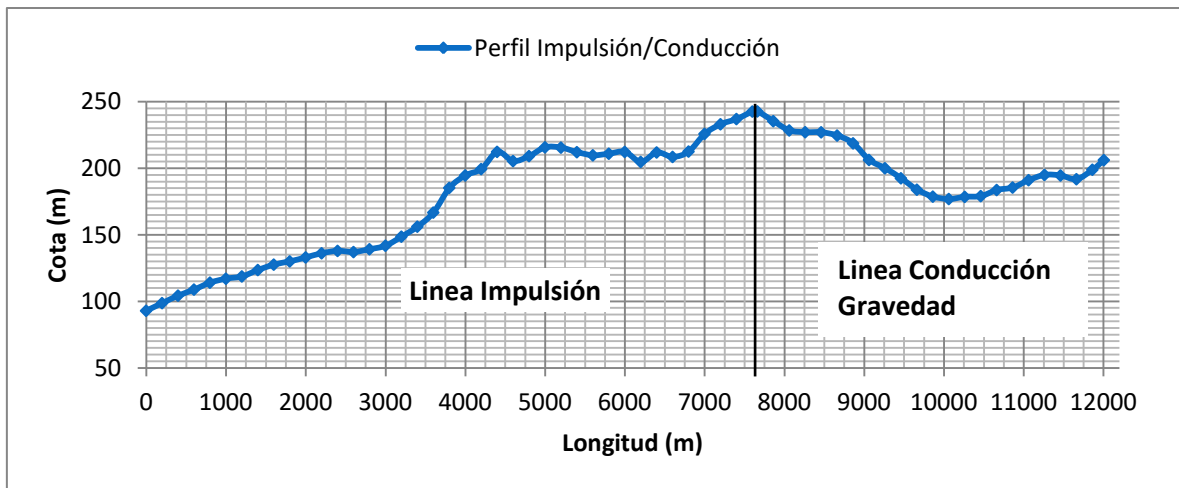
Como se describió el sistema en el capítulo 2, a lo largo de las conducciones están instaladas una serie de válvulas de seccionamiento y ventosas para mantenimiento y llenado-vaciado de las tuberías respectivamente. Sin embargo, dichas válvulas no se representarán en el modelo. En el caso de las válvulas de corte porque permanecerán completamente abiertas en el funcionamiento del sistema excepto en el mantenimiento y por lo tanto no aportarán cambios significativos en la simulación. En el caso de las ventosas del mismo modo no se representarán en el modelo debido a que el sistema cuando esté en funcionamiento no tendrá presiones negativas y por lo tanto las ventosas permanecerían cerradas y no tendrán efecto alguno en la simulación

Los datos básicos de las conducciones quedan ingresados como se muestra en la tabla 3.3:

Tuberías - Datos básicos											Pérdidas	
Nombre	Ni	Zi (m)	Nf	Zf (m)	Dint (mm)	L (m)	e (mm)	a (m/s)	Perfil	Rug (mm)	k	
Tub1	N1	99	N3	99	400	5	14.5	0	Calc.	----	0.1	0
Tub2	N4	99	N47	99	400	5	14.5	0	Calc.	----	0.1	0
Tub5.1	N9	242.81	N17	242.81	400	75	14.5	0	Calc.	----	0.1	0
Tub9	N28	225.33	N34	211	350	3643.6	14	1240.97	Calc.	-^N-/	0.1	0
Tub8.3	N32	230	N33	230	150	5	14	0	Calc.	----	0.1	0
Tub8.2	N30	230	N31	230	150	5	9	0	Calc.	----	0.1	0
Tub8.1	N28	225.33	N29	230	150	10	9	0	Calc.	----	0.1	0
Tub1.1	N6	99	N7	99	400	10	14.5	0	Calc.	----	0.1	0
Tub2.2	N8	99	N47	99	400	5	14.5	0	Calc.	----	0.1	0
Tub5.3	N20	247	N21	247	350	5	14	0	Calc.	----	0.1	0
Tub5.2	N18	242.81	N19	247	350	10	14	0	Calc.	----	0.1	0
Tub6.1	N22	247	N23	247	350	5	14	0	Calc.	----	0.1	0
Tub6.2	N24	247	N25	247	350	14	14	0	Calc.	----	0.1	0
Tub4.4	N15	248	N16	248	80	10	9	0	Calc.	----	0.1	0
Tub4.2	N11	248	N12	248	100	10	14.5	0	Calc.	----	0.1	0
Tub4.3	N13	248	N14	248	400	5	9	0	Calc.	----	0.1	0
Tub4.1	N9	242.81	N10	248	400	6	14.5	0	Calc.	----	0.1	0
Tub6.3	N26	247	N27	242.81	350	6	14	0	Calc.	----	0.1	0
Tub7	N27	242.81	N28	225.33	350	900	14	1240.97	Calc.	-^N-/	0.1	0
Tub10.3	N39	211	N40	211	150	10	9	0	Calc.	----	0.1	0
Tub10.2	N37	211	N38	211	350	10	14	0	Calc.	----	0.1	0
Tub10.1	N35	211	N37	211	350	10	14	0	Calc.	----	0.1	0
Tub3.1	N47	99	N48	215.82	400	5000	14.5	1240.97	Calc.	-^N-/	0.1	0
Tub3.2	N48	215.82	N9	242.81	400	2662.32	14.5	1240.97	Calc.	-^N-/	0.1	0

Tabla 3.3: Datos básicos de las conducciones del sistema

En la grafica 2 se visualiza el perfil de la línea de impulsión y de la conducción a gravedad ingresado al programa:



Gráfica 3.1: Perfil ingresado en una conducción

3.4.3 Estación de Bombeo

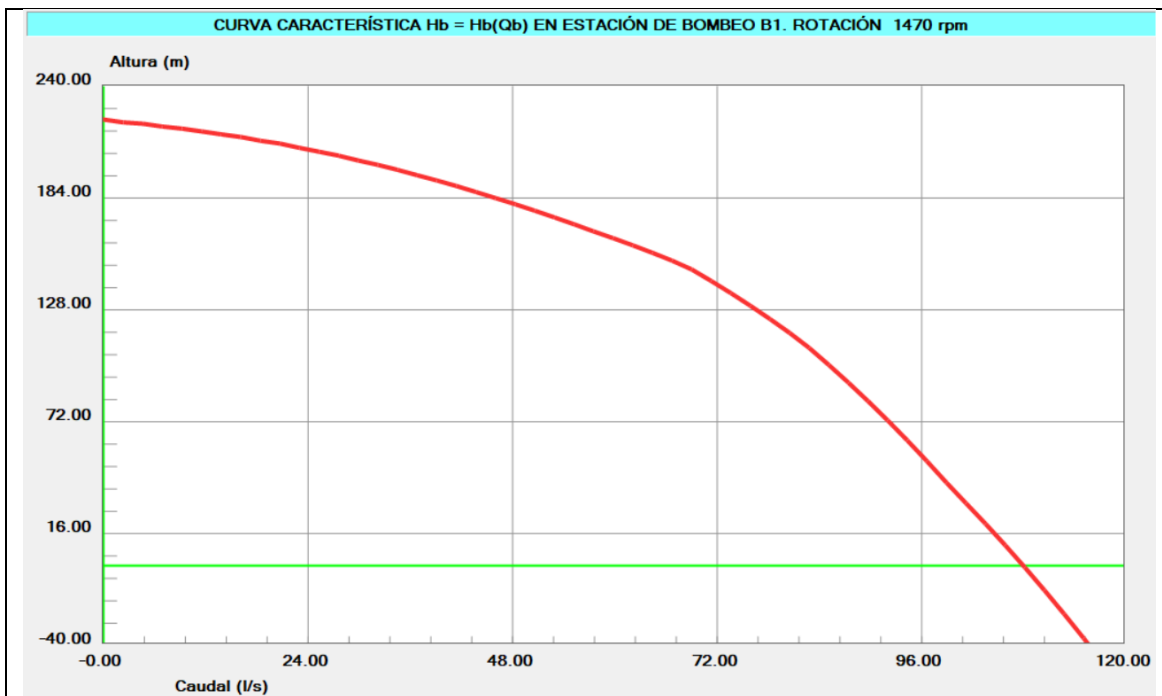
Para la modelación de la estación de bombeo en el modelo se ingresarán los datos básicos (cota de aspiración de la bomba y curva de la bomba), datos de elementos instalados como (válvulas de regulación, válvulas de retención o by-pass), velocidad de rotación inicial y nominal de la bomba y estados de parada y arranque de las bombas.

En este sistema de conducción, la cota de donde se aspira el bombeo pertenece a la cota de solera del reservorio de aspiración (99 m.s.n.m). A pesar de tener la curva característica convencional de la bomba que proporciona el fabricante, el tipo de curva característica de la bomba se escogió la curva universal de Sutter, debido a la falta de datos por el fabricante del comportamiento general de la bomba cuando por ejemplo pudieran existir caudales negativos o velocidades de rotación demasiadas bajas en un análisis de transitorios, además los errores que se pudieran producir en usar la curva universal en lugar de la curva del fabricante son bajos y para estos análisis no repercutirán significativamente en los resultados obtenidos. Esta curva universal es calculada por el programa que está en función del punto óptimo de funcionamiento donde se produce el máximo rendimiento de la bomba. Los datos a ingresar son; la altura óptima de bombeo (H), caudal óptimo (Q) y potencia (P). Los datos ingresados al programa se observan en la tabla 3.4.

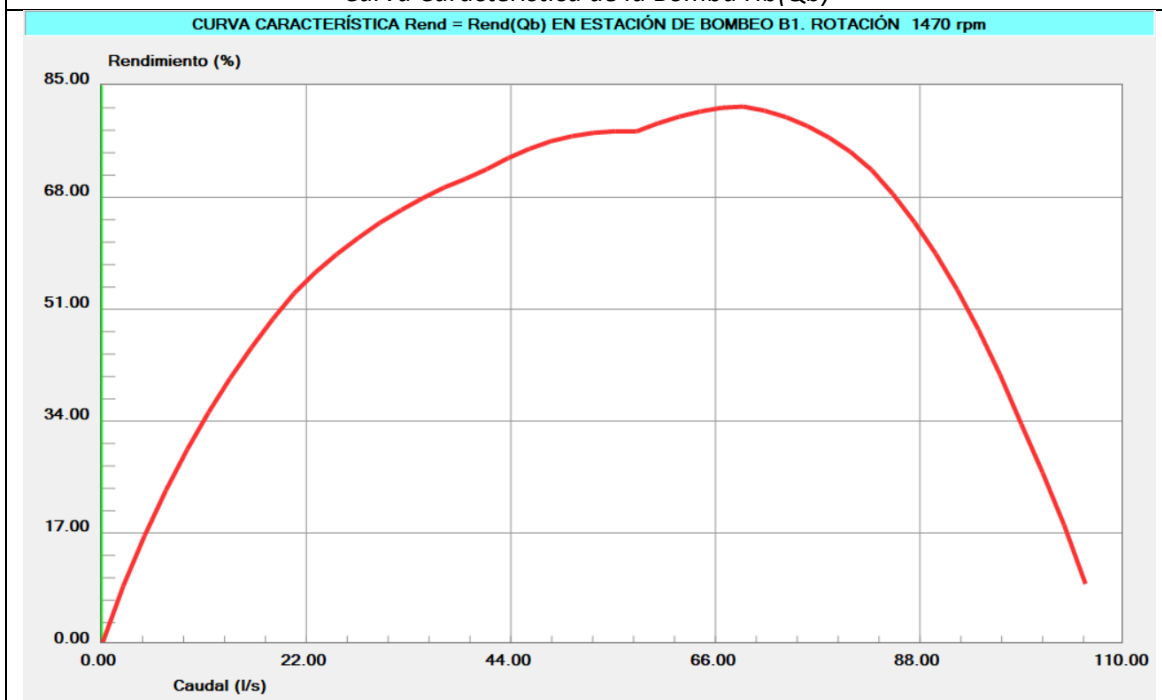
Estación de bombeo - Datos básicos						
	Nombre	Ni	Nf	Z (m)	Num	Curva
[-]	B1	N3	N4	99	1	Universale
	Rendimiento óptimo					
		Q (l/s)	H (m)	P (Kw)	Rend(%)	
		57.5	166	120	78.03	
	<					
[+]	B2	N7	N8	99	1	Universale

Tabla 3.4: Datos Básicos de la Estación de Bombeo

En la gráfica 3 se observa la curva característica de la bomba calculadas en el programa a partir del punto óptimo del funcionamiento de la bomba.



Curva Característica de la Bomba $H_b(Q_b)$



Curva del Rendimiento de la Bomba $\eta\%(Q_b)$

Gráfica 3.2: Curva característica universal de bombas

Los elementos instalados y representados en el modelo son: una válvula para regular el caudal bombeado y una válvula de retención para evitar el retorno del fluido hacia el motor de la bomba.

Para la válvula de retención se ingresará el coeficiente de pérdida de carga en función del caudal K ($m/(m^3/s)$), se asumirá un valor típico de coeficiente de pérdida de $3 m/(m^3/s)$. Para la

válvula de regulación se ingresará el diámetro y el tipo de válvula. El diámetro será igual a la tubería de impulsión es decir (400 mm) y el tipo de válvula será de paso anular. En la tabla 3.5 se observa los valores ingresados de las válvulas instaladas en la estación de bombeo.

	V Regulación					V Retención		By-Pass
	DN (mm)	Tipo	Modelo	Maniobra		K		K
	400	Comercial	Paso Anular CR DN 4	(1)		3		

Tabla 3.5: Datos de las Válvulas instaladas en las Bombas.

Adicionalmente, se ingresará datos del estado inicial de las bombas. La bomba 1 estará inicialmente en marcha y la bomba 2 estará apagada dado que solo funcionará la bomba 1. Para la bomba 1 que está en marcha se ingresará el tiempo en el que se parará la bomba, mientras que para la bomba 2 que está parada se ingresará el tiempo en la cual arrancará y la duración de dicho arranque. Dado que primero, el sistema se lo simulará en periodo extendido de un día y funcionando constantemente la estación de bombeo, el instante en que la bomba 1 pare y arranque de la bomba 2 tendrá que ser superior al periodo de la simulación (1 día o 86400 s). Para la simulación en régimen transitorio los tiempos de arranque dependerán de las maniobras que se querrán estudiar. La duración de encendido de la bomba se supondrá un tiempo de 2 segundos.

Parada/Arranque						
Inicial	Inst. par.	Nuevo arr	Inst. arr.	Duración	Nueva par	Inst. par.
En marc	86450	No				
Paradas			86450	2	No	

Tabla 3.6: Datos Iniciales Parada/Arranque de las Bombas.

3.4.4 Válvulas

En el sistema de conducción se representarán las válvulas más importantes para maniobrar el sistema. En la situación 1; a la entrada y salida de la arqueta de rotura está ubicada una válvula de regulación; a la entrada de las urbanizaciones 1 y 4 se representa una válvula de retención y otra de seccionamiento; a la entrada del depósito 2 se representa dos válvulas de regulación conectadas en paralelo. En el depósito 3 de la situación 2, en la tubería de entrada se instalará una válvula de retención y otra válvula de regulación. En las figuras 3.5 y 3.6 se observa un esquema representativo del sistema en las dos situaciones, donde se incluye las válvulas principales instaladas.

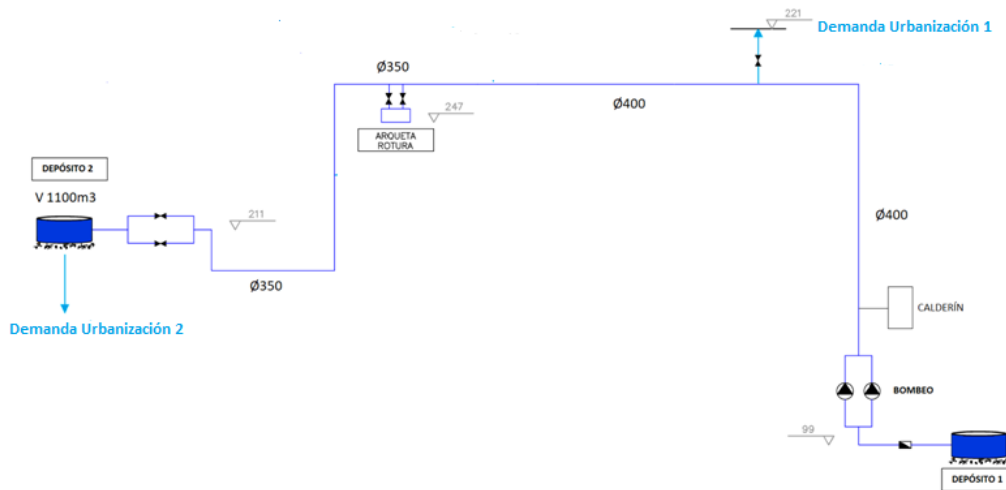


Figura 3.5: Esquema representativo de la instalación del sistema en la situación 1

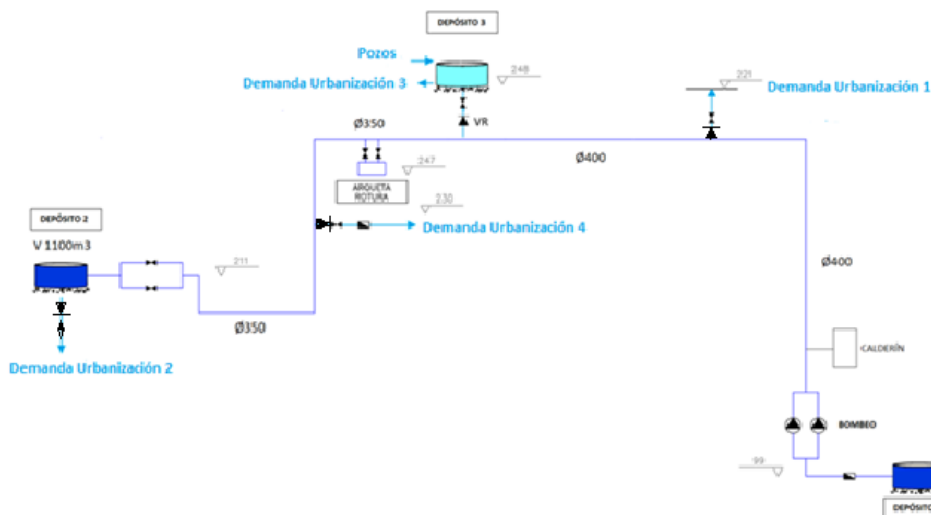


Figura 3.6: Esquema representativo de la instalación del sistema en la situación 2

Para representar las válvulas, los datos básicos a ingresar son: el diámetro nominal (DN) de la válvula, el coeficiente de pérdidas menores (k) en el ramal de la válvula, el tipo de válvula a instalar y el modelo en caso de escoger una válvula en la base de datos del programa.

Las válvulas de regulación serán representadas por válvulas manuales de tipo anular cilindro ranurado que se caracterizan por tener un buen funcionamiento para regular los caudales y que también puede funcionar como de seccionamiento. Este tipo de válvulas tendrá su propia caracterización hidráulica de pérdidas menores en función del grado de apertura ($k_f(\% \Phi)$). Estos datos son de vital importancia e influyentes para regular caudales. Las pérdidas menores (k) en sus ramales se asumirá un valor de ($k = 0$) dado que las válvulas tendrán el mismo diámetro que la conducción y no tendrán mayores accesorios, además estas pérdidas k tendrán poca influencia en el cálculo del modelo.

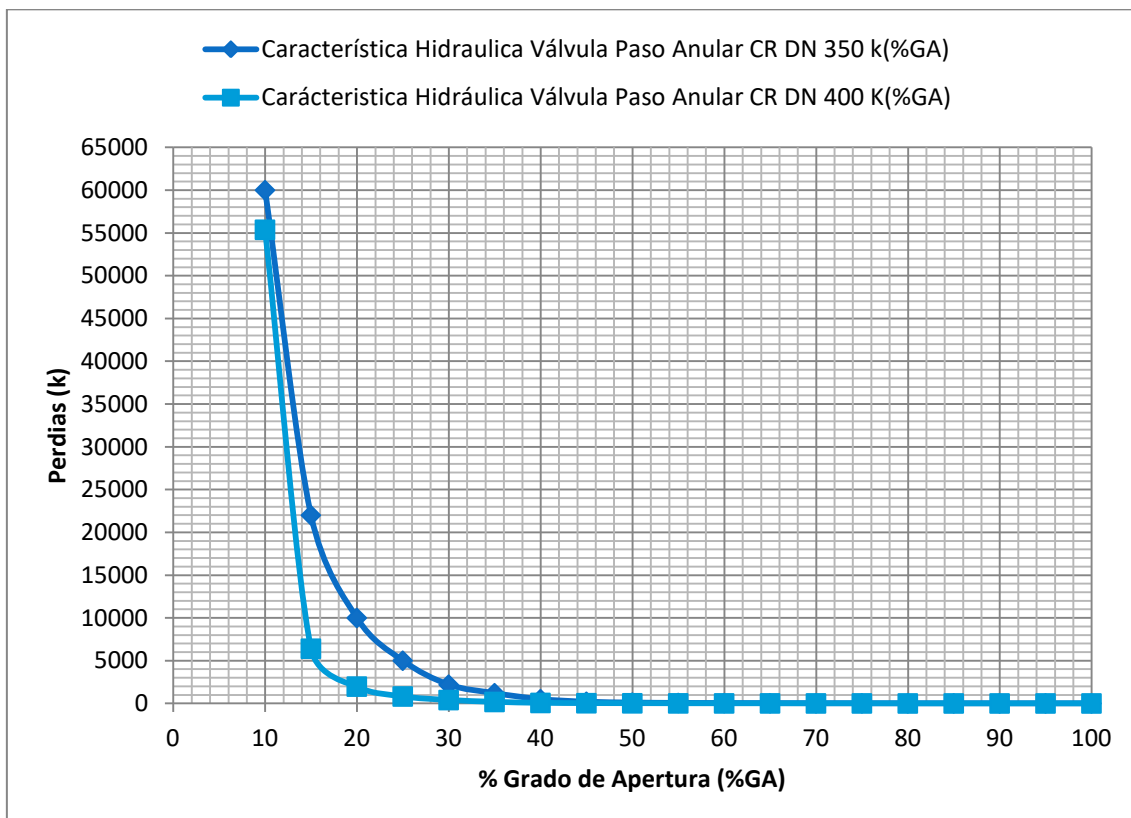
En la tabla 3.7 y grafica 3.3 se muestra los datos de las válvulas ingresadas al sistema y las características hidráulicas del funcionamiento de las válvulas de paso anular:

Válvula Regulación - Datos básicos								Maniobra
Nombre	Ni	Nf	Z (m)	DN (mm)	k Ramal	Tipo	Modelo	Tipo
Rg2	N19	N20	247	350	0	Comercial	Paso Anular CR DN 35	Tabulada
Rg3	N25	N26	247	350	0	Comercial	Paso Anular CR DN 35	Tabulada
Rg4	N12	N13	248	400	0	Comercial	Paso Anular CR DN 40	Tabulada
Rg5	N31	N32	230	150	0	Mariposa		Tabulada
Rg6	N56	N55	242.81	350	0	Comercial	Paso Anular CA DN 35	Tabulada

Tabla 3.7: Datos básicos ingresados de las válvulas

Descripción	Etiqueta
Valv. Entrada DU1	Rg1
Valv. Entrada A.R	Rg2
Valv. Salida A.R	Rg3
Valv. Entrada D3	Rg4
Valv. Entrada DU4	Rg5

Tabla 3.8: Descripción de las etiquetas de cada válvula



Gráfica 3.3: Característica hidráulica de las válvulas de paso anular CR DN 350-400mm

3.4.5 Consumo en las Demandas Urbanas

El consumo de las demandas urbanas será representado con el elemento Ley de Caudal dicho elemento nos permitirá simular la variación de los consumos a largo de un día. En el cual se ingresará la cota en la que estarán ubicados las urbanizaciones, el tipo de ley que en este caso será ley de caudal, la imposición de caudal (parámetro que controlará el valor impuesto), que será mediante tabla. En la tabla se colocará la variación de los consumo (Q) en función del tiempo (t). El caudal (Q) se representará en unidades l/s, mientras que el tiempo (t) en s. En la tabla 3.9 se observa los datos ingresados en la ley de caudal para representar la variación de consumos.

Ley - Datos básicos				
Nombre	Nudo	Z (m)	Tipo	Imp Q
DU3	N16	248	Q	Por tabla
DU4	N33	230	Q	Por tabla
DU2	N40	211	Q	Por tabla

Tabla 3.9: Datos ingresados en la Ley de Cauda (Ley Q).

Las urbanizaciones 3 y 4 tienen un consumo medio diario de 300 m³/día, mientras que la urbanización tendrá un consumo medio diario tipo B como se visualiza en la tabla 3.10. Para obtener los datos de la curva de modulación de las urbanizaciones, se obtuvieron multiplicando los coeficientes de modulación de consumo de cada hora de un día (ci) propuesto en capítulo 2 por el consumo medio diario ($Q_0 = Q_m \times ci$) como se observa en la tabla 3.11 y grafica 3.4.

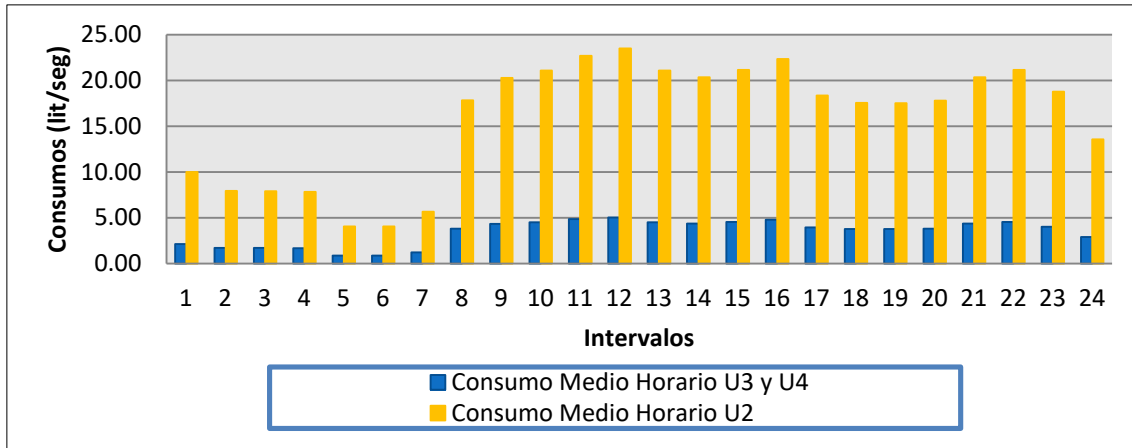
Consumos Urbanizaciones	m ³ /día	lt/s
Urbanización 2	1400.00	16.20
Urbanización 3	300.00	3.47
Urbanización 4	300.00	3.47

Tabla 3.10: Cuadro resumen de los consumos medios de las urbanizaciones

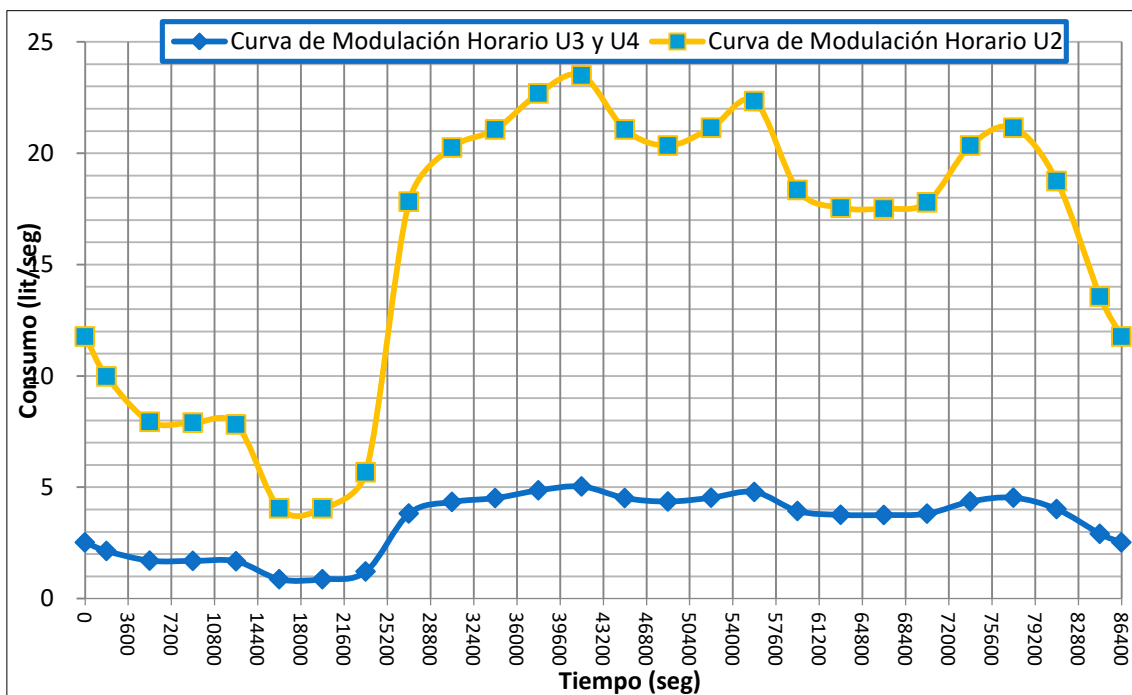
Intervalo	Coef. modulación de Consumo	Q ₀ U3 U4 (lit/s)	Q ₀ U2 (lit/s)	Tiempo (s)	Q ₀ U3 U4 (lts/s)	Q ₀ U2 (lts/s)
		2.52	11.77	0	2.52	11.77
0	0.62	2.14	9.97	1800	2.14	9.97
1	0.49	1.70	7.94	5400	1.70	7.94
2	0.49	1.69	7.90	9000	1.69	7.90
3	0.48	1.68	7.82	12600	1.68	7.82
4	0.25	0.87	4.05	16200	0.87	4.05
5	0.25	0.87	4.05	19800	0.87	4.05
6	0.35	1.22	5.67	23400	1.22	5.67
7	1.10	3.82	17.82	27000	3.82	17.82
8	1.25	4.34	20.25	30600	4.34	20.25
9	1.30	4.51	21.06	34200	4.51	21.06
10	1.40	4.86	22.69	37800	4.86	22.69
11	1.45	5.03	23.50	41400	5.03	23.50
12	1.30	4.51	21.06	45000	4.51	21.06
13	1.26	4.36	20.34	48600	4.36	20.34
14	1.30	4.53	21.14	52200	4.53	21.14
15	1.38	4.79	22.34	55800	4.79	22.34
16	1.13	3.93	18.35	59400	3.93	18.35
17	1.08	3.76	17.55	63000	3.76	17.55
18	1.08	3.75	17.51	66600	3.75	17.51
19	1.10	3.81	17.79	70200	3.81	17.79
20	1.26	4.36	20.34	73800	4.36	20.34
21	1.30	4.53	21.14	77400	4.53	21.14
22	1.16	4.02	18.75	81000	4.02	18.75

Intervalo	Coef. modulación de Consumo	Qo U3 U4 (lit/s)	Qo U2 (lit/s)	Tiempo (s)	Qo U3 U4 (lts/s)	Qo U2 (lts/s)
23	0.84	2.91	13.56	84600	2.91	13.56
24		2.14	9.97	86400	2.52	11.77

Tabla 3.11: Cuadro resumen de los Caudales medios consumidos horarios en cada hora



Gráfica 3.4: Consumos Medios de las urbanizaciones a cada hora durante un día



Gráfica 3.5: Curvas de Modulación de Consumos en las urbanizaciones

Una vez ingresado los datos de los distintos elementos del sistema en el programa, el sistema en la situación 1 y 2 queda representado en el Allievi como se observa en la figura 3.7 y 3.8.

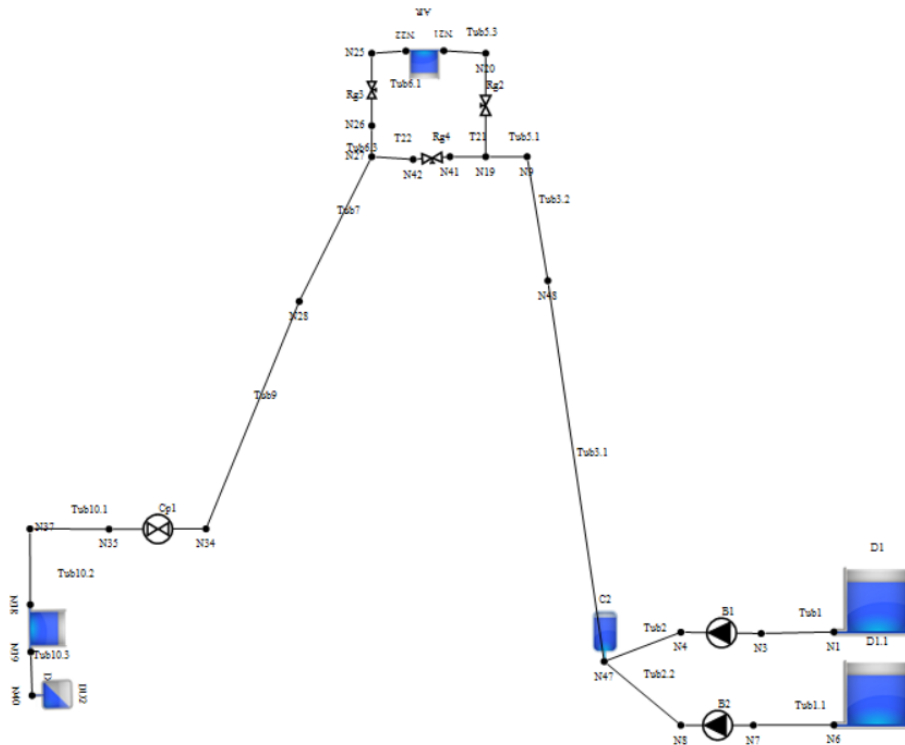


Figura 3.7: Esquema del sistema en la situación 1 representado en Allievi

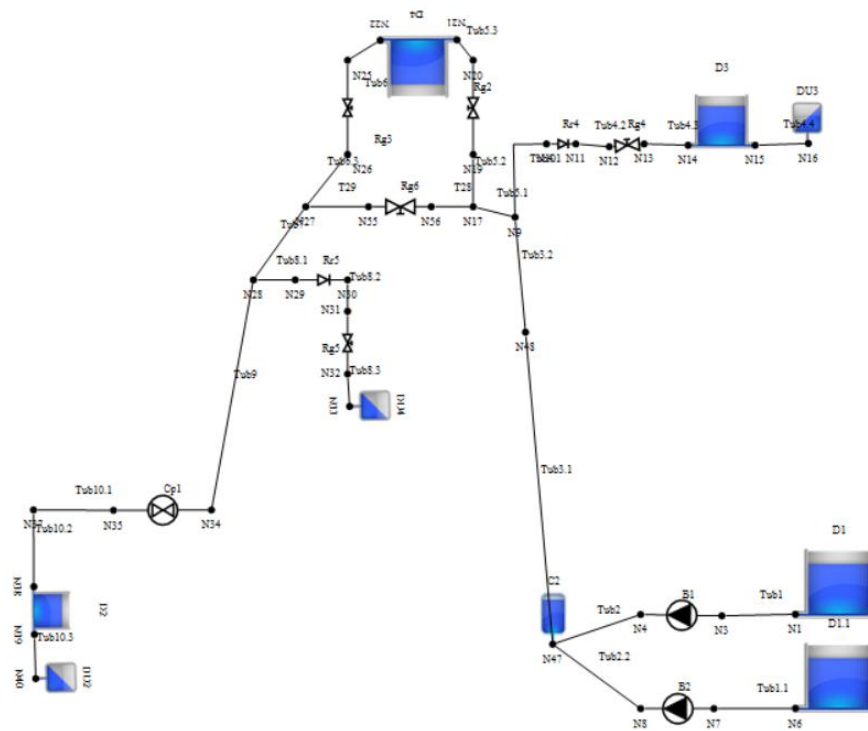


Figura 3.8: Esquema del sistema en la situación 2 representado en Allievi

4 Capítulo 4. Diagnostico y Análisis de la Conducción

En el presente capítulo se presentarán el diagnostico actual de la instalación del sistema y el diagnostico del sistema con los requerimientos de consumos hablados en el capítulo 1 y 2 de acuerdo a los datos recopilados del sistema. El análisis de los resultados del modelo del sistema estará en régimen permanente y en régimen extendido de un día.

4.1 Análisis de la Situación 1 (Inicial)

Primero se realizó el análisis en la situación inicial del sistema, una conducción directa desde el reservorio hasta la arqueta de rotura por bombeo y desde la arqueta al depósito 2 por gravedad. Se plantearon tres hipótesis en como operaría el sistema en la situación 1.

- La primera hipótesis es que todas las válvulas esta 100 % abiertas excepto en le by-pass de la arqueta de rotura.
- La segunda hipótesis es cuando entra a funcionar el by-pass de la arqueta
- La tercera hipótesis es cuando las válvulas tendrán un cierto grado de apertura para regular sus caudales.

Las condiciones iniciales de los depósitos son los siguientes como se ve en la tabla 4.1.

Elemento	Z solera (m)	Zo (m)	Z cresta (m)	V (m3)
Reservorio	99	104	104	
Arqueta Rotura	247	247.75	248.75	7.00
Deposito 2	211	212.5	214.25	1100

Tabla 4.1: Condiciones iniciales de los depósitos en la situación 1

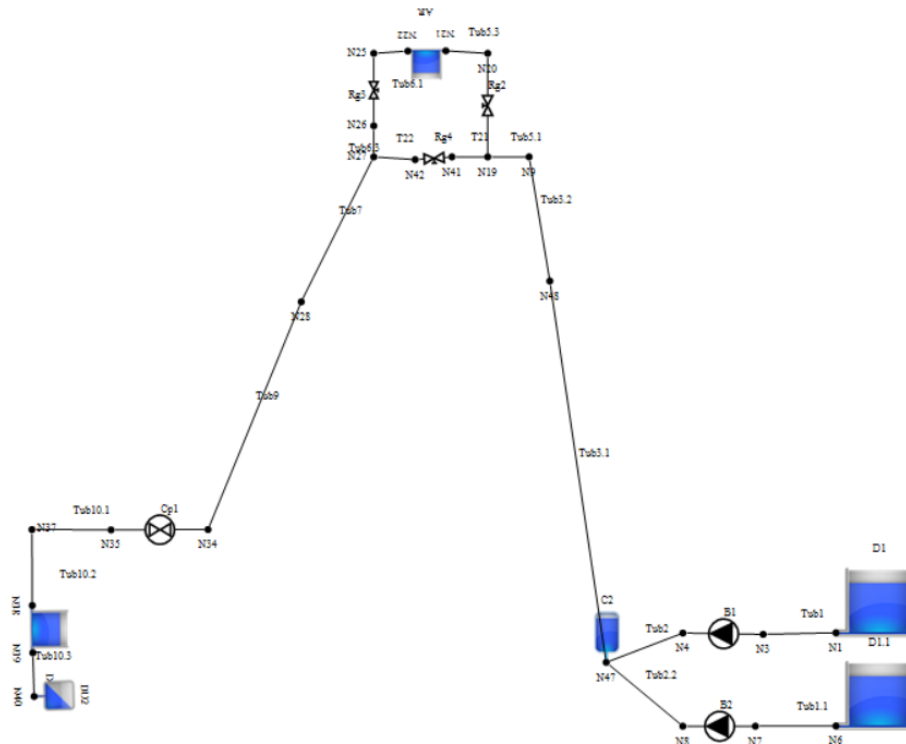


Figura 4.1: Esquema del sistema en la situación 1 representado en Allievi

4.1.1 Simulación del modelo en régimen permanente

A continuación se observará los resultados obtenidos en la simulación del sistema en régimen permanente. En los que se destacan las presiones en los nudos de los elementos del sistema, caudal y altura bombeada (Q_b , H_b), velocidades en las líneas de conducción y pérdidas en las conducciones.

Cálculos en la estación de bombeo

Como se observan los resultados en la tabla 4.2, la estación de bombeo da un caudal bombeado ($Q_b = 43.72$ l/s) y una altura de bombeo ($H_b = 146.27$ m). EL punto óptimo de funcionamiento de la bomba es ($Q_b = 57.5$ l/s) y ($H_b = 166$ m), por lo que se puede decir que la bomba está teniendo un funcionamiento eficiente debido a que su punto de funcionamiento está cercano al punto óptimo, dando un rendimiento ($\eta = 76.75\%$) cuyo rendimiento máximo de la bomba es del 82%.

Etiqueta	Q_b (l/s)	H_b (m)	Pot (Kw)	η (%)	Perd. V. Ret	Perd. V. Reg
B1	43.72	146.27	81.84	76.65	0.01	0
B2	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabla 4.2: Resultados obtenidos de la estación de bombeo (situación 1)

Cálculos en los nudos de los elementos del sistema y conducciones

En la tabla 4.3, se observa los resultados de presiones en los nudos principales que la presión a la salida de la estación de bombeo es 151.24 m. Esta altura de presión es mayor comparando con la altura geométrica a salvar en el perfil de la conducción para llegar a la arqueta de rotura más las pérdidas producidas en la conducción de impulsión (h_f), dando una altura total a salvar de 150.22 m, por lo que la altura que está proporcionando la estación de bombeo es suficiente para alimentar a la arqueta.

Descripción	Etiqueta	H (m)	P (m)
Ni Reservoirio	N1	104.00	5.00
Nf Reservoirio	N1_fin	104.00	5.00
Nf Bomba 1	N8	250.24	151.24
Nf Calderin	N47	250.24	151.24
Ni Arq. Rot.	N38	214.25	3.25
Ni Deposito 2	N21	247.75	0.75

Tabla 4.3: Resultados de presiones en los nudos de los elementos principales del sistema (situación 1)

Cálculos hidráulicos en las conducciones del sistema

Los cálculos hidráulicos de las conducciones como se puede observar en la tabla 17, hay que destacar que las velocidades en las conducciones de impulsión sus velocidades son de 0.35 m/s, mientras que en las conducciones a gravedad sus velocidades son del orden de 1.7 m/s, estas velocidades cumplen con la velocidad mínima de 0.20 m/s y velocidad máxima de 2.5 m/s tal como lo establece la "Guía Técnica sobre tuberías para transporte del agua a presión CEDEX", por consiguiente en primera instancia se puede decir que las conducciones fueron bien dimensionadas refiriéndose estrictamente en valores de velocidades. Sin embargo, refiriéndose en términos de caudales, la conducción a gravedad está sobredimensionada, pues

su diámetro DN = 350 mm es demasiado grande en relación a la demanda que se necesita en el depósito 2 para alimentar la urbanización 2.

Sin embargo, es importante destacar que el caudal de salida de la arqueta de rotura y que dicho caudal ingresa al depósito 2 es ($Q_s = 169.09$ l/s). Este caudal es demasiado grande en relación al caudal de entrada de la arqueta cuyo caudal es ($Q_e = 43.72$ l/s). Las dimensiones de la arqueta son pequeñas con un volumen de 7.00 m³ como se mencionó anteriormente. Por lo tanto, se puede predecir a simple vista que se vaciará rápidamente la arqueta de rotura dado a su poca capacidad de regular en relación a sus caudales de entrada y salida y por consiguiente dejará de funcionar el sistema. Por otra parte, el caudal de entrada al depósito 2 es ($Q_e = 169.09$ l/s) y el caudal de salida inicial es ($Q_s = 11.77$ l/s), tomando en cuenta que el caudal de entrada es siempre constante mientras que el caudal de salida varía en relación al tiempo donde su caudal máximo es 23.50 l/s (obsérvese en la tabla 4.4), se puede decir que el depósito 2 se desbordará debido a que el caudal de entrada será siempre mayor que el caudal de salida.

Descripción	Etiqueta	Q (l/s)	v (m/s)	F. Fric.	Perd F. Fric (m)	Perd. Men. (m)
Tub. Aducc. D1	Tub1	43.72	0.35	0.01857	0.00	0.00
Tub. Impulsión	Tub2	43.72	0.35	0.01857	0.00	0.00
Tub. Impulsión	Tub3.1	43.72	0.35	0.01857	1.43	0.00
Tub. Impulsión	Tub3.2	43.72	0.35	0.01857	0.76	0.00
Tub. Impulsión	Tub5.1	43.72	0.35	0.01857	0.02	0.00
Tub. Impulsión	Tub5.2	43.72	0.45	0.01843	0.01	0.00
Tub. Entrada AR	Tub5.3	43.72	0.45	0.01843	0.00	0.00
Tub. Conduc. gravedad	Tub6.1	171.62	1.67	0.01619	0.03	0.00
Tub. Conduc. gravedad	Tub6.2	171.62	1.67	0.01619	0.09	0.00
Tub. Conduc. gravedad	Tub6.3	171.62	1.67	0.01619	0.04	0.00
Tub. Conduc. gravedad	Tub7	171.62	1.67	0.01619	5.90	0.00
Tub. Conduc. gravedad	Tub9	171.62	1.67	0.01619	23.90	0.00
Tub. Entrada D2	Tub10.1	171.62	1.67	0.01619	0.07	0.00
Tub. Entrada D2	Tub10.2	171.62	1.67	0.01619	0.07	0.00
Tub. Entrada DU2	Tub10.3	11.77	0.67	0.02135	0.03	0.00

Tabla 4.4: Cálculos hidráulicos en las conducciones

Para verificar que la arqueta de rotura se vaciará rápidamente, se modelará el sistema en régimen extendido de 24 h (86400 s) evidenciando los caudales de entrada y salida y la evolución de niveles de la arqueta de rotura.

4.1.2 Simulación del sistema en régimen extendido

Una vez simulado el sistema en régimen permanente, se procede a modelar en régimen extendido de un día tomando en cuenta que las demandas de consumo en la urbanización 2 varían a lo largo de las 24 horas del día.

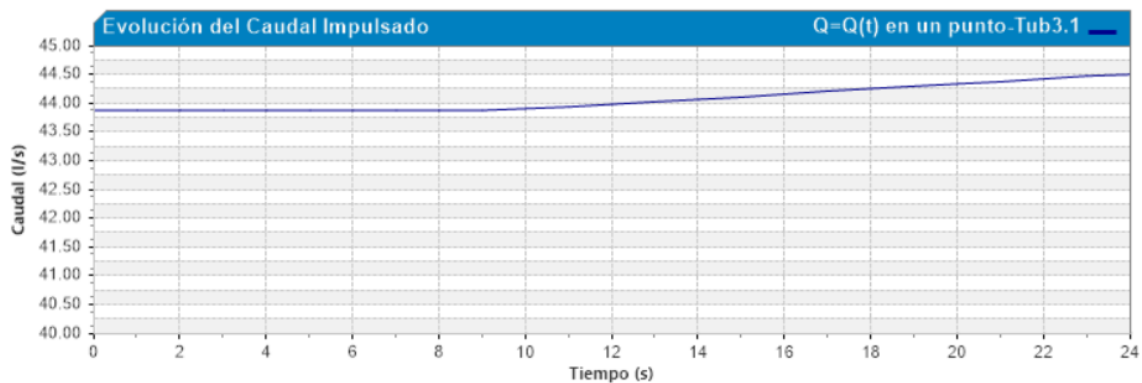
Los resultados obtenidos en la variación de caudal impulsado, caudales de entrada / salida y evolución de niveles en los depósitos se detallará a continuación para las distintas hipótesis planteadas.

Hipótesis 1

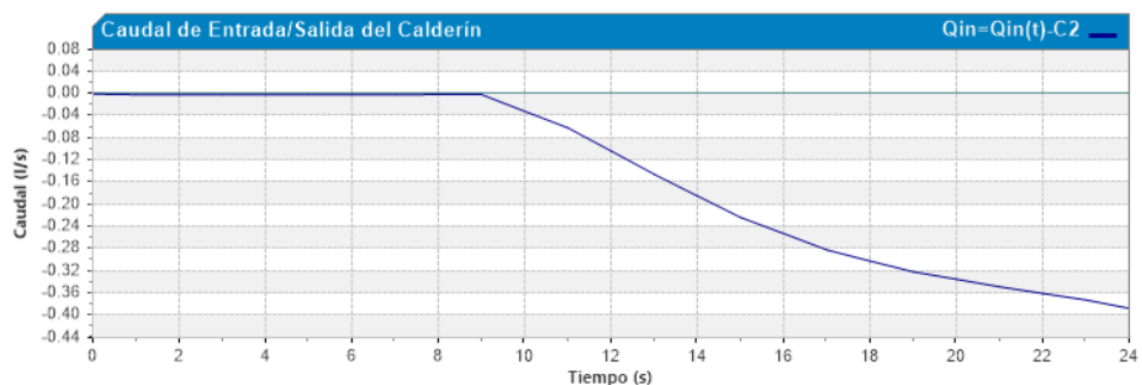
En esta hipótesis se supondrá que las válvulas a la entrada y salida de la arqueta de rotura estarán 100 % abiertas, pero la válvula en by-pass permanecerá cerrada, igualmente como en la arqueta de rotura, las válvulas en el depósito 2 estarán 100 % abiertas.

Evolución del Caudal Bombeado

En la gráfica 4.1, se puede observar que el caudal impulsado varía levemente a lo largo del tiempo de simulación, debido a que no existe consumo de una urbanización en el tramo de impulsión, por consiguiente el caudal bombeado a la arqueta de rotura es prácticamente constante. Las pequeñas variaciones de caudal se producen es debido a que desciende el nivel de agua de la arqueta, donde desciende la altura piezométrica de la arqueta y por consiguiente el caudal bombeado asciende además que el calderín aporta agua a la conducción. En la grafica 4.2 se observa que a los 9 segundos desde que inicia la simulación el calderín empieza a aportar agua a la conducción Este tiempo de 9 segundos es el tiempo en el que se demora en llegar la propagación de las ondas de presión al punto inicial de la conducción y desde ese instante aumenta el caudal impulsado. Es importante mencionar que el tiempo de simulación en el Allievi fue de solo 24 segundos, debido a que en ese instante se vacía la arqueta y deja de funcionar el sistema, como se observará más adelante.



Gráfica 4.1: Evolución del caudal bombeado en el sistema (situación 1)

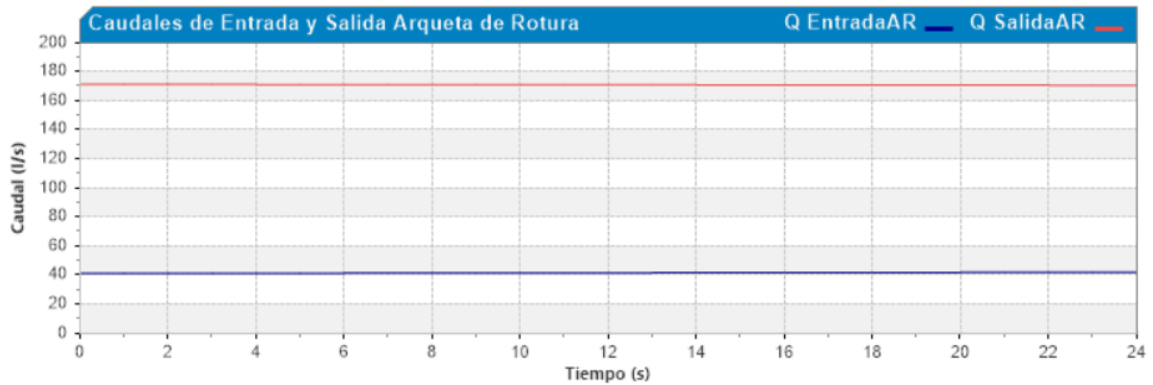


Gráfica 4.2: Evolución del caudal de entrada y salida en el calderín (situación 1)

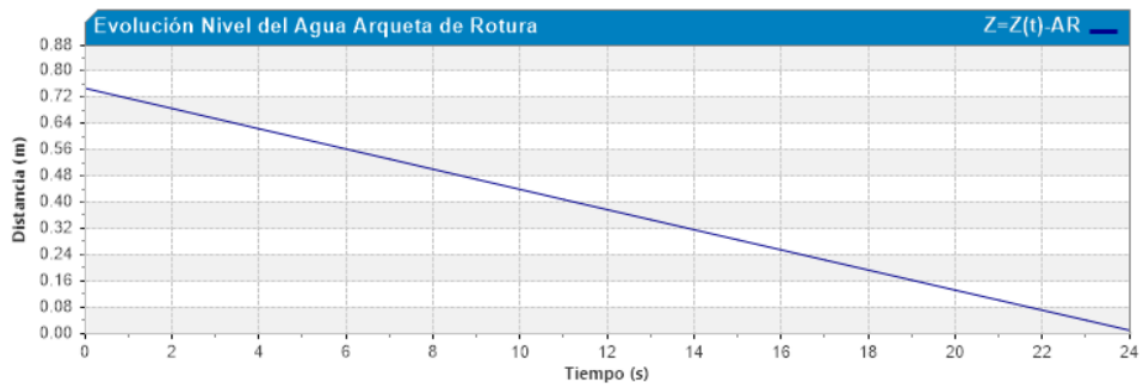
Variaciones de Caudales de Entrada/Salida y niveles en la Arqueta de Rotura y Depósito 2.

Como se evidencia en la grafica 4.3, existe una gran diferencia entre el caudal de entrada (Q_e) y salida (Q_s), donde el ($Q_e = 43.72$ l/s) y el ($Q_s = 171.62$ l/s) y recordando que la arqueta tiene dimensiones pequeñas con un volumen total de ($V_T = 7.00$ m³). La arqueta tiene un volumen inicial de ($V_o = 3.00$ m³) y se vacía en una razón de 127.90 l/s, por lo la arqueta se vaciará en

apenas 24 s. como se observa en la grafica 4.4, donde se evidencia como desciende rápidamente el nivel del agua en la arqueta hasta que finalmente se vacía en 24 s. de lo que empieza la simulación. Por lo que se puede concluir que la arqueta de rotura sirve para romper presiones en el punto más alto de la conducción, más no para regular ya que su capacidad de regular dichos caudales es casi nula.



Gráfica 4.3: Evolución de caudales de entrada y salida en la arqueta de rotura (situación 1)

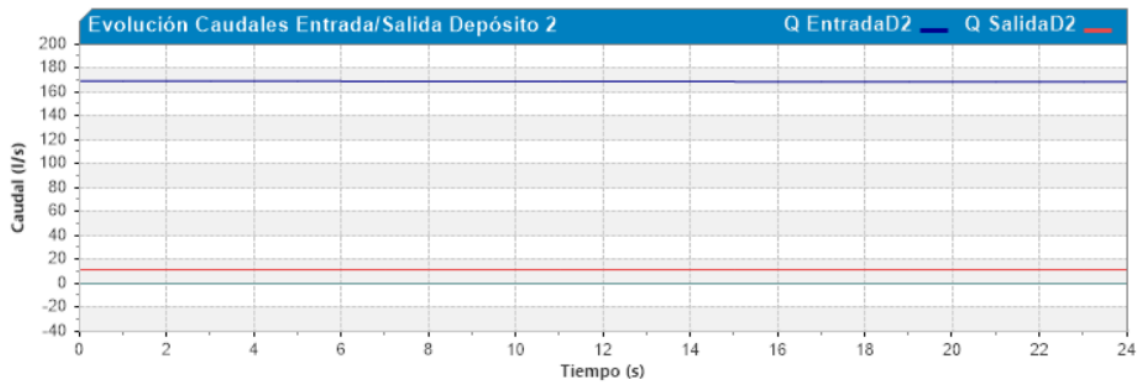


Gráfica 4.4: Evolución del nivel del agua en la arqueta de rotura (situación 1)

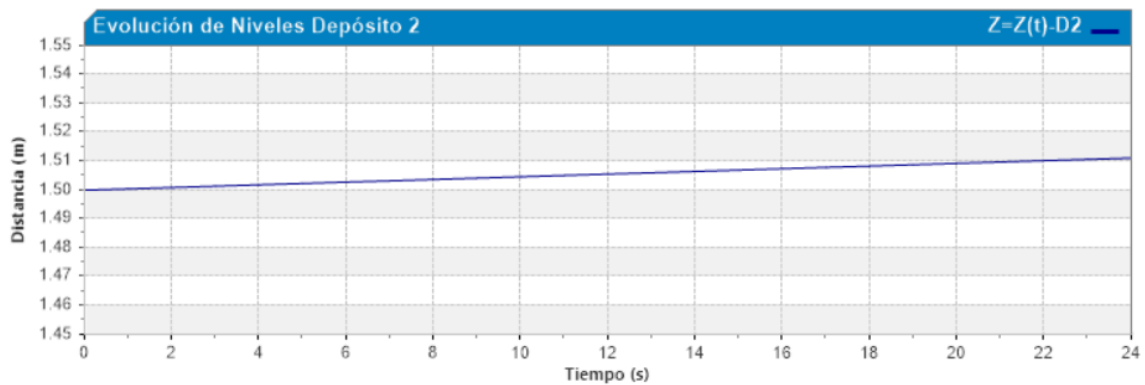
Variaciones de Caudales de Entrada/Salida y niveles en la Arqueta de Rotura y Depósito 2.

En la grafica 4.5 se visualiza el caudal de entrada en el depósito 2 que es ($Q_e = 171.62$ l/s) mientras que el caudal consumido de la urbanización 2 (caudal de salida del depósito 2) es ($Q_s = 11.77$ l/s), dando una diferencia de caudal de 159.85 l/s y por lo tanto, el depósito 2 tenderá a desbordarse en el orden de esta magnitud de caudal de 159.85 l/s.

Recordando que el volumen inicial en el depósito 2 es ($V_o = 507.69$ m³) y su volumen total es ($V_T = 1,100$ m³), el depósito se desbordará en 1h06 min o 3983.25 s. aproximadamente. Sin embargo, el programa simula el sistema hasta los 25 s. que es el instante en el que se desborda la arqueta y deja de funcionar el sistema, por lo que en la grafica 4.6 se evidencia el ascenso del nivel del depósito 2 hasta los 24 s. dando una altura máx. ($h = 1.51$ m).



Gráfica 4.5: Evolución de caudales de entrada y salida en el depósito 2 (situación 1)

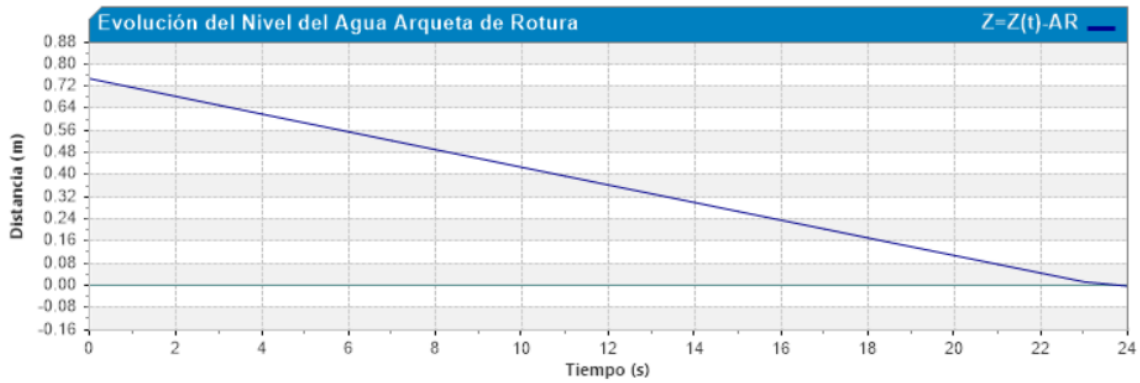


Gráfica 4.6: Evolución del nivel del agua en el depósito 2 (situación 1)

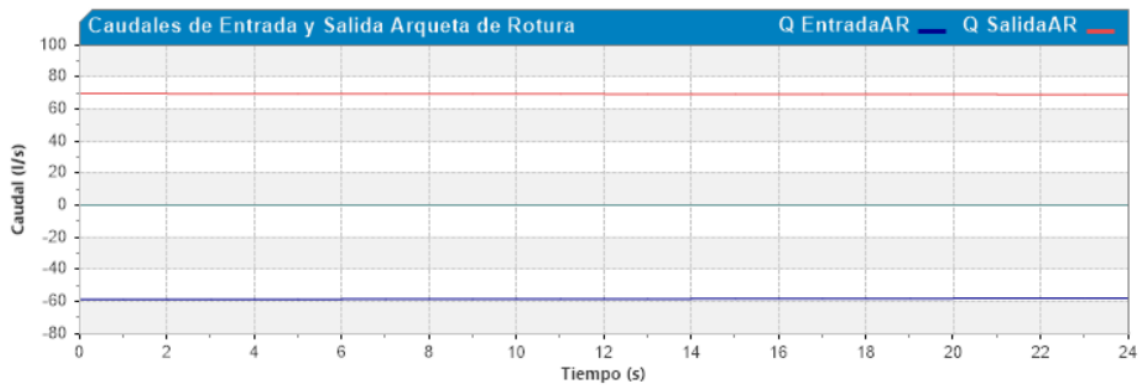
Hipótesis 2:

Planteando otra hipótesis donde la válvula del by-pass de la arqueta está 100 % abierta, el sistema seguirá presentando los mismos problemas de la hipótesis anterior (válvula cerrada en el by-pass) donde se vaciará la arqueta de rotura (obsérvese en la gráfica 4.7) y la tendencia a desbordar el agua en el depósito 2.

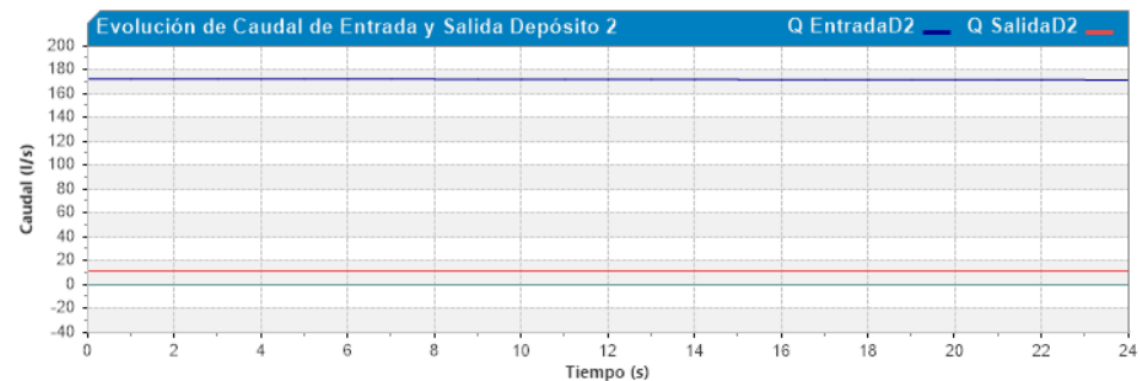
En estas condiciones el caudal que impulsa la bomba al sistema es de 44.10 l/s. En la grafica 4.8, se puede observar que el caudal de entrada en la arqueta es ($Q_e = -57.25$ l/s) y el caudal de salida ($Q_s = 71.24$ l/s). El signo negativo en el caudal de entrada representa que la arqueta está aportando caudal al sistema por su tubería de entrada. Lo cual quiere decir que el caudal impulsado por la bomba no ingresa a la arqueta y se desvía por el by-pass de la arqueta. Por lo tanto el caudal que ingresa al depósito 2 es el caudal impulsado más lo que aporta la arqueta por sus tuberías de entrada y salida dando un caudal de entrada al depósito 2 ($Q_e = 172.59$ l/s). Por otra parte, el caudal de salida inicial del depósito 2 que es el caudal que se consume en la urbanización 2 es ($Q_s = 11.77$ l/s) tal como se observa en la grafica 4.9.



Gráfica 4.7: Evolución del nivel del agua en la arqueta de rotura

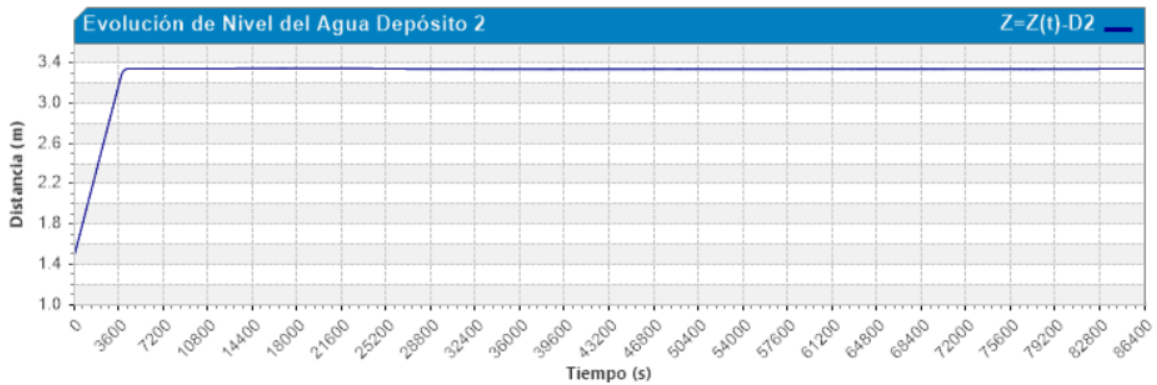


Gráfica 4.8: Evolución de caudales de entrada y salida en la arqueta de rotura (situación 1)



Gráfica 4.9: Evolución de caudales de entrada y salida en el depósito 2 (situación 1)

Dado a que el volumen inicial del depósito 2 es 507.69 m^3 y su capacidad máxima es 1100 m^3 , se puede predecir fácilmente que se terminará desbordando el depósito 2. En el programa no se logra evidenciar a lo que se vacía ya que su simulación termina cuando se vacía la arqueta de rotura. Ahora, si se supone que la arqueta tiene dimensiones infinitas se podrá evidenciar que el depósito 2 desbordará en la simulación. En la grafica 4.10 se puede evidenciar que el depósito desbordará en 1h12min o 3672 s.



Gráfica 4.10: Evolución de nivel del agua en el depósito 2 (situación 1)

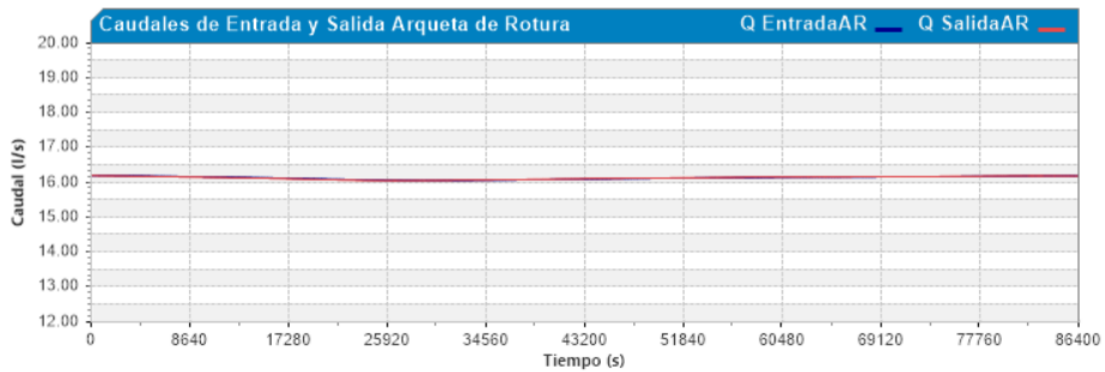
Hipótesis 3:

La única forma en que funcione el sistema sería en que el caudal impulsado a la arqueta sea prácticamente igual al caudal de salida o caudal de entrada al depósito 2 dado a que la capacidad de regulación de la arqueta es nula. Sin embargo, también hay que tomar en cuenta las demandas consumidas en la urbanización 2 a lo largo del día, dado a que si el caudal de entrada al depósito 2 es más grande que los caudales consumidos se desbordaría el depósito 2, o en su defecto si el caudal de entrada es más pequeño que los consumos este depósito se vaciaría. Por lo tanto, el caudal de entrada al depósito 2 debe ser prácticamente igual al caudal impulsado también debe ser aproximadamente igual al consumo medio de la urbanización para que funcione el sistema de conducción.

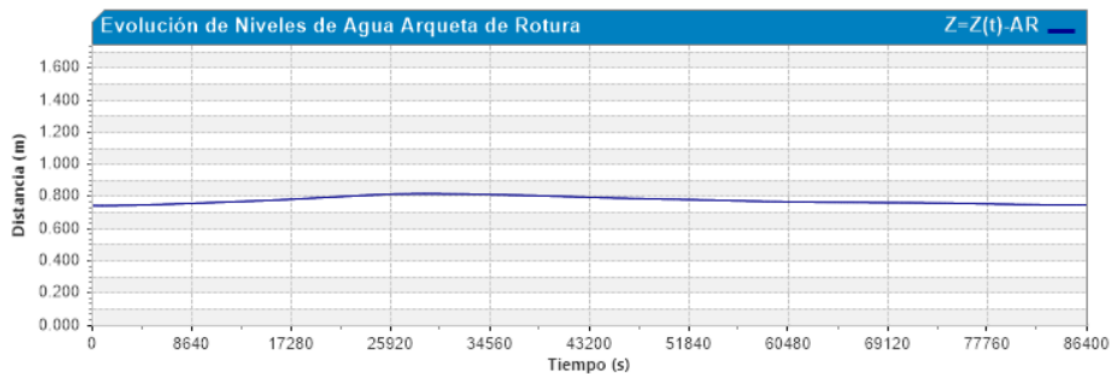
Para obtener estos caudales que cumplan las anteriores condiciones, se deberá reducir la velocidad de giro de la bomba hasta alcanzar un valor aproximado al consumo medio de la urbanización 2 y se deberá cerrar paulatinamente las válvulas a la entrada del depósito 2 para regular su caudal y obtener un caudal similar al consumo medio de la urbanización 2 ($Q_m = 16.20 \text{ l/s}$).

Mediante varias simulaciones, se determinó que la velocidad de rotación (N_{reg}) de la bomba debe ser el 82.5% de la velocidad nominal ($N_{reg} = 1212.30 \text{ rpm}$) para obtener un caudal impulsado similar al caudal medio (Q_m) de la urbanización 2. Mientras, que las válvulas a la entrada del depósito 2 deben operar de forma tal que una válvula debe estar totalmente cerrada y la otra válvula con un porcentaje de apertura ($\%GA = 14.55\%$) para limitar el caudal de entrada a un valor similar al caudal medio consumido en la urbanización 2 ($Q_m = 16.20 \text{ l/s}$).

Es así que en la gráfica 4.11 se observa que el caudal de entrada (Q_e) y caudal de salida (Q_s) de la arqueta son prácticamente iguales ($Q_e = Q_s = 16.20 \text{ l/s}$) en las 24 h de la simulación (86400 s) y por consiguiente, los niveles en la arqueta de rotura se mantienen prácticamente constantes como se visualiza en la gráfica 4.12



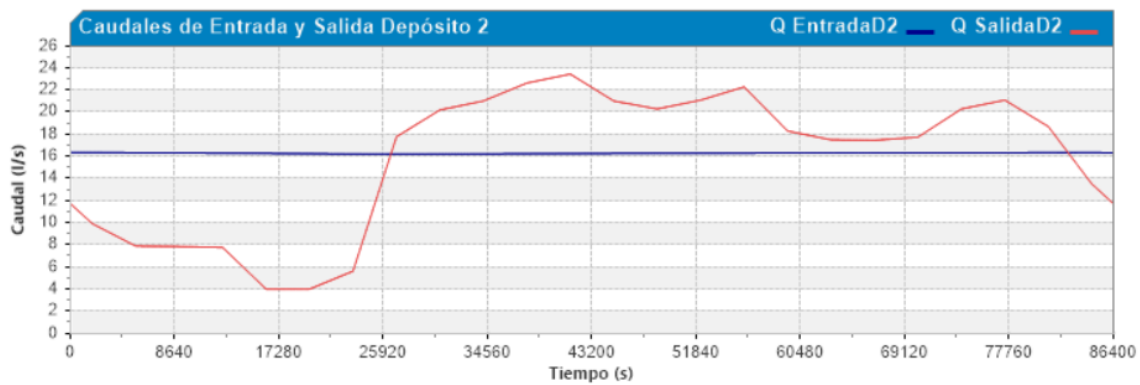
Gráfica 4.11: Evolución de caudales de entrada y salida en la arqueta de rotura (situación 1)



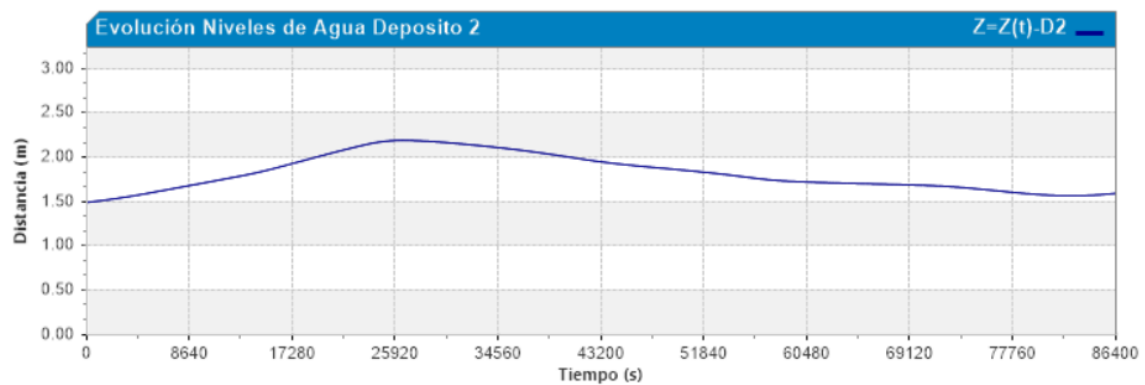
Gráfica 4.12: Evolución del nivel del agua en la arqueta de rotura (situación 1)

En las grafica 4.13 se visualiza como varía el caudal de salida del depósito 2 o caudal consumido de la urbanización 2 a lo largo de los 86400 s. o 24 horas y que el caudal de entrada es constante a lo largo de la simulación e igual al caudal medio consumido ($Q_m = Q_e = 16.20$ l/s).

Mientras que en la grafica 4.14 se observa la variación de nivel del agua en el depósito 2, donde el nivel aumenta cuando el caudal de entrada es mayor al caudal consumido y el nivel empieza a disminuir cuando el caudal de entrada es menor que el caudal consumido. El nivel de agua máximo alcanzado en el depósito es de 2.17 m que es menor a la altura máxima del depósito de 3.25 m, por lo tanto no desborda el depósito y el nivel de agua mínimo alcanzado es de 1.50 m. Como se había comentado que el caudal de entrada es igual al caudal medio consumido de la urbanización 2 se observa que el nivel inicial del depósito 2 es igual al final de la simulación 86400 s. o 24 horas, por lo que el depósito 2 está teniendo una regulación adecuada.



Gráfica 4.13: Evolución de caudales de entrada y salida en depósito 2 (situación 1 funcionando)



Gráfica 4.14: Evolución del nivel del agua en el depósito 2 (situación 1 funcionando)

Dado a que no se desborda ni se vacía la arqueta ni el depósito 2, se podría decir que el sistema con las condiciones antes mencionadas de reducir la velocidad de giro de la bomba y regular el caudal que entra al depósito 2. Sin embargo, en estas condiciones de operación del sistema se obtienen velocidades muy bajas en las conducciones, donde en las tuberías de impulsión sus velocidades son de ($v = 0.13 \text{ m/s}$) y en las tuberías a gravedad con velocidad ($v = 0.17 \text{ m/s}$) como se observa en la tabla 4.5, estas velocidades menores a 0.20 m/s como lo establece la “Guía Técnica sobre tuberías para transporte de agua a presión CEDEX”. Estas bajas velocidades pueden provocar una sensible disminución del cloro residual en el agua y además la acumulación de materia en las tuberías lo cual disminuirá la sección de las tuberías.

Descripción	Etiqueta	Q (l/s)	v (m/s)	F. Fri.	Perd F. Fric (m)	Perd. Men. (m)
Tub. Aducc. D1	Tub1	16.41	0.13	0.0220	0.00	0.00
Tub. Impulsión	Tub3.1	16.41	0.13	0.0220	0.24	0.00
Tub. Impulsión	Tub3.2	16.41	0.13	0.0220	0.13	0.00
Tub. Impulsión	Tub5.1	16.41	0.13	0.0220	0.00	0.00
Tub. Impulsión	Tub5.2	16.41	0.17	0.0215	0.00	0.00
Tub. Entrada AR	Tub5.3	16.41	0.17	0.0215	0.00	0.00
Tub. Conduc. gravedad	Tub6.1	16.41	0.17	0.0215	0.00	0.00
Tub. Conduc. gravedad	Tub6.2	16.41	0.17	0.0215	0.00	0.00
Tub. Conduc. gravedad	Tub6.3	16.41	0.17	0.0215	0.00	0.00
Tub. Conduc. gravedad	Tub7	16.41	0.17	0.0215	0.08	0.00
Tub. Conduc. gravedad	Tub9	16.41	0.17	0.0215	0.33	0.00
Tub. Conduc. gravedad	Tub10.1	16.41	0.17	0.0215	0.00	0.00

- La cota inicial de nivel de agua del depósito 2 es 212.50 m

Condiciones iniciales de los depósitos

Elemento	Z solera (m)	Zo (m)	Z cresta (m)	V (m ³)
Reservorio	99	104	104	
Arqueta Rotura	247	247.75	248.75	7.00
Deposito 2	211	212.5	214.25	1100
Depósito 3	248	250	252.50	388.88

Tabla 4.6: Condiciones iniciales de los depósitos en la situación 2

Cálculos obtenidos en la estación de bombeo

En la tabla 4.7 se puede observar que el caudal bombeado ($Q_b = 43.72$ l/s) y la altura de bombeo ($H_b = 146.27$), el punto de funcionamiento de la bomba es igual a la primera situación con un rendimiento ($\eta = 76.55\%$), pues en el tramo de impulsión no existen nuevas demandas de consumo de urbanizaciones.

Etiqueta	Q_b (l/s)	H_b (m)	Pot (Kw)	η (%)	Perd. V. Ret	Perd. V. Reg
B1	43.72	146.27	81.84	76.65	0.01	0
B2	0	0.00	0.00	0.00	0.00	Cerrada

Tabla 4.7: Resultados obtenidos de la estación de bombeo (situación 2)

Cálculos en los nudos de los elementos del sistema y conducciones

En la tabla 4.8 se observa, que en el punto más alto del perfil de la conducción (N10) con cota de 248.00 m (cota donde está ubicado el depósito 3), su presión es ($P = 0$ m), por consiguiente el caudal impulsado no podrá llegar al depósito 3. La altura de bombeo (H_b) del caudal impulsado es impuesta por la altura piezométrica por el nivel de agua en la arqueta de rotura (AR) con una altura piezométrica de ($H_{A.R.} = 247.75$ m), esta altura piezométrica es menor que la altura piezométrica del nivel de agua en el depósito 3 ($H_{D3} = 250$ m), dado a esta diferencias de alturas piezométricas, el caudal impulsado no podrá llegara al depósito 3.

En el caso supuesto que el nivel de agua de la arqueta tenga su nivel máximo ($h_{\text{máx}} = 1.75$ m) es decir una altura piezométrica ($H = 248.75$ m), por diferencia de alturas piezométricas el nivel máximo que podría alcanzar el depósito 3 sería ($h_{\text{máx}} = 0.75$ m) y por lo tanto la impulsión podría alimentar al depósito 3. Sin embargo, estas condiciones no se pueden dar dado que la arqueta de rotura se vaciará rápidamente debido a que su caudal de entrada es muy pequeño en relación a su caudal de salida a lo largo de la simulación como se explicó en el anterior subcapítulo.

Descripción	Etiqueta	H (m)	P (m)
Ni Reservorio	N1	104.00	5.00
Nf Reservorio	N1_fin	104.00	5.00
Nf Bomba 1	N8	250.03	151.03
Nf Calderin	N47	250.03	151.03
Ni Arq. Rot.	N38	247.75	0.75
Ni Deposito 3	N14	250.00	2.00
Ni Entr. Deposito 3	N10	248.00	0.00

Descripción	Etiqueta	H (m)	P (m)
Ni Deposito 2	N21	212.50	1.50

Tabla 4.8: Resultado de presiones en los nudos de los elementos principales del sistema (situación 2)

Cálculos hidráulicos en las conducciones del sistema

En la tabla 4.9 se visualiza como el caudal impulsado ingresa en su totalidad a la arqueta de rotura dejando un caudal nulo de entrada en el depósito 3 por razones antes comentadas. Por otra parte se visualiza que el caudal de salida de la arqueta es 171.62 l/s el cual es mucho mayor al caudal de entrada de la arqueta lo que ocasionará que dicha arqueta se vaciará rápidamente. Además parte del caudal de salida se divide entre los consumos de la urbanización 4 y depósito 2 donde su caudal de entrada inicial es 169.09 l/s.

La velocidad de flujo en la tubería de impulsión es 0.35 m/s, valor que es mayor al mínimo recomendado, sin embargo esta velocidad está próximo al límite mínimo donde la velocidad mínima debe ser de 0.20 m/s como lo establece la “Guía Técnica sobre tuberías para transporte de agua a presión CEDEX” por lo que se podría considerar que dichas conducciones están ligeramente sobredimensionadas. Por otra parte, las conducciones a gravedad tienen valores de velocidad ($v = 1.78$ m/s), donde la velocidad máxima que establece la guía técnica es 2.50 m/s, a pesar de que se cumple con la velocidad máxima establecida, se puede decir que esta conducción no fue dimensionada adecuadamente, pues para su diámetro de 350 mm circula un caudal demasiado grande acorde a las necesidades del depósito 2 y la urbanización 2. Sin embargo, ante la posibilidad en un horizonte futuro donde pueda aumentar el consumo por el crecimiento poblacional la conducción a gravedad podría estar bien dimensionada para unas condiciones futuras.

Descripción	Etiqueta	Q (l/s)	v (m/s)	F. Fri.	Perd F. Fric (m)	Perd. Men. (m)
Tub. Aducc. D1	Tub1	43.72	0.35	0.01856	0.00	0.00
Tub. Impulsión	Tub2	43.72	0.35	0.01856	0.00	0.00
Tub. Impulsión	Tub3.1	43.72	0.35	0.01856	1.44	0.00
Tub. Impulsión	Tub3.2	43.72	0.33	0.01873	0.69	0.00
Tub. Entrada D3	Tub4.1	-0.16	0.00	---	0.00	0.00
Tub. Entrada D3	Tub4.2	-0.16	-0.02	0.03408	0.00	0.00
Tub. Entrada D3	Tub4.3	-0.16	0.00	---	0.00	0.00
Tub. Entrada DU3	Tub4.4	2.52	0.5	0.02595	0.04	0.00
Tub. Entrada AR	Tub5.1	43.72	0.33	0.01872	0.02	0.00
Tub. Entrada AR	Tub5.2	43.72	0.43	0.01856	0.01	0.00
Tub. Entrada AR	Tub5.3	43.72	0.43	0.01856	0.00	0.00
Tub. Conduc. gravedad	Tub6.1	171.62	1.78	0.01612	0.04	0.00
Tub. Conduc. gravedad	Tub6.2	171.62	1.78	0.01612	0.10	0.00
Tub. Conduc. gravedad	Tub6.3	171.62	1.78	0.01612	0.04	0.00
Tub. Conduc. gravedad	Tub7	171.62	1.78	0.01612	6.72	0.00
Tub. Entrada DU4	Tub8.1	2.52	0.14	0.02755	0.00	0.00
Tub. Entrada DU4	Tub8.2	2.52	0.14	0.02755	0.00	0.00
Tub. Entrada DU4	Tub8.3	2.52	0.14	0.02755	0.00	0.00
Tub. Conduc. gravedad	Tub9	169.09	1.76	0.01613	26.44	0.00
Tub. Conduc. gravedad	Tub10.1	169.09	1.76	0.01613	0.07	0.00
Tub. Conduc. gravedad	Tub10.2	169.09	1.76	0.01613	0.07	0.00

Descripción	Etiqueta	Q (l/s)	v (m/s)	F. Fri.	Perd F. Fric (m)	Perd. Men. (m)
Tub. Entrada DU2	Tub10.3	11.77	0.67	0.02135	0.03	0.00

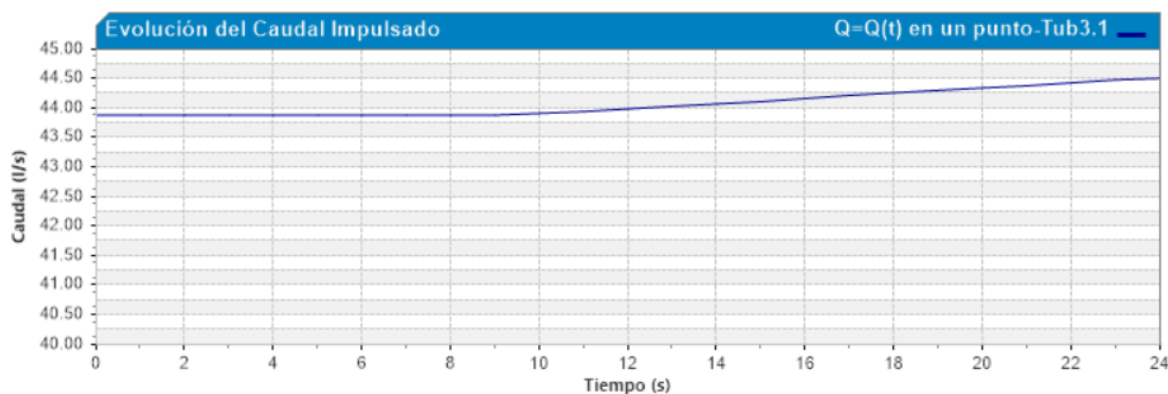
Tabla 4.9: Resultados de variables hidráulicas en las conducciones (situación 2)

4.2.2 Simulación del modelo en régimen de periodo extendido

Se procede a modelar el sistema en régimen extendido de 24 horas (86400 s), para determinar cómo evolucionan los caudales de entrada y salida de los depósitos, así como también la evolución de sus niveles, recordando que en el modelo se ingresó las curvas de modulación de los consumos en las urbanizaciones que representan como varían los consumos en cada hora del día.

Evolución del Caudal Impulsado

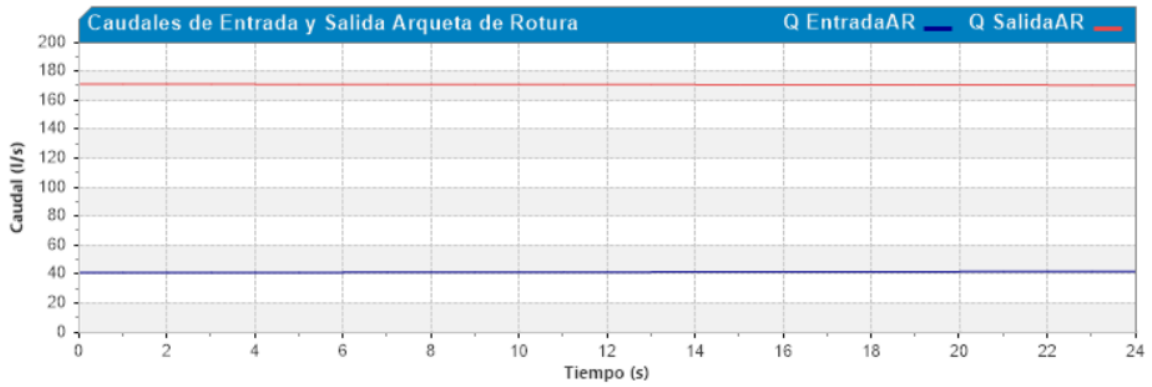
El caudal impulsado tiene un leve aumento del caudal bombeado y cuando el calderín aporta agua al sistema, debido a que el nivel de agua de la arqueta disminuye y por ende su altura piezométrica también. Por lo tanto a menor altura piezométrica mayor será el caudal impulsado, este aumento de caudal se produce en el instante cuando la propagación de ondas de presión llega al nudo inicial de la impulsión. En la simulación solo se puede observar la variación del caudal impulsado hasta el instante en el que se vacíe la arqueta de rotura, dado que en ese instante el programa parará la simulación, como se puede visualizar en la grafica 4.15.



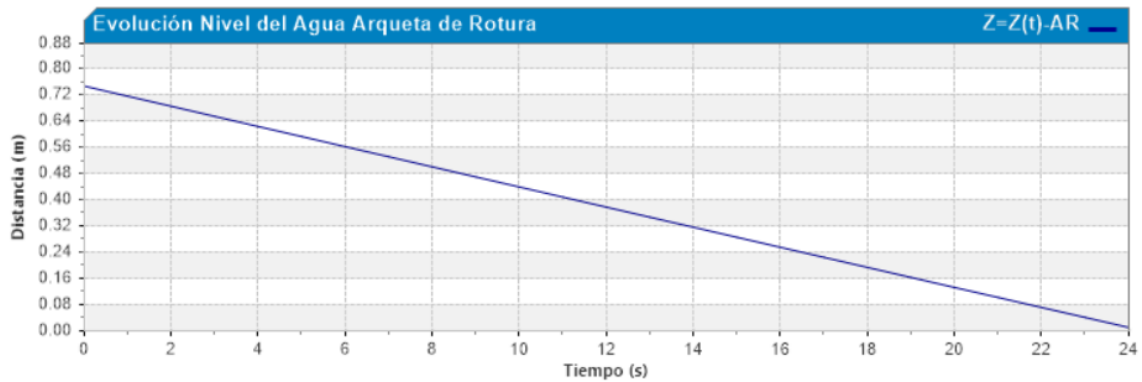
Gráfica 4.15: Evolución del caudal impulsado en la situación 2

Caudal de Entrada y Salida y Evolución de Niveles en la Arqueta de Rotura

En la gráfica 4.16 se visualiza, que caudal de entrada en la arqueta a lo largo de la simulación está en el orden de ($Q_e = 43.72$ l/s) y su caudal de salida en el orden de ($Q_s = 171.62$ l/s), dando una diferencia de caudal de 127.90 l/s, por lo que la arqueta se vacía en el orden de esta magnitud. Tomando en cuenta que el volumen inicial de la arqueta es ($V_0 = 3.00$ m³), la arqueta se vaciará a los 24 s de lo que empezó la simulación, como se evidencia en la gráfica 4.17.



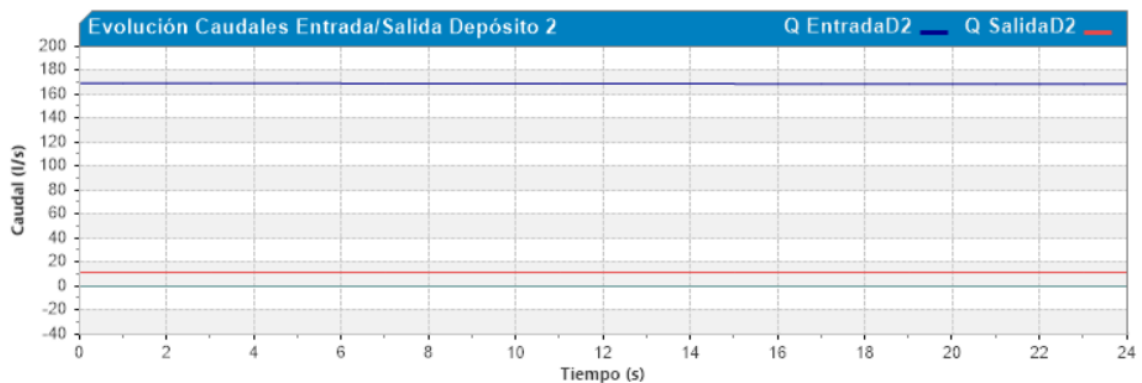
Gráfica 4.16: Evolución de caudales de entrada y salida en la arqueta de rotura (situación 2)



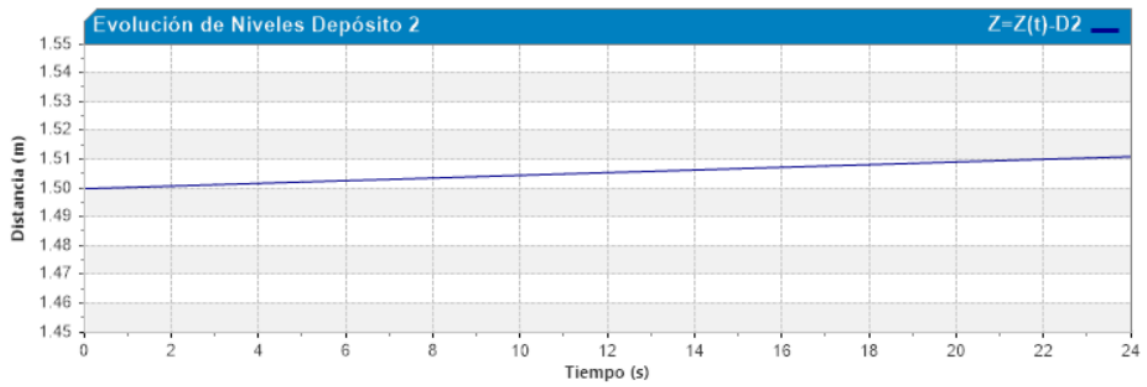
Gráfica 4.17: Evolución del nivel del agua en la arqueta de rotura (situación 2)

Caudal de Entrada y Salida y Evolución de Niveles en el depósito 2

Como se observa en la gráfica 4.18, el caudal de entrada en el depósito 2 a lo largo de la simulación está en el orden de ($Q_e = 169.09$ l/s) mientras que el caudal consumido de la urbanización 2 (caudal de salida del depósito) está en el orden de ($Q_s = 11.77$ l/s), dando una diferencia de caudal de 157.32 l/s, por lo que el depósito 2 se vacía en el orden de esta magnitud. Tomando en cuenta que el volumen inicial en el depósito 2 es ($V_o = 507.69$ m³) y su volumen total es ($V_T = 1,100$ m³), el depósito se desbordará alrededor en 1h2min o 3728.73 s. Sin embargo, el programa simuló hasta los 24 s. que es el instante en el que se desbordo el primer depósito que en este caso es la arqueta de rotura, por lo que en la grafica 4.19 se evidencia el ascenso del nivel del depósito 2 hasta los 24 s dando una altura máx ($h = 1.51$ m).



Gráfica 4.18: Evolución de caudales de entrada y salida en el depósito 2 (situación 2)



Gráfica 4.19: Evolución del nivel del agua en el depósito 2 (situación 2)

Una vez evidenciado que el sistema en la situación 2 se vacía la arqueta de rotura y se desborda el depósito 2, se puede concluir que el sistema actualmente como está construido no podrá tener un correcto funcionamiento, por lo que en el siguiente capítulo se propondrá distintas mejoras al sistema actual para que tenga un correcto funcionamiento con las nuevas demandas requeridas.

5 Capítulo 5. Propuesta de Mejoras a la Conducción

Una vez evaluado la instalación del sistema de conducción con las nuevas demandas requeridas se determinaron los problemas existentes en el funcionamiento del sistema ya explicados en detalle en el capítulo anterior, donde se destaca el vaciado de la arqueta de rotura y el desbordamiento en el depósito 2.

Es por esto que en este capítulo abordará las distintas propuestas planteadas para la solución de los problemas antes mencionados en la conducción. Se plantearon tres distintas propuesta de mejoras las cuales se detallarán más adelante.

En forma general las tres propuestas se basan en hacer funcionar los depósitos como de regulación, donde el principal objetivo es poder regular los caudales de entrada versus los caudales de salida, estableciendo niveles máximos y mínimos en los depósitos para de tal manera evitar el vaciado y desbordamiento de los mismos.

Para entender mejor las propuestas que se plantearán, a continuación se explicará el concepto y en qué consiste la regulación para depósitos intermedios.

Regulación en Depósitos Intermedios

La instalación típica de un depósito intermedio consiste en que dicho depósito recibe agua desde una estación de bombeo y a partir del depósito abastecerá una cierta demanda ya sea a otro depósito o directamente a los consumos producidos en una urbanización, como es el caso del estudio de esta instalación.

La función principal de un depósito intermedio es mantener siempre llena la conducción a gravedad, por lo tanto el depósito intermedio nunca podrá estar vacío y tampoco que se desborde. Es por eso que los depósitos deberán regularizar el volumen de agua de acuerdo a los caudales de entrada y salida y estableciendo niveles máximos y mínimos en el depósito.

La regulación de un depósito intermedio consiste en que cuando el nivel de agua llegue a un nivel máximo de referencia en el depósito, la válvula a la entrada se cerrará y hará que la bomba pare por alguna señal eléctrica, para que no trabajen en caudal nulo y cuando el nivel de agua en el depósito este llegando a un nivel mínimo de referencia la válvula a la entrada se abrirá y arrancará la bomba para impulsar el caudal. (Fuertes et al. 2009)

Estos depósitos deberán regularizar un volumen de agua correspondiente a la mayor diferencia entre el caudal de entrada y de salida. Es decir deberán tener al menos la capacidad necesaria para el funcionamiento normal sin que llegue a vaciarse o desbordarse. Para lo cual se debe evaluar la mayor diferencia entre caudales de entrada y salida multiplicando por la duración del periodo de estas diferencias de caudales.

Otra función de los depósitos intermedios es romper las presiones de carga cuando exista un desnivel excesivo en el perfil de la conducción, a la entrada de estos depósitos se disipa parte de la energía del flujo y la energía restante se transforma en energía potencial con una nueva cota de partida en el tramo restante de la conducción. También estos depósitos son instalados

para evitar depresiones cuando la altura geométrica a salvar en el perfil de la conducción es excesiva para alimentar a otra demanda, donde estos depósitos son instalados en la cota más alta del perfil, de esta manera se impulsa agua a este depósito y desde este depósito por gravedad alimenta a las demás demandas. En un principio los depósitos para estas finalidades no necesitan tener grandes dimensiones pues su función principal es romper presiones o evitar depresiones en puntos altos, como es el caso de la arqueta instalada en el sistema estudiado. Sin embargo, su funcionamiento no es el adecuado debido a un dimensionamiento no adecuado del sistema y demandas no previstas, razones ya explicadas en el capítulo 4.

5.1 Propuesta 1: Nuevo Depósito y válvulas de llenado en los depósitos

Esta propuesta consiste en eliminar la arqueta de rotura y sustituir con un depósito de regulación con un volumen suficiente para regular los caudales de entrada y salida. Hay que recordar que la arqueta existente tiene una capacidad nula para regular caudales, por lo que se propone la construcción de este nuevo depósito, para el estudio de esta alternativa se le denominará al depósito propuesto como depósito 4. Adicionalmente, se propone la instalación de un panel de control para mandar a las válvulas a la entrada de los depósitos a cerrar cuando los depósitos están próximos a llenarse o abrir las válvulas cuando los depósitos estén cercanos a vaciarse, para esto también se requiere la instalación de sensor de niveles en los depósitos para que estos manden la señal al panel de control. Igualmente, la estación de bombeo será controlado para parar la bomba cuando la válvula se cierre y arrancar la bomba cuando se abra la válvula.

En la siguiente figura 5.1 se puede visualizar el esquema del sistema de conducción con las válvulas de llenado propuestas a la entrada de los depósitos.

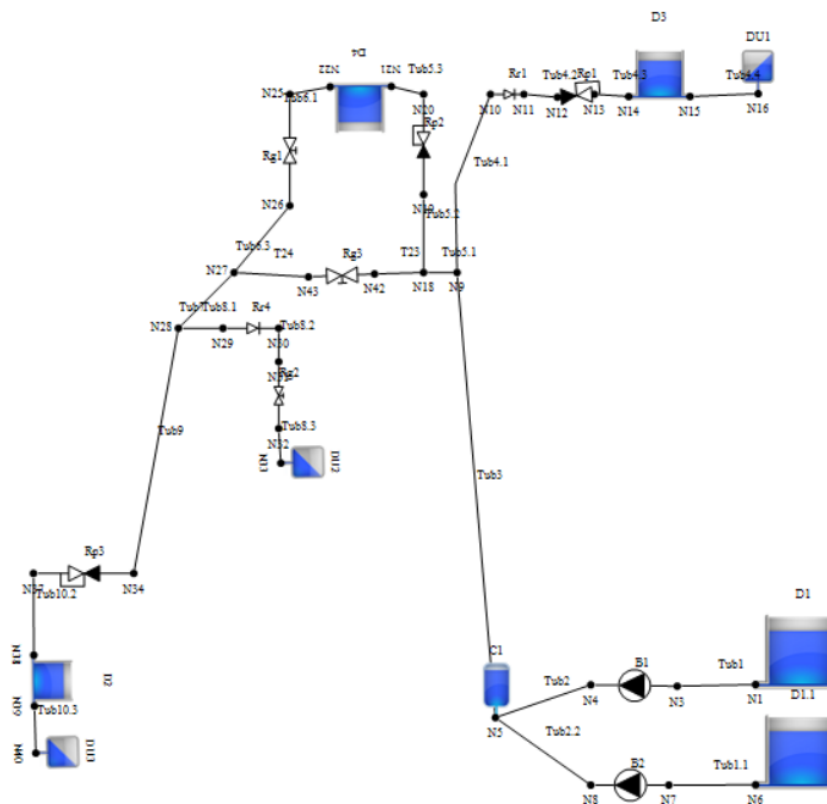


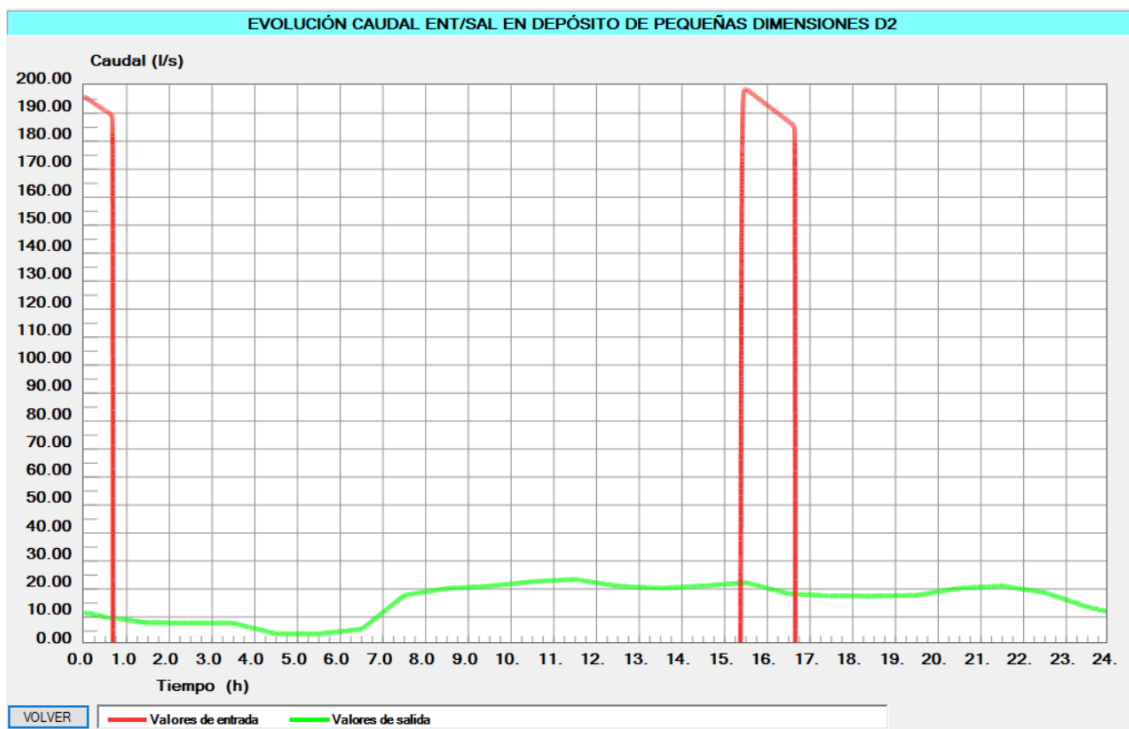
Figura 5.1: Esquema del sistema de conducción con la propuesta 1

5.1.1 Diseño del Nuevo Depósito

La función de este nuevo depósito 4 propuesto es en mantener siempre a presión la conducción a gravedad, para lo cual el depósito nunca deberá vaciarse. La capacidad de volumen deberá corresponder al periodo más desfavorable entre las diferencias de su caudal de entrada y su caudal de salida de tal manera que el depósito no se vacíe o desborde. En este caso de estudio será la capacidad suficiente para que no se vacíe el depósito, recordando que el caudal de salida era siempre mayor al caudal de entrada, lo que ocasionaba que se vacíe la arqueta por su escasa capacidad de regulación.

Para el dimensionamiento de este depósito 4, estará regido por la evolución de caudales que entran al depósito aguas abajo (depósito 2). Los caudales de entrada y salida del depósito 2 estarán regulados con la abertura y cerrada de su válvula de llenado de tal manera que no se desborde ni se vacíe, estableciendo que el nivel de máximo de este depósito será 2.75 m dejando 0.5 m debajo de altura máxima de este depósito para resguardo de seguridad, el nivel mínimo será 0.50 m igualmente por resguardo de seguridad. De esta forma la válvula de llenado se cerrará cuando se alcance el nivel máximo, mientras que cuando alcance su nivel mínimo se abrirá.

En la gráfica 5.1 se observará la regulación de los caudales de entrada y salida del depósito 2, donde la línea roja representa la evolución del caudal de entrada mientras que la línea verde representa la evolución del caudal de salida.



Gráfica 5.1: Evolución de caudales de entrada y salida del depósito 2

Para el dimensionado del nuevo depósito se evaluará la situación más desfavorable, la cual corresponde al mayor periodo cuando entra caudal al depósito 2 es decir el caudal de salida del depósito nuevo y asumiendo que durante ese periodo no entra agua al nuevo depósito. La multiplicación entre ese periodo y el caudal de salida del depósito nuevo, dará la capacidad teórica necesaria para el depósito.

En la anterior gráfica 5.1 se puede observar que el mayor periodo donde ingresa agua al depósito 2 ocurre desde las 15h15min hasta las 16h45min siendo un periodo total de 1h30min o 5400 s y el caudal que entra al depósito 2 varía en ese periodo entre 198.47 l/s y 186.00 l/s dando un caudal promedio de 192.24 l/s. Por lo tanto multiplicando el periodo 5400 s y el caudal de entrada medio correspondiente ($Q_{em} = 192.24$ l/s) se obtendrá volumen de regulación del nuevo depósito. A esto se sumará 0.5 m de resguardo de nivel máximo y 0.5 m de resguardo de nivel mínimo para obtener el volumen total del depósito.

Para la altura del depósito se estableció una altura igual al depósito 3 de 4.5 m, recordando que la cota del depósito 3 está un metro más elevado de la cota del nuevo depósito, por lo tanto, por diferencia de alturas piezométricas, la altura piezométrica correspondiente a la entrada del depósito 3 no podrá ser menor que la altura piezométrica a la entrada del depósito nuevo para que el caudal impulsado alimente a los depósitos.

En la tabla 5.1 se puede observar los cálculos para el dimensionamiento del nuevo depósito, donde se destaca que el volumen de regulación calculado es ($V. Reg = 1038.07$ m³), el diámetro del depósito será ($\Phi = 20$ m) dando una sección de 314.16 m² y el volumen total será de ($V_T = 1413.72$ m³).

<i>Hora</i>	<i>Qe (l/s)</i>	<i>Qs (l/s)</i>	<i>Δ t (s)</i>	<i>Qm (l/s)</i>	<i>ΔVol. Reg (lt)</i>	<i>ΔVol. Reg (m3)</i>
15.25	198.47	0				
			5400	192.24	1038096	1038.09
16.75	186	0				
<i>H máx</i>	4.5 m					
<i>H. resg máx</i>	0.5 m					
<i>H. resg mín.</i>	0.5 m					
<i>H. Útil</i>	3.5 m					
<i>Área cálculo</i>	29659 m ²					
<i>Φ Depósito Teórico</i>	19.43 m					
<i>Φ Depósito</i>	20.00 m					
<i>Area</i>	314.16 m ²					
<i>Volumen Total</i>	1413.72 m ³					

Tabla 5.1: Dimensionamiento del nuevo depósito

5.1.2 Control en las válvulas de llenado para los Depósitos 4, 3 y 2.

Recordando los problemas identificados en el sistema, expuestos en el capítulo 4, donde el depósito 3 tendía a desbordarse debido al excesivo caudal que alimentaba dicho depósito comparado con el caudal de salida o consumos de la urbanización 2. Además la excesiva diferencia entre caudal impulsado por el sistema de bombeo y el caudal de salida de la arqueta que ahora sería del nuevo depósito y también el caudal inyectado al depósito 3 con los consumos de la urbanización 3. Se ha planteado la implementación de motores eléctricos en cada una de las válvulas a la entrada de los depósitos que serán controladas mediante un panel de control para realizar maniobras de abertura y cierre en las válvulas de acuerdo a los niveles fijados en los depósitos a través de sensores de nivel. De esta manera, cuando se alcance el nivel máximo en un depósito se cerrará su válvula de llenado y se abrirá la válvula cuando el nivel descienda al mínimo.

El nivel máximo fijado en los depósitos será 0.5 m menos que la altura máxima de los depósitos dejando esta diferencia como resguardo de seguridad al desbordamiento. Mientras que el nivel mínimo fijado será 0.5 m más alto que el fondo del depósito igualmente esta altura se dejará como resguardo de seguridad. Los resguardos de seguridad se dejan en los depósitos debido a que las válvulas no cerrarán ni abrirán inmediatamente sino que será con tiempo programado y en el transcurso del cierre o apertura de la válvula, los niveles aumentarán o disminuirán ligeramente con respecto al nivel máximo y mínimo respectivamente.

La programación para la regulación de los depósitos funcionará de la siguiente manera: Los depósitos se estarán llenando hasta llegar a 0.5 m antes de la altura máxima del depósito (nivel máximo), cuando se esté llegando a dicho nivel el sensor de nivel en el depósito mandará la señal análoga al panel de control para que el panel ordene al motor eléctrico de la válvula a cerrarse, por consiguiente, el nivel del agua del depósito irá bajando paulatinamente y cuando el nivel esté próximo a una altura de 0.5 m antes del fondo del depósito (nivel mínimo), el sensor de nivel mandará la señal al motor eléctrico de la válvula de llenado para que este se abra e ingrese agua al depósito aumentando de esta manera el nivel del depósito hasta llegar a su nivel máximo y se seguirá repitiendo el proceso.

En la siguiente tabla 5.2 se visualiza los datos principales de los depósitos ingresados al programa en donde se destaca la cota de solera, la cota inicial del nivel del agua, la sección y la cota máxima de los depósitos.

Dep	Denominación	Tipo de depósito	Entrada	Salida	Entrada	Salida	Z vble en rég. perm.	Long (m)	Z cresta (m)	Tipo de pared	Coef Q (0 - 0.85)	Dep. para descarga del aliviadero
1	D1	De grandes dimensiones	104				<input type="checkbox"/>					
2	D1.1	De grandes dimensiones	104				<input type="checkbox"/>					
3	D3	De pequeñas dimensiones	250		388.88		<input type="checkbox"/>	No	2	252.5	Delgada	.8
4	D4	De pequeñas dimensiones	250		314.16		<input type="checkbox"/>	No	2	251.5	Delgada	.8
5	D2	De pequeñas dimensiones	212.5		338.46		<input type="checkbox"/>	No	2	214.25	Delgada	.8

Tabla 5.2: Datos principales de los depósitos en el sistema

Los niveles máximos y mínimos de cotas en los depósitos para la maniobra de las válvulas, quedan ingresados en el programa Allievi de la siguiente forma como se observa en la tabla 5.3.

Estructura	Ramal	Núm puntos	Punto	Cota (m)	Apertura (%)
Rp1	1	2	2	252	0
Rp1	1	2	1	248.5	100
Rp2	1	2	2	251	0
Rp2	1	2	1	247.5	100
Rp3	1	2	2	213.75	0
Rp3	1	2	1	211.5	100

Tabla 5.3: Niveles máximos y mínimos para la apertura y cierre de las válvulas de llenado

El tiempo de cierre en las válvulas de llenado de los depósitos no podrá ser de manera inmediata, pues esta maniobra brusca en las válvulas provocará efectos indeseados en la instalación del sistema como el golpe de ariete generando sobrepresiones y depresiones excesivas en el extremo de la conducción, debido a este problema que se puede presentar en la instalación el tiempo de cierre o abertura de las válvulas de llenado serán programados de tal manera que el tiempo de maniobra en la válvula sea lo suficientemente lento para contrarrestar los efectos negativos producidos en el transitorio o golpe de ariete. En este estudio del sistema se estimó un tiempo de cierre o abertura de 120 s. Este tiempo de cierre se comprobará posteriormente si produce efectos negativos al sistema en el análisis de transitorios.

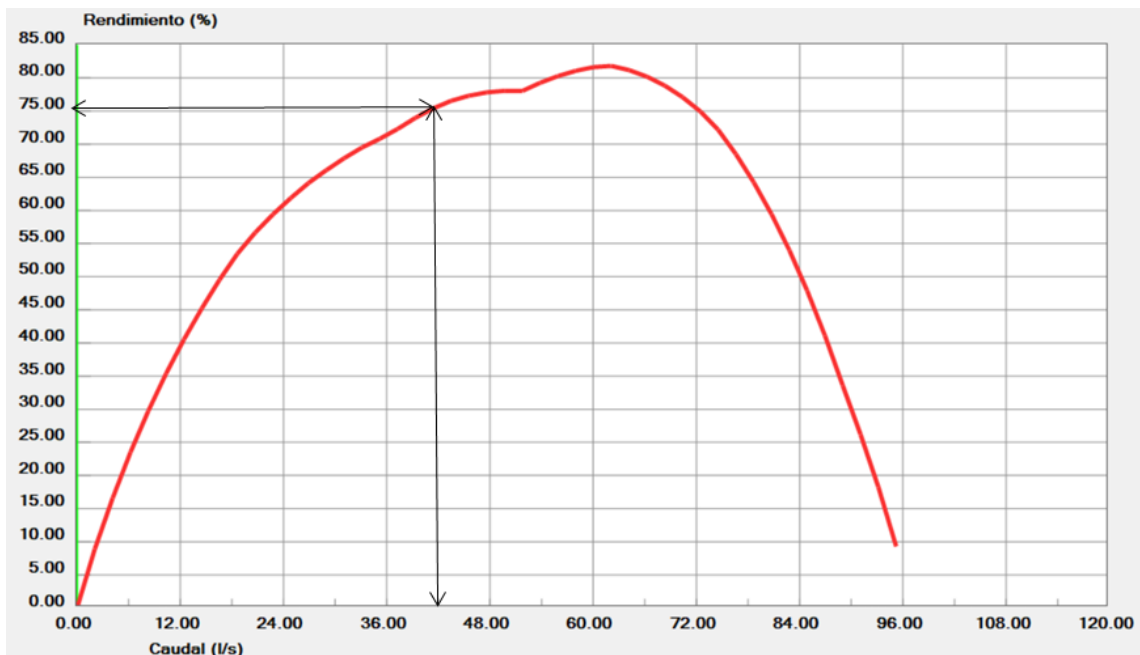
Una vez establecido los tiempos de maniobra se ingresarán al programa dichos tiempos a cada una de las válvulas de los depósitos, quedando así la siguiente tabla 5.4, donde se puede visualizar a continuación.

Denominación	Ramal	Depósito a llenar	Zona a llenar	Sentido de funcionamiento	Tiempo (s) maniobra
Rp3	1	D2		Ascendente	120
Rp2	1	D4		Ascendente	120
Rp1	1	D3		Ascendente	120

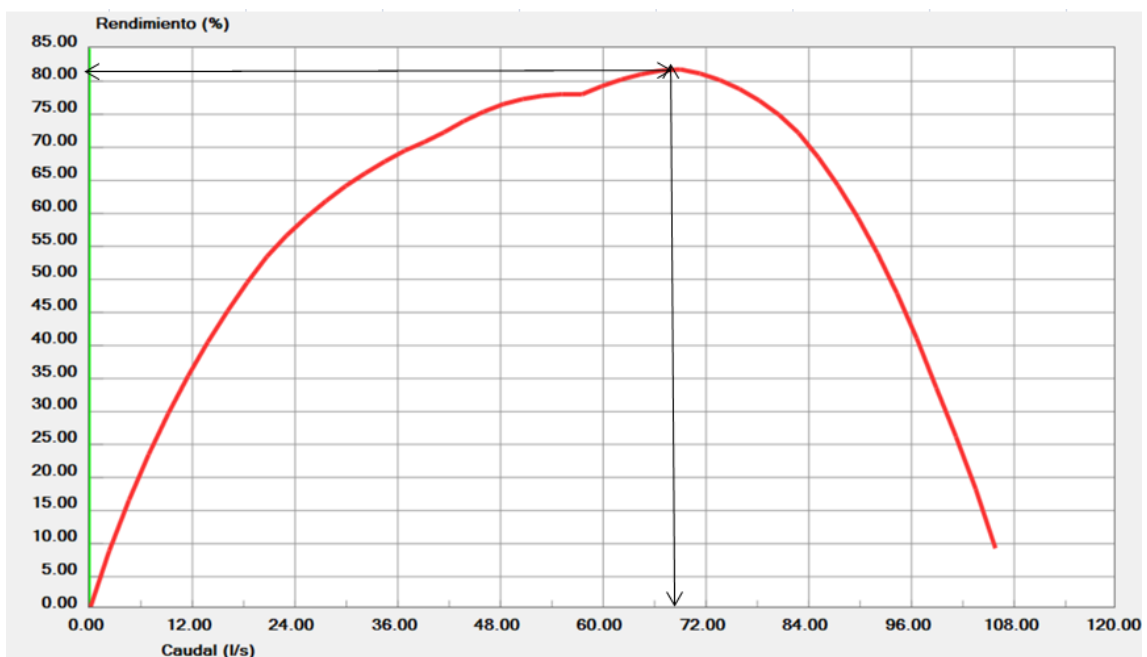
Tabla 5.4: Datos de tiempo de maniobra en las válvulas de llenado de los depósitos

5.1.3 Estación de bombeo

En esta alternativa de mejoras al sistema actual, también se ha decidido cambiar la velocidad de rotación de la bomba con respecto a lo que estaba en la situación inicial, es así que la velocidad de rotación de la bomba se aumentó del 90% al 100 % de la velocidad nominal, siendo la velocidad de rotación nominal de 1470 rpm. Este cambio de la velocidad de rotación se debe a que se obtiene un mejor rendimiento en el punto de funcionamiento de la bomba con respecto a lo que estaba inicialmente la bomba. En las siguientes gráficas 5.3 y 5.4 se observa las curvas de rendimiento de la bomba que se las obtiene aplicando la formulación de curvas universales de Suter de acuerdo al punto óptimo de funcionamiento. Donde se constata que el rendimiento de la bomba mejora cuando la velocidad de rotación aumenta del 90% al 100 % de su velocidad nominal. Donde el rendimiento aumenta de un 75.83 % a un 81.84 %. Esto también genera un mayor caudal bombeado como se observa en las gráficas 5.2 y 5.3.

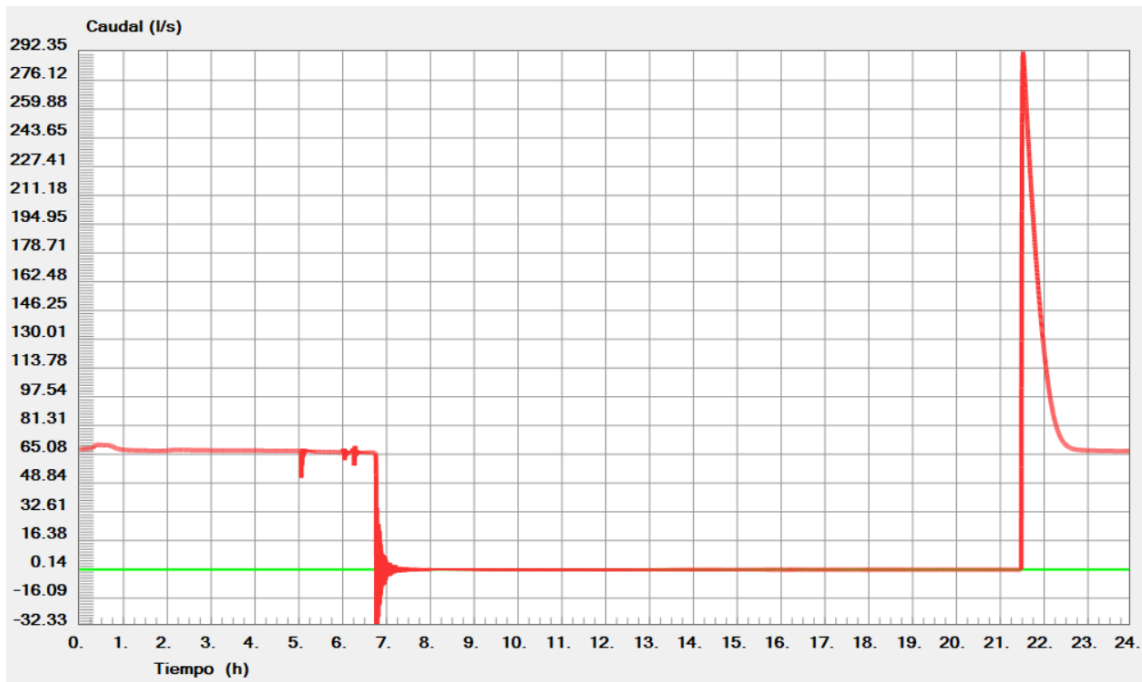


Gráfica 5.2: Curva de rendimiento de la bomba (V. Rotación: 1323 rpm)



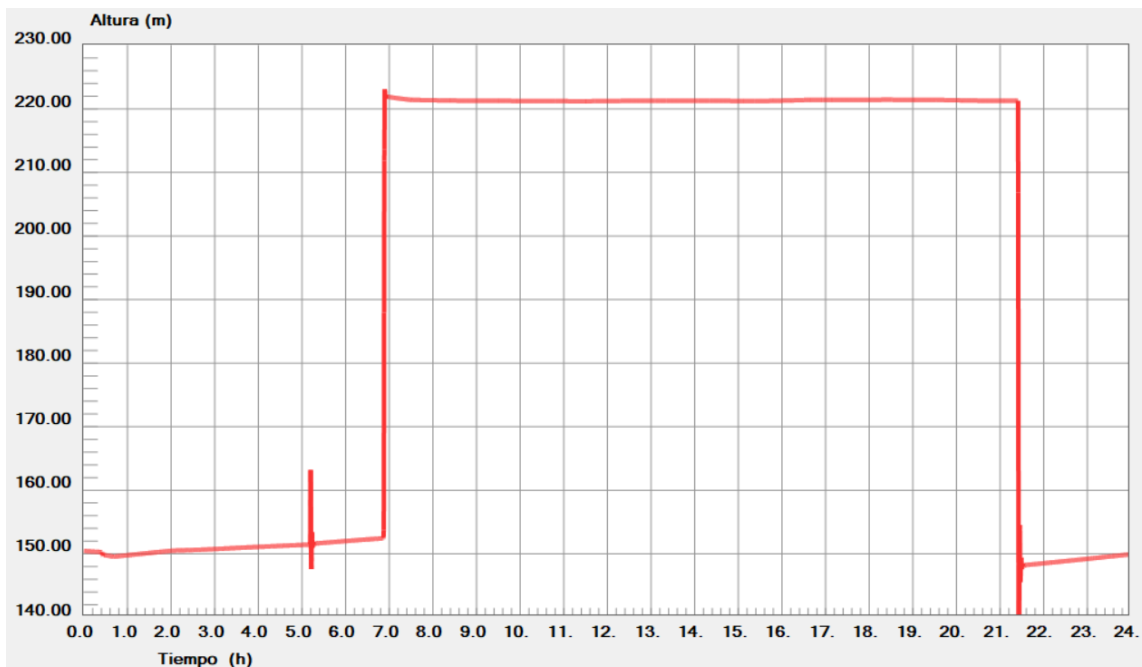
Gráfica 5.3: Curva de rendimiento de la bomba (V. Rotación: 1470 rpm)

El caudal bombeado variará de acuerdo cuando se cierran o se abren las válvulas en los depósitos. En la siguiente gráfica 5.4 se muestra la evolución del caudal impulsado por la estación de bombeo en las 24 horas de la simulación. La bomba empezará inyectando un caudal de 68.00 l/s, seguirá bajando levemente de acuerdo al cambio de niveles en los depósitos, en el lapso de tiempo de cierre de la primera válvula de uno de los depósitos se produce unas oscilaciones de caudal hasta estabilizarse el caudal. Cuando se produce el cierre de las dos válvulas de los depósitos igualmente se producirá unas oscilaciones de caudal hasta estabilizarse y el caudal impulsado es nulo, mientras que cuando se produce la abertura de una de las válvulas de los depósitos se producirá nuevamente oscilaciones de caudal hasta estabilizarse el caudal bombeado inicial.



Gráfica 5.4: Evolución del caudal impulsado por la estación de bombeo

En la gráfica 5.5 se observa que la altura de bombeo que proporciona la bomba es de 150.40 m pero cuando el caudal impulsado es nulo, la altura de bombeo asciende al máximo donde la altura de bombeo es de 222.00 m. Sin embargo, esta altura de bombeo máxima se la pudiera evitar haciendo parar la estación de bombeo durante el tiempo que las válvulas de llenado estén cerradas como se explicará más adelante de este capítulo.



Gráfica 5.5: Evolución de la altura de bombeo

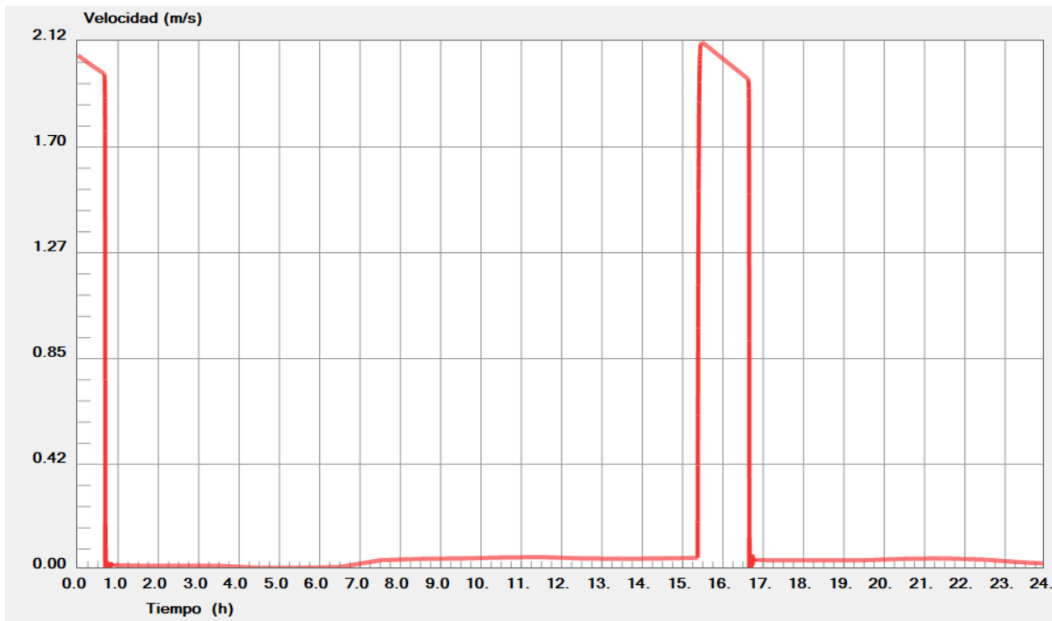
5.1.4 Variables hidráulicas en las conducciones

En la siguiente tabla 5.5 se observarán los cálculos obtenidos en régimen permanente del sistema. Donde las velocidades obtenidas en las conducciones y las pérdidas producidas. En las tuberías de impulsión se obtuvieron velocidades ($v = 0.54$ m/s) y las tuberías a gravedad las velocidades son de ($v = 2.06$ m/s), estas velocidades cumple con lo que establece “La guía técnica para transporte de agua en tuberías a presión del CEDEX” que recomienda que la velocidad mínima sean 0.25 m/s mientras que la velocidad máxima sea de 2.00 m/s para evitar la acumulación de sedimentos y pérdida de cloro en velocidades bajas y desgaste en las tuberías con velocidades altas.

<i>Descripción</i>	<i>Etiqueta</i>	<i>Q (l/s)</i>	<i>v (m/s)</i>	<i>F. Fric</i>	<i>Perd. Fric (m)</i>
Tub. Aducc. D1	Tub1.1	67.99	0.54	0.0156	0.00
Tub. Impulsión	Tub2.1	67.99	0.54	0.0156	0.00
Tub. Impulsión	Tub3.1	67.99	0.54	0.0156	2.91
Tub. Impulsión	Tub3.2	67.99	0.52	0.0157	1.00
Tub. Impulsión	Tub3.3	67.99	0.52	0.0157	0.44
Tub. Entrada D4	Tub4.1	35.17	0.27	0.0179	0.00
Tub. Entrada D4	Tub4.2	35.17	0.27	0.0179	0.00
Tub. Entrada D4	Tub4.3	35.17	0.27	0.0179	0.00
Tub. Entrada D3	Tub5.1	32.77	0.27	0.0182	0.01
Tub. Entrada D3	Tub5.2	32.77	0.33	0.0177	0.00
Tub. Entrada D3	Tub5.3	32.77	0.33	0.0177	0.00
Tub. Entrada D3	Tub5.4	32.77	0.33	0.0177	0.00
Tub. Conduc. gravedad	Tub6.1	198.47	2.06	0.0125	0.04
Tub. Conduc. gravedad	Tub6.2	198.47	2.06	0.0125	0.11
Tub. Conduc. gravedad	Tub6.3	198.47	2.06	0.0125	0.05
Tub. Conduc. gravedad	Tub7.1	198.47	2.06	0.0125	6.96
Tub. Conduc. gravedad	Tub9.1	195.95	2.04	0.0125	27.52
Tub. Entrada D2	Tub10.2	195.95	2.04	0.0125	0.08
Tub. Entrada D2	Tub10.1	195.95	2.04	0.0125	0.08

Tabla 5.5: Cálculos hidráulicos obtenidos en las conducciones del sistema en régimen permanente

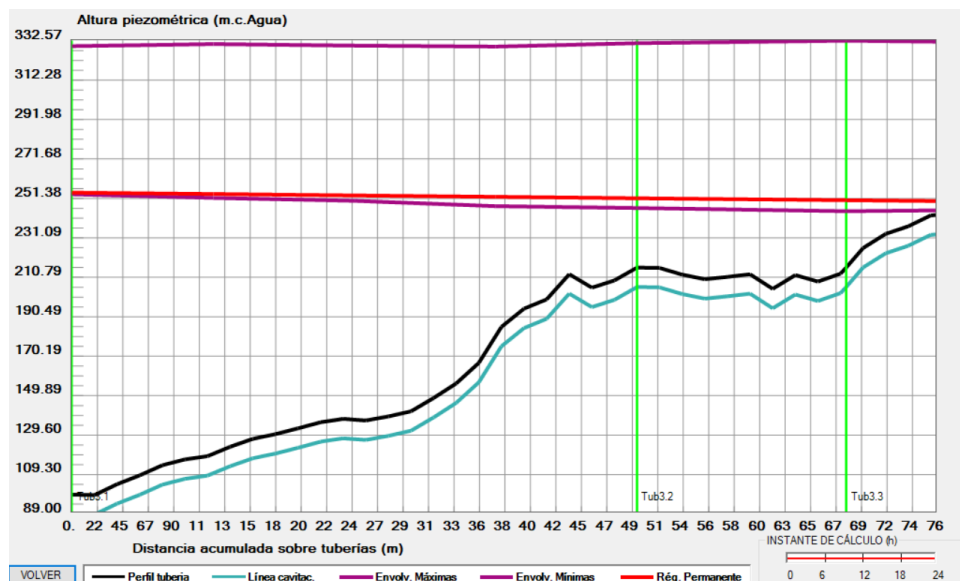
Es importante indicar que en la conducción a gravedad cuando se cierra la válvula del depósito 2, se obtienen velocidades muy bajas como se observa en la gráfica 5.6. Debido a que la conducción solo abastece a la urbanización 4 que sus consumos son bajos en comparación con el diámetro de la conducción, donde el consumo medio es de 3.47 l/s mientras que la conducción a gravedad tiene un diámetro de 350 mm. Por lo tanto en los periodos cuando se producen velocidades bajas puede existir el riesgo de que los niveles de concentración de cloro puedan disminuir a menos de lo que determina “El Real Decreto 140-2003” que es 0.2 mg/lit de cloro residual.



Gráfica 5.6: Evolución de velocidades en la conducción a gravedad

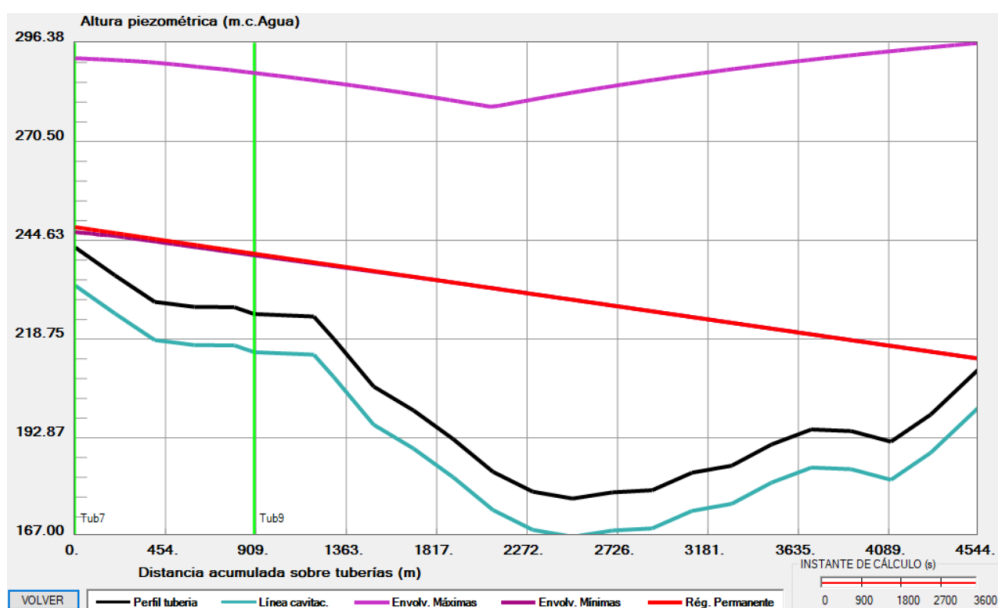
5.1.5 Envoltente de alturas piezométricas en las conducciones

Como se explicó anteriormente, cuando se cierran las válvulas de los depósitos 3 y 4, el caudal impulsado disminuye bruscamente, dando caudales nulos ante esto la altura de bombeo será la máxima que proporciona la bomba, esto ocasionará unas presiones excesivas en la conducción de impulsión. En la gráfica 5.7 se puede observar las envolventes de alturas piezométricas en el perfil de la conducción, se observa la línea piezométrica en régimen permanente y las líneas piezométricas de máximos y mínimos, en donde la altura piezométrica máxima que se genera a la salida de la bomba es 322.57 m que está ubicado en una cota de 99 m, por lo que la presión máxima es 222.57 m. Estas sobrepresiones excesivas se las puede evitar o disminuir programando para que la bomba este parada cuando el caudal de impulsión sea nulo.



Gráfica 5.7: Envoltentes de alturas piezométricas en el perfil de la conducción de impulsión.

En la gráfica 5.8 se puede observar las envolventes de altura piezométricas en la conducción a gravedad donde se producen sobrepresiones y depresiones provocados por el cierre de la válvula del depósito 2. Sin embargo el cierre de la válvula es de tipo lento por lo que las sobrepresiones y depresiones no son excesivas que pudieren afectar a la conducción.



Gráfica 5.8: Envolvente de alturas piezométricas en el perfil de la conducción a gravedad.

5.1.6 Evolución de Caudales de Entrada/Salida y Evolución de niveles en los depósitos

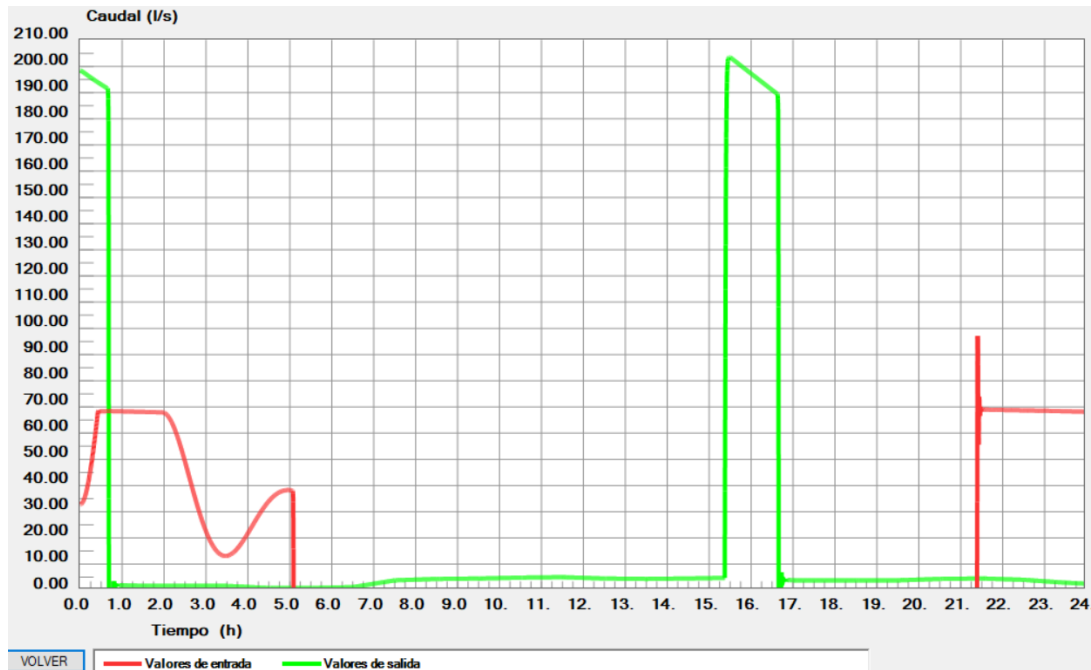
El cierre de válvulas cuando se alcance el nivel máximo de los depósitos, la abertura de válvulas cuando se llegue al nivel mínimo de los depósitos y la variación de consumos en la urbanizaciones producirán una evolución o variación de caudales a la entrada y salida de los depósitos 4, 3 y 2.

Depósito 4:

El caudal de entrada en el depósito 4 varía de acuerdo a la evolución de niveles del depósito 3. Cuando el nivel del agua del depósito 3 aumenta hasta un punto que la altura piezométrica en ese depósito es superior al depósito 4, recordando que en el depósito 3 existe una válvula de retención que impide que el agua ingrese al sistema de conducción, por lo tanto por la diferencia de altura piezométricas entre el depósito 4 y 3, el caudal inyectado al depósito 3 disminuirá y por lo tanto todo el caudal sobrante ingresará al depósito 4 aumentando el caudal a la entrada del depósito 4. Mientras que el caudal de salida del depósito 4 vendrá impuesto por la regulación en el depósito aguas abajo (depósito 2). Cuando esté abierta la válvula del depósito 2, el caudal de salida será el máximo y cuando esté cerrada la válvula del depósito 2 el caudal de salida será solamente el caudal consumido de la urbanización 4.

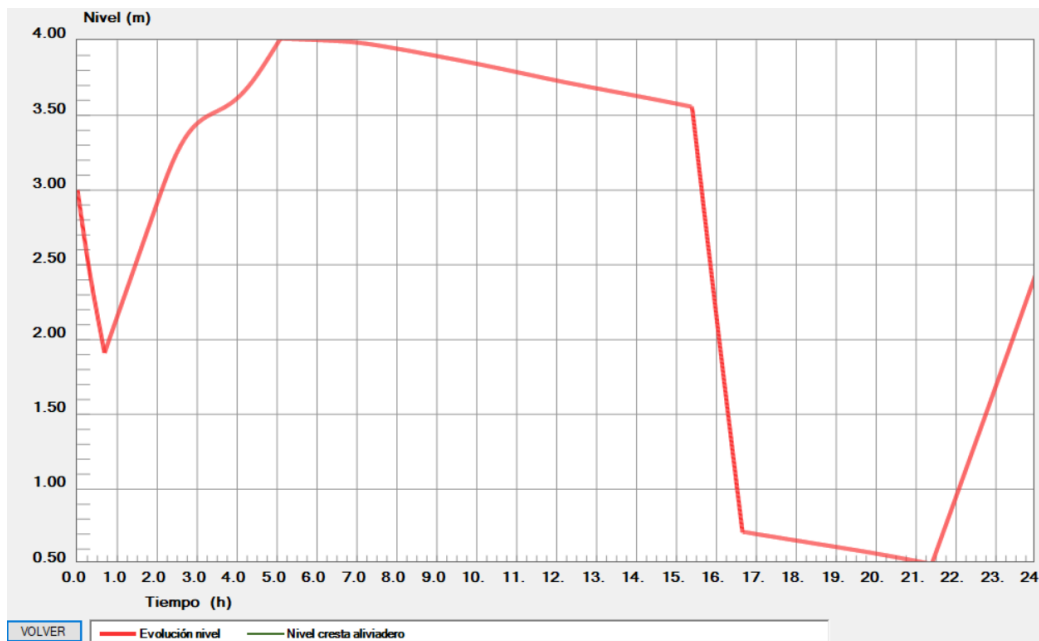
En la gráfica 5.9 se observa que el caudal de entrada es 32.77 l/s donde empieza a aumentar hasta alcanzar un caudal máximo de 68 l/s que se produce cuando el nivel de altura piezométricas de este depósito es menor que la altura piezométrica del depósito 3 y todo el caudal impulsado ingresará al depósito 4, posteriormente existe una variación de caudales en este depósito de acuerdo a los caudales que entran al depósito 3, hasta que en un punto a las 5h00 se cierra la válvula del depósito 4 cuando este haya alcanzado su nivel máximo, en ese instante el caudal de entrada es nulo hasta que cuando disminuya el nivel de este depósito al

mínimo, se empezará a abrir la válvula de llenado produciendo oscilaciones de caudal de entrada en el periodo de maniobra hasta que este se establezca el caudal de entrada y siga su evolución de acuerdo a la regulación. En el caudal de salida se observa que tiene valores máximos de 198 l/s cuando está abierta la válvula del depósito 2 esto sucede entre las 0h00-1h00 y entre las 15h15-16h45, el resto del tiempo permanece cerrada la válvula del depósito 2 y el caudal de salida varía de acuerdo a los consumos de la urbanización 2.



Gráfica 5.9: Evolución de caudales de entrada y salida del depósito 4

En la gráfica 5.10 se muestra la evolución de niveles del depósito 4. El nivel inicial es 3.00 m, como el caudal de salida es muy alto en relación del caudal de entrada, el nivel de agua bajará bruscamente hasta que a las 0h45 min se cierra la válvula de llenado del depósito 2 y el caudal de salida disminuye bruscamente, donde el caudal de salida es solo los consumos de la urbanización 4 que son muy bajos con respecto al caudal de entrada, por lo tanto vuelve a subir el nivel del depósito 4 hasta alcanzar su máximo a las 05h00min cuando se cierra la válvula de entrada del depósito 2 y vuelve a bajar levemente el nivel del agua por los consumos de la urbanización 4. A las 15h15min se abre las válvulas del depósito aumentando de manera brusca el caudal de salida por lo que de igual manera existe un descenso brusco del nivel del agua hasta las 16h45 min que se vuelve a cerrar la válvula del depósito 2, el nivel del agua sigue descendiendo a menor velocidad sin embargo se alcanza el nivel mínimo y las válvulas de llenado del depósito 4 se abren de tal manera que aumenta el nivel del agua y seguirá la evolución de niveles de acuerdo al accionamiento de las válvulas como se describió anteriormente.

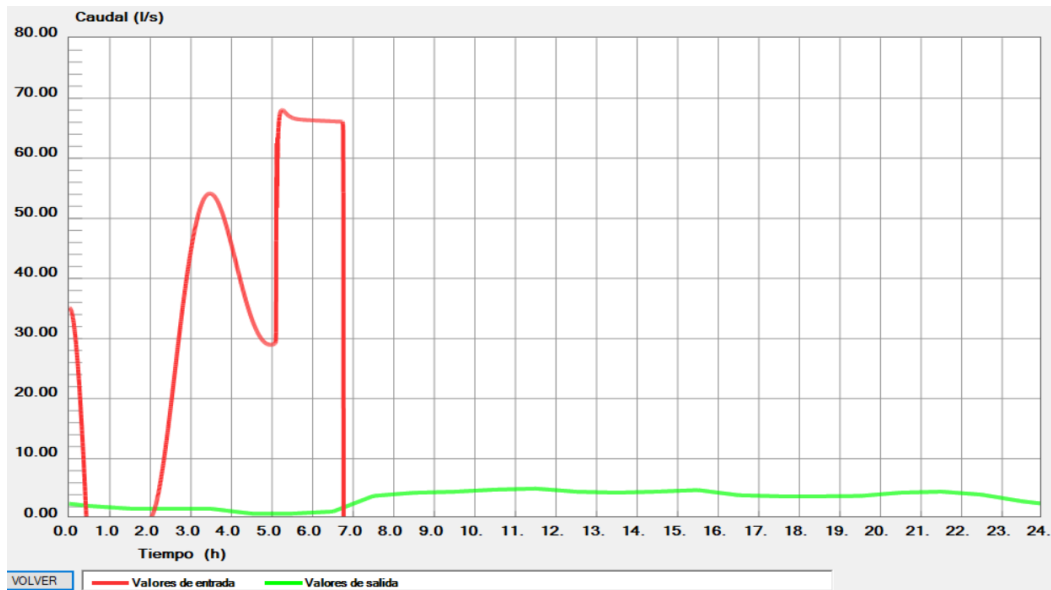


Gráfica 5.10: Evolución de niveles de agua del depósito 4

Depósito 3:

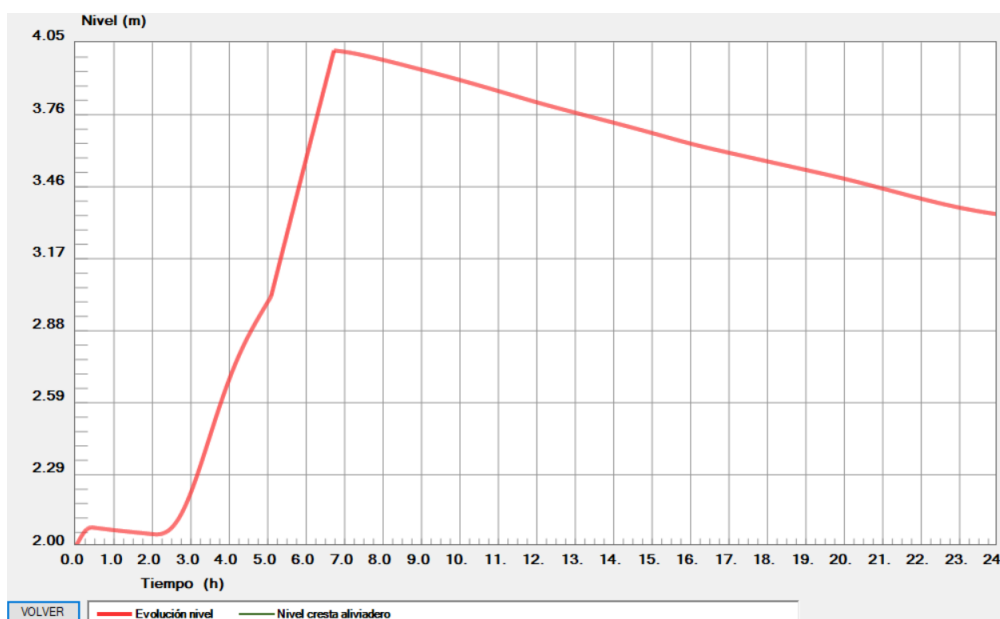
El caudal de entrada en el depósito 3 varía según también va variando el caudal que entra al depósito 4, de acuerdo a la evolución de alturas piezométricas en estos dos depósitos es así que cuando la altura piezométrica del depósito 4 disminuye también disminuye el caudal de entrada del depósito 3 hasta un punto que no ingresa caudal al depósito cuando la altura piezométrica del depósito 4 es menor con respecto al depósito 3, mientras que cuando aumenta la altura piezométrica del depósito 4 aumenta el caudal del depósito 3. Mientras que el caudal de salida va variando de acuerdo a los consumos de la urbanización 3. El caudal de entrada al depósito 3 también será nulo cuando se alcance su nivel máximo y sus válvulas se cerrarán.

En la gráfica 5.11 se muestra cómo evolucionan los caudales de entrada y salida a lo largo del día, donde el caudal inicial de entrada es 35.17 l/s y varía de acuerdo a los caudales del depósito 4 explicados en el anterior párrafo, se observa que aproximadamente desde 00h30 hasta las 02h00 deja de ingresar agua al depósito 3 dando que en ese periodo la altura piezométrica del depósito 3 es mayor que el depósito 4, después vuelve ingresar caudal al depósito 3 y seguirá evolucionando según lo que pasa en el depósito 4 hasta que aproximadamente a las 05h00min se cierra la válvula del depósito 4 e ingresa todo el caudal bombeado al depósito 3 hasta que se produce el cierre de la válvula a las 07h00min cuando se alcanza el nivel máximo del depósito 3. Como el caudal de salida es bastante bajo en relación al caudal ingresado donde el caudal de salida medio es 3.47 l/s y además como este depósito tiene un volumen muy amplio de 1749.96 m³, tardará un tiempo muy prolongado en que el depósito alcance su nivel mínimo y abra su válvula de llenado, es por eso que al término de la simulación de 24 h a un no se ha abierto la válvula del depósito 3 y el caudal de entrada siga siendo nulo.



Gráfica 5.11: Evolución de caudal de entrada y salida en el depósito 3

En la gráfica 5.12 se observa la evolución de niveles del depósito 3. El nivel inicial es 2.00 m, como el caudal de entrada es mayor que el caudal de salida, este depósito se llenará hasta las 07h00min aproximadamente cuando alcance su nivel máximo, en ese instante dejará ingresar agua al depósito, por lo tanto descenderá el nivel del depósito. Recordando que este depósito tenía una capacidad alta de volumen de regulación y los consumos de la urbanización 3 son bajos en relación al caudal de entrada y capacidad del depósito. El nivel del agua disminuirá a una velocidad muy baja, es por eso que al término de la simulación de 24 h a un no alcanza su nivel mínimo. Donde en el lapso desde que permanece cerrada la válvula del depósito 3 desde las 07h00min hasta las 24h00min, el nivel del agua a descendido levemente de 4.00 m a 3.35 m. Sin embargo en un futuro donde exista la posibilidad de un incremento de consumo en la urbanización 3 por un incremento poblacional, el periodo en que permanece cerrada la válvula de llenado del depósito 3 puede disminuir y por ende dicho depósito podrá ser alimentado con mayor frecuencia.

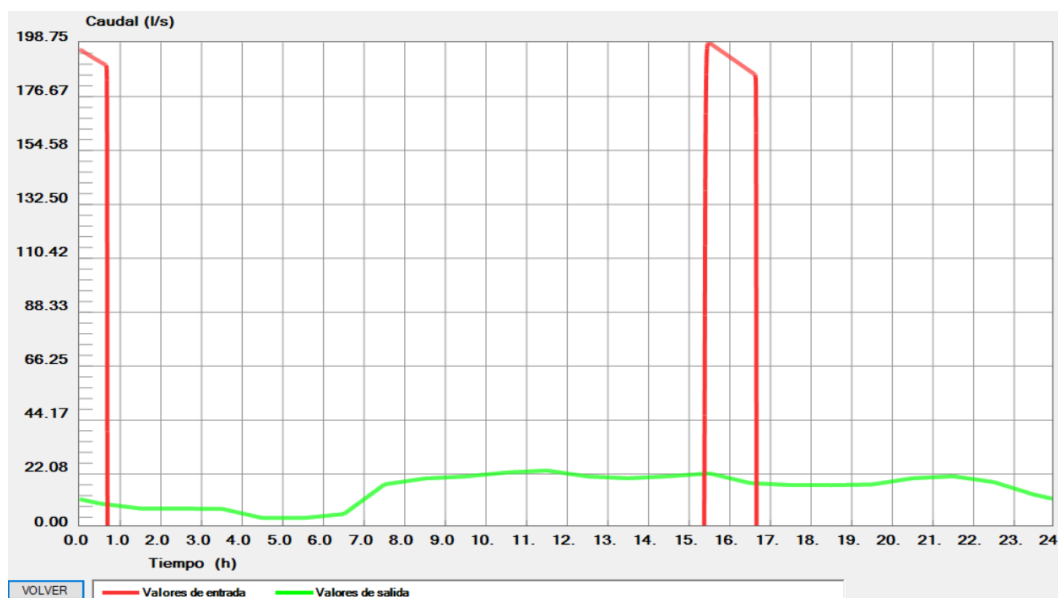


Gráfica 5.12: Evolución de niveles del agua en el depósito 3

Depósito 2:

En este depósito 2, su caudal de entrada es independiente de los caudales de entrada y salida en los depósitos 3 o 4, pues este depósito está desconectado del sistema de impulsión por bombeo y es alimentado a gravedad por el depósito 2. El caudal de entrada varía levemente de acuerdo a los consumos producidos por la urbanización 4 que está ubicado aguas arriba de este depósito. Cuando el depósito 2 alcance su nivel máximo se cerrará la válvula de llenado y el caudal a la entrada será nulo. Mientras que el caudal de salida varía de acuerdo a los consumos de la urbanización 2 que es alimentado por este depósito 2.

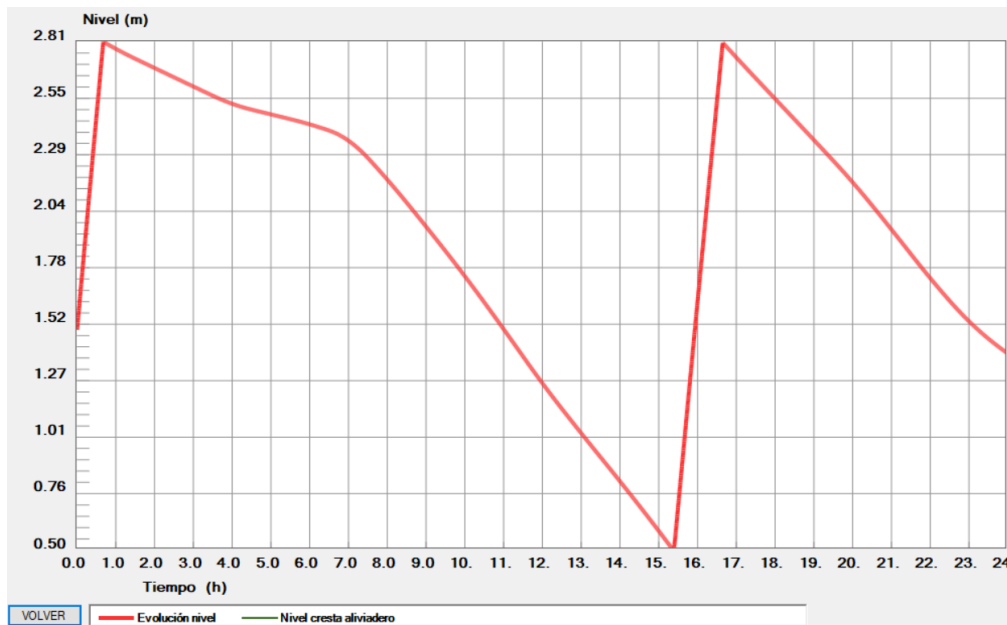
En la gráfica 5.13 se observa que el caudal inicial del depósito 2 es 198.47 l/s, variando ligeramente hasta que se cierra su válvula de llenado a las 0h45 min aproximadamente. Como se puede observar la diferencia entre caudal de entrada y salida es bastante amplia, es por eso que cuando llegue a su nivel máximo y se cierre sus válvulas tardará un tiempo bastante prolongado en bajar a su nivel mínimo para que se abra su válvula es así que desde las 0h45min hasta las 15h15 min el caudal de entrada será nulo, en ese instante se abrirá la válvula y se alcanzará su caudal máximo de entrada hasta las 16h45 min cuando nuevamente el depósito 2 alcance su nivel máximo, se cierre de nuevo la válvula de llenado y el caudal de entrada volverá a ser nulo hasta que otra vez se el nivel descienda a su mínimo y se volverá el proceso ya mencionado. Esta amplia diferencia entre el caudal de entrada y salida y los periodos en que el caudal de entrada es nulo pueden disminuir en un futuro si existe un incremento de consumo por el crecimiento poblacional de la urbanización 2.



Gráfica 5.13: Evolución de caudales de entrada y salida en el depósito 2

En la gráfica 5.14 se visualiza como varían los niveles del depósito 2 de acuerdo a sus caudales de entrada y salida. El nivel inicial del depósito es 1.50 m y en poco tiempo a las 0h45 min se alcanza el nivel máximo de 2.80 m debido a la gran diferencia de caudales de entrada y salida como se habló anteriormente. En ese instante deja de entrar agua al depósito y bajará el nivel del agua de acuerdo a la variación del caudal de salida hasta que aproximadamente a las 15h15 min vuelve a ingresar agua al depósito y se vuelve a llenar rápidamente el depósito

donde a las 16h45 min se alcanza el nivel máximo, el caudal de entrada vuelve a ser nulo, se bajará el nivel del depósito y se volverá a repetir el proceso.



Gráfica 5.14: Evolución de nivel del agua en el depósito 2.

5.1.7 Control Sobre la Estación de Bombeo

En el tramo de impulsión desde la estación de bombeo hacia los depósitos 3 y 4, se producen sobrepresiones excesivas debido al cierre de las válvulas de llenado de los depósitos por un prolongado periodo de tiempo de alrededor 14h30min aproximadamente, en este periodo se impulsará un caudal nulo y por consiguiente la estación de bombeo dará una altura de bombeo máxima. Para contrarrestar este problema se debe programar la estación de bombeo mediante el panel de control de tal forma cuando se empieza a impulsar caudal nulo por el cierre de válvulas la presión a la salida de la bomba aumentará donde un presostato enviará la señal al panel de control cuando aumente la presión y este dará la orden de parar la bomba y cuando se abran las válvulas se dará la señal para que arranque la bomba. De esta manera se evita el problema de sobrepresiones y adicionalmente un ahorro energético considerable debido a que las bombas no trabajarán las 24 h del día. En la figura 5.2 se muestra un esquema de la regulación con válvula de llenado y control sobre la estación de bombeo.

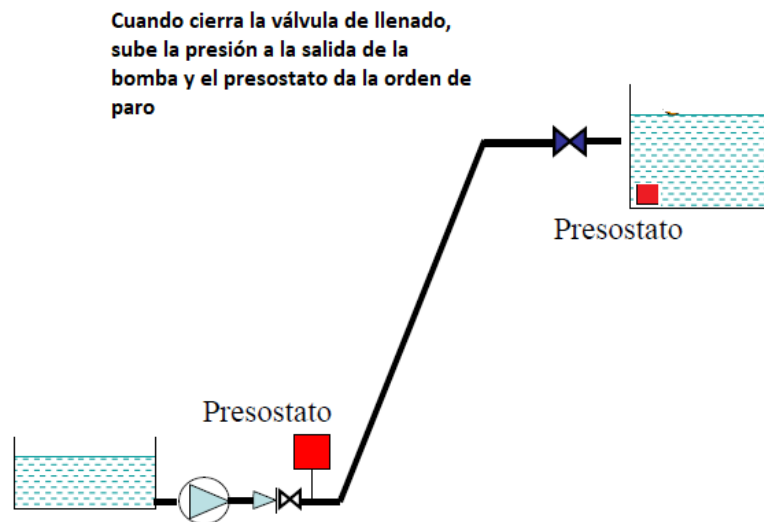


Figura 5.2: Esquema del control de regulación con válvula de llenado

Para simular esta operación de arranque y parada de la bomba en el programa Allievi, se procedió a instalar un depósito ficticio de altura variable en el nudo de salida de la estación de bombeo, de tal forma que este depósito represente la evolución de presiones o alturas piezométricas de la estación de bombeo. Con la instalación de este depósito ficticio se procede a regular la estación de bombeo de acuerdo a los niveles representados en el depósito de tal forma que cuando la cota del nivel del agua inicial aumenta con respecto al régimen permanente en este depósito parará la bomba y cuando la cota del nivel del agua desciende a la correspondiente en régimen permanente arrancará la bomba. Esto simulará que cuando se esté impulsado caudal nulo se apaga la bomba y cuando aumenta el caudal impulsado arranca la bomba.

Los datos que se ingresarán en el nudo ficticio corresponde a su cota inicial de nivel de agua que en este caso corresponderá a la altura piezométrica en régimen permanente, la sección del depósito será una sección tal que pueda representar la velocidad en que varía la presión en el nudo inicial de la impulsión. Mediante varias simulaciones se determinó que la sección será de 5 m^2 , para la altura del depósito ficticio se escogió la opción de altura variable.

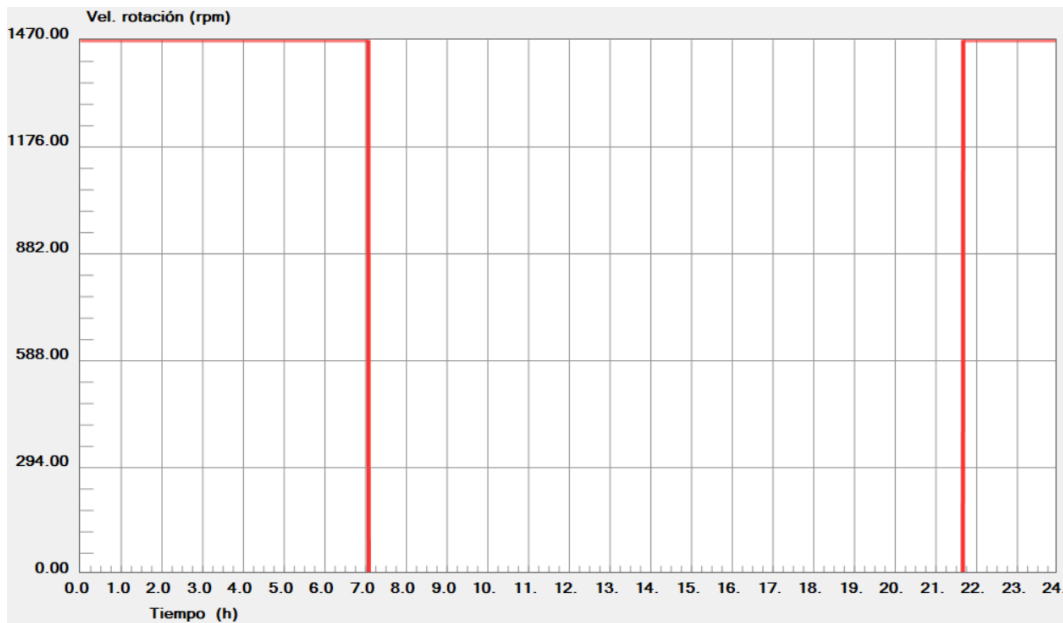
Para la regulación de la bomba mediante los niveles del depósito ficticio se determinó que cuando el nivel del agua en el depósito alcance una cota de 270 m se para la bomba mientras que la holgura para que arranque la bomba es de 20 m es decir que en la cota 250 m del nivel de agua del depósito arranca la bomba. En la siguiente tabla 5.6 se puede observar los datos ingresados para la regulación de la estación de bombeo.

EB	Denominación	Depósito aspiración	Zona	Cota mín (m)	Holgura (m)	Depósito impulsión	Zona	Cota máx (m)	Holgura (m)
1	B1	----				H Bombeo		270	20

Tabla 5.6: Datos ingresados para la regulación de la estación de bombeo en el depósito ficticio.

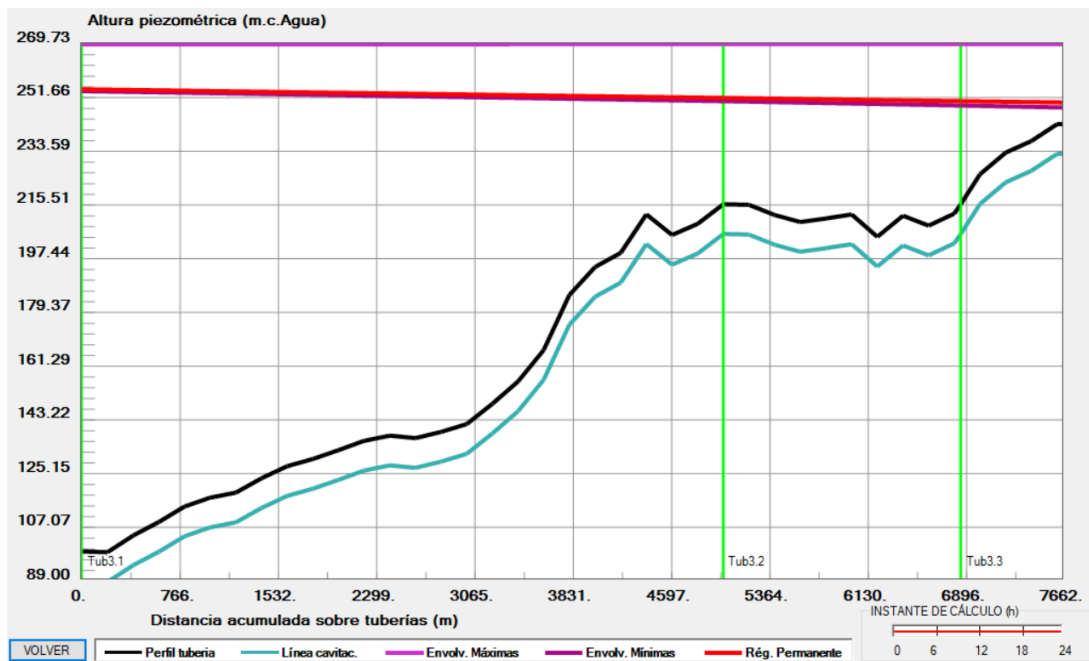
En la gráfica 5.15 donde se visualiza la variación de la velocidad de rotación de la bomba con respecto al tiempo, lo cual representa que cuando la velocidad de rotación es 1470 rpm están en marcha la bomba y cuando es nula indica que la bomba está parada. Desde las 07h00 min hasta las 21h30 min se observa que la bomba esta parada, estas horas pertenecen cuando

están cerradas las válvulas de los depósitos y se está impulsado un caudal nulo como se pudo observar en la anterior gráfica 5.5 que representaba la evolución del caudal bombeado.



Gráfica 5.15: Evolución de la velocidad de rotación de la bomba con respecto al tiempo

En la gráfica 5.16 que corresponde a las envolventes de altura piezométricas del perfil de impulsión se puede comprobar que con esta programación en la estación de bombeo para parar las bombas en caudal nulo, las sobrepresiones que se producen disminuyeron de forma considerable en comparación cuando la bomba impulsa un caudal nulo, donde en este caso la presión máxima en la conducción es de 170 m aproximadamente mientras que en el otro caso cuando funcionaba la bomba todo el día la presión máxima era de 220 m.



Gráfica 5.16: Envolventes de alturas piezométricas en el perfil de impulsión

5.1.8 Energía Consumida por la Estación de Bombeo

Para el cálculo de la energía consumida se multiplica la potencia de la bomba por el número de horas de funcionamiento de la bomba. La potencia consumida de la bomba se la calcula mediante la siguiente ecuación 7.

$$P = \frac{\gamma * Qb * Hb}{\eta b} \quad (7)$$

Donde: P es Potencia consumida (wats), γ es el Peso específico del agua (9810 N/m³), Qb es Caudal de bombeo (m³/s), Hb es Altura de bombeo (m) y η es el rendimiento de la bomba (%)

En la siguiente tabla 5.7 se puede visualizar el cálculo de la energía consumida por la bomba, se obtiene un total de 1132.8 Kwh al día.

Bomba	Caudal Bombeado Q b (l/s)	Altura de bombeo H b (m)	Rendimiento Bomba η (%)	Potencia (kw)	Periodo Funcionamiento (h)	Energía E (Kwh)
B1	68	150.40	81.84	122.59	00h00 - 07h00	858.11
B1	68	150.40	81.84	122.59	21h45 - 24h00	275.82
Energía Total						1133.93 Kwh

Tabla 5.7: Cálculo de la energía consumida por la bomba

5.2 Propuesta 2: Regulación del Depósito Nuevo mediante maniobras de paradas y arranques en la estación de bombeo

Otra alternativa para regular los depósitos es mediante un control automatizado directamente desde la estación de bombeo de tal manera comandar la puesta en marcha y parada de las bombas en función de ciertos parámetros hidráulicos que pueden ser niveles, presiones, etc.

Los comandos a distancia instalados en los depósitos para comandar en una estación de bombeo se las pueden realizar de diversas maneras, por ejemplo:

- Comando con línea piloto: “La puesta en marcha y la parada de la estación de bombeo se realiza por medio de un interruptor piloto mediante una línea eléctrica de pequeña sección, llamada línea piloto que es instalada entre el depósito y la estación de bombeo. Es el tipo de comando más usado en instalaciones con un alto grado de importancia.”(Fuertes et al. 2009)
- Comando sin línea piloto: El cierre del conducto de llegada al depósito es por medio de una válvula con flotador o una válvula de llenado que se cierra para detener el flujo hacia el depósito. La parada de la bomba se lo realiza a través de un relé de caudal situado cerca de la bomba, constituido por una paleta sumergida en el flujo y que por acción de la velocidad hace vascular el contacto eléctrico sin la necesidad de una línea eléctrica. También puede pararse o arrancar la bomba por un relé de presión constituido por un presostato de forma que cuando aumenta la presión o disminuye de la presión de referencia se para o arranca la bomba. (Fuertes et al. 2009)
- En la actualidad el mecanismos de regulación de depósitos con paradas y arranques de la bomba puede efectuarse mediante un autómatas programable PLC y un sistema de comunicación vía radio GPRS, entre el depósito y la estación de bombeo.

5.2.1 Funcionamiento de la Regulación en la Estación de Bombeo

Esta propuesta de regulación consiste en control de línea directa entre el depósito de impulsión que en este caso será el depósito propuesto (depósito 4) y la estación de bombeo. Cuando la bomba impulsa agua hacia el depósito 4, es indispensable hacer parar la bomba cuando el depósito esté cerca de llenarse y hacer arrancar la bomba cuando el nivel se alcanza un valor consigna que corresponde a un volumen de resguardo o reserva de seguridad. Por lo tanto en el depósito de impulsión (depósito 4) se debe instalar un transductor de presión en el fondo del depósito medirá constantemente los niveles del depósito. De tal forma que cuando el transductor de presión marque el nivel máximo del depósito, enviará una señal análoga a la estación de control remota para que se ordene parar a la bomba, cuando descienda el nivel del depósito a su mínimo el transductor de presión mandará nuevamente una señal la estación de control remoto para ordenar la puesta en marcha de la bomba. En las siguientes figuras 5.3 y 5.4 se muestran el esquema del sistema representado en el programa y un esquema de la regulación del depósito de impulsión.

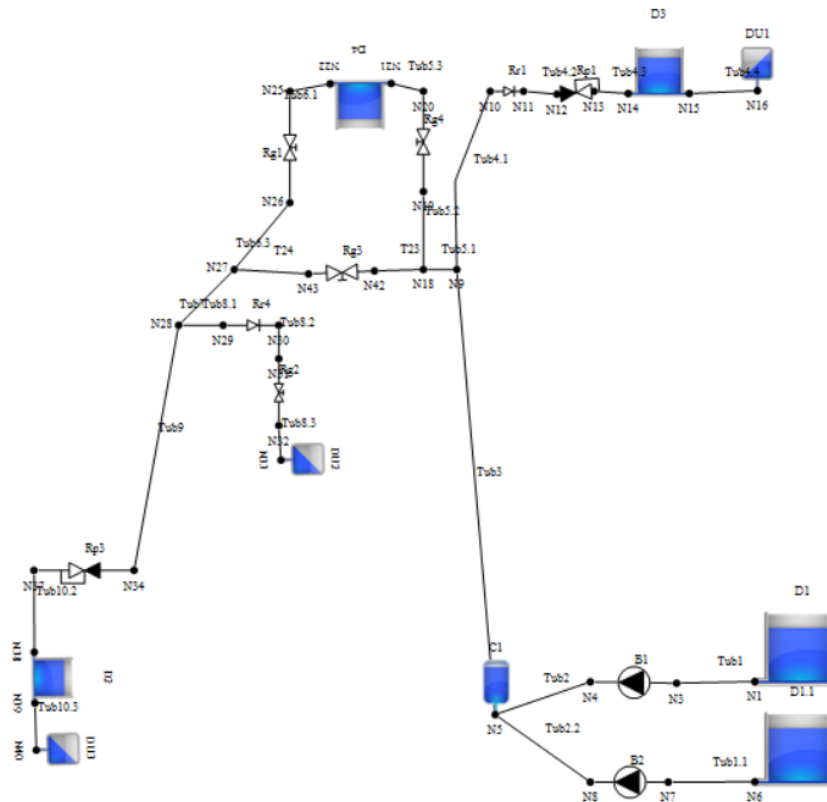


Figura 5.3: Esquema del sistema con la propuesta 2

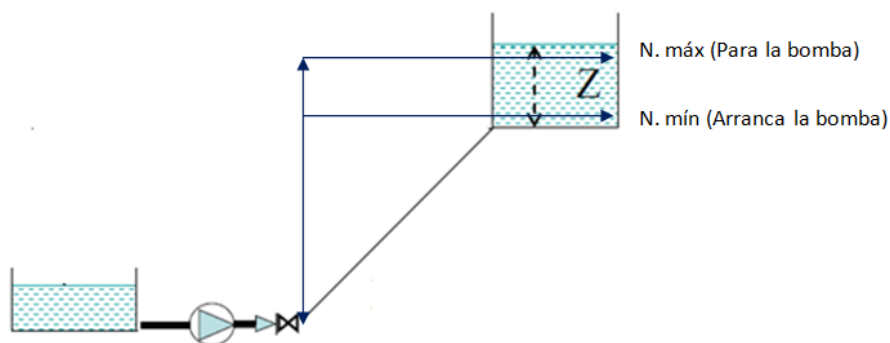


Figura 5.4: Esquema ejemplo de regulación del depósito de impulsión con parada y arranque de bomba.

5.2.2 Niveles en el Depósito de Impulsión para Arranque y Parada de la Bomba

El nivel máximo que se ha establecido para que se pare la estación de bombeo será igual como la propuesta primera es decir 0.5 m antes del alcanzar la altura máxima del depósito 4, recordando que su altura es de de 4.5 m por lo tanto el nivel máximo será 4.0 m. Mientras que el nivel mínimo se ha establecido un margen de seguridad de 0.5 m más arriba del fondo del depósito. Los datos del nivel máximo que se ingresan en el Allievi para la regulación son en términos de cota y el nivel mínimo como holgura o la diferencia entre nivel máximo y mínimo. Donde la cota máxima será de de 251.00 m y la holgura para el nivel mínimo 3.50 m, como se observa en la tabla 5.8

Depósito de aspiración					Depósito de impulsión				
EB	Denominación	Depósito aspiración	Zona	Cota mín (m)	Holgura (m)	Depósito impulsión	Zona	Cota máx (m)	Holgura (m)
1	B1	---				D4		251	3.5

Tabla 5.8: Datos de cotas máx. y mín. para la regulación del depósito de impulsión

5.2.3 Duración de Arranque y Parada del equipo de Bombeo

Inicialmente la bomba se encuentra en marcha hasta que se le ordena a la bomba por el panel de control a parar cuando se ha alcanzado el nivel máximo del depósito 4. En ese periodo la válvula de control motorizada de la bomba tendrá un cierre progresivo hasta que se activará el final de carrera de la válvula cuando esté cerrada y finalmente se parará la bomba. Este periodo en que se produce el paro se ha determinado un valor de 20 s, recordando que la bomba no puede pararse instantáneamente para evitar efectos indeseados de transitorios en la instalación. Cuando se deba a poner en marcha la bomba debido a que el depósito ha descendido a su nivel mínimo, su válvula de control estará inicialmente cerrada después arrancará la bomba en ese instante su válvula de control motorizada empezará a abrir progresivamente hasta el 100% de su abertura y finalmente la bomba impulsará el caudal hacia el depósito. Este lapso de arranque se ha determinado un periodo de 15 s. En la siguiente tabla 5.9 se puede observar los datos ingresados para la duración de arranques y paros de la bomba en el programa.

EB	Denominación	Modo de bombeo	Duración arranque (s)	Duración parada (s)	Desfase entre arranques (s)	EB con arranque anterior
1	B1	1	15	20		---

Tabla 5.9: Datos de funcionamiento de operación de arranques y paradas en la estación de bombeo

5.2.4 Control en las Válvulas de llenado para los Depósito 2 y 3

Para la regulación del depósito 3 y 2 funcionará como la primera propuesta planteada con cierre de sus válvulas de llenado cuando se alcance el nivel máximo del depósito y abertura total de la válvula cuando haya descendido el nivel a su mínimo. Donde sus niveles máximos son 0.5 m antes de la altura de los depósitos y 0.5 m más alto del fondo de los depósitos. El tiempo de cierre y apertura de las válvulas se estimó un valor de 120 s. En la siguiente tabla 5.10 se muestra los datos ingresados en el Allievi para el control de las válvulas de llenado.

ECQ	Denominación	Ramal	Depósito a llenar	Zona a llenar	Sentido de funcionamiento	Tiempo (s) maniobra
6	Rp3	1	D2		Ascendente	120
7	Rp1	1	D3		Ascendente	120

LEY DE LLENADO

Estructura: Rp3

Ramal: 1 2

Punto	Cota (m)	Apertura (%)
2	213.75	0
1	211.5	100

LEY DE LLENADO

Estructura: Rp1

Ramal: 1 2

Punto	Cota (m)	Apertura (%)
2	252	0
1	248.5	100

Tabla 5.10: Datos ingresados para el control de las válvulas de llenado en los depósitos 2 y 3

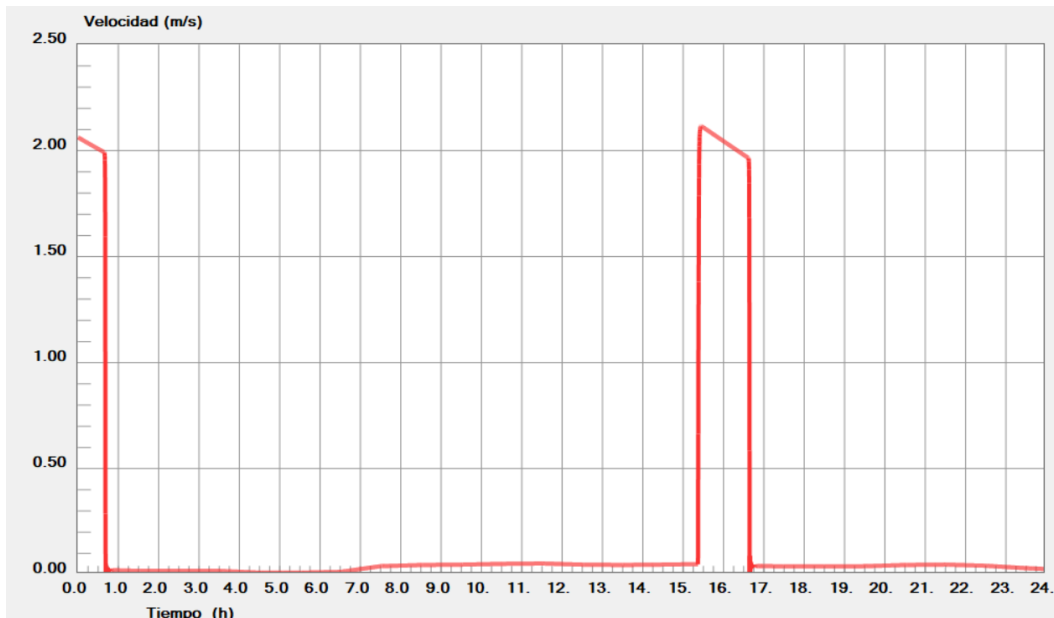
5.2.5 Variables Hidráulicas en las Conducciones

En la tabla 5.11 se observa los cálculos obtenidos de las variables hidráulicas, donde se destacan las velocidades y pérdidas de carga por fricción en las conducciones. Recordando que en el tramo de impulsión se bombeará el agua hacia los depósitos 3 y 4, el caudal impulsado será prácticamente constante y por consiguientes sus velocidades también, donde solo variarán los caudales a la entrada de los depósitos. La velocidad en el conducto de impulsión es ($v = 0.54$ m/s), mientras que en la conducción a gravedad su velocidad es ($v = 2.06$ m/s). Estas velocidades están dentro del rango de velocidad máxima de 2.5 m/s y velocidad mínima de 0.2 m/s como recomienda “La guía técnica para tuberías de transporte de agua a presión CEDEX”

Descripción	Etiqueta	Q (l/s)	v (m/s)	F. Fric	Perd. Fric (m)
Tub. Aducc. D1	Tub1.1	67.95	0.54	0.0156	0.00
Tub. Impulsión	Tub2.1	67.95	0.54	0.0156	0.00
Tub. Impulsión	Tub3.1	67.95	0.54	0.0156	2.91
Tub. Impulsión	Tub3.2	67.95	0.52	0.0157	1.00
Tub. Impulsión	Tub3.3	67.95	0.52	0.0157	0.44
Tub. Entrada D4	Tub4.1	43.46	0.27	0.0179	0.00
Tub. Entrada D4	Tub4.2	43.46	0.27	0.0179	0.00
Tub. Entrada D4	Tub4.3	43.46	0.27	0.0179	0.00
Tub. Entrada D3	Tub5.1	24.49	0.27	0.0182	0.01
Tub. Entrada D3	Tub5.2	24.49	0.33	0.0177	0.00
Tub. Entrada D3	Tub5.3	24.49	0.33	0.0177	0.00
Tub. Entrada D3	Tub5.4	24.49	0.33	0.0177	0.00
Tub. Conduc. gravedad	Tub6.1	198.47	2.06	0.0125	0.04
Tub. Conduc. gravedad	Tub6.2	198.47	2.06	0.0125	0.11
Tub. Conduc. gravedad	Tub6.3	198.47	2.06	0.0125	0.05
Tub. Conduc. gravedad	Tub7.1	198.47	2.06	0.0125	6.96
Tub. Conduc. gravedad	Tub9.1	195.95	2.04	0.0125	27.52
Tub. Entrada D2	Tub10.2	195.95	2.04	0.0125	0.08
Tub. Entrada D2	Tub10.1	195.95	2.04	0.0125	0.08

Tabla 5.11: Cálculos hidráulicos en las conducciones del sistema en régimen permanente.

Sin embargo en la conducción a gravedad cuando permanece cerrada la válvula a la entrada del depósito 2, las velocidades son demasiadas bajas del orden de 0.05 m/s como se observa en la gráfica 5.17, debido a que el agua permanece prácticamente estancada y solo fluye hacia la urbanización 4, lo que podría ocasionar disminución de niveles de concentración de cloro en el agua.



Gráfica 5.17: Variación de velocidades en la conducción a gravedad

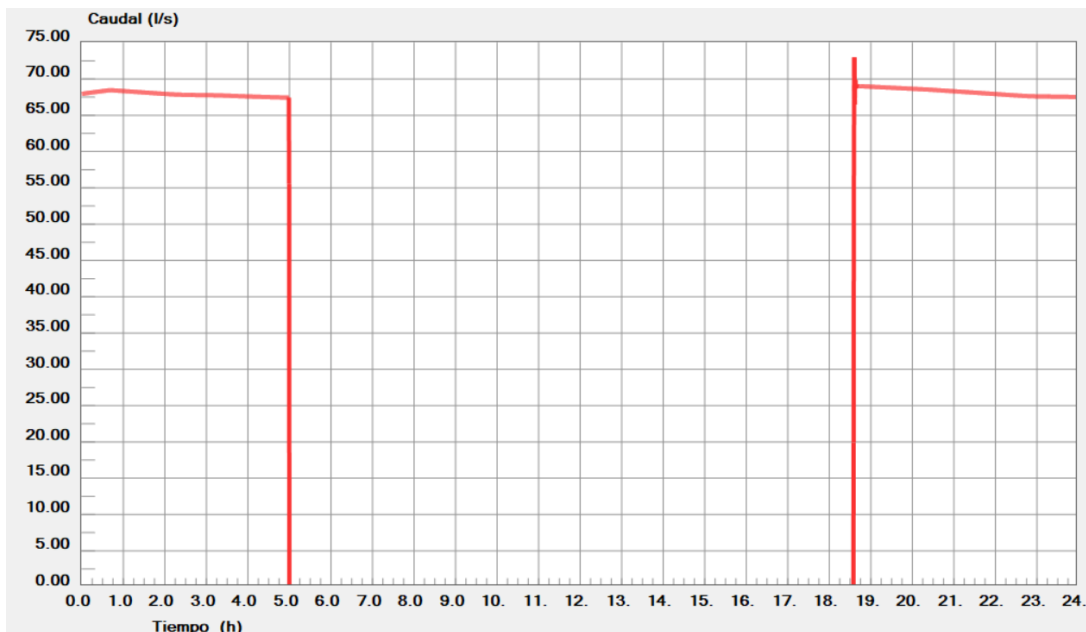
5.2.6 Estación de Bombeo

Al igual que la primera propuesta la velocidad de giro de la bomba se aumentó al 100% de su velocidad nominal debido a que su rendimiento en el punto de funcionamiento aumenta al 81.82% como se comprobó anteriormente con la curva de rendimiento de bomba cuando gira al 90% que era el estado inicial y al 100% con la propuesta planteada.

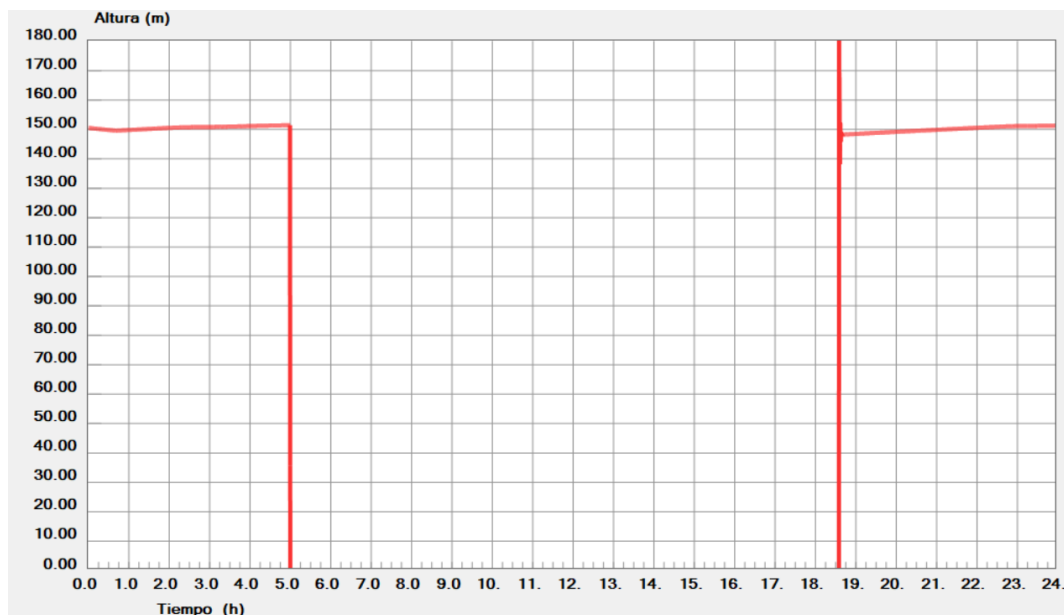
5.2.7 Evolución de Presiones a la salida de la estación de bombeo

La estación de bombeo impulsará agua para alimentar a los depósitos 3 y 4 por lo que cuando la bomba este en funcionamiento el caudal impulsado será prácticamente constante y por consiguiente la presión de bombeo también será constante.

En la siguientes gráficas 5.18 y 5.19 se puede observar como permanece constante el caudal impulsado ($Q_b = 67.95$ l/s) y la presión a la salida ($H_b = 150.44$ m) de la estación de bombeo cuando está en funcionamiento la bomba. Cuando se para la bomba a las 05h00min aproximadamente se producen unas oscilaciones en el transcurso de la parada, igualmente a las 19h30min aproximadamente se pone marcha la bomba produciendo oscilaciones de caudal y presión en un lapso muy corto de tiempo hasta que finalmente se estabiliza el caudal a la presión a la salida de la estación de bombeo. Como se explico anteriormente el funcionamiento de esta regulación, en el instante que se para la bomba es porque el depósito 4 ha alcanzado su nivel máximo y en el instante que se pone en marcha es porque el depósito 4 ha alcanzado su nivel mínimo.



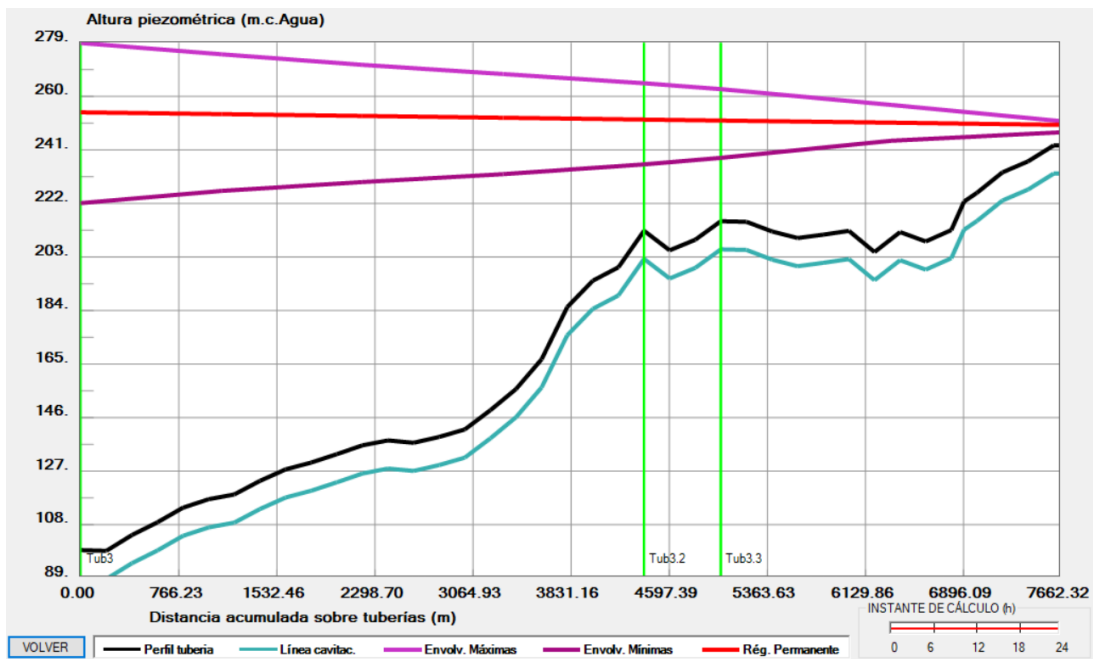
Gráfica 5.18: Evolución del caudal impulsado a la salida de la estación de bombeo



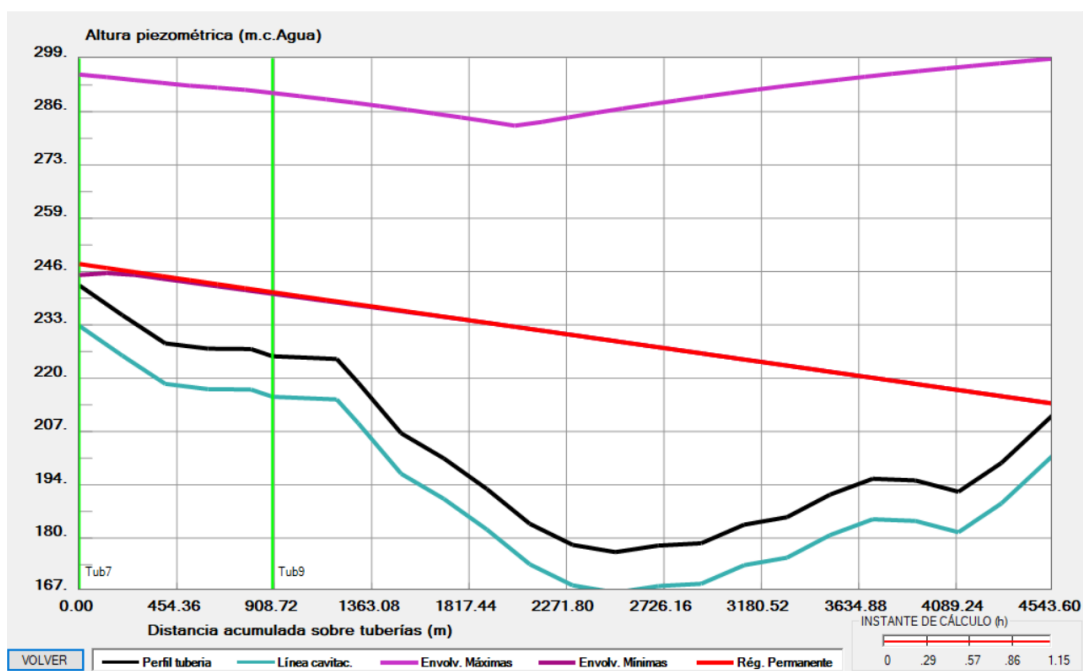
Gráfica 5.19: Evolución de la presión a la salida de la estación de bombeo

5.2.8 Envolventes de las Alturas piezométricas en las conducciones.

En las siguientes gráficas 5.20 y 5.21 contienen las envolventes de alturas piezométricas en el perfil de la conducción de impulsión y gravedad, donde se puede observar las envolventes de las alturas máximas y mínimas debido a maniobras como el cierre de válvulas y paro de la bomba. Sin embargo se puede ver que las sobrepresiones y depresiones no son excesivas debido a que estas maniobras fueron realizadas de manera controlada, donde la altura piezométrica máxima a la que es sometida la conducción en el nudo de salida de la bomba es 279 m cuya cota en este nudo es de 99 m, dando una presión máxima de 180 m. Además en las depresiones no se tienen presiones negativas, por lo que estas sobrepresiones y depresiones no son de riesgo para la estructura de las conducciones del sistema.



Gráfica 5.20: Envoltente de altura piezométricas en el perfil de la conducción de impulsión



Gráfica 5.21: Envoltente de alturas piezométricas en la conducción a gravedad

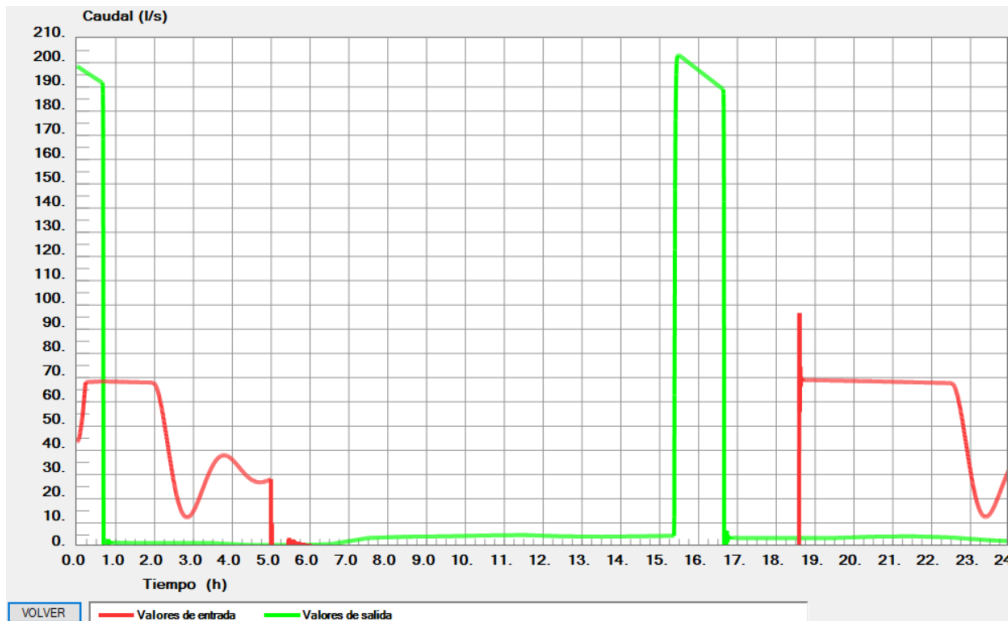
5.2.9 Evolución de Caudales de Entrada/Salida y Niveles en los depósitos

La puesta en marcha y parada de las bombas, las maniobras de apertura y cierre de las válvulas de llenado en los depósitos por los cambios de nivel en los depósitos, así como también la variación de consumos a lo largo del día de las urbanizaciones producen una variación de los caudales de entrada y salida en los depósitos a lo largo día.

Depósito 4:

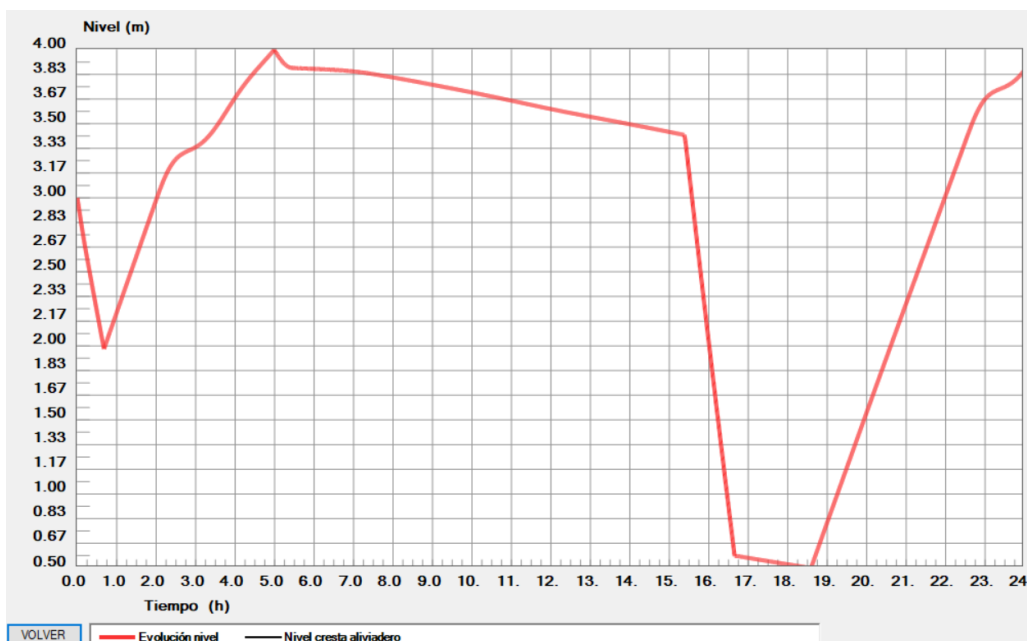
El caudal de entrada del depósito 4 varía de acuerdo al cambio de niveles que se produce en los depósitos 3 y 4. Cuando el nivel de agua del depósito 4 desciende ingresa más caudal en este depósito en relación al depósito 3 hasta un punto que cuando la cota del nivel de agua del depósito 4 es menor que la cota del depósito 3 pues por diferencia de alturas piezométricas, todo el caudal impulsado ingresará al depósito 4 dejando al depósito 3 un caudal de entrada nulo. De la misma manera, cuando empieza ascender el nivel de agua del depósito 4 y desciende el nivel del depósito 3, el caudal de entrada del depósito 4 disminuirá y por lo tanto aumentará el caudal en el depósito 3. Como la estación de bombeo es controlada con parada y puesta en marcha de acuerdo a los niveles del depósito 4, cuando se alcance el nivel máximo del depósito 4 la bomba se parará y no existirá aporte de caudal hasta que el depósito 4 descienda a su nivel mínimo cuando se pondrá en marcha la bomba y el caudal de entrada al depósito 4 seguirá variando de acuerdo a los niveles en el depósito 3. Mientras que el caudal de salida de este depósito 4 es impuesto por la válvula de llenado del depósito 2 aguas abajo, es así que cuando la válvula del depósito 2 está abierta, el caudal de salida será el máximo y cuando la válvula se cierre el caudal de salida será el mínimo y vendrá impuesto por los consumos de la urbanización 2.

En la gráfica 5.22 se visualiza que el caudal inicial es 43.46 l/s y el caudal de salida es 198.47 l/s por lo que descenderá el nivel del agua hasta que su cota es inferior a la del nivel del depósito 3, donde en ese momento el caudal impulsado solo ingresa al depósito 4 y se alcanza el caudal máximo de 67.95 l/s, sigue variando el caudal de entrada hasta que a las 05h00min aproximadamente el depósito 4 ha alcanzado su nivel máximo y se para la bomba dando un caudal nulo de entrada hasta las 18h30min aproximadamente donde el nivel del depósito 4 descendió a su mínimo y se pone en marcha produciendo unas oscilaciones de caudal hasta que se estabiliza y el caudal de entrada sigue variando de acuerdo a los niveles en los depósitos 4 y 3. Para el caudal de salida se observa que alcanza su mínimo a las 0h45 min aproximadamente cuando se cierra la válvula del depósito 2 produciendo oscilaciones de caudales hasta estabilizarse y el caudal de salida varía de acuerdo a los consumo de la urbanización 4, se alcanza nuevamente el caudal de salida máximo cuando se abre la válvula del depósito 2 a las 15h15min hasta las 16h45min cuando se cierra la válvula y el caudal de salida sigue variando de acuerdo a los consumos de la urbanización 4.



Gráfica 5.22: Evolución de caudales de entrada y salida en el depósito 4

En la gráfica 5.23 se observa que el nivel inicial del depósito son 3.00 m y desciende rápidamente debido a una amplia diferencia entre caudal de salida y de entrada hasta que se cierra la válvula del depósito 2 y el nivel del depósito 4 empieza a ascender hasta que alcanza su nivel máximo de 4.00 m que es cuando se para la bomba y de nuevo desciende el nivel del depósito 4 levemente debido a que los consumos de la urbanización 4 son bajos en relación al volumen de regulación del depósito, cuando se abre de nuevo la válvula del depósito 2 el nivel del depósito 4 desciende bruscamente hasta que se cierra de nuevo la válvula del depósito 2, donde el nivel del depósito 4 sigue descendiendo de manera más leve hasta que alcanza su nivel mínimo que es cuando se pone de nuevo en marcha la bomba, por lo tanto el nivel empieza a ascender de nuevo y seguirá su evolución de acuerdo a los controles ya comentados.

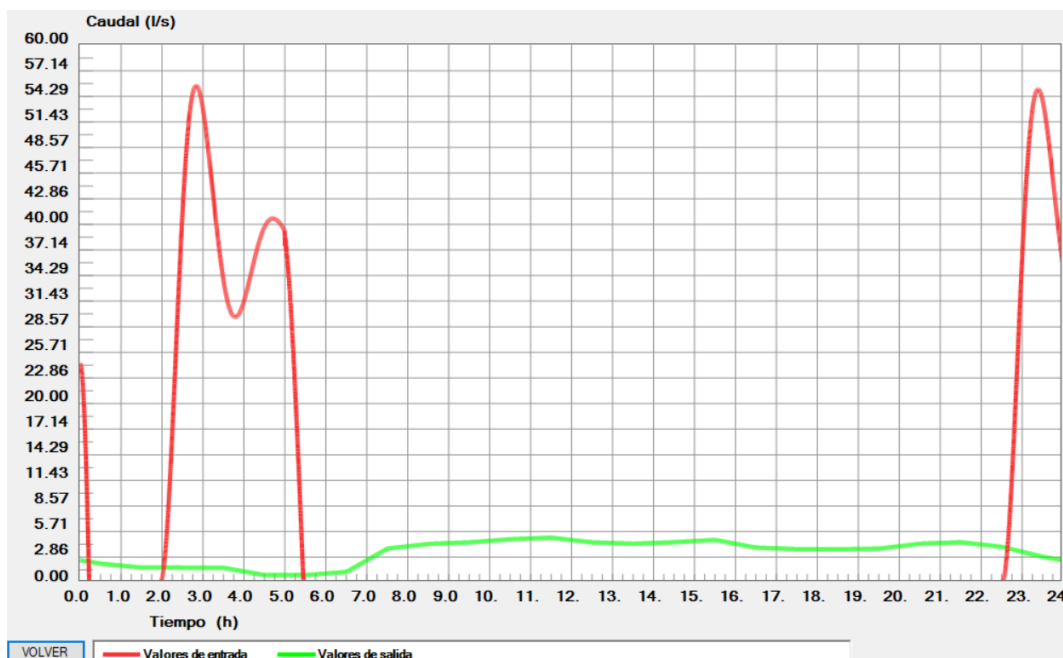


Gráfica 5.23: Evolución del nivel del agua en el depósito 4

Depósito 3:

De la misma manera que el caudal de entrada del depósito 4, la variación de caudal del depósito 3 varía de acuerdo a la variación de niveles de ambos depósitos, es así que cuando el nivel del agua del depósito 4 disminuye también disminuye el caudal de entrada del depósito 3 hasta un punto que el caudal de entrada es cero cuando la altura piezométrica del nivel del agua del depósito 3 es superior que la del depósito 4 por lo tanto el caudal impulsado solo alimentará al depósito 4, y cuando empieza a aumentar el nivel de agua del depósito 4, el caudal de entrada al depósito 3 aumenta. El caudal de entrada al depósito 3 también será nulo cuando se para la bomba por el nivel máximo del depósito 4 y también el depósito 3 alcance su nivel máximo y su válvula de llenado se cierre impidiendo el flujo de agua hasta que el nivel de agua descienda al mínimo para que la válvula de llenado se abra y entre caudal al depósito 3. Mientras que su caudal de salida es impuesto por los consumo de la urbanización 3.

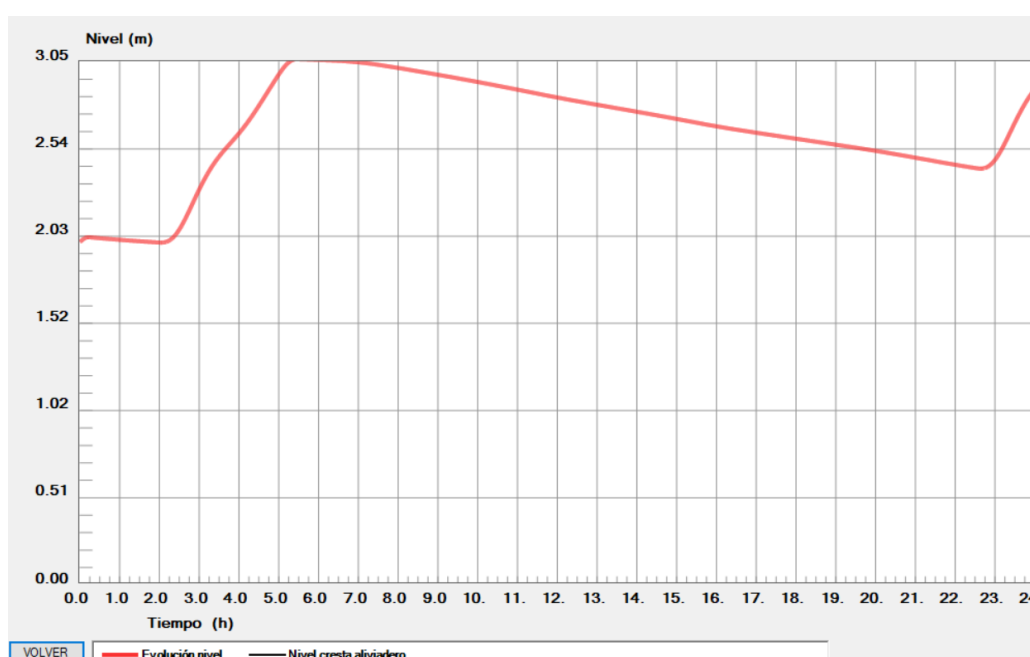
En la gráfica 5.24 se observa que el caudal de entrada es 24.46 l/s y desciende el caudal hasta cero debido a que descendió el nivel del agua del depósito 4 y su altura piezométrica del nivel de agua es inferior que la altura piezométrica que el depósito 3 haciendo imposibilitar que el caudal impulsado llegue al depósito 3, cuando aumenta el nivel de agua del depósito 4 hasta igualar alturas piezométricas del depósito 3, el caudal empieza alimentar al depósito 3 y sigue variando de acuerdo a los niveles de los depósitos hasta que a las 05h00min se para la bomba y por lo tanto el caudal de entrada es nulo hasta que se vuelve a poner en marcha la bomba y las alturas piezométricas de los dos depósitos se igualen para que el caudal alimente de nuevo al depósito 4 y el caudal de entrada seguirá variando. El caudal de salida simplemente se observa que varía de acuerdo a los consumos de la urbanización 2 que tiene un consumo medio de 3.47 l/s.



Gráfica 5.24: Evolución del caudal de entrada y salida del depósito 3

En la gráfica 5.25 se visualiza como varía los niveles de agua del depósito 3, donde el nivel inicial es 2.00 m y desciende porque su caudal de entrada empieza a disminuir hasta cero y por los consumo de la urbanización 3, este descenso es leve debido a que el caudal de salida que

corresponde a los consumos de la urbanización 3 con un consumo medio de 3.47 l/s es muy bajo en relación al volumen de regulación del depósito que tiene una capacidad de 1361.08 m³. Cuando vuelve a ingresar agua al depósito 3 se produce un ascenso del nivel hasta los 3.05 m que es cuando se para la bomba y vuelve a descender el nivel del agua a una velocidad muy baja donde el nivel ha descendido aproximadamente 0.60 m desde las 05h00min hasta las 22h45min, que es donde vuelve a entrar agua al depósito 3. En general se puede observar que de las 24 h del día aproximadamente solo 7 h ingresa agua al depósito esto es debido a que el volumen de regulación con capacidad de 1361.28 m³ es muy amplia en relación al caudal de salida que su media es de 3.47 l/s. Sin embargo, como se ha comentado anteriormente en la propuesta 1, en un horizonte futuro donde pueda aumentar el consumo de la urbanización 3 por el incremento poblacional, la diferencia entre caudales de entrada y salida del depósito 3 disminuirán, por consiguiente ingresara caudal al depósito 3 con mayor frecuencia y de esta manera en estas condiciones futuras el depósito 3 ya no estaría sobredimensionado.



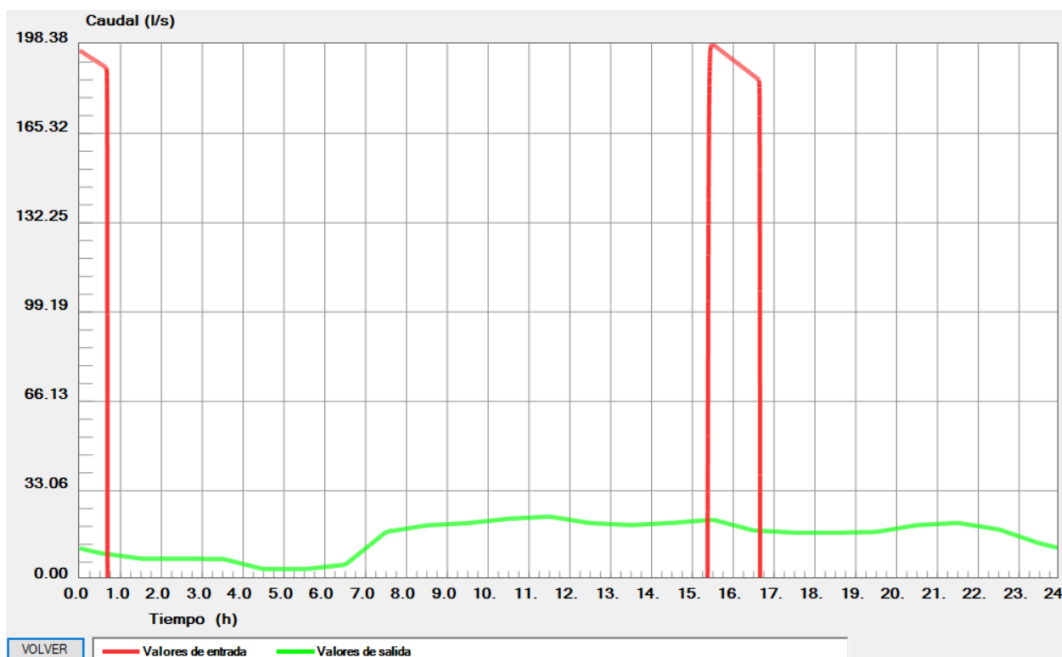
Gráfica 5.25: Evolución del nivel del agua del depósito 3

Depósito 2:

El depósito 2, su caudal de entrada es independiente de los caudales de entrada y salida en los depósitos 3 o 4, este depósito está desconectado del sistema de impulsión por bombeo por el depósito 4 que alimenta por gravedad al depósito 2. El caudal de entrada varía levemente de acuerdo a los consumos producidos por la urbanización 4 que está ubicada aguas arriba de este depósito 2. Cuando el depósito 2 alcance su nivel máximo se cerrará la válvula de llenado y el caudal a la entrada será nulo. Mientras que el caudal de salida varía de acuerdo a los consumos de la urbanización 2 que es alimentado por este depósito 2.

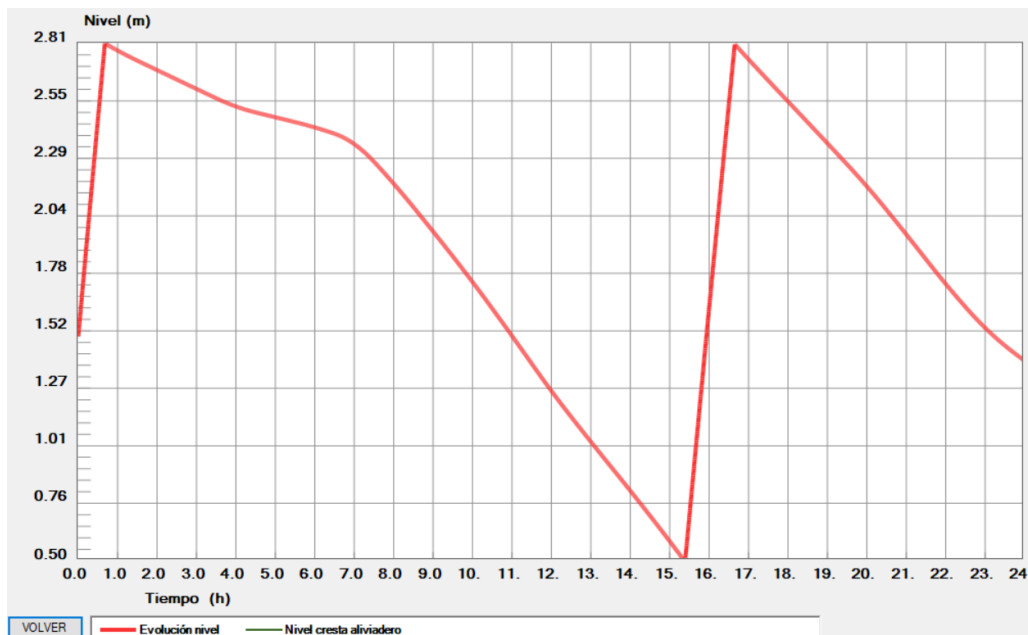
En la gráfica 5.26 se observa que el caudal inicial del depósito 2 es 198.47 l/s, variando ligeramente hasta que se cierra su válvula de llenado a las 0h45min aproximadamente. La diferencia entre caudal de entrada y salida es bastante amplia, es por eso que cuando el agua llegue a su nivel máximo y se cierre sus válvulas tardará un tiempo bastante prolongado en bajar el agua su nivel mínimo para que se abra de nuevo válvula es así que desde las 0h45min

hasta las 15h15 min el caudal de entrada será nulo, en ese instante se abrirá la válvula y se alcanzará su caudal máximo de entrada hasta las 16h45 min cuando nuevamente el depósito 2 alcance su nivel máximo, se cierre de nuevo la válvula de llenado y el caudal de entrada volverá a ser nulo hasta que otra vez se el nivel descienda a su mínimo y se volverá el proceso ya mencionado. En general se puede observar que aproximadamente solo 2h30min de las 24h ingresa agua al depósito, por lo que se puede concluir que la capacidad de regulación es muy alta y subutilizada con respecto al caudal de salida o consumos de la urbanización 2. Sin embargo, en un horizonte futuro donde podrá aumentar los consumos de la urbanización 2 por un crecimiento poblacional, la diferencia entre caudales de entrada y salida del depósito 2 disminuirán y por lo tanto la capacidad del depósito 2 estará menos subutilizado.



Gráfica 5.26: Evolución del caudal de entrada y salida del depósito 2

En la gráfica 5.27 se visualiza como varían los niveles del depósito 2 de acuerdo a los caudales de entrada y salida. El nivel inicial del depósito es 1.50 m y en poco tiempo a las 0h45 min se alcanza el nivel máximo de 2.80 m debido a la gran diferencia de caudales de entrada y salida como se comentó anteriormente. En ese instante deja de entrar agua al depósito y baja el nivel del agua de acuerdo a la variación del caudal de salida o consumos de la urbanización 2 hasta que aproximadamente a las 15h15 min el nivel baja a su mínimo cuando la válvula se abre, por lo tanto vuelve a ingresar agua al depósito y se llena rápidamente el depósito hasta que asciende a su nivel máximo a las 16h45 min cuando de nuevo se cierra la válvula y el caudal de entrada vuelve a ser nulo, bajando nuevamente el nivel del agua y seguirá la evolución de niveles de acuerdo a los controles programados en la válvula de llenado del depósito.



Gráfica 5.27: Evolución del nivel del agua en el depósito 2

5.2.10 Energía consumida por la Estación de bombeo

En la siguiente tabla 5.12 se puede observar el cálculo obtenida de la energía consumida por la estación de bombeo, donde se consumió un a energía tota del 1162.42kwh en el día.

Bomba	Caudal Bombeado Q_b (l/s)	Altura de bombeo H_b (m)	Rendimiento Bomba η (%)	Potencia (kw)	Periodo Funcionamiento (h)	Energía E (Kwh)
B1	67.95	150.44	81.84	122.53	00h00 - 05h00	612.66
B1	67.95	150.44	81.84	122.53	19h30 - 24h00	551.39
Energía Total						1164.04 Kwh

Tabla 5.12: Energía consumida por la estación de bombeo

5.3 Propuesta 3: Regulación del Depósito 3 mediante controles de paradas y arranque en la Estación de Bombeo.

Esta propuesta es similar a la propuesta segunda donde la regulación del depósito será mediante un control automatizado directo con la estación de bombeo para parar o poner en marcha la bomba de acuerdo a niveles de referencia del depósito de impulsión. La diferencia con la segundo propuesta consiste en prescindir de la construcción del nuevo depósito y también de la arqueta existente cerrando las válvulas de entra y de salida y abriendo la válvula del by-pass de la arqueta. De esta manera el caudal impulsado por la estación de bombeo alimentará a todas las demandas del sistema que son el depósito 3, urbanización 4 y depósito 2. El depósito 3 será regulado directamente con controles de parada y puesta en marcha la estación de bombeo de acuerdo a los niveles fijados en este depósito. Mientras que el depósito 2 será regulado con el cierre y abertura de su válvula de llenado de acudo a los niveles fijados en el depósito 2.

Hay que recordar que este depósito 3 es de propiedad privada y cuenta con una válvula de retención para evitar que el agua de este depósito regrese a la conducción principal, por lo cual se debe ver la posibilidad que la empresa de agua potable responsable de la zona pueda

alquilar o comprar este depósito 3. También es importante mencionar que el volumen de regulación del depósito 3 es subutilizado debido a que los consumos de la urbanización 3 que es alimentada por este depósito son bajos con un consumo medio es de 3.47 l/s en relación a la capacidad de regulación del depósito de 1361.68 m³. Por lo tanto este depósito tiene la capacidad suficiente para que forme parte del sistema de conducción y que pueda alimentar también a la urbanización 4 con un consumo medio de 3.47 l/s y al depósito 2.

En la siguiente figura 5.5 se observa el esquema del sistema de conducción representado en Allievi, donde se visualiza la eliminación de la válvula de retención del depósito y el aislamiento de la arqueta del sistema cerrando sus válvulas a la entrada y salida y abriendo la válvula del by-pass.

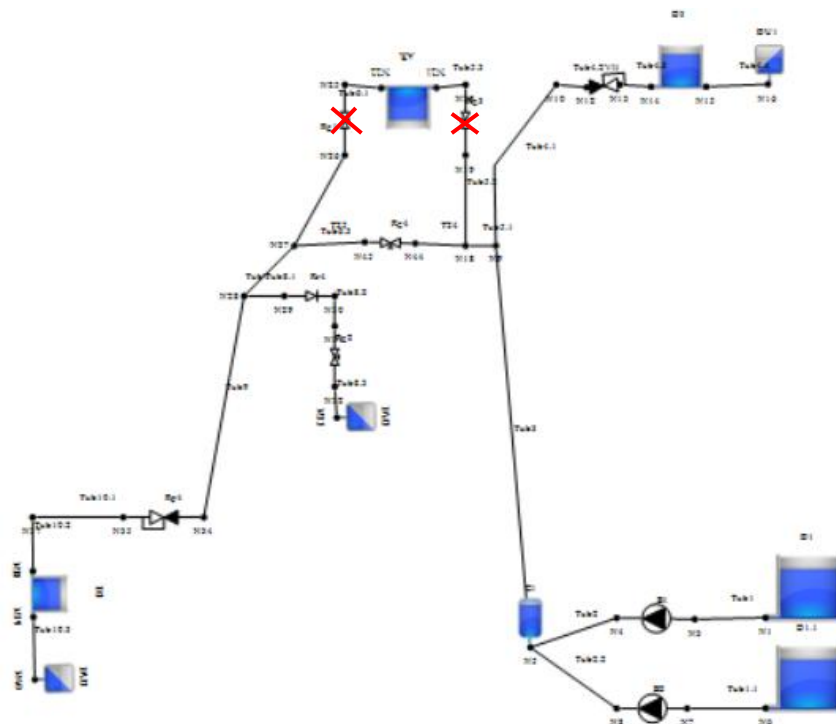


Figura 5.5: Esquema del sistema con la propuesta 3

5.3.1 Niveles en el Depósito de Impulsión para Arranque y Parada de la bomba

Al igual que la propuesta dos, el nivel máximo del depósito 3 para la parada de la bomba es 0.5 m menos de la altura total del depósito dejando este medio metro como resguardo de seguridad de desbordamiento, mientras que el nivel mínimo es 0.5 m desde la fondo del depósito dejando un volumen de seguridad o reserva de 194.00 m³. Por lo tanto los datos ingresados al programa fueron: la cota máxima para la parada de la bomba es 252.00 m y la holgura para la puesta en marcha de la bomba es 3.5 m o cota mínima de 248.50 m, como se puede observar en la tabla 5.13.

EB	Denominación	Depósito aspiración	Zona	Cota mín (m)	Holgura (m)	Depósito impulsión	Zona	Cota máx (m)	Holgura (m)
1	B1	----				D3		252	3.5

Tabla 5.13: Datos de cota máx. y mín. para la regulación del depósito de impulsión

5.3.2 Duración de Arranque y Parada del equipo de Bombeo

Como se explicó anteriormente en el funcionamiento de la estación de bombeo, la duración del proceso de parada de una bomba se ha fijado un tiempo de 20 segundos desde que se va cerrando paulatinamente la válvula de control y se da la orden de parar la bomba. En el proceso de arranque de una bomba desde que arranca y se va abriendo la válvula progresivamente al 100% para impulsar el caudal se ha estimado un tiempo de 15 segundos. En la tabla 5.14 se puede observar los datos de funcionamiento de la bomba ingresados al programa.

ORDENACION ARRANQUES DE ESTACIONES DE BOMBEO						
Núm Estaciones de Bombeo <input type="text" value="2"/>						<input type="button" value="Cont"/>
EB	Denominación	Modo de bombeo	Duración arranque (s)	Duración parada (s)	Desfase entre arranques (s)	EB con arranque anterior
1	B1	1	15	20		---

Tabla 5.14: Datos del funcionamiento de paradas y arranques de la estación de bombeo

5.3.3 Control en la Válvula de llenado para el Depósito 2

La válvula de llenado en el depósito 2 funcionará de tal manera que cuando se haya alcanzado el nivel máximo en el depósito 2 la válvula se cerrará en un tiempo que se ha estimado de 120 s, de tal manera que no se generen efectos indeseados por el fenómeno transitorio. Mientras que cuando el nivel del depósito 2 haya descendido al mínimo la válvula de llenado se abrirá igualmente en un tiempo fijado de 120 s. El nivel máximo que se ha fijado en el depósito es 0.5 m menos de la altura máxima del depósito mientras que el nivel mínimo se ha fijado una altura de 0.5 m desde el fondo del depósito. Es decir que la cota máxima en el depósito es 213.75 m y la cota mínima 211.50 m, recordando que el depósito está ubicado en la cota 211 m y tiene una altura total de 3.25 m.

En la siguiente tabla 5.15 se observa los datos ingresados para el control de la válvula de llenado en el depósito 2.

VÁLVULAS DE LLENADO DE DEPÓSITOS						
						<input type="button" value="Cont"/>
ECQ	Denominación	Ramal	Depósito a llenar	Zona a llenar	Sentido de funcionamiento	Tiempo (s) maniobra
5	Rp3	1	D2		Ascendente	120

LEY DE LLENADO		
Estructura	<input type="text" value="Rp3"/>	<input type="button" value="Cont"/>
Ramal	<input type="text" value="1"/>	Núm puntos <input type="text" value="2"/>
Punto	Cota (m)	Apertura (%)
2	213.75	0
1	211.5	100

Tabla 5.15: Datos para el control de la válvula de llenado del depósito 2

5.3.4 Variables Hidráulicas en las Conducciones

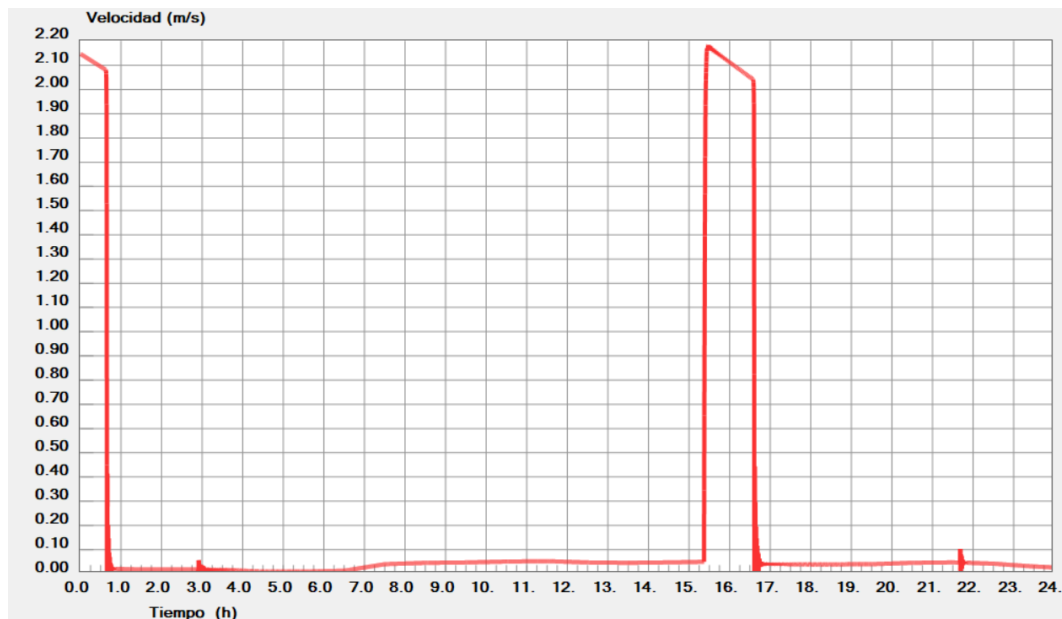
En la tabla 5.16 se observa los cálculos hidráulicos obtenidos en régimen permanente del sistema, donde se puede destacar un caudal negativo a la entrada del depósito 3 ($Q_e = -139.31$

l/s) lo que significa que inicialmente el depósito 3 se está vaciando alimentando al sistema de conducción principal, por lo tanto en un inicio todo el caudal impulsado por la bomba esta fluyendo por el by-pass de la arqueta de rotura y no al depósito 3, debido a que la altura piezométrica del nivel del agua del depósito 3 es 250.00 m que está más elevado que la cota del by-pass de la arqueta ubicado en una cota de 242.81 m. Cuando la altura piezométrica del nudo inicial del by-pass alcance la altura de nivel del agua del depósito 3, el caudal impulsado empezará a ingresar a dicho depósito. En cuanto a las velocidades se observa que la velocidad en las tuberías de impulsión es ($v = 0.54$ m/s) y en las tuberías que funcionan a gravedad es ($v = 2.06$ m/s). Estas velocidades cumplen con lo que recomienda "La guía técnica para transporte de agua en tuberías a presión CEDEX" donde se recomienda una velocidad máxima permisible de 2.5 m/s y una mínima de 0.2 m/s por lo tanto estas tuberías no tendrán problemas de erosión en velocidades altas ni acumulación de sedimentos o pérdida de concentración de cloro por velocidades bajas.

Descripción	Etiqueta	Q (l/s)	v (m/s)	F. Fric	Perd. Fric (m)
Tub. Aducc. D1	Tub1.1	67.95	0.54	0.0156	0.00
Tub. Impulsión	Tub2.1	67.95	0.54	0.0156	0.00
Tub. Impulsión	Tub3.1	67.95	0.54	0.0156	2.91
Tub. Impulsión	Tub3.2	65.95	0.52	0.0157	1.00
Tub. Impulsión	Tub3.3	65.95	0.52	0.0157	0.44
By pass Arqueta	Tub4.2	206.47	2.15	0.01239	0.04
Tub. Entrada D3	Tub5.1	-139.31	-1.11	0.01361	-0.01
Tub. Conduc. gravedad	Tub7.1	198.47	2.06	0.0125	6.96
Tub. Conduc. gravedad	Tub9.1	195.95	2.04	0.0125	27.52
Tub. Entrada D2	Tub10.2	195.95	2.04	0.0125	0.08
Tub. Entrada D2	Tub10.1	195.95	2.04	0.0125	0.08

Tabla 5.16: Cálculos de variables hidráulicas en las conducciones en régimen permanente.

Sin embargo, es importante destacar en los periodos cuando esta parada la estación de bombeo y están cerradas las válvulas a la entrada de los depósitos, se producen velocidades muy bajas del orden de 0.05 m/s en las conducciones como se puede observar en la gráfica 5.28 debido a que el agua solo fluye hacia la urbanización 4 y los caudales de circulación en la conducción a gravedad varían de acuerdo a los consumos producidos que tiene un consumo medio de 3.47 l/s, que es un caudal muy bajo en relación al diámetro de las conducciones a gravedad de 350 mm. Dado a estas velocidades bajas que se producen puede afectar de manera significativa a la disminución de la concentración de cloro en el sistema.

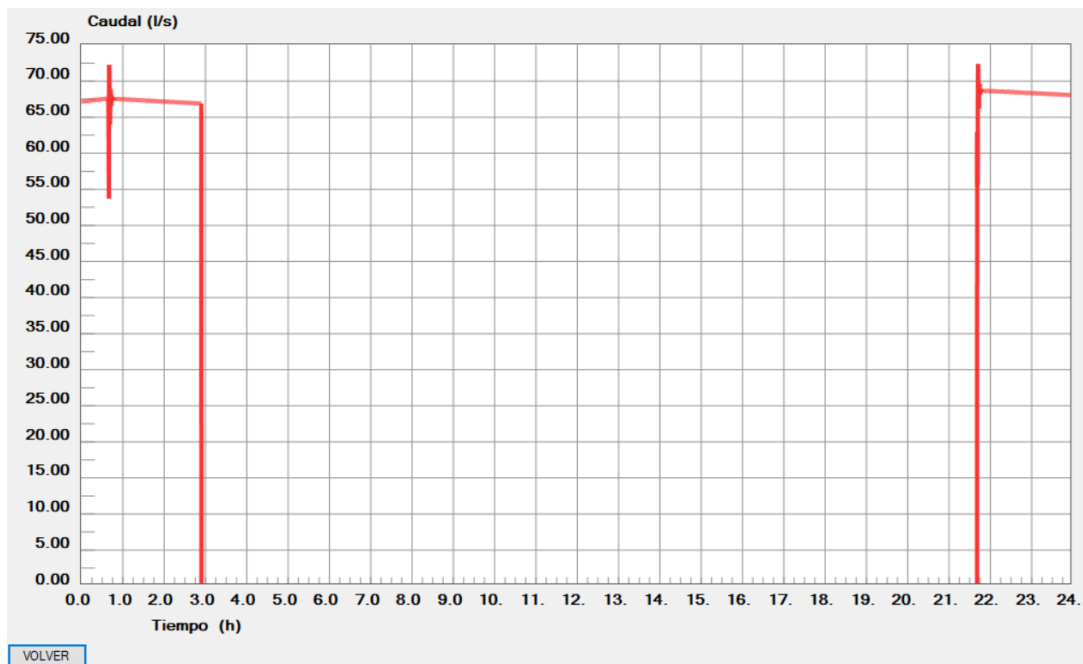


Gráfica 5.28: Variación de velocidades en la conducción a gravedad

5.3.5 Evolución de Caudales y Presiones en la estación de bombeo

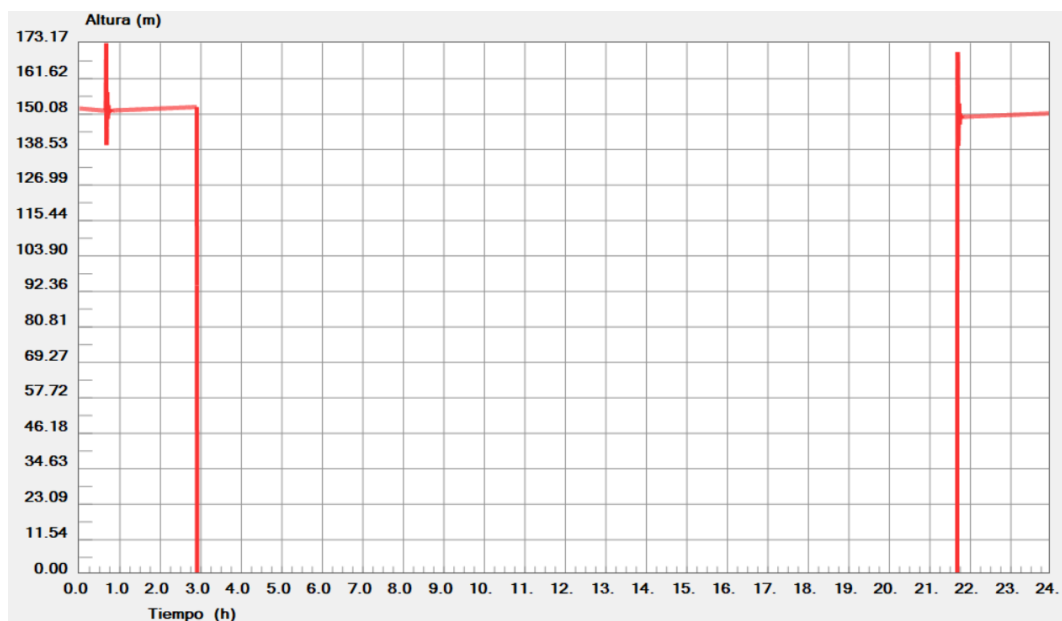
En esta alternativa, al igual que en la primera y segunda alternativa se decidió en aumentar la velocidad de giro de la bomba del 90% al 100% de la velocidad nominal dado que la bomba tiene un mejor rendimiento en el punto de funcionamiento, donde el caudal de bombeo es ($Q_b = 67.95 \text{ l/s}$), la altura de bombeo es ($H_b = 150.44 \text{ m}$) y un rendimiento de ($\eta = 81.82\%$).

La estación de bombeo impulsa un caudal para alimentar al depósito 3 y dado que no existen consumos de urbanizaciones en el tramo de impulsión por bombeo, el caudal de impulsión es prácticamente constante cuando se encuentre funcionando la bomba, mientras que cuando la bomba se encuentre parada obviamente el caudal impulsado es nulo, como se puede observar en la siguiente grafica 5.29 donde el caudal impulsado casi no varía cuando está en marcha la bomba, existiendo unas oscilaciones de caudal en un periodo de tiempo muy corto que se da en el proceso de parada y arranque de la bomba o cuando se cierra la válvula de llenado del depósito 2.



Gráfica 5.29: Evolución del caudal impulsado por la estación de bombeo

En cuanto a la evolución de la altura de bombeo, es igualmente prácticamente constante cuando se encuentra en funcionamiento la bomba y produciéndose oscilaciones en la altura de bombeo cuando en el proceso de parada o arranque de la bomba y cuando se cierra la válvula del depósito 2, como se puede observar en la gráfica 5.30.

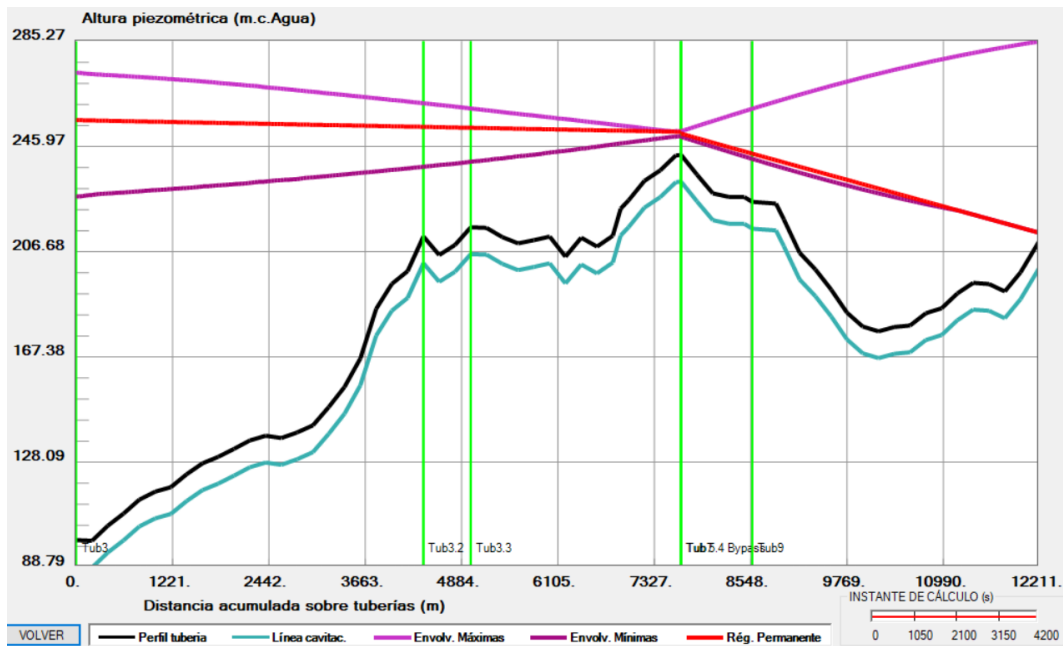


Gráfica 5.30: Evolución de la altura de bombeo

5.3.6 Envoltentes de Alturas piezométricas en las conducciones.

Las maniobras realizadas como parada y arranque de la bombas, así como también el cierre de la válvula de llenado a la entrada del depósito 2 fueron realizadas de manera controlada por lo que en la siguiente gráfica 5.31 se puede observar que la envolvente de presiones máximas no son excesivas, donde la presión máxima que se produce es de 175 m aproximadamente. Además también se observa que no se tienen presiones negativas en la envolvente de

presiones mínimas. Por lo tanto estas sobrepresiones o depresiones no serán de riesgo para la instalación del sistema.



Gráfica 5.31: Envolventes de alturas piezométricas en la conducción del sistema

5.3.7 Evolución de Caudales de Entrada/Salida y Niveles en los depósitos

Depósito 3:

En esta propuesta de mejora del sistema, el depósito 3 forma parte del sistema de conducción, por lo que este depósito tiene la función de alimentar a los consumos de la urbanización 3 así como también al depósito 2 y a la urbanización 4 que están ubicados aguas abajo del depósito 3. Por lo tanto solo existirá caudal de entrada al depósito 3 cuando esté en funcionamiento la estación de bombeo. Este caudal de entrada varía según lo que también el caudal de impulsión alimenta a la urbanización 4. Sin embargo esta variación no es muy apreciable debido a que el caudal impulsado es 67.95 l/s mientras que el consumo medio de la urbanización 4 es 3.47 l/s. Mientras que cuando permanece parada la estación de bombeo el caudal del depósito 3 regresa al sistema alimentando a la urbanización 4 y depósito 2. En cuanto al caudal de salida del depósito 3 varía de acuerdo a los consumos producidos en la urbanización 3.

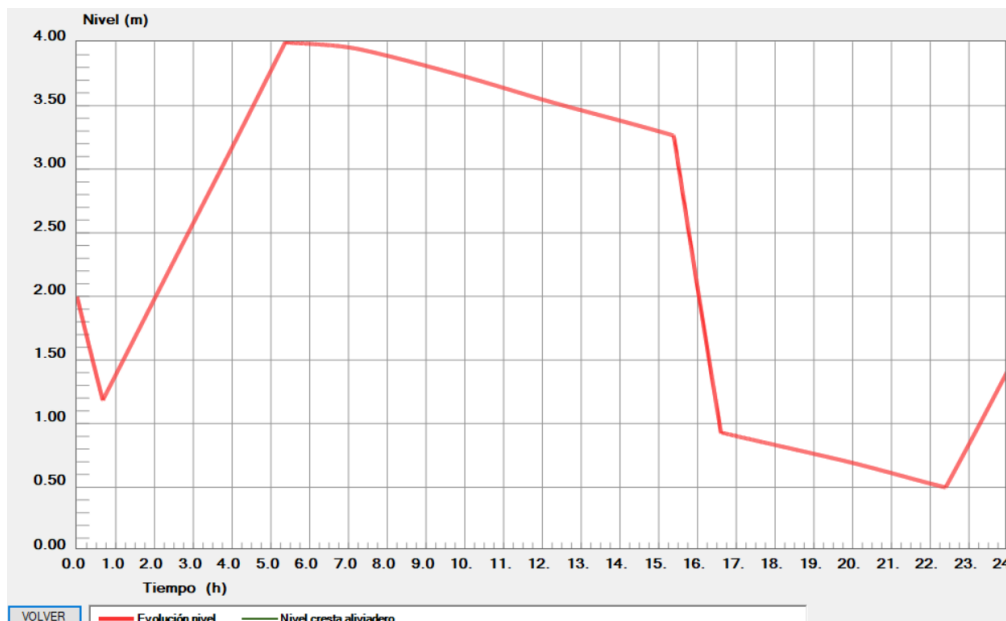
En la gráfica 5.32 se visualiza que en el inicio hay un caudal de entrada negativo de -139.31 l/s, lo que simboliza que este caudal está regresando al sistema de conducción alimentando a la urbanización 4 y depósito 2 y por lo tanto no está ingresando agua al depósito 3. En el instante 0h45min se observa que el caudal impulsado está alimentando al depósito 3 que es cuando se cierra la válvula a la entrada del depósito 2, por lo tanto toda la conducción a gravedad se llena entrando a presión lo que permite que el caudal que impulsa la bomba pueda ingresar al depósito 3 y también siga alimentando a los consumos de la urbanización 4, hasta que en el instante 05h15min que es cuando el depósito 3 alcance su nivel máximo y se produce la parada de la bomba, por consiguiente el depósito 3 deja de ser alimentado y el agua regresa al sistema principal para que pueda alimentar a los consumos producidos en la urbanización 4. Cuando se vuelva a abrir la válvula del depósito 2 a las 15h15min aproximadamente, el caudal del depósito 3 que regresa al sistema aumenta de manera brusca para alimentar de nuevo al

depósito 2, hasta que este último llegue a su nivel máximo a las 16h45min y se cierre la válvula de entrada, por lo tanto el caudal que regresa del depósito 3 vuelve a disminuir debido que solo alimenta a la urbanización 4 hasta que el nivel del agua del depósito 3 desciende al nivel mínimo que se produce a las 22h15min. En ese instante se pone en marcha la bomba impulsando un caudal para alimentar de nuevo al depósito 3. Mientras que el caudal de salida varía según los consumos producidos en la urbanización 3.



Gráfica 5.32: Evolución del Caudal de Entrada y Salida del depósito 3

En la gráfica 5.33 se evidencia la evolución del nivel del agua en el depósito 3, donde el nivel inicial del agua es 2.00 m y desciende el nivel debido a lo que se explicó en el anterior párrafo que en un inicio no ingresa agua al depósito 3. Cuando empieza entrar caudal al depósito 3 a las 0h45min aumenta el nivel de manera rápida hasta llegar a nivel máximo, recordando que el caudal de entrada es muy superior en relación al caudal de salida, en ese instante a las 05h15min se para la bomba por lo que vuelve a descender el nivel de agua del depósito 3. A las 15h15min cuando se abre la válvula del depósito 2, el nivel del depósito 3 desciende rápidamente hasta las 16h45min cuando se vuelve a cerrar la válvula del depósito 2 por lo que el nivel del agua desciende más lento hasta que cuando llega al nivel mínimo a las 22h15min la bomba se pone de nuevo en marcha alimentando de esta manera al depósito 3 por lo que vuelve a subir de nuevo el nivel del agua.

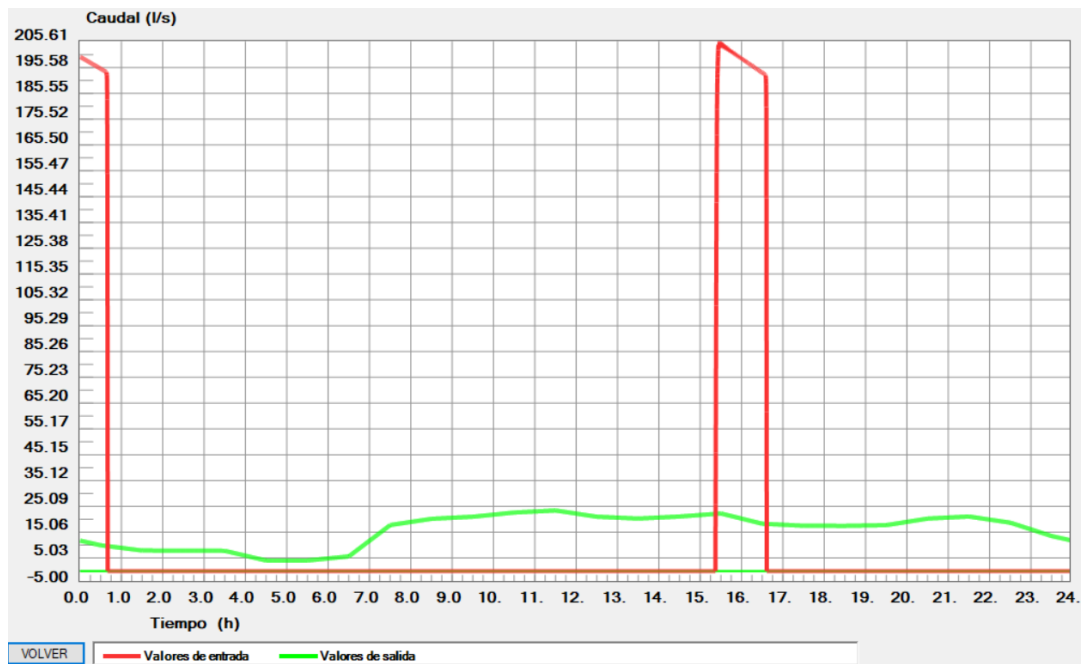


Gráfica 5.33: Evolución del nivel del agua en el depósito 3.

Depósito 2:

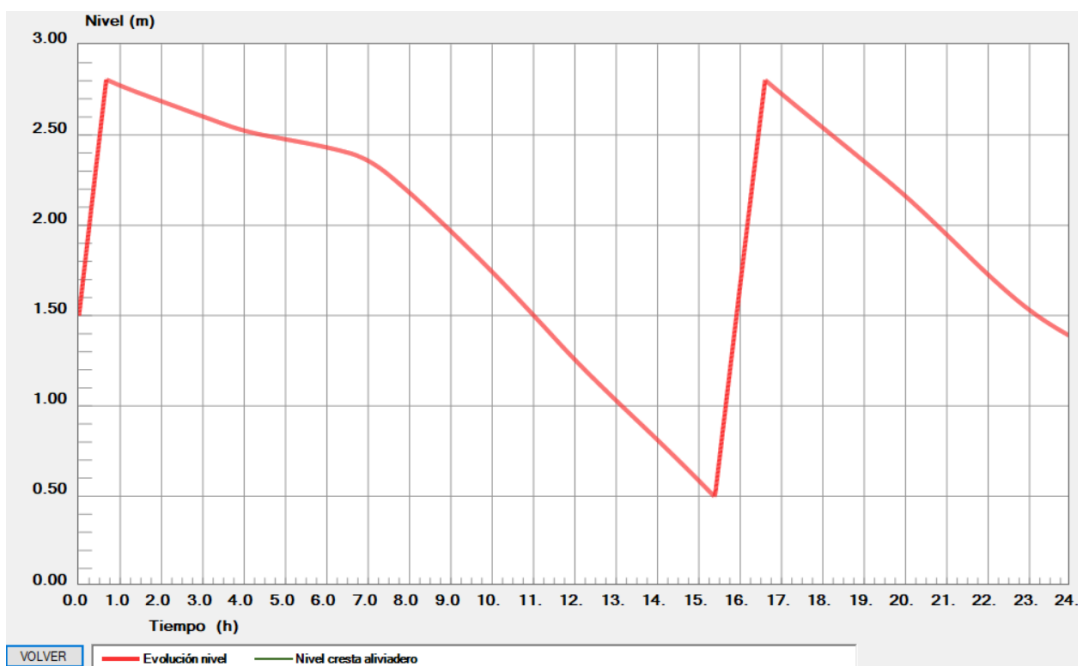
Este depósito 2 es alimentado por el caudal impulsado de la estación de bombeo y por el depósito 3. Es así que cuando esta parada la estación de bombeo, el depósito 2 es alimentado por el depósito 3, mientras que cuando está en marcha la estación de bombeo es alimentado por la bomba. El caudal de entrada varía según la demanda de consumos de la urbanización 4 producidos aguas arriba del depósito 4. Sin embargo, esta variación de caudal es casi imperceptible debido a que el consumo medio de la urbanización 4 es 3.47 l/s mientras que el caudal que circula hacia el depósito 2 es de 206.47 l/s. El caudal de entrada al depósito 2 se convierte en nulo cuando este depósito alcanza su nivel máximo y se cierra la válvula de llenado. Mientras que el caudal de salida varía de acuerdo a los consumos producidos en la urbanización 2 que tiene un consumo medio de 16.20 l/s

En la gráfica 5.34 se observa que el caudal de entrada inicial en el depósito 2 es 195.95 l/s hasta que en el instante 0h45min se cierra la válvula de llenado debido a que el nivel del depósito ha llegado a su máximo, por lo que el caudal de entrada es nulo hasta que a las 15h15min cuando el nivel del depósito a descendido al nivel mínimo se abre de nuevo la válvula de llenado ingresando el caudal al depósito y rápidamente a las 16h45min se vuelve a cerrar la válvula de llenado al llegar el depósito a su nivel máximo donde otra vez el caudal de entrada pasa a ser nulo hasta que nuevamente se vuelve abrir la válvula de llenado del depósito 2. De formar general se puede notar que de las 24 h de la simulación, aproximadamente solo 2 h es alimentado el caudal 4, debido a que la diferencia entre el caudal de entrada y salida es muy amplia donde el caudal de entrada es 206.47 l/s mientras que el consumo medio a alimentar es 16.20 l/. Además su volumen de regulación es muy amplio con una capacidad de 761.53 m³. Sin embargo, como se ha comentado en la propuesta 1 y 2 en condiciones futuras donde pudiera aumentar el consumo de la urbanización 2 la capacidad del volumen de regulación del depósito 2 estará menos subutilizada.



Gráfica 5.34: Evolución del caudal de entrada y salida del depósito 2

En la gráfica 5.35 se muestra la evolución del nivel del agua en el depósito 2, donde el nivel inicial es 1.50 m y el nivel asciende de manera rápida a su nivel máxima que es 2.80 m a las 0h45min, debido a lo que se explico anteriormente una gran diferencia entre caudal de entrada y salida. En ese instante se cierra la válvula de llenado donde el caudal de entrada es nulo por lo que el nivel del agua desciende hasta las 15h15min que es cuando el nivel ha descendido al nivel mínimo de 0.50 m, la válvula de llenado se vuelve a abrir para alimentar al depósito 2, por lo que asciende rápidamente el nivel del agua hasta llegar al máximo a las 16h15min donde se vuelve a cerrar la válvula de llenado hasta que nuevamente descienda a su nivel mínimo para que se vuelva a abrir la válvula y se pueda alimentar al depósito 2.



Gráfica 5.35: Evolución del nivel del agua en el depósito 2

5.3.8 Energía consumida por la estación de bombeo

En la siguiente tabla 5.17 se puede observar el cálculo obtenida de la energía consumida por la estación de bombeo, donde se consumió un a energía tota del 643.28kwh en el día.

Bomba	Caudal Bombeado Q_b (l/s)	Altura de bombeo H_b (m)	Rendimiento Bomba η (%)	Potencia (kw)	Periodo Funcionamiento (h)	Energía E (Kwh)
B1	67.95	150.44	81.84	122.53	00h00 - 03h00	367.59
B1	67.95	150.44	81.84	122.53	21h45 - 24h00	275.69
Energía Total						643.28 Kwh

Tabla 5.17: Energía consumida por la estación de bombeo

6 Capítulo 6. Estudio de los Transitorios Hidráulicos

El presente capítulo tiene como objetivo de estudiar los fenómenos transitorios producidos por una maniobra brusca en la instalación. Para este estudio se analizará los fenómenos transitorios que pudieran producirse por una parada accidental del grupo de bombeo en el tramo de impulsión y por una maniobra inadecuada en un cierre rápido de una válvula a la entrada de los depósitos en el tramo de impulsión como en el tramo de conducción a gravedad. Una vez evaluado los fenómenos transitorios, se determinará las estructuras de protección a instalar o definir un sistema de operación para contrarrestar los transitorios. Es importante mencionar que las tres propuestas de mejoras se manejan caudales y presiones muy similares, difiriendo únicamente en los mecanismos de regulación, por tal razón el análisis de transitorio en las tres propuestas serán prácticamente iguales.

6.1 Consideraciones para el estudio de los Fenómenos Transitorios

Para el análisis de transitorios en la instalación del sistema se utilizará el software Allievi que es el mismo software que se utilizó para el análisis en régimen permanente y régimen extendido. Para el cálculo del análisis de transitorios el programa utilizará los fundamentos del modelo dinámico inercial elástico donde se toma en cuenta la inercia del fluido y la elasticidad de la conducción y el fluido. Por lo tanto, se tomará en cuenta la celeridad en las conducciones que son las velocidades a que se propagan las ondas de presión en las conducciones. El método numérico utilizado por el programa en el análisis de transitorios es el método de las características donde se integra las ecuaciones en instantes de tiempo Δt y en puntos concretos de la conducción, de tal manera que cumpla con la condición $\frac{\Delta x}{\Delta t} = a$, como se ha explicado en el apartado 3.2.2. Por lo tanto, es importante mencionar que en el análisis de transitorios del sistema, el tiempo de integración Δt seleccionado en el programa tendrá que ser ($\Delta t \leq \frac{L}{a}$), donde L es la longitud de las conducciones en el sistema.

Las tuberías representadas en el Allievi para unir las válvulas con los depósitos o como para representar la aspiración de la bomba desde el depósito no se les tomará en cuenta en el transitorio ya que simplemente son elementos representativos y no afectan en si a la instalación del sistema. En el esquema del sistema se ha establecido que estas tuberías tengan una longitud de 10 m y una celeridad de cero por lo que el programa en el análisis las considerará estos elementos como una oscilación en masa.

6.2 Transitorios Generados por Válvulas y Sistema de Bombeo

Transitorios Generados por Válvulas:

Los efectos que se producen en los sistemas hidráulicos a presión por la maniobra de las válvulas son la generación de fuertes o leves sobrepresiones o depresiones dependiendo del tipo de maniobra que se le realice a la válvula. Es así que el conocimiento de los diferentes transitorios por el cierre de válvulas es fundamental establecer el tipo de maniobra de operación sobre las mismas, por lo que se puede decir que existen dos tipos de maniobras para cerrar las válvulas un cierre rápido y un cierre lento que se detallará a continuación.

Cierre Rápido:

En un cierre instantáneo donde el tiempo de cierre es ($T_c = 0$), se genera la sobrepresión máxima llamado pulso de Joukowski donde ($\Delta p = \rho * a * V_0$), como consecuencia el fluido se para de manera inmediata por la válvula, mientras que el resto del fluido en la tubería va deteniéndose de manera progresiva con una celeridad de a . En el instante de cierre de la válvula la onda de presión viaja en sentido aguas arriba hasta el origen que puede ser un depósito donde llega en un tiempo $t = L/a$ y se refleja la onda invirtiendo el signo de la sobrepresión hasta que en el instante $t = 2L/a$ la onda llega nuevamente a la válvula que generó el transitorio. Si $T_c > 0$ pero sin embargo $T_c < 2L/a$, se alcanzará la máxima sobrepresión en la válvula antes de que las primeras ondas que partieron de la válvula estén de vuelta con el signo contrario. A un cierre como este se le denomina como cierre rápido en la que el cierre no impide que se alcance la máxima sobrepresión de Joukowski. (Iglesias et al. 2003a)

Cierre Rápido:

Cuando el tiempo de cierre $T_c > 2L/a$, la válvula a un no se habrá cerrado por completo cuando las primeras ondas negativas estén de vuelta a la válvula. Estas ondas negativas, tras el nuevo reflejo con la válvula, se originarán unas nuevas ondas negativas que se compensarán con las ondas positivas que todavía produce la válvula que aún no está cerrada, por lo tanto no se alcanzará la máxima sobrepresión de Joukowski, este tipo de cierre se lo denomina cierre lento. (Iglesias et al. 2003a)

Sin embargo, estos conceptos de cierre lento o cierre rápido son difícilmente extrapolables a la realidad hablando de cierre de válvulas reales. Estos conceptos tan solo son una orientación para estimar el cierre adecuado de una válvula para evitar sobrepresiones y depresiones excesivas, pues la evolución de velocidades de cierre de la válvula no depende de la maniobra, sino que es un resultado de la operación sobre la válvula y la influencia de la misma sobre el sistema. (Iglesias et al. 2003a)

El comportamiento de una válvula en régimen transitorio se lo expresa mediante la siguiente ecuación:

$$Q = K_v(\theta) * \sqrt{\Delta H} \quad (8)$$

Donde $K_v(\theta)$ es el coeficiente de caudal en función del grado de apertura θ , (K_{v_0} es para válvula completamente abierta es decir $\theta=1$ y $\theta=0$ cuando la válvula está completamente cerrada) y ΔH es la caída de presión o de altura piezométrica en la válvula.

Para emplear el coeficiente de pérdidas $K(\theta)$ en lugar del coeficiente del caudal $K_v(\theta)$, la expresión se lo representa mediante la siguiente ecuación:

$$\Delta H = K(\theta) * Q^2 \quad (9)$$

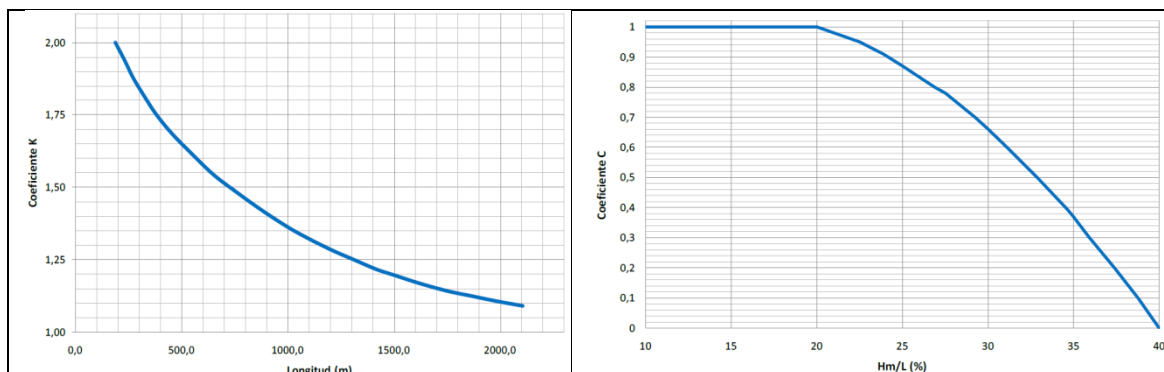
El grado de apertura es una función del tiempo $\theta(t)$, ya que durante el tiempo maniobra de la válvula se modificará el grado de apertura θ .

Transitorios Generados por Bombas:

En el caso de una impulsión simple mediante bombeo la situación más desfavorable se produce tras la parada accidental de la bomba por un fallo eléctrico del motor de arrastre, donde las sobrepresiones máximas y mínimas se producen al pie de la estación de bombeo. Existen formulas empíricas que permiten estimar la sobrepresión máxima producida tras la parada del grupo de bombeo, el instante de cierre de la válvula de retención de la bomba o la máxima velocidad de rotación inversa del grupo motor bomba cuando no se instala la válvula de retención (Abreu, Espert, and Et Al 2012). Es así que la fórmula de Mendiluce trata de calcular el tiempo de cierre de la válvula de retención cuando se produce la parada de la bomba, para según este tiempo poder determinar la máxima sobrepresión o depresión producida en la instalación. En síntesis la ecuación de Mendiluce para el cálculo del tiempo de cierre de la válvula de retención T_{CVR} está en función de los datos de la instalación como se muestra en la siguiente expresión:

$$T_{CVR} = C + \frac{k * Lt * Vo}{g * Hb} \quad (10)$$

Donde C y K son coeficientes de ajuste de la pendiente de la tubería y de su longitud respectivamente como se observa en la gráfica 6.1, Lt es la longitud de la tubería, Vo es la velocidad en régimen del fluido y Hb la altura proporcionada por la bomba.



Gráfica 6.1: Coeficientes de ajuste de la ecuación de Mendiluce

Cuando el tiempo de cierre de la válvula de retención T_{CVR} es menor que el tiempo característico de la tubería ($T_c = 2L/a$), la parada de la bomba se le considera como rápida y para determinar la máxima depresión o sobrepresión producida por la parada de la bomba se lo determina mediante la expresión del pulso máximo de Jaoukowski ($\Delta H = \frac{a * Vo}{g}$). Mientras que si el tiempo de cierre de la válvula de retención T_{CVR} es mayor que el tiempo característico de la tubería T_c , la parada de la bomba se le considera lenta, calculándose la máxima depresión o sobrepresión mediante la expresión de Michaud ($\Delta H = \frac{2 * Lt * Vo}{g * T_{CVR}}$). Sin embargo, estas expresiones no son más que una simple orientación para los fenómenos producidos por la parada de una bomba debido a que estas expresiones son a partir de consideraciones basadas en modelo rígido, en tanto que la sobrepresión real de un transitorio es a partir del modelo elástico. (Abreu, Espert, and Et Al 2012)

Por tal motivo el presente sistema en estudio para verificar los fenómenos transitorios producidos por el paro de una bomba se lo verificará en el modelo de simulación de Allievi. Sin embargo para evaluar los transitorios generados por la bomba en este proyecto se tomarán algunas consideraciones. Debido a la falta de información del fabricante de la bomba en estudio con respecto a la curva del funcionamiento de la bomba, donde el fabricante solo proporciona la curva convencional cuando el $Q_b > 0$, $H_b > 0$, $N > 0$, la curva adoptada para la bomba en el Allievi es la curva de característica universal de Marchal y Suter en la cual se puede reproducir de manera aceptable el comportamiento generalizado de la bomba cuando por ejemplo el flujo del agua es inverso dando un caudal de bombeo negativo o cuando la velocidad de giro de la bomba es inverso que son fenómenos que se pueden dar cuando la bomba se para. Adicionalmente, a la falta de datos de la inercia de la bomba proporcionada por el fabricante la cual es un parámetro muy influyente para el cálculo de transitorios en la parada accidental de una bomba, se adoptará la siguiente expresión empírica para calcular la inercia del rodete de la bomba desarrollada por Thorley (2004)

$$I = 0.03768 * \left(\frac{P}{N^3}\right)^{0.9556} + 0.0043 * \left(\frac{P}{N}\right)^{1.48} \quad (11)$$

Donde P (Kw) es la potencia de la bomba en su punto de funcionamiento, N es la velocidad de rotación del rodete en miles de rpm.

6.3 Estructuras de Protección frente a los Fenómenos Transitorios

Las consciencias de una maniobra inadecuada en las operaciones del sistema o la parada accidental de una bomba, con fluctuaciones de presiones o depresiones excesivas pueden provocar el fallo del material de las conducciones y equipos. Los daños que se pueden producir se puede destacar la rotura de conducciones por presiones excesivas o inundaciones por vaciado de tubería, colapso de las conducciones por depresiones excesivas, fallo por fatiga del material de las conducciones y de los equipos debido a las excesivas fluctuaciones de presiones y vibraciones, roturas o colapsos por fenómenos de la resonancia hidráulica. Por lo tanto es necesario invertir en el análisis de estrategias de operación o estructuras de protección para contrarrestar las sobrepresiones y depresiones en un transitorio para evitar los fallos en las instalaciones hidráulicas del sistema. A continuación se describirá las estructuras de protección que se podrían instalar en el sistema con el fin de ralentizar el transitorio.

- **Volantes de Inercia:** El objetivo de este dispositivo es incrementar el valor del momento de inercia de las masas rodantes de la bomba, acoplado al eje un volante de inercia que incremente el valor de la inercia con el fin de que la caída de las velocidades de rotación de la bomba sea más lenta cuando se para la bomba y por lo tanto la evolución del caudal sea más lento. Esta ralentización dará menores vibraciones de transitorios. Sin embargo esta instalación resulta una fuerte inversión en instalaciones grandes y la colocación de este dispositivo resulta complejo para bombas verticales como es el caso de este sistema de conducción en estudio. (Iglesias et al. 2003b)
- **Chimeneas de Equilibrio:** Son depósitos intermedios abiertos a la atmósfera de sección recta y conectados directamente a las conducciones para dividir estas

conducciones de manera que se puedan limitar las variaciones de presión en una impulsión entre el punto que están ubicadas y el depósito. Las chimeneas inyectaran agua en la fase depresiva por lo que la conexión entre la conducción debe tener pocas pérdidas limitando las caídas de presión al no dejar caer el caudal circulante de manera brusca, mientras que en la fase de la onda de sobrepresión retorne desde el depósito final la chimenea acumulará agua. Uno de los limitantes de esta estructura es que solo pueden ubicarse en puntos altos del perfil de la conducción pues la cota debe ser superior a la línea de altura piezométrica máxima en régimen permanente de esta manera evitando el desbordamiento de tal manera que tenga una altura suficiente que proteja el tramo entre ella y el depósito evitando depresiones a partir del lugar en el que es ubicada la chimenea y a su vez evitando el desbordamiento en la fase de sobrepresión cuando se llena la chimenea. Es evidente que no puede instalarse esta estructura cuando la diferencia entre la altura piezométrica máxima y cota geométrica de la conducción sea muy amplia. Adicionalmente, es importante que la sección de la chimenea sea lo suficientemente superior a la sección de la tubería para que su onda negativa incidente se refleje completamente y no transmitiéndose en absoluto aguas debajo de la chimenea con el fin de que este tramo quede completamente protegido. Su ventaja principal es que esta estructura tiene un manejo simple y no se necesita mayor mantenimiento. (Abreu, Espert, and Et Al 2012)

- **Calderines:** Son tanques cerrados que contienen agua y aire a presión que tiene como finalidad de amortiguar el transitorio por la parada brusca de una bomba. Su función es de convertir el transitorio en tramo de aguas abajo al que está instalado el calderín en un fenómeno más lento. Este dispositivo se lo conecta al colector de impulsión de la estación de bombeo ya que su máxima efectividad se produce en el origen de la perturbación del transitorio. La ventaja de los calderines es que no necesitan una gran altura como las chimeneas donde su cota deba ser superior a la altura piezométrica, ya que la presencia de aire a presión puede sustituir la altura de la chimenea. Sin embargo una desventaja es que necesitan un constante mantenimiento ya que el gas puede disolverse en el agua y perder gran masa de gas. Cuando se produce la parada de la bomba la presión desciende entre el calderín y la tubería de impulsión, por lo que el aire contenido en el calderín se expanda empujando el agua contenida en el calderín a la conducción, de esta manera se evita que el caudal de agua en la impulsión descienda rápidamente, es por ello que en el entronque de salida entre el calderín y la conducción la pérdida de carga sea lo más bajo posible. El nivel del agua y presión irán descendiendo es por eso que se debe calcular el volumen de agua y aire necesario para que el caudal impulsado desde el calderín sea suficiente para que el flujo en la tubería principal no caiga rápidamente y por otro lado que la cantidad de agua en el calderín sea suficiente para que no se vacíe. Una vez que se ha detenido la columna de agua que viaja hacia el depósito de impulsión, la diferencia de alturas piezométricas hará que el flujo retorne de nuevo al calderín es por eso que las pérdidas en el entronque de entrada al calderín deben ser mayores para que el agua se detenga más fácilmente y no subiendo tanto el nivel de agua en el calderín y no alcanzando el aire en su interior y no subiendo la presión del agua en la conducción. Es por eso que el entronque de salida y entrada son diferentes donde el entronque de entrada puede

tener un estrechamiento y un by-pass con el fin de proporcionar más pérdidas cuando el flujo retorne al calderín.(Abreu, Espert, and Et Al 2012)

- **Tanques Unidireccionales:** Son depósitos abiertos conectados a la conducción en los puntos más altos del perfil a proteger en un transitorio, El entronque entre la conducción y tanque unidireccional consta con una válvula de retención de tal manera que impida el flujo del agua al depósito, por lo tanto este dispositivo de protección solo aporta agua a la conducción mas no recibir agua como en el caso de calderines o chimeneas. Durante el transitorio en la fase depresiva cuando la altura piezométrica del punto de entronque alcanza valores menores a la cota de agua del tanque, la válvula de retención abre y permite el flujo del agua a la conducción con el fin de evitar que la altura piezométrica siga descendiendo en el punto de entronque y así evitando presiones negativas en el tramo de la tubería aguas abajo del tanque unidireccional. En la fase de sobrepresión, cuando la altura piezométrica del punto de entronque tenga valores más altos que la cota de agua del tanque, se activará la válvula de retención evitando el paso del agua al tanque unidireccional y el desbordamiento del mismo. Debido a esto, el limitante de los tanques unidireccionales es que solo ayuda a evitar depresiones mas no sobrepresiones. El llenado de este tanque se lo realiza mediante una válvula conectada a una tubería paralela a la conducción, la cual se activa mediante un flotador que indica el nivel del tanque, cuando desciende el nivel del tanque se va abriendo la válvula para que el sistema alimente al tanque y cuando el tanque recupera el nivel máximo se cierra la válvula de llenado. La implementación de estos dispositivos requiere un mantenimiento del tanque unidireccional lo cual hace ser una de las desventajas de la instalación de esta estructura de protección.(Iglesias et al. 2003b)
- **Válvulas de Alivio:** Son dispositivos que se colocan en derivación para producir una descarga de agua a la atmósfera o a un depósito cuando la presión en este punto de la instalación alcance un valor determinado de presión a la cual fue tarada la válvula, donde se abre la válvula y se puede producir la descarga. La idea de esta válvula es evitar que el caudal de retorno de la tubería de impulsión disminuya rápidamente al cerrarse la válvula de retención de la bomba, de manera que al abrir la válvula de alivio da lugar a un caudal de circulación que de alguna forma compensa la disminución brusca del caudal de retorno. Estas válvulas al permitir descarga de agua son muy eficaces contra las sobrepresiones sin embargo dichas válvulas no repercuten en controlar las depresiones, más bien lo contrario que en algunos casos se puede incrementar las depresiones del sistema. En general existen dos tipos de válvulas de alivio. Las proporcionales por lo general son de acción directa y utiliza un resorte para mantenerla cerrada pero cuando la sobrepresión cuando se alcanza la presión de tarado el grado de apertura de la válvula depende de la presión existente en cada momento de la conducción. Mientras que las válvulas pilotadas cuando se alcanza el valor de la presión de tarado se produce una apertura total de la válvula.(Abreu, Espert, and Et Al 2012)

6.4 Análisis de Transitorios en el Sistema con las Modificaciones Implementadas

Se procede a analizar los fenómenos transitorios en el sistema con las modificaciones realizadas en las propuestas. Como ejemplo se analizará los fenómenos transitorios del sistema con la propuesta 1 de mejoras producidos por una maniobra brusca en la válvula a la entrada del depósito 2 y por la parada de la estación de bombeo en un fallo eléctrico. Tomando en cuenta que este análisis de transitorios será similar en las propuesta 2 y 3 dado a que se manejan caudales muy similares. Pero antes de de este análisis se determinarán parámetros importantes que influyen en el análisis de transitorios que son la celeridad de las ondas de presión en las tuberías y el cálculo de la inercia de la bomba.

6.4.1 Cálculo de la celeridad

La velocidad de las ondas de presión en las conducciones o celeridad, generadas en el transitorio es un parámetro fundamental para realizar el cálculo de sobrepresiones y depresiones generadas a lo largo de las conducciones con respecto al tiempo. Por lo tanto antes de realizar el análisis de transitorios se debe calcular la celeridad en cada una de las conducciones que intervienen el sistema exceptuando tuberías de longitud pequeñas que solo fueron representadas para unir el depósito con la válvula o la aspiración del sistema de bombeo como se explico en la consideraciones de esta capítulo. Para el cálculo de la celeridad en las conducciones se lo calcula mediante la siguiente ecuación:

$$a = \frac{1440}{\sqrt{1 + \frac{D * 2.074 * 10^9}{e * E}}} \quad (12)$$

Donde, D es el diámetro (mm) de la conducción, e espesor de la conducción, E módulo de Young del material de las paredes de la conducción (Nw/m²).

Los datos de las conducciones de impulsión y gravedad en el sistema donde se destaca el cálculo de la celeridad, se puede observar en la siguiente tabla 6.1

Conducción	Material	Longitud L (m)	Diámetro D (mm)	Espesor e (mm)	E Modulo Young (Nw/m ²)	Celeridad a (m/s)
Conducción de impulsión	Fundición Dúctil	7662.32	400	14.5	1.65*10 ¹¹	1240.97
Conducción a gravedad	Fundición Dúctil	4343.60	350	14.0	1.65*10 ¹¹	1256.22

Tabla 6.1: Datos de las conducciones para el cálculo de la celeridad

6.4.2 Cálculo de la Inercia

Como se había explicado en las consideraciones para el análisis de transitorio, la inercia de la bomba será calculada con la ecuación 11 donde $I = 0.03768 * \left(\frac{P}{N^3}\right)^{0.9556} + 0.0043 * \left(\frac{P}{N}\right)^{1.48}$, debido a que se carece de información del fabricante de la bomba la inercia del conjunto, así como también datos como la masa del rodete, radio del eje del rodete que hubiera permitido calcular la inercia de la bomba. Adicionalmente, debido también a que solo se conoce la curva

característica convencional de la bomba sin conocer todo su comportamiento generalizado, la curva que se adoptará para este análisis será la curva universal de Marchal y Suter que es calculado por el programa Allievi. Por lo tanto los datos de la estación de bombeo para el análisis del transitorio se visualizan en la siguiente tabla 6.2.

Bomba	Caudal bombeo Qb (l/s)	Punto Óptimo funcionamiento		Velocidad Rotación Nominal N (rpm)	Inercia I (Kg*m2)
		Altura Bombeo Hb (m)	Potencia P (Kw)		
B1	57.5	166	120	1470	4.12

Tabla 6.2: Datos de la estación de bombeo para el cálculo de la inercia

6.4.3 Análisis del Régimen Transitorio por un cierre rápido de la válvula de llenado del depósito 2

En las tres alternativas de mejoras, se ha propuesto un control de regulación del depósito 2. De tal manera que su válvula de llenado (Paso Anular Cilindro Ranurado) se cierre cuando este depósito haya alcanzado el nivel máximo de agua y que se abra la válvula cuando el nivel del agua haya descendido al nivel mínimo. En este apartado se simulará que fenómenos de transitorios se presentarían en caso de que existiera una mala maniobra en la válvula de llenado del depósito 2 ubicado en el tramo de conducción a gravedad. Por ejemplo, se asumirá que el tiempo de cierre de la válvula a la entrada del depósito 2 sea de 5 segundos. Por lo tanto, se procederá a simular en el programa los fenómenos transitorios que se presentan en la conducción a gravedad producidos por esta maniobra inadecuada. En la siguiente figura 6.1 y 6.2 se puede observar el esquema del tramo de aducción a gravedad del sistema y el esquema general del sistema, donde su longitud es de 4343.60 m, con un diámetro nominal (DN = 350 mm) y una celeridad de 1256.22 m/s.

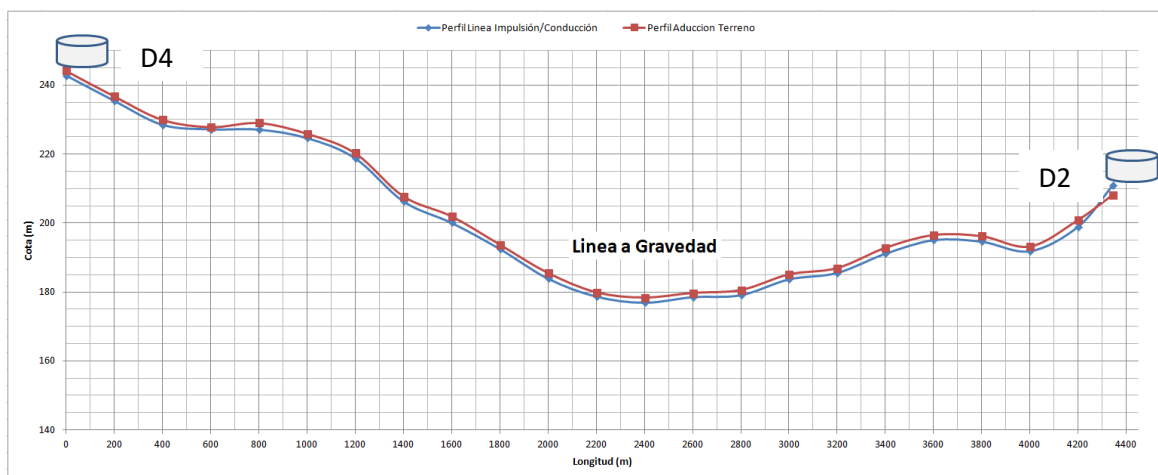


Figura 6.1: Esquema general del sistema de conducción

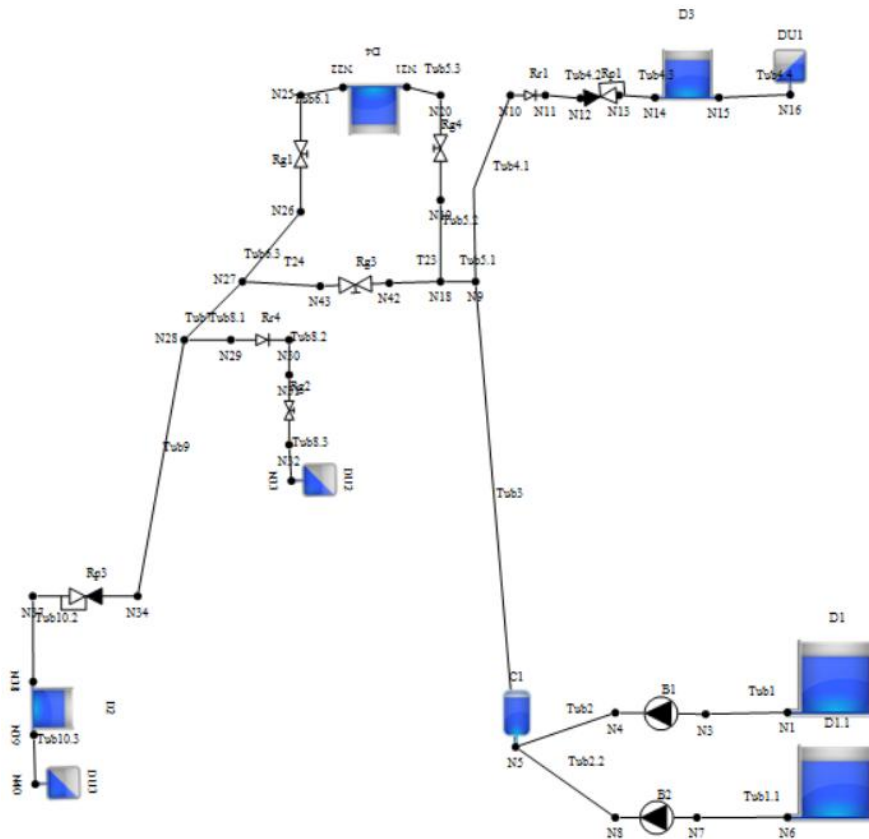
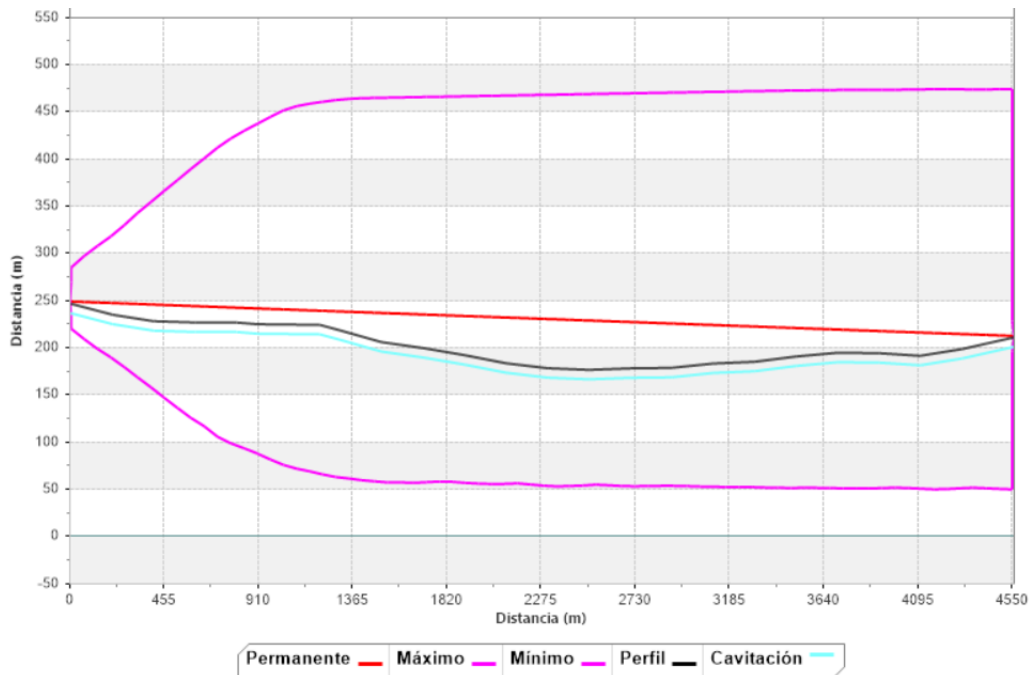


Figura 6.2: Esquema general del sistema representado en el Allievi

Primero se caracterizará el tiempo de cierre con la expresión ($T_c = 2L/a$) en la línea a gravedad. Donde reemplazando los datos en la expresión del tiempo característico T_c , se obtiene que el tiempo en la línea a gravedad es ($T_c = 6.91$ s), por lo tanto se puede considerar que el tipo de cierre en la válvula es de tipo rápido.

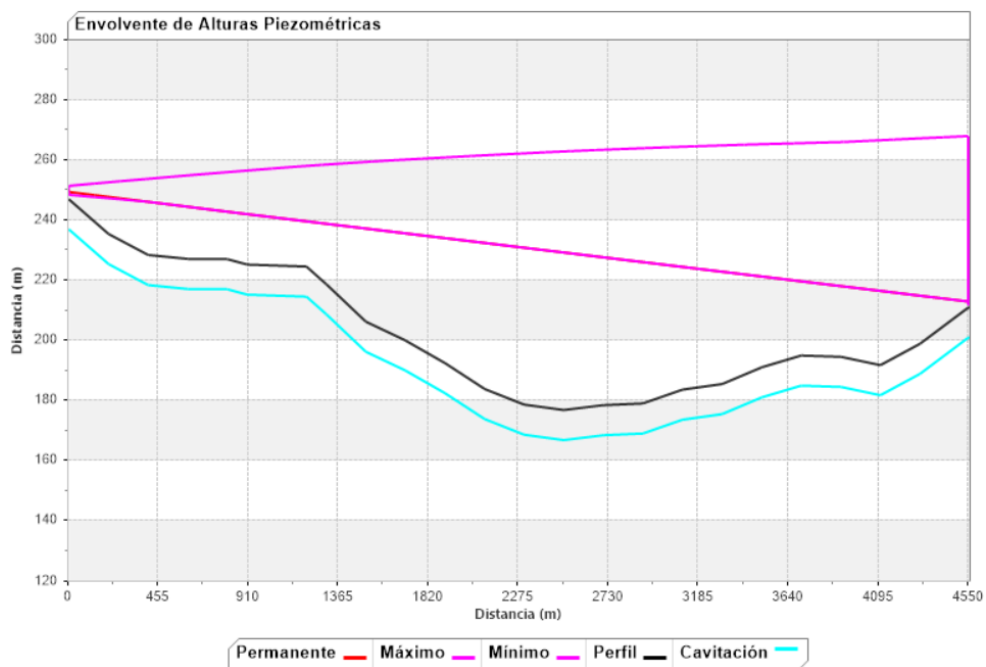
En la gráfica 6.2 se puede observar las envolventes de alturas piezométricas en el perfil de conducción a gravedad producido por el cierre brusco de la válvula a la entrada del depósito 2. La máxima sobrepresión y depresión se produce en el punto donde está instalado la válvula y las ondas de presión máxima y mínima se van reflejando hacia aguas arriba con menor intensidad hasta el depósito 4. La altura piezométrica máxima producida al pie de la válvula de llenado del depósito 2 es de 475 m aproximadamente mientras que la altura de presión mínima es 50 m. Por otro lado las ondas que se reflejo hacia el depósito 4 se producen una altura máxima de presión de 287 m y la altura de presión mínima es 220 m. Tomando en cuenta la cota del perfil de la conducción, la presión máxima que se produce en la conducción que es donde está ubicada la válvula de llenado es de 263 m recordando que la válvula está ubicada en la cota 212 m. Si bien es cierto este valor de sobrepresión máxima es inferior a la presión que puede soportar la tubería de fundición dúctil que es 450 m por lo que no habría problemas de sobrepresión. Sin embargo esto no ocurre con la presión mínima que se obtiene dando un valor de -162 m, lo cual se puede ver fácilmente que se produciría cavitación y por ende un colapso de la conducción. Por lo tanto, se deberá encontrar un tiempo de cierre óptimo para la válvula de llenado del depósito 2 a fin de evitar presiones negativas en la conducción a gravedad.



Gráfica 6.2: Envolvente Alturas Piezométricas por cierre rápido de válvula en el tramo de impulsión.

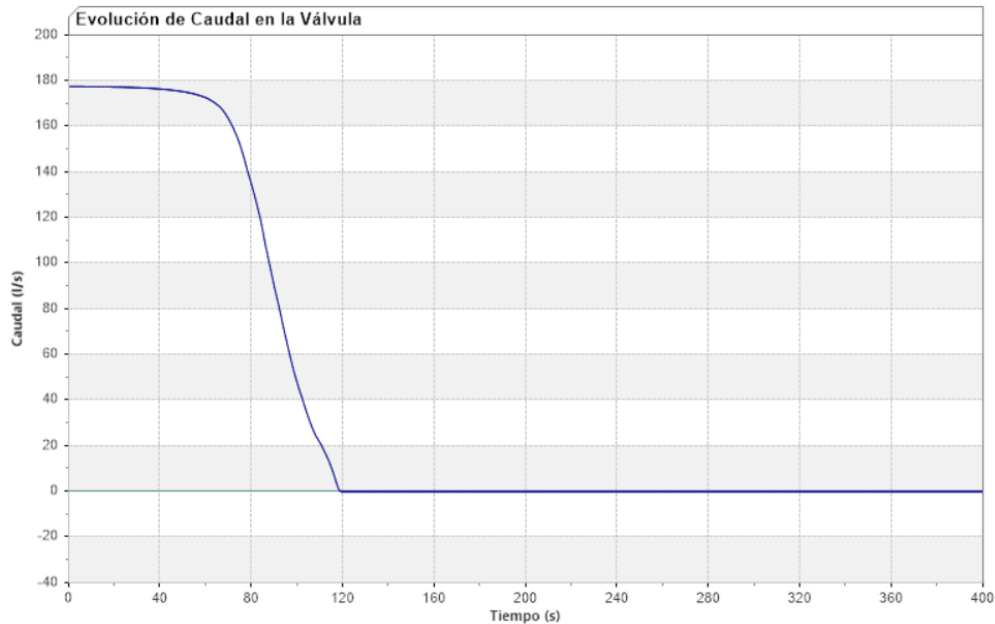
Como se explico en el anterior párrafo se debe aumentar el tiempo de cierre de la válvula, tras varias simulaciones se estableció un cierre de $T_c = 120$ s, suponiendo un cierre lineal de 100% a 0% de abertura.

En la grafica 6.3 se puede observar la envolvente de alturas piezométricas máximas y mínimas en la conducción, donde se observa que la altura máxima es de 270 m en el nudo inicial de la válvula de llenado y la envolvente de alturas mínimas coincide con la envolvente en régimen permanente que están en una cota más alta que el perfil de la conducción por lo que no hay presiones negativas que era el objetivo a conseguir con este tipo de maniobra lenta.



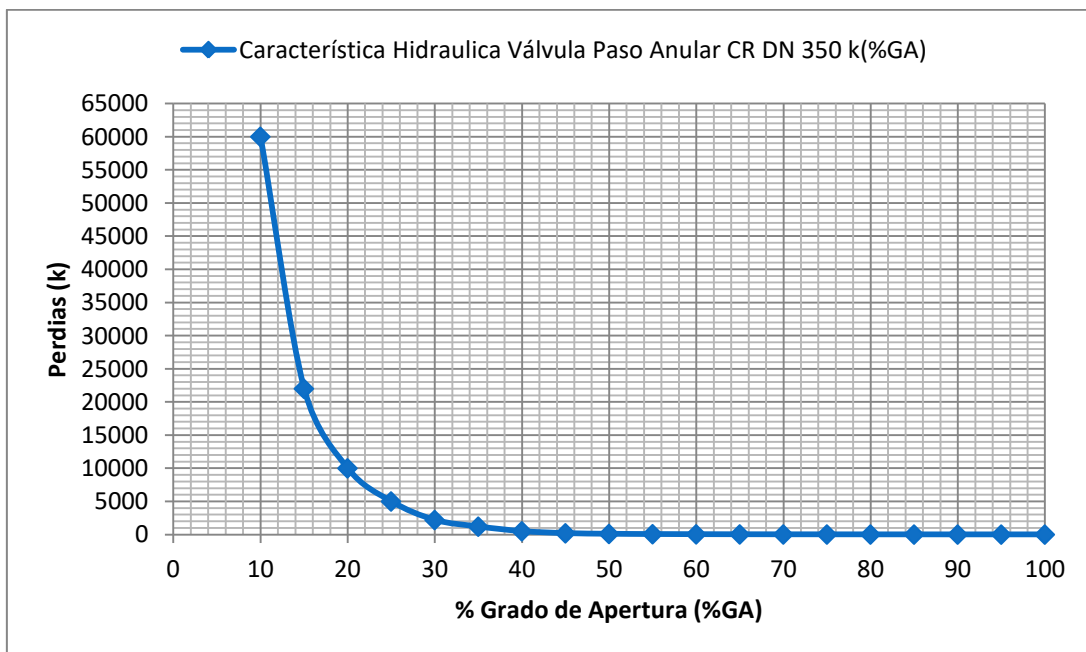
Gráfica 6.3: Envolvente de alturas piezométricas con $T_c = 120$ s lineal

Sin embargo, en la gráfica 6.4 se puede observar que en los primeros 75 s de cierre de la válvula no se aprecia una disminución de caudal y en los 45 s restantes se produce una disminución brusca de caudal, lo cual indica que este cierre lineal de ($T_c = 120$ s) no es acorde a las características hidráulicas de la válvula.



Gráfica 6.4: Variación de caudal que circula por la válvula con $T_c = 120$ s lineal

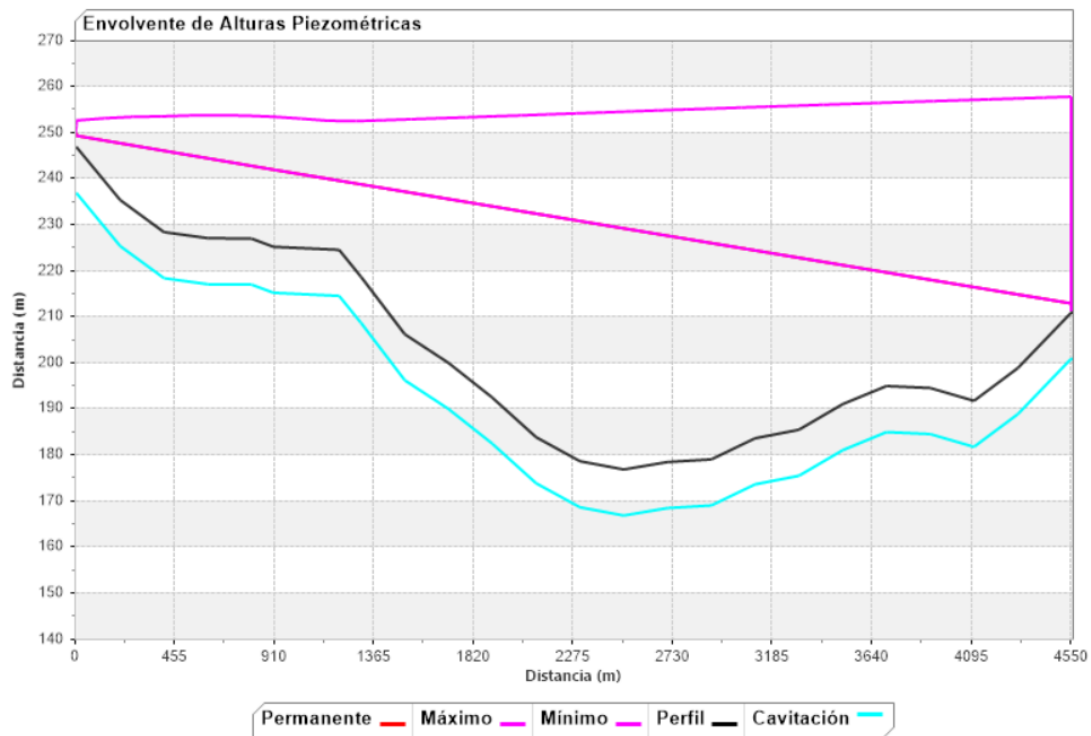
La válvula de llenado instalada a la entrada del depósito 2 es una válvula de tipo anular con un diámetro nominal (DN = 350 mm). La cual tiene la siguiente característica hidráulica como se muestra la gráfica 6.5. En esta gráfica se puede observar que el coeficiente de pérdidas k se va acentuando en mayor proporción con grados de apertura bajos (inferiores al 40%), por ende la disminución del caudal de paso se va acentuando más cuando se producen grados de apertura bajos (inferiores al 40%).



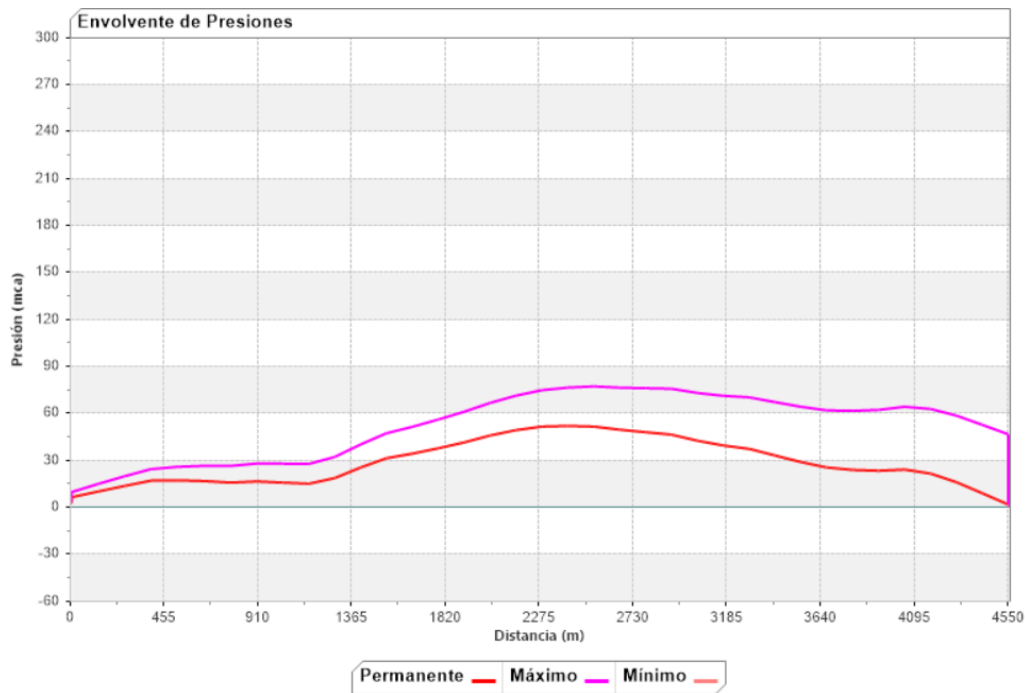
Gráfica 6.5: Característica Hidráulica de válvula a la entrada del depósito 2

Una buena alternativa para un correcto de cierre programado de la válvula de llenado es cerrar en dos etapas. Donde el tiempo total de cierre es ($T_c = 120$ s), De tal manera que en los grados abertura cuando la variación de caudal es leve se produzca un cierre más rápido en comparación con grados de abertura donde la variación de caudal se da en mayor proporción. Es así que se estableció un cierre de 15 s hasta el 40% de abertura y 105 s de cierre del 40% al 0%.

En la gráfica 6.6 se puede observar que con el tiempo de cierre propuesto controlado en dos etapas se obtienen resultados mejores en lo que se refiere a sobrepresiones generadas. Donde la altura máxima piezométrica disminuyó de 270 m a 258 m, y la envolvente de alturas piezométricas mínimas está por encima de la cota del perfil de la conducción, por lo que se puede evidenciar que no hay presiones negativas. En términos de presiones, la sobrepresión máxima que se generó es de 46 m en el nudo inicial de la válvula de llenado del depósito 2 y además no se observan depresiones negativas como se puede evidenciar de mejor manera en la gráfica 6.7 Por consiguiente, no existen sobrepresiones o depresiones que puedan atentar contra la estructura de la conducción a gravedad.

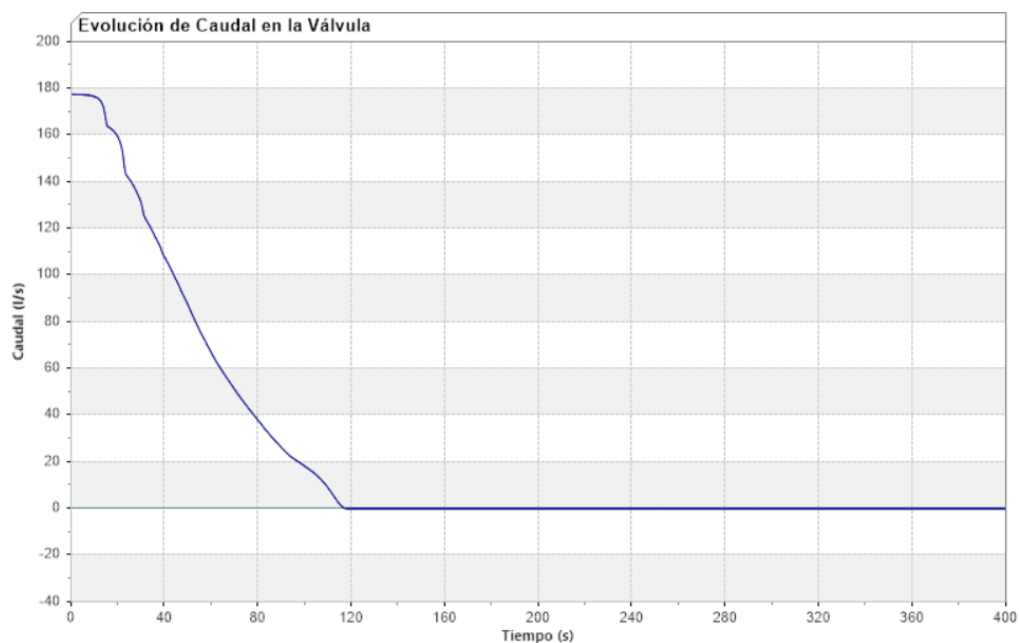


Gráfica 6.6: Envolvente de alturas piezométricas con un $T_c = 120$ s en dos etapas



Gráfica 6.7: Envolvente de presiones máximas y mínimas con un $T_c = 120$ s en dos etapas

Estableciendo este tipo de cierre en dos etapas, aparte de disminuir las sobrepresiones generadas comparada con un cierre lineal, también se obtiene que la disminución de caudal en la válvula sea más uniforme a lo largo del tiempo de cierre total ($T_c = 120$ s) como se observa en la gráfica 6.8. Por consiguiente, el cierre en dos etapas consigue una evolución del transitorio más lento que el cierre lineal, a pesar de que ambos cierres tienen el mismo tiempo de cierre total.



Gráfica 6.8: Variación del caudal que circula por la válvula con $T_c = 120$ s en dos etapas

6.4.4 Análisis del Régimen Transitorio por parada brusca en la estación de bombeo (Sin Estructura de Protección)

Como se había comentado, el caudal impulsado por la estación de bombeo en las tres alternativas será el mismo y prácticamente constante mientras permanezca en funcionamiento la bomba con un caudal $Q_b = 68.00$ l/s y una $H_b = 150.40$ m. Por lo tanto, el análisis de transitorio en el tramo de impulsión por la parada accidental de la bomba será el mismo para las tres instalaciones, donde la tubería de impulsión es de material del fundición dúctil, con un diámetro $DN = 400$ mm, una longitud total $L_t = 7662.32$ m y una celeridad $a = 1240.97$ m/s como se había indicado en la tabla 6.1. Este tramo de impulsión en estudio comprende desde la estación de bombeo hasta el depósito 3 como se muestra en la figura 6.3.

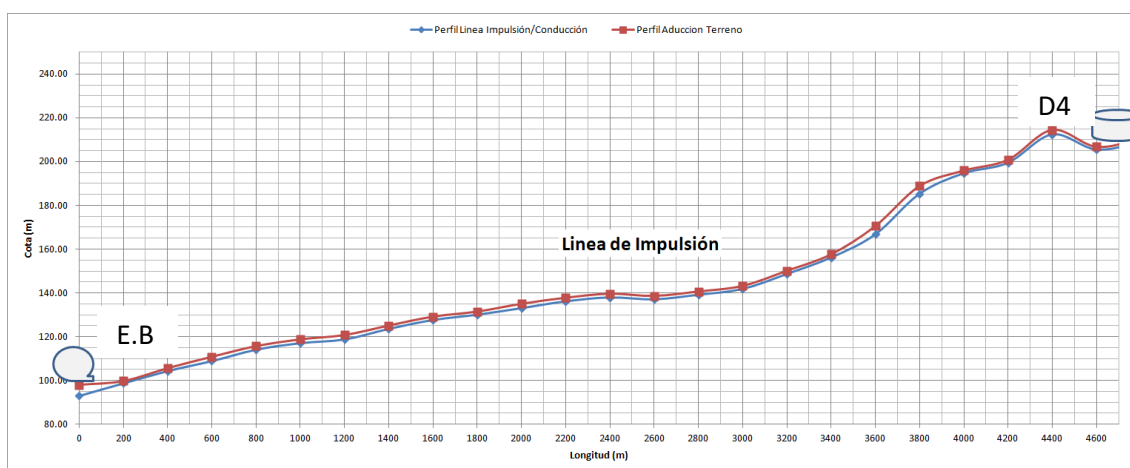
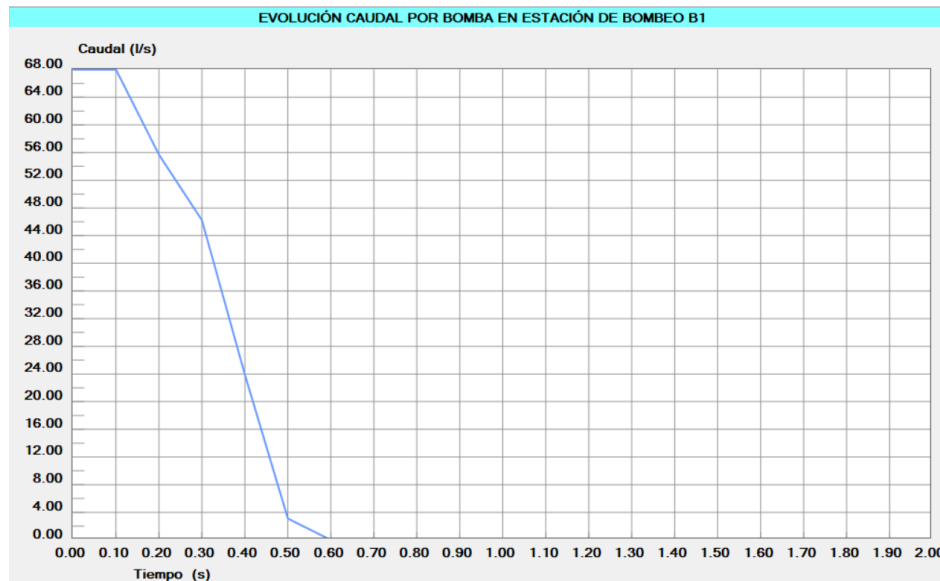


Figura 6.3: Perfil del tramo de impulsión del sistema

El tiempo de simulación que se ha establecido es de 300 s que es un intervalo de tiempo suficiente para que se presenten las máximas sobrepresiones o depresiones causadas por el paro accidental de la bomba. A pesar de que la instalación consta con un calderín en la salida de la estación de bombeo, no se le tomará en cuenta inicialmente para saber el grado de injerencia en la instalación sin un calderín.

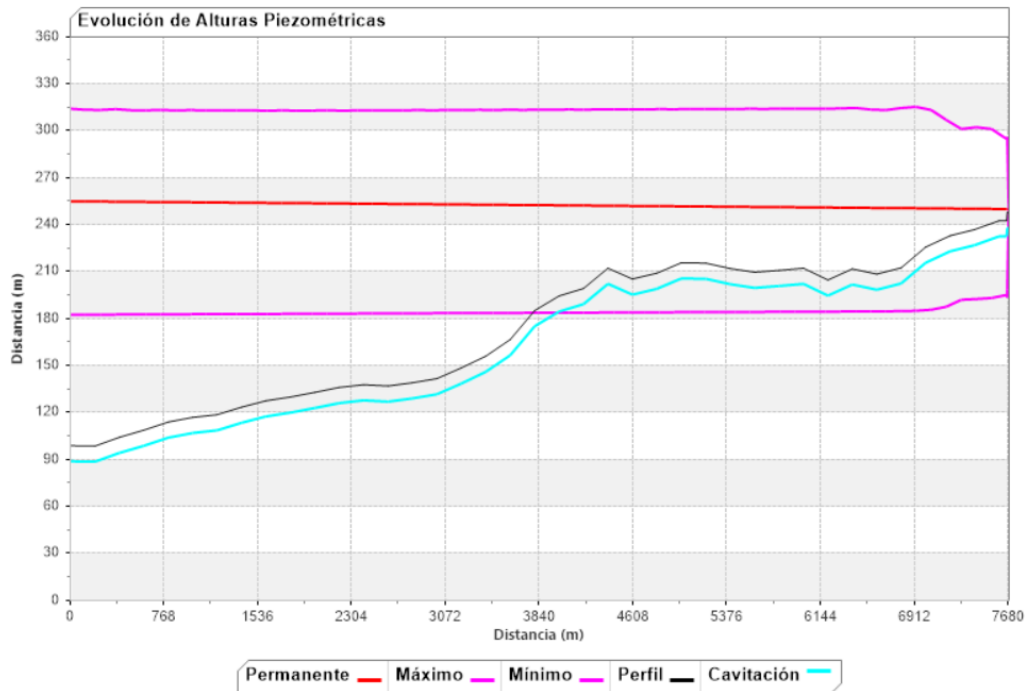
Una vez realizada la simulación primero se analizará en que tiempo se produce la parada de la bomba para caracterizar el tiempo de paro. En la gráfica 6.9 se observa la evolución del caudal bombeado cuando se produce la parada accidental de la bomba. Donde en el instante 0.1 s se produce la parada de la bomba por lo que va disminuyendo el caudal hasta el instante 0.60 s que es cuando se cierra la válvula de retención de la bomba. Por lo tanto la diferencia entre el instante de paro y el instante que caudal nulo se obtiene el tiempo de parada de la bomba. De acuerdo a los datos de la bomba instalada se visualiza que el tiempo de parada dura 0.5 s, el cual es un tiempo extremadamente corto como se puede comprobar con la ecuación (10) de Mendiluce donde el tiempo cierre de la válvula de retención es $(T_{CVR} = C + \frac{k \cdot L_t \cdot V_0}{g \cdot H_b})$, reemplazando los datos de la conducción de impulsión a la ecuación se obtiene que el $T_{CVR} = 3.96$ s. Como el tiempo de parada de la bomba es 0.5 s que es menor al tiempo de cierre calculado de 3.96 s, se comprueba que la parada de la bomba es rápida. Así mismo cuando se quiera provocar la parada de la bomba tendrá que ser un tiempo superior a los 3.96 s para no

producir una parada instantánea de la bomba y por ende evitar sobrepresiones y depresiones excesivas.

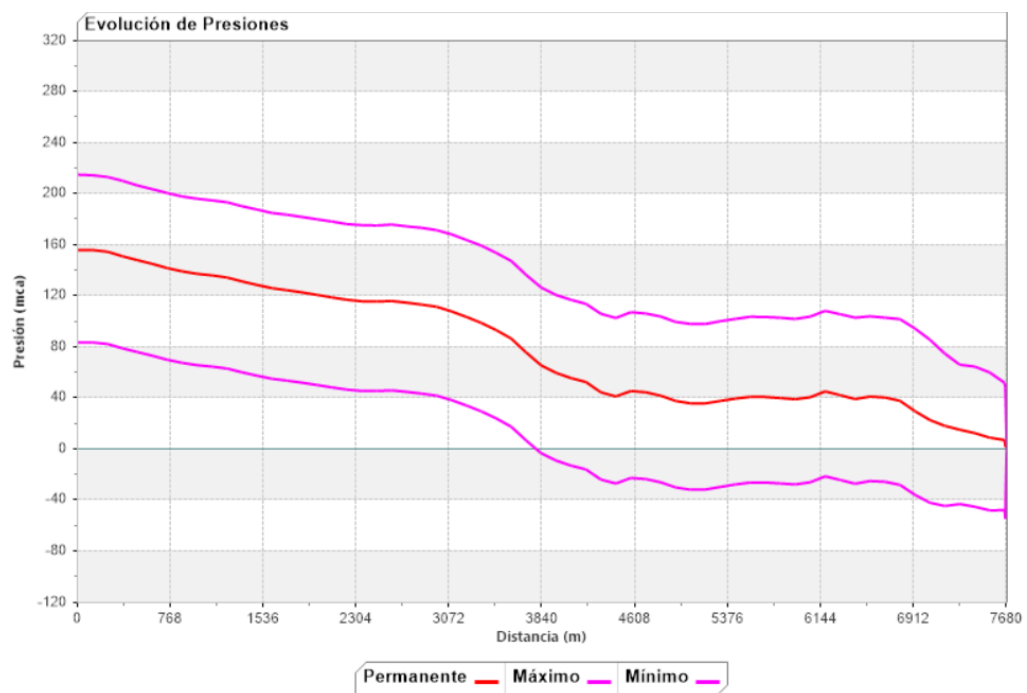


Gráfica 6.9: Evolución del caudal bombeado cuando se para el equipo de bombeo

En la gráfica 6.10 se observa las envolventes de aturas piezométricas de la conducción de impulsión. Las sobrepresiones máximas y mínimas se dan en el nudo de la salida de la estación de bombeo, donde la altura piezométrica máxima es aproximadamente 315 m, mientras que un gran tramo del perfil de impulsión las altura piezométricas mínimas están por debajo de las cotas del perfil de la conducción incluso hasta debajo del perfil de cavitación, lo cual indica que este tramo se presenta presiones negativas. En términos de presiones se observa que la presión máxima que se ejerce en la conducción es aproximadamente 215 m lo cual se da en el nudo de salida de la estación de bombeo que esta a una cota de 99 m, mientras que la presión mínima ejercida es -53 m obtenida al final del perfil de la conducción ubicada en la cota 248 m. Estas presiones se pueden evidenciar de mejor forma en la gráfica 6.11 de envolventes de presiones. A pesar de que no se tendría problemas por sobrepresiones en el supuesto de que la instalación carece de un calderín, donde la conducción puede soportar una presión máxima de 420 m. Sin embargo esto no ocurre con las presiones mínimas las cuales son muy inferiores incluso llegando a la cavitación, por lo tanto es imprescindible que el sistema conste de una estructura de protección que en esta caso es un calderín el cual ya estaba instalado al sistema.



Gráfica 6.10: Evolución de alturas piezométricas en el perfil de impulsión (sin protección)



Gráfica 6.11: Evolución de Presiones en el perfil de impulsión (sin protección)

6.4.5 Análisis del Régimen Transitorio con la estructura de protección

Como se había mencionado en las características del sistema, esta aducción en estudio consta de un calderín el cual está ubicado a la salida de la estación de bombeo. Este calderín está instalado de manera horizontal y es de tipo vejiga, el cual tiene una capacidad de 6.00 m^3 , con un diámetro de 1.50 m y una longitud de 3.40 m. En la figura 6.4 se puede observar el esquema de la instalación del calderín el cual consta con una tubería de derivación de la conducción principal, esta derivación tiene una longitud de 5.00 m y un diámetro nominal $\text{DN} = 250 \text{ mm}$, el cual finalmente se entronca al calderín con un codo de 90° . El ramal consta con

una válvula de retención del mismo diámetro que el ramal de unión para impedir el paso del agua hacia el calderín. Adicionalmente este ramal de unión consta con un by-pass el cual tiene una válvula de seccionamiento, este by-pass es diseñado para que fluya el caudal de entrada hacia el calderín.

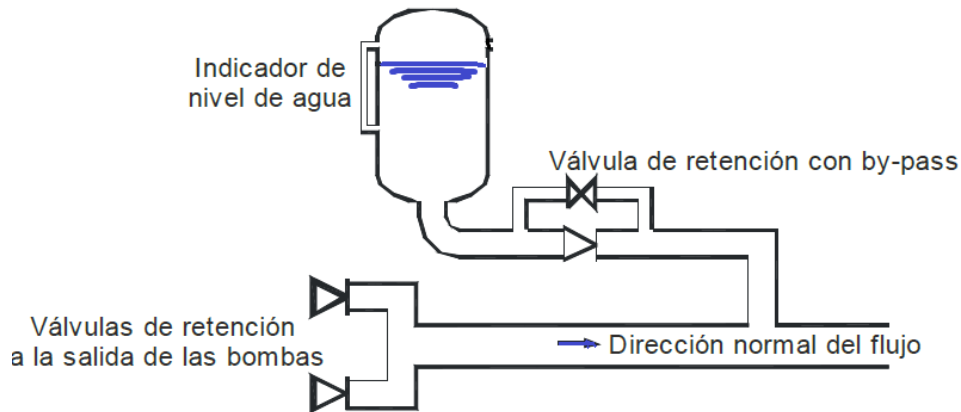


Figura 6.4: Esquema de la instalación del calderín a la salida de la estación de bombeo.

Una vez que se conoce los datos de la instalación para la conexión del calderín, se ingresan los datos en el programa para calcular el coeficiente de pérdidas totales K ($m/(m^3/s)^2$). En el cual se ingresa el diámetro y longitud del ramal de conexión del calderín y adicionalmente las perdidas puntuales que se producen por cada accesorio como codos, válvula de retención, válvula de seccionamiento como se observa en la tabla 6.3. Las pérdidas totales obtenidas a la entrada y salida del calderín son de 191.28 y 104.80 $m/(m^3/s)^2$ respectivamente.

COEF PÉRDIDAS CONEXIÓN CALDERIN		
D conex (mm)	K salida cald (m/(m ³ /s) ²)	K entrada cald (m/(m ³ /s) ²)
100	6014.271	7064.220
150	509.684	713.558
200	104.995	168.196
250	43.119	69.011
300	20.795	33.231
400	6.626	10.499
450	4.077	6.524
500	2.650	4.281
600	1.325	2.039
700	0.702	1.123
800	0.411	0.658

COEFICIENTES DE PÉRDIDAS		
COEFICIENTES DE PÉRDIDAS SALIDA DE CALDERIN		
	Sin dimens.	m/(m ³ /s) ²
Conexión salida de calderín		43.119
Cono ampliación - reducción en entronque		
Te entronque - by pass (Q deriv = 0)	0.045	
Válvula de retención abierta	3.000	
Disipador de energía en by pass		
Te entronque a tubería impulsión	1.090	

COEFICIENTES DE PÉRDIDAS ENTRADA A CALDERIN		
	Sin dimens.	m/(m ³ /s) ²
Te tubería impulsión a entronque	5.575	
Te entronque a by pass	1.190	
Disipador de energía en by pass		
Te by pass a entronque	1.090	
Cono ampliación - reducción en entronque		
Conexión entrada a calderín		69.011

OTROS COEFICIENTES DE PÉRDIDAS		
	Sin dimens.	m/(m ³ /s) ²
Válvula de corte en entronque	0.400	
Codo 90° en entronque y by pass (cada uno)	0.250	
Carrete de desmontaje (cada uno)	0.250	
Manguito antivibratorio en entronque	1.000	

DIÁMETROS	
Número de calderines a instalar	1
Diámetro tubería impulsión (mm)	400
Diámetro tubería de entronque (mm)	250
Diámetro conexión del calderín (mm)	250
Entronque:	<input checked="" type="radio"/> Con by pass <input type="radio"/> Sin by pass
Diámetro del by-pass (mm)	250

CÁLCULAR COEFICIENTES DE PÉRDIDAS	
CALCULAR	
Coef. pérd. salida cald (m/(m ³ /s) ²)	104.480
Coef. pérd. entrada cald (m/(m ³ /s) ²)	191.288

VALORES POR DEFECTO
DISIPADOR DE ENERGÍA

Tabla 6.3: Tabla de cálculo en Allievi para el coeficiente de pérdidas a la entrada y salida del calderín.

Para el dimensionamiento de la presión de hinchado del calderín, se han fijado valores iniciales del volumen de aire en el calderín para el cual se ha empezado con un volumen de aire mínimo

del 10% de la capacidad total del calderín. Mediante varias iteraciones en el programa imponiendo un volumen de aire inicial de tal manera que se obtenga una presión de hinchado suficiente para no tener presiones negativas en la conducción de impulsión y además verificando que no se haya vaciado el calderín en el cual se ha fijado un nivel mínimo no menor al 10% de la altura total del calderín. Para el dimensionamiento de la presión de hinchado del calderín se utilizó la siguiente ecuación

$$P_h = \frac{(P_A + 10.33) * V_o}{V_T} - 10.33 \quad (12)$$

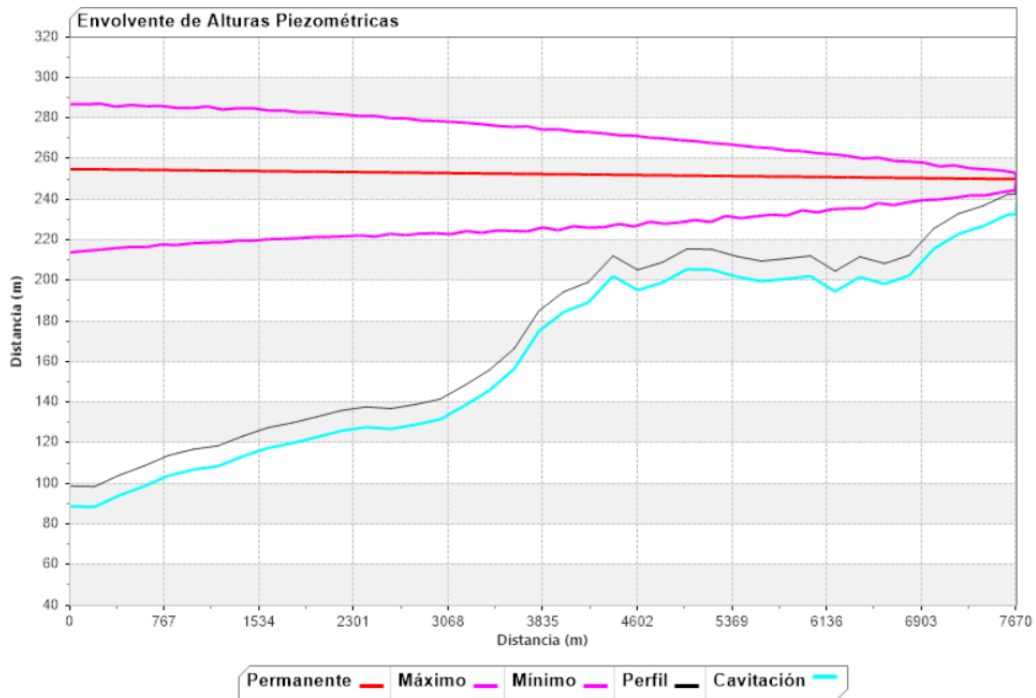
Donde Ph (m) es la Presión de hinchado, P_A (m) es la presión en el punto de entronque del calderín en m, Vo (m³) es el volumen inicial de aire y V_T (m³) es el volumen total del calderín.

En la tabla 6.4 se observa las distintas iteraciones realizadas hasta obtener una presión de hinchado suficiente para no tener presiones negativas. En la tabla 6.4 se observa que la solución es tener un volumen de aire inicial de (VO = 2.70 m³), de tal manera para obtener una presión de hinchado (Ph = 64.52 m). Adicionalmente el nivel mínimo de agua en el calderín es 1.02 m el cual es mayor al 10% de la altura total que se ha fijado como nivel mínimo de agua. Las presiones mínimas y el nivel mínimo de agua se podrán comprobar más adelante mediante gráficas.

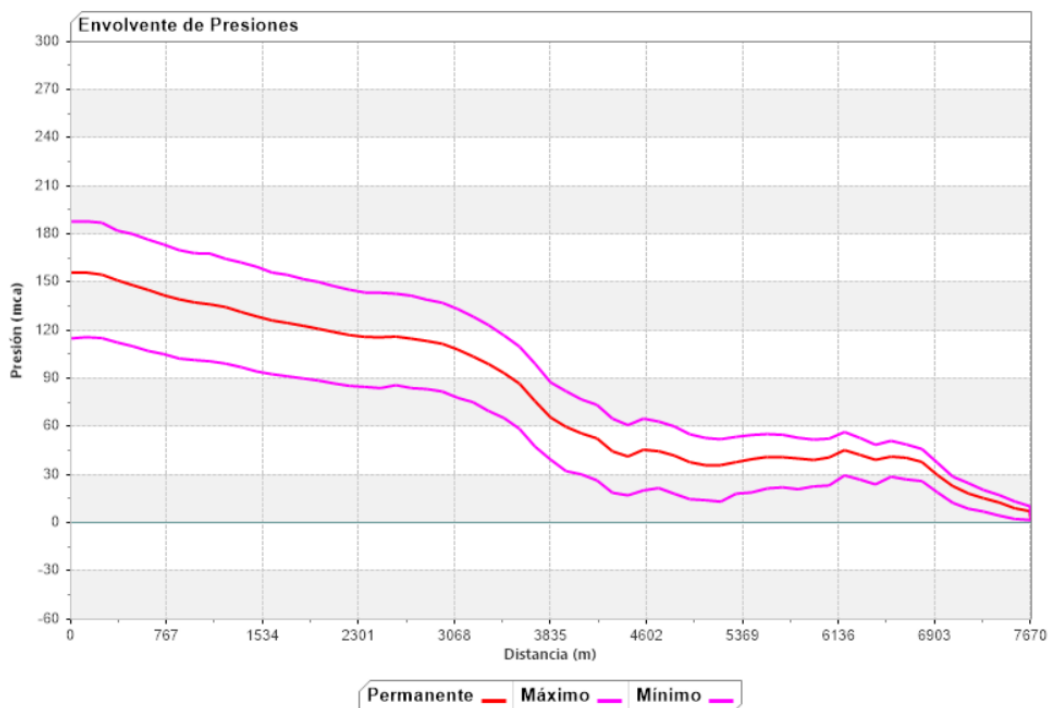
Volumen VT (m3)	D (m)	Sección A (m2)	Altura H (m)	V.aire Vo (m3)	P.hinc Ph (m)	Niv. Inicial (m)	Nivel Mínimo (m)	Margen	Observaciones
6.01	1.50	1.77	3.40	0.60	6.30	1.26	1.18	34.70%	Presiones Negativas
6.01	1.50	1.77	3.40	1.20	22.94	1.12	1.02	30.00%	Presiones Negativas
6.01	1.50	1.77	3.40	2.70	64.52	0.80	0.67	20.00%	No hay presiones negativas

Tabla 6.4: Tabla para el dimensionamiento de la presión de hinchado necesario en el calderín.

Con el calderín instalado en el sistema con una presión de hinchado de 64.5 m, se observa en la gráfica 6.12 las envolventes de alturas piezométricas máximas y mínimas, en la cual se puede destacar que la altura máxima se redujo de 315 m a 288 m en el nudo final de la conducción, mientras que la envolvente de altura piezométrica mínima se ha mejorada en una gran magnitud de tal manera que sus cotas están más altas que la cotas del perfil de la conducción por lo tanto se han eliminado las presiones negativas a lo largo de toda la conducción. Con respecto a las presiones, en la gráfica 6.13 se observa la presión máxima que soporta la conducción en su nudo inicial es 189 m la cual está muy por debajo de la presión máxima que soporta la tubería que es 420 m. En cuanto a las presiones mínimas se produce en el nudo final de la conducción donde su presión mínima es de 0.50 m. Con estas presiones obtenidas se puede decir que la instalación en el tramo de impulsión está totalmente protegida sin que estas presiones máximas o mínimas afecten a la resistencia del material de la conducción.



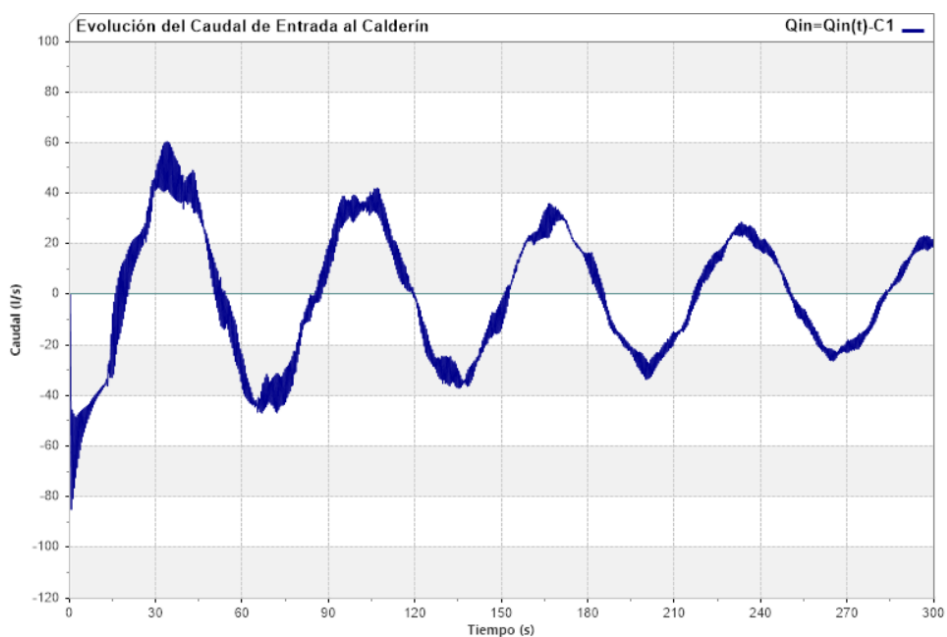
Gráfica 6.12: Envoltorio de alturas piezométricas en el perfil de impulsión (con calderín)



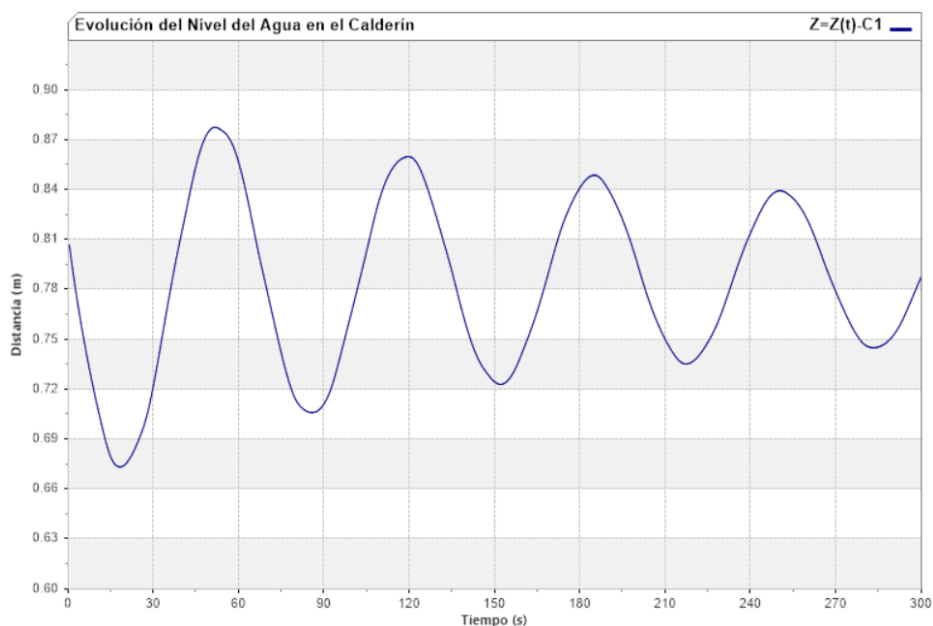
Gráfica 6.13: Envoltorio de presiones en el perfil de impulsión (con calderín)

En la gráfica 6.14 se indica cómo evoluciona el caudal de entrada en el calderín instalado, donde los caudales negativos indican que el caudal sale del calderín mientras que los positivos entran al calderín. Se puede apreciar que primero el calderín empieza a aportar caudal al sistema debido a que como se para la bomba el caudal impulsado va disminuyendo por lo tanto el calderín alimenta a la conducción para evitar las depresiones, cuando la onda de presión se refleja signo contrario es decir en la fase de sobrepresiones, el caudal de la conducción ingresa al calderín, estos fenómenos de salida y entrada de caudal por el calderín seguirán produciéndose de acuerdo a las fases de sobrepresiones y depresiones pero en una

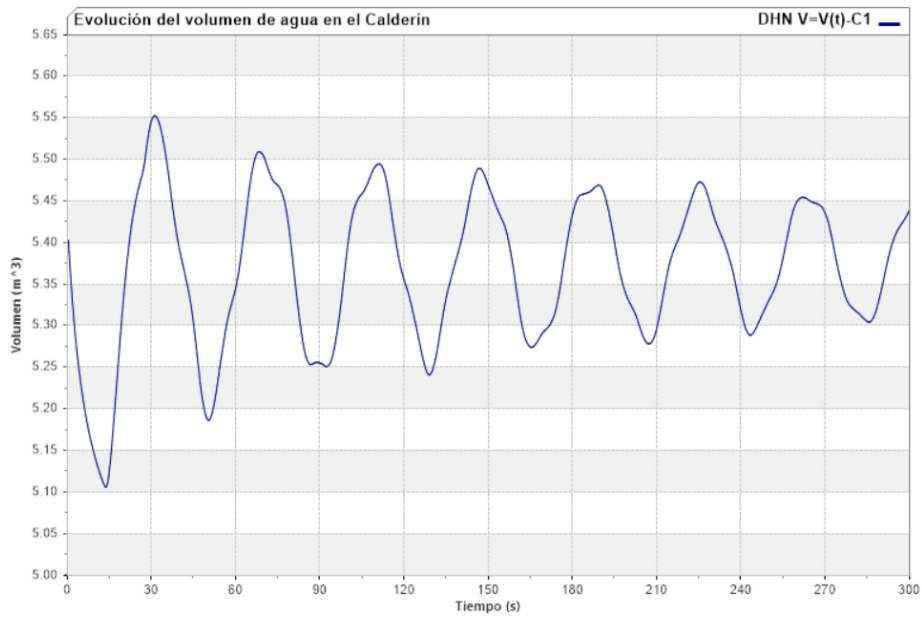
menor intensidad donde con el pasar del tiempo el caudal de salida y entrada van disminuyendo pues lo mismo ocurre con las sobrepresiones y depresiones las cuales se van atenuando en mayor proporción con el pasar de los segundos desde que se produce el transitorio. Esta evolución de caudal de entrada y salida por el calderín se puede evidenciar de otra forma en las gráficas 6.15 y 6.16 con la evolución de nivel del agua y volumen de agua. De acuerdo al volumen inicial de agua inicial, el nivel es de 0.80 m el cual al principio va disminuyendo debido a que el calderín empieza a aportar agua al sistema hasta un nivel mínimo de 0.67 m donde las ondas de presiones se invierten y pasan a la fase de sobrepresiones que es cuando el calderín empieza a almacenar agua del sistema, las ondas de presión siguen evolucionando alternadamente en fase depresiva y sobrepresión en menor proporción, por lo que el nivel del agua sigue disminuyendo y aumentando alternadamente de acuerdo a las fases de las ondas de presión.



Gráfica 6.14: Evolución del caudal de entrada en el calderín



Gráfica 6.15: Evolución de nivel del agua en el calderín



Gráfica 6.16: Evolución del volumen del agua en el calderín

7 Capítulo 7. Conclusiones

- La simulación del sistema de aducción de agua potable para una zona de Valencia en régimen extendido permitió obtener un diagnóstico en cómo empezó a operar el sistema. De esta simulación se pudo concluir que a pesar de haber funcionado el sistema alimentando sus demandas como el depósito 2, su sistema de operación no fue apropiado donde la velocidad de giro de la bomba tenía que disminuir hasta un 82.5% de la velocidad nominal y el grado de apertura de la válvula a la entrada del depósito 2 tenía que ser de 14.55% para que no se desborde ni se vacíe la arqueta de rotura cuya capacidad era de tan solo 7.00 m^3 y una altura de 1.75 m, sumado a que el caudal impulsado era demasiado menor en comparación con caudal de la conducción a gravedad. Por tal razón estos caudales tenían que ser regulados de tal manera que sean prácticamente iguales. Estas condiciones de operación daban rendimientos bajos en la bomba, además que las velocidades de flujo eran menores que el mínimo recomendado de 0.2 m/s, por consiguiente el sistema no fue dimensionado apropiadamente, donde las dimensiones de la conducciones de impulsión y gravedad fueron sobredimensionadas de acuerdo a las demandas iniciales.
- Estos problemas y limitaciones descritos anteriormente donde la arqueta era de dimensiones pequeñas sin capacidad de regulación, dejaba entrever que el sistema no podía funcionar con las nuevas necesidades requeridas que son alimentar a la urbanización 4 y el depósito 3 que está ubicada a una cota más arriba que la arqueta, lo cual por diferencia de alturas piezométricas entre la arqueta y depósito 3 imposibilita que el sistema alimente al depósito 3. Simulando el sistema con los nuevos requerimientos se comprobó lo que se podía deducir donde no entraba agua al depósito 3 y se vaciaba en poco tiempo la arqueta, por lo que fue necesario proponer varias modificaciones o mejora para que el sistema pueda operar con las nuevas necesidades de demanda.
- En las alternativas de mejoras que se plantearon se concluyó en la necesidad de eliminar la arqueta por un depósito que tenga la capacidad suficiente para regular el caudal de impulsión y el caudal que fluye a gravedad para alimentar a la urbanización 4 y depósito 2, y además que este depósito tenga una mayor altura de tal manera que se pueda equiparar las alturas piezométricas con el depósito 3 y así el sistema pueda alimentar al depósito 3. Aparte de la necesidad de construir el nuevo depósito, existe la imperiosa necesidad de establecer mecanismos de controles de regulación en los depósitos del sistema debido a que las demandas de los consumos urbanos en las urbanizaciones son demasiado menores en relación a los caudales que se maneja en el sistema.
- Las alternativas 1 y 2 de mejoras son similares, donde solo difieren en el tipo de regulación a utilizar. Es así que en la alternativa 1 la regulación se lo estableció con válvulas de llenados las cuales las válvulas se cierran cuando los depósitos hayan alcanzado su nivel máximo y se abren cuando los niveles hayan descendido al mínimo, aparte de este control hubo la necesidad de establecer un control para producir la

parada de la bomba en caso que el caudal de impulsión sea nulo. Mientras que en la alternativa 2 el control de regulación para el nuevo depósito 4 es más directo donde se controla la parada la bomba cuando el depósito 4 alcance su nivel máximo y arranca la bomba cuando descienda al nivel mínimo, los demás depósitos serán regulados igualmente como en la alternativa 1 con los controles de las válvulas de llenado. En términos de energía consumida ambas alternativas tienen una energía consumida por la estación similar donde en la alternativa 1 es ligeramente menor con un consumo es de 1132.80 kwh mientras que la alternativa 2 el consumo es de 1164.04 Kwh, esta mínima diferencia radica únicamente en el tiempo de funcionamiento de la bomba durante el día donde en la alternativa 1 funciona 9h15min durante el día mientras que en la alternativa 2 funciona 9h30min.

- Con respecto a la alternativa 3 donde se planteó prescindir de la arqueta de rotura y utilizar solo el depósito 3 para regular el sistema. Tomando en cuenta que la entidad de agua potable pueda arrendar o comprar dicho depósito debido a que el depósito 3 es de uso privado. En esta propuesta se eliminó la válvula de retención del depósito 3 y aislar la arqueta con válvulas de seccionamiento por lo que agua fluye por el by-pass de la arqueta, como se puede notar esta alternativa es diferente a las dos primeras, donde en esta última alternativa el tramo de impulsión y a gravedad están conectados por el by-pass lo cual indica que el depósito 2 es alimentado por el caudal que proporciona la bomba y por el depósito 3. Los mecanismos de regulación serán iguales a las otras dos alternativas donde el depósito 3 es regulado con parada y encendido de la bomba y el depósito 2 es regulado con la válvula de llenado. El hecho de que esta tercera alternativa no haya la necesidad de construir un nuevo depósito hace que esta alternativa sea la mejor en términos de inversión. Adicionalmente, al saber que el caudal que es alimentado por el depósito 3 es superior a lo que debe alimentar el depósito 3 para la urbanización 3 y sumado que el depósito 3 tiene un volumen amplio de regulación, hace que las bombas estén poco tiempo funcionando de alrededor de 6h45min el cual este tiempo es menor que el tiempo de funcionamiento de las alternativas 1 y 2. Por consiguiente el consumo energético de la bomba en la alternativa 3 es menor con respecto a los consumos de las otras dos alternativas, donde el consumo energético de la alternativa 3 es de 643.28 Kwh.
- El depósito 2 y depósito 3 tienen unas capacidades sobredimensionadas de volumen de regulación de 761.54 m³ y 1361.08 m³ respectivamente, debido a que los caudales de entrada son muy amplios en relación a los consumos de las urbanizaciones 2 y 3 que son alimentadas por estos depósitos. Esto hace que en el mecanismos de regulación, estos depósitos permanezcan tiempos muy prolongados sin un aporte de caudal ya que se cierran sus válvulas o se para las bombas para que no desborden los depósitos, por lo tanto en estos tiempos prolongados, el agua en el sistema permanece estancado, lo que podría conducir a las pérdidas de concentración de cloro en el agua. Por consiguiente se debe recomendar a la entidad responsable del agua potable verificar periódicamente que los niveles de cloro en el sistema no bajen al mínimo permisible de 0.2 mg/lit y si los niveles llegasen a bajar de esos niveles ver la posibilidad de inyectar al sistema bombas dosificadoras de cloro. Sin embargo, puede

existir la posibilidad de un aumento poblacional en las urbanizaciones 2 y 3 y por lo tanto los consumos aumentarán, haciendo esto que los volúmenes de regulación estén menos sobredimensionados y por consiguiente las válvulas de llenado estarán menos tiempo cerradas, donde el agua de los depósitos se renovará con mayor frecuencia, por lo tanto en un horizonte futuro donde aumente la población, la disminución de cloro residual en las conducciones y depósitos será en menor proporción.

- A pesar de las tres alternativas presentan sus particulares formas de operación en la regulación, se manejan la misma proporción de caudales, por lo tanto su análisis de transitorios fue el mismo para las alternativas. Al realizar el transitorio por el cierre de válvula se pudo concluir que el tipo de cierre que se le dé a la válvula incide en las presiones generadas y la evolución del tiempo de cierre tiene que ser acorde a las características hidráulicas. Por lo tanto de acuerdo a la válvula instalada que es de paso anular, el cierre que dio mejores resultados en cuanto a sobrepresiones generadas fue un cierre en dos etapas donde la primera etapa se dio un cierre rápido de 15 s cuando la evolución de caudal varia poco con respecto a los grados de apertura que se da hasta 40% de apertura. A partir del 40% de apertura la evolución de caudales varia en mayor proporción, por lo que en la segunda etapa fue cierre más lento de 105 s desde el 40% hasta el 0%, dando un tiempo de cierre total de 120 s. En el transitorio generado por la parada accidental de la bomba, se concluyo que el calderín instalado tiene una gran injerencia en las presiones que se producen comparando con el sistema sin el calderín. Donde el sistema sin calderín presentó presiones negativas en un gran tramo de la impulsión, además de un incremento considerable de presiones con respecto al régimen permanente. Cuando se tomó en cuenta el calderín instalado de 6.00 m³, se estableció que la presión de hinchado de este calderín debe ser de 64.5 m para no producir presiones negativas, donde en este tipo de transitorios el principal problema que se genera son las excesivas depresiones. De manera general, el calderín instalado en el sistema es de gran importancia para evitar los problemas de depresiones generados por la parada de una bomba, sin embargo se debe tomar muy en cuenta la presión de hinchado del calderín para que funcione de manera correcta y evitando presiones negativas.

8 Capítulo 8. Bibliografía

- Abreu, J. M, V.B Espert, and Et Al. 2012. *Transitorios Hidráulicos Del Régimen Estacionario Al Golpe de Ariete*. Edited by Universidad Politécnica de Valenica. Primera Ed. VALENCIA: UPV.
- Abreu, J. M, and Et Al. 1995. *Transitorios Hidráulicos En Sistemas Complejos. Capítulo 6. Transitorios Y Oscilaciones En Sistemas Hidráulicos a Presión*. Primera Ed. VALENCIA: Mecánica de Fluidos. Universidad Politécnica de Valencia.
- Fuertes, Vicente, Jorge Garcia Serra, Enrique Cabrera Marcet, Vicent Espert Alemany, and Fernando Martinez. 2009. *Ingeniería Hidráulica Aplicada a Los Sitemas de Distribución de Agua (Volumen 2)*. Edited by Universidad Politécnica de Valenica. VALENCIA.
- Iglesias, Pedro, Vicente Fuertes, and Garcia Rafael Pérez. 2001. *Fluidos Incomprensibles. Flujo Transitorio En Conductos Cerrados*. Edited by Universidad Politécnica de Valencia. VALENCIA.
- Iglesias, Pedro, J Izquierdo, Vicente Fuertes, and Fernando Javier Martinez. 2003a. *Transitorios En Estaciones de Bombeo. Capitulo 2 Transitorios Generados Por Valvulas Y Bombas*. VALENCIA: Grupo Multidisciplinar de Modelación de Fluidos – Universidad Politencia de Valencia.
- . 2003b. *Transitorios En Estaciones de Bombeo. Capitulo 7 Dispositivos de Protección*. Edited by Grupo Multidisciplinar de Modelación de Fluidos – Universidad Politecnica de Valencia. VALENCIA.
- ITA. 2015. “Manual Técnico de Allievi ITA.” VALENCIA: ITA.
- Soriano Olivares, Javier. 2012. “Influencia De Las Instalaciones De Suministro De Agua De Edificios Sobre El Comportamiento Hidráulico En Régimen Permanente Y Transitorio De La Red General De Distribución.” <http://www.tesisenred.net/handle/10803/69952>.
- Real Decreto 140/2003*, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano. BOE nº45, 21 de febrero de 2003.
- AENOR (1976) *Normas Técnica Española de Intalaciones de Fontanería NTE IFA 1976*
- CEDEX (2006). *Guía Técnica sobre tuberías para el transporte de agua a presión*. Ed. Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX. 3a Edición

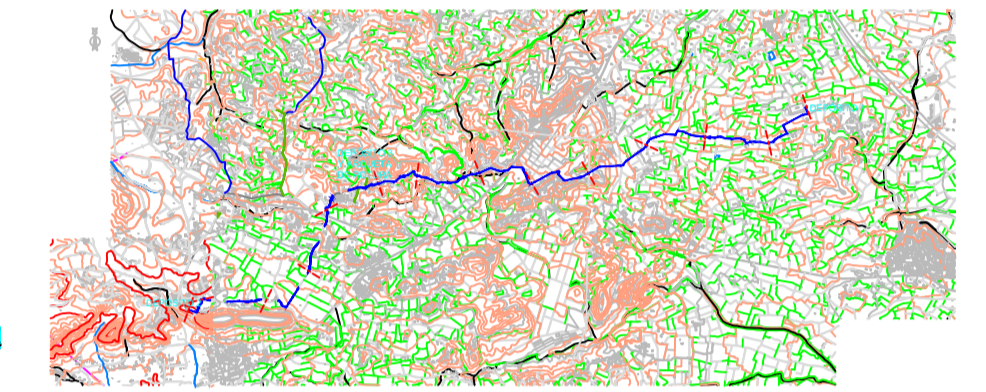
9 Anexos

PROYECTO:
SISTEMA DE CONDUCCIÓN DE AGUA POTABLE

SIMBOLOGÍA:

NOTAS:

UBICACIÓN:



CONTENIDO:

PERFIL DE LA CONDUCCIÓN DE IMPULSIÓN
 PROPORCIONADO POR LA ENTIDAD RESPONSABLE

UPV
 MASTER INGENIERÍA HIDRÁULICA Y MEDIO AMBIENTE
 HIDRÁULICA URBANA



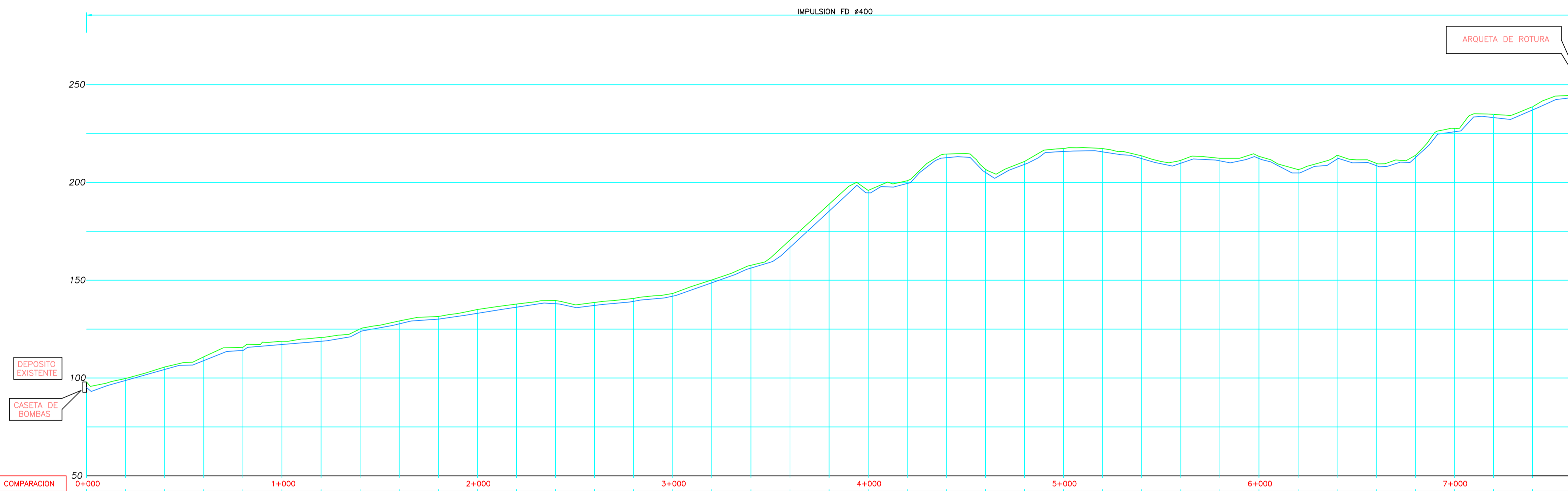
LÁMINA

1/2

ANÓNIMO

ESCALA : E.H: 10-1/ EV: 1-1 FECHA: Febrero, 2018

ARCHIVO :



PLANO DE COMPARACION		TUBERIA	
DISTANCIAS	AL ORIGEN	0.000	0.000
	PARCIALES	200.000	200.000
COTAS	TERRENO	96.120	96.120
	RASANTE	96.748	96.748

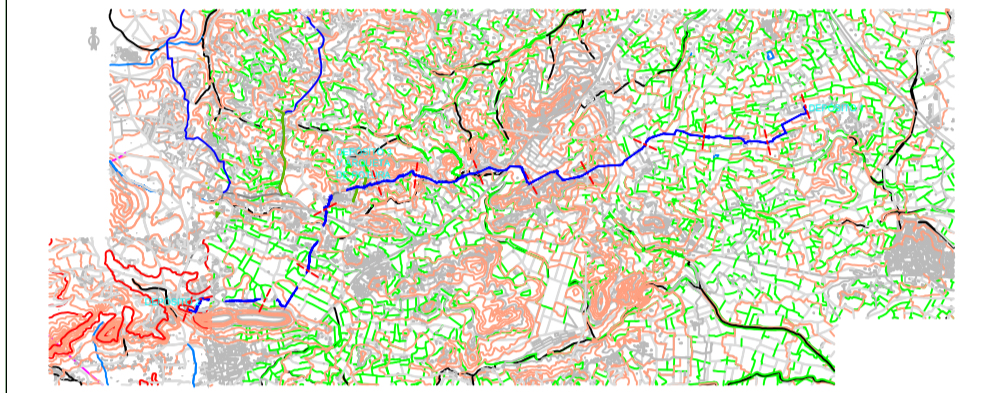
FUNDICION DUCTIL ø4010 mm	
0.000	96.120
200.000	96.748
400.000	104.366
600.000	108.900
800.000	114.114
1000.000	117.098
1200.000	118.793
1400.000	119.793
1600.000	120.773
1800.000	123.611
2000.000	127.678
2200.000	130.098
2400.000	133.078
2600.000	136.217
2800.000	137.972
3000.000	137.227
3200.000	138.651
3400.000	138.220
3600.000	141.862
3800.000	148.688
4000.000	156.213
4200.000	166.788
4400.000	182.305
4600.000	194.855
4800.000	199.464
5000.000	212.418
5200.000	205.478
5400.000	209.225
5600.000	215.819
5800.000	215.609
6000.000	212.175
6200.000	209.826
6400.000	211.028
6600.000	212.363
6800.000	204.659
7000.000	211.955
7200.000	208.617
7400.000	212.970
7600.000	225.894
7800.000	233.167
8000.000	237.07
8200.000	243.351
8400.000	245.400

PROYECTO:
SISTEMA DE CONDUCCIÓN DE AGUA POTABLE

SIMBOLOGÍA:

NOTAS:

UBICACIÓN:



CONTENIDO:

PERFIL DE LA CONDUCCIÓN A GRAVEDAD
 PRPORCIONADO POR LA ENTIDAD RESPONSABLE

UPV
 MASTER INGENIERÍA HIDRÁULICA Y MEDIO AMBIENTE
 HIDRÁULICA URBANA



LÁMINA

2 / 2

ANÓNIMO

ESCALA : E.H: 10-1/ EV: 1-1 FECHA: Febrero, 2018

ARCHIVO :



PLANO DE COMPARACION	
TUBERIA	
DISTANCIAS	AL ORIGEN
	PARCIALES
COTAS	TERRENO
	RASANTE

100	0+000	200.000	400.000	600.000	800.000	1+000	200.000	400.000	600.000	800.000	2+000	200.000	400.000	600.000	800.000	3+000	200.000	400.000	600.000	800.000	4+000	200.000	400.000	600.000	800.000	4+600	
	0.000					0.000					0.000					0.000					0.000					0.000	343.600
	0.000					0.000					0.000					0.000					0.000					0.000	45.600
	245.400	247.00				245.400					245.400					245.400					245.400					245.400	211.00
	235.475	236.786				235.475					235.475					235.475					235.475					235.475	200.885
	228.510	229.965				228.510					228.510					228.510					228.510					228.510	200.885
	227.199	227.842				227.199					227.199					227.199					227.199					227.199	200.885
	227.112	229.039				227.112					227.112					227.112					227.112					227.112	200.885
	224.668	225.930				224.668					224.668					224.668					224.668					224.668	200.885
	218.807	220.271				218.807					218.807					218.807					218.807					218.807	200.885
	206.333	207.757				206.333					206.333					206.333					206.333					206.333	200.885
	200.095	201.937				200.095					200.095					200.095					200.095					200.095	200.885
	192.557	193.734				192.557					192.557					192.557					192.557					192.557	200.885
	183.965	185.497				183.965					183.965					183.965					183.965					183.965	200.885
	176.757	179.889				176.757					176.757					176.757					176.757					176.757	200.885
	176.965	178.352				176.965					176.965					176.965					176.965					176.965	200.885
	176.583	179.706				176.583					176.583					176.583					176.583					176.583	200.885
	179.151	180.517				179.151					179.151					179.151					179.151					179.151	200.885
	183.737	185.079				183.737					183.737					183.737					183.737					183.737	200.885
	185.593	186.918				185.593					185.593					185.593					185.593					185.593	200.885
	191.152	192.777				191.152					191.152					191.152					191.152					191.152	200.885
	195.081	196.502				195.081					195.081					195.081					195.081					195.081	200.885
	194.659	196.176				194.659					194.659					194.659					194.659					194.659	200.885
	191.876	193.165				191.876					191.876					191.876					191.876					191.876	200.885
	196.988	200.885				196.988					196.988					196.988					196.988					196.988	200.885
	206.206	211.00				206.206					206.206					206.206					206.206					206.206	211.00