

**Diseño de un Proyecto para el Sistema de Abastecimiento de Agua Potable
en el sector Centro de la Localidad de Balsa Las Perlas**



TIMONI, Franco Jesús

PROYECTO INTEGRADOR PROFESIONAL

Presentado a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del
Comahue como requisito para la obtención del grado de
INGENIERO MECÁNICO

Neuquén - Argentina

AÑO 2024

**Diseño de un Proyecto para el Sistema de Abastecimiento de Agua Potable
en el sector Centro de la Localidad de Balsa Las Perlas**

TIMONI, Franco Jesús

Director: Mg. Ing. **AUDISIO, Orlando Aníbal**

Co-director: Ing. **MARCHEGIANI, Ariel Ricardo**

Presentado a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del
Comahue como requisito para la obtención del grado de
INGENIERO MECÁNICO

Neuquén - Argentina

AÑO 2024

Diseño de un Proyecto para el Sistema de Abastecimiento de Agua Potable en el sector Centro de la Localidad de Balsa Las Perlas

TIMONI, Franco Jesús

Aprobado en fecha 28 de Agosto de 2024

Tribunal evaluador:

- Ing. PRADO, Ricardo A.
- Ing. LOSANO, Fernando T.
- Ing. ROJAS, Fabián.

AGRADECIMIENTOS

A todos los que me acompañaron y ayudaron durante el transcurso de mi formación académica.

A mis amigos, de mi etapa anterior a entrar en la universidad, que supieron entender mis nuevos tiempos de estudio y siempre me alentaron seguir estudiando. Pero también, a mis nuevos amigos encontrados en la universidad con los cuales hemos compartido muy buenos momentos, pero principalmente he aprendido mucho de ellos.

A mis familiares, madre, hermana, novia, padre y los que siempre están, algunos lamentablemente ya no, pero desde algún lugar me han ayudado y me siguen ayudando. Todos ellos siempre me han ayudado, alentado y soportado durante mi estudio para formarme como ingeniero.

A mis profesores, que dejaron su huella y enseñanza en mi camino recorrido en la universidad. En especial destacar a mi director de Proyecto Integrador Profesional Orlando Audisio y co-director Ariel Marchegiani, quienes me apoyaron y acompañaron durante el desarrollo del trabajo final de carrera recibíndome en la oficina de máquinas hidráulicas incontables veces con la mejor predisposición. Una mención especial para Federico Posdena, que sin ser director o co-director no dudó en darme una guía u opinión sobre la parte de control y automatización.

Por último, pero no menos importante, quiero agradecer a la Universidad Nacional del Comahue como institución que me abrió las puertas y me permitió formarme como profesional.

Diseño de un Proyecto para el Sistema de Abastecimiento de Agua Potable en el sector Centro de la Localidad de Balsa Las Perlas

Autor: TIMONI, Franco Jesús

Director: Mg. Ing. AUDISIO, Orlando Aníbal

Co-Director: Ing. MARCHEGANI, Ariel Ricardo

Resumen

En el presente trabajo, se desarrolla una solución para el abastecimiento de agua potable en el sector centro de la localidad de Balsa Las Perlas. Esta propuesta surge, debido a severos problemas que hay en la localidad con respecto a la accesibilidad de los habitantes al agua potable.

Durante el proceso de diseño, se abordan muchos aspectos relacionados a los elementos y componentes principales de una estación de bombeo; en la que se hace un estudio y análisis del comportamiento de los mismos por separado y en conjunto ante distintas situaciones posibles de funcionamiento. Para realizar la traducción desde una necesidad de consumo de agua a un parámetro de diseño de ingeniería, se utilizan recomendaciones de autores reconocidos en el área de abastecimiento de agua potable y normativa de aplicación.

A lo largo de la etapa de diseño, se toman distintos tipos de decisiones en cuanto a la selección de equipos y elementos necesarios para el sistema de bombeo. El criterio ponderado por encima del resto, es diseñar un sistema de abastecimiento de agua potable que combine fácil operabilidad, bajo mantenimiento y flexibilidad para adaptarse a los consumos de agua esperados. Sumado a estos criterios no se pierde de vista el punto de vista económico, ya que en un proyecto de tal magnitud una solución técnica puede no ser económicamente viable. Por lo tanto, al momento de diseñar partes principales del sistema de bombeo, se hace un especial análisis técnico-económico para la toma de decisiones.

En simples palabras, el trabajo consiste en el diseño de una obra de captación y tratamiento de agua, acueductos de impulsión, selección de bombas principales y rebombes, definición de volúmenes de almacenamiento, selección de elementos para la operación del sistema de bombeo de forma manual y automática.

Palabras clave: Sistema de bombeo, agua potable, caudal, almacenamiento.

Design of a Project for the Drinking Water Supply System in the Downtown sector of the Town of Balsa Las Perlas

Author: TIMONI, Franco Jesús

Advisor: Mg. Eng. AUDISIO, Orlando Aníbal

Co-Advisor: Eng. MARCHEGANI, Ariel Ricardo

Summary

In this work, a solution is developed for the supply of drinking water in the central sector of the town of Balsa Las Perlas. This proposal arises due to severe problems that exist in the town regarding the inhabitants' accessibility to drinking water.

During the design process, many aspects related to the main elements and components of a pumping station are addressed; in which a study and analysis of their behaviour is carried out separately and together, in different possible operating situations. To translate from a water consumption, need to an engineering design parameter, recommendations from recognized authors in the area of drinking water supply and application regulations are used.

Throughout the design stage, different types of decisions are made regarding the selection of equipment and elements necessary for the pumping system. The criterion weighted above the rest is to design a drinking water supply system that combines easy operability, low maintenance and flexibility to adapt to expected water consumption. Added to these criteria, the economic point of view is not lost, since in a project of such magnitude a technical solution may not be economically viable. Therefore, when designing main parts of the pumping system, a special technical-economic analysis is made for decision making.

In simple words, the work consists of the design of a water collection and treatment work, delivery aqueducts, selection of main pumps and repumps, definition of storage volumes, selection of elements for the operation of the pumping system manually. and automatic.

Keywords: Pumping system, drinking water, flow, storage.

Índice

1	INTRODUCCIÓN.....	1
2	OBJETIVO	2
2.1	Objetivo General	2
2.2	Objetivos Específicos.....	2
3	MARCO TEÓRICO.....	3
3.1	Sistema de Abastecimiento de Agua Potable.....	3
3.2	Ecuaciones básicas.....	4
3.2.1	Pérdidas de carga en tuberías	5
3.3	Curva del sistema.....	6
3.3.1	Curva del sistema de tuberías en serie.....	7
3.3.2	Curva del sistema de tuberías en paralelo	8
3.3.3	Curva del sistema con tuberías en serie y paralelo.....	9
3.4	Curva de la bomba	9
3.4.1	Punto de funcionamiento.....	11
3.4.2	Curva de bombas en paralelo	11
3.5	Cavitación	12
3.5.1	NPSH (Net Positive Suction Head).....	12
3.6	Transitorios hidráulicos.....	13
3.6.1	Tiempos de cierre	14
3.6.2	Transmisión y reflexión de perturbaciones	15
3.6.3	Modelado y método de resolución de software Allievi.....	18
4	METODOLOGÍA	20
5	DESARROLLO.....	23
5.1	Problemas con abastecimiento de agua potable en Balsa Las Perlas	23

5.2	Información y contexto del lugar del proyecto	24
5.2.1	Servicio de agua actual.....	27
5.2.2	Servicio eléctrico actual	29
5.2.3	Servicio de gas actual	30
5.3	Normativa de aplicación y ente regulador de agua	30
5.4	Parámetros de diseño	31
5.4.1	Horizonte y períodos de diseño	31
5.4.2	Habitantes actuales y durante el período de diseño.....	32
5.4.3	Caudales de consumo, alturas y longitud del sistema	33
5.4.4	Calidad del agua.....	36
5.4.5	Datos en zona de captación	37
5.5	Entendimiento del problema y distintas soluciones en proyectos similares	38
5.6	Dimensionamiento y selección de elementos / componentes electrohidráulicos de la estación de bombeo.....	41
5.6.1	Planteo general del problema	41
5.6.2	Dimensionamiento y selección de materiales para tuberías del sistema de bombeo	44
5.6.3	Selección de bombas para el funcionamiento del sistema.....	51
5.6.3.1	Alternativa 1: una bomba vertical sumergible.....	52
5.6.3.2	Alternativa 2: dos bombas sumergibles.....	54
5.6.4	Diámetro económico	58
5.6.5	Segunda etapa del sistema de bombeo	61
5.6.6	Análisis de cavitación en las bombas del sistema de bombeo.....	65
5.6.7	Dimensionamiento de volúmenes en tanques elevados y cisternas de almacenamiento.....	66
5.6.8	Selección de elementos y accesorios del sistema hidráulico	72
5.6.9	Simulación del comportamiento del sistema hidráulico ante transitorios	77

5.6.9.1	Protecciones para mitigar el golpe de ariete	79
5.6.10	Selección de elementos y accesorios para el control eléctrico del sistema	86
5.6.11	Dimensionamiento de la obra de captación (pozo filtrante).....	89
5.7	Presupuesto	94
6	CONCLUSIONES.....	96
7	REFERENCIAS	97
8	ANEXO I.....	100
9	ANEXO II.....	101
10	ANEXO III.....	105
11	ANEXO IV.....	106
12	ANEXO V	111
13	ANEXO VI.....	112
14	ANEXO VII	115
15	ANEXO VIII.....	117
16	ANEXO IX.....	119
17	ANEXO X	123

Índice de Figuras

Figura 1. Esquema de curva del sistema entre dos depósitos.	7
Figura 2. Curva del sistema con tuberías en serie.	8
Figura 3. Curva del sistema con tuberías en paralelo.	8
Figura 4. Sistema con resistencia en serie y paralelo con cargas fijas (Mataix, 1975).....	9
Figura 5. Esquema de curva característica de una bomba centrífuga.	10
Figura 6. Combinación de bomba y sistema, con punto de funcionamiento.	11
Figura 7. Bombas en paralelo y punto de funcionamiento con el sistema.....	11
Figura 8. Aspiración para bombas por debajo (izq.) y por encima (der.) del nivel del agua.	13
Figura 9. Transmisión de una onda provocada por una disminución de velocidad (Blanco Marigorta, Velarde Suárez y Fernández Francos, 1994).	14
Figura 10. Propagación y reflexión de ondas en un golpe de ariete (Blanco Marigorta, Velarde Suárez y Fernández Francos, 1994).....	17
Figura 11. Metodología proyectual adaptada de propuestas dadas por (Ulrich & Eppinger, 2013) y (ENOHSA, 2023).	22
Figura 12. Localización de Balsa Las Perlas en Provincia de Río Negro, Argentina.....	25
Figura 13. Ubicación geográfica de Balsa Las Perlas con respecto a rutas y otras ciudades.	25
Figura 14. Cantidad de habitantes en Balsa Las Perlas 1991-2023.	26
Figura 15. Distribución geográfica de barrios de Balsa Las Perlas, vista satelital.	26
Figura 16. Captación de agua ARSA desde el Río Limay.....	27
Figura 17. Captaciones de agua del barrio Río Sol desde el Río Limay (Verdugo, 2023).....	28
Figura 18. Disposición de barrios y perforaciones de agua (Verdugo, 2023).	28
Figura 19. Acceso a energía eléctrica en barrios populares Balas Las Perlas (Ministerio de Desarrollo Social Argentina, 2023).	29
Figura 20. Información de cocina y calefacción en barrios populares (Ministerio de Desarrollo Social Argentina, 2023).....	30
Figura 21. Zona de incumbencia en el período de diseño proyectado del sector Centro de Balsa Las Perlas (Información remitida por Director de PIP).....	33

Figura 22. Vista en planta del sistema de bombeo de agua potable zona centro (Información remitida por Director de PIP).	34
Figura 23. Vista lateral del sistema de bombeo de agua potable zona centro (Información remitida por Director de PIP).	34
Figura 24. Ubicación de la toma de muestra de agua (Verdugo, 2023).....	36
Figura 25. Ubicación de los sitios muestreados (Verdugo, 2023).	37
Figura 26. Planteo general del problema a solucionar.....	39
Figura 27. Partes componentes principales de la estación de bombeo de agua potable.	39
Figura 28. Planteo general del problema con altura, longitudes y caudales de consumo (Información remitida por Director de PIP).	41
Figura 29. Vista en planta del sistema de bombeo de agua potable zona centro (Información remitida por Director de PIP).	42
Figura 30. Esquema de sistema de bombeo, primera etapa con caudales de diseño.	44
Figura 31. Curva del sistema para tramos b-e, b-g y sistema paralelo (b-e // b-g).	48
Figura 32. Curva del sistema para tramo a-b, sistema paralelo (b-e // b-g) y sistema equivalente final (tramo a-b en serie con sistema paralelo).	49
Figura 33. Curva del sistema para bombeo hacia cisterna C1-CE.....	50
Figura 34. Curva del sistema para bombeo hacia cisterna C1-CO.	50
Figura 35. Curvas del sistema.....	51
Figura 36. Punto de funcionamiento para cada bomba vertical sumergible con curva del sistema en el caso de llenado de ambas cisternas simultáneamente (C1-CE y C1-CO).....	53
Figura 37. Punto de funcionamiento con 2 (dos) bombas en paralelo impulsando agua a ambas cisternas.	55
Figura 38. Valores de caudales y alturas en los tramos (b-e, b-g) con configuración de paralelo.	55
Figura 39. Punto de funcionamiento cuando se impulsa agua solo a la cisterna C1-CE.	56
Figura 40. Punto de funcionamiento cuando se impulsa agua solo a la cisterna C1-CO.	57
Figura 41. Diámetro económico PVC PN6 (Tramo a-b).	59
Figura 42. Diámetro económico PVC PN6 (Tramo b-e).	60
Figura 43. Diámetro económico PVC PN6 (Tramo b-g).	60

Figura 44. Sistema por bombeo (g-h), primera parte de la segunda etapa.	61
Figura 45. Sistema por gravedad (h-i), segunda parte de la segunda etapa.	61
Figura 46. Sistema por bombeo (i-j), tercera parte de la segunda etapa.	62
Figura 47. Punto de funcionamiento del sistema g-h (Xylect, 2024).	64
Figura 48. Punto de funcionamiento del sistema i-j (Xylect, 2024).	64
Figura 49. Esquema de volúmenes que componen el volumen total de almacenamiento.	68
Figura 50. Esquema hidráulico del tramo a-b, b-e // b-g.	73
Figura 51. Esquema hidráulico de la zona de captación.	73
Figura 52. Esquema hidráulico del tramo g-h.	74
Figura 53. Esquema hidráulico del tramo h-i.	74
Figura 54. Esquema hidráulico del tramo i-j.	74
Figura 55. Esquema de curva del sistema para la primera etapa (pozo filtrante hacia cisternas C1-CE y C1-CO), con los valores de caudal obtenidos en el punto de funcionamiento.	77
Figura 56. Esquema del sistema de bombeo en programa Allievi.	77
Figura 57. Resultados de la presión interna de las tuberías ante un corte del suministro eléctrico y detención total de las bombas.	79
Figura 58. Curvas de funcionamiento de una válvula anticipadora de onda (VAO) en una estación de bombeo extraído de (Armas, 2024).	80
Figura 59. Datos de maniobra de la válvula anticipadora de onda (VAO), según recomendaciones del fabricante DOROT.	81
Figura 60. Esquema del sistema de bombeo con válvula anticipadora de onda (VAO).	81
Figura 61. Resultados de la presión interna de las tuberías ante un corte de suministro eléctrico y detención total de las bombas, con la implementación de una válvula anticipadora de onda (VAO).	82
Figura 62. Esquema del sistema de bombeo con calderín (tanque hidroneumático).	83
Figura 63. Sistema de bombeo con protección mediante calderín, sin ventosas en las impulsiones.	83
Figura 64. Sistema de bombeo con protección mediante calderín y ventosas en las impulsiones T4 y T5.	84

Figura 65. Comparación del sistema de bombeo protegida con calderín con y sin ventosas en el tramo T4 (b-e).....	85
Figura 66. Comparación del sistema de bombeo protegida con calderín con y sin ventosas en el tramo T5 (b-g).....	85
Figura 67. Esquema de instalación de calderín vertical con membrana (Bermad, 2024).....	86
Figura 68. Esquema simple de control eléctrico del sistema de bombeo tramo (1).	88
Figura 69. Esquema simple de control eléctrico del sistema de bombeo válido para tramo (2) y (3).	89
Figura 70. Dimensiones recomendadas (American National Standards Institute & Hydraulic Institute, 1998).....	90
Figura 71. Galería que compromete la parte superior del acuífero adyacente a una fuente de recarga superficial (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 2002). .	92
Figura 72. Áreas de intercambio de agua en galería y pozo filtrante.	93
Figura 73. Incidencias en el presupuesto actualizado del sistema de bombeo Balsa Las Perlas zona centro (Información remitida por Director de PIP y modificada por el autor).....	95
Figura 74. Resultados del análisis de agua del Río Limay realizados por Laboratorio Praxis (Verdugo, 2023).....	102
Figura 75. Resultados del análisis de agua de pozo PM19 abril, realizado por Laboratorio IDAC hoja-1 (Verdugo, 2023).....	103
Figura 76. Resultados del análisis de agua de pozo PM19 abril, realizado por Laboratorio IDAC hoja-2 (Verdugo, 2023).....	104
Figura 77. Especificación técnica bomba Flygt NP 3202 SH 3~273 (Xylem, 2024).....	105
Figura 78. Curva del sistema tramo g-h.....	106
Figura 79. Curva del sistema tramo por gravedad h-i.	106
Figura 80. Curva del sistema tramo i-j.	106
Figura 81. Curvas características de bomba Lowara IXPS 100-80-125B75P25BDN4S0 (Xylem, 2024).....	107
Figura 82. Curvas características de bomba Lowara IXPC 100-80-125B75P25BDN4S1G (Xylem, 2024).....	108
Figura 83. Curvas características de bomba Lowara IXPC 100-65-250C30P45BDN4S1G (Xylem, 2024).....	109

Figura 84. Curvas características de bomba Lowara IXPS 100-65-250C40P45BDN4S0 (Xylem, 2024).....	110
Figura 85. Curva de consumo modelado como una senoide (ENOHSA, 2023).....	111
Figura 86. Geometría y dimensiones de tanque de forma cilíndrica.	112
Figura 87. Geometría y dimensiones de cisterna de forma prismática de base rectangular.	113
Figura 88. Montaje de válvula anticipadora de onda dado por fabricante (Dorot, 2024).	115
Figura 89. Montaje de la válvula de control de nivel por flotador diferencial dado por fabricante (Dorot, 2024).	116
Figura 90. Presión máxima, mínima y permanente en tubería T2 (colector).	119
Figura 91. Presión máxima, mínima y permanente en tubería T3 (impulsión del tramo a-b).	119
Figura 92. Presión máxima, mínima y permanente en tubería T4 (impulsión del tramo b-e).	120
Figura 93. Presión máxima, mínima y permanente en tubería T5 (impulsión tramo b-g).....	120
Figura 94. Presión máxima, mínima y permanente en tubería T2 (colector) con VAO.	121
Figura 95. Presión máxima, mínima y permanente en tubería T3 (impulsión tramo a-b) con VAO.	121
Figura 96. Presión máxima, mínima y permanente en tubería T4 (impulsión tramo b-e) con VAO.	122
Figura 97. Presión máxima, mínima y permanente en tubería T5 (impulsión tramo b-g) con VAO.	122
Figura 98. Diagrama de conexión eléctrica tramo (1) completo.	123
Figura 99. Diagrama de conexión con acercamiento a la lógica del PLC en el tramo (1). ..	124
Figura 100. Diagrama de conexión con acercamiento a esquema de control y potencia del tramo (1).	124
Figura 101. Diagrama de conexión eléctrica tramo (2) completo, (C1-CO a Tk1-CO).	126
Figura 102. Diagrama de conexión eléctrica tramo (3) completo, (C2-CO a Tk2-CO).	127

Índice de Tablas

Tabla 1. Períodos de diseño en un sistema de agua potable (ENOHSA, 2023).	32
Tabla 2. Longitudes de los distintos tramos de tuberías en el sector centro de Balsa Las Perlas.	35
Tabla 3. Puntos de referencia del sistema de bombeo, alturas, caudales de consumo de los distintos sistemas, volúmenes de cisternas y tanques elevados.	35
Tabla 4. Resumen de los parámetros característicos de la zona de captación de agua.	38
Tabla 5. Consumos típicos para servicio con y sin medidores (ENOHSA, 2023).	43
Tabla 6. Definición de coeficientes de caudal (ENOHSA, 2023).	43
Tabla 7. Coeficientes de caudal (ENOHSA, 2023).	43
Tabla 8. Caudales, coeficientes y población servida en el sistema de bombeo.	43
Tabla 9. Relación de costo por unidad de longitud entre PEAD y PVC (SB Argentina, 2024).	45
Tabla 10. Datos característicos sobre el primer tramo del sistema de bombeo.	46
Tabla 11. Datos sobre el agua y gravedad (Sanks, 1998).	47
Tabla 12. Datos sobre los tramos del sistema de bombeo (diámetros, longitud, coeficientes de pérdida localizada, clase, velocidad de impulsión y caudal de bombeo requerido).	47
Tabla 13. Valores de coeficiente de pérdida localizada adoptados para los distintos tramos de las tuberías (Sanks, 1998).	47
Tabla 14. Punto de funcionamiento y parámetros característicos de cada bomba vertical sumergible.	52
Tabla 15. Punto de funcionamiento de cada bomba vertical sumergible con su error relativo respecto al punto requerido por el sistema.	52
Tabla 16. Punto de funcionamiento con bombeo de agua hacia ambas cisternas, dos bombas funcionando.	54
Tabla 17. Punto de funcionamiento con bombeo de agua hacia la cisterna C1-CE, 1 (una) bomba funcionando.	56
Tabla 18. Punto de funcionamiento con bombeo de agua hacia cisterna C1-CO, 2 (dos) bombas funcionando.	57
Tabla 19. Parámetros de funcionamiento en las tres situaciones de bombeo para la primera etapa.	58

Tabla 20. Resultados de diámetro económico por tramos, con caudal máximo de bombeo en cada tramo.	61
Tabla 21. Datos característicos sobre los sistemas de bombeo de la segunda etapa.	62
Tabla 22. Bombas para impulsión de agua en el tramo g-h, (C1-CO a Tk1-CO).	63
Tabla 23. Bombas para impulsión de agua en el tramo i-j, (C2-CO a Tk2-CO).	63
Tabla 24. Análisis de cavitación y factor de seguridad en las bombas del sistema respecto a la cavitación, valores de presión atmosférica y de vapor (Sanks, 1998).	65
Tabla 25. Valores propuestos por (ENOHSA, 2023) de volumen operacional en función del coeficiente α_2 (máximo horario del día de máximo consumo anual).	67
Tabla 26. Valores de almacenamiento requeridos por cada subsistema o red de distribución.	68
Tabla 27. Volumen de cisterna C1-CE para subsistema de redes R3.	69
Tabla 28. Volumen de la cisterna existente a remodelar para subsistema de redes R1.	69
Tabla 29. Volumen de tanque elevado Tk1-CO para subsistema de redes R4.	69
Tabla 30. Volumen de cisterna C1-CO para subsistemas de redes R2 y R4.	70
Tabla 31. Volumen de cisterna C2-CO y tanque elevado Tk2-CO para subsistema de redes R10.	70
Tabla 32. Autonomía de abastecimiento de agua para cada subsistema de redes, según los posibles caudales de consumo.	71
Tabla 33. Dimensiones de tanques elevados cilíndricos maximizando el volumen de almacenamiento.	71
Tabla 34. Dimensiones de cisternas de base rectangular maximizando el volumen de almacenamiento.	72
Tabla 35. Accesorios hidráulicos para el tramo a-b, b-e y b-g (Genebre, 2024), (Dorot, 2024).	75
Tabla 36. Accesorios hidráulicos para el tramo g-h (Genebre, 2024).	76
Tabla 37. Accesorios hidráulicos para el tramo h-i (Genebre, 2024), (Dorot, 2024).	76
Tabla 38. Accesorios hidráulicos para el tramo i-j (Genebre, 2024).	76
Tabla 39. Resultados y errores relativos porcentuales obtenidos mediante los dos métodos de curva de la bomba.	78
Tabla 40. Datos de válvula anticipadora de onda (VAO).	80

Tabla 41. Datos principales del calderín.....	83
Tabla 42. Datos de ramal de unión y coeficientes de pérdidas en calderín.	83
Tabla 43. Dimensiones comerciales de calderín seleccionado.	84
Tabla 44. Resultados de la altura mínima del pozo filtrante.	91
Tabla 45. Diámetro mínimo del pozo filtrante y separaciones entre pared y bombas.....	92
Tabla 46. Valores característicos de la zona de captación y caudal requerido.	93
Tabla 47. Resultados de dimensiones de galería filtrante y equivalente de pozo filtrante.	94
Tabla 48. Resumen actualizado del presupuesto sistema de bombeo Balsa Las Perlas zona centro (Información remitida por Director de PIP y modificada por el autor).	94
Tabla 49. Habitantes, área por barrio, área total y densidad poblacional Balsa Las Perlas, (Información de habitantes año 2022 por lote brindada por el mediador comunitario de la localidad Jaime Flores).....	100
Tabla 50. Resumen de las características físico-químicas de las muestras (Verdugo, 2023).	101
Tabla 51. Dimensionamiento de válvula anticipadora de onda, lineamientos de fabricante (Dorot, 2024).	115
Tabla 52. Datos sobre depósitos de agua.....	117
Tabla 53. Datos sobre tuberías del sistema.....	117
Tabla 54. Datos sobre descarga a presión atmosférica de las tuberías hacia los depósitos en cada tramo.	117
Tabla 55. Datos sobre parámetros de las bombas.....	117
Tabla 56. Resultados de tramos del sistema con la bomba mediante curva por puntos.	118
Tabla 57. Resultados para cada bomba con curva por puntos.....	118
Tabla 58. Resultados de tramos del sistema con bomba mediante curva universal.	118
Tabla 59. Resultados para cada bomba con curva universal.	118
Tabla 60. Elementos básicos para el control eléctrico (protección y maniobra), de las bombas del tramo (1).	125
Tabla 61. Elementos básicos para el control eléctrico (protección y maniobra), de las bombas del tramo (2).	127

Tabla 62. Elementos básicos para el control eléctrico (protección y maniobra), de las bombas del tramo (3).	128
---	-----

1 INTRODUCCIÓN

El agua potable es una necesidad básica para el crecimiento y desarrollo de la vida humana, como establece el Decreto N°303/06 de la República Argentina, el cual contempla el carácter de Derecho Humano del acceso al agua potable. Por otro lado, desde la formación de la localidad de Balsa Las Perlas no se registraron soluciones reales y concretas a esta necesidad.

En la actualidad, en gran parte la decisión de la captación, tratamiento y distribución de agua va por cuenta de los vecinos del lugar, los cuales han creado cooperativas o comisiones vecinales para autogestionar el abastecimiento de agua. En algunas ocasiones cada habitante, de forma particular, se abastece por sus propios medios el agua que utiliza de forma cotidiana. Esta localidad ha tenido un crecimiento importante en los últimos 20 años, pasando de 928 habitantes en el año 2001, según el censo del (INDEC, 2024), a más de 20.000 personas en el año 2023. Este último dato fue brindado por vecinos y comisiones vecinales del lugar, ya que la localidad no fue censada en el año 2020 (primero por la pandemia y luego por ser considerada un paraje).

Por lo descrito anteriormente, se considera de vital importancia realizar un trabajo de ingeniería que solucione el problema de la falta de agua potable para las/os vecinas/os del lugar, que tenga en cuenta un sistema unificado-adaptable, el cual proporcione agua potable al sector centro de la localidad y no de forma sectorizada por barrios como es actualmente. Sumado a esto, se propone que el abastecimiento de agua que se diseñe se haga con proyección y adaptabilidad al crecimiento poblacional que presenta la localidad.

El presente trabajo consiste en el diseño de un sistema de captación (pozo filtrante), definición de un de tratamiento para el agua del pozo, acueductos de impulsión, definición de volumen en reservorios, definición de rebombeos, y operación en forma manual-automática.

2 OBJETIVO

2.1 Objetivo General

Diseñar a nivel de proyecto ejecutivo un sistema de abastecimiento, tratamiento y provisión de agua potable (necesidad humana básica) en el sector Centro de la localidad de Balsa Las Perlas, considerando el crecimiento poblacional del lugar a 25 años.

2.2 Objetivos Específicos

- Diseño de un sistema de captación de aguas, estación de bombeo, sistema de potabilización y sistema troncal de abastecimiento hacia el/los tanque/s de almacenamiento para proveer agua potable.
- Diseño de un sistema de operación y control de forma automática, adaptándose a los consumos de agua según la cantidad de usuarios, horarios del día y época del año.
- Definir un sistema que combine fácil operabilidad y bajo mantenimiento.
- Diseño de planos del sistema de abastecimiento de agua potable.
- Determinar los costos de construcción e indicadores económicos.

3 MARCO TEÓRICO

En este apartado se presentan los fundamentos teóricos que contemplan los temas abordados y desarrollados en el proyecto, considerando los aspectos principales de los Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable, en relación a los elementos que los constituyen y su comportamiento en conjunto.

3.1 Sistema de Abastecimiento de Agua Potable

Un sistema de abastecimiento de agua potable consiste en un conjunto de elementos que permiten el transporte a través de tuberías y el almacenamiento temporal del agua potable, de forma que se cumplan las especificaciones de caudal y presión necesarias en los diferentes subsistemas o redes a abastecer (Blanco Marigorta, Velarde Suárez y Fernández Francos, 1994).

Algunos de los elementos típicos que se pueden encontrar en estos sistemas son:

- Tuberías.
- Bombas.
- Depósitos. (Tanques elevados o cisternas).
- Elementos de regulación y control. (Válvulas).
- Elementos de protección hidráulica. (Dispositivos de protección frente al golpe de ariete).
- Elementos de control, regulación y protección eléctrica.
- Obra de captación de agua.
- Sistema de potabilización de agua.

El diseño de un sistema de bombeo para abastecimiento de agua en una localidad consiste en el cálculo y/o diseño de los elementos que lo componen, de tal forma de cumplir con el consumo de agua de la población a la cual se pretende abastecer. El mismo debe ser flexible para absorber las variaciones normales que se dan en la demanda de agua durante el día, el mes y el año; ya que, el uso del agua es un factor variable con respecto a la época del año, los días del mes y las horas del día.

Un sistema de abastecimiento de agua potable, además de satisfacer el transporte de agua potable desde un lugar a otro bajo ciertos requerimientos de caudal y presión, debe hacerlo de la forma más económica posible, respetando otros aspectos como la seguridad, facilidad de mantenimiento, bajo impacto ambiental y fácil operabilidad.

3.2 Ecuaciones básicas

Las ecuaciones básicas a considerar para la resolución de los problemas de dinámica de fluidos en este trabajo son: ecuación de continuidad y energía. Las cuales en su forma simplificada y aplicadas a este caso de estudio son de la siguiente manera:

En el caso de flujo en conductos entre un punto de entrada (1) y uno de salida (2), se considera que el flujo es estacionario y que la velocidad es uniforme en una sección transversal. Para el cálculo se toma la velocidad media en cada sección, con la dirección del eje del conducto y perpendicular a la sección normal. Entonces:

La ecuación de continuidad entre dos secciones 1 y 2 es:

$$\rho_1 A_1 v_1 = \rho_2 A_2 v_2 \quad (1)$$

Y para el caso de flujo incompresible ($\rho_1 = \rho_2$), la ecuación se simplifica a:

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 = Q \quad (2)$$

- Q : Caudal volumétrico.
- A : Área interna de la sección transversal considerada.
- ρ : Densidad del agua.
- v : Velocidad media del flujo en la tubería.

La ecuación de la energía entre dos secciones 1 y 2 es:

$$\frac{P_1}{\rho_1 g} + \frac{v_1^2}{2g} + Z_1 - \Delta J_{total}^{1 \rightarrow 2} + H_n = \frac{P_2}{\rho_2 g} + \frac{v_2^2}{2g} + Z_2 \quad (3)$$

- P : Presión estática dentro de la tubería.
- g : Aceleración de la gravedad.
- Z : Cota o altura geométrica de la sección considerada.
- ΔJ_{total} : Energía total perdida por rozamiento, se denomina pérdida de carga total.
- H_n : Altura neta o altura del sistema.

En general a la diferencia de altura entre Z_2 y Z_1 se le suele notar como H_B y se denomina altura bruta. El significado físico de los términos de la ecuación (3) es:

- $\frac{P}{\rho g}$: Energía debida a la presión, expresada como altura de presión [m].
- $\frac{v^2}{2g}$: Energía debida a la velocidad, expresada como altura [m].
- Z : Energía potencial debida a la diferencia de altura respecto a un nivel de referencia [m].

3.2.1 Pérdidas de carga en tuberías

La pérdida de energía por rozamiento a lo largo de una tubería en régimen turbulento depende fundamentalmente del cuadrado del caudal (Blanco Marigorta, Velarde Suárez y Fernández Francos, 1994). A las pérdidas de carga totales se las puede separar en dos tipos, localizadas y distribuidas.

$$\Delta J_{total} = \Delta J_{distribuida} + \Delta J_{localizada} \quad (4)$$

Las pérdidas de carga distribuidas por fricción propuestas por Darcy y Weisbach son:

$$\Delta J_{distribuida} = f \left(\frac{L}{d} \right) \frac{v^2}{2g} \quad (5)$$

Y las pérdidas de carga por turbulencia, la cual contempla un sistema de tuberías con entradas y salidas de tanques, codos, válvulas y demás accesorios son:

$$\Delta J_{localizada} = k \frac{v^2}{2g} \quad (6)$$

- f : Factor de fricción adimensional obtenido experimentalmente.
- L : Longitud de la tubería.
- d : Diámetro interno de la tubería.
- k : Coeficiente adimensional de pérdida localizada obtenido experimentalmente.

Por lo tanto, las pérdidas localizadas y distribuidas se pueden expresar en función de coeficientes, donde se mantiene una dependencia cuadrática con el caudal que circula por el tramo.

$$\Delta J_{distribuida} = \left(\frac{8fL}{g\pi^2 d^5} \right) Q^2 \quad (7)$$

$$\Delta J_{localizada} = \left(\frac{8}{g\pi^2 d^4} \Sigma k_i \right) Q^2 \quad (8)$$

$$\Delta J_{total} = k_{global} Q^2 \quad (9)$$

Para el cálculo del coeficiente de fricción (f) se propone utilizar la aproximación dada en los apuntes de cátedra “Curvas características – Punto de funcionamiento (La.M.Hi)” del Co-director del presente PIP, donde se utiliza la expresión de Swamee-Jain mostrada en la ecuación (10); la cual, si se utiliza dentro de los rangos mostrados en la ecuación (11), se obtienen errores menores al 1% en comparación con la ecuación de Colebrook-White

$$f = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{\varepsilon}{3,7d} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) \right]^2} \quad (10)$$

los rangos de aplicación con bajo porcentaje de error son:

$$10^{-6} \leq \frac{\varepsilon}{d} \leq 10^{-2} \quad \text{y} \quad 5 \times 10^3 \leq Re \leq 10^8 \quad (11)$$

donde se definen:

$$Re = \frac{\rho v d}{\mu} \quad (12)$$

- ε : Rugosidad superficial absoluta de la tubería.
- μ : Viscosidad dinámica del agua.
- Re : Número adimensional de Reynolds.

Cabe mencionar que la relación propuesta de las pérdidas de carga (ΔJ) en función del caudal de forma cuadrática no es del todo exacta; ya que, el factor de fricción (f) depende del número de Reynolds y éste depende de la velocidad, por ende, del caudal. Sin embargo, los autores consultados Blanco Marigorta, Velarde Suárez y Fernández Francos (1994), Mataix (1975), y Sanks (1998) utilizan la aproximación mencionada, asumiendo que el factor f no varía demasiado; es decir, no se comete demasiado error frente a los porcentajes de error admisible que hay en la mayoría de los sistemas de bombeo.

3.3 Curva del sistema

Una forma sencilla de visualizar el funcionamiento de un sistema de tuberías es utilizando lo que se conoce como curva del sistema. Esta curva define la variación de altura con respecto al caudal en un tramo de tubería y tiene un comportamiento definido por la parábola $\Delta J = kQ^2$ (Blanco Marigorta, Velarde Suárez y Fernández Francos, 1994).

Al plantear un balance de energía entre los niveles superiores de agua de dos depósitos 1 y 2 se obtiene lo que se conoce como curva del sistema, bajo las siguientes hipótesis:

- La presión tanto en el punto 1 como en el 2 es atmosférica.
- La velocidad de los niveles 1 y 2 son despreciables frente a las velocidades en el sistema.
- La altura bruta será la diferencia de alturas entre los niveles 1 y 2.

$$H_n = H_B + k_{global}Q^2 \quad (13)$$

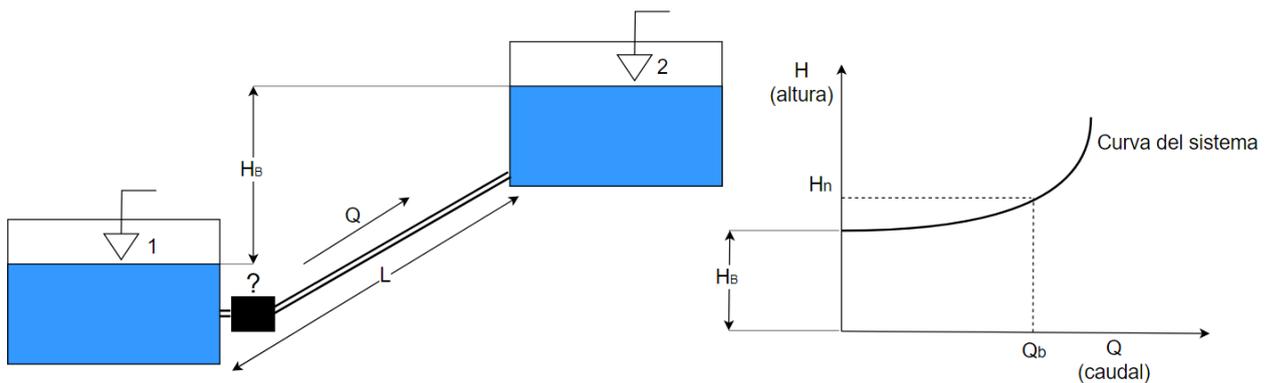


Figura 1. Esquema de curva del sistema entre dos depósitos.

Si se quiere elevar agua desde el depósito inferior al superior, hay que vencer la pérdida de carga en la tubería y la diferencia de altura. En este caso la altura neta (H_n) representa la energía necesaria para la impulsión de un determinado caudal de bombeo (Q_b) entre los depósitos con una diferencia de niveles estáticos (H_B) y separados una distancia (L).

3.3.1 Curva del sistema de tuberías en serie

En las tuberías en serie, el caudal que circula por ellas es el mismo y la pérdida de carga es la suma de la de cada una.

$$\Delta J_{total} = \Delta J_1 + \Delta J_2 + \dots = k_1 Q_1^2 + k_2 Q_2^2 + \dots \quad (14)$$

$$Q_{total} = Q_1 = Q_2 = \dots \quad (15)$$

Se pueden considerar como una única tubería cuya resistencia es la suma de las resistencias individuales.

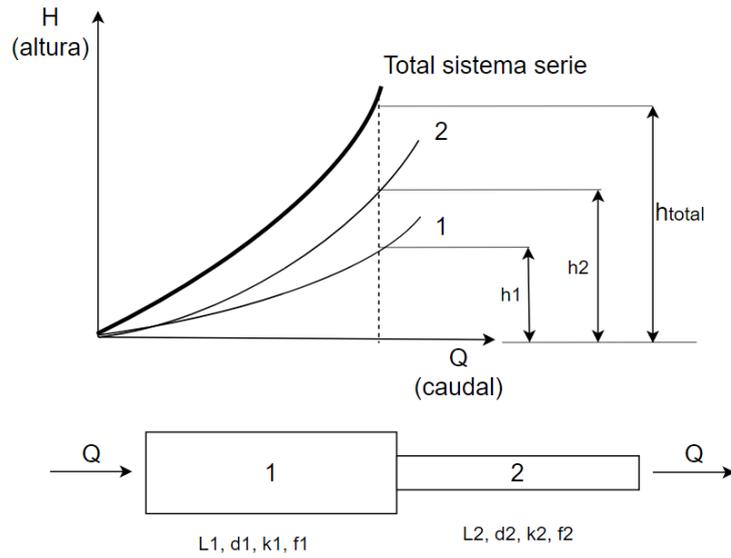


Figura 2. Curva del sistema con tuberías en serie.

3.3.2 Curva del sistema de tuberías en paralelo

Cuando dos o más tuberías están en paralelo, el caudal es la suma de los caudales individuales, pero la diferencia de altura entre los extremos, es la misma para todos.

$$Q_{total} = Q_1 + Q_2 + \dots \quad (16)$$

$$\Delta J_{total} = \Delta J_1 = \Delta J_2 = \dots = k_1 Q_1^2 = k_2 Q_2^2 = \dots \quad (17)$$

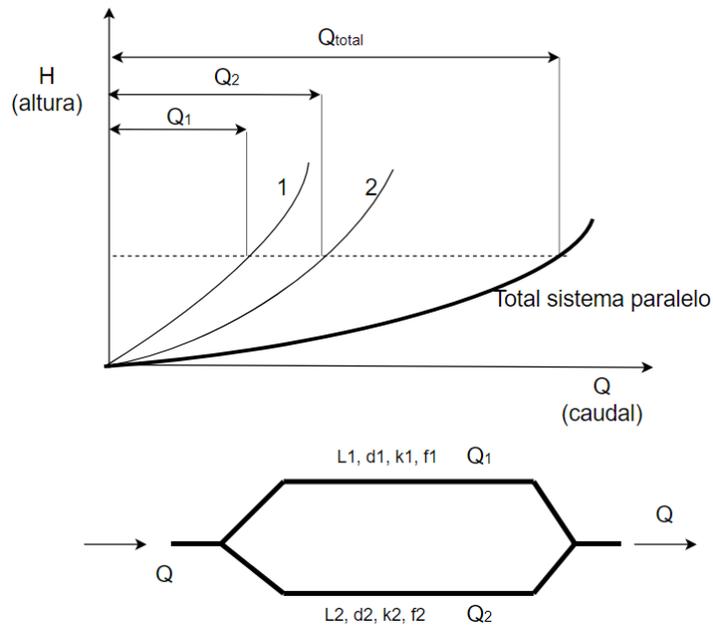


Figura 3. Curva del sistema con tuberías en paralelo.

3.3.3 Curva del sistema con tuberías en serie y paralelo

En el caso de tener una combinación de sistemas en serie y paralelo, lo que se debe plantear es el armado de las curvas características de altura de pérdida de carga en función del caudal, parciales en cada tramo de tubería de diámetro constante (Mataix, 1975). Luego, se deberán respetar las ecuaciones de los arreglos en serie y paralelo en cada tramo de tubería, para poder encontrar sistemas equivalentes parciales hasta llegar a un sistema equivalente final que represente la energía necesaria en función del caudal del sistema completo. Un caso como éste se puede ver en la Figura 4 y se analizará más adelante.

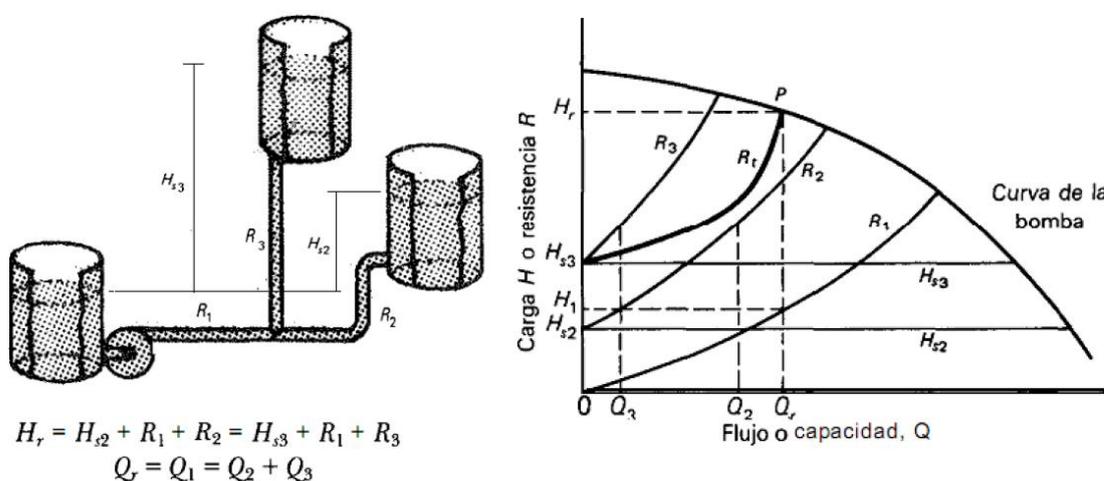


Figura 4. Sistema con resistencia en serie y paralelo con cargas fijas (Mataix, 1975).

3.4 Curva de la bomba

Las bombas son elementos que aportan energía para vencer las pérdidas de carga y diferencia de alturas entre dos puntos. Las más utilizadas en los sistemas de bombeo convencionales son las bombas centrífugas y axiales. Estas bombas rotodinámicas consiguen incrementar la energía del fluido a base de aumentar la energía cinética, por medio de la deflexión y el efecto centrífugo que provocan los álabes del rodete, recuperando esta energía posteriormente en forma de presión (Blanco Marigorta, Velarde Suárez y Fernández Francos, 1994).

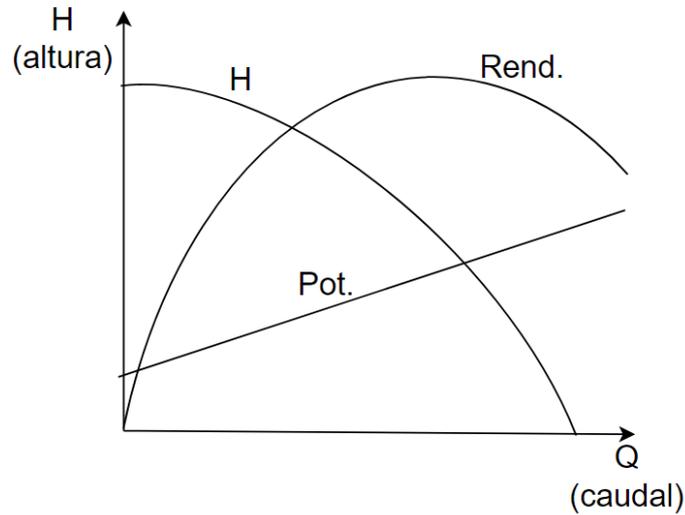


Figura 5. Esquema de curva característica de una bomba centrífuga.

La potencia requerida por la bomba depende del caudal y tiende a aumentar con él en las bombas centrífugas. La potencia hidráulica es la suministrada por la bomba al fluido, siendo:

$$P_{Hid} = \rho g Q H_n \quad (18)$$

y el rendimiento de la bomba viene definido por:

$$\eta = \frac{\rho g Q H_n}{P_{cons}} \quad (19)$$

donde P_{cons} es la potencia que consume la bomba.

El rendimiento es máximo en lo que se conoce como punto de diseño de la bomba, y disminuye para caudales superiores e inferiores al de diseño.

En general se modela la curva de la bomba $H = f(Q)$ como un polinomio de grado 2 (una parábola), siendo el fabricante de las mismas quien provee los valores de los coeficientes o de un gráfico de la curva característica.

$$H = aQ^2 + bQ + c \quad (20)$$

Debe procurarse arrancar las bombas en el punto de funcionamiento que requiera menor potencia para no sobrecargar el motor. En las bombas centrífugas esto se consigue con el caudal mínimo.

3.4.1 Punto de funcionamiento

El caudal que circula por la bomba y la altura de elevación que proporciona al sistema, están condicionados por la interacción de la bomba y el sistema. El punto de funcionamiento (Q_b, H_n) está dado por la intersección entre la curva resistente del sistema con la curva característica de la bomba (Mataix, 1975). La altura que proporciona la bomba se emplea para vencer las pérdidas de carga y en superar la diferencia de altura entre los depósitos, si la hubiera.

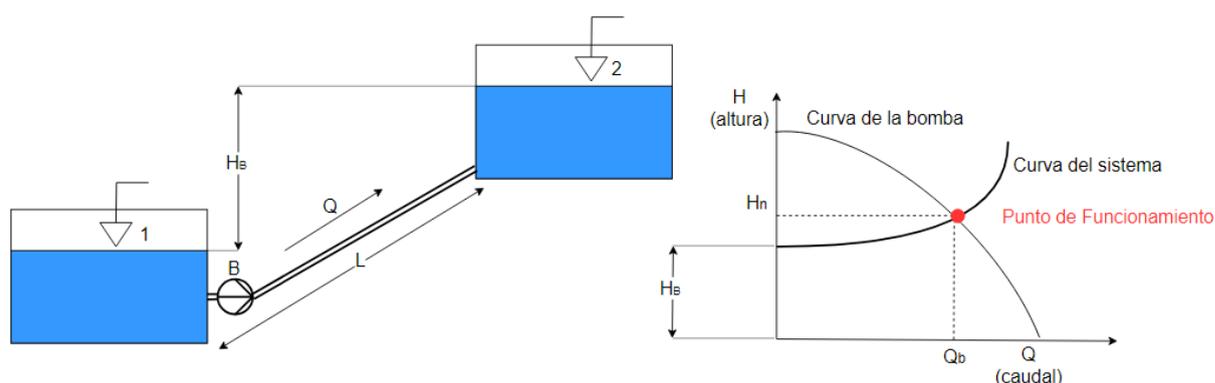


Figura 6. Combinación de bomba y sistema, con punto de funcionamiento.

3.4.2 Curva de bombas en paralelo

La utilización de bombas en paralelo suele ser útil como sistema de regulación cuando se requieren satisfacer características variables en un sistema de bombeo. Varias bombas en paralelo resultarán en una curva característica conjunta en la que los caudales se suman para cada altura.

Cuando se utiliza el arreglo de bombas en paralelo es conveniente que sean similares, mejor aún si son idénticas, para evitar que alguna de ellas trabaje en una zona poco adecuada respecto del punto de diseño (Blanco Marigorta, Velarde Suárez y Fernández Francos, 1994).

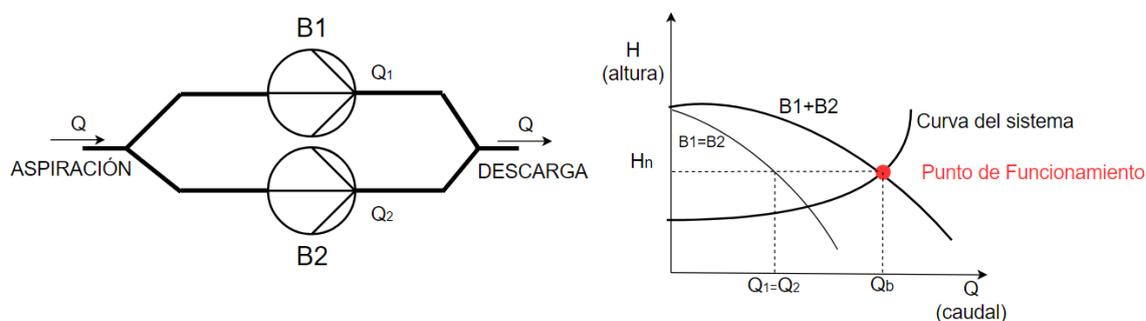


Figura 7. Bombas en paralelo y punto de funcionamiento con el sistema.

3.5 Cavitación

La cavitación constituye un fenómeno importante en la selección y operación de bombas, válvulas y otros equipos de control. Puede provocar un mal funcionamiento de la instalación y deterioro de los elementos mecánicos, dando lugar a reparaciones costosas (Blanco Marigorta, Velarde Suárez y Fernández Francos, 1994).

Se produce cuando en algún punto la presión del fluido desciende por debajo de la presión de vapor, formándose burbujas de vapor por ebullición. Se ha comprobado que la presencia de gases disueltos favorece a la aparición de estas burbujas, actuando como núcleos de formación. Cuando estas burbujas se ven afectadas por una presión superior, se vuelven inestables y colapsan violentamente. Esto provoca ruido, vibraciones y erosión en los equipos y elementos hidráulicos (Blanco Marigorta, Velarde Suárez y Fernández Francos, 1994). Debido a lo expuesto anteriormente es un fenómeno no deseable en un sistema de bombeo, por lo cual, se deberá controlar adecuadamente para proteger a la instalación y alargar su vida útil.

3.5.1 NPSH (Net Positive Suction Head)

Para evitar la cavitación, hace falta mantener una presión suficiente por encima de la presión de vapor en la entrada de la bomba. El valor necesario es calculado por el fabricante y se denomina $NPSH_r$ (altura neta positiva de aspiración requerida). Desde el punto de vista de la utilización, hay que asegurar de que el $NPSH_d$ (altura neta positiva de aspiración disponible) en el sistema sea superior al $NPSH_r$. Es decir, para que no exista cavitación se debe cumplir que $NPSH_d > NPSH_r$.

Para el caso de una bomba conectada a un depósito la ecuación del $NPSH_d$ es:

$$NPSH_d = h_{atm} - h_{vap} \pm z - \Delta J_{asp} \quad (21)$$

- h_{atm} : Altura de presión atmosférica.
- h_{vap} : Altura de presión de vapor.
- z : Altura de aspiración.
 - Puede ser positiva o negativa dependiendo de la diferencia entre el nivel estático de agua y el nivel donde aspira la bomba. Ver Figura 8.
- ΔJ_{asp} : Pérdidas de energía en la tubería de aspiración.
- $NPSH_d$: Es la cantidad de energía con la que el líquido llegará a la boca de aspiración de la bomba, es decir, es la energía disponible medida en la aspiración de la bomba.

- $NPSH_r$: Es la energía mínima requerida en la succión de la bomba, por sobre la presión de vapor del líquido a la temperatura de bombeo.

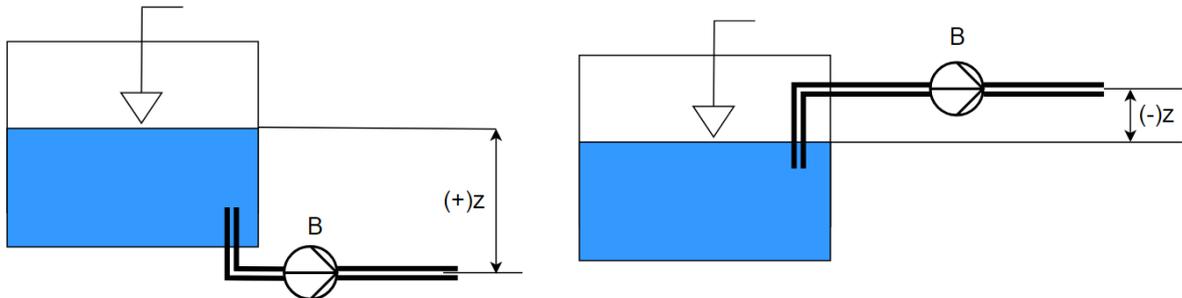


Figura 8. Aspiración para bombas por debajo (izq.) y por encima (der.) del nivel del agua.

3.6 Transitorios hidráulicos

Los transitorios hidráulicos tienen lugar cuando se ponen en funcionamiento o paran las bombas en una instalación, al abrir y cerrar válvulas, en los procesos de llenado y vaciado de tuberías, etc. Es decir, se dan siempre que se produce una variación brusca en la velocidad del fluido (Blanco Marigorta, Velarde Suárez y Fernández Francos, 1994).

La fuerza necesaria para disipar la cantidad de movimiento de un líquido al disminuir su velocidad causa un aumento de presión que se transmite por las tuberías con una velocidad de propagación. La magnitud del incremento de presión depende de la rapidez del cambio y de la velocidad de la onda. De la misma manera, las ondas de depresión, debidas a las aperturas de las válvulas o a los rebotes en los depósitos pueden alcanzar valores muy próximos al vacío absoluto; bajo estas condiciones se produce cavitación e incluso hay riesgo de colapso de las tuberías si se llega a presiones menores a las admisibles (Blanco Marigorta, Velarde Suárez y Fernández Francos, 1994).

El incremento de presión resultante de una reducción brusca de velocidad, se puede hallar aplicando la ecuación no estacionaria de cantidad de movimiento a un volumen de control sobre la tubería que incluya la zona donde está ocurriendo el cambio.

Se parte del caso más simple en donde se considera una tubería horizontal sin rozamiento con un cierre parcial de la válvula, que reduzca instantáneamente la velocidad (Δv) acompañado de un incremento de presión (ΔH). Esta sobrepresión se traslada aguas arriba a la velocidad del sonido (a), comprimiendo el fluido y expandiendo la tubería.

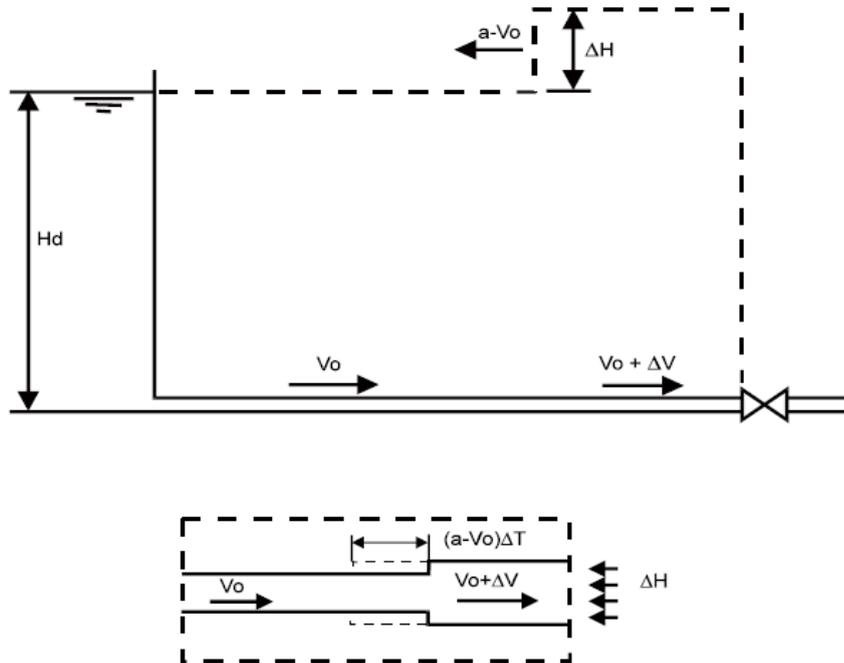


Figura 9. Transmisión de una onda provocada por una disminución de velocidad (Blanco Marigorta, Velarde Suárez y Fernández Francos, 1994).

De Blanco Marigorta, Velarde Suárez y Fernández Francos (1994) se obtiene la expresión de sobrepresión, conocida como ecuación de Allievi:

$$\Delta H = \frac{\Delta v a}{g} \quad (22)$$

La velocidad de onda (a) depende de la densidad del fluido (ρ), del módulo de elasticidad del líquido (módulo de Bulk K_B), módulo de elasticidad de Young del material de la tubería (E), diámetro interno (d), espesor de la tubería (e) y una constante (C) que varía desde 0,85 a 1 en función del grado de sujeción o anclajes de la tubería (Blanco Marigorta, Velarde Suárez y Fernández Francos, 1994).

$$a = \frac{1}{\sqrt{\rho \left(\frac{1}{K_B} + \frac{C d}{e E} \right)}} \quad (23)$$

3.6.1 Tiempos de cierre

En general se habla de cierre instantáneo de la válvula, en la práctica el cierre de las válvulas es gradual y la onda no presenta un frente brusco sino una rampa de mayor o menor pendiente según se tarde más o menos en cerrar. A pesar de ello, el incremento final de presión es el mismo, a no ser que haya tiempo suficiente para que las sobrepresiones iniciales viajen hasta el depósito y regresen.

El tiempo característico o tiempo crítico de un sistema es el tiempo que tarda la onda en ir y volver de una extremidad a la otra de la cañería, por lo tanto, a partir de él se define lo que se conoce como cierre instantáneo, cierre crítico y cierre lento. El tiempo característico (T_C) y las sobrepresiones se calculan mediante lo propuesto por el Ente Nacional de Obras Hídricas de Saneamiento (ENOHSA, 2023):

$$T_C = \frac{2L}{a} \quad (24)$$

- Si el tiempo de cierre (T) es menor al tiempo característico (T_C) \rightarrow se tiene un cierre instantáneo y corresponde utilizar la expresión (25) de Allievi para la sobrepresión.
- Si el tiempo de cierre (T) igual al tiempo característico (T_C) \rightarrow se tiene un cierre crítico y corresponde utilizar la expresión (25) de Allievi para la sobrepresión.
- Si el tiempo de cierre (T) es mayor al tiempo característico (T_C) \rightarrow se tiene un cierre lento y corresponde utilizar la expresión (26) de Michaud para la sobrepresión.

$$T \leq T_C \rightarrow \Delta H = \frac{\Delta v a}{g} \quad (25)$$

$$T > T_C \rightarrow \Delta H = \frac{2L\Delta v}{gT} \quad (26)$$

Cabe destacar que, cuando se habla del cálculo de sobrepresiones, se entiende a la diferencia de presión generada por el fenómeno de golpe de ariete, tanto para picos de sobrepresión positiva como negativa, respecto del valor de presión estática.

3.6.2 Transmisión y reflexión de perturbaciones

Las ondas de presión viajan por la tubería aproximadamente a la velocidad del sonido en ese medio, hasta llegar a algún punto singular donde son absorbidas o reflejadas, total o parcialmente. Se pueden evidenciar estos puntos singulares en los depósitos, válvulas cerradas y bifurcaciones (Blanco Marigorta, Velarde Suárez y Fernández Francos, 1994).

Se considera el caso anterior de tubería horizontal sin fricción para comprender como evoluciona el sistema cuando se produce un cambio brusco en la velocidad del fluido. A continuación, se detalla la evolución del sistema en los siguientes pasos a, b, c y d, como es explicado en (Blanco Marigorta, Velarde Suárez y Fernández Francos, 1994):

- a) En el instante $t=0$ s la válvula se cierra bruscamente, esto genera una sobrepresión (ΔH) que se transmite aguas arriba a la velocidad del sonido (a) ver (Figura 10, a). En la zona por donde ha pasado la onda, el flujo se ha detenido, el fluido se ha comprimido y la tubería se ha expandido, mientras que donde aún no ha llegado, la velocidad sigue siendo v_0 .
- b) Cuando esta onda llega al depósito, éste la absorbe (se asume de volumen grande). Sin embargo, aunque el flujo se ha detenido, se produce un desequilibrio, debido a que el fluido se encuentra a una presión superior a la impuesta por la altura del depósito. Por lo tanto, el fluido comienza a descomprimirse, recuperando la presión inicial a medida que viaja hacia el depósito. La velocidad de este fluido es $-v_0$. Ahora la onda de depresión se desplaza en sentido contrario al inicial, dejando a la tubería con la presión inicial pero con un flujo inverso, ver (Figura 10, b).
- c) Cuando esta onda llega a la válvula, ya no se puede descomprimir más fluido. El problema es que ha adquirido una inercia y al tener que frenar bruscamente se forma una onda, ahora de depresión, también de valor (ΔH) que se transmite hacia el depósito, frenando el flujo, expandiendo el fluido y comprimiendo la tubería, ver (Figura 10, c).
- d) Esta onda es absorbida por el depósito, pero la tubería permanece en depresión y al recuperarse se genera una onda de expansión que se transmite hacia la válvula, ver (Figura 10, d) dejando el fluido tras ella con la presión y la velocidad inicial.

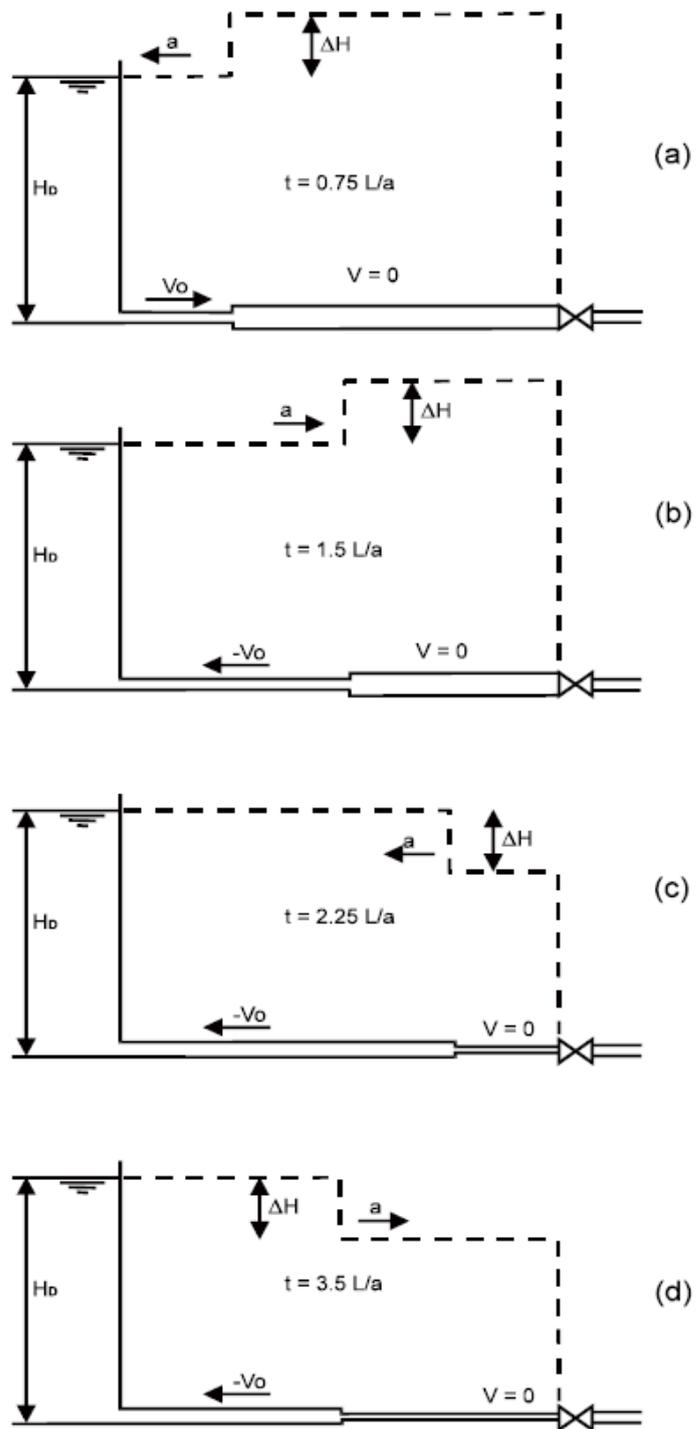


Figura 10. Propagación y reflexión de ondas en un golpe de ariete (Blanco Marigorta, Velarde Suárez y Fernández Francos, 1994).

Este proceso se repetiría indefinidamente si no existiera rozamiento en la tubería. En un caso real con rozamiento, el fenómeno se va amortiguando con el tiempo.

3.6.3 Modelado y método de resolución de software Allievi

ALLIEVI es un programa desarrollado por (ITA | Universidad Politécnica de Valencia, 2024), que se puede utilizar tanto en la fase de diseño como en la fase de verificación del funcionamiento de un sistema hidráulico. En la fase de diseño, el programa permite incorporar al sistema diferentes dispositivos de protección (calderines, chimeneas de equilibrio, válvulas de alivio, válvulas anticipadoras de onda, etc.), de manera que las oscilaciones de presión generadas por diferentes maniobras de los elementos del sistema se mantengan dentro de determinados límites previamente fijados. Por otra parte, en la fase de verificación el programa permite visualizar los efectos transitorios al efectuar maniobras en una instalación previamente diseñada.

En un conducto a presión, el transitorio hidráulico se modela aplicando las ecuaciones de conservación de masa y de cantidad de movimiento a un volumen de control que incluye la onda de presión que se mueve a lo largo de la conducción. De aquí se obtiene un sistema de dos ecuaciones diferenciales no lineales con dos incógnitas, siendo éstas la altura piezométrica $H = H(x, t)$ y la velocidad $v = v(x, t)$. La forma de este sistema de ecuaciones es la siguiente:

$$\frac{\partial H}{\partial t} + v \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{a^2}{g} \frac{\partial v}{\partial x} = 0 \quad (27)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + v \frac{\partial v}{\partial x} + f \frac{v|v|}{2D} = 0 \quad (28)$$

Como este sistema no tiene solución analítica, para su integración el procedimiento habitual es admitir que la solución se obtendrá en instantes de tiempo determinados (separados entre sí un Δt) y en puntos concretos sobre la conducción (separados entre sí un Δx), cumpliéndose la condición:

$$\frac{\Delta x}{\Delta t} = a \quad (29)$$

Con ésta hipótesis las ecuaciones diferenciales (27) y (28), mediante la aplicación de la técnica numérica de diferencias finitas, se transforman en un sistema de dos ecuaciones algebraicas lineales, con dos incógnitas, de la forma

$$H_i^{n+1} - H_{i-1}^n + \frac{a}{g} (v_i^{n+1} - v_{i-1}^n) + \frac{f_{i-1}^n \Delta x}{D} v_{i-1}^n |v_{i-1}^n| = 0 \quad (30)$$

$$H_i^{n+1} - H_{i-1}^n - \frac{a}{g} (v_i^{n+1} - v_{i+1}^n) - \frac{f_{i+1}^n \Delta x}{D} v_{i+1}^n |v_{i+1}^n| = 0 \quad (31)$$

con las que se puede calcular la altura piezométrica H y la velocidad v en el punto i de la tubería y en el instante de cálculo $n+1$, a partir de los valores de H y v de los puntos $i-1$ e $i+1$ en el instante n . La aplicación de las expresiones anteriores es lo que se llama “MÉTODO DE LAS CARACTERÍSTICAS”, y es el fundamento de cálculo del programa ALLIEVI.

El sistema de ecuaciones se puede resolver para todos los puntos de cálculo de cualquier conducto excepto en sus extremos, donde falta una de las dos ecuaciones (30) o (31) según si el punto de cálculo está en el extremo inicial o final de la tubería respectivamente. En dichos extremos, donde se supone que la tubería se conecta con algún elemento del sistema, la ecuación que falta se sustituye por la ecuación, o conjunto de ecuaciones, que representan el comportamiento de dicho elemento, y que se denominan “condiciones de contorno”. Así, el programa ALLIEVI permite simular el funcionamiento en régimen transitorio de un sistema hidráulico a presión incluyendo los siguientes elementos, conectados entre sí a través del correspondiente sistema de tuberías:

1. Depósitos, con o sin vertederos o aliviaderos.
2. Estaciones de bombeo.
3. Estructuras de control de caudal, constituidos por válvulas o pérdidas de carga localizadas.
4. Estructuras de protección, constituidas por chimeneas, tanques unidireccionales, calderines, válvulas de alivio, anticipadora de onda.
5. Ventosas, que se pueden distribuir a lo largo de las conducciones.
6. Imposiciones de leyes de caudal o de altura piezométrica en puntos extremos de tuberías; por ejemplo, con la aplicación de una ley de altura se puede simular una descarga a presión atmosférica de una tubería.

4 METODOLOGÍA

Para abordar el diseño del proyecto de abastecimiento de agua, se utiliza una metodología proyectual reconocida en ingeniería, como la propuesta por (Ulrich & Eppinger, 2013). Cabe destacar que la metodología de los autores mencionados será adaptada a este problema particular mediante el uso de las Guías de Agua Potable propuestas por el Ente Nacional de Obras Hídricas de Saneamiento (ENOHSA, 2023), el cual se considera que brinda herramientas y propuestas más específicas al tema en cuestión. La metodología empleada se separa en las siguientes fases:

FASE 0 (PLANEACIÓN): esta fase considera definir objetivos, alcance general del proyecto, metodología a emplear, cronograma de tareas y recursos necesarios para llevar adelante al proyecto. Además, se debe investigar, recolectar y filtrar datos de índole (ambiental, legal, socio-económicos e información técnica) que puedan ayudar a comprender en mayor profundidad la problemática que se pretende resolver. Es importante y necesario en esta etapa, fijar un marco normativo, ente regulador de agua, bibliografía de referencia y programas básicos a utilizar que ayuden a enmarcar el proyecto.

Como salida de esta primera fase se tendrá que obtener un diagnóstico de la situación actual respecto al abastecimiento de agua potable en la localidad a servir y tener claro los recursos necesarios para seguir adelante en el proyecto.

FASE 1 (DESARROLLO): una vez fijado el rumbo del proyecto con la fase previa, se procede a determinar los datos básicos y demanda de agua potable estimados en la localidad durante el período de diseño. Los parámetros de diseño de sistemas de agua potable se encuentran en el capítulo II de las Guías de Agua Potable de (ENOHSA, 2023).

Con los parámetros y datos más relevantes para el diseño se procede a identificar un plan de acción para el diseño del sistema, esto involucra un análisis integral del proyecto, identificando si ya existen planes directores o políticas regionales con respecto al abastecimiento de agua. Una práctica recomendada en esta instancia es buscar distintas soluciones aplicadas en otras ciudades, que puedan aportar a una mejor solución.

Con lo descripto hasta el momento se deberá seleccionar la mejor solución, luego de plantear distintas soluciones, realizar un estudio de prefactibilidad y factibilidad del proyecto. Para ello es importante dimensionar el sistema de agua potable con criterios técnicos y económicos, la parte técnica será retroalimentada mediante análisis y simulación del sistema electro-hidráulico, mientras que, la parte económica será quien determine una solución óptima dentro de lo técnicamente viable.

FASE 2 (INGENIERIA DE DETALLE): una vez determinada la solución para el abastecimiento de agua potable, se pasa a esta fase donde se define una especificación técnica del sistema de bombeo con sus parámetros más relevantes. Se presentarán planos del sistema de bombeo, con listado de materiales y equipos que lo componen. Y se realizará un estudio de costos totales, al menos de forma global para tener noción de la inversión mínima que se deberá efectuar si se pretende realizar dicho proyecto; para ello se considerarán los costos de operación mantenimiento y procesos de construcción. Como resultado de esta etapa se obtendrán los documentos técnicos del proyecto.

FASE 3 (INFORME FINAL): aquí se realiza la confección del informe final del proyecto como conclusión de todo el análisis realizado, considerando desde donde se parte inicialmente y hasta donde se llega, brindando una solución al abastecimiento de agua potable con documentación técnica adjunta. Además, de incluir conclusiones del propio proyecto y recomendaciones para posibles trabajos futuros.

Observaciones: como se ve en Figura 11, en partes de la Fase 1 y 2, se realiza en forma paralela un análisis económico del proyecto, ya que es una herramienta que ayuda a tomar decisiones no solo basado en lo técnico, sino en los costos en los que se incurre al decidir si una solución para un determinado problema es mejor o peor que otra. Siguiendo con otra tarea realizada en forma paralela en estas fases, como es el armado de modelos y prototipos, que en este caso son del tipo analítico enfocado. Ya que, mediante modelos matemáticos se puede simular el comportamiento de determinadas partes, elementos, máquinas y dispositivos del sistema, que ayudan comprobar si estos son adecuados para los requerimientos del sistema de abastecimiento de agua potable.

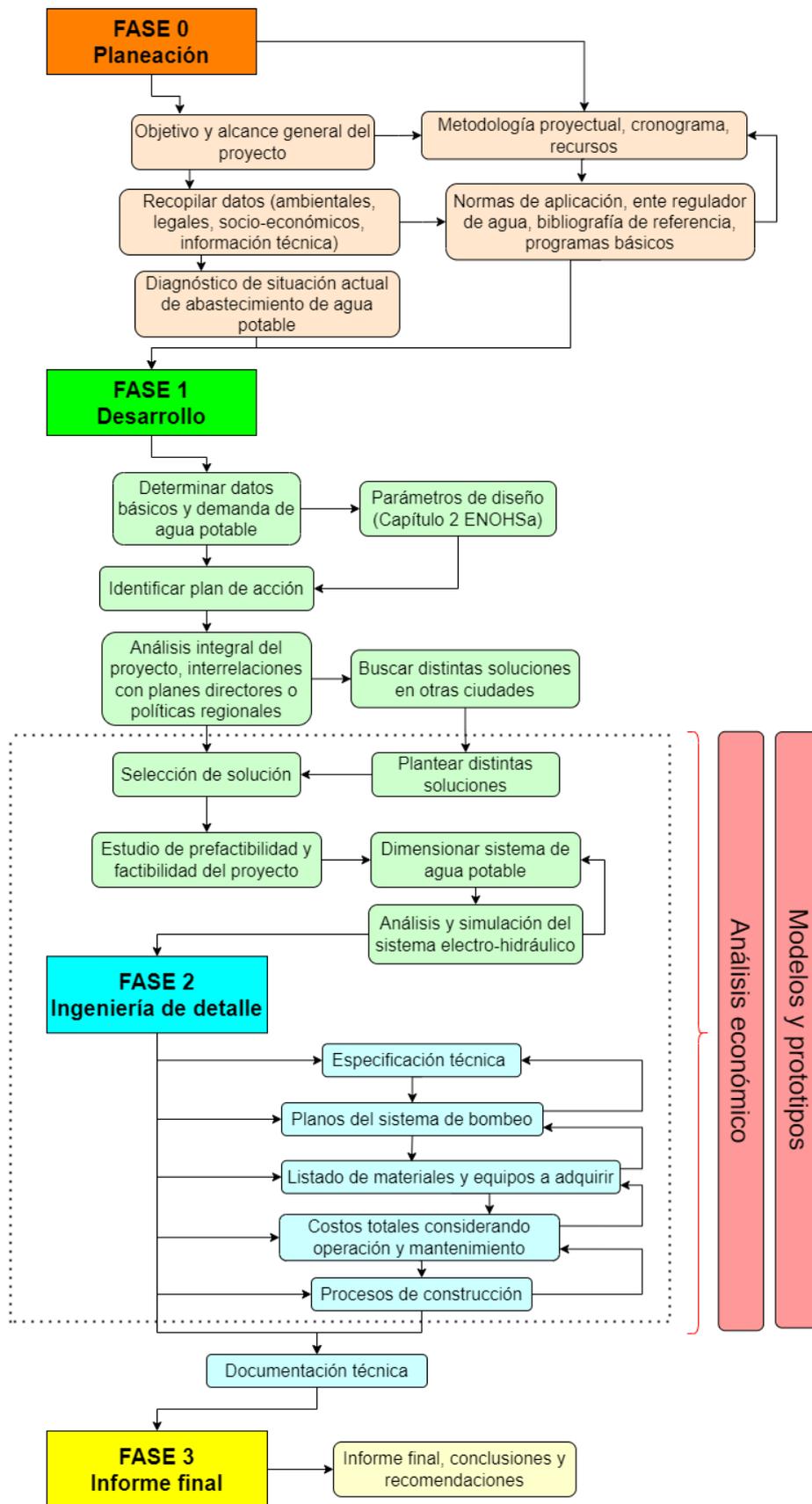


Figura 11. Metodología proyectual adaptada de propuestas dadas por (Ulrich & Eppinger, 2013) y (ENOHSA, 2023).

5 DESARROLLO

En este capítulo, se presenta el desarrollo del Diseño de Proyecto de Abastecimiento de Agua Potable en la zona Centro de la Localidad de Balsa Las Perlas, siguiendo la metodología propuesta ya explicada, además, se amplían y especifican algunos conceptos tratados en el marco teórico.

5.1 Problemas con abastecimiento de agua potable en Balsa Las Perlas

La problemática detectada en la localidad de Balsa las Perlas es la falta de acceso a la red de agua potable en gran parte de los residentes del lugar. La misma fue mostrada por sus habitantes mediante diversos reclamos hacia la municipalidad de Cipolletti, en donde exigen una solución concreta con respecto a esta necesidad humana básica. Ellos reclaman debido a diversos problemas partiendo desde la falta de acceso al agua potable, hasta incluso los habitantes que sí tienen la posibilidad de tener agua de la red, pero aquejan múltiples cortes del suministro de agua por muchos días. Algunos de los reclamos se pueden ver en publicaciones en los diarios regionales tales como: (Torres Bel, 2022), (Periodistas de Noticiasnqn, 2023), (Periodistas de Cipo360, 2023), (Periodistas de LM Cipolletti, 2024) y (Periodistas de LM Cipolletti, 2023).

Luego de tener comunicación telefónica y presencial con distintos vecinos que residen allí, éstos han confirmado que el abastecimiento de agua se ha logrado realizar por medio de comisiones vecinales, las cuales se coordinan de forma voluntaria para conseguir los elementos e instalaciones que conforman un sistema de abastecimiento de agua. Solo algunos tienen acceso a la red de agua central (ya que ésta no tiene capacidad de abastecer a toda la localidad); y por último, los restantes habitantes lo hacen por sus propios medios de forma particular, sea con mangueras o cañerías que van hasta el río y/o haciendo un pozo de captación de agua en sus hogares.

El agua potable es una necesidad básica para el crecimiento y desarrollo de la vida humana, en el Decreto N°303/06 de la República Argentina se contempla el carácter de Derecho Humano del acceso al agua potable.

Por lo descrito anteriormente, se considera de vital importancia realizar un trabajo de ingeniería que solucione el problema de la falta de agua potable para las/os vecinas/os de Balsa las Perlas. Se deberá tener en cuenta un sistema unificado-adaptable el cual proporcione agua a los distintos sectores de la localidad. Sumado a esto se propone que el sistema de abastecimiento de agua que se diseñe sea con proyección y adaptabilidad al crecimiento poblacional que presenta la localidad. Se presenta a continuación el alcance del proyecto:

- Los límites del presente trabajo se enmarcan en el desarrollo de una estación de bombeo que tome agua desde una zona cercana al Río Limay, pase por un sistema de potabilización a diseñar (se trata el agua para que esté en condiciones aptas para el consumo humano) y se transporta a través de tuberías de impulsión, hacia el o los tanques de almacenamiento para su posterior rebombeo y/o inyección a la red de distribución en la localidad de Balsa Las Perlas.
- No se hace análisis ni diseño de redes de distribución.
- El lapso de crecimiento poblacional que se considera para el diseño es de 25 años.
- El sistema estará pensado para abastecer los consumos diarios del sector Centro de Balsa las Perlas.
- Se considera que el/los tanque/s de almacenamiento deberán poder proveer agua según los consumos diarios, de 12 a 24hs luego de un posible corte de suministro eléctrico.

5.2 Información y contexto del lugar del proyecto

Las Perlas, también llamada Balsa Las Perlas, es una localidad ubicada dentro del ejido de Cipolletti, en la provincia de Río Negro, al norte de la Patagonia Argentina. Esta localidad se encuentra formalmente en el departamento El Cuy. La localidad se encuentra frente a la ciudad de Neuquén separada de ella por el Río Limay. Más específicamente, se encuentra frente al barrio Valentina Sur. Sus coordenadas son: 38°59'10"S de latitud 68°08'20"O de longitud. Ver Figura 12.

Balsa Las Perlas está vinculada con otras localidades rionegrinas mediante la Ruta Provincial N°74, de ripio, que continúa en dirección sureste. Sin embargo, la movilidad se orienta hacia el norte, por el puente interprovincial inaugurado en el año 2001 que conecta con el barrio Valentina Sur de la ciudad de Neuquén. Ver Figura 13.



Figura 12. Localización de Balsa Las Perlas en Provincia de Río Negro, Argentina.



Figura 13. Ubicación geográfica de Balsa Las Perlas con respecto a rutas y otras ciudades.

Esta localidad ha tenido un crecimiento importante en los últimos 30 años pasando de 266 habitantes en el año 1991, según el censo del (INDEC, 2024), a más de 18.000 personas en el año 2023. Este último dato fue brindado por vecinos y comisiones vecinales del lugar, ya que la localidad no fue censada en el año 2020 (primero por la pandemia y luego por ser considerada un paraje sumado a irregularidades con el censo 2022).

La población actual se estima en 18.620 habitantes. Esto es considerando a los datos más actuales brindados por el mediador comunitario, el Sr. Jaime Flores.

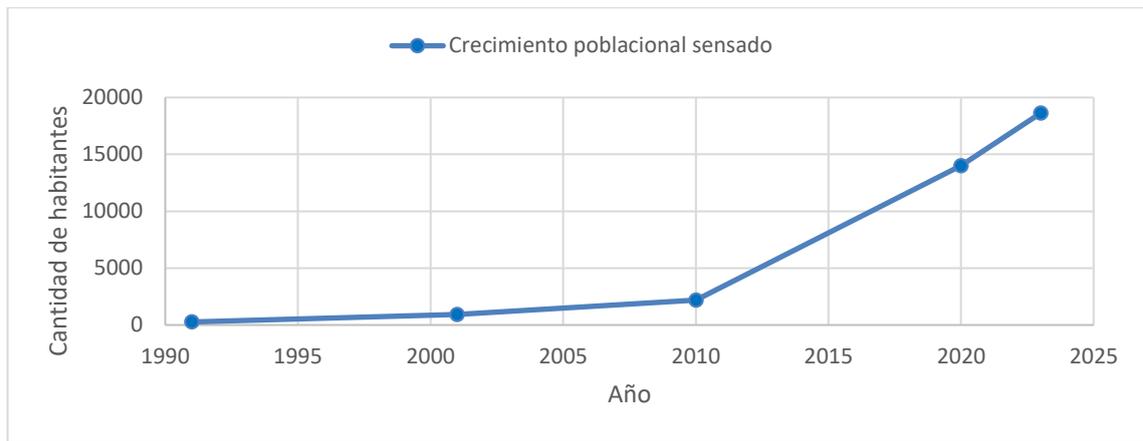


Figura 14. Cantidad de habitantes en Balsa Las Perlas 1991-2023.

Hoy en día, es posible diferenciar como mínimo 14 barrios, según el Registro Nacional de Barrios Populares (RENABAP) perteneciente al (Ministerio de Desarrollo Social Argentina, 2023), distinguidos tanto desde lo geográfico como lo socioeconómico e incluso por la antigüedad de 16 asentamientos de sus habitantes. Esto se complementa con la información brindada por el mediador comunitario mediante un censo del distrito vecinal. De este análisis se obtuvo que los barrios son: Las 33 Hectáreas, Primeros Pobladores, Puente Santa Mónica, Santa Mónica, El Parque, Río Sol, Vista del Valle, Barrio Militar, Muten I, Muten II, Costa Esperanza, La Ruca, Barrio NYC (Nacidos Y Criados) y Sector Chacras (Doña Hortensia y Loteo Don Raúl).

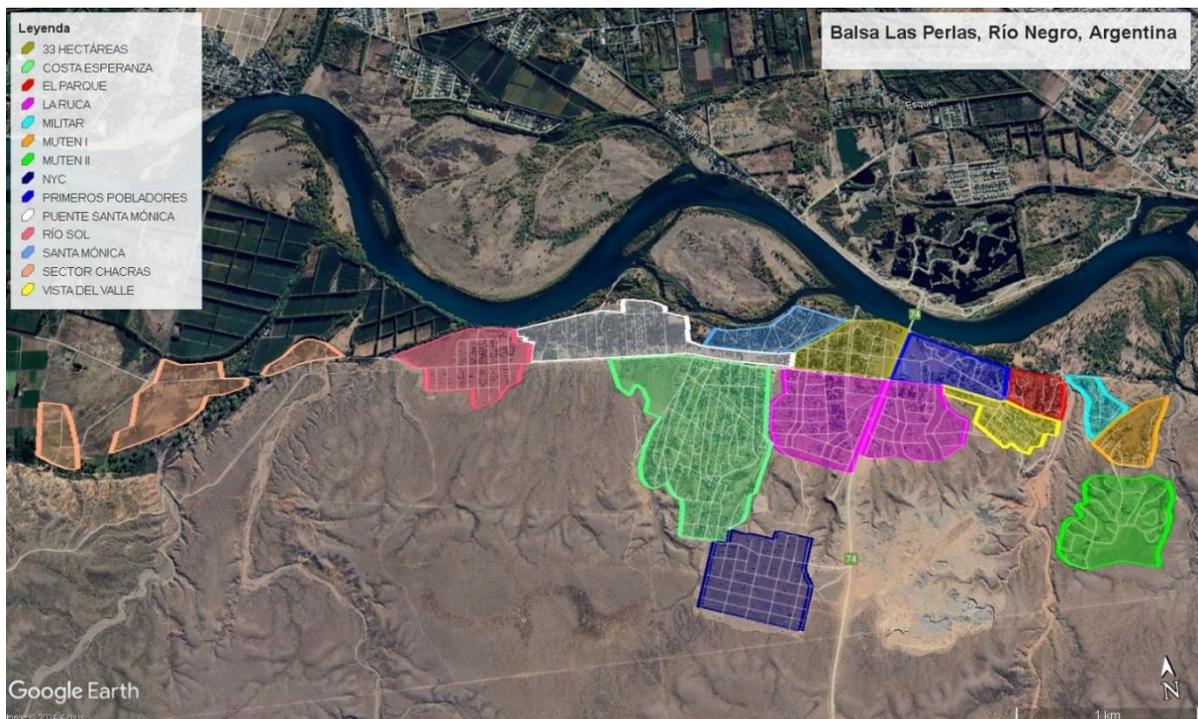


Figura 15. Distribución geográfica de barrios de Balsa Las Perlas, vista satelital.

De la Tabla 49 del ANEXO I estrictamente se obtiene una densidad poblacional de 5.939 hab./km², pero esto es considerando solo el área sumada por los lotes, por lo tanto, lo que se hizo es calcular el área de toda la localidad para tener un número más cercano a la realidad, ya que al calcular este parámetro en otras ciudades (Neuquén), se contempla toda el área de la ciudad y no estrictamente solo los lotes que la componen. Resultando así en una densidad poblacional aproximada de 4.071 hab./km² para Balsa Las Perlas. Este valor resulta alto, ya que si se compara con respecto a la densidad poblacional de la ciudad de Neuquén (1.807 hab./km²), es más del doble.

5.2.1 Servicio de agua actual

Según lo investigado y lo conversado con los habitantes de Balsa Las Perlas, el lugar cuenta con un sistema de agua sectorizado por barrios. En algunos casos conectados a la red de agua central, pero no todos los habitantes tienen posibilidades de acceder al agua potable. Teniendo en cuenta a los problemas que esto conlleva: por ejemplo, no tener seguridad respecto a si el agua es apta para el consumo humano, tener que comprar o esperar que llegue el agua en camiones debido a que el agua de red no llega a todos los barrios. La situación actual de los distintos barrios es la siguiente:

Existen barrios conectados a una red de agua clorada de ARSA (Aguas Rionegrinas Sociedad Anónima) con extracción por bombeo desde el Río Limay, pero está sobre exigida ya que hay muchos usuarios conectados de forma clandestina y la red no tiene la suficiente presión para abastecer a todos sus usuarios al mismo tiempo. Esto ocurre principalmente en la zona central de Balsa las Perlas. Algunos de los barrios abastecidos de esta forma son: Las 33 Hectáreas y La Ruca.



Figura 16. Captación de agua ARSA desde el Río Limay.

Hay barrios, por ejemplo (Río Sol), que se abastecen de agua por sus propios medios, directamente desde el Río Limay, debido a su cercanía y a que no les llega ningún otro servicio de agua de red o camiones.



Figura 17. Captaciones de agua del barrio Río Sol desde el Río Limay (Verdugo, 2023).

En otros barrios, por ejemplo (Puente Santa Mónica), se suministran agua mediante pozos y/o perforaciones particulares en cada una de las propiedades del barrio.

Actualmente, existen 3 perforaciones encamisadas y con filtros naturales desde donde se bombea agua y poseen sistemas colectivos de almacenamiento (cisternas) de agua, desde donde se distribuyen. El primer pozo (P1) suministra agua al barrio Costa Esperanza y parte de Santa Mónica, el segundo (P2) abastece agua a los barrios Vista del Valle, El Parque y Primeros Pobladores y el tercero (P3) distribuye agua a los barrios Muten I y II y parte del Militar. El servicio del Pozo 1 pertenece a la Cooperativa Lembeye, el Pozo 2 es privado, ambos administrados por el Municipio de Río Negro y el Pozo 3 compete a la Cooperativa Muten. Ver ubicación de pozos en Figura 18.

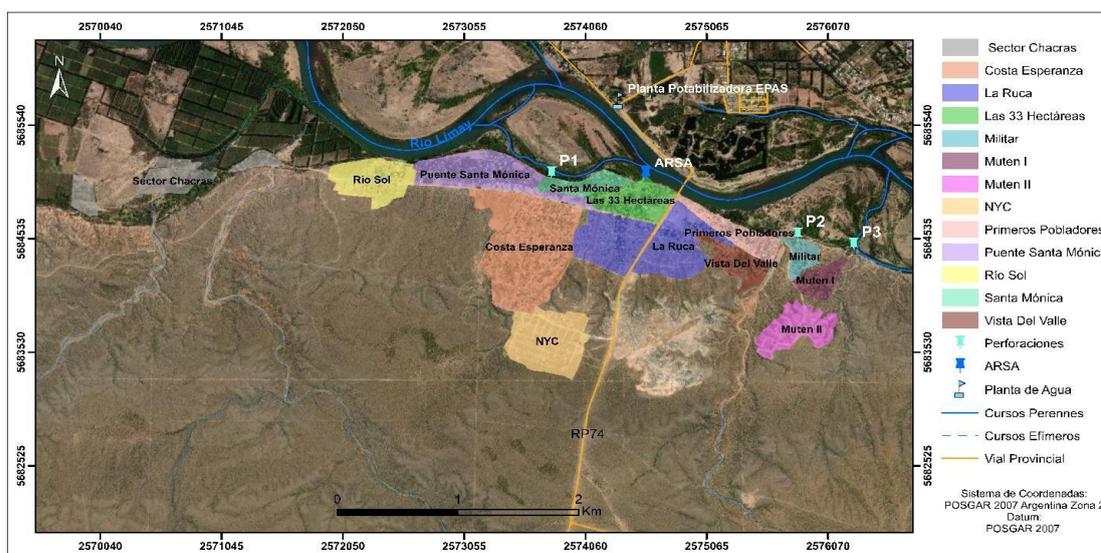


Figura 18. Disposición de barrios y perforaciones de agua (Verdugo, 2023).

En el barrio NYC (Nacidos y Criados) la forma de abastecimiento de agua es mediante el servicio de reparto semanal en camiones de agua potable (proveniente de la planta potabilizadora EPAS ubicada en el margen norte del Río Limay, en Neuquén).

Ningún barrio cuenta con servicio de tratamiento de aguas residuales (efluentes cloacales).

5.2.2 Servicio eléctrico actual

Hasta el 2015, el servicio de distribución eléctrica era potestad de la cooperativa Calf, pero ese año pasó a ser jurisdicción de EdERSA, que comenzó con un intenso trabajo de normalización y regularización eléctrica en diferentes barrios y sectores. Se espera que para el año 2024, EdERSA ya sea quien suministra electricidad por una nueva línea que viene desde la Isla Jordán.

Según lo hablado e investigado con los vecinos del lugar, aseguran que el servicio mejoró en gran proporción con respecto a 5 años atrás y se podría decir que está regularizado. Es decir, se proporciona una tensión más estable y menor cantidad de cortes de suministro eléctrico durante el año, aunque se continúan con los trabajos de normalización y regularización iniciados en 2015.

Complementando esto con lo informado por el Registro Nacional de Barrios Populares (ReNaBaP) obtenido de (Ministerio de Desarrollo Social Argentina, 2023), no hay que perder de vista que el servicio a modo general en la localidad continúa con grandes irregularidades, ver Figura 19.



ACCESO A LOS SERVICIOS BÁSICOS** (porcentaje de barrios populares según situación predominante)

• Energía Eléctrica

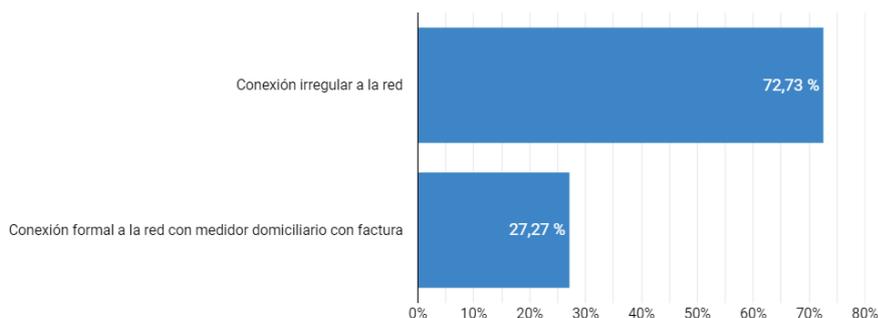


Figura 19. Acceso a energía eléctrica en barrios populares Balas Las Perlas (Ministerio de Desarrollo Social Argentina, 2023).

5.2.3 Servicio de gas actual

Actualmente la localidad no cuenta con servicio de gas natural, por lo cual para cocinar o calefaccionarse en sus hogares lo hacen mediante garrafas, leña o carbón y/o artefactos eléctricos. Teniendo en cuenta los datos brindados por ReNaBaP (Ministerio de Desarrollo Social Argentina, 2023) se tiene:



Figura 20. Información de cocina y calefacción en barrios populares (Ministerio de Desarrollo Social Argentina, 2023).

5.3 Normativa de aplicación y ente regulador de agua

Se cuenta con la información brindada por la Secretaría de Infraestructura y Política Hídrica de la República Argentina (Ministerio de Economía, 2023), allí se puede obtener información sobre diversos aspectos referidos al agua potable, obras hídricas y normativas de aplicación que son de interés y sirven de guía para este trabajo. A nivel nacional quien está a cargo de las obras hídricas de agua potable y saneamiento es ENOHSA, Ente Nacional de Obras Hídricas de Saneamiento (Ministerio de Economía, 2023). Esta entidad proporciona una serie de documentos referidos al agua potable los cuales establecen las bases y lineamientos a tener en cuenta para abastecer agua potable. Entre la documentación que presenta ENOHSA, en particular dentro de la Guía de Agua Potable se tienen: criterios de diseño, fundamentaciones, planos y proyectos típicos referidos al abastecimiento de agua potable.

El agua subterránea tiene un rol fundamental en el abastecimiento para el consumo y la seguridad alimentaria de la población, la irrigación y la industria en el país, y es un factor importante en la adaptación al cambio climático. El aumento de la escasez del recurso y la disminución de la disponibilidad de agua superficial ha aumentado la dependencia y la presión sobre el agua subterránea, especialmente en regiones áridas y semiáridas de nuestro país.

La localidad de Balsa Las Perlas se encuentra ubicada dentro de la cuenca de los Ríos Limay, Neuquén y Negro. El organismo a cargo de esta cuenca es la Autoridad Interjurisdiccional de las Cuencas de los Ríos Limay, Neuquén y Negro (AIC). Este organismo es quien tiene mayor institucionalidad, una conformación definida, un presupuesto asignado, mayor independencia y una potestad mayor, por lo que puede gestionar acciones concretas en cuanto al manejo del agua.

El Departamento Provincial de Aguas (DPA) es el organismo responsable del manejo integral del agua en la provincia de Río Negro. Y la empresa estatal ARSA (Aguas Rionegrinas Sociedad Anónima) es la encargada de brindar servicios de agua potable a un sector de la localidad de Balsa Las Perlas.

En relación a la calidad del agua potable se han establecido parámetros físicos, químicos y bacteriológicos similares a los recomendados por la Organización Mundial de la Salud. La concesionaria debe garantizar la calidad del agua suministrada a los usuarios verificando, mediante una serie sistemática de controles físicos, químicos y bacteriológicos, que los niveles estén dentro de los límites establecidos en el Anexo A del Marco Regulatorio (Ley N°26.221 Agua Potable y Desagües Cloacales, 2007).

Además, el agua abastecida deberá cumplir por lo dispuesto en el capítulo XII Art. 982 (Ley N°18.284 Código Alimentario Argentino, 1969) con respecto al agua potable para el consumo humano.

5.4 Parámetros de diseño

A continuación, se detallarán los parámetros de diseño recopilados de la búsqueda de información relevante para el diseño del sistema de abastecimiento de agua potable. Estos contemplan datos de trabajos ya realizados en el lugar, normativa de aplicación, planes directores y un Trabajo Final de Licenciatura de la carrera de geología que caracteriza los acuíferos de Balsa Las Perlas (Verdugo, 2023).

5.4.1 Horizonte y períodos de diseño

El horizonte de diseño para el caso de los planes maestros y directores se considera un período de 30 años, según (ENOHSA, 2023). En este caso se considera un período de 25 años, ya que el presente trabajo forma parte de un plan director de agua potable, pero no es exactamente el plan director completo.

Algunos de los períodos de diseño son:

Tabla 1. Períodos de diseño en un sistema de agua potable (ENOHSA, 2023).

Sector	Período de diseño años
Sistemas de Captación	20 (Superficiales) 10 (Pozos)
Líneas de Impulsión	15
Plantas de Potabilización	
Obras Civiles básicas	20
Obras Civiles del Módulo de tratamiento 1 ^a etapa	10
Instalaciones electromecánicas	10
Tanques y Cisternas de Almacenamiento	10
Redes de Distribución	15
Estaciones de Bombeo	
Obras Civiles	20
Instalaciones electromecánicas	10
Medidores Domiciliarios	5 a 8

5.4.2 Habitantes actuales y durante el período de diseño

En este apartado se utilizará un estudio ya realizado sobre la localidad de Balsa Las Perlas, referido a el crecimiento poblacional hasta el año 2048, el número de habitantes proyectados para ese año se estima con distintos modelos de proyección poblacional (geométrica constante, geométrica decreciente, y relación-tendencia); estos modelos aproximan la población futura (año 2048) a un rango entre 69.329 y 80.024 habitantes. Esto forma parte de un plan director de agua potable para la localidad de Balsa Las Perlas, por lo cual, se tomará como base confiable de información sobre: caudales de consumo, altura y ubicación de los elementos principales del sistema de abastecimiento de agua potable.

Además, se determinará la zona específica de incumbencia del proyecto con los barrios actuales y los barrios proyectados con respecto a su distribución geográfica estimada a lo largo de los años del período de diseño.

Como está indicado en color lila en el plano de la localidad de Balsa Las Perlas, (ver Figura 21), esa zona es la considerada para abastecer de agua potable para el presente proyecto. Es decir, en adelante cuando se refiere a zona Centro se está indicando al sector pintado en color lila y todo lo que quede dentro del mismo. Además, se ubican las trazas, es decir, los lugares por donde pasarán las tuberías de impulsión indicadas de color violeta. Los sectores donde habrá tanques de almacenamiento elevados y cisternas están marcados con un punto azul. La traza de tubería que está más cerca del Río Limay es la que se conecta con la obra de captación.

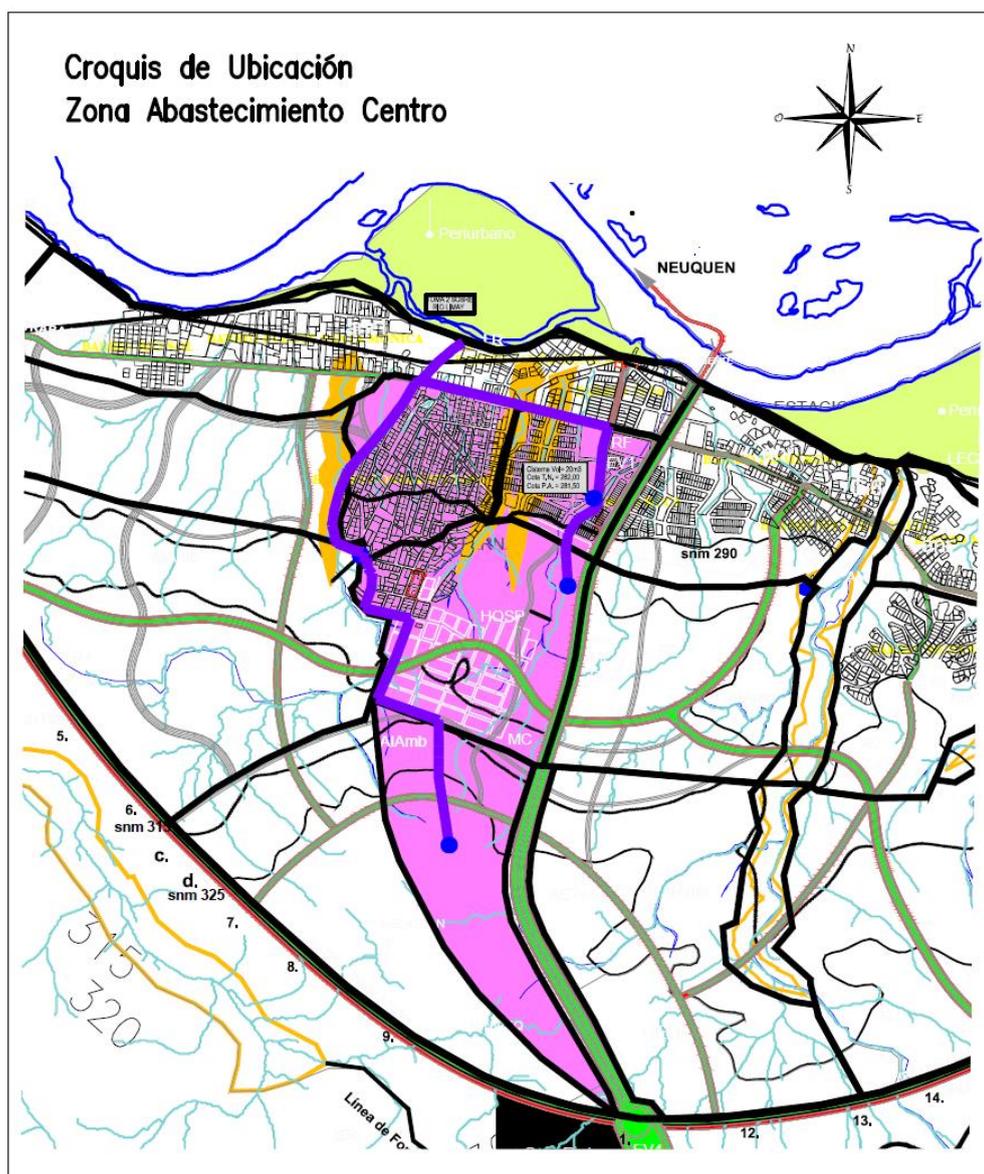


Figura 21. Zona de incumbencia en el período de diseño proyectado del sector Centro de Balsa Las Perlas (Información remitida por Director de PIP).

5.4.3 Caudales de consumo, alturas y longitud del sistema

El caudal de demanda por habitante se estima considerando recomendaciones del ENOHSA (2023) respecto a los consumos diarios de los distintos tipos de usuarios. Para tener el caudal total demandado es necesario conocer la población actual y la proyectada durante el período de diseño. En este caso se considera como caudal de demanda al caudal indicado como Q_{MH} (caudal máximo horario), el cual ya considera el crecimiento poblacional y los caudales demandados por cada usuario que esté dentro de la zona Centro de Balsa Las Perlas en el período de diseño de 25 años.

PLANTA ZONA CENTRO

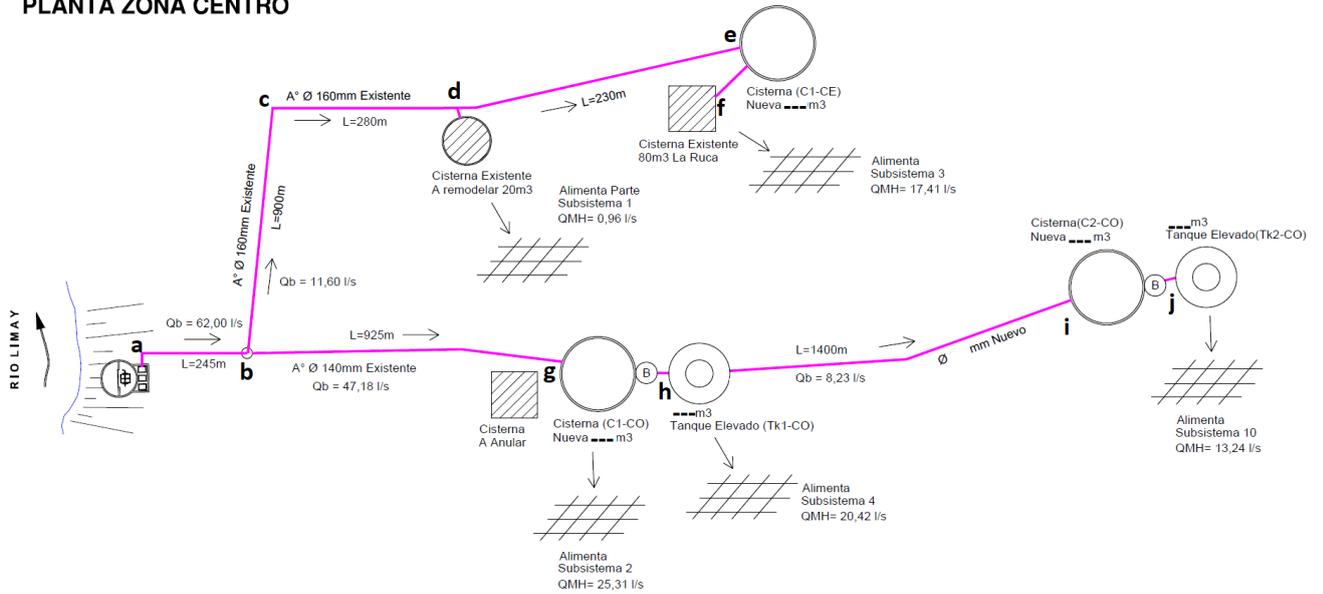


Figura 22. Vista en planta del sistema de bombeo de agua potable zona centro (Información remitida por Director de PIP).

ESQUEMA FUNCIONAMIENTO ZONA CENTRO

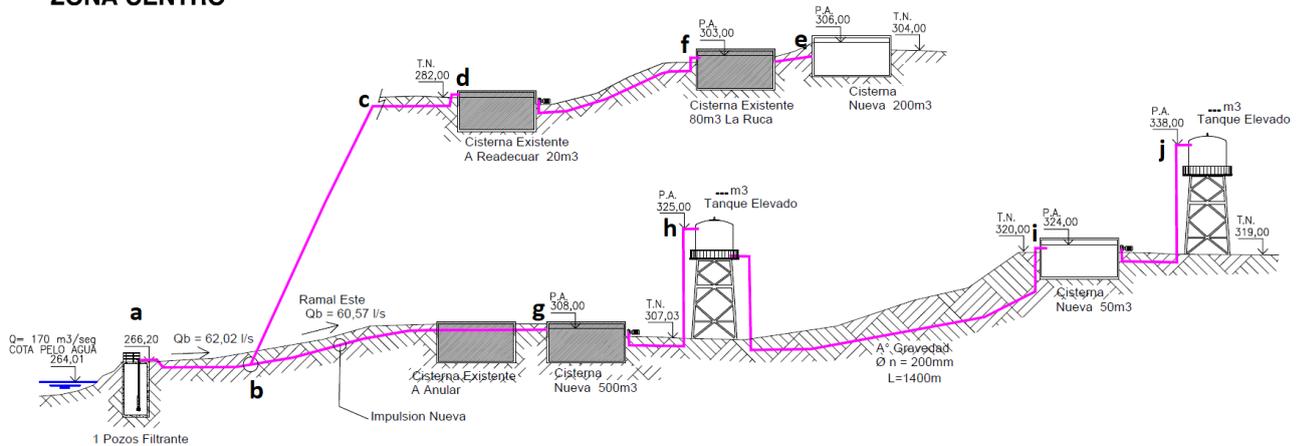


Figura 23. Vista lateral del sistema de bombeo de agua potable zona centro (Información remitida por Director de PIP).

El sistema está conformado por un pozo de captación de agua, bombas, una tubería de impulsión principal que luego se divide en dos ramales de abastecimiento troncales (CE ramal este y CO ramal oeste), para los distintos barrios del sector Centro de la localidad de Balsa Las Perlas. A su vez, cada uno de estos ramales de abastecimiento CE y CO, tienen en su trayecto cisternas (C) y tanques de almacenamiento elevados (Tk) que tienen distintos consumos de caudal (Q_{MH}) en función de la cantidad de barrios y la zona que deben abastecer de agua potable. En los tramos donde no se tienen longitudes determinadas, pero se sabe que habrá una configuración de cisterna más tanque elevado se considera una longitud de 30 metros.

Tabla 2. Longitudes de los distintos tramos de tuberías en el sector centro de Balsa Las Perlas.

Tramo	a-b	b-c	c-d	d-e	e-f	b-g	g-h	h-i	i-j
$L(m)$	245	900	280	230	30	925	30	1400	30

Tabla 3. Puntos de referencia del sistema de bombeo, alturas, caudales de consumo de los distintos sistemas, volúmenes de cisternas y tanques elevados.

Punto	(a) Pozo filtrante	(b) Unión	(c)	(d) Cisterna	(e) Cisterna C1-CE	(f) Cisterna La Ruca	(g) Cisterna C1-CO	(h) Tanque elevado Tk1-CO	(i) Cisterna C2-CO	(j) Tanque elevado Tk2-CO
$H(m)$	266	265	281	282	306	303	308	325	324	338
$V(m^3)$	-	-	-	20	200	80	500	-	50	-
$Q_{MH} \left(\frac{l}{s} \right)$	-	-	-	0,96	-	17,41	25,31	20,42	-	13,24

Como se puede notar hay algunos tanques que ya existen y tienen un volumen definido, pero otros no; y tanto cisternas como tanques de almacenamiento deben poder abastecer de agua con caudal Q_{MH} a los distintos sistemas de redes de distribución del sector. De todas maneras, el cálculo del volumen necesario para el abastecimiento de agua en cada subsistema, se realizará para verificar si lo que existe alcanza o no, para el almacenamiento de agua según sean los consumos. De igual manera se realizará el dimensionado de las tuberías de impulsión para determinar cuál es el diámetro óptimo para cada tramo. Los datos que se respetan tal cual se presentaron, y se consideran como representativos para el proyecto son las longitudes, alturas y consumos de cada subsistema.

5.4.4 Calidad del agua

Teniendo en cuenta la calidad del agua potable requerida por el Art. 982 del capítulo XII de la Ley N°18284 Código Alimentario Argentino (1969), y la reglamentación vigente con respecto al agua potable, la propuesta es comprobar que la zona de captación esté ubicada en un sector donde el agua sea potable o esté lo más cerca posible de serlo, para reducir el tratamiento que habría que darle para potabilizarla.

En este caso se utilizará la información plasmada por Verdugo (2023), en la que hizo un estudio y análisis al agua en el lugar de la captación, denotada como *Muestra 30/06/2023*. En el ANEXO II se muestran los resultados de las características físico-químicas de las muestras de agua.

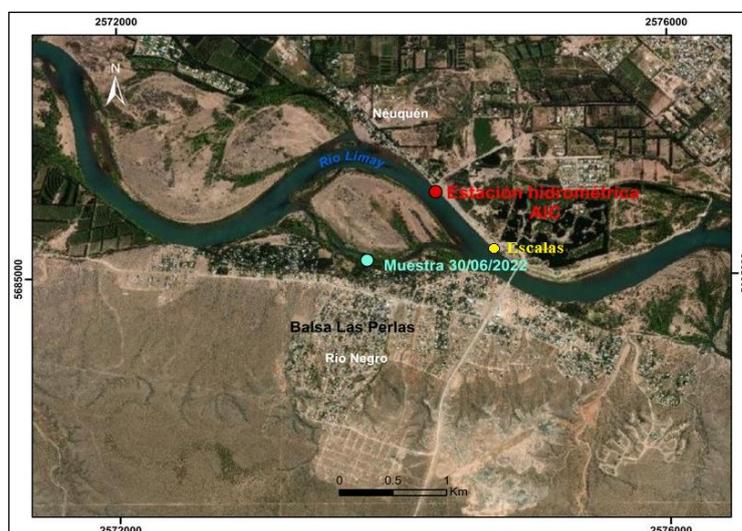


Figura 24. Ubicación de la toma de muestra de agua (Verdugo, 2023).

Respecto a la muestra indicada en el mapa de la Figura 24 como *Muestra 30/06/2023*, los valores de los parámetros físico-químicos como, turbiedad, pH, conductividad eléctrica, alcalinidad total (expresada como bicarbonatos y carbonatos), dureza total, cloruros, sulfatos, nitratos, nitritos, amonio, calcio, magnesio, sodio, potasio, hierro y manganeso, son menores a los valores de referencia máximos permitidos del Código Alimentario Argentino (CAA), para agua potable Art. 982, por lo que en principio es un agua potable.

Además, en (Verdugo, 2023) se realiza un muestreo por unidad geomorfológica, con el objetivo de determinar el tipo de agua. Los de particular interés son *PM Limay* y *PM19*, ya que se ubican dentro de la zona de captación; y a estos se les realizó un análisis de laboratorio para terminar sus características físico-químicas, ver ANEXO II donde ambos puntos de muestreo resultan ser agua potable.

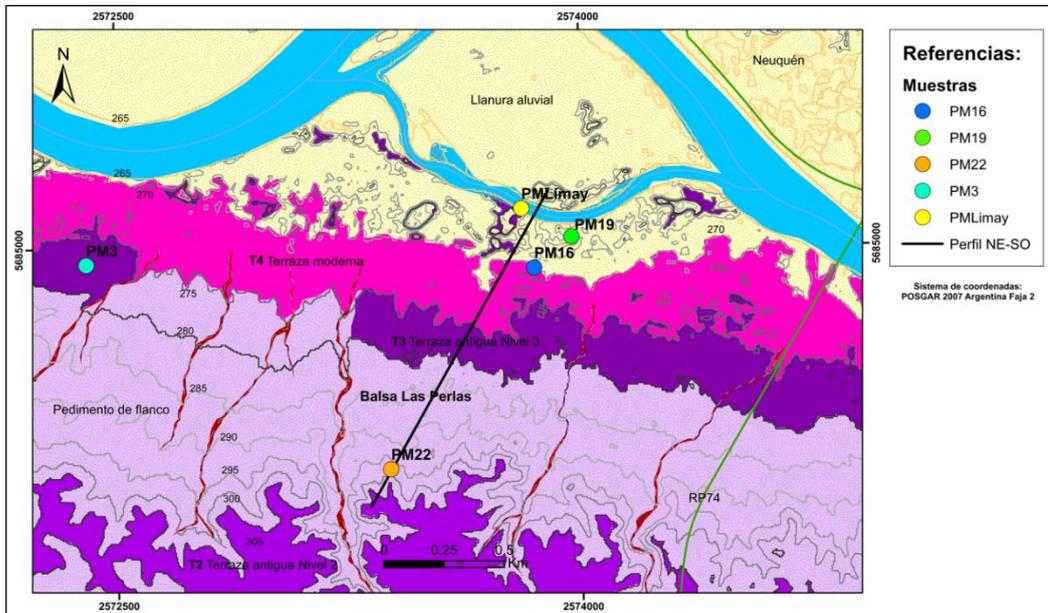


Figura 25. Ubicación de los sitios muestreados (Verdugo, 2023).

Por lo tanto, la zona elegida para la captación es apta y óptima con respecto a la calidad del agua, es decir, luego de analizar los distintos estudios realizados parece ser el mejor lugar para extraer agua, ya que, el agua es potable y respeta las características impuestas por el Código Alimentario Argentino para el consumo humano.

5.4.5 Datos en zona de captación

Partiendo de los estudios realizados por la Licenciada Nancy Verdugo, más precisamente en (Verdugo, 2023) se adoptarán los parámetros hidráulicos obtenidos de los acuíferos de Balsa Las Perlas que ha caracterizado.

Debido a que el nivel del agua en la captación depende fuertemente del nivel y caudal del río se busca determinar cuáles son sus valores mínimos y máximos para hacer un correcto diseño de la obra captación de agua. A modo general, se muestra que la variación de altura es dependiente del caudal, cuando hay mayores caudales hay mayores alturas del nivel de río y viceversa. Se obtuvo que la variación de la altura del Río Limay durante los últimos 20 años es variable durante la época del año, y en particular en la zona de captación del siguiente trabajo se encuentra entre:

$$h_{río} = 265_{-1}^{+2} \text{ msnm}$$

La zona de captación está ubicada en un acuífero libre que se desarrolla en la llanura del Río Limay de edad Pleistocena-Holocena y queda definida por un manto aluvial de conglomerados y gravas sueltos de variada granulometría con participación menor de arena gruesa como matriz y presenta un espesor (b) medio que varía entre 10 m y 12 m. Desde un punto de vista hidrogeológico constituye una unidad acuífera que posee alta capacidad de almacenamiento y alta transmisión de agua de acuerdo a las características litológicas e hidráulicas. Según ensayos hidráulicos realizados en Balsa Las Perlas en el año 2022, se caracteriza por una conductividad hidráulica (k) alta, de aproximadamente 93 m/día; por otro lado, según Laurencena 2015, variable entre 100 y 150 m/día, con una transmisividad (T) media del orden de 1000 m/día y una porosidad efectiva estimada según las características texturales de los sedimentos entre 15 % y 35 %. Además, existe una vinculación entre el Río Limay y el acuífero aluvial, en donde la recarga desde el río al acuífero será positiva cuando el río es influente, es decir, el río aporta agua al acuífero como lo es en este caso (Verdugo, 2023).

Tabla 4. Resumen de los parámetros característicos de la zona de captación de agua.

	$Q_{\text{río}} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right)$	$h_{\text{río}} (\text{m})$	$k \left(\frac{\text{m}}{\text{día}} \right)$	$T \left(\frac{\text{m}^2}{\text{día}} \right)$	$b (\text{m})$	Porosidad efectiva (%)
Valor máximo	1043	267	-	-	12	35
Valor Mínimo	170	264	-	-	10	15
Valor medio	425	265	93	1000	11	25

5.5 Entendimiento del problema y distintas soluciones en proyectos similares

Lo que se buscará es tener un entendimiento general del problema y de sus partes componentes, a fin de, determinar todas las posibilidades que hay para lograr resolver el abastecimiento de agua potable. El análisis se basará en lo que ya fue planteado en el plan director y se buscará tener una comprensión más global de sus partes constituyentes. Se parte de los elementos principales que conforman al sistema de bombeo, y luego se procede a realizar un planteo general del problema, para posteriormente ir hacia lo específico de cada una de sus partes componentes. Para lograr esto tener en cuenta el esquema de la Figura 23.

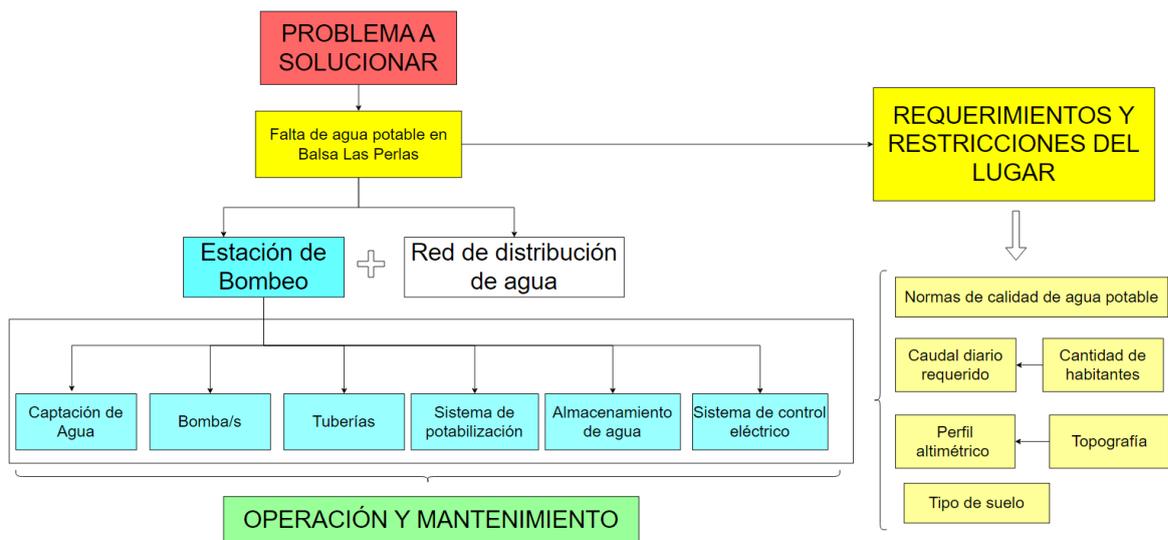


Figura 26. Planteo general del problema a solucionar.

Como se había mencionado, no se analiza ni se realiza diseño de una red de distribución. Por lo tanto, se hace especial énfasis en la estación de bombeo que queda dentro de los límites del presente proyecto. Para ello se deberá considerar toda la información obtenida hasta el momento.

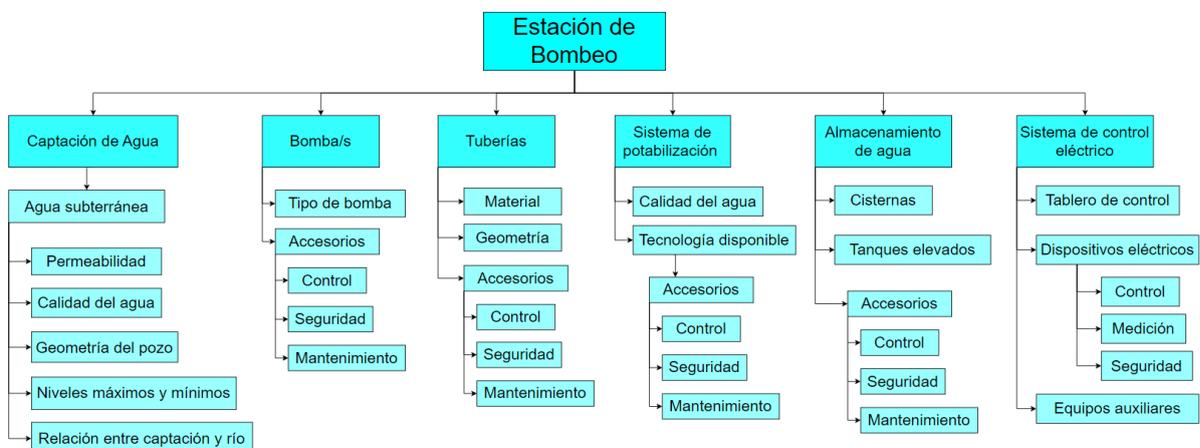


Figura 27. Partes componentes principales de la estación de bombeo de agua potable.

Captación de agua: como se plantea en el esquema de funcionamiento, se propone captar agua subterránea. Para ello habrá que tener en cuenta la permeabilidad del suelo, la calidad de agua que hay presente en la zona de captación, los niveles máximos y mínimos del río en las cercanías al lugar de captación y, por último, la relación que hay entre el acuífero y el río. Todo esto determinará la geometría que deberá tener el pozo filtrante, así como los materiales que lo conformarán.

Bombas: a modo general el tipo de bomba que se puede utilizar es tanto centrífuga como de desplazamiento positivo. Dentro de las centrífugas se encuentran las siguientes clasificaciones (radial, axial o mixta). A su vez pueden ser verticales u horizontales, pero además pueden ser sumergibles o de cámara seca. Dependiendo del nivel de agua de aspiración, si este se encuentra por encima o por debajo de la bomba, estas necesitarán cebarse para poder funcionar. Se entiende por cebado a que se cargue la tubería de aspiración con agua para que la bomba no aspire aire y no tenga problemas con la cavitación. Con respecto a los accesorios de control, seguridad y mantenimiento, estos se verán modificados de acuerdo a la selección de la bomba.

Tuberías: las tuberías pueden ser metálicas o plásticas. Debido a que las mismas deberán ir enterradas hay que considerar la mejor opción teniendo en cuenta el tipo de fluido con el que estarán en contacto y su resistencia a la corrosión bajo tierra. Del mismo modo que ocurre con las bombas, los accesorios que deberán tener las tuberías dependerán de la selección del material de la misma.

Sistemas de potabilización: aquí se presentan dos grandes opciones y diferencias. Una opción es una planta de potabilización y la otra es un tratamiento menor que el que se da en una planta de tratamiento (cloración, filtración, etc.), pero ambas deberán garantizar la calidad del agua. Nuevamente, dependiendo de la selección para el sistema de potabilización serán los costos y la tecnología que se deberá implementar. La selección de alguna de estas opciones influirá en los elementos de control, seguridad y el mantenimiento que se deberá realizar al sistema.

Almacenamiento de agua: aquí se pueden utilizar cisternas o tanques elevados dependiendo del lugar. Para cada una de ellas se pueden seleccionar construcciones de cemento (hormigón) o plásticas. Para ambos se deberán implementar elementos de medición que permitan interconectar los niveles de los tanques o cisternas con el arranque o parada de las bombas.

Sistema de control: hay dos grupos de control en este ítem. Hay control eléctrico y control hidráulico.

Primero, el sistema de control eléctrico deberá propiciar el arranque y parada de las bombas cuando así lo determinen los sensores de los niveles de los tanques y cisternas. Esto deberá estar comandado por un tablero de control principal con sus respectivas protecciones y elementos de maniobra.

Segundo, el sistema de control hidráulico serán todos aquellos accesorios y elementos que comandarán válvulas, y sistemas de protección ante sobrepresiones en la estación de bombeo.

Los equipos auxiliares deberán actuar ante situaciones de emergencia y de funcionamiento anómalo del sistema. Puede ser un motor de combustión interna u otra fuente de energía en caso de fallos eléctricos en la línea principal.

5.6 Dimensionamiento y selección de elementos / componentes electrohidráulicos de la estación de bombeo

En esta sección se realizará el dimensionamiento del sistema, lo que incluye dimensionar diámetros de tuberías, selección de materiales para las mismas, selección de bombas (tipo y cantidad), dimensionado de volúmenes y materiales para los tanques y cisternas de almacenamiento, determinación de elementos y accesorios para el control hidráulico que aseguren el funcionamiento, faciliten el mantenimiento y soporten las presiones de trabajos con posibles sobrepresiones ante transitorios hidráulicos. Otro aspecto a considerar es que se definirán los elementos y accesorios para el sistema de control eléctrico. Por último, se diseñará la obra de captación (pozo filtrante), considerando la compatibilidad con el sistema.

5.6.1 Planteo general del problema

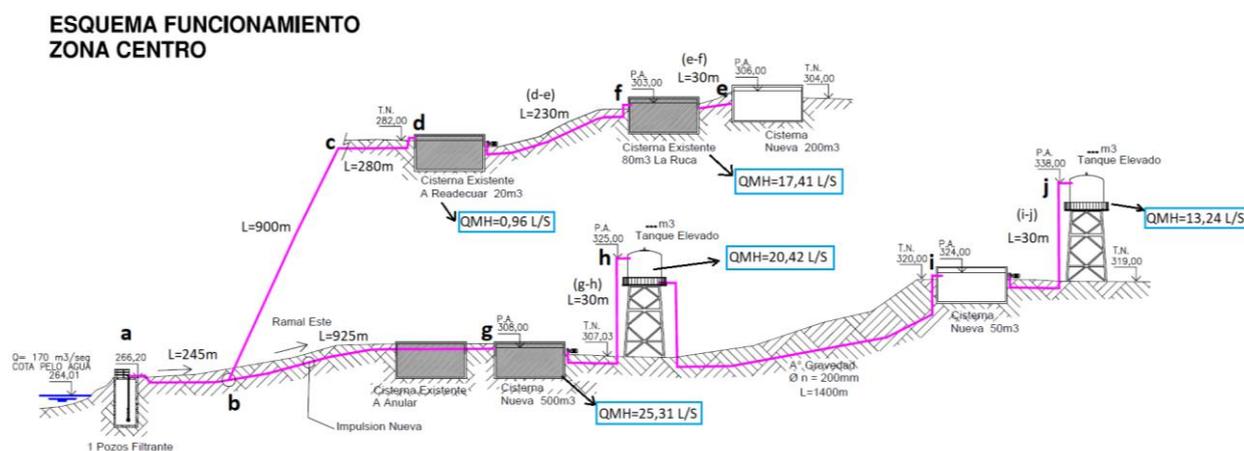


Figura 28. Planteo general del problema con altura, longitudes y caudales de consumo (Información remitida por Director de PIP).

Primero, se va a trabajar sobre la parte inicial del sistema que contempla desde la captación en “a” hasta las primeras cisternas de almacenamiento “e” (C1-CE) y “g” (C1-CO). Se analizará el tipo de material ideal de las tuberías para poder colocarlas de forma subterránea y se determinarán los diámetros de los distintos tramos considerando recomendaciones de velocidades de impulsión bajo norma.

PLANTA ZONA CENTRO

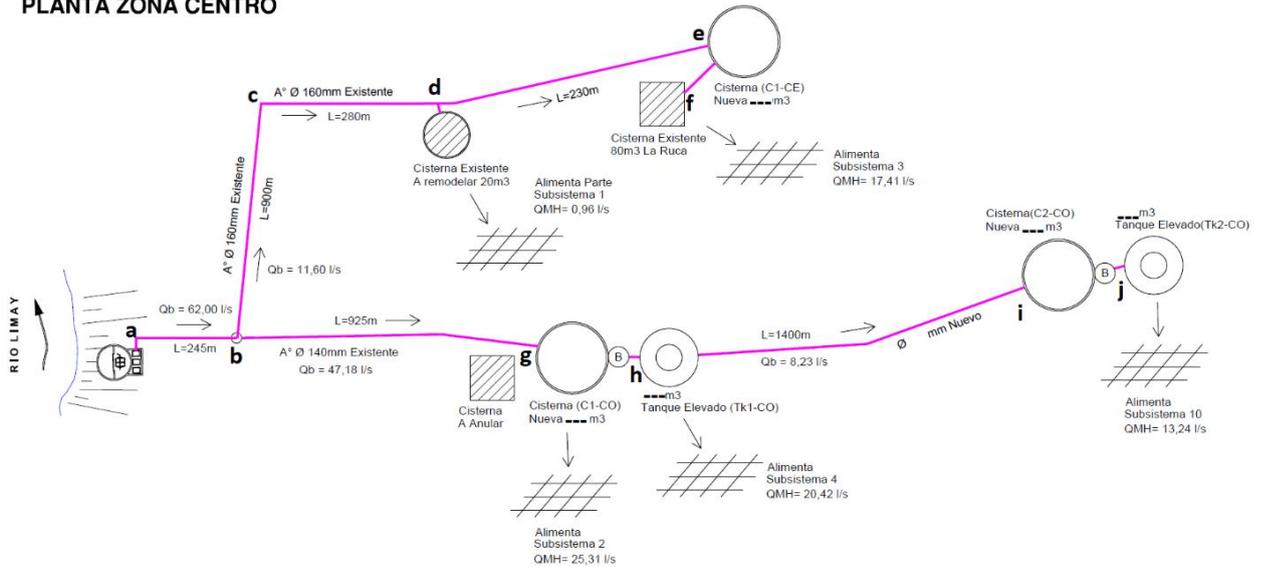


Figura 29. Vista en planta del sistema de bombeo de agua potable zona centro (Información remitida por Director de PIP).

El dato que se tiene del plan director es el caudal de consumo máximo horario estimado en cada red de distribución $Q_{MH} = Q_E$, siendo Q_E el caudal de consumo máximo horario según nomenclatura de (ENOHSA, 2023); es decir, el caudal instantáneo máximo de consumo durante el período de una hora en el día de mayor consumo. Pero el caudal de diseño que se utilizará para dimensionar las tuberías y bombas del sistema de bombeo es el caudal de bombeo (Q_b). Según las consideraciones de (ENOHSA, 2023), cuando exista capacidad de almacenamiento en el extremo de la obra de conducción, se deben aplicar las siguientes alternativas:

- Cuando la conducción es por gravedad, se deberá tomar el consumo medio máximo diario. $\rightarrow Q_b = Q_D$ (siendo Q_D el caudal medio del día de máximo consumo, según nomenclatura de ENOHSA).
- En el caso de bombeo, se debe tomar el caudal impulsado correspondiente al consumo medio diario, aceptando que durante los días de mayor consumo se aumentará el tiempo de bombeo de acuerdo con las necesidades. $\rightarrow Q_b = \frac{24}{N} Q_C$ (siendo Q_C el caudal medio diario consumido en un año y N el número de horas de bombeo).

Considerando una dotación de agua por día por habitante de 300 litros, se puede estimar a que cantidad de habitantes está asociado el consumo máximo horario Q_E , lo cual permitirá determinar los coeficientes de caudal.

$$Población\ servida = \frac{Q_E}{dotación\ por\ habitante} \quad (32)$$

Tabla 5. Consumos típicos para servicio con y sin medidores (ENOHSA, 2023).

Población	Servicio con Medidores	Servicio sin Medidores
Hasta 5.000 habitantes	100-150 L/hab.	200-300 L /hab . día
De 5.000 a 25.000 hab.	150-200 L /hab.	300-400 L / hab . día
De 25.000 a 100.000 hab.	200-250 L /hab	400-500 L / hab . día
Encima de 100.000 hab.	250-300 L /hab	500-600 L / hab . día

Para determinar los valores de Q_C , Q_D se utilizarán los coeficientes de caudal propuestos por la norma que los relacionan con el caudal máximo horario Q_E .

Tabla 6. Definición de coeficientes de caudal (ENOHSA, 2023).

α_{1n}	Coficiente máximo diario del año n	$\alpha_{1n} = Q_{Dn} / Q_{Cn}$
α_{2n}	Coficiente máximo horario del año n	$\alpha_{2n} = Q_{En} / Q_{Dn}$
α_n	Coficiente total máximo horario del año n	$\alpha = Q_{En} / Q_{Cn}$
β_{1n}	Coficiente mínimo diario del año n	$\beta_{1n} = Q_{Bn} / Q_{Cn}$
β_{2n}	Coficiente mínimo horario del año n	$\beta_{2n} = Q_{An} / Q_{Bn}$
β_n	Coficiente total mínimo horario del año n	$\beta_n = Q_{An} / Q_{Cn}$

Tabla 7. Coeficientes de caudal (ENOHSA, 2023).

Población servida	α_1	α_2	α	β_1	β_2	β
500 h < $P_s \leq 3.000$ h	1,40	1,90	2,66	0,60	0,50	0,30
3.000 h < $P_s \leq 15.000$ h	1,40	1,70	2,38	0,70	0,50	0,35
15.000 h < P_s	1,30	1,50	1,95	0,70	0,60	0,42

Tabla 8. Caudales, coeficientes y población servida en el sistema de bombeo.

Parámetro	Subsistema 10	Subsistema 4	Subsistema 2	Subsistema 3	Subsistema 1
α	2,38	2,38	2,38	2,38	2,66
α_2	1,70	1,70	1,70	1,70	1,90
$Q_E(m^3/h)$	47,66	73,51	91,12	62,68	3,46
$Q_C(m^3/h)$	20,03	30,89	38,28	26,33	1,30
$Q_D(m^3/h)$	28,04	43,24	53,60	36,87	1,82
Población servida	3.813	5.881	7.289	5.014	276

Para determinar el caudal de bombeo que tiene que aportar el pozo filtrante, se procede a realizar un balance de caudales medios (Q_C) en el sistema, a fin de determinar el caudal medio que debe ser extraído por el pozo filtrante, y luego determinar el caudal de bombeo (Q_b) asociado a la cantidad de horas de bombeo (N) que se estiman en 12 horas. Para tener un sistema balanceado debe cumplirse que ($Q_{aporte} = Q_{consumo}$).

Para el primer tramo de impulsión por bombeo, desde el pozo filtrante (punto “o”) hasta las cisternas C1-CE (punto “e”) y C1-CO (punto “g”) se tiene lo siguiente:

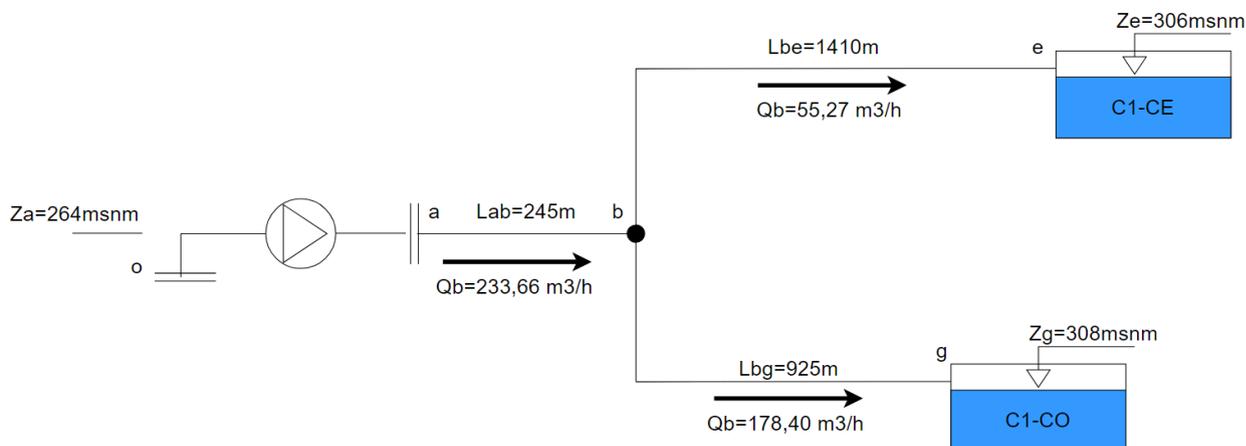


Figura 30. Esquema de sistema de bombeo, primera etapa con caudales de diseño.

Con estos caudales de bombeo se dimensionarán las tuberías y se modelará la curva del sistema para una posterior selección de bombas. Hay que considerar tres posibles situaciones de consumo:

1. Se bombea agua a las cisternas C1-CO y C1-CE en simultáneo. (Caso de mayor frecuencia).
2. Se bombea agua solo a la cisterna C1-CO porque C1-CE está llena. (Caso de baja frecuencia).
3. Se bombea agua solo a la cisterna C1-CE porque C1-CO está llena. (Caso de baja frecuencia).

5.6.2 Dimensionamiento y selección de materiales para tuberías del sistema de bombeo

Los principales aspectos a considerar respecto de las líneas de agua subterráneas tienen que ver con la exposición del material a la humedad, la posibilidad de ser dañadas por excavaciones posteriores, el deterioro por el paso del tiempo, sobre todo en aquellas de difícil acceso, el clima y tipo de suelo. Por esto, es fundamental la elección de un material duradero y resistente. La utilización de tuberías para el suministro de agua supone unas condiciones fundamentales, tales como mantenerse en buen estado el mayor tiempo posible, no corroerse ni presentar desprendimiento de partículas. En el mercado existe una variedad de tipos de tubería para la instalación de líneas de agua subterráneas, por lo general de materiales sintéticos o metálicos (ENOHSA, 2023).

Los materiales que presentan las mejores prestaciones en cuanto a la conducción de agua mediante tuberías enterradas, sin ningún tipo de recubrimiento o protección extra, son el PVC y el PEAD. La gran diferencia que hay entre los mismos es el modo de unión (junta elástica y temperatura por electro fusión, respectivamente) y los costos de un material a otro es un aspecto importante a tener en cuenta. Se tomó como referencia un tubo $D_n = 110mm$, $e = 4,2mm$ y $PN6$ para comparar el costo por metro de longitud de tubería (\$/m) entre ambos materiales.

Tabla 9. Relación de costo por unidad de longitud entre PEAD y PVC (SB Argentina, 2024).

Material	PEAD	PVC
\$/m	37.500	12.130
Relación costo PEAD/PVC	$r_{costo} = 3,1$	

Es decir, el costo de hacer todo el sistema con PEAD con respecto a PVC será aproximadamente 3 veces mayor. Por lo tanto, se opta por elegir el PVC como el material más apropiado para realizar la conducción del sistema de bombeo.

Para determinar los diámetros adecuados de la tubería de impulsión se fija un rango adecuado de velocidad propuesto por (ENOHSA, 2023) para impulsiones de agua, las velocidades deberán estar entre 1 y 2 m/s. Luego, se deberá seleccionar diámetros comerciales compatibles con las velocidades mínimas y máximas, con los caudales de bombeo que circularán por los distintos tramos y la presión de trabajo nominal.

$$Q_b = vA \quad (33)$$

$$A = \frac{\pi d^2}{4} \quad (34)$$

$$d = \sqrt{\frac{4Q_b}{\pi v}} \quad (35)$$

- v : Velocidad de impulsión.
- A : Área transversal interna de la tubería.
- d : Diámetro interno de la tubería.
- D_n : Diámetro nominal de la tubería (para PVC coincide con el diámetro exterior).

Las medidas y datos característicos de las tuberías de PVC son extraídas del fabricante (TuboForte Argentina, 2024).

Tabla 10. Datos característicos sobre el primer tramo del sistema de bombeo.

Tramo	Longitud (m)	$Q_b(L/s)$	$d_{Min}(mm)$	$d_{Max}(mm)$	$D_n(mm)$ PN6
a-b	245	64,91	203,3	287,5	200, 225, 250, 315
b-e	1410	15,35	98,8	139,8	110, 125, 140, 160
b-g	925	49,55	177,6	251,2	160, 200, 225, 250

Entonces, se procede a armar la curva del sistema, la cual se confecciona considerando los diámetros de las tuberías, el material, los accesorios y los niveles del agua desde los puntos de captación hasta el almacenamiento.

Se plantea un balance de energía entre dichos puntos. (o \rightarrow e) y (o \rightarrow g).

$$\frac{P_o}{\gamma} + Z_o + \frac{v_o^2}{2g} - \Delta J_{total}^{o \rightarrow e} + H_n = \frac{P_e}{\gamma} + Z_e + \frac{v_e^2}{2g} \quad (36)$$

$$\frac{P_o}{\gamma} + Z_o + \frac{v_o^2}{2g} - \Delta J_{total}^{o \rightarrow g} + H_n = \frac{P_g}{\gamma} + Z_g + \frac{v_g^2}{2g} \quad (37)$$

Se considera que P_o , P_e y P_g están a presión atmosférica y que las velocidades v_o , v_e y v_g son despreciables frente a las velocidades que hay en el sistema, ya que son las velocidades del nivel de agua en los tanques y pozo de captación. Luego de hacer esta simplificación resulta:

$$H_n = (Z_e - Z_o) + \Delta J_{total}^{o \rightarrow e} \quad (38)$$

$$H_n = (Z_g - Z_o) + \Delta J_{total}^{o \rightarrow g} \quad (39)$$

Como se puede observar en la Figura 30, el tramo b-e con respecto al b-g están conformando un sistema en paralelo, y el sistema paralelo equivalente (b-e // b-g) está en serie con respecto al tramo a-b. Por lo tanto, luego de considerar el sistema paralelo equivalente (b-e // b-g) con el tramo en serie a-b resulta el sistema equivalente final. Las ecuaciones que deben cumplirse para respetar esta disposición en serie y paralelo son:

$$H_n = (Z_e - Z_o) + \Delta J_{total}^{a \rightarrow b} + \Delta J_{total}^{b \rightarrow e} = (Z_g - Z_o) + \Delta J_{total}^{a \rightarrow b} + \Delta J_{total}^{b \rightarrow g} \quad (40)$$

$$Q_{total} = Q_{ab} = Q_{be} + Q_{bg} \quad (41)$$

$$H_n - (Z_e - Z_o) = \Delta J_{total}^{a \rightarrow b} + \Delta J_{total}^{b \rightarrow e} \quad (42)$$

$$H_n - (Z_g - Z_o) = \Delta J_{total}^{a \rightarrow b} + \Delta J_{total}^{b \rightarrow g} \quad (43)$$

A las pérdidas de carga totales de cada tramo se las puede separar en dos tipos, localizadas y distribuidas, ver ecuación (4). Las pérdidas de carga por fricción propuestas por Darcy y Weisbach son las dadas en la ecuación (5) y las pérdidas de carga localizadas se ven representadas por la ecuación (6).

A continuación, lo que se realiza es el armado de la curva del sistema. Partiendo de las curvas de cada tramo por separado y luego unificándolo a un sistema equivalente final. Para ello se consideran los diámetros comerciales de la Tabla 10 que verifican la velocidad de impulsión entre 1 y 2 m/s, los caudales de bombeo requeridos y la longitud de cada tramo del sistema. Para todos los tramos se considera lo siguiente:

Tabla 11. Datos sobre el agua y gravedad (Sanks, 1998).

$\rho(kg/m^3)$	$\mu(Pa.s)$	$g(m/s^2)$
1000	0,001	9,8

En la Tabla 12, se indican los caudales que son requeridos por los consumos. Lo que se busca es que, al armar la curva del sistema y encontrar una bomba para determinar el punto de funcionamiento, los caudales en cada tramo sean lo más parecido posible a lo que se requiere.

Tabla 12. Datos sobre los tramos del sistema de bombeo (diámetros, longitud, coeficientes de pérdida localizada, clase, velocidad de impulsión y caudal de bombeo requerido).

Tramo	$Q_b \left(\frac{m^3}{h}\right)$	$v \left(\frac{m}{s}\right)$	Clase	$D_n (mm)$	$\varepsilon(mm)$	$e(mm)$	$d(mm)$	$L(m)$	Σk_i
a-b	233,66	1,5	PN6	250	0,0015	7,3	235,4	245	8,8
b-e	55,27	0,9	PN6	160	0,0015	4,7	150,6	1410	4,1
b-g	178,40	1,4	PN6	225	0,0015	6,6	211,8	925	4,1

Tabla 13. Valores de coeficiente de pérdida localizada adoptados para los distintos tramos de las tuberías (Sanks, 1998).

Tramo	k_{codo}	$k_{valv. mariposa}$	$k_{valv. check}$	$k_{unión T}$	$k_{line T}$	$k_{entrada tk}$	Σk_i
a-b	4 x 0,25	2 x 0,35	2 x 2,5	2 x 0,75	2 x 0,30	-	8,8
b-e	3 x 0,25	-	-	1 x 0,75	1 x 0,30	1 x 0,5	2,3
b-g	3 x 0,25	-	-	1 x 0,75	-	1 x 0,5	2

En cada uno de los tramos del sistema de bombeo se obtendrá una curva del sistema de la forma de parábola ($H = aQ^2 + bQ + C$), como se indicó en el MARCO TEÓRICO.

Para el caso de los tramos b-e con b-g, ya que los mismos están en paralelo, lo que se debe realizar es encontrar el sistema paralelo equivalente, en el cual para una misma altura neta (H_n) del sistema lo que se suma es el caudal que aporta cada tramo.

$$Q_{tramo} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4a(C - H)}}{2a} \quad (44)$$

$$Q_{paralelo} = Q_{be} + Q_{bg} \quad (45)$$

$$Hn_{sistema\ paralelo} = Hn_{be} = Hn_{bg} \quad (46)$$

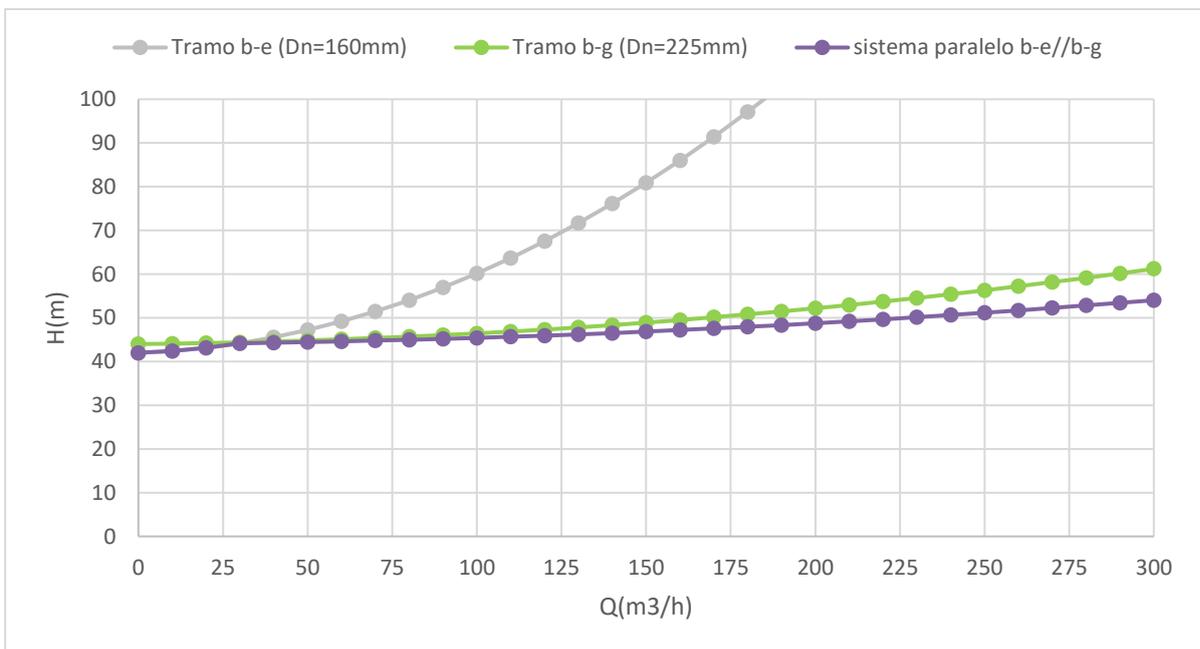


Figura 31. Curva del sistema para tramos b-e, b-g y sistema paralelo (b-e // b-g).

Una vez determinado el sistema paralelo equivalente, se procede a encontrar la curva del sistema del tramo a-b y luego encontrar el sistema equivalente final, que es colocar en serie el tramo a-b con el sistema paralelo equivalente encontrado entre b-e y b-g. Para encontrar el sistema final lo que se hace es considerar un sistema en serie, en donde el caudal en todo el sistema es el mismo y se suman las alturas netas (H_n) de cada uno de los tramos.

$$Q_{sistema\ total} = Q_{ab} = Q_{sistema\ paralelo} \quad (47)$$

$$Hn_{sistema\ total} = Hn_{ab} + Hn_{sistema\ paralelo} \quad (48)$$

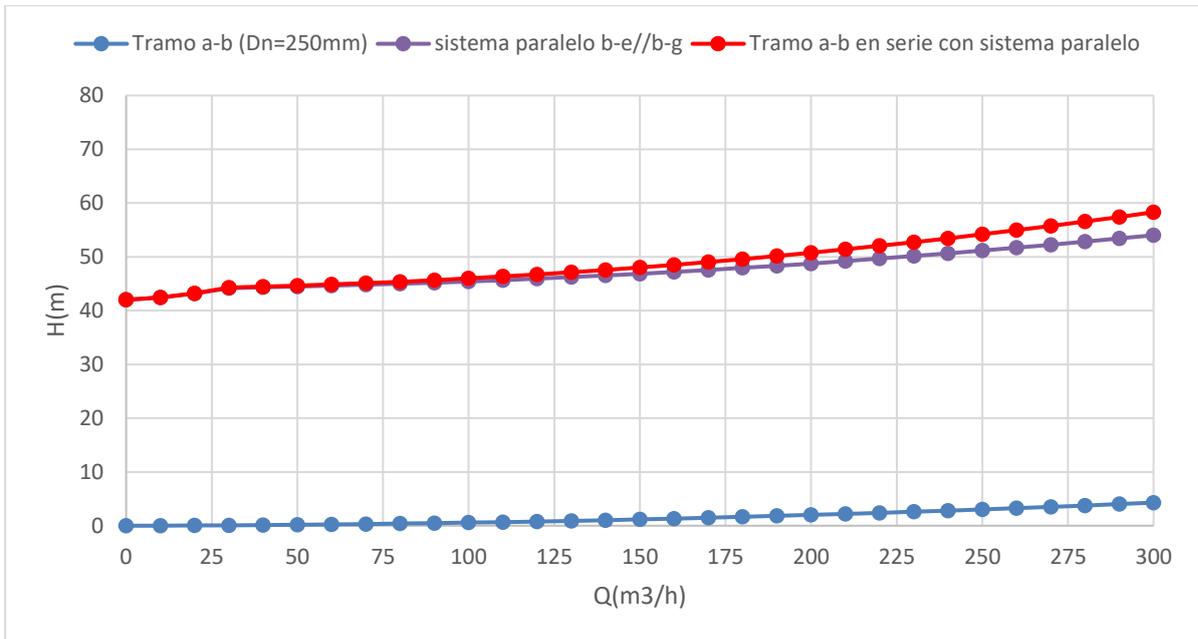


Figura 32. Curva del sistema para tramo a-b, sistema paralelo (b-e // b-g) y sistema equivalente final (tramo a-b en serie con sistema paralelo).

De esta forma, se obtiene la curva del sistema equivalente final cuando bombeo agua a ambas cisternas (C1-CO y C1-CE) simultáneamente. Ahora resta encontrar una bomba centrífuga cuya curva de funcionamiento esté lo más próxima al punto determinado por el máximo caudal requerido.

$$Q = 233,7 \frac{m^3}{h} ; H = 53m$$

Cabe mencionar que los diámetros seleccionados en la Tabla 12 son aquellos que técnicamente permiten obtener los caudales más cercanos a los requeridos por el sistema en cada tramo, considerando la configuración de paralelo de los tramos b-e con b-g y su equivalente en serie con el tramo a-b. Ahora resta realizar un estudio técnico-económico para determinar si la opción seleccionada se corresponde con el diámetro económico de cada tramo.

Además, se analizará los casos en donde solo se bombea a una u otra cisterna, debido a que cambia la forma de la curva del sistema. Esta situación de llenar una sola cisterna se espera que no sea frecuente, pero el sistema de bombeo debe funcionar adecuadamente frente a esta posibilidad.

Para el caso que se bombee agua solo hacia la cisterna C1-CE se tendrá la configuración de serie, entre el tramo a-b y el tramo b-e. Esto ocurrirá cuando la cisterna C1-CO no esté en su nivel mínimo y el flotador bloquee la tubería de impulsión impidiendo que siga circulando agua por el tramo b-g. La curva del sistema en esta situación es la mostrada en la Figura 33.

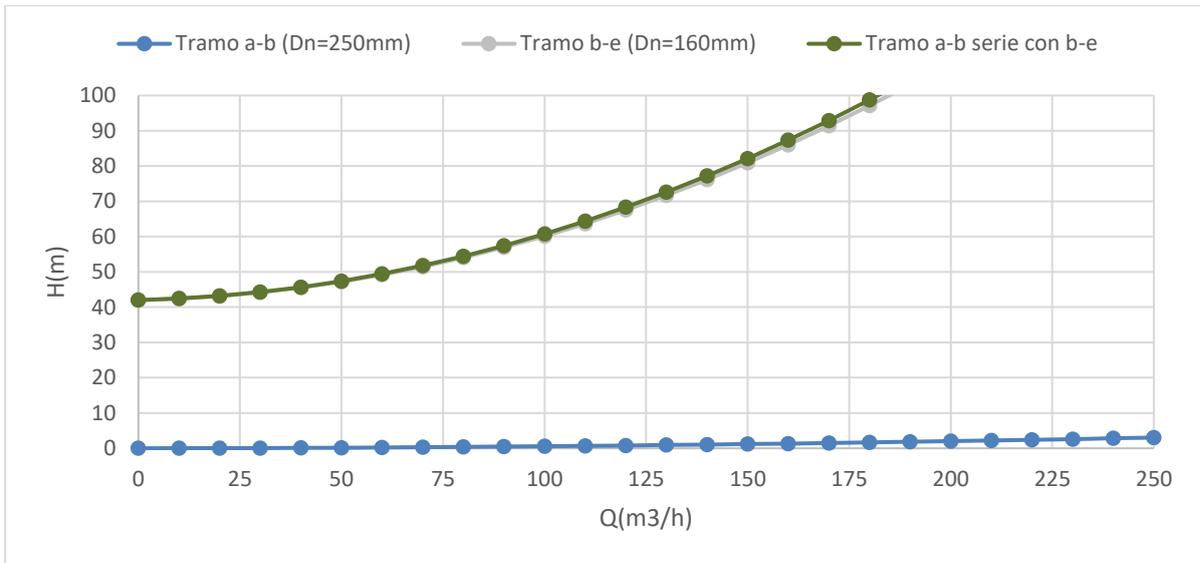


Figura 33. Curva del sistema para bombeo hacia cisterna C1-CE.

Si se bombea agua solo hacia la cisterna C1-CO se tiene la configuración serie entre el tramo a-b y el tramo b-g. Esto ocurrirá cuando la cisterna C1-CE no esté en su nivel mínimo y el flotador bloquee la tubería de impulsión impidiendo que siga circulando agua por el tramo b-e. La curva del sistema ante esta situación es la representada en la Figura 34.

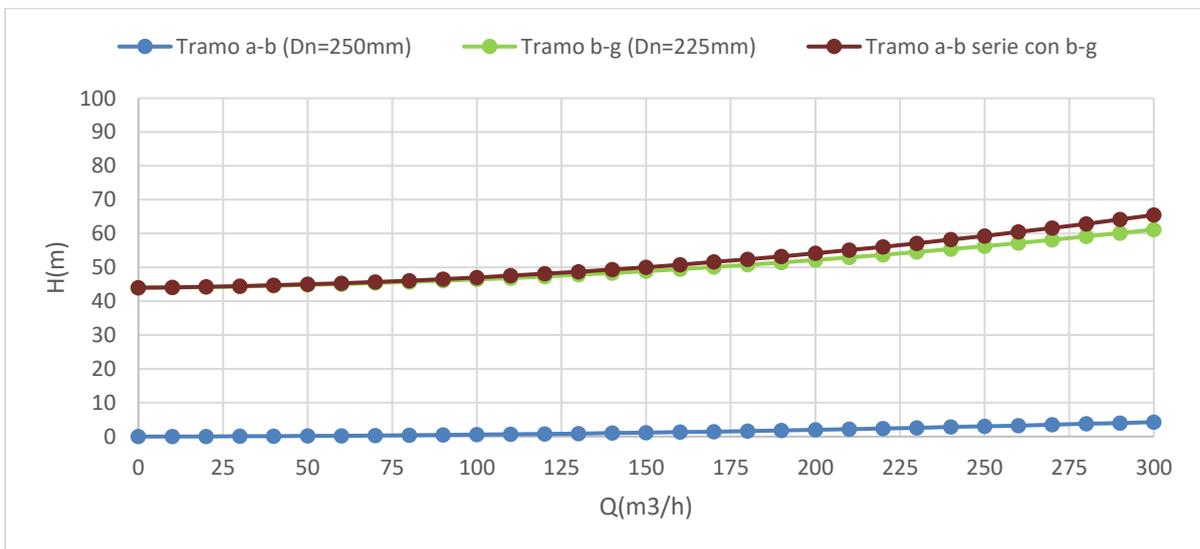


Figura 34. Curva del sistema para bombeo hacia cisterna C1-CO.

A modo de conclusión, la curva del sistema variará dentro de las tres posibilidades explicadas. En la Figura 35 se muestra la variación que puede tener la curva del sistema en un mismo gráfico y la misma deberá ser interceptada por el equipo de bombeo en tres situaciones distintas, según el nivel de las cisternas.

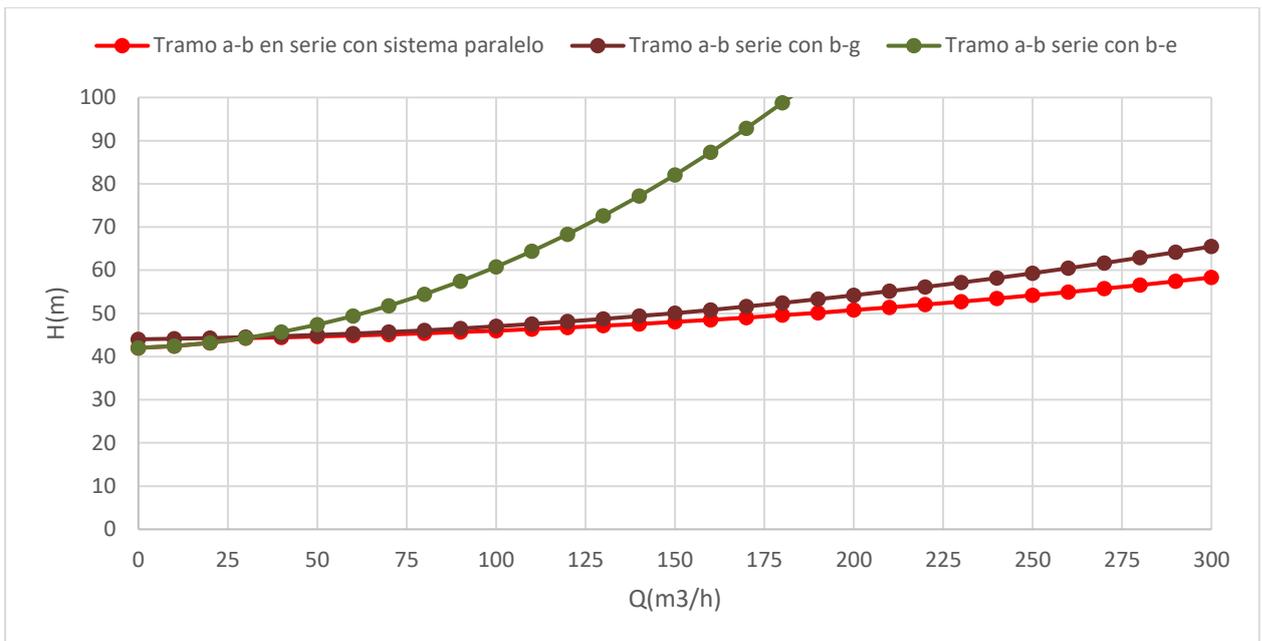


Figura 35. Curvas del sistema.

5.6.3 Selección de bombas para el funcionamiento del sistema

Debido a que el consumo de agua es un factor variable en la sociedad, pueden surgir tres casos de caudales de consumo en el sistema:

- Ambas cisternas (C1-CE y C1-CO) necesiten agua al mismo tiempo $\rightarrow Q=233,7$ m³/h. Este se espera que sea el caso más frecuente de funcionamiento en el sistema.
- Solo la cisterna C1-CO necesita agua $\rightarrow Q=178,4$ m³/h.
- Solo la cisterna C1-CE necesita agua $\rightarrow Q=55,3$ m³/h.

Otro factor a tener en cuenta son las dimensiones de la bomba, las cuales influyen directamente en el diseño del pozo filtrante. Como criterio de diseño se considera que la o las bombas que requieran menor profundidad del pozo serán las que menos impacten en los costos de construcción del mismo. A su vez, se considera importante seleccionar aquellas bombas que tengan un punto de funcionamiento con alto rendimiento y que sean de la menor potencia posible, para no incrementar los costos de elementos eléctricos de maniobra y protección, así como de mantenimiento y operación.

Para encontrar el punto de funcionamiento se intercepta la curva de la/las bomba/s provistas por el fabricante, con la curva del sistema encontrada de acuerdo a los diámetros, accesorios, longitudes y alturas de bombeo.

5.6.3.1 Alternativa 1: una bomba vertical sumergible

Se buscan las mejores opciones de bombas sumergibles para la impulsión del agua en (Sabatini, 2024), (Grundfos, 2024), (KSB, 2024) y (Xylem, 2024). Un aspecto a tener en cuenta es que la curva de la bomba sea lo más “plana” posible, esto es para poder soportar variaciones del punto de funcionamiento sin variar demasiado la altura neta. Además, se seleccionará la bomba que este dentro del rango de operación recomendado para la cual fue diseñada, en este rango se obtienen los mejores rendimientos y la mayor vida útil de la misma. A partir de encontrar el punto de funcionamiento, se identificará cual es el que se encuentra más próximo al caudal máximo requerido, además de indicar el rendimiento, potencia y la velocidad rotacional.

Tabla 14. Punto de funcionamiento y parámetros característicos de cada bomba vertical sumergible.

Fabricante	Bomba	Punto de funcionamiento				
		$Q(m^3/h)$	$H(m)$	$N(rpm)$	η_g	$P(kW)$
GRUNDFOS	SP 215-3AA	225,34	53,49	2900	0,76	46
SABATINI	10270/3 AA	230,10	53,86	2900	0,81	56
KSB	UPA 250C 2	239,93	54,66	2900	0,78	52
XYLEM	LOWARA Z10220 02/2A-L8W	238,32	54,53	2900	0,67	44
XYLEM	LOWARA Z10275 02/2A-L8W	241,35	54,78	2900	0,69	44

Tabla 15. Punto de funcionamiento de cada bomba vertical sumergible con su error relativo respecto al punto requerido por el sistema.

Fabricante	Bomba	Punto de funcionamiento		Error relativo	
		$Q(m^3/h)$	$H(m)$	Q (%)	H (%)
GRUNDFOS	SP 215-3AA	225,34	53,49	3,56	1,22
SABATINI	10270/3 AA	230,10	53,86	1,52	0,53
KSB	UPA 250C 2	239,93	54,66	2,68	0,94
XYLEM	LOWARA Z10220 02/2A-L8W	238,32	54,53	1,99	0,70
XYLEM	LOWARA Z10275 02/2A-L8W	241,35	54,78	3,29	1,16

Como puede observarse en la Tabla 14 y Tabla 15 , no hay grandes variaciones en cuanto al punto de funcionamiento frente al requerido por el sistema. Donde sí se observan variaciones considerables es en el rendimiento de las bombas y la potencia que consumen. Por lo que, se considera que la mejor opción es aquella bomba que presente mayor rendimiento y menor potencia.

Además, se considera la bomba que esté más cercana a su punto de funcionamiento nominal (punto de diseño) y/o esté dentro del rango de operación recomendado por el fabricante. Se le da mayor prioridad a aquella bomba que tenga menor altura neta cuando el caudal es cero, ya que someterá a todo el sistema a menores presiones durante el arranque de la bomba.

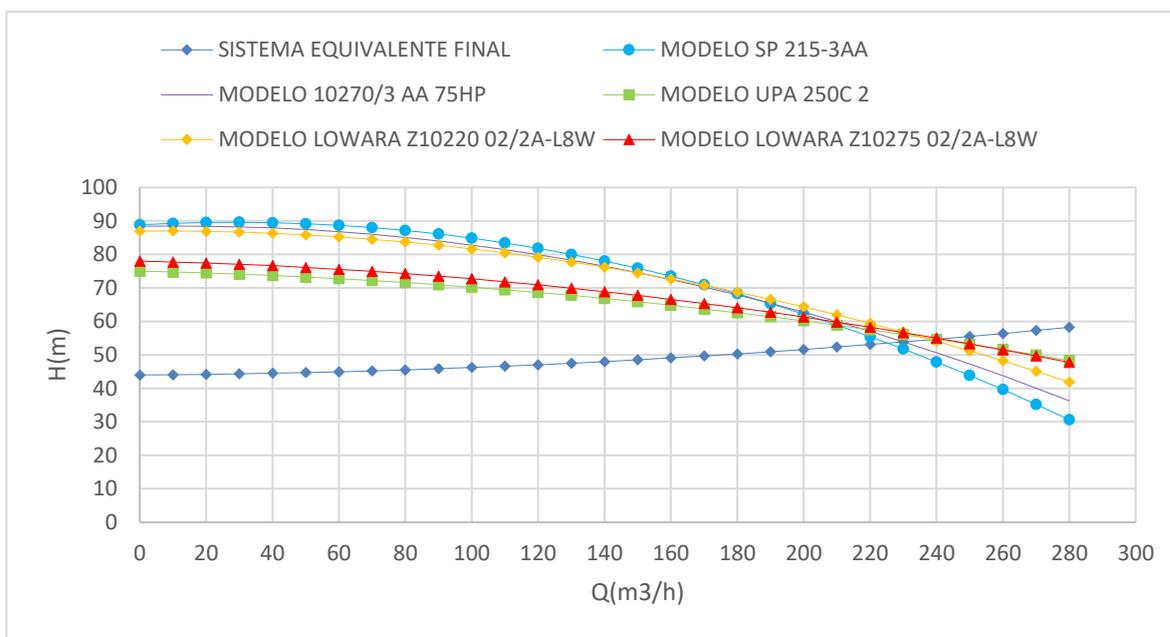


Figura 36. Punto de funcionamiento para cada bomba vertical sumergible con curva del sistema en el caso de llenado de ambas cisternas simultáneamente (C1-CE y C1-CO).

Las bombas seleccionadas como mejor opción teniendo en cuenta las consideraciones realizadas son dos. Puede elegirse una u otra, ya que sus características son similares: **UPA 250 C 2 del fabricante KSB o LOWARA Z10275 02/2A-L8W del fabricante XYLEM.**

Para este tipo de bombas (verticales sumergibles) se requiere una profundidad de pozo desde la superficie hasta el fondo de por lo menos 9 metros. Se tiene de 2 a 3 metros hasta alcanzar el nivel freático más 6 metros para la colocación de la bomba. Esto incrementa notablemente los costos del pozo; entonces, se analizará el caso de colocar bombas sumergibles de menores dimensiones para no requerir una profundidad de pozo tan grande.

Una gran desventaja es que, al colocar una sola bomba, solo funciona de manera adecuada cuando se bombea agua hacia ambas cisternas. En caso de que solo se tenga que bombear agua a una de las cisternas (C1-CE o C1-CO), se trabaja en un punto de funcionamiento por fuera del rango de operación recomendado por el fabricante. Es una situación que no es de mucha frecuencia, pero puede suceder, por lo tanto, se plantea la opción de colocar más de una bomba y tener un equipo de bombeo más flexible que se adapte a una posible variación en los consumos.

5.6.3.2 Alternativa 2: dos bombas sumergibles

A los fines de reducir la profundidad requerida del pozo filtrante y dar flexibilidad a la estación de bombeo, se propone colocar dos bombas sumergibles en paralelo. Se busca que no sean del tipo vertical ya que el motor en las bombas verticales ocupa una gran longitud en la profundidad del pozo.

Luego de buscar y analizar el comportamiento de la curva del sistema con distintas bombas para las distintas situaciones funcionamiento, el equipo que mejor se adapta a los requerimientos del sistema es: la bomba **Flygt NP 3202 SH 3~ 273** de (Xylem, 2024), cuya especificación se puede ver en el ANEXO III.

La forma de funcionamiento que se propone es: cuando se necesita bombear agua a ambas cisternas se encienden en paralelo 2 (dos) bombas. Cuando se necesita bombear agua a una sola cisterna se enciende 1 (una) o 2 (dos) bombas según se necesite. Los requerimientos son:

- $Q=233,7$ m³/h ambas cisternas necesitan agua C1-CE y C1-CO. (2 bombas en paralelo).
- $Q=55,3$ m³/h solo necesita agua la cisterna C1-CE. (1 bomba)
- $Q=178,4$ m³/h solo necesita agua la cisterna C1-CO. (1 bomba o 2 bombas).
- PN6: presión nominal de trabajo en las tuberías de 6 kg/cm².
- BEP=153 m³/h. Rango de BEP recomendado (70-120 %) = (107-183 m³/h).
 - BEP (Punto de mejor eficiencia).

Tabla 16. Punto de funcionamiento con bombeo de agua hacia ambas cisternas, dos bombas funcionando.

Sistema bombeando hacia C1-CE y C1-CO			
<i>N° Bombas</i>	2	Error relativo Q (%)	V(m/s)
$Q_{ab}(m^3/h)$	227	2,87	1,45
$Q_{be}(m^3/h)$	62	12,12	0,97
$Q_{bg}(m^3/h)$	165	7,51	1,30
$Q_{bomb}(m^3/h)$	113,5	Cumple BEP	
$H(m)$	53	Cumple PN	

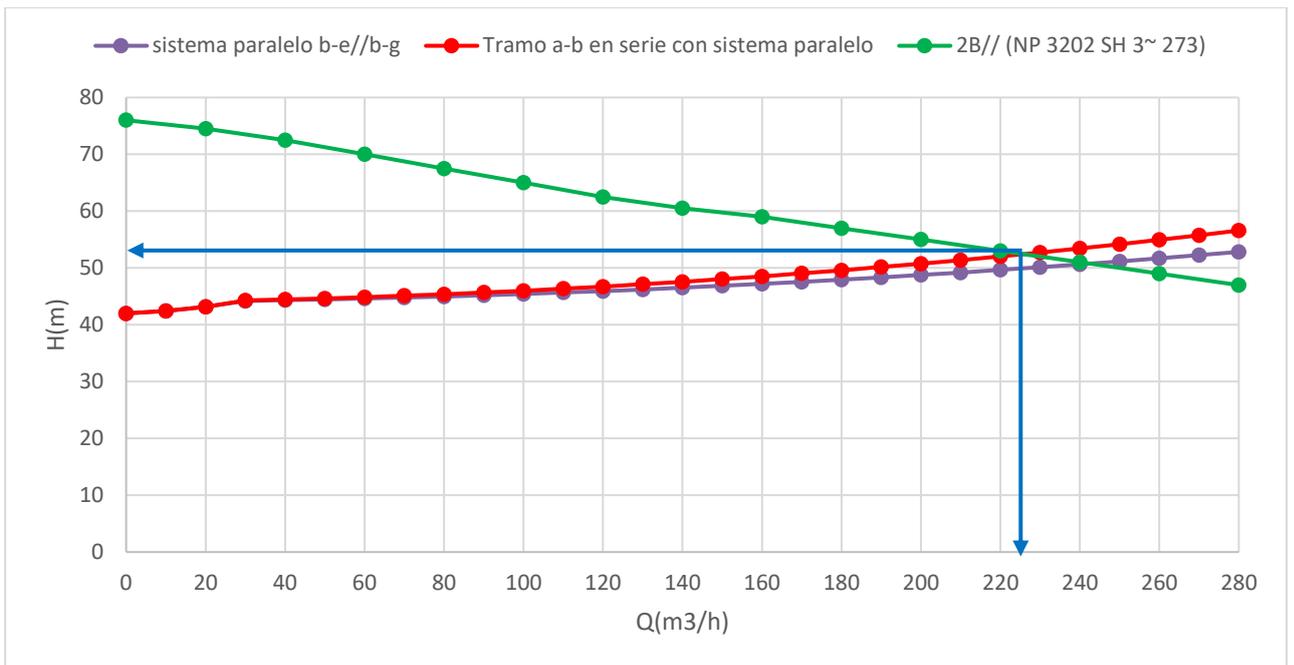


Figura 37. Punto de funcionamiento con 2 (dos) bombas en paralelo impulsando agua a ambas cisternas.

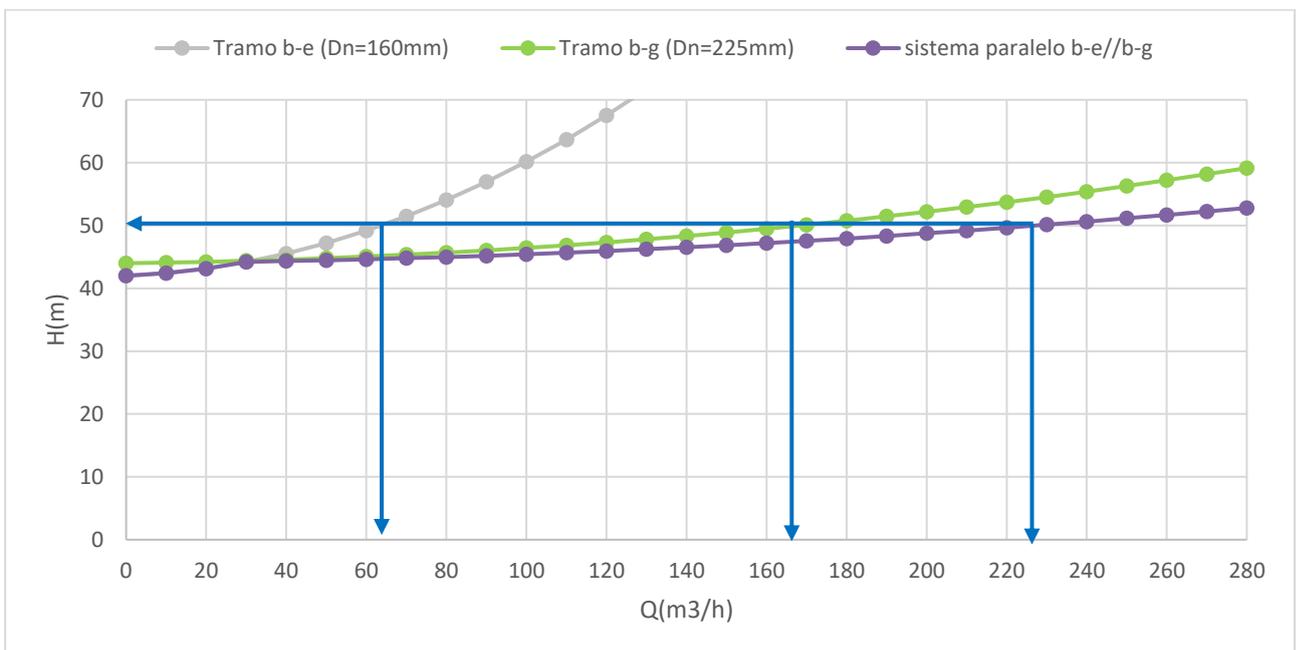


Figura 38. Valores de caudales y alturas en los tramos (b-e, b-g) con configuración de paralelo.

Para el caso más esperable de funcionamiento (llenado de ambas cisternas en simultáneo), dos bombas en paralelo resultan una buena solución. Ya que, las presiones de impulsión son menores a la presión nominal de la tubería y cada bomba se encuentra trabajando dentro del rango recomendado por el fabricante. Además, se respeta lo recomendado por ENOHTA en cuanto a las velocidades de impulsión menores a 2 m/s.

Tabla 17. Punto de funcionamiento con bombeo de agua hacia la cisterna C1-CE, 1 (una) bomba funcionando.

Sistema bombeando hacia C1-CE			
N° Bombas	1	Error relativo Q (%)	V(m/s)
$Q_{ab}(m^3/h)$	90	62,75	0,57
$Q_{be}(m^3/h)$	90	62,75	1,40
$Q_{bg}(m^3/h)$	0	0,00	0,00
$Q_{bomb}(m^3/h)$	90	No cumple BEP	
$H(m)$	57	Cumple PN	

En este caso, no se cumple estrictamente con el rango de BEP propuesto por el fabricante, pero no está lejano al mismo. Sumado a esto, este caso de funcionamiento se espera que no sea frecuente. Este bombeo con 90 m³/h se hace hacia una cisterna de 200 m³, por lo tanto, se estima que el llenado no será más de 2 a 3 horas en el peor de los casos.

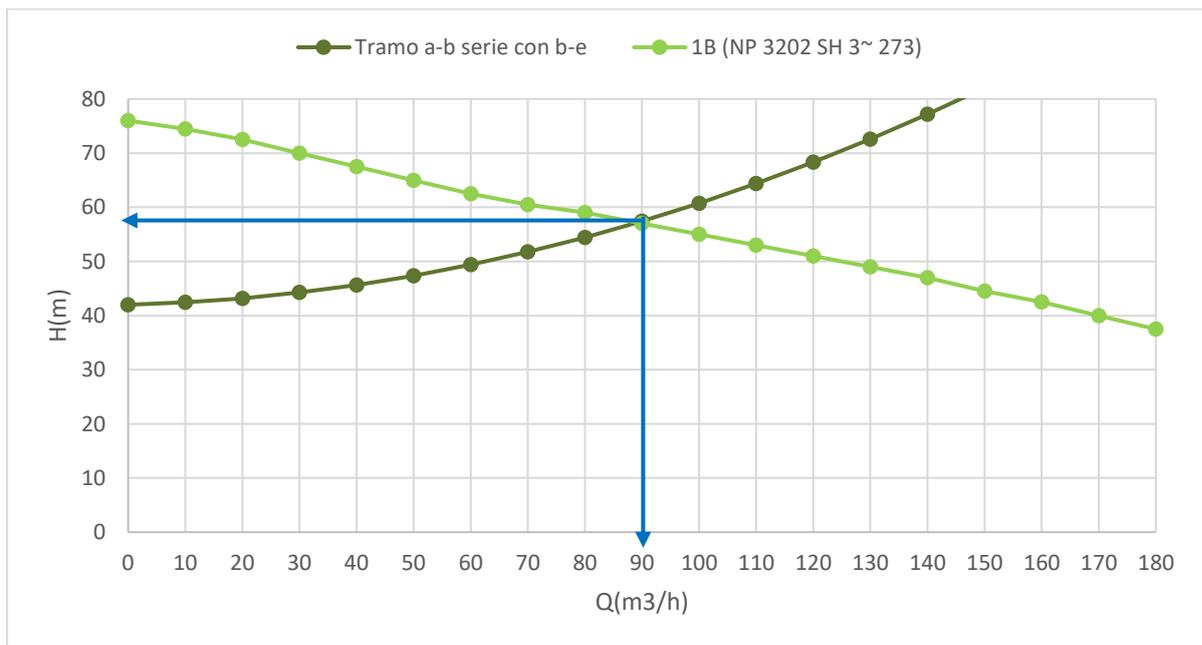


Figura 39. Punto de funcionamiento cuando se impulsa agua solo a la cisterna C1-CE.

Tabla 18. Punto de funcionamiento con bombeo de agua hacia cisterna C1-CO, 2 (dos) bombas funcionando.

Sistema bombeando hacia C1-CO			
<i>N° Bombas</i>	2	Error relativo Q (%)	V(m/s)
$Q_{ab}(m^3/h)$	205	14,91	1,31
$Q_{be}(m^3/h)$	0	0,00	0,00
$Q_{bg}(m^3/h)$	205	14,91	1,62
$Q_{bomb}(m^3/h)$	102,5	No cumple BEP	
$H(m)$	54,5	Cumple PN	

Para este caso, tampoco se cumple estrictamente con el rango de BEP propuesto por el fabricante, pero no está lejano al mismo. Sumado a esto, este caso de funcionamiento se espera que no sea frecuente. Este bombeo con 205 m³/h se hace hacia una cisterna de 500 m³, por lo tanto, se estima que el llenado no será más de 2 a 3 horas.

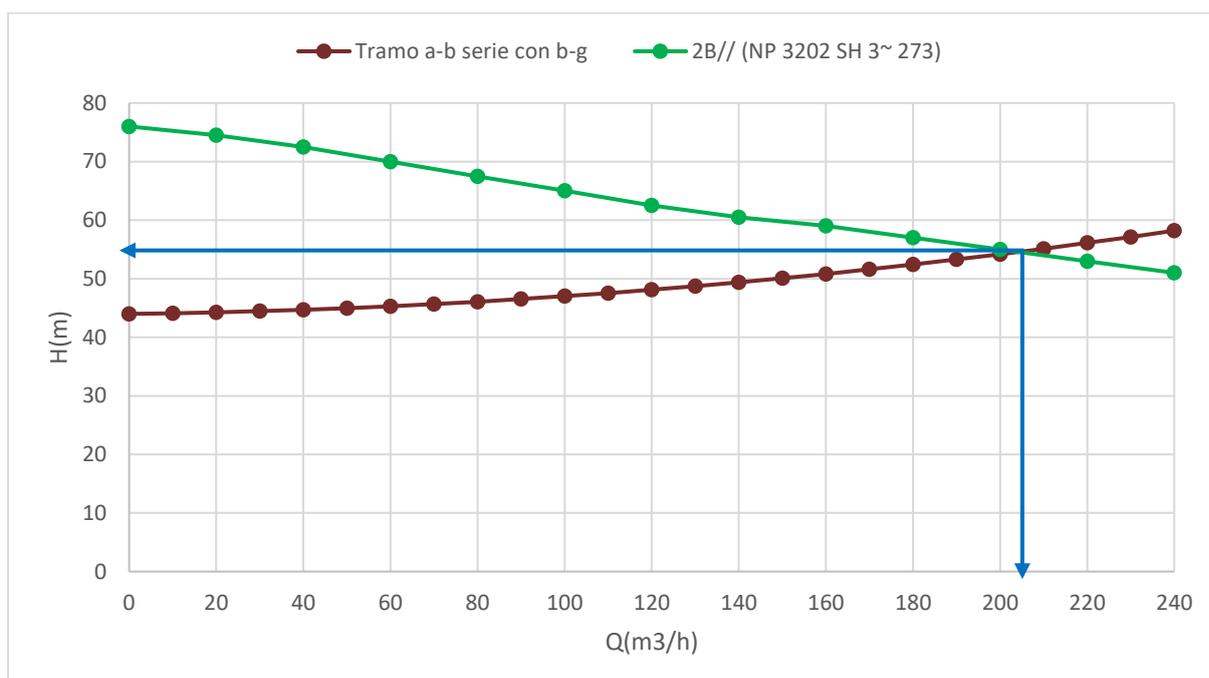


Figura 40. Punto de funcionamiento cuando se impulsa agua solo a la cisterna C1-CO.

Con la elección de colocar dos bombas sumergibles tipo Flygt en paralelo, se está cumpliendo con los requerimientos del sistema, manteniendo las bombas en parámetros de funcionamiento adecuados para alargar su vida útil. A continuación, se presenta una tabla resumen con las tres posibles situaciones de bombeo en esta primera etapa.

Tabla 19. Parámetros de funcionamiento en las tres situaciones de bombeo para la primera etapa.

Situación	$Q_{bombeo}(m^3/h)$	$H(m)$	% de BEP	P(kW)	$P_{total}(kW)$	η_g	$NPSH_r(m)$
Bombeo a C1-CE y C1-CO (2B)	113,5	53	74	29,5	59	0,58	4,8
Bombeo a C1-CE (1B)	90	57	59	28	28	0,53	4,6
Bombeo a C1-CO (2B)	102,5	54,5	67	29	58	0,56	4,8

5.6.4 Diámetro económico

Una tubería de diámetro menor cuesta menos, pero produce mayores pérdidas de carga, con lo que el costo de bombeo es mayor. Se calculará el costo anual de las tuberías para cada diámetro comercial y también el costo de bombeo anual; la suma de ambos costos resultará en el costo total anual y el diámetro comercial que haga mínimo el costo anual combinado será el diámetro económico.

Consideraciones:

- Se analizará cada tramo de tubería para su caudal de bombeo de diseño (Q_b). Luego deberá comprobarse nuevamente con los caudales de bombeo reales, una vez determinado el punto de funcionamiento en cada caso.
- Se considera el mismo rendimiento global (η_g) en todos los casos. Se asumen valores típicos brindados por los fabricantes.
 - $\eta_g = \eta_{hid}\eta_{mec}\eta_{elec} = 0,6$
- Se asumen 12 horas de funcionamiento por día, ($N = 12$) en todos los casos.
- Se considera el mismo costo del kWh durante todo el año en unidades monetarias, extraído de cuadro tarifario de (Edersa, 2024) para usuarios ente 50 y 300 kW (*Costo kWh = \$50*).
- El período de diseño de las tuberías se considera $t = 15$ años, según (ENOHSA, 2023).

Para determinar el costo de bombeo se debe calcular la energía de consumo, la cual viene representada por la potencia eléctrica consumida durante las horas de funcionamiento.

$$E_{consumo} = P_{elect} t_{func} \quad (49)$$

Para determinar la potencia eléctrica se calcula la potencia hidráulica que se le debe suministrar al fluido y se la afecta por el rendimiento global.

$$P_{hid} = \rho g Q_b H_n \quad (50)$$

$$P_{elec} = \frac{P_{hid}}{\eta_g} \quad (51)$$

Complementando lo explicado hasta el momento, se obtiene el costo anual de bombeo y el costo anual de la tubería, obteniendo el costo anual combinado para cada tramo de tuberías de la siguiente forma:

$$C_{bombeo}^{anual} = E_{consumo}^{anual} Costo(kWh) \quad (52)$$

$$C_{tuberia}^{anual} = \frac{(C_{tuberia}^{unitario}) L_{tuberia}}{t_{diseño}^{tuberia}} \quad (53)$$

$$C_{combinado}^{anual} = C_{bombeo}^{anual} + C_{tuberia}^{anual} \quad (54)$$

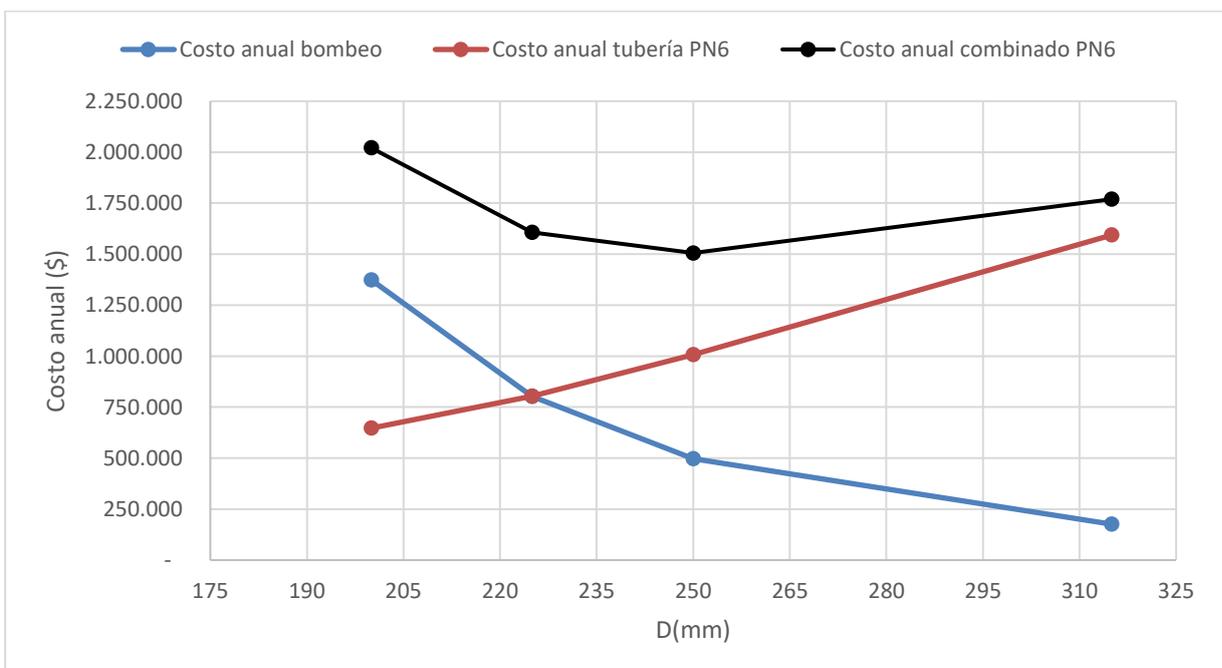


Figura 41. Diámetro económico PVC PN6 (Tramo a-b).

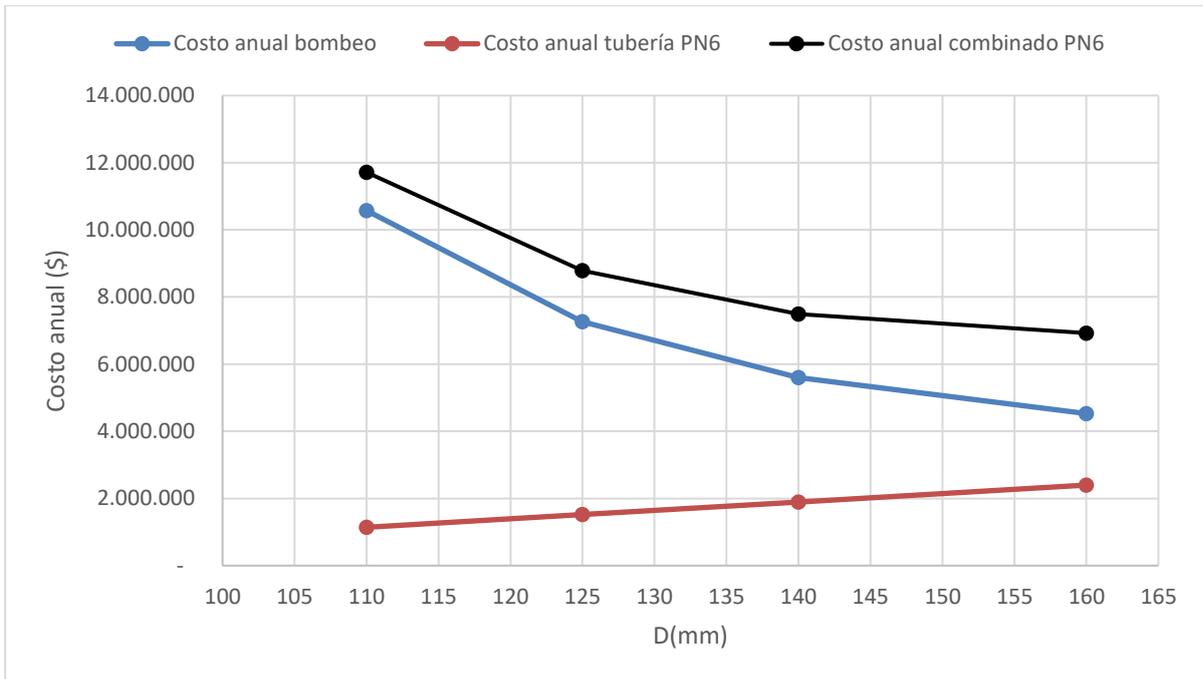


Figura 42. Diámetro económico PVC PN6 (Tramo b-e).

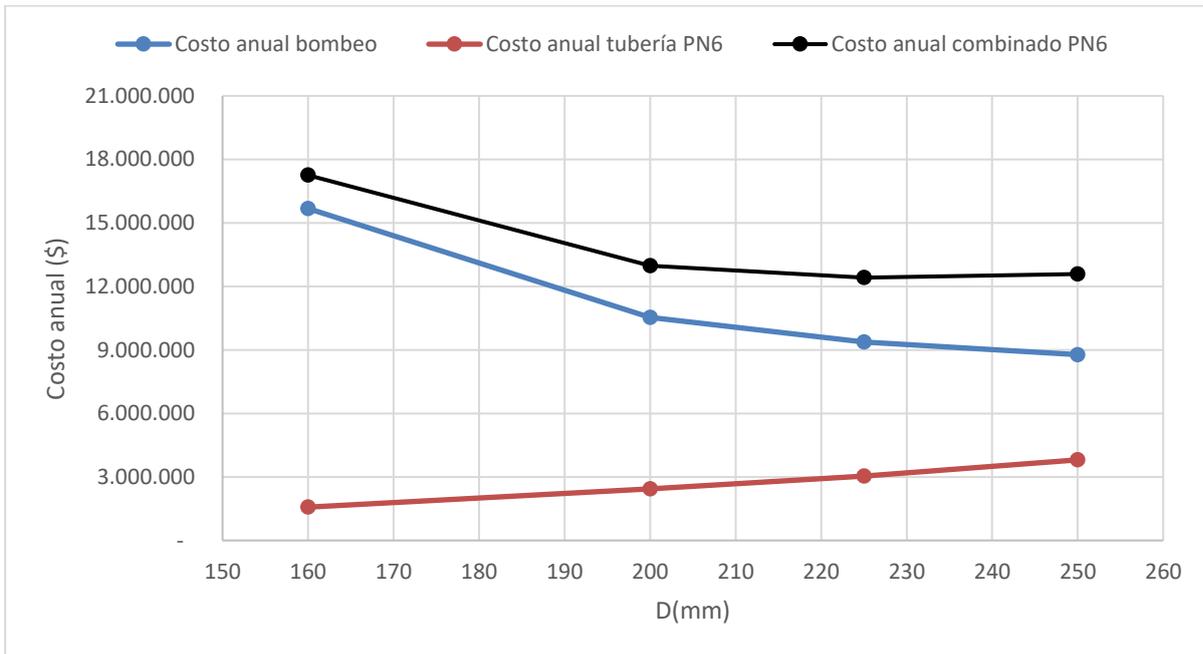


Figura 43. Diámetro económico PVC PN6 (Tramo b-g).

Cabe mencionar que este análisis dio lugar a 7 u 8 iteraciones y combinaciones de cada uno de los tramos entre sí, con los diámetros que respetan las velocidades dadas por la norma y los caudales de bombeo mínimos y máximos que se puedan dar en cada situación de funcionamiento. Siendo el caso de caudales máximos el más crítico en cuanto al consumo de energía, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 20. Resultados de diámetro económico por tramos, con caudal máximo de bombeo en cada tramo.

Tramo	Longitud (m)	$D_n(mm)$	$Q_b^{m\acute{a}x PF} \left(\frac{L}{s}\right)$	$v(m/s)$	$C_{combinado}^{anual} (\$)$
a-b	245	250	63,06	1,45	1.505.765
b-e	1410	160	25,28	1,42	6.924.544
b-g	925	225	56,94	1,62	12.413.651

Como puede observarse en la Tabla 20, el resultado del análisis de diámetro económico para cada tramo coincide con el análisis técnico basado en los requerimientos de caudal para los tramos: a-b, b-e y b-g, expresados en la Tabla 12. Por lo cual, se está en el caso más favorable tanto desde el punto de vista técnico como económico. Además, se obtienen valores de velocidad que se corresponden con las recomendadas por la norma.

5.6.5 Segunda etapa del sistema de bombeo

Se repite el mismo método explicado y aplicado en la primera etapa, tanto para el dimensionamiento de tuberías, elección de accesorios y selección de bombas; se repiten los pasos, pero aplicados a la segunda etapa del sistema de bombeo. Esta segunda etapa contempla como inicio el punto “g” y final el punto “j”, del sistema de la Figura 29. Cabe destacar que cada uno de los tramos se analiza como un sistema de bombeo particular, es decir, aquí no hay configuración en serie ni paralelo, sino que son sistemas interconectados mediante los tanques y cisternas.

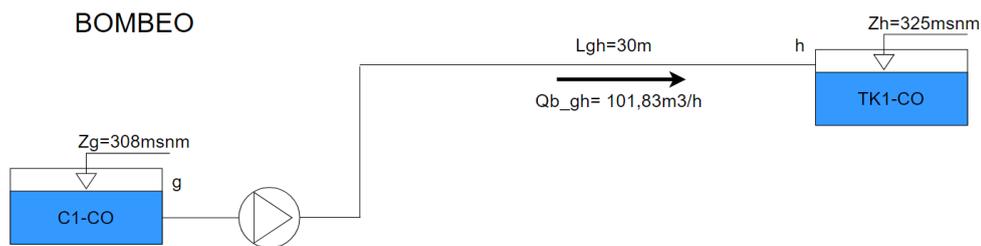


Figura 44. Sistema por bombeo (g-h), primera parte de la segunda etapa.

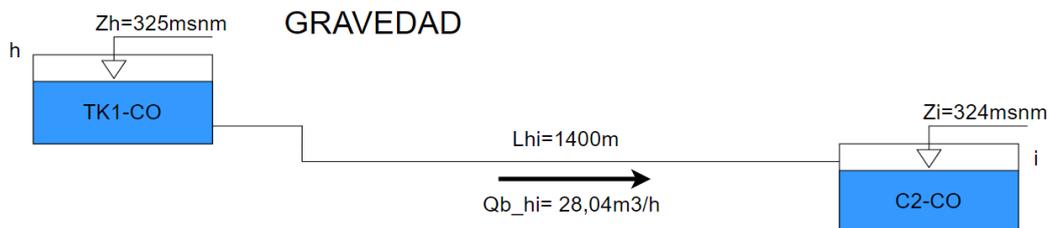


Figura 45. Sistema por gravedad (h-i), segunda parte de la segunda etapa.

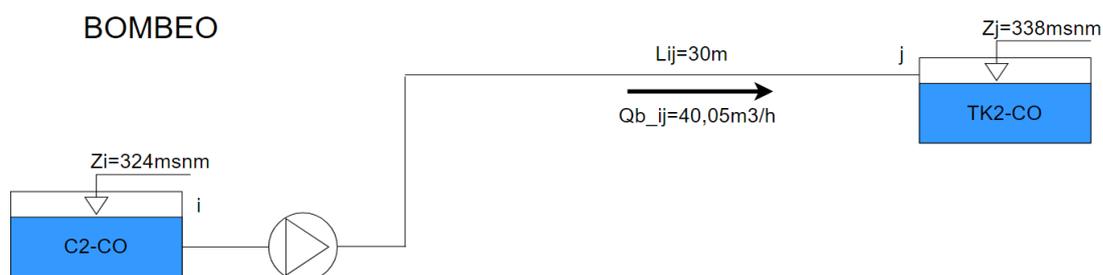


Figura 46. Sistema por bombeo (i-j), tercera parte de la segunda etapa.

Nuevamente teniendo en consideración aspectos técnico-económicos, se obtienen las curvas de los sistemas para cada parte de la segunda etapa y se seleccionan bombas en los tramos que corresponda para encontrar el punto de funcionamiento de cada uno de ellos.

En los tramos g-h e i-j se utilizarán tuberías de acero, ya que los tramos son cortos y no estarán enterrados, por lo que estarán expuestos al ambiente. Pero para el tramo h-i se utilizará PVC, ya que el mismo estará bajo tierra y es de gran extensión. En el caso de tramo h-i, este es por gravedad por lo cual no hay necesidad de agregar un equipo de bombeo. Ya que, con la diferencia de altura entre el tanque elevado Tk1-CO y la cisterna C2-CO, ésta última se puede llenar con el caudal requerido de 28 m³/h solamente con la diferencia de cotas entre los niveles de agua. Las curvas del sistema de cada uno de los tramos mencionado se pueden ver en el ANEXO IV.

Tabla 21. Datos característicos sobre los sistemas de bombeo de la segunda etapa.

Tramo	$Q_b \left(\frac{m^3}{h} \right)$	$v \left(\frac{m}{s} \right)$	$H(m)$	$D_n (mm)$	$\epsilon (mm)$	$e (mm)$	Clase	$L(m)$	Σk_i
g-h	101,83	1,59	18	150	0,046	7,11	SCH. 40	30	4,7
h-i	28,04	0,28	-0,38	200	0,0015	5,9	PN6	1400	1,85
i-j	40,05	1,32	15	100	0,046	6,02	SCH. 40	30	4,7

Nuevamente, para encontrar el punto de funcionamiento se intercepta la curva del sistema con la curva de la bomba. Esto se repite para los tramos que son por bombeo para encontrar el equipo que mejor se adapte a los requerimientos del sistema.

Donde las mejores opciones en cuanto a rendimiento, potencia, valores de NPSH requerido y error relativo bajo con respecto al punto de requerimiento de caudal, son bombas centrífugas mono etapa del fabricante Lowara extraídas de (Xylem, 2024). Las mismas se muestran a continuación para cada tramo de impulsión:

Tabla 22. Bombas para impulsión de agua en el tramo g-h, (C1-CO a Tk1-CO).

Fabricante (Xylem-Lowara)	Punto de funcionamiento		Error relativo		n(rpm)	η_g	P(kW)	NPSHr(m)	
	Bomba	Q(m ³ /h)	H(m)	Q (%)					H (%)
	IXPS100-80-160D75P25BDN4S0	99,4	18,3	2,39	1,67	2900	0,667	6,78	3,62
	IXPS100-80-125B75P25BDN4S0	102,3	18,4	0,46	2,22	2900	0,705	6,59	3,17
	IXPC100-80-125B75P25BDN4S1G	102,3	18,4	0,46	2,22	2900	0,706	6,59	3,17
	IXPC100-80-160D75P25BDN4S1G	99,4	18,3	2,39	1,67	2900	0,668	6,78	3,62

Resultando las mejores opciones para el tramo g-h las bombas **IXPS100-80-125B75P25BDN4S0** o **IXPC100-80-125B75P25BDN4S1G**, cualquiera cumple de igual forma con lo que pide el sistema.

Tabla 23. Bombas para impulsión de agua en el tramo i-j, (C2-CO a Tk2-CO).

Fabricante (Xylem-Lowara)	Punto de funcionamiento		Error relativo		n(rpm)	η_g	P(kW)	NPSHr(m)	
	Bomba	Q(m ³ /h)	H(m)	Q (%)					H (%)
	IXPC100-65-250C30P45BDN4S1G	39,9	15,1	0,37	0,67	1500	0,589	2,48	1,63
	IXPS80-50-250B30P45CDN4S0	38,4	15	4,12	0	1500	0,575	2,43	0,916
	IXPC80-50-250B30P45CDN4S1G	38,4	15	4,12	0	1500	0,574	2,43	0,916
	IXPS100-65-250C40P45BDN4S0	39	15	2,62	0	1500	0,586	2,42	1,61

Resultando las mejores opciones para el tramo g-h las bombas **IXPC100-65-250C30P45BDN4S1G** o **IXPS100-65-250C40P45BDN4S0**, cualquiera cumple de igual forma con lo que pide el sistema.

En el ANEXO IV se pueden visualizar las curvas de las bombas seleccionadas.

A continuación, se muestra la obtención del punto de funcionamiento para ambos sistemas con sus respectivas bombas.

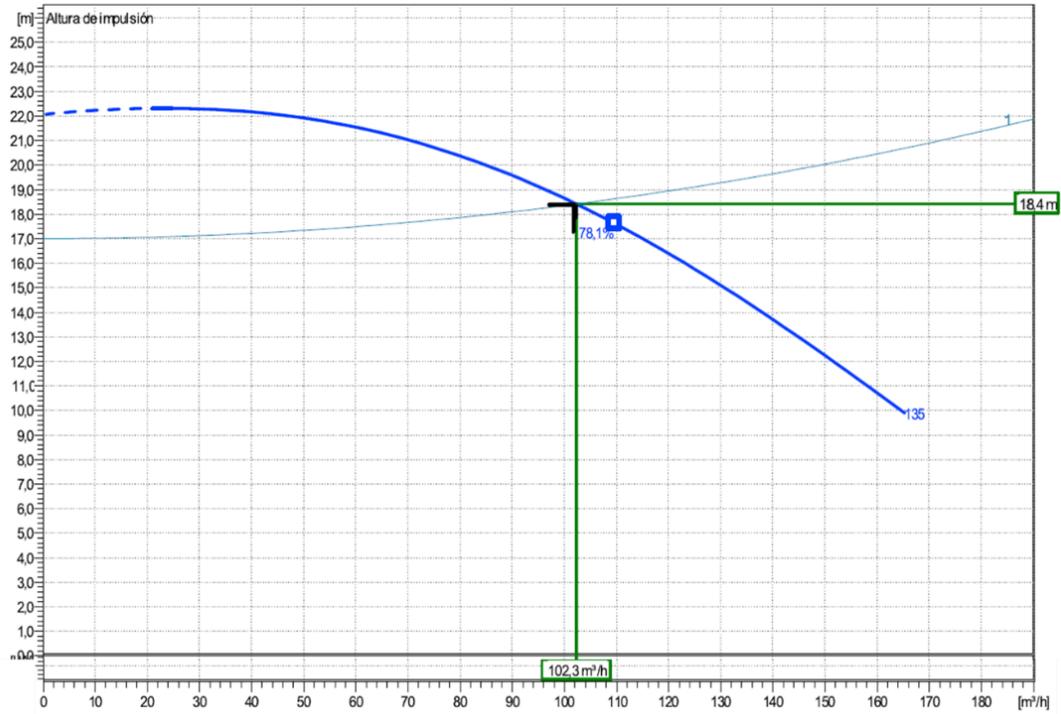


Figura 47. Punto de funcionamiento del sistema g-h (Xylect, 2024).

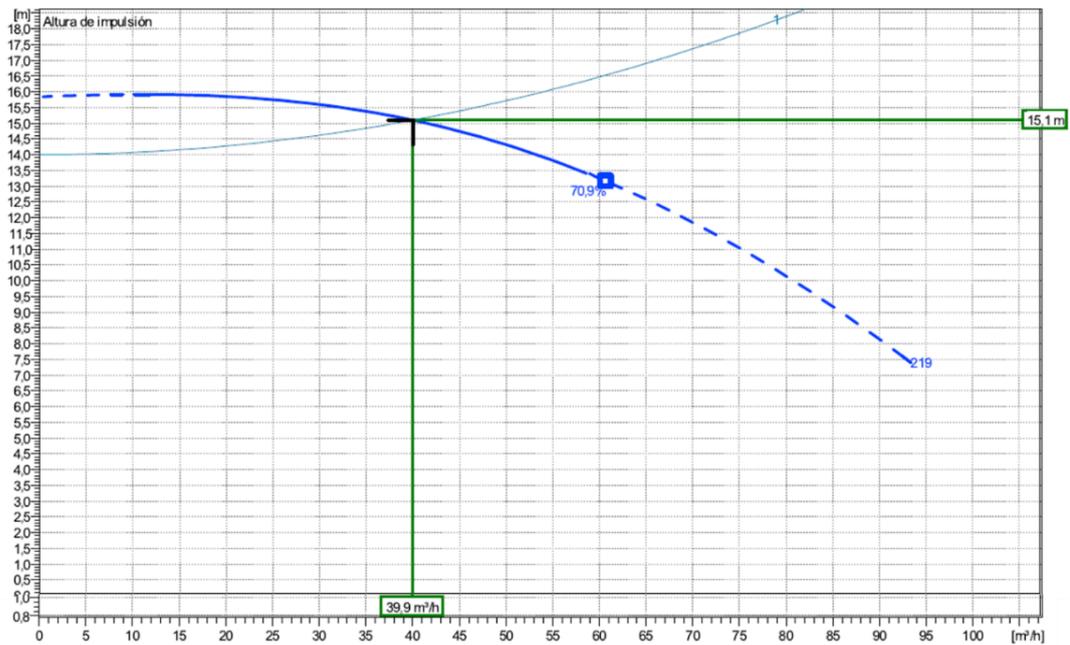


Figura 48. Punto de funcionamiento del sistema i-j (Xylect, 2024).

5.6.6 Análisis de cavitación en las bombas del sistema de bombeo

En este apartado se comprobará que las bombas del sistema de bombeo estén funcionando en condiciones alejadas de la cavitación. Lo que debe cumplirse siempre bajo cualquier condición de funcionamiento para que no exista cavitación es lo siguiente: $NPSH_d > NPSH_r$.

Recordando la ecuación (21) planteada en la subsección 3.5.1, se analizará si hay o no cavitación y que margen de seguridad se tiene en cada una de las bombas del sistema de bombeo. Para el caso del pozo filtrante y el bombeo desde C2-CO a Tk2-CO se tiene el caso de que el nivel de la bomba está por debajo del nivel de agua de captación, por lo tanto, corresponde un z (+) y en el caso del bombeo de la cisterna C1-CO a Tk1-CO el nivel de la bomba está por encima del nivel de agua de captación, entonces en ese caso z (-). Para el cálculo se asume que el agua está a $t = 20^\circ C$.

Tabla 24. Análisis de cavitación y factor de seguridad en las bombas del sistema respecto a la cavitación, valores de presión atmosférica y de vapor (Sanks, 1998).

Tramo	(a-b) → (b-e) o (b-g)	(a-b) → (b-e) y (b-g)	(g) → (h)	(i) → (j)
<i>Nº de bombas</i>	$1B_{Pozo\ filtr.}$	$2B_{Pozo\ filtr.}$	$1B_{(C1-CO) \rightarrow (Tk1-CO)}$	$1B_{(C2-CO) \rightarrow (Tk2-CO)}$
$h_{at}(m)$	10,33	10,33	10,33	10,33
$h_{vap}(m)$	0,24	0,24	0,24	0,24
$z(m)$	1,5	1,5	-4	1
$\Delta J_{asp}(m)$	0	0	0,17	0,16
$NPSH_r(m)$	4,6	4,8	3,17	1,6
$NPSH_d(m)$	11,59	11,59	5,92	10,93
$NPSH_d > NPSH_r$	No Cavita	No Cavita	No Cavita	No Cavita
Factor de seguridad	2,5	2,4	1,9	6,8

Hay que considerar que se tomaron en cuenta los caudales máximos que puede bombear cada bomba y se consideró una sumergencia de 1 m en el pozo filtrante. En el caso de las bombas del pozo filtrante no hay tubería de aspiración y se considera la sumergencia de 1 m hasta el inicio de la bomba, pero la bomba aspira desde abajo por lo tanto se considera un 50 % extra de sumergencia disponible. Para el caso de las bombas de superficie ambas tienen una diferencia de 1 m entre el nivel estático mínimo de agua en la cisterna y la tubería de aspiración de las bombas, a partir de esto y de la altura de las cisternas se obtiene el valor de z de cada caso. En ningún caso se observa cavitación y todas presentan un factor de seguridad aproximado de 2 o superior. Por lo tanto, se está trabajando en condiciones seguras respecto a la cavitación en cada una de las bombas del sistema de bombeo.

5.6.7 Dimensionamiento de volúmenes en tanques elevados y cisternas de almacenamiento

Los tanques de almacenamiento tienen un papel básico para el diseño del sistema de distribución de agua, tanto desde el punto de vista económico, así como por su importancia en el funcionamiento hidráulico del sistema y en el mantenimiento de un servicio eficiente. Un tanque de almacenamiento cumple tres propósitos fundamentales:

- 1) Compensar las variaciones de los consumos que se producen durante el día.
- 2) Mantener las presiones adecuadas en la red de distribución.
- 3) Mantener almacenada cierta cantidad de agua para atender situaciones de emergencia, tales como incendios e interrupciones por daños de tuberías de aducción o en la estación de bombeo.

Se hace notar que la parte de reserva relacionada con los usos normales de operación tiene como fin abastecer los diferentes puntos del sistema de distribución y satisfacer los consumos máximos horarios regulando, en lo posible, caudales y presiones mientras que el resto se relaciona con eventos extraordinarios tales como incendios y/o fallas del sistema. La capacidad del tanque, o del conjunto de tanques para el caso de grandes sistemas, será igual al volumen que resulte de las siguientes consideraciones, según (ENOHSA, 2023):

- Volumen de regulación, también llamado volumen operativo. V_{op} (m^3).
- Volumen de lucha contra incendios. V_{inc} (m^3).
- Volumen de emergencia. V_{Emerg} (m^3).

En este proyecto no se considera una red de lucha contra incendios, por lo que no se contemplará esto para el cálculo del volumen total de almacenamiento. El volumen contra incendios incrementa de manera significativa el volumen total de almacenamiento.

1) **Determinación del volumen operacional**

El volumen necesario a los fines operacionales o compensatorios surge de adoptar el caudal del día de máximo consumo anual al horizonte del proyecto (Q_D) para la o las fuentes de provisión, tomas, aducciones, estaciones elevadoras e impulsiones. A fin de satisfacer los requerimientos para la hora pico máxima con un caudal máximo horario (Q_E) surge la necesidad de contar con una masa compensatoria de dichas diferencias, que se materializa en el volumen operacional.

Debido a que no se conocen las mediciones diarias con sus valores horarios estimados para el consumo de agua, no se puede aplicar el diagrama de masas de W. Rippl propuesto por (ENOHSA, 2023). Por tal razón, se aplica el método basado en asimilar la curva de consumo a una sinusoide explicado en el ANEXO V, el cual es más conservativo cuando no se tienen mediciones confiables de consumo hora a hora. El producto de aplicar este modelo es lo que se muestra en la Tabla 25. (ENOHSA, 2023).

Tabla 25. Valores propuestos por (ENOHSA, 2023) de volumen operacional en función del coeficiente α_2 (máximo horario del día de máximo consumo anual).

Coefficiente α_{2n}	V.O. [m ³]
1,3	0,10 Q _{Dn}
1,4	0,13 Q _{Dn}
1,5	0,16 Q _{Dn}
1,6	0,19 Q _{Dn}
1,7	0,22 Q _{Dn}
1,8	0,25 Q _{Dn}
1,9	0,29 Q _{Dn}
2,0	0,32 Q _{Dn}

2) Definición del volumen para emergencias

Si en una localidad o en un barrio no existen tanques domiciliarios en las viviendas o edificios puede ser eventualmente conveniente disponer en el almacenamiento de un volumen para emergencias separado del volumen operacional. Entonces el valor a adoptar dependerá de:

- Interrupción del influente por falla del abastecimiento (fallas del suministro de energía, rotura en conducciones principales, etc.).
- Tiempo requerido para las reparaciones o el mantenimiento correctivo.
- Tiempo requerido para operaciones de mantenimiento preventivo.

En general, se ha considerado en el país que el almacenamiento operativo y/o las reservas domiciliarias lo cubrirán. Aunque en ocasiones, se recomienda prever dos (2) horas de almacenamiento adicional, puede ser razonable asumiendo que toda reparación mayor no cubierta por dicho valor escapa a lo económicamente posible.

$$V_{Emerg} \left[\frac{m^3}{día} \right] = 0,083 Q_D \quad (55)$$

De la suma de los volúmenes: operacional y de emergencias resulta el volumen total de almacenamiento.

$$V_T [m^3] = V_{op} + V_{Emerg} \quad (56)$$

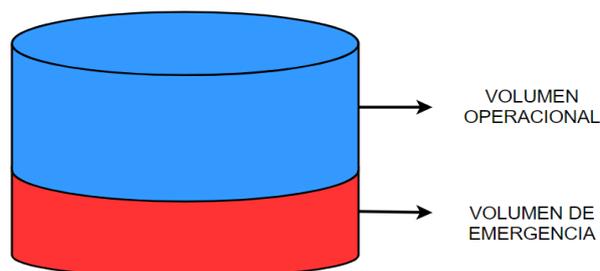


Figura 49. Esquema de volúmenes que componen el volumen total de almacenamiento.

Tabla 26. Valores de almacenamiento requeridos por cada subsistema o red de distribución.

Parámetro	Subsistema 10	Subsistema 4	Subsistema 2	Subsistema 3	Subsistema 1
α_2	1,7	1,7	1,7	1,7	1,9
Coefficiente	0,22	0,22	0,22	0,22	0,29
Q_D ($m^3/día$)	672,90	1037,82	1286,34	884,84	43,65
V_{op} (m^3)	148,04	228,32	283,00	194,66	12,66
V_{Emerg} (m^3)	55,85	86,14	106,77	73,44	3,62
V_T (m^3)	203,89	314,46	389,76	268,11	16,28

Se mantienen las consideraciones realizadas para el cálculo de la población servida y los coeficientes de caudal, para obtener el caudal medio del día de máximo consumo (Q_D) en cada uno de los distintos subsistemas a abastecer. De esta forma se obtienen los volúmenes de almacenamiento totales (V_T) requeridos por cada subsistema.

El volumen de emergencia propuesto de 2 horas extras de consumo representa entre un 22 a un 27 % del volumen total de almacenamiento, por lo cual se propone dejarlo fuera de los cálculos para el dimensionamiento de tanques y cisternas, ya que, se considera que aumentará en gran proporción los costos de los tanques elevados y cisternas. Además, la norma de (ENOHSA, 2023) menciona que en general se ha considerado en el país (Argentina), que el almacenamiento operativo y/o las reservas domiciliarias cubrirán ese volumen extra de agua.

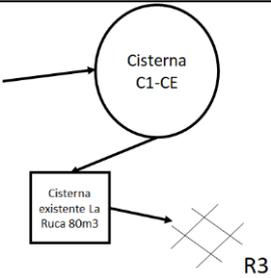
En función de las cisternas existentes, se definirá el volumen de cada tanque y/o cisterna nueva que sea necesario construir para cumplir con el volumen de almacenamiento mínimo necesario para el abastecimiento de agua.

- Cada cisterna debe cumplir la función de reserva de agua para una determinada cantidad de subsistemas, puede ser único o más de uno:

- La cisterna C1-CO debe funcionar de reserva para subsistema 2 y 4.
- La cisterna C2-CO debe funcionar de reserva para subsistema 10.
- La cisterna C1-CE debe funcionar de reserva para el subsistema 3.
- La cisterna existente de 20 m3 debe funcionar para el subsistema 1.
- La cisterna La Ruca de 80 m3 debe funcionar para el subsistema 3.
- Cada tanque elevado deberá abastecer la cantidad de agua suficiente a un subsistema determinado.
 - El tanque elevado Tk1-CO debe abastecer al subsistema 4.
 - El tanque elevado Tk2-CO debe abastecer al subsistema 10.

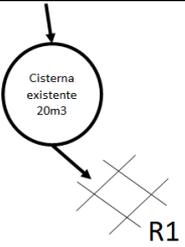
Utilizando la expresión presentada en la Tabla 25, según sean los coeficientes α_2 y el caudal del día de máximo consumo anual al horizonte del proyecto (Q_D), se calculan los volúmenes de almacenamiento.

Tabla 27. Volumen de cisterna C1-CE para subsistema de redes R3.



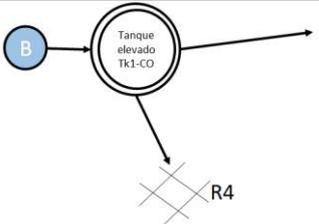
Parámetro / elemento	Subsistema 3	Estado
$V_T (m^3)$	194,7	-
Cisterna La Ruca (m^3)	80,0	Existente
Cisterna C1 – CE (m^3)	200,0	Nueva

Tabla 28. Volumen de la cisterna existente a remodelar para subsistema de redes R1.



Parámetro / elemento	Subsistema 1	Estado
$V_T (m^3)$	12,7	-
Cisterna existente (m^3)	20,0	Deteriorada
Cisterna existente (m^3)	20,0	Remodelar

Tabla 29. Volumen de tanque elevado Tk1-CO para subsistema de redes R4.



Parámetro / elemento	Subsistema 4	Estado
$V_T (m^3)$	228,3	-
Tanque elevado Tk1 – CO (m^3)	200	Nuevo

Tabla 30. Volumen de cisterna C1-CO para subsistemas de redes R2 y R4.

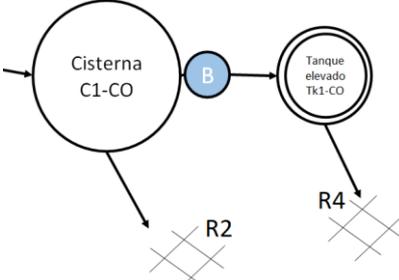
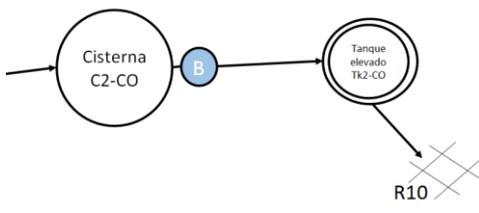
	Parámetro / elemento	Subsistema 2 y 4	Estado
		$V_T (m^3)$	511,3
	<i>Cisterna C1 – CO</i> (m^3)	500,0	Nueva

Tabla 31. Volumen de cisterna C2-CO y tanque elevado Tk2-CO para subsistema de redes R10.

	Parámetro / elemento	Subsistema 10	Estado
		$V_T (m^3)$	148,04
	<i>Tanque elevado</i>	150,0	Nuevo
	<i>Tk2 – CO</i> (m^3)	50	Nueva
	<i>Cisterna C2 – CO</i> (m^3)	50	Nueva

Con respecto al tanque elevado Tk2-CO, según los consumos del subsistema R10 éste debería ser de 150 m³, pero hay que considerar el costo en que se incurre al variar el diseño y dimensionamiento de los tanques elevados. Por lo que, se propone utilizar tanques elevados Tk1-CO y Tk2-CO de iguales dimensiones, por lo tanto, quien impone las dimensiones finales es el más grande. Por lo que Tk2-CO que era de 150 m³ pasará a ser de 200 m³, como lo es Tk1-CO.

Un aspecto a tener en cuenta de cada uno de los tanques elevados y cisternas es la autonomía. Entendiendo por autonomía a la cantidad de agua que pueden proveer cada uno de ellos a sus respectivos subsistemas de redes, hasta llegar a un nivel mínimo de almacenamiento y comenzar la recarga de los mismos. Para ello se calcula el tiempo de funcionamiento basado en el volumen disponible (cuando todos los tanques y cisternas están llenos) y los consumos de agua esperados. Los tiempos de autonomía calculados son:

- t_E : con un consumo (Q_E) caudal igual al máximo horario. [h]
- t_D : con un consumo (Q_D) caudal igual al medio del día de máximo consumo. [h]
- t_C : con un consumo (Q_C) caudal igual al medio anual. [h]
- V_{disp} : volumen disponible para cada subsistema de redes. [m^3]

Tabla 32. Autonomía de abastecimiento de agua para cada subsistema de redes, según los posibles caudales de consumo.

	Subsistema 10	Subsistema 4	Subsistema 2	Subsistema 3	Subsistema 1
$V_{disp}(m^3)$	250	300,0	400	280,0	20,0
$t_E(h)$	5,2	4,1	4,4	4,5	5,8
$t_D(h)$	8,9	6,9	7,5	7,6	11,0
$t_C(h)$	12,5	9,7	10,4	10,6	15,4

Para todos los subsistemas a abastecer se obtienen valores de 10 a 15 horas de autonomía basado en los consumos anuales medios del último año del período de diseño.

En cuanto a los materiales hay que tener en cuenta que los mismos deben ser durables, impermeables y de resistencia estructural adecuada, las cisternas se pueden construir de hormigón armado o mampostería y los tanques elevados de hormigón armado, plástico reforzado con fibra de vidrio (PRFV) o metálicos, teniendo en cuenta que si se utiliza la opción de metálicos se deberá colocar un recubrimiento adecuado para defender a la superficie metálica de posibles acciones agresivas del agua. Debido a los grandes volúmenes se considera la mejor opción los tanques y cisternas de hormigón.

Con respecto a la forma de los tanques elevados y cisternas, según recomendaciones de (ENOHSA, 2023) la forma con planta circular tiene ventajas en relación a la rectangular dado que sus paredes estarán principalmente dimensionadas a la tracción (presión interna del agua) y a la compresión por carga externa (empuje del terreno), dado que en las de planta rectangular los momentos flexores son dominantes para el dimensionamiento. En el ANEXO VI se realiza un análisis de optimización para determinar las dimensiones de los tanques elevados y cisternas, ya que se ha determinado el volumen de almacenamiento de cada uno de ellos.

Del análisis de optimización de las dimensiones de los tanques y cisternas, se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 33. Dimensiones de tanques elevados cilíndricos maximizando el volumen de almacenamiento.

Tanque elevado	Volumen de almacenamiento (m3)	Altura (m)	Diámetro (m)
Tk1-CO	200	5	7
Tk2-CO	200	5	7

Tabla 34. Dimensiones de cisternas de base rectangular maximizando el volumen de almacenamiento.

Cisterna	Volumen de almacenamiento (m ³)	Altura (m)	Base (m)	Largo (m)	Profundidad enterrada (m)
C1-CE	200	4	6	9	2
C1-CO	500	5,5	8	11,5	4,5
C2-CO	50	2,5	3,5	5,5	-

Las dimensiones mostradas en Tabla 33 y Tabla 34 son los valores ideales desde un punto de vista matemático, donde se encontraron los valores de altura y diámetro (en tanques elevados); y altura, base y largo (en cisternas) los cuales maximizan el volumen de almacenamiento.

Resta considerar el costo adicional de la excavación en el caso de las cisternas semi enterradas para respetar los niveles de agua máximos, para ello se debe hacer un análisis de costos para evaluar cuanto conviene enterrar la cisterna desde un punto de vista técnico-económico.

5.6.8 Selección de elementos y accesorios del sistema hidráulico

Se seleccionarán los accesorios y elementos hidráulicos para cada tramo del sistema de bombeo. Con los mismos se debe asegurar el normal funcionamiento y se consideran aspectos que faciliten el mantenimiento. Las funciones que se busca cumplir son:

1. Permitir el paso o cierre total de la circulación de agua.
2. Permitir el desarme de partes importantes del sistema de bombeo para realizar mantenimiento, impidiendo que se vacíen tanques, cisternas, tuberías de impulsión y aspiración.
3. Mantener agua en tuberías de impulsión durante el funcionamiento normal del sistema (entre arranques y paradas de las bombas).
4. Proteger válvulas, bombas y otros elementos ante un transitorio de sobrepresión.
5. Proteger sistema ante transitorios de depresión.
6. Permitir o impedir el paso del agua hacia los tanques dependiendo del nivel del agua en almacenamiento.

Los elementos que pueden cumplir dichas funciones son:

- Válvula mariposa. Cumple la función (1) y (2).
- Válvula de retención. Cumple la función (1) y (3).

- Válvula anticipadora de onda, válvula de alivio de presiones o calderín (tanque hidroneumático). Cumple la función (4 y 5) combinada con válvula de aire.
- Válvula de aire. Cumple función (5) combinada con las protecciones de golpe de ariete mencionadas.
- Válvula de flotador industrial o flotante. Cumple la función (6).

En los siguientes esquemas se coloca en derivación “T” una válvula anticipadora de onda (VAO) a modo de representar el dispositivo de protección frente al golpe de ariete, pero en ese lugar puede ir una válvula anticipadora de onda, válvula de alivio de presiones o un calderín según se compruebe que funcionen adecuadamente protegiendo el sistema de bombeo.

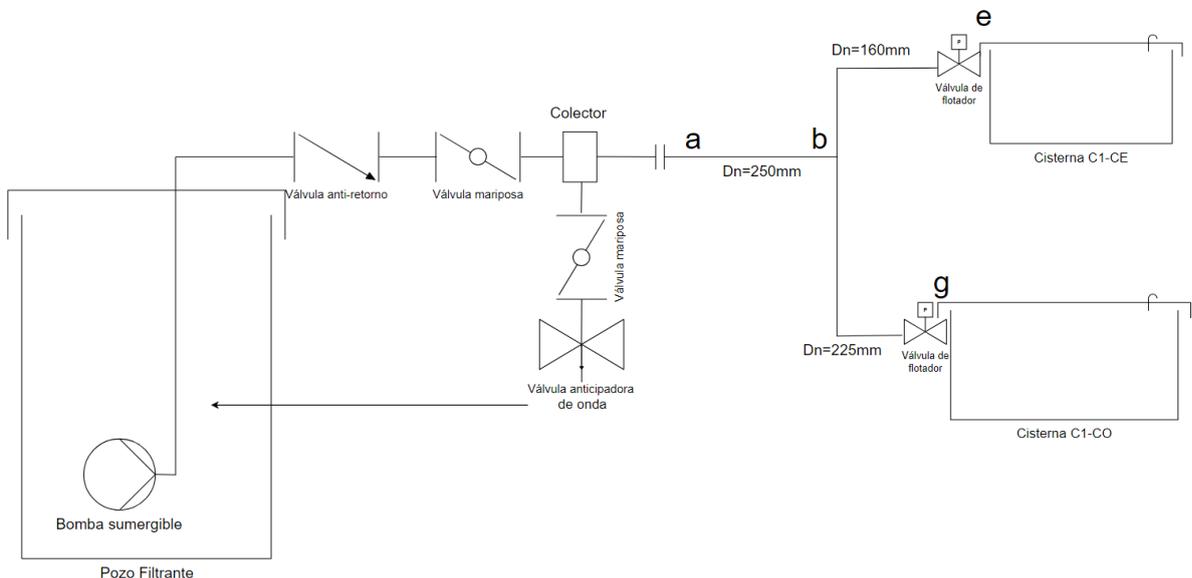


Figura 50. Esquema hidráulico del tramo a-b, b-e // b-g.

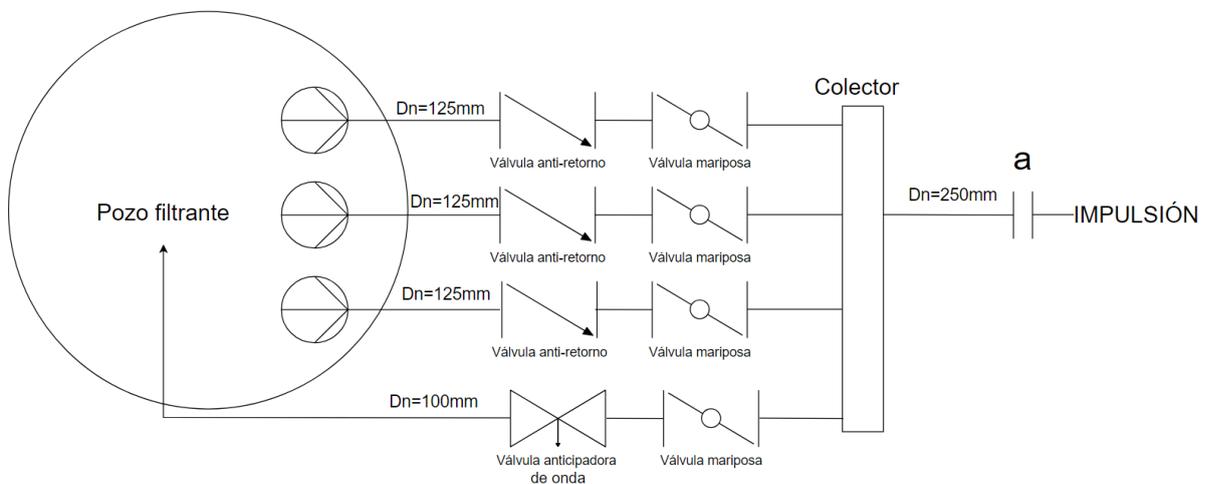


Figura 51. Esquema hidráulico de la zona de captación.

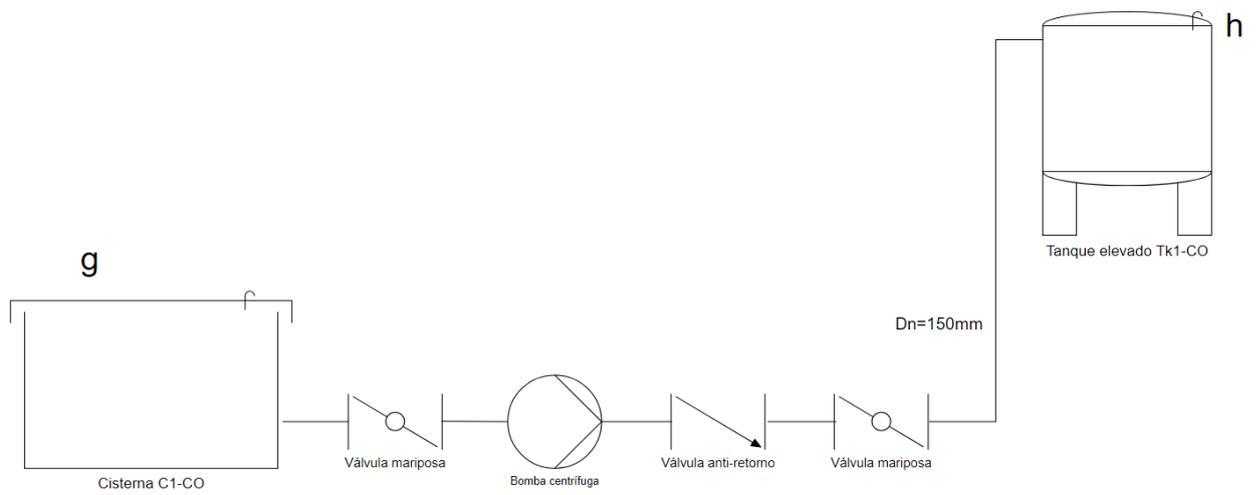


Figura 52. Esquema hidráulico del tramo g-h.

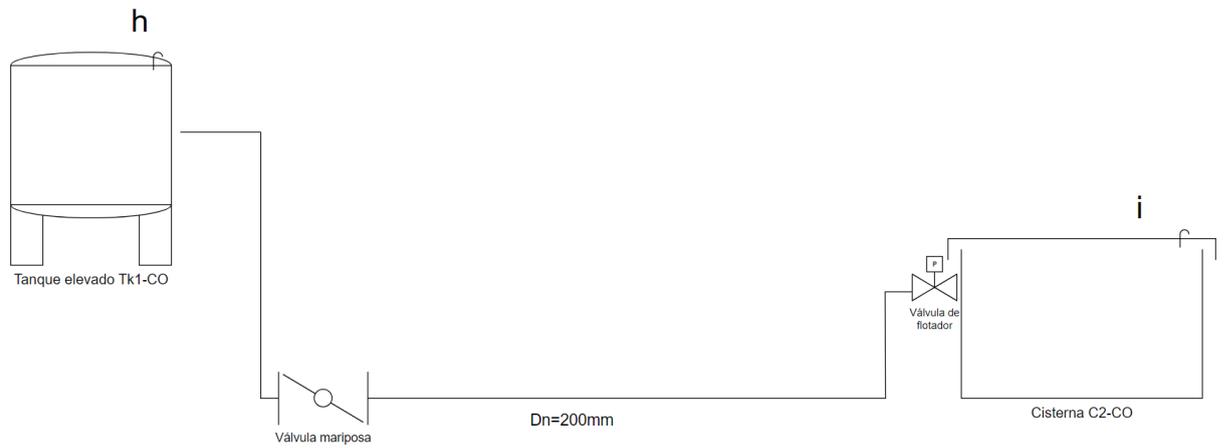


Figura 53. Esquema hidráulico del tramo h-i.

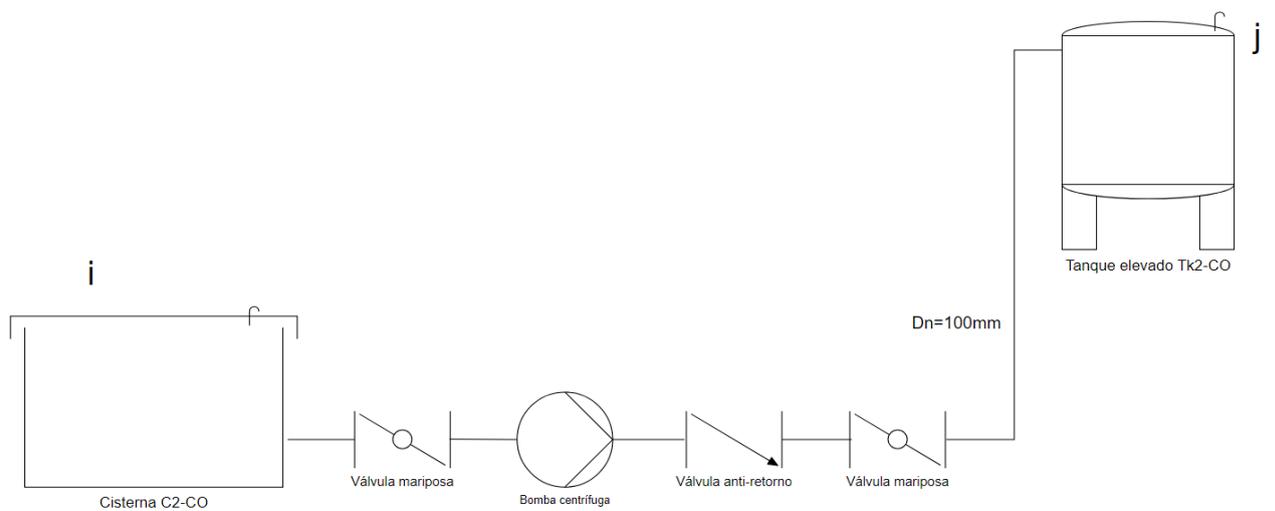


Figura 54. Esquema hidráulico del tramo i-j.

Se presentarán tablas resumen con los accesorios hidráulicos del sistema con la siguiente nomenclatura:

- VM: válvula mariposa.
- VAR: válvula anti retorno.
- VAO: válvula anticipadora de onda.
- VF: válvula de flotador o flotante.
- VA: válvula de aire o ventosa.

Tabla 35. Accesorios hidráulicos para el tramo a-b, b-e y b-g (Genebre, 2024), (Dorot, 2024).

Imagen	Fabricante (Referencia)	Nombre Válvula	Modo de operación	DN (mm)	PN (bar)	k (-) 100% abierto	Cantidad
	Genebre (2108 13)	VM_{ab}	Manual	125	16	0,3	3
	Genebre (2401 13)	VAR_{ab}	Automática (hidráulica)	125	16	1,9	3
	Dorot (s300-30- RE)	VAO_{ab}	Automática (hidráulica)	100	16	5,6	1
	Dorot (s300-30- FLDI)	VF_{bg}	Automática (hidráulica)	200	16	5,5	1
	Dorot (s300-30- FLDI)	VF_{be}	Automática (hidráulica)	150	16	4,8	1

Para la selección y montaje de las válvulas DOROT se siguen los lineamientos del fabricante presentados en el ANEXO VII.

Tabla 36. Accesorios hidráulicos para el tramo g-h (Genebre, 2024).

Imagen	Fabricante (Referencia)	Nombre Válvula	Modo de operación	DN (mm)	PN (bar)	k (-)	Cantidad
	Genebre (2108 14)	VM_{gh}	Manual	150	16	0,3	2
	Genebre (2401 14)	VAR_{gh}	Automática (hidráulica)	150	16	1,2	1

Tabla 37. Accesorios hidráulicos para el tramo h-i (Genebre, 2024), (Dorot, 2024).

Imagen	Fabricante (Referencia)	Nombre Válvula	Modo de operación	DN (mm)	PN (bar)	k (-)	Cantidad
	Genebre (2101 16)	VM_{hi}	Manual	200	16	0,3	1
	Dorot (s300-30- FLDI)	VF_{hi}	Automática (hidráulica)	200	16	5,5	1

Tabla 38. Accesorios hidráulicos para el tramo i-j (Genebre, 2024).

Imagen	Fabricante (Referencia)	Nombre Válvula	Modo de operación	DN (mm)	PN (bar)	k (-)	Cantidad
	Genebre (2101 12)	VM_{ij}	Manual	100	16	0,3	2
	Genebre (2401 12)	VAR_{ij}	Automática (hidráulica)	100	16	2,2	1

Las válvulas seleccionadas y presentadas en la Tabla 35 están sujetas a verificar su correcto funcionamiento en el sistema ante transitorios hidráulicos. Se hace énfasis en esta primera etapa porque es la que involucra mayores presiones, en la que se necesita un adecuado dispositivo para la protección de la estación de bombeo principal y sistema de tuberías ante transitorios hidráulicos.

5.6.9 Simulación del comportamiento del sistema hidráulico ante transitorios

Primero, lo que se debe hacer es simular el sistema en régimen permanente, para esto se utiliza el software ALLIEVI desarrollado por (ITA | Universidad Politécnica de Valencia, 2024), esto se hace para comprobar que el comportamiento del sistema de bombeo en el programa es comparable y similar al calculado de forma manual, mediante el armado de curvas del sistema y su posterior intersección con la curva de la bomba.

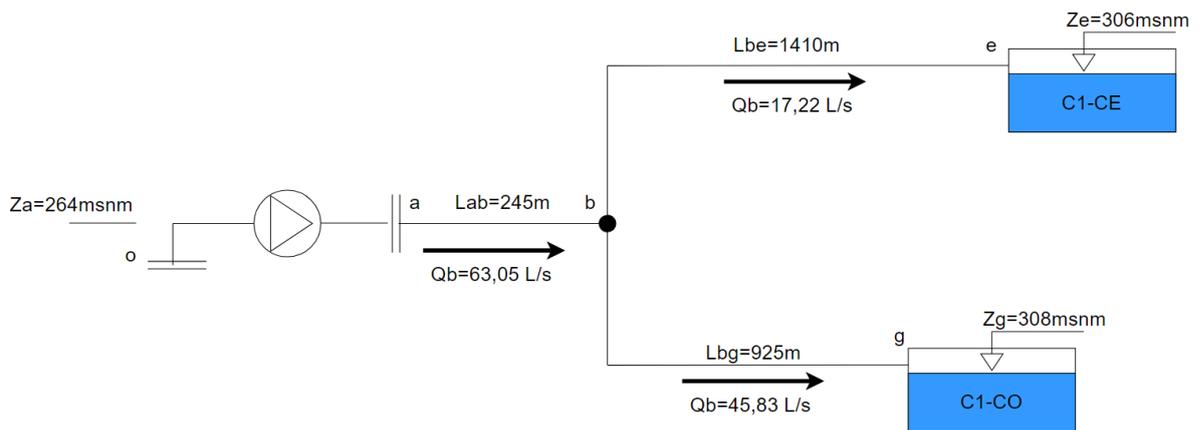


Figura 55. Esquema de curva del sistema para la primera etapa (pozo filtrante hacia cisternas C1-CE y C1-CO), con los valores de caudal obtenidos en el punto de funcionamiento.

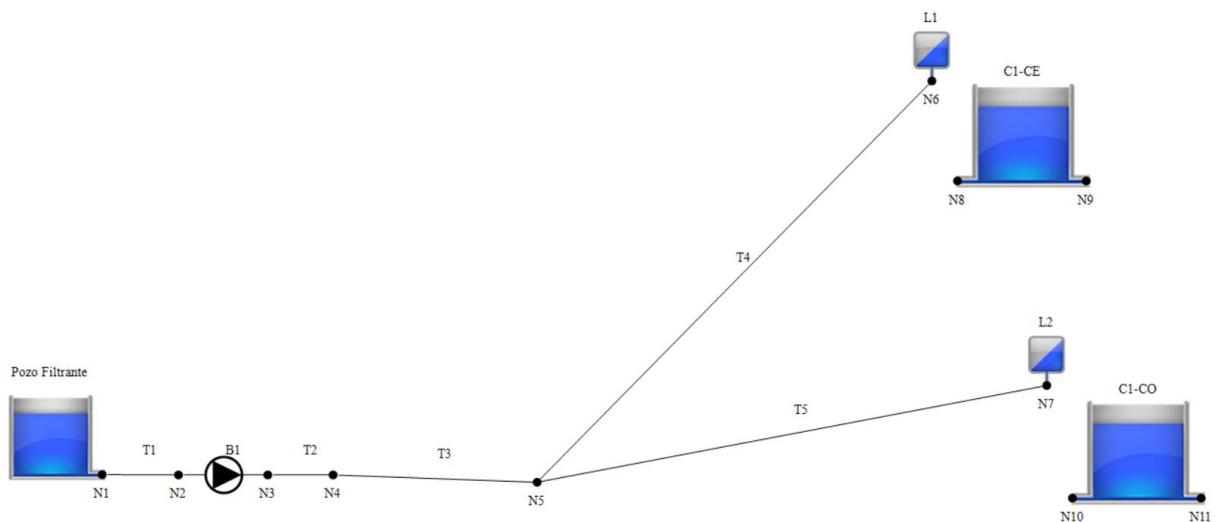


Figura 56. Esquema del sistema de bombeo en programa Allievi.

Para ver como se configuró cada elemento del sistema referirse a ANEXO VIII. Luego de resolver el sistema de bombeo en régimen permanente, ingresando la curva de la bomba por puntos y curva universal, se comparan los resultados obtenidos por el programa del punto de funcionamiento con lo obtenido anteriormente hecho de forma manual. Donde se considera la siguiente nomenclatura:

- “Manual PF” es el cálculo hecho anteriormente del punto de funcionamiento. Este se toma como referencia.
- “Bomba curva por puntos” (BCPP) es la introducción manual de la curva de la bomba dada por el fabricante punto a punto.
- “Bomba curva universal” (BCU) es la curva que arma el programa, solo indicando el punto de funcionamiento y la potencia consumida en ese punto.

Tabla 39. Resultados y errores relativos porcentuales obtenidos mediante los dos métodos de curva de la bomba.

	Manual PF	BCPP	Error rel. (%) BCPP	BCU	Error rel. (%) BCU
$Q_{ab}(L/s)$	63,056	63,39	0,53	57,05	9,52
$Q_{be}(L/s)$	17,22	17,39	0,99	16,01	7,03
$Q_{bg}(L/s)$	45,83	46,00	0,37	41,04	10,45
$Q_{bomb}(L/s)$	31,528	31,70	0,55	28,52	9,54
$H_m(m)$	53	52,18	1,55	50,72	4,30

Por los valores de error relativo mostrados en la Tabla 39 se concluye que, para el funcionamiento en régimen permanente los parámetros cargados al programa se corresponden altamente con los calculados manualmente si se usa la curva de la bomba por puntos. Por lo tanto, se puede decir que el sistema plasmado en el programa es representativo del sistema real. Por otra parte, con la curva de la bomba universal se obtienen discrepancias de hasta un 10%, lo cual no es suficientemente alto como para descartarlo. Además, en caso de querer simular un transitorio hidráulico, se debe utilizar la curva de la bomba universal para analizar el posible comportamiento de la bomba por fuera del primer cuadrante $H = f(Q)$, lo cual el modelo de curva de la bomba por puntos no capta, ya que solo trabaja para valores positivos de altura y caudal.

En adelante se trabaja sobre el modelado del caso más desfavorable en cuanto al golpe de ariete, el cual se considera que es la parada de las bombas por una interrupción del servicio eléctrico, cuando se llenan ambas cisternas. Para entender la dinámica del fenómeno hay que tener presente lo explicado en la sección 3.6 y así dar una correcta interpretación de los resultados obtenidos mediante el software ALLIEVI.

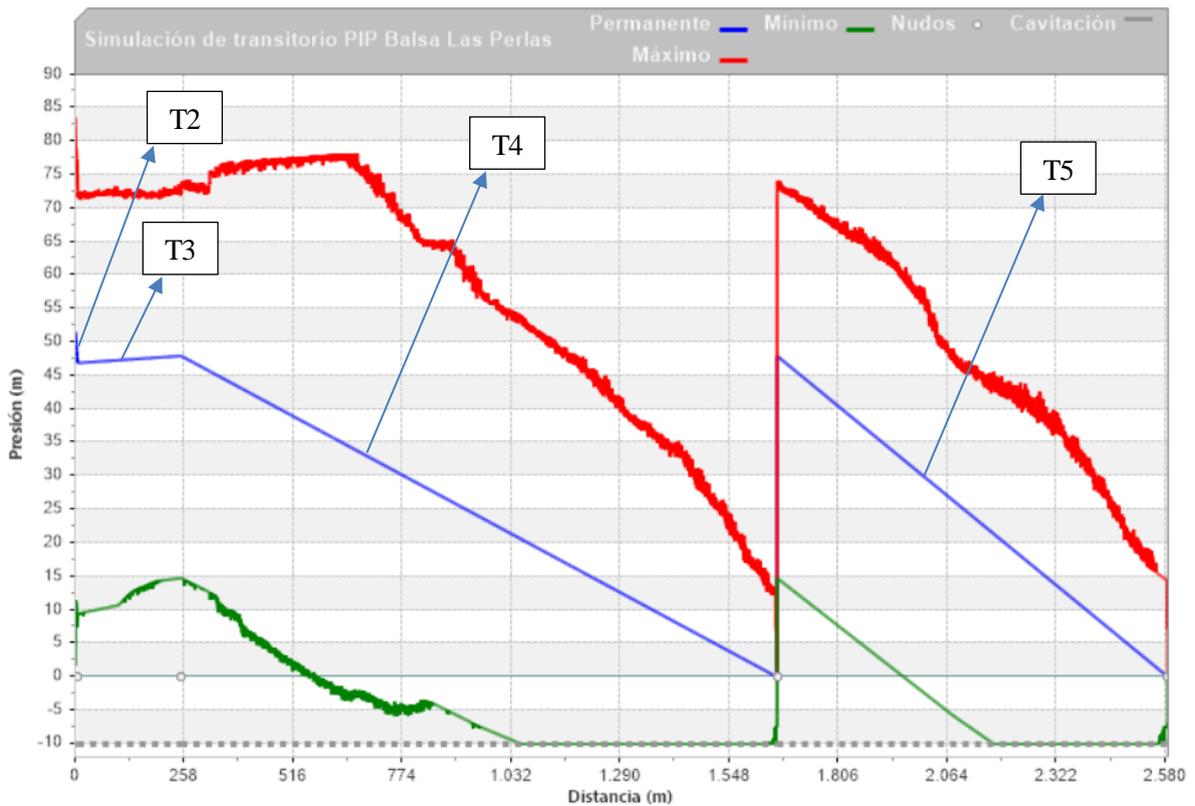


Figura 57. Resultados de la presión interna de las tuberías ante un corte del suministro eléctrico y detención total de las bombas.

Como se puede observar en la Figura 57, hay sobrepresión respecto de la presión nominal de la tubería ($PN6 = 6 \text{ kg/cm}^2$), se supera en distintos tramos hasta casi llegar a los $8,4 \text{ kg/cm}^2$ en el colector (tramo T2). Y hay tramos en los que se observa una depresión importante, como lo es el tramo T4 y T5 donde llegan a la máxima depresión posible (-10,33 mca).

El detalle de cada tramo se puede visualizar en el ANEXO IX. En todos los tramos T2, T3, T4 y T5 se supera la presión nominal de las tuberías, por lo tanto, se deberá colocar un dispositivo que mitigue los efectos de la sobrepresión. Pero en los tramos T4 y T5 baja la presión muy por debajo de la presión atmosférica, por lo tanto, posteriormente se realizará un análisis para integrar algún dispositivo que reduzca este efecto de depresión.

5.6.9.1 Protecciones para mitigar el golpe de ariete

Cuando se detiene el bombeo por el corte del suministro eléctrico, el fluido continúa hacia las cisternas generando una depresión aguas arriba del último fluido que fue bombeado. Cuando retrocede porque ya no tiene la suficiente energía para desembocar en las cisternas, genera una sobrepresión sobre las tuberías.

En principio, lo que se propone es colocar una válvula anticipadora de onda y válvulas de aire que funcionan de la siguiente manera. La válvula anticipadora de onda (VAO) está diseñada para proteger al sistema en líneas de elevación de agua relativamente largas, contra ondas de energía de amortiguación formadas por las interrupciones de energía en sistemas de bombeo y por la liberación de golpes de agua que son causados por los cambios bruscos en la tasa de flujo del agua a la atmósfera de forma automática y rápida. La válvula se abre rápidamente mediante la detección de la disminución de presión previa a la onda por medio del tubo de señal de presión que posee. Cuando la presión de línea llega a un nivel normal se cierra y se sella lenta y totalmente de forma automática (Dorot, 2024).

Lo que se busca hacer es que, al recibir el golpe de ariete la válvula anticipadora de onda (VAO) ya esté abierta y la sobrepresión no sea tan alta, ya que parte del caudal se libera a través de la válvula devolviendo el agua al pozo filtrante. Como la tubería más crítica es la que se encuentra a la salida de la bomba se colocará en derivación “T” la válvula anticipadora de onda (VAO) para reducir la sobrepresión.

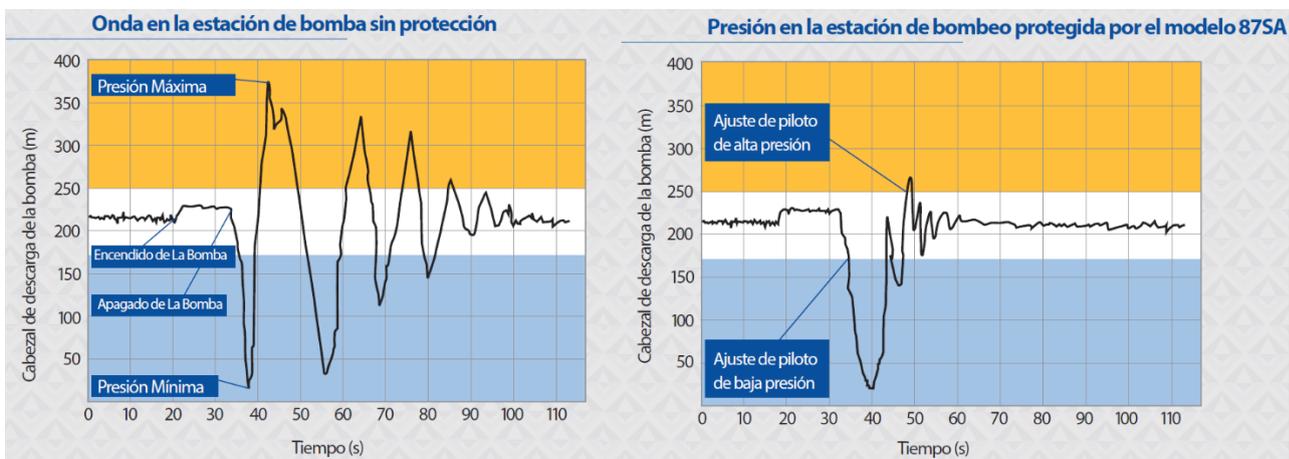


Figura 58. Curvas de funcionamiento de una válvula anticipadora de onda (VAO) en una estación de bombeo extraído de (Armas, 2024).

Tabla 40. Datos de válvula anticipadora de onda (VAO).

Válvula Regulación - Datos básicos							Maniobra	Tabulada
Nombre	Ni	Nf	Z (m)	DN (mm)	k Ramal	Tipo	Tipo	Tabla
VAO	N18	N19	265,25	100	5,6	De globo	Tabulada	

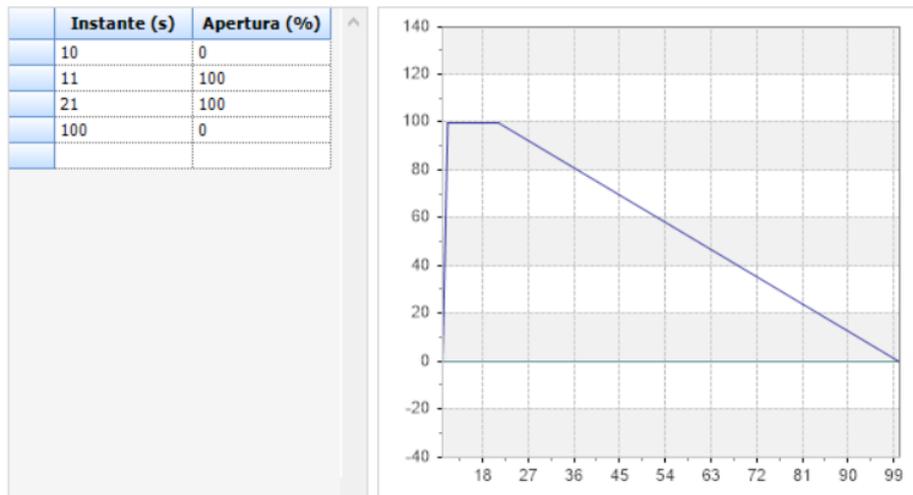


Figura 59. Datos de maniobra de la válvula anticipadora de onda (VAO), según recomendaciones del fabricante DOROT.

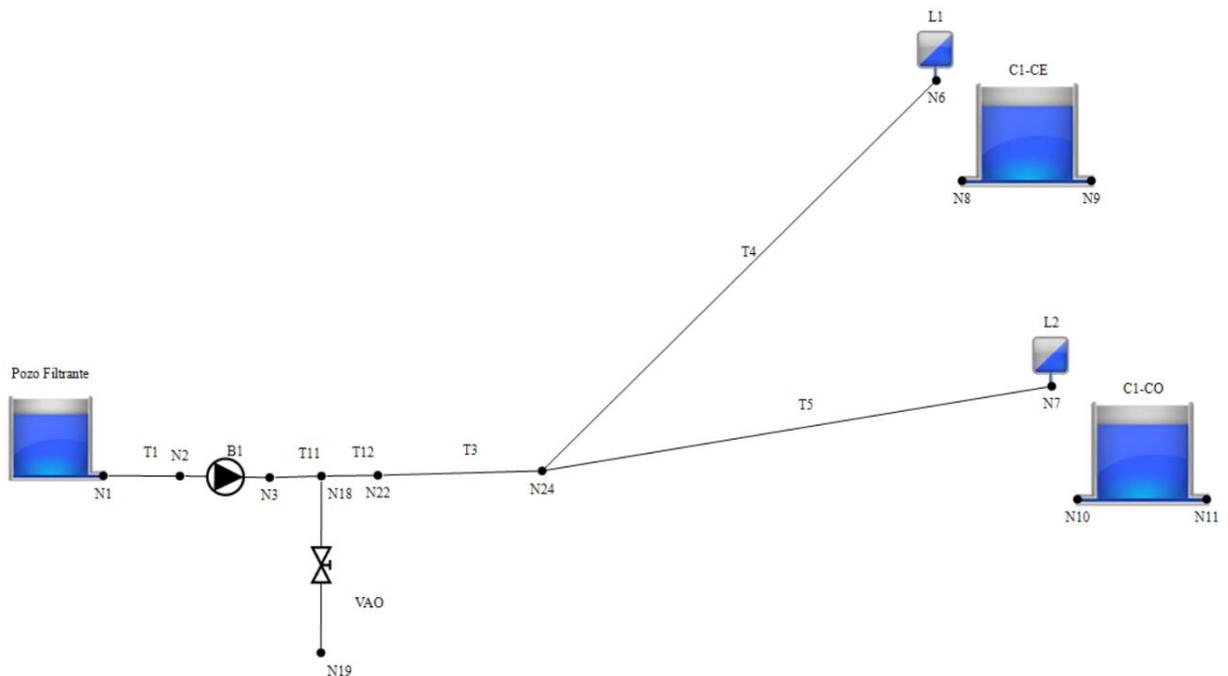


Figura 60. Esquema del sistema de bombeo con válvula anticipadora de onda (VAO).

Como se puede observar en la Figura 61 la presión máxima en todos los tramos de tuberías es menor a 6 kg/cm^2 , es decir menor a la presión nominal recomendada por el fabricante. Por lo cual, se mitigó el fenómeno de sobrepresión. Sin embargo, surge el problema de que en las tuberías T4 y T5 se tienen depresiones (presiones manométricas negativas) más allá de lo permitido por el fabricante (TuboForte Argentina, 2024) de (-5,11 mca). Por lo cual se deberá implementar otro dispositivo para eliminar o reducir el efecto de la depresión en las tuberías mencionadas. En el ANEXO IX se pueden ver en detalle la presión interna de las tuberías T2, T4 y T5.

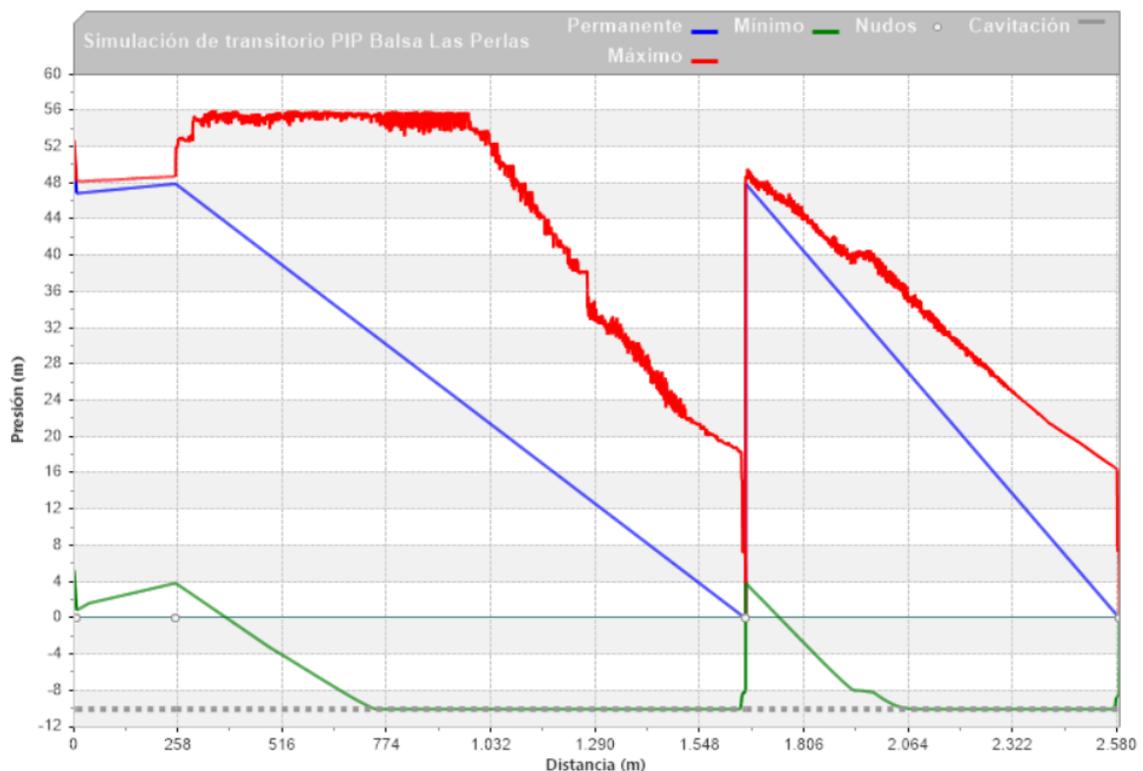


Figura 61. Resultados de la presión interna de las tuberías ante un corte de suministro eléctrico y detención total de las bombas, con la implementación de una válvula anticipadora de onda (VAO).

Para reducir el efecto de la depresión en las tuberías se propone colocar válvulas de aire (ventosas), para que al bajar la presión por debajo de la presión atmosférica entre aire y mantenga la tubería con un nivel de presión tal que la misma no colapse.

En este caso, al usar una VAO se genera una gran depresión a pocos metros de la bifurcación en “T” en más del 80 % de los tramos T4 (b-e) y T5 (b-g), por lo que se requerirá una gran cantidad de válvulas de aire desde que comienza la depresión en las tuberías, hasta la descarga a presión atmosférica. Esta posible solución de (VAO y ventosas) fue implementada con distintas combinaciones de diámetros y ubicaciones, pero no se obtuvieron resultados satisfactorios, debido a que los niveles de depresión son demasiado grandes y abarca una longitud importante en las tuberías.

Debido a este problema se propone la utilización de otro dispositivo de protección para la sobrepresión y la depresión. El calderín es una opción que me puede proteger de la sobrepresión respecto a la presión nominal de la tubería y también de la depresión ya que aporta agua a la misma, lo cual puede disminuir la cantidad de metros con depresión a lo largo de las impulsiones.

Para calcular las dimensiones y presión de hinchado del calderín se utilizó el asistente que trae el software para predimensionar en función de los datos del sistema de bombeo.

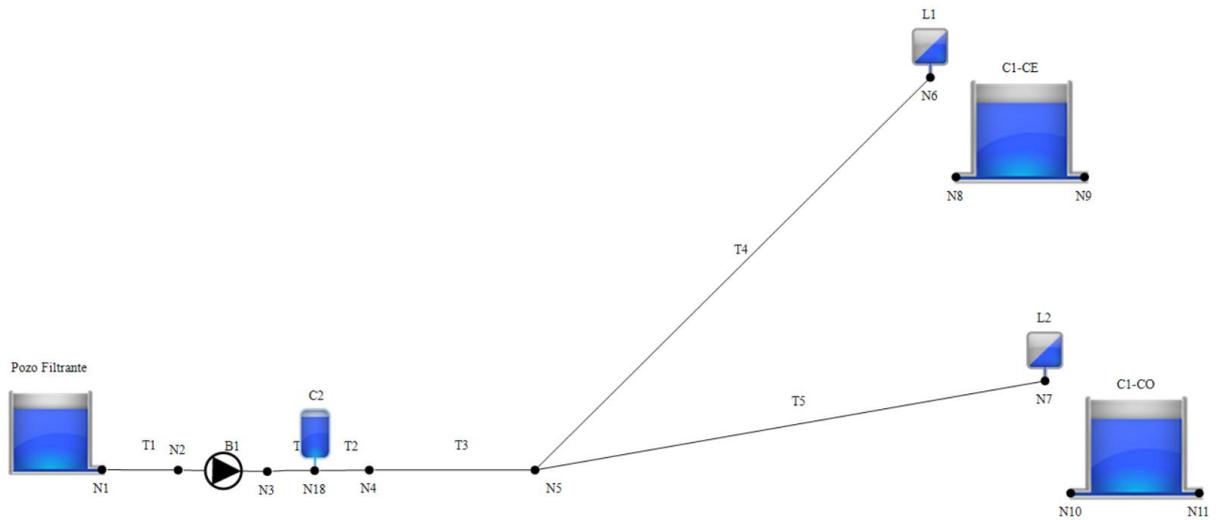


Figura 62. Esquema del sistema de bombeo con calderín (tanque hidroneumático).

Tabla 41. Datos principales del calderín.

Calderines - Datos básicos						Características físicas del calderín									
Nombre	Nudo	Zu (m)	Num	Calc K	Act	D (m)	L (m)	V (m ³)	Pred	Rug (mm)	Zb (m)	Posición	Vejiga	P (bar)	EP
C2	N18	265,25	1	...	<input checked="" type="checkbox"/>	0,79	1,98	0,98	...	0,046	265,75	Vertical	No	2,13	Calc. 1,2

Tabla 42. Datos de ramal de unión y coeficientes de pérdidas en calderín.

Ramal de unión			Pérdidas	
D (mm)	L (m)	Rug (mm)	K sal	K ent
125	0,5	0,046	6947,8	8244,4

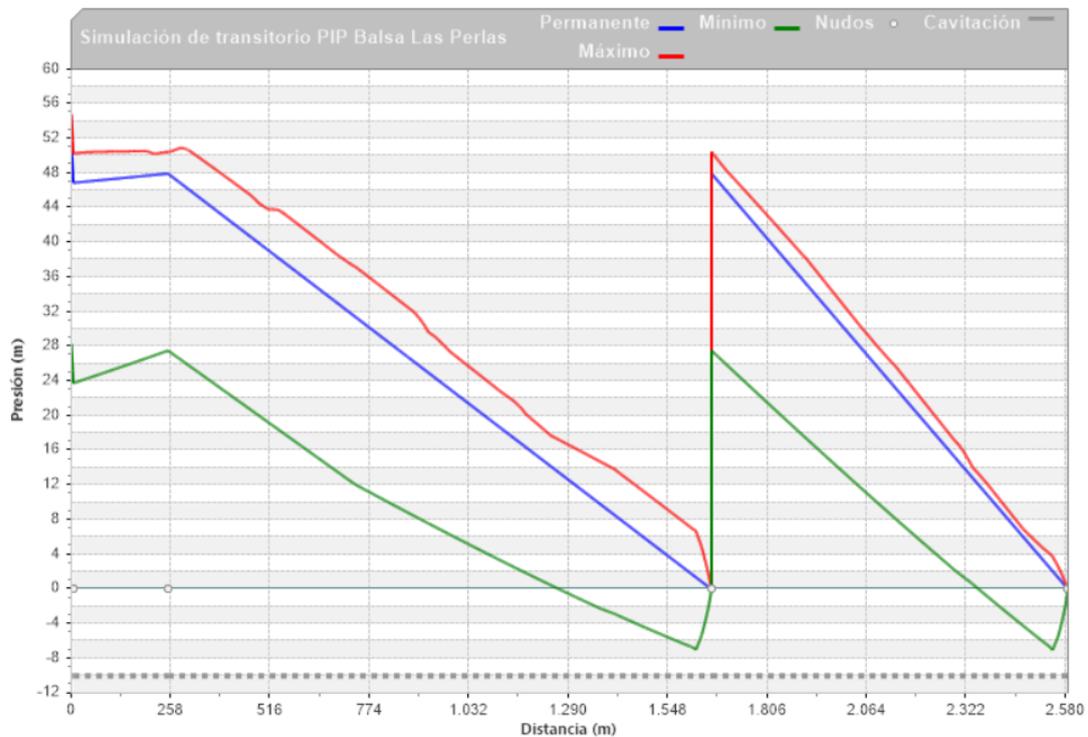


Figura 63. Sistema de bombeo con protección mediante calderín, sin ventosas en las impulsiones.

En el caso de utilizar un calderín se ve una notable mejora con respecto al problema de la depresión en la tubería, ya que, comienzan a aparecer valores de presión negativa mucho más cerca de la descarga y no cerca de la bifurcación, como era el caso de implementar una válvula anticipadora de onda (VAO). El siguiente paso es agregar válvulas de aire para corregir la depresión en las impulsiones y que la presión interna de las tuberías esté en el rango de presiones recomendadas por el fabricante (TuboForte Argentina, 2024), tanto para la sobrepresión como la depresión.

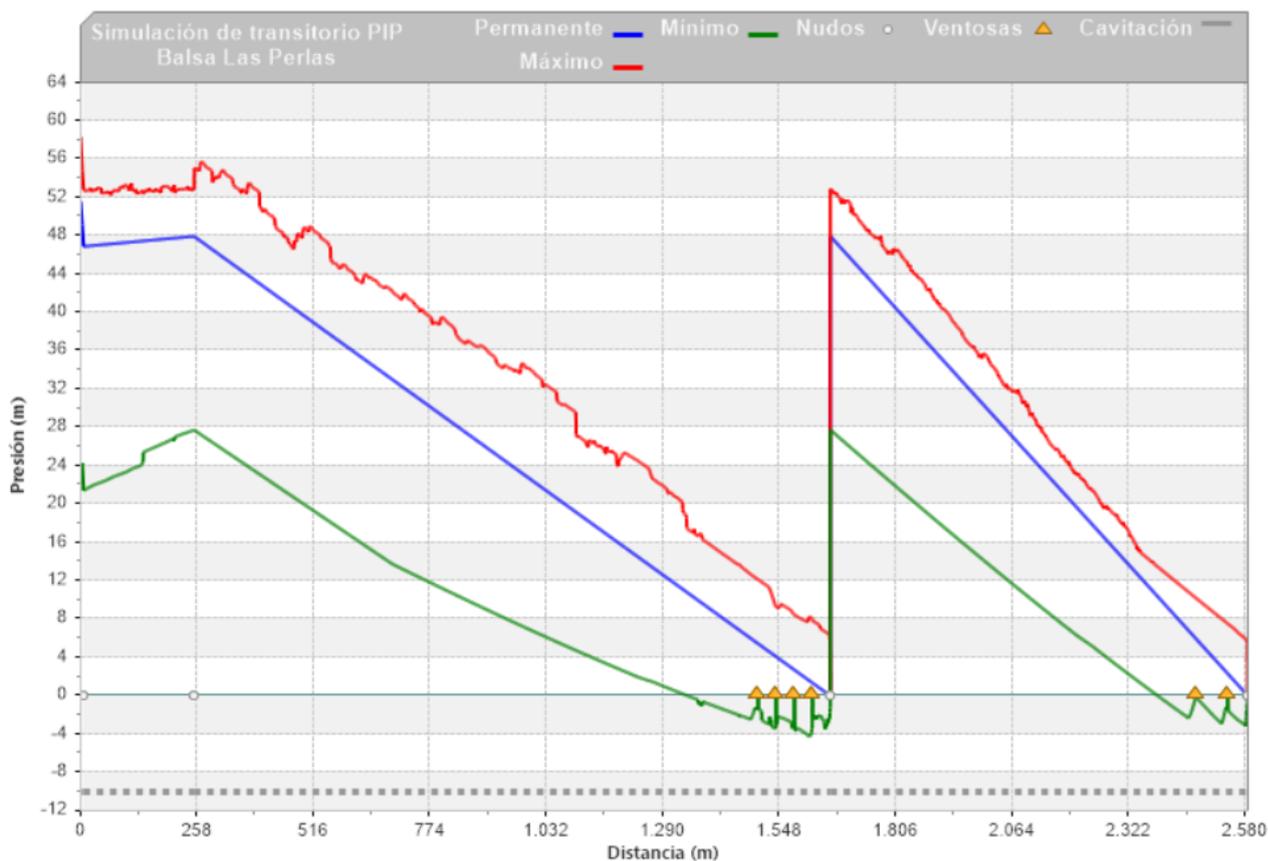


Figura 64. Sistema de bombeo con protección mediante calderín y ventosas en las impulsiones T4 y T5.

Todas las ventosas colocadas son DN 20 mm bidireccionales, es decir que tienen una curva de admisión y una curva de expulsión de aire.

Respecto a las dimensiones del calderín se consideran medidas comerciales de los mismos inmediatos superiores a los predimensionados.

Tabla 43. Dimensiones comerciales de calderín seleccionado.

Volumen (m^3)	Diámetro (m)	Longitud (m)	Diam. Conexión (mm)	Posición
1	0,85	1,76	150	Vertical

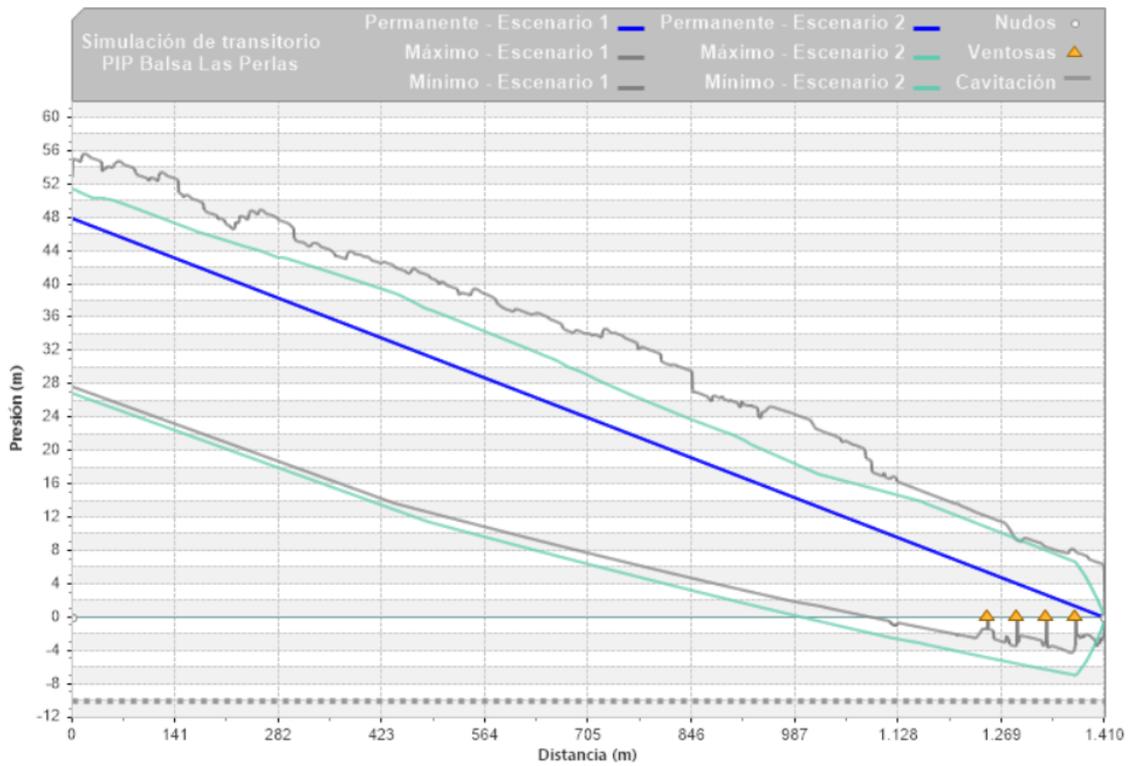


Figura 65. Comparación del sistema de bombeo protegida con calderín con y sin ventosas en el tramo T4 (b-e).

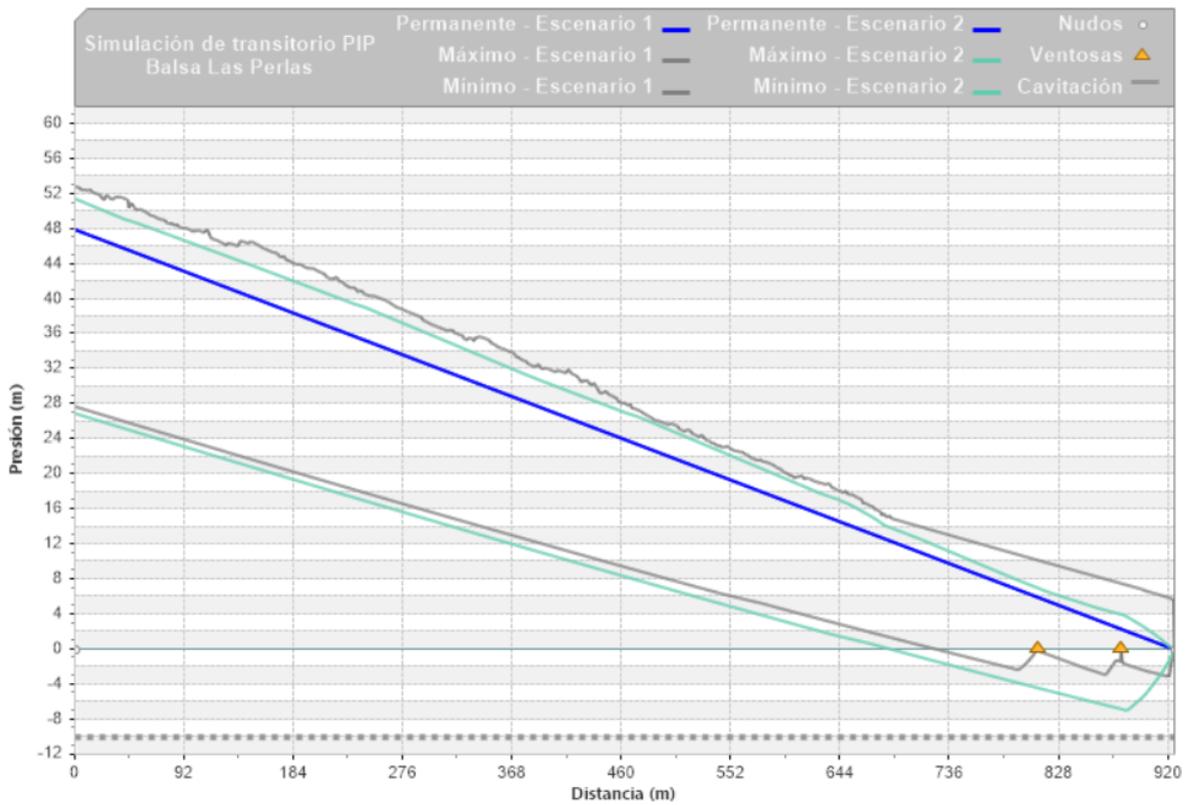


Figura 66. Comparación del sistema de bombeo protegida con calderín con y sin ventosas en el tramo T5 (b-g).

Con la implementación de un calderín y ventosas en los tramos donde se genera depresión se protege al sistema de bombeo de superar los valores recomendados por el fabricante de las tuberías (TuboForte Argentina, 2024) los cuales son (60 mca y -5,11 mca), tanto en sobrepresión como en depresión respectivamente. Se limita a la depresión a valores de -4,25 mca en T4 y -3,14 mca en T5.

Considerar que en ambas tuberías (T4 y T5), en situaciones previas se llegaba a depresiones de -7 mca con la implementación del calderín sin ventosas, y hasta -10 mca cuando no se coloca ningún tipo de protección para el golpe de ariete. Por todo lo antes mencionado, se descarta la implementación de la válvula anticipadora de onda y se utiliza un calderín para proteger al sistema frente al fenómeno de golpe de ariete. El calderín se instala de igual forma que la VAO, es decir, en derivación “T” respecto de la impulsión principal.

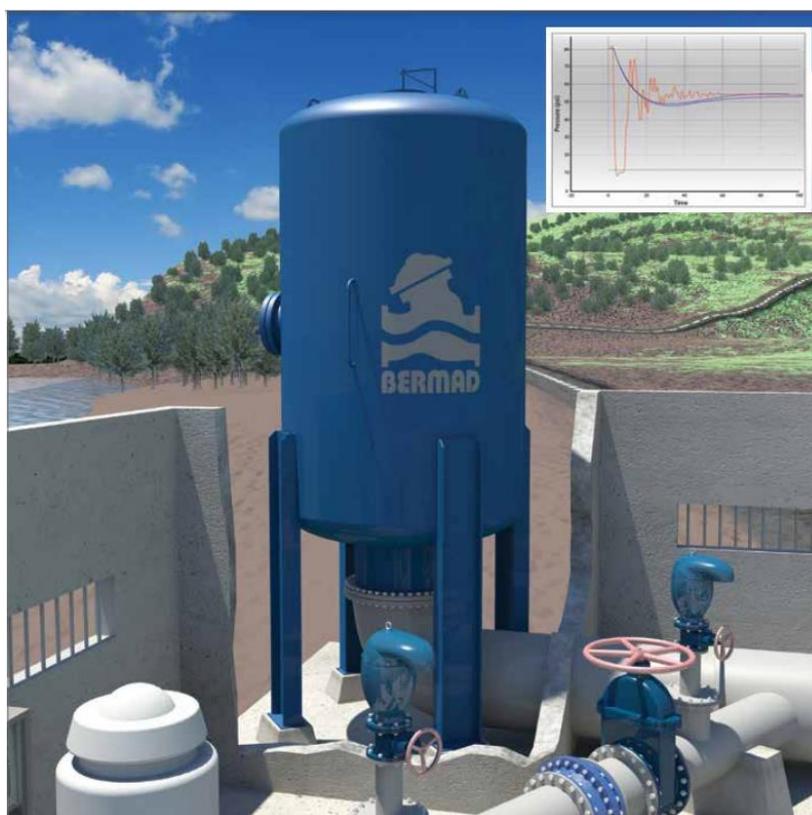


Figura 67. Esquema de instalación de calderín vertical con membrana (Bermad, 2024).

5.6.10 Selección de elementos y accesorios para el control eléctrico del sistema

Para el arranque y parada de las bombas en el sistema, se plantea el uso de sensores de nivel en los tanques elevados y cisternas para iniciar y finalizar el bombeo. Además, se plantea la posibilidad de hacer el control de forma manual y automática según se desee, esto se logra mediante un conmutador para elegir el modo de funcionamiento.

Elementos y accesorios:

- Pulsador.
- Selectora o conmutador.
- Sensor de nivel.
- Contactor.
- Luz testigo.
- Relé auxiliar
- PLC.
- Arrancador suave.
- Guarda motor.
- Interruptor termomagnético.
- Tablero de control.
- Cable y protección para el mismo.

Debido a la extensión del sistema se plantea realizar 3 etapas de control para el encendido y apagado de las bombas:

1. Tramo desde pozo filtrante hasta cisternas C1-CE y C1-CO.
2. Tramo desde C1-CO hasta Tk1-CO.
3. Tramo desde C2-CO hasta Tk2-CO.

Para el tramo (1) la lógica de control es la siguiente:

- Las 2 (dos) bombas del pozo filtrante se encienden en paralelo cuando los dos sensores de nivel indican bajo nivel en las cisternas C1-CE y C1-CO.
- Si solo el sensor de la cisterna C1-CE indica bajo nivel, entonces solo se enciende 1 (una) bomba.
- Si solo el sensor de la cisterna C1-CO indica bajo nivel, entonces se encienden 2 (dos) bombas en paralelo.
- Si el sensor de la cisterna C1-CE indica alto nivel, entonces se apaga 1 (una) bomba, la que estaba prendida para esa cisterna.
- Si el sensor de la cisterna C1-CO indica alto nivel, entonces se apagan 2 (dos) bombas (las que estaban encendidas).
- Si los sensores de nivel de ambas cisternas C1-CE y C1-CO indican alto nivel, entonces se apagan 2 (dos) bombas.

Hay que considerar que en este tramo (1) hay 3 bombas en el pozo filtrante. Dos que deben funcionar según se requiera y una de reserva por posibles fallas o bien para rotar el funcionamiento entre las 3 bombas y no sobrecargarlas.

Un aspecto a tener en cuenta es que dada la potencia de los motores eléctricos de las bombas (32 kW cada uno) es recomendable utilizar un arrancador suave para controlar la rampa de arranque hasta llegar a velocidad de rotación nominal, y así no tener picos de intensidad de corriente demasiado elevados en el encendido de las bombas (ENOHSA, 2023). Además de controlar el inicio del bombeo, los arrancadores suaves se pueden configurar para controlar la rampa de descenso y así generarle una “inercia extra” para cuando las bombas se van a detener. Esto es un beneficio para el sistema, ya que busca aminorar el efecto del fenómeno de golpe de ariete que puede darse tanto en el arranque como en la parada de las bombas.

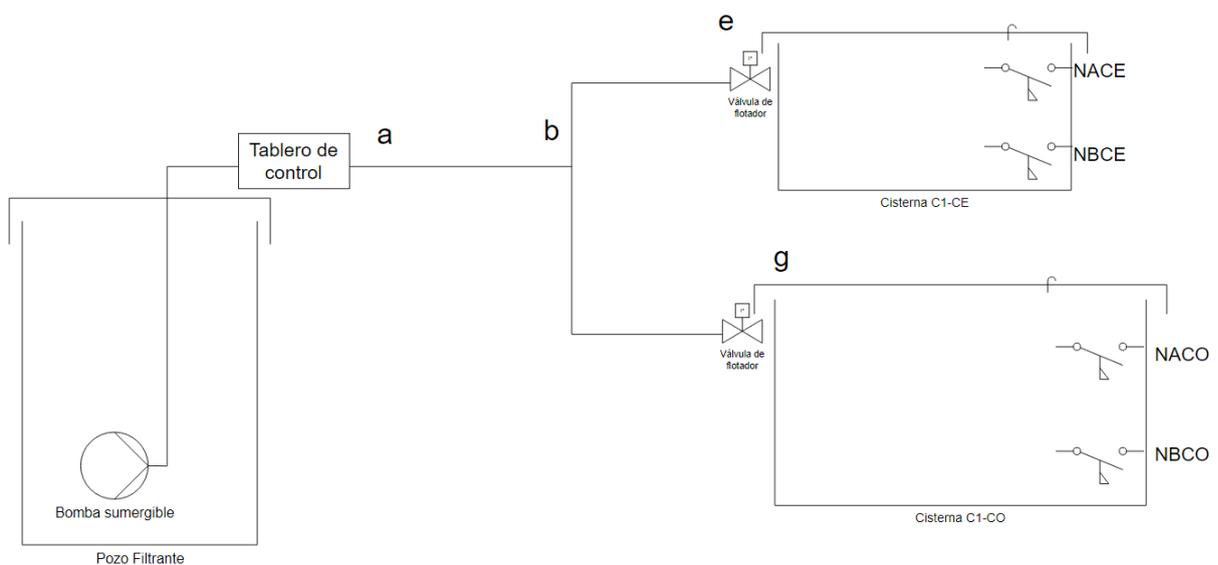


Figura 68. Esquema simple de control eléctrico del sistema de bombeo tramo (1).

Para el tramo (2) y (3) son dos esquemas de cisterna a tanque elevado. La explicación es idéntica para ambos, pero con cambio en nomenclatura para un caso y otro.

- Si el sensor del tanque elevado indica bajo nivel y el sensor de la cisterna no indica bajo nivel, entonces se enciende 1 (una) bomba.
- Si el sensor del tanque elevado indica alto nivel, entonces se apaga 1 (una) bomba).
- Observación: por seguridad la bomba no puede encender o continuar funcionando si en algún momento el sensor de la cisterna indica bajo nivel. Entonces, si el sensor de la cisterna indica bajo nivel la bomba se apaga.

Se considera que en el tramo (2) y (3) hay una bomba operativa más una de reserva por posibles fallas, y/o para rotar el funcionamiento entre las bombas como lo explicado para el tramo (1).

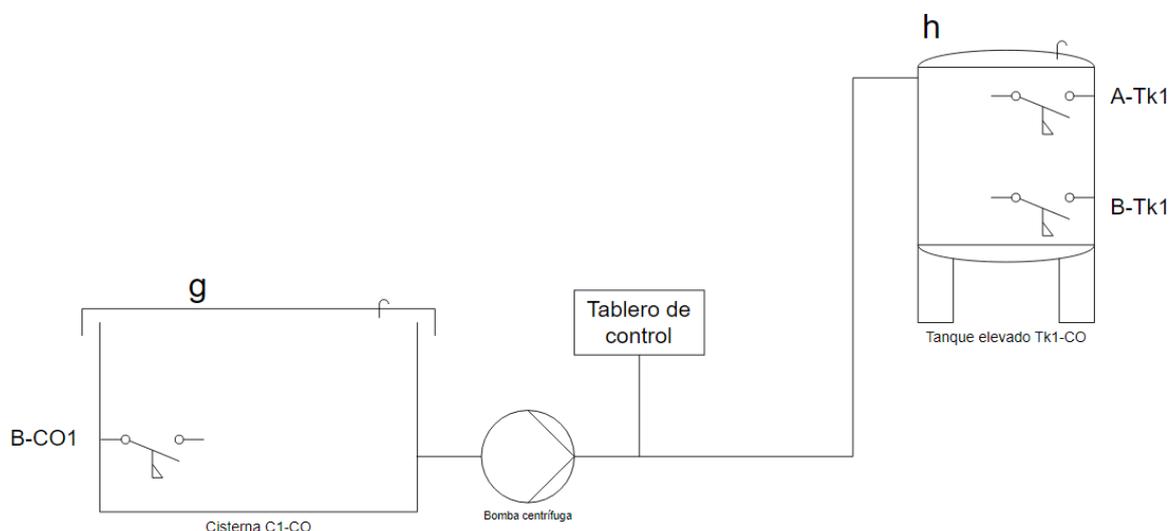


Figura 69. Esquema simple de control eléctrico del sistema de bombeo válido para tramo (2) y (3).

Para el arranque de las bombas de los tramos (2) y (3) no es estrictamente necesario la utilización de un arrancador suave o dispositivo similar, ya que las potencias de los motores eléctricos en estos tramos (3 kW a 7,5 kW) se encuentran dentro del rango permitido por (ENOHSA, 2023) que cubre la gama de potencias de (0,5 kW a 11 kW, 380 V y 50 Hz) para arranques directos.

Tener en cuenta que para ambos esquemas simples mostrados en la Figura 68 y Figura 69 se muestra la colocación y nomenclatura de los sensores de nivel, ubicación esquemática del tablero de control y bombas. Todas las señales enviadas desde los sensores de nivel hacia el tablero de control, son interpretadas por una lógica de control aplicada en cada tramo. Para el tramo (1) es mediante un PLC y arrancador suave; y en los tramos (2) y (3) mediante arranque directo con contactores.

Cada sistema de control eléctrico tiene como punto de mayor importancia el tablero de control, ya que allí entran y salen señales de control; se instalan los dispositivos de control, protección y maniobra para el encendido de las bombas, tanto de forma manual como automática. El diagrama de conexión eléctrica en cada tramo puede visualizarse en ANEXO X.

5.6.11 Dimensionamiento de la obra de captación (pozo filtrante)

Se busca obtener las dimensiones mínimas requeridas por el pozo teniendo en consideración distintos aspectos:

- I. El pozo debe funcionar sin rebalsarse ante las variaciones del río que influyen sobre su nivel estático de agua, pero además cuando el nivel es bajo la bomba siempre debe quedar sumergida con una sumergencia adecuada para que no cavite. Esto influye sobre la altura del pozo filtrante (h).
- II. Deben ir colocadas 3 bombas iguales en el fondo del pozo, por lo cual debe existir espacio suficiente para montarlas, que no interfieran cuando funcionen y respetar la separación propuesta entre ellas dadas por normas de diseños de captaciones (American National Standards Institute & Hydraulic Institute, 1998).

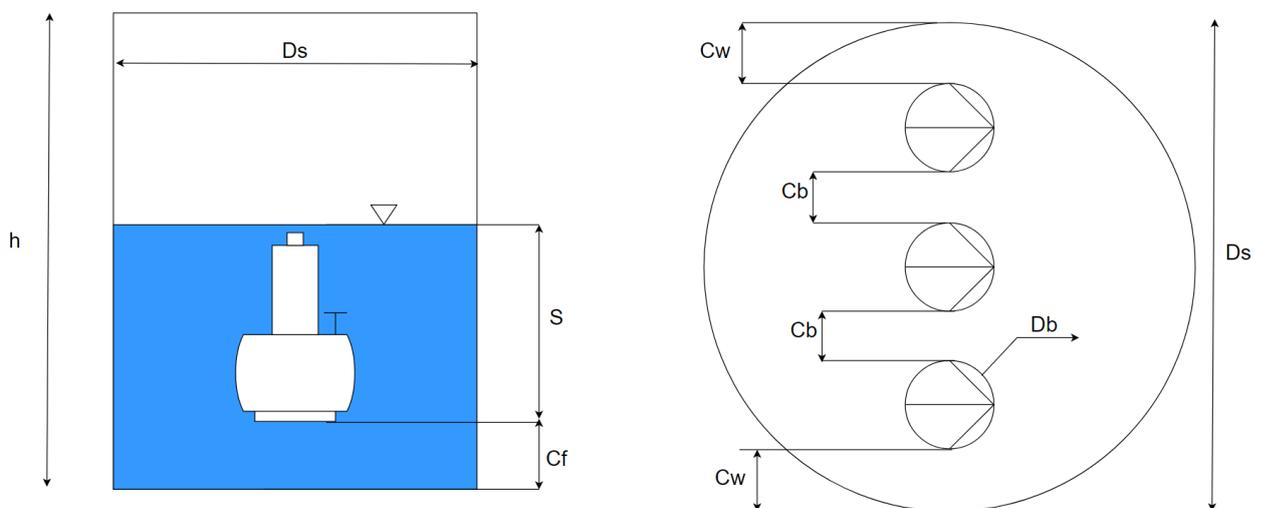


Figura 70. Dimensiones recomendadas (American National Standards Institute & Hydraulic Institute, 1998)

El nivel del río tiene un valor medio en la zona de captación de 265 msnm para un caudal medio de $425 \text{ m}^3/\text{s}$. En las épocas donde el caudal baja, lo hace hasta $170 \text{ m}^3/\text{s}$ y el nivel mínimo del río llega a bajar 1 metro; pero cuando el caudal aumenta llega hasta $1043 \text{ m}^3/\text{s}$ dando variaciones en la altura de hasta 2 metros por encima del nivel medio. Por lo tanto, las variaciones esperables son de 3 metros.

$$h_{\text{río}} = 265_{-1}^{+2} \text{ msnm} \rightarrow \Delta h_{\text{río}} = 3 \text{ m}$$

Sumado a la variación del nivel del río, hay que atravesar la capa del terreno que separa la superficie de la napa freática, esta capa se estima que esté entre 1,5 a 2 metros. ($h_{\text{suelo}} = 2 \text{ m}$).

Considerando las recomendaciones del fabricante Flygt (Xylem, 2024) y de la norma (American National Standards Institute & Hydraulic Institute, 1998) de diseño de captaciones en bombas, se calcula la sumergencia mínima que debe tener la bomba para que no haya problemas con la cavitación. Siendo:

- S : Sumergencia mínima.
- $D = D_b$: Diámetro de tubería de aspiración o diámetro de voluta de la bomba.
- F_D : Número adimensional de Froude.
- v : Velocidad en la aspiración.
- C_f : Separación con respecto al fondo del pozo.

$$S = D(1 + 2,3F_D) \quad (57)$$

$$F_D = \frac{v}{(gD)^{0,5}} \quad (58)$$

$$C_f = 0,5D \quad (59)$$

La altura requerida para la colocación de la bomba, asegurando su funcionamiento frente a cavitación es:

$$h_{bomba} = S + C_f \quad (60)$$

La altura el pozo deberá ser como mínimo la siguiente suma:

$$h_{pozo} = h_{suelo} + \Delta h_{río} + h_{bomba} \quad (61)$$

Para calcular esta altura se toma el caso más desfavorable, es decir:

- Nivel de río mínimo para sumergencia y máximo para definir máxima altura del pozo.
- Caudal de bombeo máximo.
- Separación máxima entre la superficie y napa freática.

Tabla 44. Resultados de la altura mínima del pozo filtrante.

$\Delta h_{río}(m)$	$h_{suelo}(m)$	$D(m)$	$v(m/s)$	$F_D(-)$	$S(m)$	$C_f(m)$	$h_{bomba}(m)$	$h_{pozo}(m)$
3	2	0,5	0,16	0,073	0,6	0,25	0,85	6

Para el cálculo del diámetro del pozo mínimo (D_S), se considera lo mostrado en la Figura 70 y así respetar las separaciones mínimas propuestas por la norma; tanto hacia las paredes como entre bombas. Las expresiones propuestas son:

$$C_W = 0,25D \text{ o } 100mm \quad (62)$$

$$C_b = 0,25D \text{ o } 100mm \quad (63)$$

$$D_{S-min} = 3D_b + 2C_W + 2C_b \quad (64)$$

Tabla 45. Diámetro mínimo del pozo filtrante y separaciones entre pared y bombas.

$D_b(mm)$	$C_w(mm)$	$C_b(mm)$	$D_{s-min}(mm)$
500	125	125	2000

Las dimensiones mínimas requeridas por el pozo serán: una profundidad de 6 metros y un diámetro de 2 metros. Esto deberá corroborarse con un cálculo hidrogeológico que determine las dimensiones finales del pozo, pero respetando el mínimo encontrado hasta aquí.

Para realizar el cálculo del diseño del pozo filtrante bajo consideraciones hidrogeológicas, se siguen los lineamientos propuestos por el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (2002). En este manual el modelo que más se acerca al pozo filtrante es el modelo de una galería filtrante ubicada en un acuífero con una recarga superficial, en este caso es el Río Limay. El tipo de galerías analizadas son las que comprometen la parte superior del acuífero, es decir, no ocupan todo el espesor del acuífero como lo es en este caso. Y el modelo que se plantea es el que sigue:

$$q = \frac{\pi k s}{\ln\left(\frac{D}{r}\right)} \quad (65)$$

- q : Caudal unitario por longitud de galería [$m^3/s.m$].
- k : Conductividad hidráulica [m/s].
- s : Abatimiento de la napa de agua a la altura de la galería [m].
- D : Distancia entre la galería y el punto de recarga [m].
- r : Radio de la galería [m].

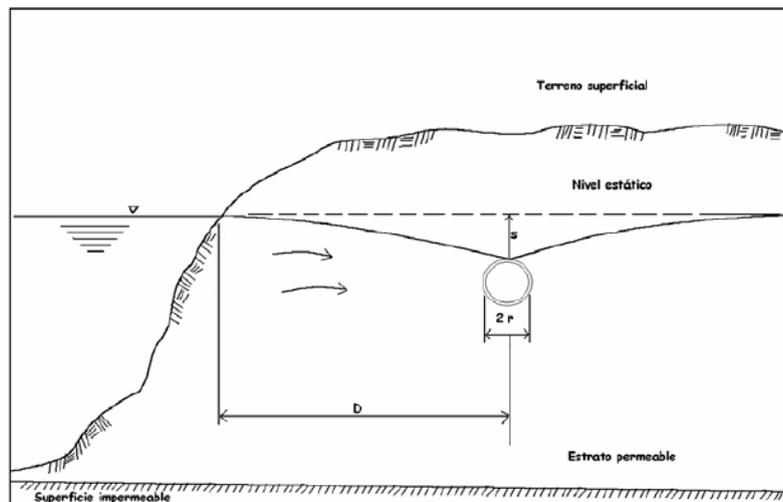


Figura 71. Galería que compromete la parte superior del acuífero adyacente a una fuente de recarga superficial (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 2002).

Se realizan los cálculos por una longitud de galería de 1 metro y se busca encontrar el área de intercambio necesaria para el caudal requerido por el sistema de bombeo. Luego, se hace una equivalencia entre el área de la galería y un área equivalente para un pozo filtrante, para así determinar el diámetro necesario del mismo. Los datos de entrada y requerimientos son:

- El coeficiente de permeabilidad (k) del acuífero, determinado por Verdugo (2023).
- El caudal de bombeo que considera el consumo del sistema de agua potable, determinado en 5.6.1.
- El radio de influencia, es decir, la distancia desde el pozo filtrante al río la cual se asume de 5 m.
- El abatimiento (s), por la cercanía al río se considera 0,5 m como valor límite.
- La longitud de la galería se la considera 1 m a fin de obtener el área de intercambio.

Tabla 46. Valores característicos de la zona de captación y caudal requerido.

$k(m/día)$	$D(m)$	$Q(m^3/día)$	$s(m)$	$L(m)$
93	5	2760	0,5	1

Bajo las hipótesis y consideraciones realizadas, se calcula el radio de la galería para obtener el área de intercambio, que debe ser igual tanto si es una galería o un pozo filtrante ($A_{gal} = A_{pozo}$)

$$A_{gal} = 2\pi rL \quad (66)$$

$$A_{pozo} = \frac{\pi D_p^2}{4} \quad (67)$$

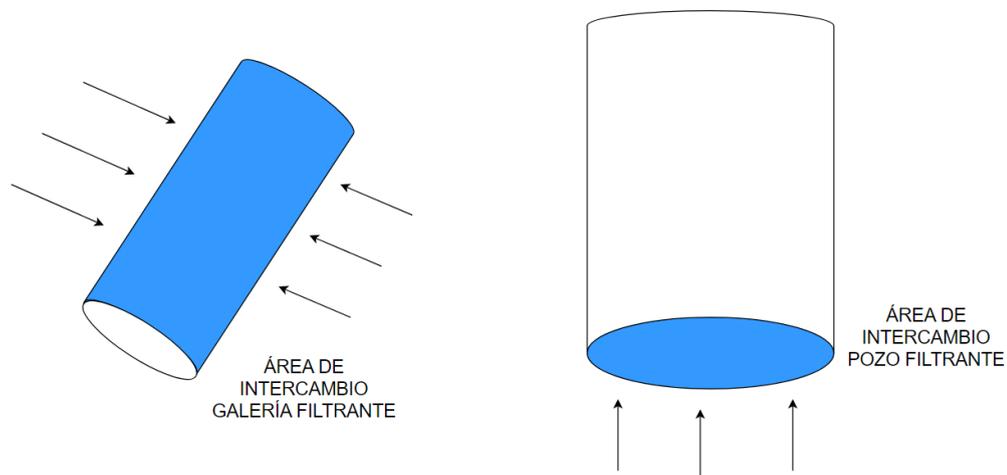


Figura 72. Áreas de intercambio de agua en galería y pozo filtrante.

Tabla 47. Resultados de dimensiones de galería filtrante y equivalente de pozo filtrante.

$q(m^3/s.m)$	$r(m)$	$Q(m^3/s)$	$D_p(m)$
0,03194	4,74	0,03194	6,15

Para el caudal requerido por el sistema de bombeo se necesita un pozo filtrante con un diámetro de 6 m.

En resumen, teniendo en cuenta consideraciones de la norma American National Standards Institute & Hydraulic Institute (1998) y aspectos hidrogeológicos para el diseño del pozo filtrante se necesitará un pozo de forma cilíndrica de 6 m de diámetro y 6 m de profundidad. El mismo utilizará el filtro natural del suelo, brindado por la porosidad del mismo, para filtrar el agua proveniente del río y así obtener agua de gran calidad en el pozo.

5.7 Presupuesto

Se realiza un análisis del presupuesto a modo global del sistema de bombeo, partiendo desde la base de datos del plan director existente, actualizando los precios a este año y modificando en caso de ser necesario algunos elementos o ítems del mismo. Hay que tener presente, que este análisis no es para ir al detalle de lo que cuesta exactamente la obra, sino más bien para tener en claro cuáles son las partes más importantes desde lo económico en toda la instalación y su consecuente mano de obra.

Tabla 48. Resumen actualizado del presupuesto sistema de bombeo Balsa Las Perlas zona centro (Información remitida por Director de PIP y modificada por el autor).

RESUMEN DEL PRESUPUESTO	Precio total	Incidencias
CAPTACION - POZO FILTRANTE	\$ 556.126.377	25,14%
ACUEDUCTO DE IMPULSIÓN CAPTACION - BIFURCACION	\$ 50.057.651	2,26%
ACUEDUCTO DE IMPULSIÓN (BIFURCACION - C1-CE)	\$ 74.094.129	3,35%
CISTERNA N°1 - 200 m ³ (C1-CE)	\$ 176.452.194	7,98%
ACUEDUCTO DE IMPULSIÓN (BIFURCACION - (C1-CO)	\$ 111.466.198	5,04%
CISTERNA N°1 - 500 m ³ (C1-CO)	\$ 257.538.204	11,64%
REBOMBEO EN CISTERNA 1 (C1-CO) a (Tk1-CO)	\$ 22.495.714	1,02%
TANQUE ELEVADO N°1 - 200 m ³ (TK1-CO)	\$ 410.559.776	18,56%
CONDUCCION GRAVEDAD (TK1-CO) a Cisterna (C2-CO)	\$ 125.495.806	5,67%
CISTERNA N°2 - 50 m ³ (C2-CO)	\$ 90.207.289	4,08%
REBOMBEO EN CISTERNA 1 (C2-CO) a (Tk2-CO)	\$ 15.821.486	0,72%
TANQUE ELEVADO N°2 - 200 m ³ (Tk2-CO)	\$ 321.726.168	14,54%
TOTAL	\$ 2.212.040.998	100,00%

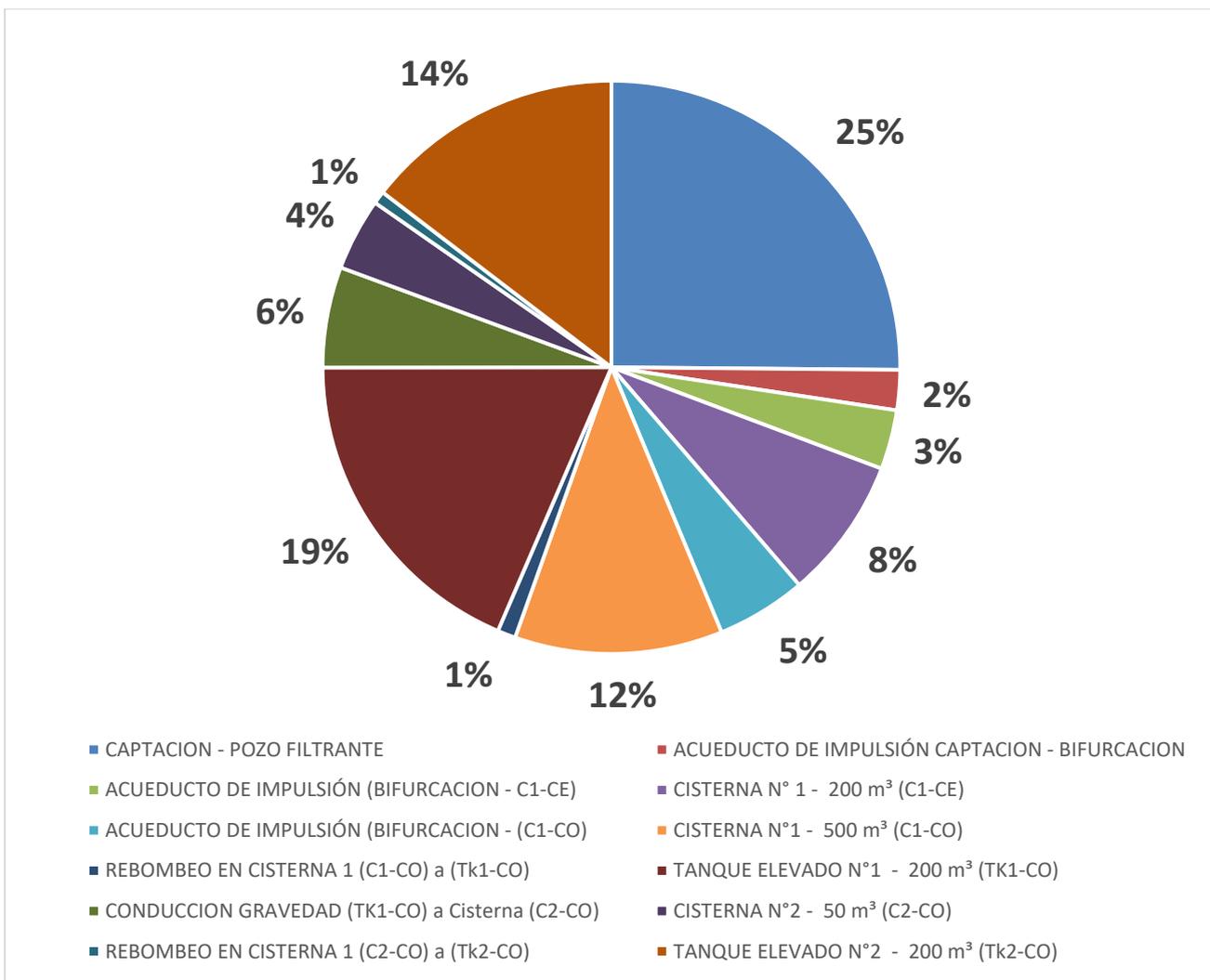


Figura 73. Incidencias en el presupuesto actualizado del sistema de bombeo Balsa Las Perlas zona centro (Información remitida por Director de PIP y modificada por el autor).

Como puede observarse en la Figura 73 las incidencias más importantes son la obra de captación que incluye, el pozo filtrante, equipo de bombeo y elementos eléctricos principales del sistema de bombeo. Luego los tanques elevados, ya que son de dimensiones considerables y tienen la dificultad de tener que realizar una construcción en altura. Le sigue la construcción de la cisterna de 500 m³ (C1-CO) debido a su gran volumen y que gran parte de ella irá enterrada, por ende, se agregan los costos de excavación. El restante porcentaje se lo reparten entre los costos de los acueductos de impulsión por bombeo y gravedad con sus respectivos equipos de bombeo y rebombeo.

6 CONCLUSIONES

El Proyecto Integrador Profesional planteado desde el inicio fue desarrollado de manera exitosa, logrando alcanzar los objetivos establecidos. A modo de repaso, se inició buscando brindar una solución a una problemática importante, que afecta la localidad de Balsa Las Perlas sobre una necesidad básica para el desarrollo humano, como lo es el agua potable.

Mediante la aplicación de conceptos aprendidos durante toda la formación universitaria y la utilización de bibliografía recomendada, normas de aplicación, artículos científicos, manuales de diseños y recomendaciones de fabricantes, se pudo realizar el proyecto considerando las siguientes etapas: partir desde un problema inicial, definir una metodología de trabajo, ampliar la base de información del mismo, definir los parámetros de diseño más importantes, buscar distintas soluciones, plantear y seleccionar las soluciones adoptadas con criterios adecuados, comprobar que las soluciones propuestas son adecuadas y cumplen con los requerimientos del proyecto.

Desde datos ya establecidos y estimaciones de consumo de agua se logró dimensionar el sistema de bombeo necesario para cumplir con el abastecimiento de agua potable. Si bien el consumo de agua es un parámetro variable con la época del año, mes, y horas del día, se establecieron los volúmenes de agua necesarios en cada depósito, así como la cantidad y tipo de bombas a utilizar para cumplir con la demanda de agua potable con el horizonte de diseño propuesto de 25 años. Además, se dimensionaron los diámetros de las tuberías con criterios técnico-económicos considerando el costo de la energía eléctrica y el costo de las tuberías. Por otro lado, se seleccionaron los elementos hidráulicos necesarios para el normal funcionamiento de la estación de bombeo considerando transitorios hidráulicos, así como también los elementos eléctricos necesarios para la misma. El comportamiento hidráulico y eléctrico fue simulado con softwares específicos para comprobar que son adecuados para el sistema. El diseño del pozo filtrante fue un desafío, ya que incluye aspectos hidrogeológicos que nunca antes había visto o estudiado, por lo cual fue una introducción al estudio de las ciencias geológicas y cómo relacionarlo para un caso de aplicación de ingeniería mecánica.

En resumen, este proyecto me permitió pasar por muchas de las áreas aprendidas durante mi formación académica y a su vez dar una solución a un sector de una localidad que padece un problema importante con el abastecimiento de agua potable. Se estima que el sector Centro de la localidad de Balsa Las Perlas para el año de horizonte de proyecto tendrá una población de alrededor de 22.000 personas, por lo que se está proponiendo una solución para el abastecimiento de agua potable a una gran cantidad de habitantes de la región.

7 REFERENCIAS

- American National Standards Institute & Hydraulic Institute. (1998). *American National Standard for Pump Intake Design*. Hydraulic Institute.
- Armas. (02 de 04 de 2024). *Armas*. Obtenido de Armas: <https://armas.com.tr/es-ES>
- Bermad. (14 de 04 de 2024). *Soluciones de Control de Agua*. Obtenido de Soluciones de Control de Agua: <https://www.bermad.com/>
- Blanco Marigorta, Velarde Suárez y Fernández Francos. (1994). *Sistemas de Bombeo*. Gijón.
- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. (2002). *Manual de Diseño de Galerías Filtrantes*. Lima.
- Dorot. (15 de 04 de 2024). *Aquestia*. Obtenido de Aquestia: <https://www.dorot.com/>
- Edersa. (10 de 05 de 2024). *Cuadros Tarifarios Vigentes*. Obtenido de Cuadros Tarifarios Vigentes: <https://www.edersa.com.ar/usuarios/cuadro-tarifario/>
- ENOHSA. (2023). *Guías Agua Potable*. Obtenido de <https://www.argentina.gob.ar/enohsa/guias-agua-potable>
- Genebre. (02 de 05 de 2024). *Genebre Argentina*. Obtenido de Genebre Argentina: <https://www.genebre.com.ar/>
- Grundfos. (11 de 02 de 2024). *Grundfos Argentina*. Obtenido de Grundfos Argentina: <https://product-selection.grundfos.com/ar/products/sp-sp-g/sp/sp-215-3aa-18A000B3?pumpsystemid=2314582038&tab=variant-curves>
- INDEC. (01 de 02 de 2024). *Instituto Nacional de Estadísticas y Censos de la República Argentina*. Obtenido de Instituto Nacional de Estadísticas y Censos de la República Argentina: <https://www.indec.gob.ar/>
- ITA | Universidad Politécnica de Valencia. (06 de 02 de 2024). *Allievi*. Obtenido de Allievi: <https://www.allievi.net/allievi-es.php>
- KSB. (15 de 03 de 2024). *KSB Argentina*. Obtenido de KSB Argentina: <https://www.ksb.com/es-ar/lc/productos/bomba/electrobomba-sumergible/upa-250-upa-s-250/U19A>
- Ley N°18.284 Código Alimentario Argentino. (18 de 07 de 1969). *Cap. XII: Bebidas Analcohólicas, Bebidas Hídricas, Agua y Agua Gasificada*. Obtenido de Cap. XII: Bebidas Analcohólicas, Bebidas Hídricas, Agua y Agua Gasificada: https://alimentosargentinos.magyp.gob.ar/contenido/marco/CAA/Capitulo_12.php
- Ley N°26.221 Agua Potable y Desagües Cloacales. (13 de 02 de 2007). *Normas Mínimas de Calidad de Agua Producida y Distribuida*. Obtenido de Normas Mínimas de Calidad de Agua Producida y Distribuida: https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/anexo_anormas.pdf
- Mataix, C. (1975). *Turbomáquinas Hidráulicas*. Madrid: ICAI.

- Ministerio de Desarrollo Social Argentina. (12 de 12 de 2023). *RENABAP | Observatorio de Barrios Populares*. Obtenido de RENABAP | Observatorio de Barrios Populares: <https://lookerstudio.google.com/u/0/reporting/0a127285-4dd0-43b2-b7b2-98390bfd567f/page/klATC>
- Ministerio de Economía. (12 de 12 de 2023). *Obras Públicas | Ente Nacional de Obras Hídricas de Saneamiento*. Obtenido de Obras Públicas | Ente Nacional de Obras Hídricas de Saneamiento: <https://www.argentina.gob.ar/enohsa>
- Ministerio de Economía. (12 de 12 de 2023). *Obras Públicas | Recursos Hídricos*. Obtenido de Obras Públicas | Recursos Hídricos: <https://www.argentina.gob.ar/obras-publicas/recursos-hidricos>
- Periodistas de Cipo360. (20 de 10 de 2023). Vecinos de Balsa Las Perlas se manifiestan en la municipalidad de Cipolletti por falta de agua. *Cipo360*. Obtenido de <https://www.cipo360.com.ar/noticias/2023/10/20/4072-vecinos-de-balsa-las-perlas-se-manifiestan-en-la-municipalidad-de-cipolletti-por-falta-de-agua>
- Periodistas de LM Cipolletti. (17 de 10 de 2023). Las Perlas: más problemas con el agua. *LM Cipolletti*. Obtenido de <https://www.lmcipolletti.com/cipolletti/las-perlas-mas-problemas-el-agua-n1065110>
- Periodistas de LM Cipolletti. (09 de 01 de 2024). Balsa Las Perlas: convocan a una reunión por el problema del agua. *LM Cipolletti*. Obtenido de <https://www.lmcipolletti.com/balsa-las-perlas-convocan-una-reunion-el-problema-del-agua-n1084491>
- Periodistas de Noticiasnqn. (17 de 10 de 2023). Vecinos de Balsa Las Perlas siguen con reclamos: esta vez por la falta de agua. *Noticiasnqn*. Obtenido de <https://www.noticiasnqn.com.ar/noticias/2023/10/17/284654-video-vecinos-de-balsa-las-perlas-siguen-con-reclamos-esta-vez-por-la-falta-de-agua>
- Sabatini. (12 de 04 de 2024). *Equipos de Bombeo*. Obtenido de Equipos de Bombeo: <https://sabatinibombas.com.ar/product/bombas-sumergibles/electrobomba-para-pozo-profundo/electrobomba-sumergible-para-pozo-de-10/>
- Sanks, R. L. (1998). *Pumping Station Design* (Second Edition ed.). Butterworth Heinemann.
- SB Argentina. (05 de 02 de 2024). *SB Argentina*. Obtenido de SB Argentina: <https://www.sbagentina.com.ar/tienda/>
- Torres Bel, N. (13 de 09 de 2022). Las Perlas: vecinos denuncian que están sin agua desde el jueves. *Diario Río Negro*. Obtenido de <https://www.rionegro.com.ar/servicios/balsa-las-perlas-denuncian-que-estan-sin-agua-desde-el-jueves-2494995/>
- TuboForte Argentina. (04 de 03 de 2024). *TuboForte Argentina*. Obtenido de TuboForte Argentina: <http://www.tuboforte.com.ar/infraestructura.html>
- Ulrich, K. T., & Eppinger, S. D. (2013). *Diseño y Desarrollo de Productos* (5ta ed.). Mac Graw Hill.
- Verdugo, N. E. (2023). *Caracterización de acuíferos en el área Balsa Las Perlas, provincia de Río Negro, Argentina*. Trabajo Final de Licenciatura, Universidad Nacional del Comahue, Facultad de Ingeniería, Neuquén, Argentina.

Xylect. (10 de 04 de 2024). *Xylect*. Obtenido de Xylect:
https://www.xylect.com/bin/Xylect.dll?IS__NEXTPAGE=startup&IS__NEXTPAGE=BDYHOME&IS__AREA=ARGENTINA&IS__COUNTRY=ARGENTINA&IS__BROWSER=%23%23%231536%23695

Xylem. (08 de 02 de 2024). *Soluciones y Tecnologías Xylem*. Obtenido de Soluciones y Tecnologías Xylem: <https://www.xylem.com/es-ar/>

8 ANEXO I

Tabla 49. Habitantes, área por barrio, área total y densidad poblacional Balsa Las Perlas, (Información de habitantes año 2022 por lote brindada por el mediador comunitario de la localidad Jaime Flores).

BARRIOS	TOTAL DE LOTES	TOTAL APROXIMADO DE POBLACIÓN	ÁREA (km ²)	Densidad poblacional (Hab/km ²)
VISTA DEL VALLE	170	680	0,101	6752,06
MILITAR	40	160	0,054	2972,93
PRIMEROS POBLADORES	76	304	0,142	2140,21
COSTA ESPERANZA I y II	1350	5400	0,638	8461,27
PUENTE SANTA MÓNICA	230	920	0,289	3184,88
EL PARQUE	70	280	0,067	4158,37
RIO SOL	300	1200	0,213	5634,09
MUTEN I	80	320	0,095	3371,47
MUTEN II	150	600	0,261	2295,56
SANTA MÓNICA	200	800	0,111	7230,98
LA RUCA (OESTE/ESTE)	520	2080	0,461	4509,98
33 HECTÁREAS	250	1000	0,150	6664,58
NYC (NACIDOS Y CRIADOS)	742	2968	0,269	11039,90
SECTOR CHACRAS	377	1508	0,284	5305,47
SUB-TOTAL APROXIMADO	4555	18220	3,135	5811
TERRENOS TOMADOS	100	400	-	-
TOTAL APROXIMADO	4655	18620	3,13	5939
BALSA LAS PERLAS	4655	18620	4,57	4071

9 ANEXO II

Tabla 50. Resumen de las características físico-químicas de las muestras (Verdugo, 2023).

Muestra	Turbiedad (UNT)	pH	Conductividad (µS/cm)	Dureza Total (mgCaCO ₃ /l)	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²
24/06/14	4	7.9	85	32	9.9	1.7	5.2	0.8	-	2.8	7.1
9/12/2014	<1	7.8	85	30	8.7	1.9	5.3	0.8	-	5.0	5.4
8/6/2015	3	8.0	86	31.8	8.8	2.4	4.7	0.8	-	3.0	4.5
30/11/2015	2	8.7	74	27.8	7.2	2.4	4.6	0.7	34.2	2.0	4.6
28/6/2016	<1	8.0	62	27.8	8.0	1.9	5.2	0.9	-	2.0	6.0
13/12/2016	3	8.4	72	25.8	8.0	1.4	5.0	0.9	30.2	2.3	7.3
27/6/2017	5	8.0	98	35.8	9.6	2.9	7.1	0.9	-	2.2	10.0
27/11/2017	2	7.9	98	35.8	8.8	3.4	7.0	0.8	-	3.4	9.2
4/6/2018	4	7.6	84	30.3	9.0	1.9	5.6	0.8	-	7.5	5.0
3/12/2018	4	8.5	73	26.1	7.5	1.8	5.4	0.7	28.4	2.0	5.9
30/7/2019	3	7.5	60	21.7	5.9	1.7	5.5	0.6	-	2.0	5.3
25/11/2019	2	8.3	62	19.3	5.1	1.6	4.5	0.7	24.7	1.8	6.2
2/12/2020	1	8.3	53	25.3	7.1	1.9	7.0	0.1	27.1	2.4	6.6
7/12/2021	5	8.2	45	27.8	7.8	2.0	6.3	0.9	35.0	9.4	7.0
30/6/2022	<1	8.0	95	27.8	8.0	1.9	12.2	3.1	30.0	13.0	12.0

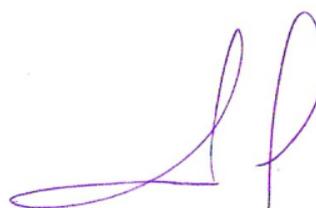
	INFORME DE ENSAYO	MGLP01-F3A
		Rev 03
Laboratorio con S.G.C. certificado Bajo la Norma ISO 9001:2015	Mitre 1136 – General Roca – Río Negro TE: 0298.4421059 www.laboratoriopraxis.com.ar E.mail: industria.praxis@gmail.com Control de calidad Externo: INTI, CALIBA, LCG Std	

ANÁLISIS DE AGUA

Protocolo N° 10.588
Solicitante.....: Cecilia Dufilho (U.N.C.O.)
Fecha de recepción.....: 30/06/2022
Descripción.....: **Agua Superficial**
Motivo del Análisis.....: Evaluar calidad
Sitio de extracción.....: **RIO LIMAY**
Fecha y Hora de extracción.....: 30/06/2022
Responsable de la extracción.: Nancy Verdugo
Cantidad de Muestra.....: 1.200 cc
Fecha finalización del análisis: 08/07/2022

Análisis Físico-químico:

Determinación	Resultado	V. de referencia	Método
pH	8,00	6,5 – 8,5	SM 4500-H B
Conductividad	95 µS/cm		SM 2510 B
Color	Incoloro		SM 2120 B
Turbiedad	0,65 NTU	< 3,0 NTU	SM 2130 B
Bicarbonatos (en CaCO ₃)	30,00 mg/l		SM 2320 B
Carbonatos (en CaCO ₃)	0,00 mg/l		SM 2320 B
Alcalinidad Total	30,00 mg/l		SM 2320 B
Dureza Total (en CaCO ₃)	27,86 mg/l	< 400 mg/l	SM 2340 B
Sólidos Disueltos totales	61 mg/l	< 1.500 mg/l	SM 2540 B
Cloruros (en Cl ⁻)	13 mg/l	< 350 mg/l	SM 4500 Cl B
Sulfatos (en SO ₄ ⁻)	12 mg/l	< 400 mg/l	SM 4500 E
Nitratos (en NO ₃ ⁻)	< 0,81 mg/l	< 45 mg/l	SM 4500 NO3 E
Nitritos	< 0,04 mg/l	< 0,10 mg/l	SM 4500 NO2 B
Amonio	< 0,05 mg/l	< 0,2 mg/l	SM 4500 NO3
Calcio	8,02 mg/l		SM 3111-Ca D
Magnesio	1,90 mg/l		SM 3111-Mg D
Sodio	12,24 mg/l		SM 3111-Na B
Potasio	3,08 mg/l		SM 3111-K B
Hierro	< 0,10 mg/l	< 0,3 mg/l	SM 3111-Fe D
Manganeso	< 0,02 mg/l	< 0,1 mg/l	SM 3111-Mn D



Bioq. J. Renan Urdíñez
MP 500

Página 1 de 1

Nota N° 1: El presente documento solo puede ser reproducido con la aprobación escrita del Laboratorio.
Nota N° 2: Los resultados solo están relacionados con los ítems ensayados.

Figura 74. Resultados del análisis de agua del Río Limay realizados por Laboratorio Praxis (Verdugo, 2023).

Corresponde a: **PM19Abril** Fecha de recepción: **08/04/2022 - 13:08:34**
 N° cliente: **INDUS** Páginas: **1/3**
 N° informe: **006-66207-196**

DATOS DE LA MUESTRA

Sitio de extracción **Agua de perforación, filtrada**
 Fecha y hora de extracción **08/04/2022 12:00 h**
 Motivo del analisis **Control**
 Responsable de extracción **Silvia Martinez**

ANÁLISIS BACTERIOLOGICO

Material: Agua Firma: 20/04/2022

Bacterias mesófilas **400 UFC/mL**
 Método: SMWaW 9215 A-B
 Valor de referencia: Hasta 500 UFC/mL

Coliformes totales **9 NMP/100mL**
 Método: SMWaW 9221 B
 Valor de referencia: Hasta 3 NMP/100mL

Escherichia coli **Ausencia /100 mL**
 Método: SMWaW 9221 F
 Valor de referencia: Ausencia/100 mL

Pseudomonas aeruginosa **Ausencia /100 mL**
 Método: SMWaW 9213 F
 Valor de referencia: Ausencia/100 mL

Determinaciones analíticas referidas a los criterios establecidos por el Código Alimentario Argentino - CAA Capítulo XII art. 982. Los resultados sólo están relacionados con la muestra ensayada.

Corresponde a: **PM19Abril** Fecha de recepción: **08/04/2022 - 13:08:34**
 N° cliente: **INDUS** Páginas: **2/3**
 N° informe: **006-66207-196**

ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO PARA AGUAS

Material: Agua Extracción: 08/04/2022 - 13:08:34 Firma: 20/04/2022

		Valores de referencia
Color	5 U Pt-Co	máx. 5 escala Pt-Co
Método: SMWaW 2120-B		
Olor	Inodora	Sin olores extraños
Método: SMWaW 2150-B		
Turbiedad	5 UNT	máx. 3 NTU
Método: SMWaW 2130-B		
pH	7,2	Art. 982: 6,5-8,5 Art. 983: 6,0-9,0

Figura 75. Resultados del análisis de agua de pozo PM19 abril, realizado por Laboratorio IDAC hoja-1 (Verdugo, 2023).

Método: SMWaW 4500-B		
Conductividad	195,4	uS/cm
Método: SMWaW 2510-B		
Sólidos Disueltos Totales	97,7	mg/L máx. 1500 mg/L
Método: Electroanalítico		
Dureza Total (en CaCO3)	48	mg/L máx. 400 mg/L
Método: SMWaW 2340-C		
Cloruros (en Cl)	7	mg/L máx. 350 mg/L
Método: SMWaW 4500-B		
Sulfatos (en SO4)	31	mg/L máx. 400 mg/L
Método: SMWaW 4500-E		
Nitratos (en NO3)	< 1	mg/L máx. 45 mg/L
Método: EFM		
Nitritos (en NO2)	< 0,025	mg/L máx. 0,10 mg/L
Método: SMWaW 4500-B		
Amonio	< 0,02	mg/L máx. 0,20 mg/L
Método: SMWaW 4500-F		
Calcio	12	mg/L
Método: SMWaW 3500-D		
Magnesio	4,7	mg/L
Método: SMWaW 3500-E		
Sodio	18	mg/L
Método: SMWaW 3500-D		
Arsénico	< 0,010	mg/L máx. 0,01 mg/L
Método: Colorimétrico		
Fluoruro	0,3	mg/L
Método: SMWaW 4500-D		

Valores de referencia: La cantidad máxima se da en función de la temperatura promedio de la zona, teniendo en cuenta el consumo diario del agua de bebida:
- Temperatura media y máxima del año (°C) 10,0 - 12,0, contenido límite recomendado de
Flúor (mg/l), límite inferior: 0,9; límite superior: 1,7
- Temperatura media y máxima del año (°C) 12,1 - 14,6, contenido límite recomendado de

Corresponde a: **PM19Abril**
N° cliente: **INDUS**
N° informe: **006-66207-196**

Fecha de recepción: **08/04/2022 - 13:08:34**
Páginas: **3/3**

Flúor (mg/l), límite inferior: 0,8; límite superior: 1,5
- Temperatura media y máxima del año (°C) 14,7 - 17,6, contenido límite recomendado de
Flúor (mg/l), límite inferior: 0,8; límite superior: 1,3
- Temperatura media y máxima del año (°C) 17,7 - 21,4, contenido límite recomendado de
Flúor (mg/l), Límite inferior: 0,7; límite superior: 1,2
- Temperatura media y máxima del año (°C) 21,5 - 26,2, contenido límite recomendado de
Flúor (mg/l), límite inferior: 0,7; límite superior: 1,0
- Temperatura media y máxima del año (°C) 26,3 - 32,6, contenido límite recomendado de
Flúor (mg/l), límite inferior: 0,6; límite superior: 0,8

-Art 983: máx.: 2,0 mg/l

Alcalinidad Bicarbonatos **53 mg/L**
Método: SMWaW 2320-B
Alcalinidad Carbonatos **< 1 mg/L**
Método: SMWaW 2320-D

Determinaciones analíticas referidas a los criterios establecidos por el Código Alimentario Argentino - CAA Capítulo XII art. 982. Los resultados sólo están relacionados con la muestra ensayada.



Noelia Campi
Bioquímica-M.P.R.N 1817-M.P.N 662

FIRMA DIGITAL

E663E53800E7E975ABBE93454C5CBA18F708E4C85556C4C891A5D490601C6BD9E4DAC4F0037A1E2F
APG-02.01

Mengelle 801 - (8324) Cipolletti - R.N
industriales@idac-laboratorios.com.ar

2994842550
Tel/Fax: (0299) 477-4488

@LaboratoriosIDAC
www.idac-laboratorios.com.ar

Figura 76. Resultados del análisis de agua de pozo PM19 abril, realizado por Laboratorio IDAC hoja-2 (Verdugo, 2023).

10 ANEXO III

Especificaciones técnicas

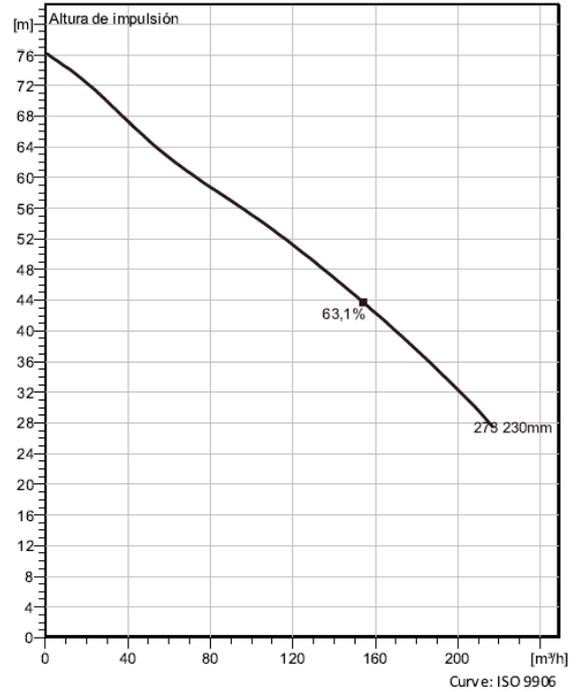


NP 3202 SH 3~ 273

Sistema de autolimpieza del impulsor de canal semiabierto, ideal para bombeos de aguas residuales. Con posibilidad de añadir el sistema guide-pin para mejor la resistencia de posibles atascos. Un modulo basado en un diseño que permite la adaptación.



Curvas según: Agua, limpia Agua, limpia [100%], 4 °C, 1000 kg/m³, 1,569 mm²/s



Material

Rodete
Hard-Iron

Configuración

Motor number
N3202.185 30-19-2AA-W
32KW

Impeller diameter
230 mm

Tipo de instalación
P - Semipermanente,
húmeda

Diámetro de descarga
100 mm

Información sobre la bomba

Diámetro del impulsor
230 mm

Discharge diameter
100 mm

Diámetro interno
150 mm

Maximum operating speed
2950 rpm

Número de aspas
2

Temp. máx. fluido
40 °C

Motor - General

Motor number
N3202.185 30-19-2AA-W
32KW

Certificación ATEX
No

Frecuencia
50 Hz

Código de la versión
185

Fases
3~

Nº de polos
2

Tensión nominal
380 V

Velocidad nominal
2950 rpm

Corriente nominal
58 A

Clase de aislamiento
H

Potencia nominal
32 kW

Variante de estator
38

Tipo de servicio
S1

Motor - Técnica

Factor de potencia - 1/1 Carga
0,93

Factor de potencia - 3/4 carga
0,92

Factor de potencia - 1/2 Load
0,88

Rendimiento del motor - 1/1 Carga
90,1 %

Rendimiento del motor - 3/4 carga
90,6 %

Rendimiento del motor - 1/2 Load
89,9 %

Momento de inercia total
0,159 kg m²

Corriente arranque, arranque directo
405 A

Corriente arranque, arranque estrella-triángulo
135 A

Máx. arranques / h
30

Figura 77. Especificación técnica bomba Flygt NP 3202 SH 3~273 (Xylem, 2024).

11 ANEXO IV

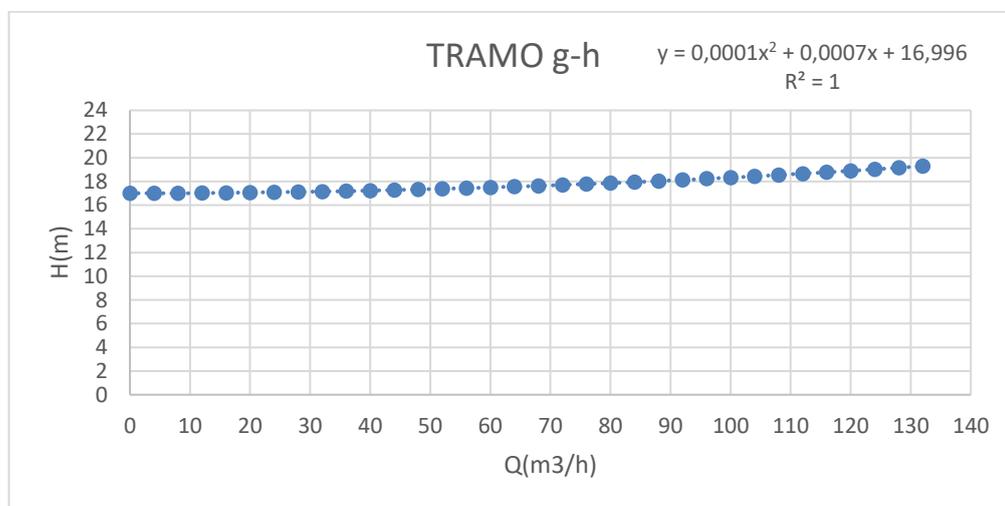


Figura 78. Curva del sistema tramo g-h.

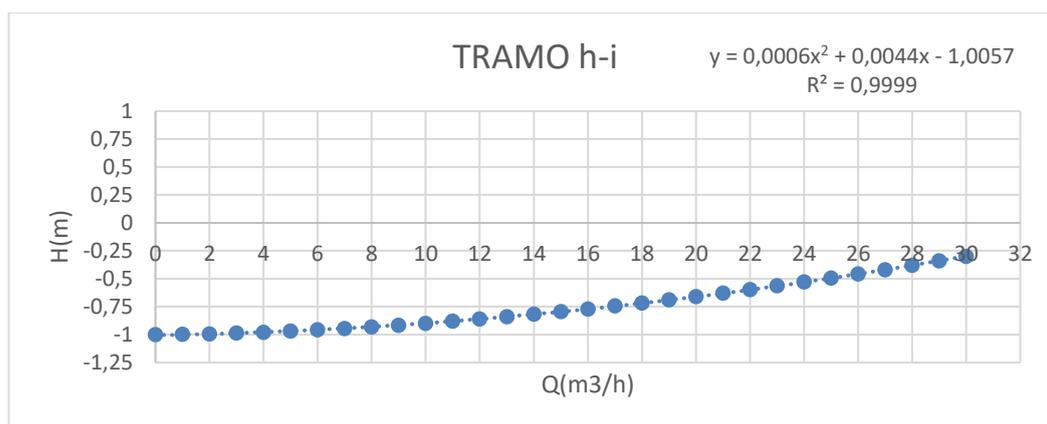


Figura 79. Curva del sistema tramo por gravedad h-i.

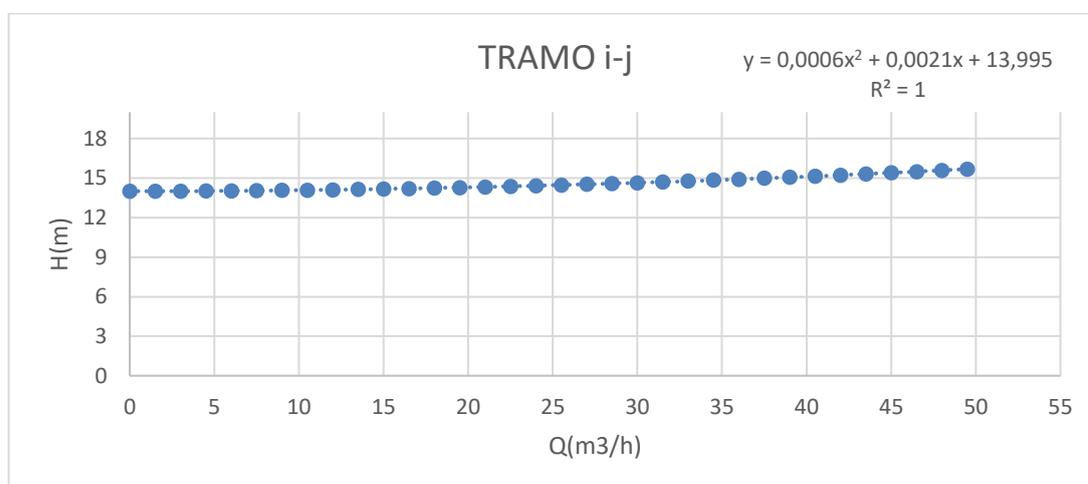


Figura 80. Curva del sistema tramo i-j.



IXPS100-80-125B75P25BDN4S0

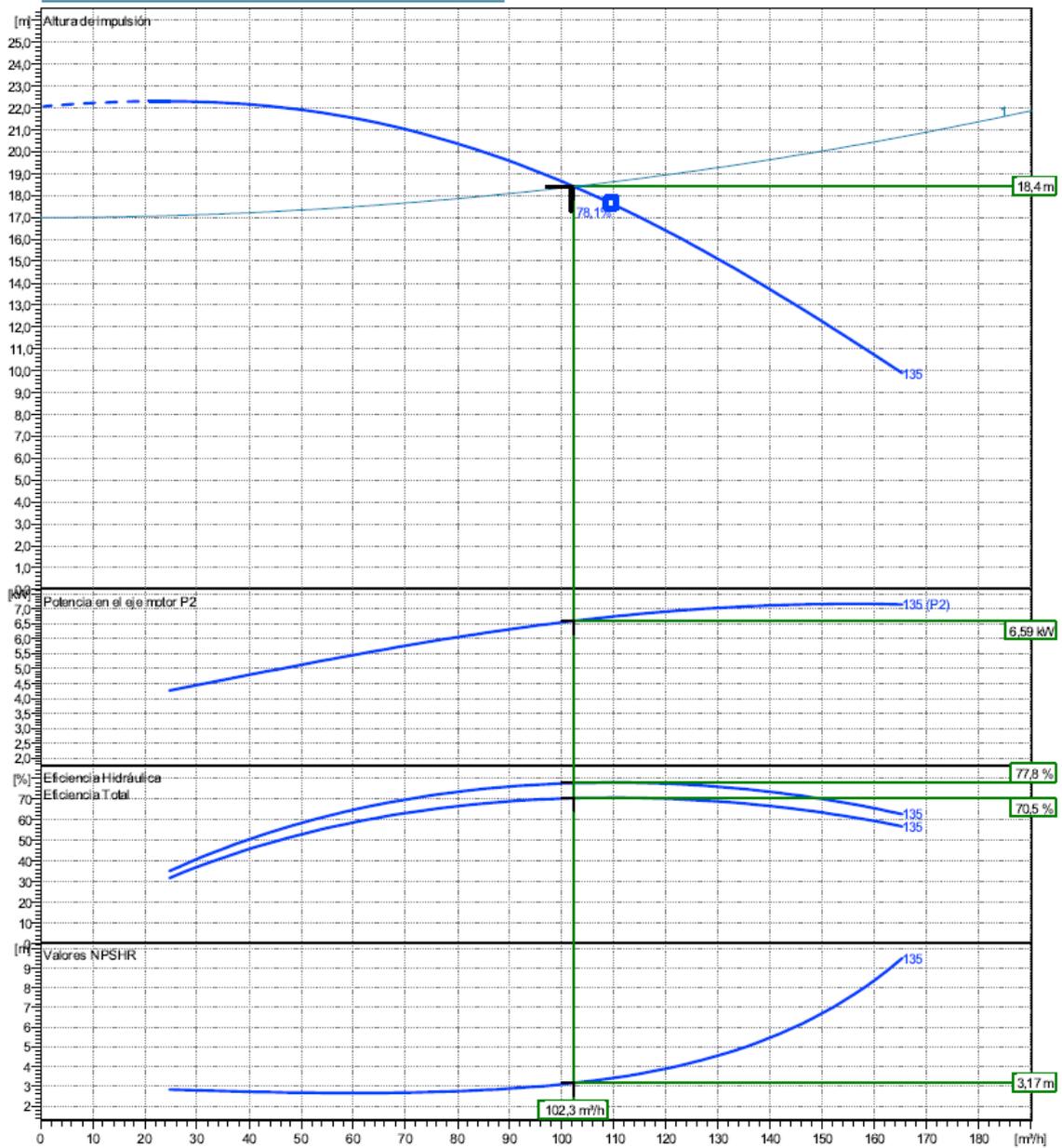


Figura 81. Curvas características de bomba Lowara IXPS 100-80-125B75P25BDN4S0 (Xylem, 2024).

IXPC



IXPC100-80-125B75P25BDN4S1G

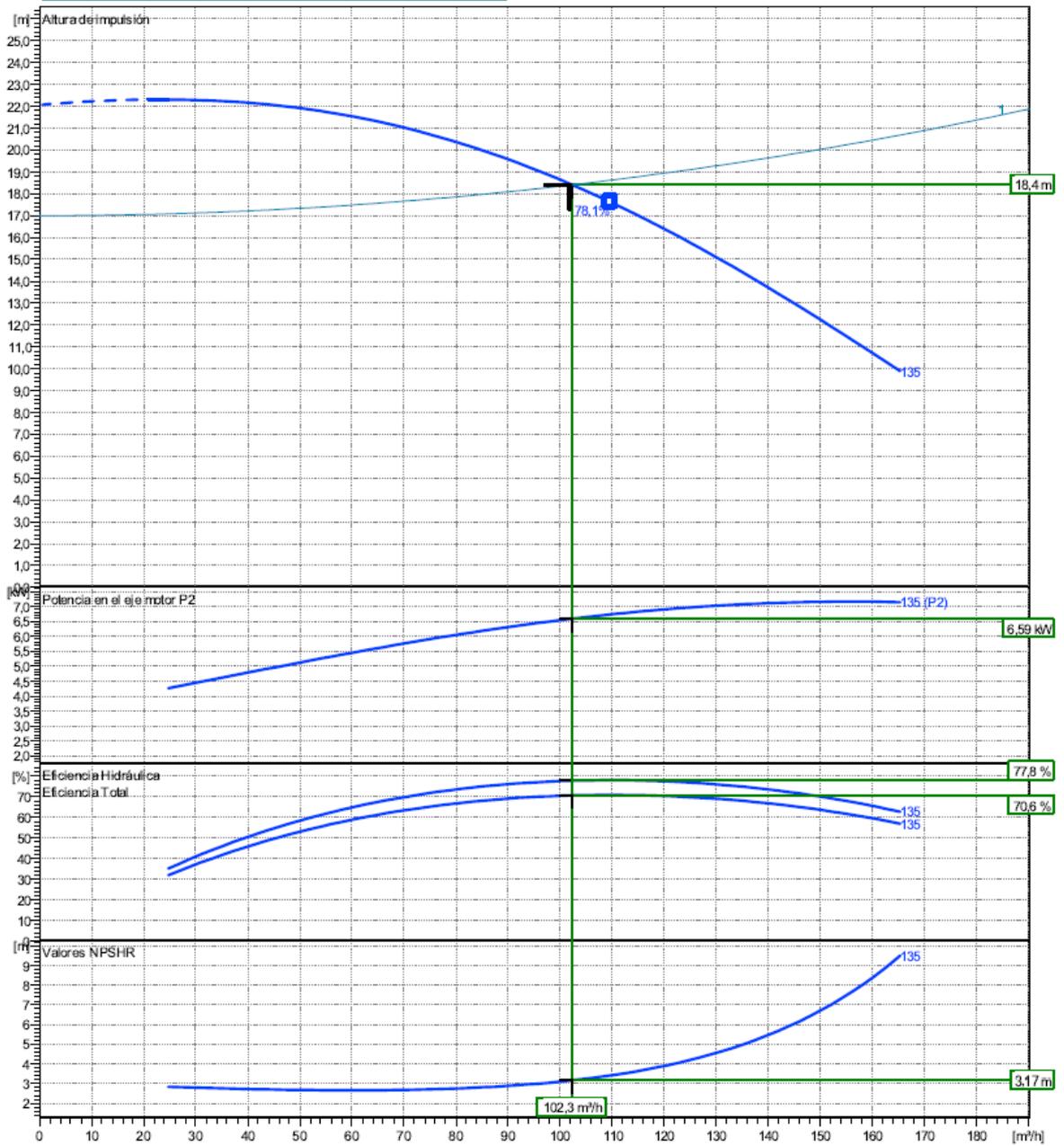


Figura 82. Curvas características de bomba Lowara IXPC 100-80-125B75P25BDN4S1G (Xylem, 2024).



IXPC100-65-250C30P45BDN4S1G

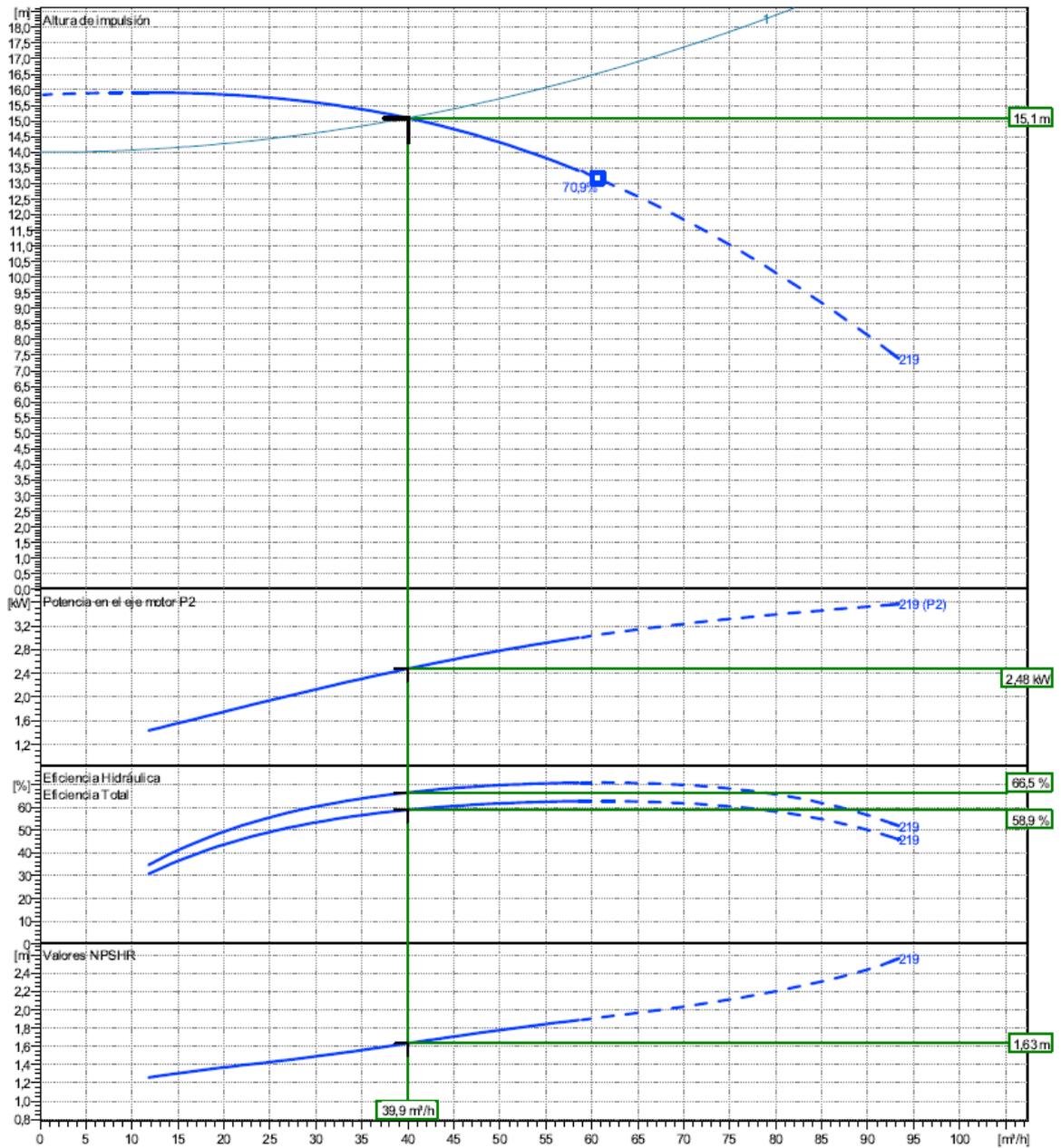


Figura 83. Curvas características de bomba Lowara IXPC 100-65-250C30P45BDN4S1G (Xylem, 2024).



IXPS100-65-250C40P45BDN4S0

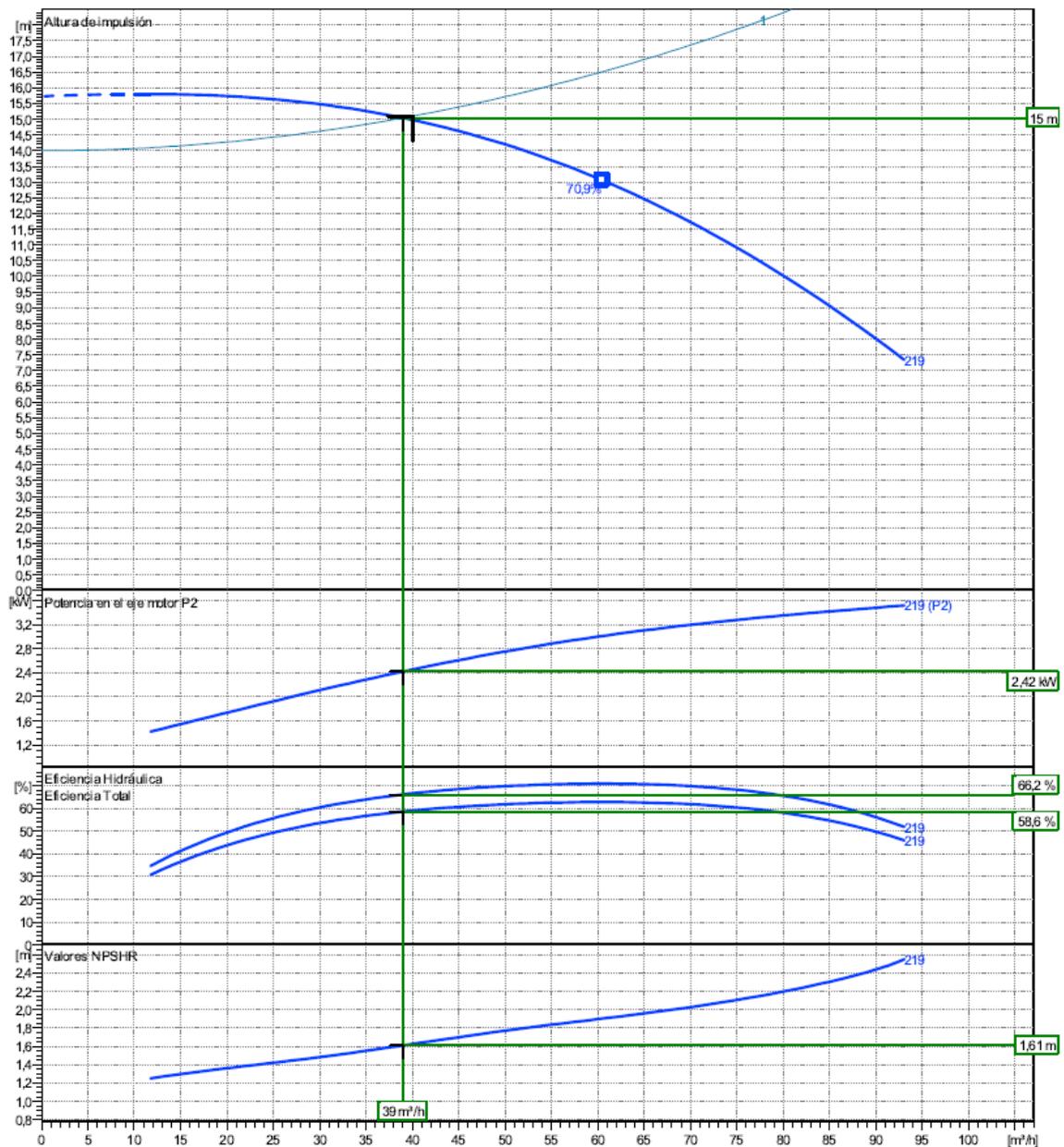


Figura 84. Curvas características de bomba Lowara IXPS 100-65-250C40P45BDN4S0 (Xylem, 2024).

12 ANEXO V

Modelo basado en el consumo como una senoide explicada en ENOHSA (2023) en particular, en el CAPÍTULO XII ALMACENAMIENTO Y REGULACIÓN DE LA PRESIÓN.

$$Q \left[\frac{m^3}{h} \right] = A \operatorname{sen} \left(\frac{\pi}{12} t \right) + \frac{Q_D}{24} \quad (68)$$

$$A = (\alpha_2 - 1) \frac{Q_D}{24} \quad (69)$$

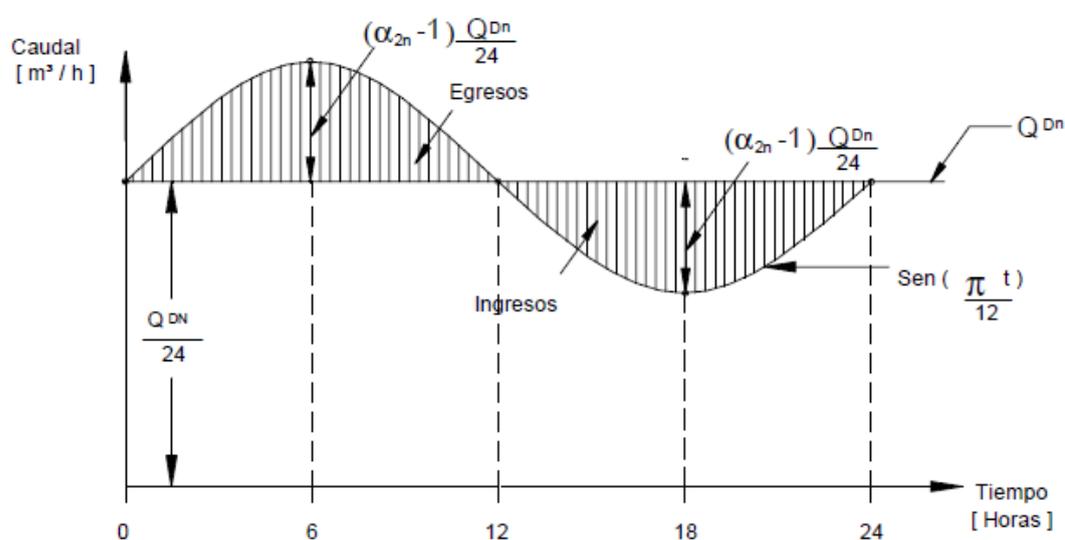


Figura 85. Curva de consumo modelado como una senoide (ENOHSA, 2023).

Las áreas sombreadas de la figura anterior representan respectivamente el exceso (área inferior) y el defecto (área superior) en relación al caudal medio diario del día de máximo consumo. Por lo tanto, el volumen de almacenamiento operacional corresponderá a la integral de cualquiera de dichas superficies. Donde las unidades de las variables a utilizar son Q_D [m^3 /día], t [h] y α_2 [.]

$$V_{op}[m^3] = \int_0^{12} Q dt - \left(12 \frac{Q_D}{24} \right) \quad (70)$$

$$V_{op}[m^3] = \left(\frac{\alpha_2 - 1}{\pi} \right) Q_D \quad (71)$$

13 ANEXO VI

El presente estudio de optimización es puramente matemático y se deberá seleccionar la solución final con aspectos técnico-económicos al considerar los niveles del terreno con los costos de excavación y construcción.

- I. Para los tanques elevados se adopta la forma cilíndrica. V (volumen), r (radio de tanque elevado), h (altura de tanque o cisterna) y R (radio de circunferencia).

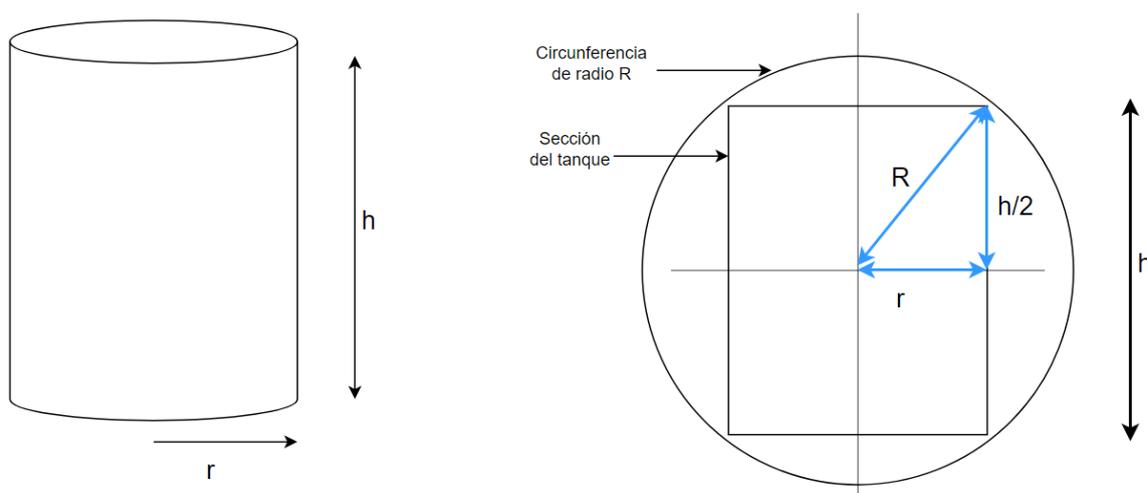


Figura 86. Geometría y dimensiones de tanque de forma cilíndrica.

$$V = \pi r^2 h \quad (72)$$

$$R^2 = r^2 + \left(\frac{h}{2}\right)^2 \quad (73)$$

$$r^2 = R^2 - \left(\frac{h}{2}\right)^2 \quad (74)$$

Reemplazando para obtener el volumen en función de una sola variable se obtiene:

$$V = \pi R^2 h - \frac{\pi}{4} h^3 \quad (75)$$

Para maximizar el volumen se deriva respecto de la altura para encontrar las dimensiones y se iguala a cero:

$$\frac{dV}{dh} = \pi R^2 - \frac{3\pi}{4} h^2 = 0 \quad (76)$$

$$R = \sqrt{\left(\frac{3}{4}\right) h} \quad (77)$$

Se sustituye y se encuentra la dimensión del radio del tanque optimizada:

$$r^2 = \frac{h^2}{2} \quad (78)$$

El volumen del tanque cilíndrico queda en función de la altura de la siguiente forma:

$$V = \frac{\pi h^3}{2} \quad (79)$$

Se puede despejar la altura del tanque en función del volumen de almacenamiento del tanque y se obtiene:

$$h = \left(\frac{2V}{\pi}\right)^{\frac{1}{3}} \quad (80)$$

Tanto la altura como el radio del tanque o cisterna se deberán modificar o corregir en función de las posibilidades de enterrar los tanques, es decir depende del nivel del terreno (NT) y de los niveles máximos fijados en el proyecto para el nivel de agua indicado como (PA).

- II. Para las cisternas se propone que sean de base rectangular, debido a que los costos de excavación se verán incrementados si se decide hacer una cisterna en forma cilíndrica. V (volumen), B (base), L (largo) y H (alto).

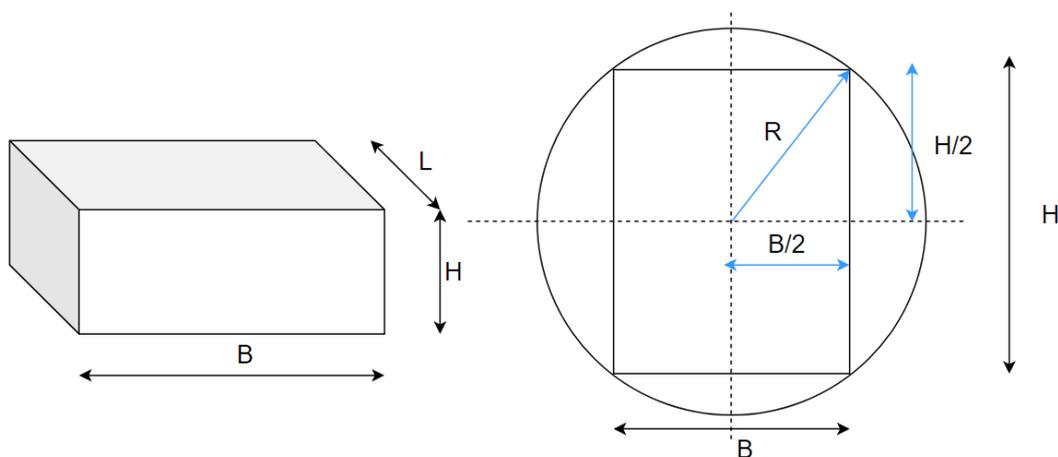


Figura 87. Geometría y dimensiones de cisterna de forma prismática de base rectangular.

$$V = BLH \quad (81)$$

El largo puede tener distintas relaciones con la base ($L=B$; $L=1,5B$; $L=2B$, etc). a fines de dimensionar de forma aproximada la cisterna, se utiliza la relación intermedia de $L=1,5B$.

$$V = 1,5B^2H \quad (82)$$

$$R^2 = \left(\frac{H}{2}\right)^2 + \left(\frac{B}{2}\right)^2 \quad (83)$$

$$B = 2\sqrt{R^2 - \left(\frac{H^2}{4}\right)} \quad (84)$$

Reemplazando en la ecuación del volumen, queda:

$$V = 6HR^2 - \frac{3}{2}H^3 \quad (85)$$

Se deriva la ecuación del volumen en función de la altura y se iguala a cero, obteniendo:

$$\frac{dV}{dH} = 6R^2 - \frac{9}{2}H^2 = 0 \quad (86)$$

$$R^2 = \frac{3}{4}H^2 \quad (87)$$

Se sustituye en la ecuación inicial del volumen resultando:

$$\frac{3}{4}H^2 = \frac{H^2}{4} + \frac{B^2}{4} \quad (88)$$

$$B = \sqrt{2}H \quad (89)$$

El volumen de una cisterna con base rectangular en función de la altura queda definido por:

$$V = 3H^3 \quad (90)$$

Por último, se obtiene la expresión para calcular la altura en función del volumen:

$$H = \left(\frac{V}{3}\right)^{\frac{1}{3}} \quad (91)$$

14 ANEXO VII

Para la selección de la válvula anticipadora de onda se siguieron las recomendaciones del fabricante y se selecciona la inmediata superior a partir del cálculo. Siendo:

- D_V : Diámetro de la válvula en [mm].
- DN_V : Diámetro nominal comercial de la válvula [mm].
- Q : Caudal en el sistema en [m^3/h].
- H_m : Altura manométrica o presión operativa del sistema en [mca].

$$D_V = \sqrt{\frac{250Q}{\sqrt{H_m}}} \quad (92)$$

Tabla 51. Dimensionamiento de válvula anticipadora de onda, lineamientos de fabricante (Dorot, 2024).

$Q(m^3/h)$	$H_m(m)$	$D_V(mm)$	$DN_V(mm)$
227	53	88,3	100

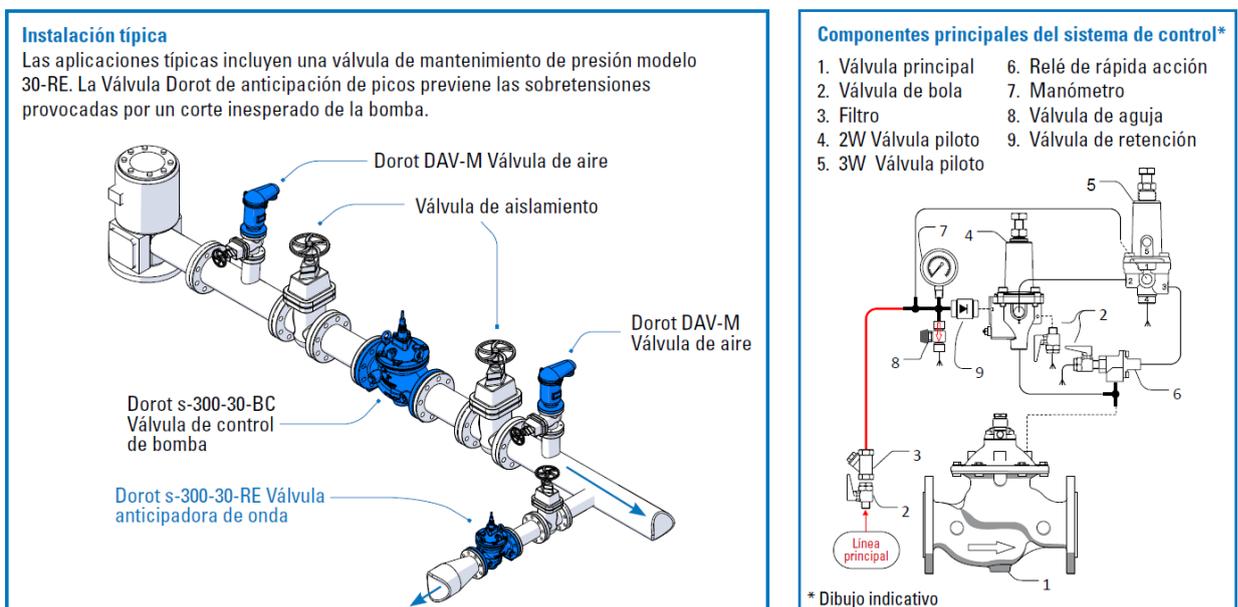


Figura 88. Montaje de válvula anticipadora de onda dado por fabricante (Dorot, 2024).

En el caso de la válvula flotante (válvula de flotador), es una válvula de control de nivel automática, controlada por un piloto, activada por la presión de la tubería. La válvula se cierra cuando el agua asciende al nivel máximo solicitado y se abre cuando el nivel del agua desciende al punto mínimo preestablecido. El diferencial entre los niveles de apertura y cierre es ajustable. El tamaño de la válvula debe ser el mismo de la línea o un tamaño nominal más pequeño. La velocidad de flujo máxima recomendada para operación continua es de 5,5 m/s.

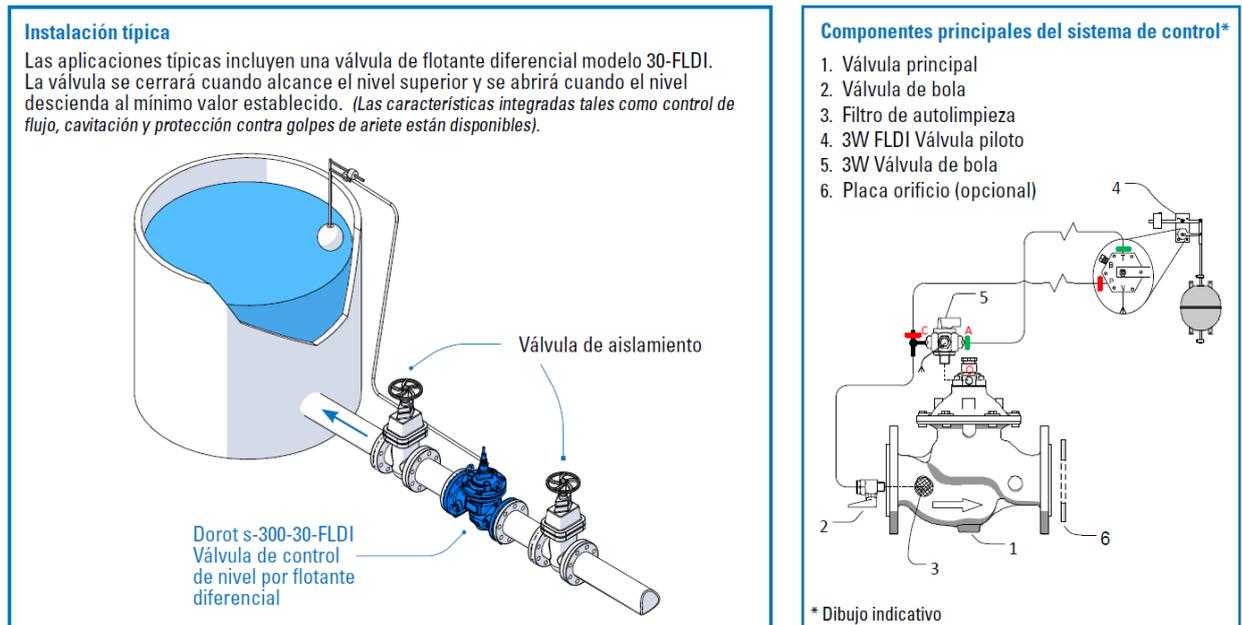


Figura 89. Montaje de la válvula de control de nivel por flotador diferencial dado por fabricante (Dorot, 2024).

15 ANEXO VIII

Tabla 52. Datos sobre depósitos de agua.

Depósitos - Datos básicos								
Nombre	Ni	Nf	Zs (m)	Tipo	S (m ²)	Z0 (m)	Zvar	
Pozo	---	N1	263	GD		264		
C1-CE	N8	N9	302	GD		306		
C1-CO	N10	N11	302	GD		308		

Tabla 53. Datos sobre tuberías del sistema.

Tuberías - Datos básicos											Pérdidas	
Nombre	Ni	Zi (m)	Nf	Zf (m)	Dint (mm)	L (m)	e (mm)	a (m/s)		Perfil	Rug (mm)	k
T1	N1	263	N2	263	230	1	0	271,3361	Calc.	----	-1	0
T2	N3	263	N4	267,5	254,56	6	9,27	1264,1471	Calc.	----	0,046	2,5
T3	N4	267,5	N5	265	235,4	245	7,3	270,7038	Calc.	----	0,0015	1,25
T4	N5	265	N6	306,3	150,6	1410	4,7	271,5335	Calc.	----	0,0015	1,05
T5	N5	265	N7	308,3	211,8	925	6,6	271,3361	Calc.	----	0,0015	0,75

Tabla 54. Datos sobre descarga a presión atmosférica de las tuberías hacia los depósitos en cada tramo.

Ley - Datos básicos									Depósito
Nombre	Nudo	Z (m)	Tipo	Imp Q	Q imp (l/s)	Factor			Depósito
L1	N6	306,3	H						C1-CE
L2	N7	308,3	H						C1-CO

Tabla 55. Datos sobre parámetros de las bombas.

Estación de bombeo - Datos básicos						Instalación			Rotación			Inicial	Paran	Inst. par.	
Nombre	Ni	Nf	Z (m)	Num	Curva	V Reg	V Ret	By-Pass	Nreg	Nnom	I	Calc.	En marcha	Si	10
B1	N2	N3	263	2	Universale	Si	Si	No	2950	2950	0,173	Calc.	En marcha	Si	10
Rendimiento óptimo						V Regulación						V Retención			
Q (l/s)	H (m)	P (Kw)	Rend(%)	DN (mm)	Tipo	Modelo	Maniobra	K							
43,055	44	29,452	63,1	125	Mariposa			62,6							

Se tienen dos opciones para indicar cual es la curva de la bomba, está la opción de curva universal o curva por puntos. La curva por puntos solo me permite trabajar sobre el primer cuadrante para valores de caudal y altura, la curva universal permite que la bomba pueda llegar a trabajar en el 2do y 3er cuadrante.

En régimen permanente con la curva por puntos se obtienen resultados más cercanos a los calculados previamente. Pero si posteriormente se quiere analizar el transitorio no se debe utilizar la curva por puntos, sino que se debe utilizar la curva universal que plantea la curva de la bomba más allá del primer cuadrante.

Tabla 56. Resultados de tramos del sistema con la bomba mediante curva por puntos.

	Nombre	Q(l/s)	V(m/s)	F. Fric.	Per. Fric. (m)	Pérd.men. (m)
1	T1	63.39	1.53	0.00000	0.00	0.00
2	T2	63.39	1.25	0.01623	0.03	0.20
3	T3	63.39	1.46	0.01435	1.61	0.14
4	T4	17.39	0.98	0.01690	7.68	0.05
5	T5	46.00	1.31	0.01494	5.67	0.07

Tabla 57. Resultados para cada bomba con curva por puntos.

	Nombre	bombas	Qb(l/s)	Hb(m)	Pot(Kw)	Rend(%)	Perd. val. ret(m)	Perd. val. reg(m)
1	B1	2	31.70	52.18	27.71	58.56	0.06	0.00

Tabla 58. Resultados de tramos del sistema con bomba mediante curva universal.

	Nombre	Q(l/s)	V(m/s)	F. Fric.	Per. Fric. (m)	Pérd.men. (m)
1	T1	57.05	1.37	0.00000	0.00	0.00
2	T2	57.05	1.12	0.01643	0.02	0.16
3	T3	57.05	1.31	0.01463	1.33	0.11
4	T4	16.01	0.90	0.01718	6.62	0.04
5	T5	41.04	1.16	0.01526	4.61	0.05

Tabla 59. Resultados para cada bomba con curva universal.

	Nombre	bombas	Qb(l/s)	Hb(m)	Pot(Kw)	Rend(%)	Perd. val. ret(m)	Perd. val. reg(m)
1	B1	2	28.52	50.72	26.49	53.58	0.05	0.00

16 ANEXO IX

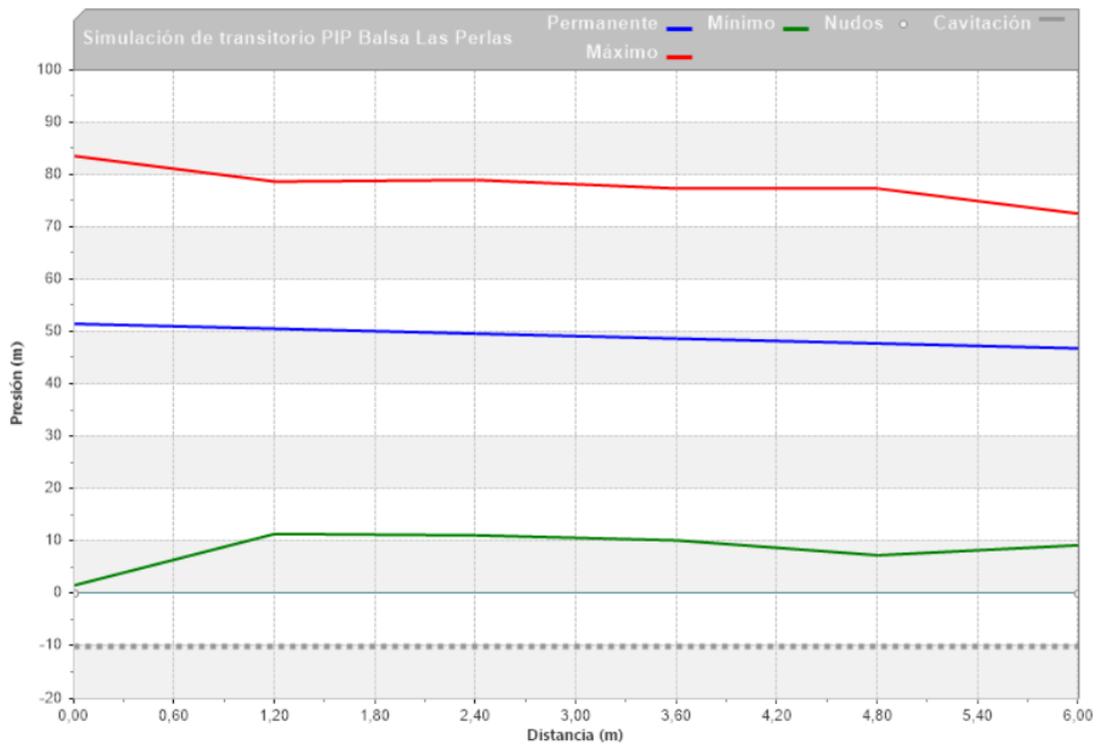


Figura 90. Presión máxima, mínima y permanente en tubería T2 (colector).

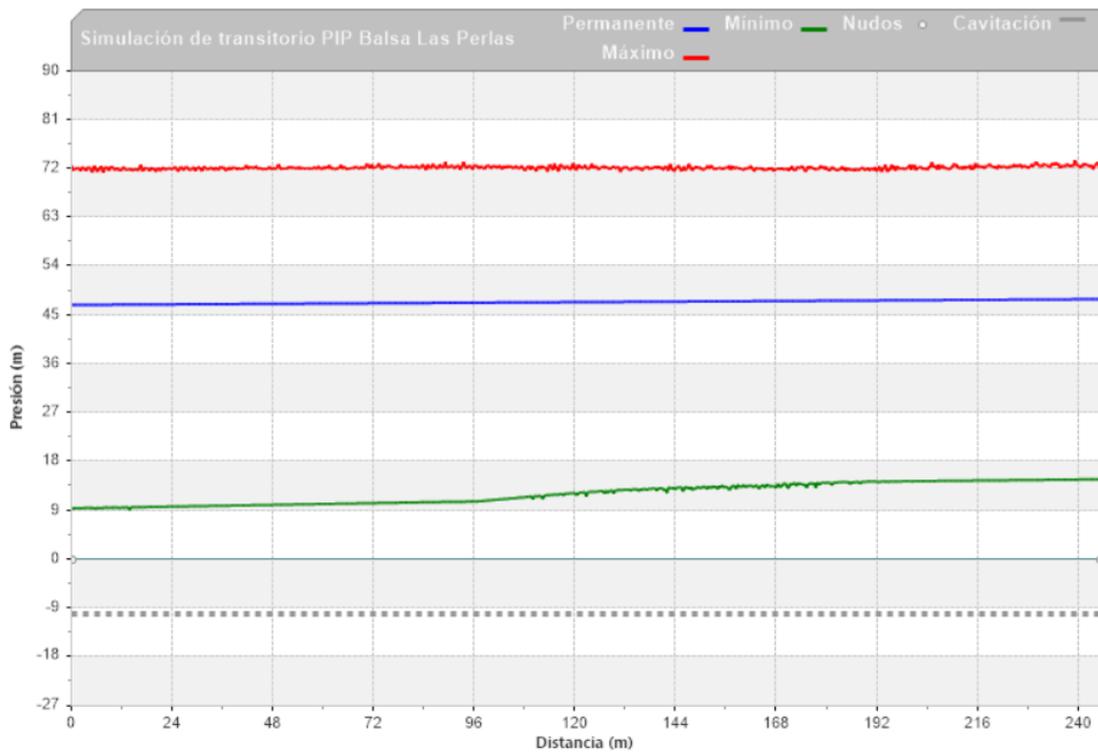


Figura 91. Presión máxima, mínima y permanente en tubería T3 (impulsión del tramo a-b).

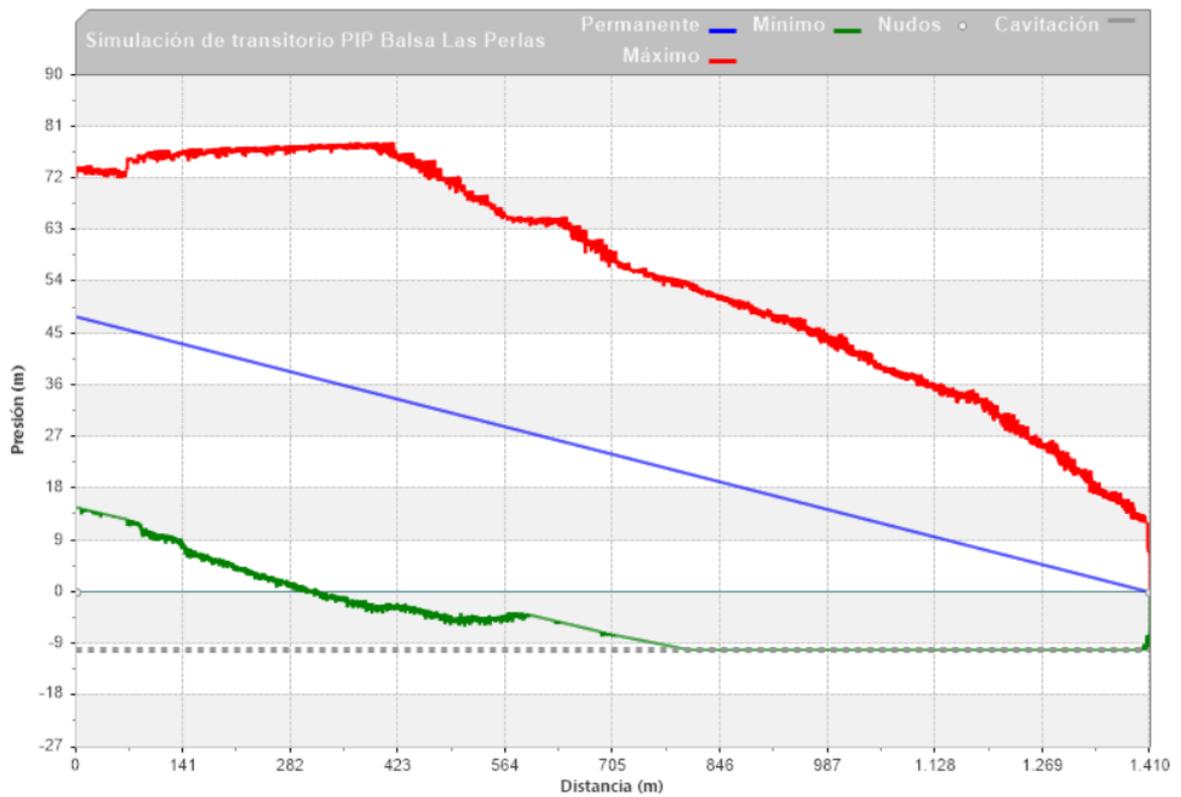


Figura 92. Presión máxima, mínima y permanente en tubería T4 (impulsión del tramo b-e).

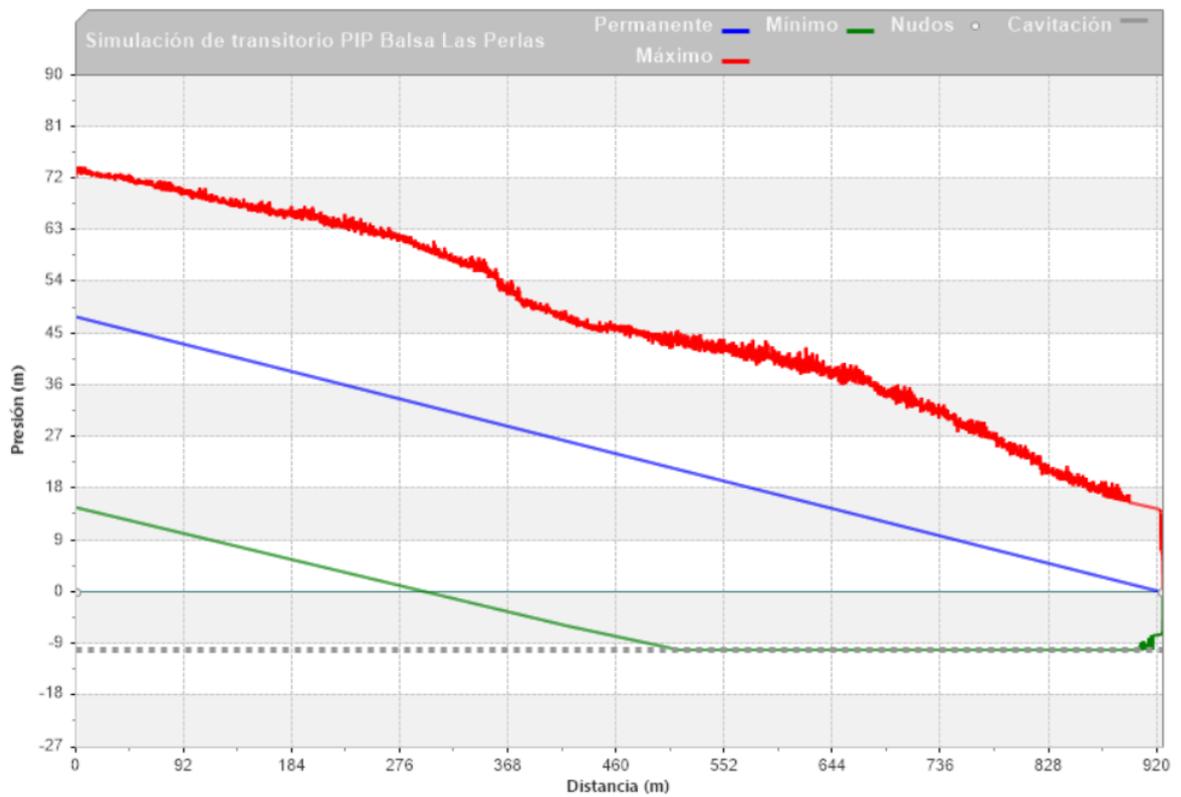


Figura 93. Presión máxima, mínima y permanente en tubería T5 (impulsión tramo b-g).

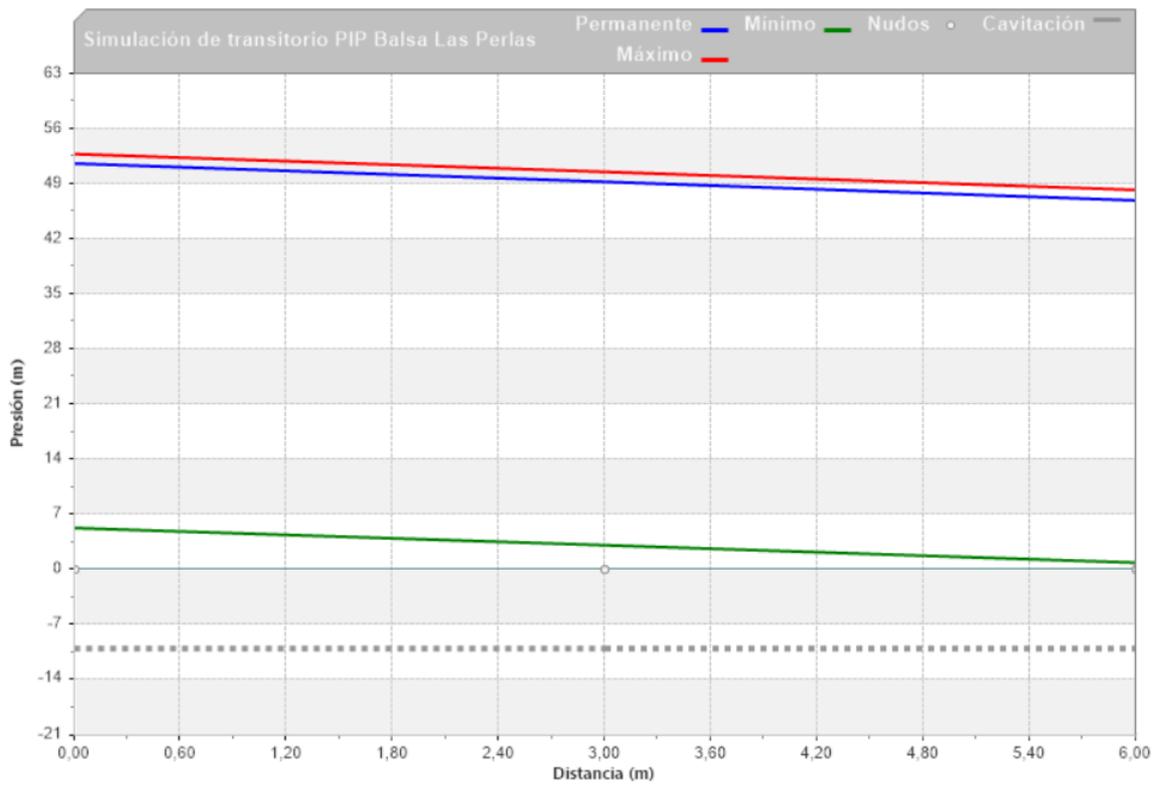


Figura 94. Presión máxima, mínima y permanente en tubería T2 (colector) con VAO.

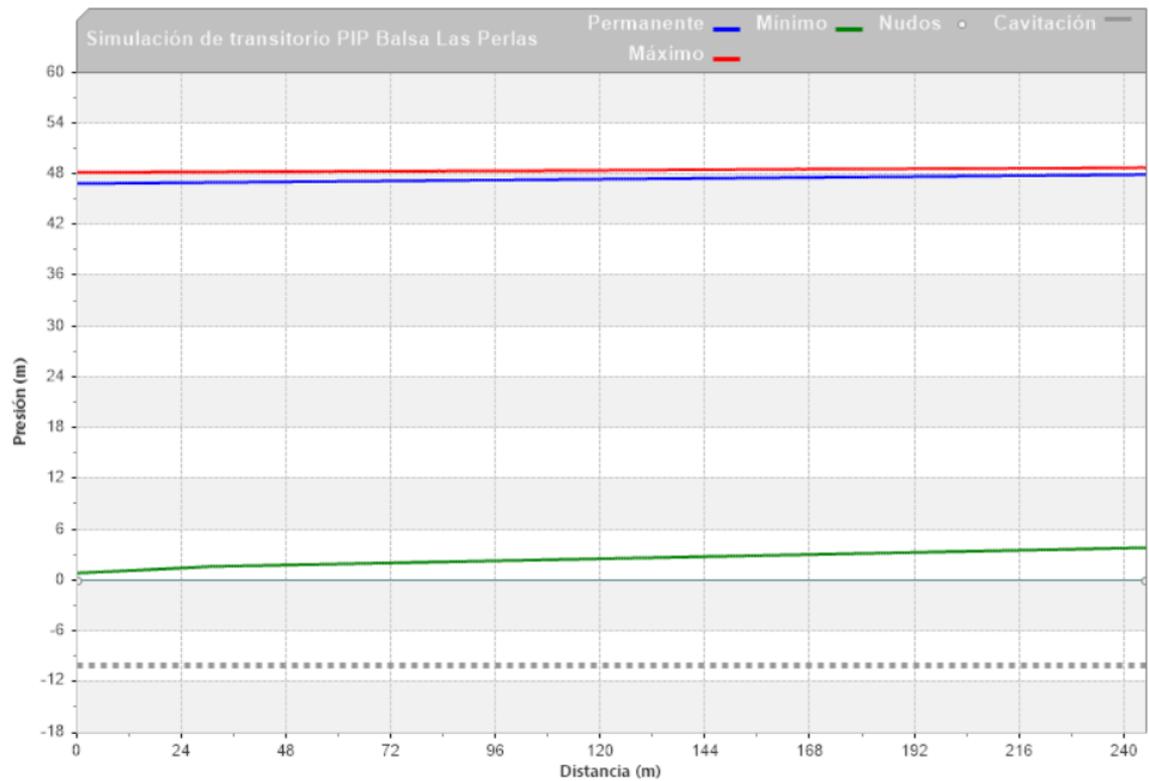


Figura 95. Presión máxima, mínima y permanente en tubería T3 (impulsión tramo a-b) con VAO.

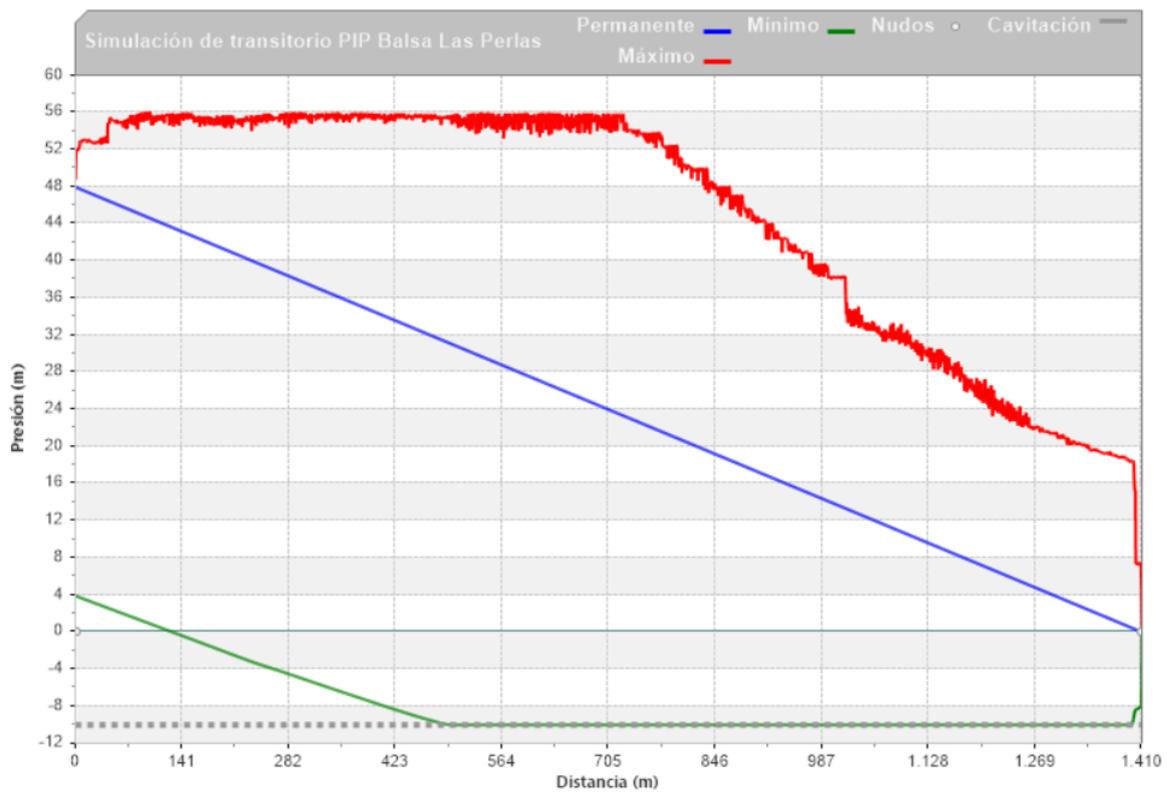


Figura 96. Presión máxima, mínima y permanente en tubería T4 (impulsión tramo b-e) con VAO.

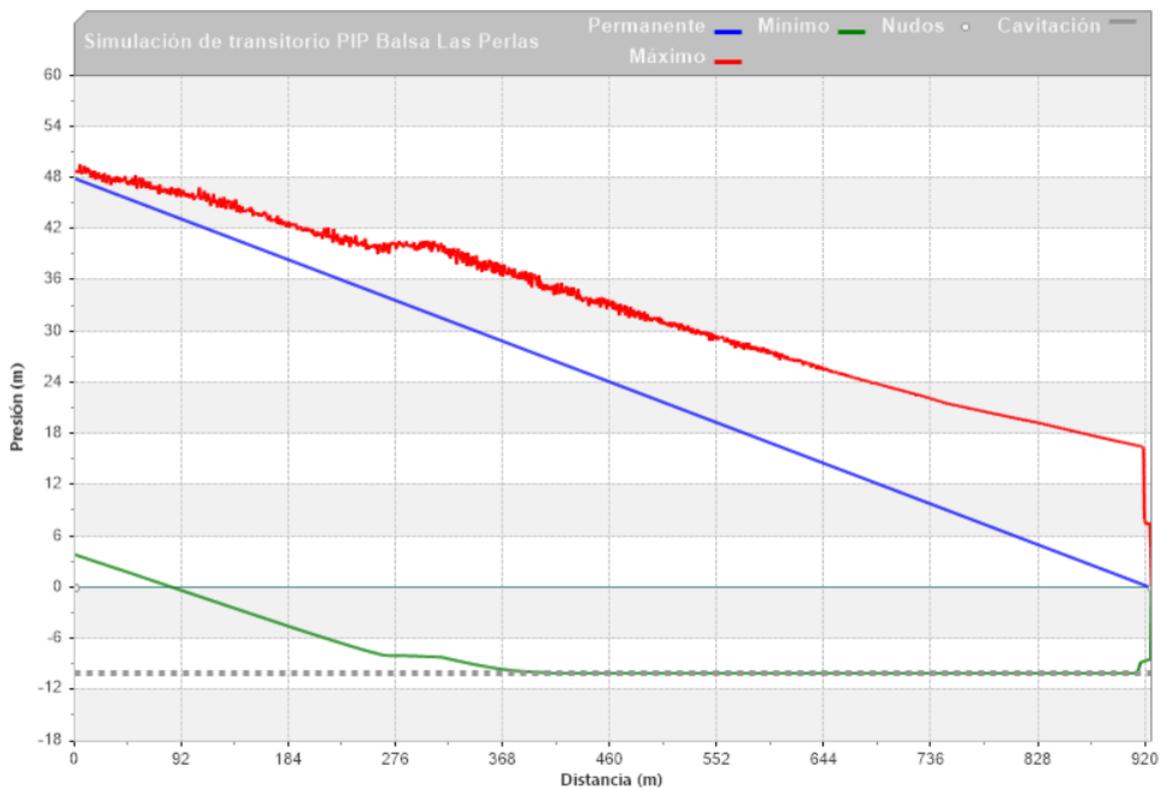


Figura 97. Presión máxima, mínima y permanente en tubería T5 (impulsión tramo b-g) con VAO.

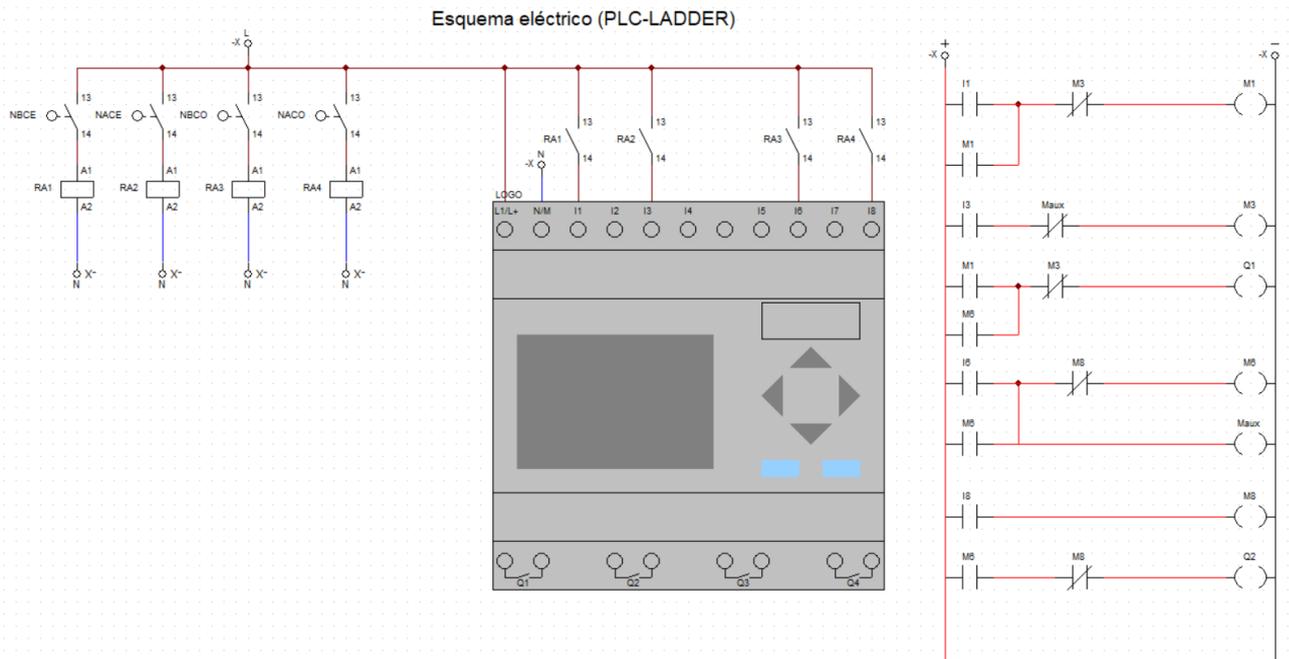


Figura 99. Diagrama de conexión con acercamiento a la lógica del PLC en el tramo (1).

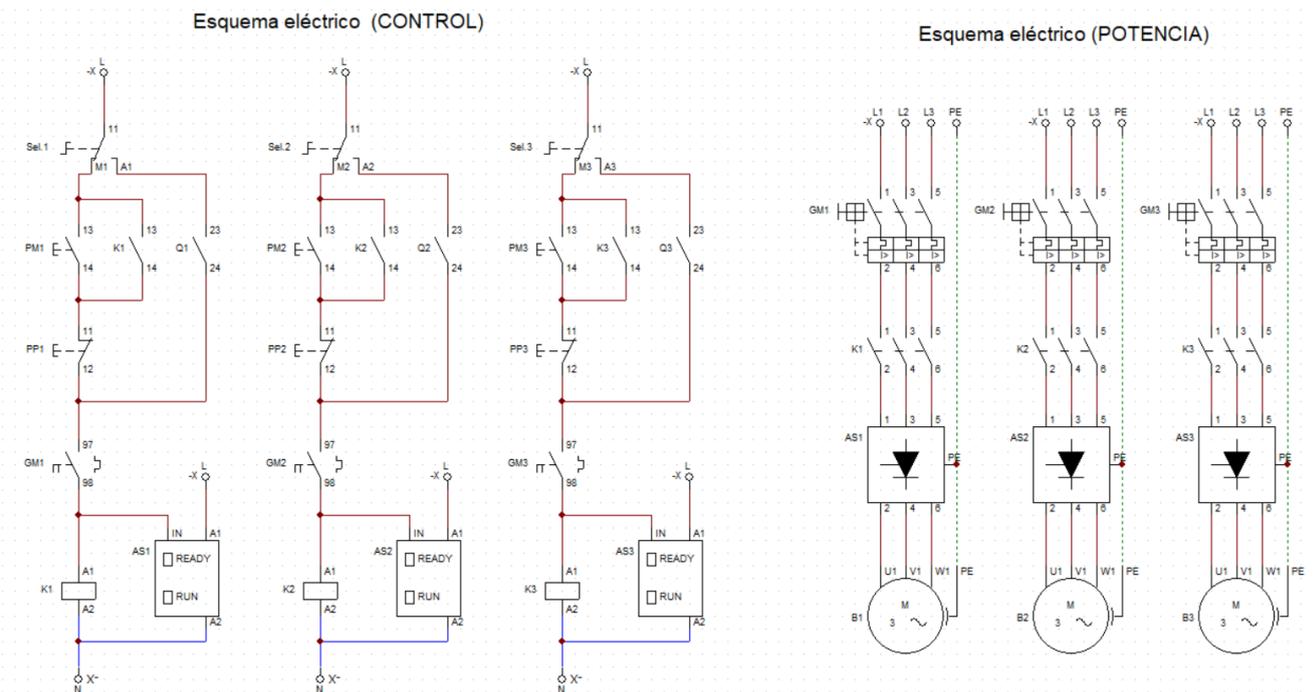


Figura 100. Diagrama de conexión con acercamiento a esquema de control y potencia del tramo (1).

Tabla 60. Elementos básicos para el control eléctrico (protección y maniobra), de las bombas del tramo (1).

Nomenclatura	Descripción	Nombre técnico
IG	Interruptor general	Interruptor termomagnético tetrapolar
TM1	Termomagnética motor bomba 1	Interruptor termomagnético trifásico
TM2	Termomagnética motor bomba 2	Interruptor termomagnético trifásico
TM3	Termomagnética motor bomba 3	Interruptor termomagnético trifásico
GM1	Guarda motor para bomba 1	Guarda motor trifásico
GM2	Guarda motor para bomba 2	Guarda motor trifásico
GM3	Guarda motor para bomba 3	Guarda motor trifásico
K1	Contactador para bomba 1	Contactador trifásico
K2	Contactador para bomba 2	Contactador trifásico
K3	Contactador para bomba 3	Contactador trifásico
AS1	Arrancador suave para bomba 1	Arrancador suave
AS2	Arrancador suave para bomba 2	Arrancador suave
AS3	Arrancador suave para bomba 3	Arrancador suave
B1	Motor bomba 1	Motor sumergible
B2	Motor bomba 2	Motor sumergible
B3	Motor bomba 3	Motor sumergible
PE	Puesta a tierra	Jabalina de puesta a tierra
TMCS	Interruptor Termomagnético Sensores	Interruptor termomagnético monofásico
TMC1	Interruptor termomagnético control bomba 1	Interruptor termomagnético monofásico
TMC2	Interruptor termomagnético control bomba 2	Interruptor termomagnético monofásico
TMC3	Interruptor termomagnético control bomba 3	Interruptor termomagnético monofásico
Sel.1	Selectora manual-automático bomba 1	Llave selectora manual-automático
Sel.2	Selectora manual -automático bomba 2	Llave selectora manual-automático
Sel.3	Selectora manual-automático bomba 3	Llave selectora manual-automático
PM1	Pulsador de marcha modo manual B1	Pulsador
PM2	Pulsador de marcha modo manual B2	Pulsador
PM3	Pulsador de marcha modo manual B3	Pulsador
PP1	Pulsador de parada modo manual B1	Pulsador
PP2	Pulsador de parada modo manual B2	Pulsador
PP3	Pulsador de parada modo manual B3	Pulsador
PLC	PLC LOGO	Control lógico programable
T~/24	Transformador de 220~/24- para sensores	Transformador monofásico de 220V~ a 24V-
NBCE	Nivel bajo Cisterna Este	Sensor de nivel para agua
NACE	Nivel alto Cisterna Este	Sensor de nivel para agua
NBCO	Nivel bajo Cisterna Oeste	Sensor de nivel para agua
NACO	Nivel alto Cisterna Oeste	Sensor de nivel para agua
RA1	Relé auxiliar de sensor NBCE	Relé
RA2	Relé auxiliar de sensor NACE	Relé
RA3	Relé auxiliar de sensor NBCO	Relé
RA4	Relé auxiliar de sensor NACO	Relé

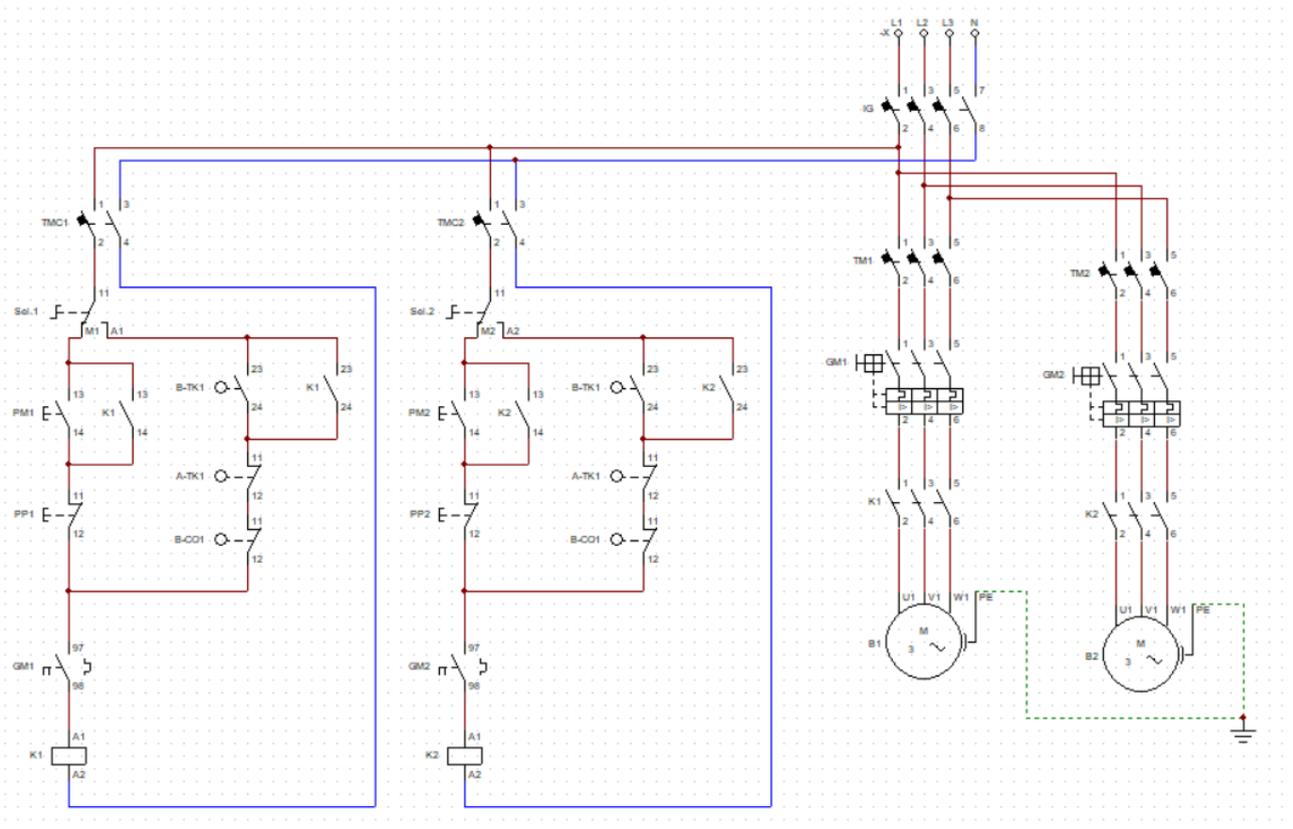


Figura 101. Diagrama de conexión eléctrica tramo (2) completo, (C1-CO a Tk1-CO).

Tabla 61. Elementos básicos para el control eléctrico (protección y maniobra), de las bombas del tramo (2).

Nomenclatura	Descripción	Nombre técnico
IG	Interruptor general	Interruptor termomagnético tetrapolar
TM1	Termomagnética motor bomba 1	Interruptor termomagnético trifásico
TM2	Termomagnética motor bomba 2	Interruptor termomagnético trifásico
GM1	Guarda motor para bomba 1	Guarda motor trifásico
GM2	Guarda motor para bomba 2	Guarda motor trifásico
K1	Contactora para bomba 1	Contactora trifásico
K2	Contactora para bomba 2	Contactora trifásico
B1	Motor bomba 1	Motor sumergible
B2	Motor bomba 2	Motor sumergible
PE	Puesta a tierra	Jabalina de puesta a tierra
TMC1	Interruptor termomagnético control bomba 1	Interruptor termomagnético monofásico
TMC2	Interruptor termomagnético control bomba 2	Interruptor termomagnético monofásico
Sel.1	Selectora manual-automático bomba 1	Llave selectora manual-automático
Sel.2	Selectora manual -automático bomba 2	Llave selectora manual-automático
PM1	Pulsador de marcha modo manual B1	Pulsador
PM2	Pulsador de marcha modo manual B2	Pulsador
PP1	Pulsador de parada modo manual B1	Pulsador
PP2	Pulsador de parada modo manual B2	Pulsador
B-TK1	Nivel bajo Tanque elevado TK1	Sensor de nivel para agua
A-TK1	Nivel alto Tanque elevado Tk1	Sensor de nivel para agua
B-CO1	Nivel bajo Cisterna C1-CO	Sensor de nivel para agua

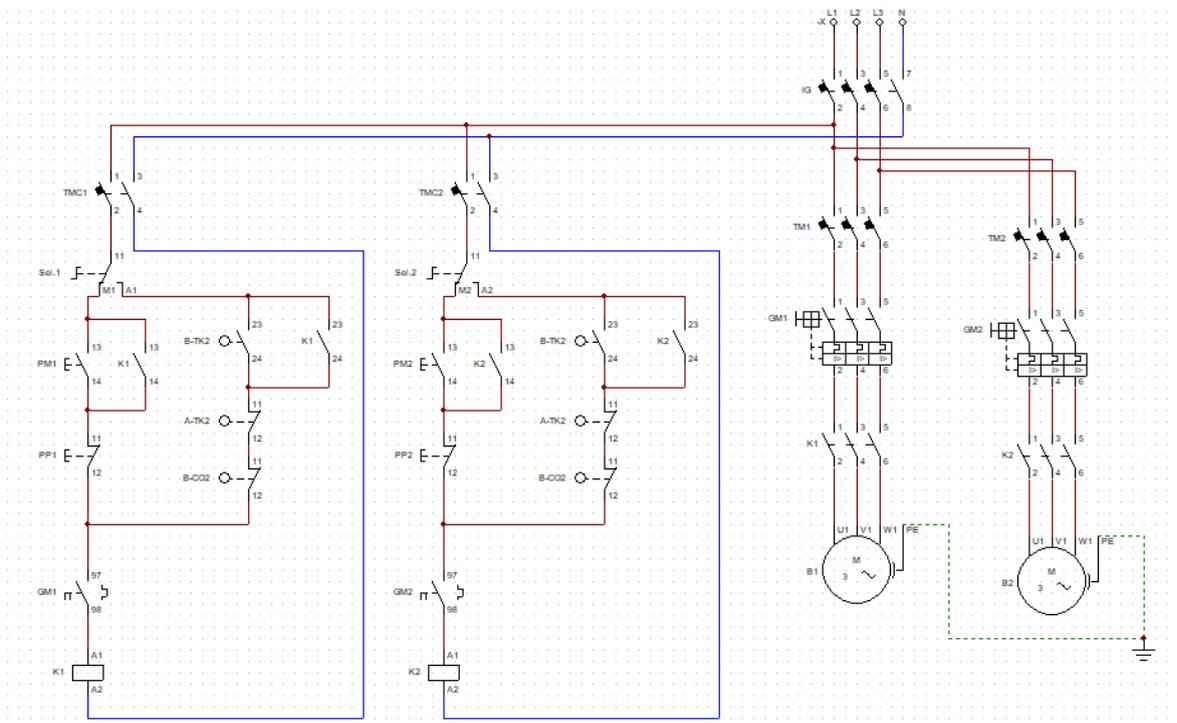


Figura 102. Diagrama de conexión eléctrica tramo (3) completo, (C2-CO a Tk2-CO).

Tabla 62. Elementos básicos para el control eléctrico (protección y maniobra), de las bombas del tramo (3).

Nomenclatura	Descripción	Nombre técnico
IG	Interruptor general	Interruptor termomagnético tetrapolar
TM1	Termomagnética motor bomba 1	Interruptor termomagnético trifásico
TM2	Termomagnética motor bomba 2	Interruptor termomagnético trifásico
GM1	Guarda motor para bomba 1	Guarda motor trifásico
GM2	Guarda motor para bomba 2	Guarda motor trifásico
K1	Contactador para bomba 1	Contactador trifásico
K2	Contactador para bomba 2	Contactador trifásico
B1	Motor bomba 1	Motor sumergible
B2	Motor bomba 2	Motor sumergible
PE	Puesta a tierra	Jabalina de puesta a tierra
TMC1	Interruptor termomagnético control bomba 1	Interruptor termomagnético monofásico
TMC2	Interruptor termomagnético control bomba 2	Interruptor termomagnético monofásico
Sel.1	Selectora manual-automático bomba 1	Llave selectora manual-automático
Sel.2	Selectora manual -automático bomba 2	Llave selectora manual-automático
PM1	Pulsador de marcha modo manual B1	Pulsador
PM2	Pulsador de marcha modo manual B2	Pulsador
PP1	Pulsador de parada modo manual B1	Pulsador
PP2	Pulsador de parada modo manual B2	Pulsador
B-TK2	Nivel bajo Tanque elevado TK2	Sensor de nivel para agua
A-TK2	Nivel alto Tanque elevado Tk2	Sensor de nivel para agua
B-CO2	Nivel bajo Cisterna C2-CO	Sensor de nivel para agua