

Diseño de un sistema de bombeo para abastecimiento de la demanda de agua potable de la localidad de Balsa Las Perlas – sector Este, Provincia de Río Negro, Rep. Argentina



QUIROGA, Carlos Matias Martin (ING-5273)

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 sistema de bombeo para abastecimiento de la demanda de agua potable de la localidad de Balsa Las Perlas – sector Este, Provincia de Río Negro, Rep. Argentina

QUIROGA, Carlos Matias Martin

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 sistema de bombeo para abastecimiento de la demanda de agua potable de la localidad de Balsa Las Perlas – sector Este, Provincia de Río Negro, Rep. Argentina

QUIROGA, Carlos Matias Martin

Aprobado en fecha 13 de diciembre de 2024

Tribunal evaluador:

- Dr. Ing. Ricardo A. Prado
- Mg. Ing. María Ayelén Mármora
- Ing. Rojas Fabian

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a todos quienes me acompañaron y brindaron su apoyo a lo largo de mi formación académica como ingeniero mecánico.

A mi familia, mis padres y mi hermana, quienes incondicionalmente, estuvieron presentes. Su ayuda, aliento y paciencia fueron esenciales en mi camino para formarme como ingeniero; sin su apoyo, este logro no hubiera sido posible.

A mis profesores, quienes compartieron sus enseñanzas en mi paso por la universidad. En especial, agradezco a mi director de Proyecto Integrador Profesional, Orlando Audisio, y a mi co-director, Ariel Marchegiani, por su guía y acompañamiento en el desarrollo de mi trabajo final de carrera. También, a los miembros del jurado, por su dedicación y compromiso.

Quiero agradecer también a la Universidad Nacional del Comahue, que me abrió sus puertas y me brindó la oportunidad de formarme como profesional.

A mis amigos externos a la facultad, que me alentaron constantemente a seguir adelante, y a los nuevos amigos que encontré en la universidad, con quienes compartí grandes momentos y de quienes he aprendido mucho a lo largo de este tiempo.

Diseño de un sistema de bombeo para abastecimiento de la demanda de agua potable de la localidad de Balsa Las Perlas – sector Este, Provincia de Río Negro, Rep. Argentina

Autor: QUIROGA, Carlos Matias Martin

Director: Mg. Ing. AUDISIO, Orlando Aníbal

Co-Director: Ing. MARCHEGANI, Ariel Ricardo

Resumen

El agua potable es un recurso esencial para la vida y el desarrollo humano, cuya provisión adecuada representa un desafío en muchas comunidades. En la localidad de Balsa Las Perlas, Río Negro, se ha identificado que la infraestructura actual no podrá satisfacer la creciente demanda de agua potable proyectada para 2038, cuando se estima que la población alcanzará aproximadamente 60.000 habitantes.

Este trabajo tiene como objetivo diseñar un sistema de bombeo para el sector este de la localidad, que garantice un abastecimiento sostenible. El diseño incluye la captación mediante pozos filtrantes, sistemas de bombeo primario y rebombeo hacia tanques elevados, considerando aspectos técnicos, económicos y ambientales.

El proyecto siguió metodologías reconocidas, como las de ENOHSa y Ulrich & Eppinger, e incluyó la simulación de operación del sistema para prevenir problemas como el golpe de ariete. A partir de los análisis realizados, se concluyó que es posible implementar un sistema técnicamente viable y sostenible, que permita garantizar el acceso continuo a agua potable para la población futura.

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

**Design of a pumping system to supply the demand for potable water in the
locality of Balsa Las Perlas - Eastern sector, Province of Río Negro, Argentina
Republic**

Author: QUIROGA, Carlos Matias Martin

Advisor: Mg. Eng. AUDISIO, Orlando Aníbal

Co-Advisor: Eng. MARCHEGANI, Ariel Ricardo

Summary

Drinking water is an essential resource for life and human development, whose adequate provision represents a challenge in many communities. In the town of Balsa Las Perlas, Río Negro, it has been identified that the current infrastructure will not be able to meet the growing demand for drinking water projected for 2038, when it is estimated that the population will reach approximately 60.000 inhabitants.

This work aims to design a pumping system for the eastern sector of the town, which guarantees a sustainable supply. The design includes collection through filter wells, primary pumping systems and re-pumping to elevated tanks, considering technical, economic and environmental aspects.

The project followed recognized methodologies, such as those of ENOHSa and Ulrich & Eppinger, and included simulation of system operation to prevent problems such as water hammer. From the analyzes carried out, it was concluded that it is possible to implement a technically viable and sustainable system, which allows guaranteeing continuous access to drinking water for the future population.

Keywords: Pumping system, drinking water, supply, flow rate.

Índice

AGRADECIMIENTOS.....	iv
RESUMEN.....	v
ABSTRACT.....	vi
1 INTRODUCCIÓN.....	1
2 OBJETIVO	5
2.1 Objetivo General.....	5
2.2 Objetivos Específicos.....	5
3 ÁMBITO DE DESARROLLO DEL PIP	5
4 MARCO TEÓRICO.....	7
4.1 Conceptos básicos de bombeo	7
4.1.1 Principios de Funcionamiento de las Bombas.....	7
4.1.2 Tipos de Bombas Utilizadas en Sistemas de Agua Potable.....	7
4.1.3 Aplicaciones Específicas	8
4.2 Diseño hidráulico de sistemas de bombeo de agua potable	9
4.2.1 Conceptos de flujo en sistemas de agua potable.....	11
4.2.2 Pérdida de Carga	13
4.2.3 Diámetro de las Tuberías de Impulsión.....	15
4.3 Definición de sistema de bombeo para agua potable y las partes que lo componen.....	15
4.3.1 Partes Principales de un Sistema de Bombeo para Agua Potable	17
4.3.2 Tipos de Sistemas de Bombeo y su Esquema de Funcionamiento.....	18

4.3.2.1	Sistemas en Serie.....	18
4.3.2.2	Sistemas en Paralelo.....	19
4.3.2.3	Sistemas Alternados.....	19
4.3.2.4	Selección del Tipo de Sistema.....	21
4.3.3	Conceptos de Bombeo: Selección, Instalación y Funcionamiento.....	21
4.3.3.1	Bombas Seleccionadas.....	21
4.3.3.2	Diámetro Económico.....	22
4.3.3.3	Válvulas, Accesorios y Su Función.....	23
4.3.3.4	Golpe de Ariete y Elementos de Protección.....	23
4.3.4	Parámetros Principales para el Dimensionado de Sistemas de Bombeo para Agua Potable.....	24
4.3.4.1	Población Actual y Futura.....	24
4.3.4.2	Caudal de Diseño.....	24
4.3.4.3	Caudal de Bombeo.....	26
4.3.4.4	Pozos filtrantes.....	26
4.3.4.5	Reservorios.....	27
4.3.4.6	Tipos de Reservorios.....	27
4.3.4.7	Determinación del Volumen.....	27
4.3.4.8	Potabilización.....	27
4.3.4.9	Parámetros Relevantes.....	28
4.4	Selección de equipos en sistemas de bombeo.....	28

4.4.1	Criterios para la Selección de Equipos.....	29
4.4.2	Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo.....	31
4.4.3	Operación y Mantenimiento de Sistemas de Bombeo.....	32
4.5	Regulaciones locales, nacionales e internacionales	33
4.5.1	Regulaciones Locales, Nacionales e Internacionales	33
4.5.2	Requisitos de Calidad del Agua	34
4.5.3	Impacto de los Requisitos de Calidad en el Diseño y la Operación del Sistema.....	35
4.6	Consideraciones económicas y financieras en sistemas de bombeo de agua potable	36
4.6.1	Costos Asociados a la Instalación, Operación y Mantenimiento	36
4.6.2	Estrategias para Optimizar la Inversión.....	38
4.6.3	Sostenibilidad del proyecto	38
5	METODOLOGÍA	39
6	DESARROLLO.....	45
6.1	Recopilación de información	45
6.1.1	Ubicación del área de estudio.....	45
6.1.2	Ubicación del área de estudio ampliada a escala de localidad a intervenir	45
6.1.2.1	Estado actual de las instalaciones.....	47
6.2	Relevamientos In-Situ.....	50
6.3	Demanda hídrica	55
6.4	Análisis de restricciones y consideraciones ambientales y tecnológicas	60

6.5	Realizar un diseño preliminar del sistema de bombeo que se ajuste a todas las condiciones de bordes que el mismo posee.....	61
6.5.1	Tuberías.....	63
6.5.2	Sector Pozo-a-1A/2A	67
6.5.3	Bombas de fondo (pozo)	78
6.5.4	Bombas (entre cisternas y tanques)	84
6.5.4.1	C1-EE a TK1-EE.....	85
6.5.4.2	C1-EO a TK1-EO.....	87
6.5.4.3	C2-EO a TK2-EO.....	89
6.5.4.4	C2-EE a TK2-EE / C2-EE a TK3-EE.....	91
6.5.5	Tanques	93
6.5.5.1	Volumen operacional	95
6.5.5.2	Volumen para Emergencias.....	96
6.5.5.3	Volúmenes totales	97
6.5.5.4	Material	102
6.5.6	Válvulas.....	103
6.5.6.1	Pozos - Cisternas	104
6.5.6.2	Cisternas – Tanques.....	107
6.5.7	Pozo filtrante	108
6.5.7.1	Caracterización.....	108
6.5.7.2	Cálculo hidráulico	109

6.6	Simulación de la operación del sistema en régimen permanente y transitorio	115
6.6.1	Tramo pozo a Cisternas C1-EE / C1-EO.....	115
6.7	Desarrollar un plan integral para el lanzamiento del sistema.....	130
6.7.1	1. Objetivo.....	131
6.7.2	2. Alcance.....	131
6.7.3	3. Fases del Proyecto.....	131
6.7.3.1	Fase 1: Logística y Preparación (Mes 1-2).....	131
6.7.3.2	Fase 2: Instalación y Puesta en Marcha (Mes 3-5).....	132
6.7.3.3	Fase 3: Operación y Monitoreo (Mes 6-12)	133
6.7.3.4	Fase 4: Mantenimiento Preventivo y Correctivo (Mes 6-12).....	134
6.7.4	4. Cronograma tentativo.....	134
7	CONCLUSIONES.....	136
8	REFERENCIAS	137
9	ANEXO I.....	139
10	ANEXO II.....	144
11	ANEXO III.....	158
12	ANEXO IV.....	164
13	ANEXO V	166

Índice de Figuras

Figura 1. Sector este de Balsa Las Perlas (Google Earth Pro, 2024).....	2
Figura 2. Zona de extracción de agua en Balsa Las Perlas (Google Earth Pro, 2024).	3
Figura 3. Zona nueva y antigua de extracción de agua en Balsa Las Perlas (Google Earth Pro, 2024).	3
Figura 4. Fotografía satelital de zona de estudio (Google Earth Pro, 2024).....	6
Figura 5. Esquema de fluido en tubo uniforme para ecuación de continuidad. (Jiménez Carballo, 2017).....	10
Figura 6. Cronograma de tareas PIP.	44
Figura 7. Ubicación geográfica de Balsa Las Perlas con respecto a otras ciudades (Google Earth Pro, 2024).....	45
Figura 8. Identificación de sector este. (Google Earth Pro, 2024).....	46
Figura 9. Esquema de ubicación de tanques, cisternas y pozos filtrantes.....	47
Figura 10. Sector donde actualmente se extrae agua.	48
Figura 11. Fotografía del interior del recinto donde se extra actualmente agua.	48
Figura 12. Fotografía de válvula en el exterior del recinto donde se extrae agua.	49
Figura 13. Válvula mariposa de apertura a chimenea con pérdidas de fluido y salinidad.	49
Figura 14. Zona antigua y nueva de extracción de agua (Google Earth pro, 2024).	51
Figura 15. Fotografía desde dron de la nueva zona de emplazamiento.	51
Figura 16. Zona de cisternas actuales y tanques elevados sobre barrio Muten II (Google Earth Pro, 2024).....	52
Figura 17. Fotografía desde dron de la zona de rebombeo actual.	52

Figura 18. Fotografía en vista superior de zona de rebombeo actual.	53
Figura 19. Fotografía de la cisterna actual del sistema de rebombeo.	53
Figura 20. Fotografía de la zona donde comienza la tubería de PVC enterrada actual.	54
Figura 21. Tanque elevado existente en barrio Muten II.	55
Figura 22. Croquis de ubicación de zona de abastecimiento este.	56
Figura 23. Esquema de funcionamiento y demanda zona este.	57
Figura 24. Esquema de planta zona este.	58
Figura 25. Esquema de caudales y ramales con consumos.	62
Figura 26. Sector de pozos hasta las primeras cisternas.	67
Figura 27. Gráfico de curva de sistema a-1A.	70
Figura 28. Gráfico de curva de sistema a-2A.	72
Figura 29. Figura 20-1e (Mataix, 1982).	72
Figura 30. Sistema equivalente de canales 1 y 2 desde la bifurcación.	74
Figura 31. Gráfica sistema desde pozos hasta bifurcación (punto a).	76
Figura 32. Gráfica de la curva del sistema hasta las primeras cisternas.	78
Figura 33. Fotografía de catálogo (Xylem, 2024). Instalación tipo (P) en fosa húmeda.	80
Figura 34. Gráfica de potencia para bomba seleccionada. Extraída de catálogo de fabricante (Xylem, 2024).	81
Figura 35. Gráfica de eficiencia, altura y NPSH para la bomba seleccionada. Extraída de catálogo del fabricante (Xylem, 2024).	82
Figura 36. Gráfica de punto de funcionamiento de sistema equivalente con bombas en paralelo.	83

Figura 37. Curva del sistema en ramales 1 y 2 para dos bombas en paralelo.....	84
Figura 38. Gráfico sistema C1-EE a TK1-EE.	87
Figura 39. Gráfico sistema C1-EO a TK1-EO.....	89
Figura 40. Gráfico del sistema C2-EO a TK2-EO.....	91
Figura 41. Gráfico del sistema C2-EE a TK2-EE / C2-EE a TK3-EE.	93
Figura 42. Esquema de caudales por cada tramo en vista en planta del sistema.	94
Figura 43. Gráfica de consumos sinusoidal. ENHOSa (2023).	95
Figura 44. Vista en planta del sistema con indicación conexiones entre tanques.....	98
Figura 45. Formulario de mantenimiento. Extraído de ENHOSa.....	102
Figura 46. Esquema típico de sistema de bombeo de succión positiva (Interagua, 2015).....	103
Figura 47. Conexión típica de estación de bombeo con cañería de alivio de presión.	103
Figura 48. Conexión en pozos preliminar.....	104
Figura 49. Conexión entrada a cisterna.	105
Figura 50. Imagen de catálogo DOROT (Dorot, 2024).....	106
Figura 51. Esquema de funcionamiento de válvula de flotador diferencial. (Dorot, 2024).....	106
Figura 52. Esquema de conexión con válvulas en sistema cisterna-tanque con bomba.	107
Figura 53. Esquema de conexión de sistema tanque-cisterna.....	108
Figura 54. Esquema de galerías que comprometen la parte superior del acuífero con recarga superficial. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (2002).	109
Figura 55. Esquema de galerías que comprometen a la parte superior del acuífero adyacente a una fuente de recarga superficial. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (2002).	111

Figura 56. Esquema de capas dentro de pozo filtrante.	115
Figura 57. Esquema en Allievi de tramo pozo a primeras cisternas.	116
Figura 58. Alturas geométricas de pozos y cisternas.	116
Figura 59. Datos básicos de tuberías para simulación.	116
Figura 60. Datos básicos de estación de bombeo.	117
Figura 61. Gráfico de simulación presión en función de la distancia.	117
Figura 62. Esquema de ramales con válvulas anticipadoras de presión.	118
Figura 63. Gráfica simulación con válvula anticipadora de onda.	119
Figura 64. Esquema de ramales con válvula anticipadora de onda y cuatro ventosas.	119
Figura 65. Gráfica de simulación sistema con cuatro ventosas y dos válvulas anticipadoras de onda	120
Figura 66. Esquema de instalación con dos calderines.	121
Figura 67. Gráfica de simulación con dos calderines.	121
Figura 68. Gráfica de simulación en régimen transitorio tramo T9.	122
Figura 69. Gráfica de simulación en régimen transitorio T8.	122
Figura 70. Esquema de instalación con dos calderines y dos ventosas.	123
Figura 71. Gráfica de simulación con dos calderines y dos ventosas.	124
Figura 72. Gráfica de simulación con dos calderines y cuatro ventosas.	124
Figura 73. Gráfica de simulación con dos calderines y diez ventosas.	125
Figura 74. Gráfica de simulación con dos calderines (3,81m ³ y 2,19bar) sin ventosas.	126
Figura 75. Gráfica de simulación con dos calderines (7,85m ³ y 5bar).	126

Figura 76. Esquema de sistema con tres calderines.....	127
Figura 77. Parámetros de calderines.....	127
Figura 78. Gráfica de simulación con tres calderines.....	128
Figura 79. Gráfica costo total por cada diámetro en tramo pozo-a.....	147
Figura 80. Costos totales por cada diámetro para el tramo a-1A.....	152
Figura 81. Costos totales por cada diámetro para el tramo a-2A.....	157
Figura 82. Fotografía de catálogo de bomba BS 2250 HT 3~ 433.....	159
Figura 83. Fotografía de catálogo de bomba BS 2201 HT 3~ 266.....	160
Figura 84. Fotografía de catálogo de bomba NP 3202 SH 3~ 272.....	163
Figura 85. Esquema en planta del sistema propuesto para sector desde pozos hasta las primeras cisternas.....	164
Figura 86. Esquema de funcionamiento de todo el sistema.....	166
Figura 87. Esquema de funcionamiento - Segmento 1.....	167
Figura 88. Esquema de funcionamiento - Segmento 2.....	168
Figura 89. Esquema de funcionamiento - Segmento 3.....	170

Índice de Tablas

Tabla 1. Fases y Subfases de un proyecto según ENHOSa (2023).	41
Tabla 2. Fases y Subfases del PIP.	42
Tabla 3. Proyecciones poblacionales.	59
Tabla 4. QMH para cada subsistema.	60
Tabla 5. Tabla de relaciones entre coeficientes. Extraída de Guías Agua Potable (ENHOSa, 2023). 61	
Tabla 6. Valores de coeficientes extraídos de Guías Agua Potable (ENHOSa, 2023).	62
Tabla 7. Caudal medio diario requerido por cada elemento.	63
Tabla 8. Caudales medio diario y de bombeo requeridos por cada tramo.	63
Tabla 9. Estimación temprana de diámetros de tubería.	64
Tabla 10. Diámetros óptimos para conducción de fluido.	66
Tabla 11. Coeficientes de pérdidas localizadas sector a - 1A.	68
Tabla 12. Valores para curva de sistema a-1A.	69
Tabla 13. Curva del sistema a-2A.	71
Tabla 14. Caudales según cada altura para cada ramal.	74
Tabla 15. Curva del sistema en paralelo desde pozo hacia bifurcación.	75
Tabla 16. Altura equivalente de sistema en serie pozo - primeras cisternas.	77
Tabla 17. Parámetros de la bomba seleccionada.	81
Tabla 18. Pérdidas localizadas en tramo C1-EE a TK1-EE.	85
Tabla 19. Curva del sistema tramo C1-EE a TK1-EE.	86
Tabla 20. Pérdidas localizadas en tramo C1-EO a TK1-EO.	88

Tabla 21. Curva del sistema tramo C1-EO a TK1-EO.	88
Tabla 22. Pérdidas localizadas en tramo C2-EO a TK2-EO.....	90
Tabla 23. Curva del sistema tramo C2-EO a TK2-EO.	90
Tabla 24. Pérdidas localizadas en tramo C2-EE a TK2-EE / C2-EE a TK3-EE.	92
Tabla 25. Curva del sistema C2-EE a TK2-EE / C2-EE a TK3-EE.	92
Tabla 26. Volumen operacional en función de α_2 . ENHOSa (2023).	96
Tabla 27. Predimensionamiento de volúmenes tanques y cisternas.	98
Tabla 28. Elementos con volumen de 50m ³	99
Tabla 29. Elementos con volumen de 500m ³	99
Tabla 30. Elementos con volumen de 900m ³	101
Tabla 31. Elementos con volumen de 1000m ³	101
Tabla 32. Parámetros principales de diseño de galerías.	110
Tabla 33. Parámetros de diseño de galerías filtrantes.....	111
Tabla 34. Conductividad hidráulica para cálculo de pozo filtrante.	112
Tabla 35. Parámetros de diseño para galería filtrante.....	113
Tabla 36. Diámetros de pozo en función del abatimiento.	113
Tabla 37. Parámetros de calderines C2 y C3.....	129
Tabla 38. Parámetros de calderín C4.....	129
Tabla 39. Cronograma tentativo de actividades para lanzamiento del sistema.	135
Tabla 40. Datos de instalación tramo pozo-a.....	144
Tabla 41. Rango de tuberías a estudiar tramo pozo-a.....	144

Tabla 42. Costos fijos tubería tramo pozo-a.....	145
Tabla 43. Costos fijos equipos tramo pozo-a.....	145
Tabla 44. Costos variables tramo pozo-a.....	146
Tabla 45. Costos totales por cada diámetro tramo pozo-a.....	147
Tabla 46. Datos de instalación tramo a-1A.....	148
Tabla 47. Rango de tuberías a estudiar tramo a-1A.....	148
Tabla 48. Costos fijos tubería tramo a-1A.....	149
Tabla 49. Costos fijos de equipos en tramo a-1A.....	150
Tabla 50. Costos variables tramo a-1A.....	151
Tabla 51. Costos totales por cada diámetro para el tramo a-1A.....	152
Tabla 52. Datos de instalación tramo a-2A.....	153
Tabla 53. Rango de tuberías a estudiar tramo a-2A.....	153
Tabla 54. Costos fijos de tubería en tramo a-2A.....	154
Tabla 55. Costos fijos de equipos para el tramo a-2A.....	155
Tabla 56. Costos variables para el tramo a-2A.....	156
Tabla 57. Costos totales por cada diámetro tramo a-2A.....	157
Tabla 58. Referencias de esquema de planta propuesto.....	165
Tabla 59. Referencias en esquema - Segmento 1.....	167
Tabla 60. Referencias en esquema - Segmento 2.....	169
Tabla 61. Referencias en esquema - Segmento 2.....	170

1 INTRODUCCIÓN

El suministro sostenible de agua para consumo humano es una preocupación vital en el desarrollo urbano, especialmente en áreas donde la demanda supera la oferta existente. El presente proyecto de ingeniería se centra en abordar la creciente brecha entre la demanda y la disponibilidad de agua en la localidad de Balsa Las Perlas, ubicada dentro del ejido de Cipolletti – Río Negro. En dicha localidad reside actualmente un aproximado de 18.000 habitantes, cifra que se proyecta aumentará a 60.000 en los próximos 15 años. Este dato es provisto por los directores del proyecto como fuente de bases históricas de censos (INDEC, 2024) con proyecciones futuras mediante métodos de proyección lineal, geométricas constante, geométrica decreciente y relación-tendencia.

Hoy en día, en gran medida, los residentes de la zona son responsables de la captación, tratamiento y distribución del agua debido a que la infraestructura actual no es suficiente para el abastecimiento total de la población. Se han constituido cooperativas o comisiones vecinales para gestionar de manera autónoma el suministro de agua en dicha localidad. En algunas ocasiones, cada habitante se abastece individualmente de agua para sus necesidades diarias.

La propuesta para este proyecto consiste en diseñar y calcular un sistema de bombeo que extraiga agua desde pozos filtrantes en una zona cercana a la orilla del río Limay, permitiendo su distribución a través de tuberías hacia tanques reservorios estratégicamente ubicados, beneficiando al sector este de la población, la cual se estima según las proyecciones poblacionales en 18.000 habitantes. Esta estimación surge a partir del área a abastecer 2,52 km² en la zona este, junto con la densidad poblacional promedio de 7145 habitantes/km² (Vialidad Rionegrina, 2019). En la Figura 1 se indica el sector este de la localidad.



Figura 1. Sector este de Balsa Las Perlas (Google Earth Pro, 2024).

La complejidad de este desafío radica en la necesidad de optimizar el suministro de agua actual sin interferir con la vida cotidiana de los habitantes que residen a lo largo de la traza planificada para las tuberías. Esto se pretende lograr procurando proyectar la traza de las tuberías fuera del polígono urbano, teniendo en cuenta factores técnico-económicos que permitan su factibilidad. Es imperativo que mediante el proyecto se satisfaga la creciente demanda de agua potable, respetando las normativas legales y siguiendo las mejores prácticas de ingeniería buscando mejorar la calidad de vida de la comunidad. En la Figura 2 se indica la zona de extracción de agua. En la Figura 3 se amplía la vista satelital de la zona de extracción de agua, indicando la zona desde la cual actualmente se extrae el recurso (indicada como antigua zona de extracción) y la nueva zona proyectada para la realización de los pozos filtrantes, indicada como nueva zona de extracción. La separación entre ambas es de 200 m.



Figura 2. Zona de extracción de agua en Balsa Las Perlas (Google Earth Pro, 2024).



Figura 3. Zona nueva y antigua de extracción de agua en Balsa Las Perlas (Google Earth Pro, 2024).

El diseño del sistema de bombeo se fundamenta en la utilización de bombas rotodinámicas para elevar el agua desde los pozos filtrantes hasta tanques reservorios, empleando metodologías específicas adaptadas a sistemas hidráulicos similares. Un exhaustivo relevamiento dimensional y caracterización del suelo ha sido realizado para asegurar la viabilidad técnica del proyecto. Dicha caracterización queda fuera del alcance actual, puesto que ha sido realizada por la licenciada Verdugo en su trabajo final titulado “Caracterización de acuíferos en el área Balsa Las Perlas, provincia de Río Negro, Argentina”, presentado en 2023 y avalado por la Universidad Nacional del Comahue (Verdugo, 2023).

2 OBJETIVO

A continuación, se indican los objetivos generales y específicos de este proyecto.

2.1 Objetivo General

Diseñar a nivel de anteproyecto, un sistema de bombeo para el abastecimiento de agua potable al sector este de la población de Balsa Las Perlas.

2.2 Objetivos Específicos

- Diseñar el pozo filtrante desde el cual se realizará la extracción de agua.
- Diseñar el sistema de bombeo en zona de pozo filtrante hasta la reservorio.
- Diseñar el sistema de rebombeo desde reservorio hasta tanque elevado.
- Evaluar y comparar opciones de diseño desde una perspectiva técnica y económica.

3 ÁMBITO DE DESARROLLO DEL PIP

El trabajo será realizado para satisfacer una demanda real en lo inherente a consumo de agua para la población del sector este de Balsa Las Perlas con el objetivo de brindar un valor agregado a la comunidad, siguiendo los lineamientos propuestos desde puestos por los Docentes de las cátedras de Máquinas Hidráulicas para ingeniería mecánica (FaIn – UNCo) y como una continuación de las actividades desarrolladas por los mismos en cuanto a las tareas de vinculación de la Universidad para con el medio.

En la Figura 4 se indica la zona geográfica desde donde se extraerá el agua y el barrio donde estarán ubicados los tanques de rebombeo y almacenamiento.

El desarrollo del estudio para la elaboración del presente proyecto será realizado con la asistencia de los docentes del Laboratorio de Máquinas Hidráulicas, tomando como datos bases parámetros y/o cotas relevadas previamente por la Licenciada Verdugo (2023) en el lugar; esto será cotejado con diversas visitas realizadas en el lugar.



Figura 4. Fotografía satelital de zona de estudio (Google Earth Pro, 2024).

4 MARCO TEÓRICO

En el marco teórico se busca establecer los conceptos necesarios para el correcto entendimiento del documento.

4.1 Conceptos básicos de bombeo

En esta sección se describen los conceptos de las bombas utilizadas y sus aplicaciones.

4.1.1 Principios de Funcionamiento de las Bombas

Las bombas son dispositivos diseñados para mover fluidos, como agua, de un lugar a otro, superando diferencias de altura y presión. Su funcionamiento se basa en la conversión de energía mecánica en energía hidráulica, generando así la fuerza necesaria para impulsar el fluido (Mataix, 1982). Existen diversos principios de funcionamiento según el tipo de bomba, pero los más comunes se dividen en dos categorías principales: bombas de desplazamiento positivo y bombas rotodinámicas.

- **Bombas de Desplazamiento Positivo:** Estas bombas funcionan atrapando una cantidad fija de fluido y desplazándolo mediante el movimiento de uno o más elementos mecánicos, como émbolos o engranajes. Son ideales para aplicaciones que requieren un caudal constante y altas presiones. (Mataix, 1982)
- **Bombas Rotodinámicas:** Operan añadiendo energía cinética al fluido mediante un impulsor giratorio, que luego se convierte en energía de presión. Son adecuadas para caudales altos y variabilidad en la demanda de presión. Dentro de esta categoría, las bombas centrífugas son las más comunes. (Mataix, 1982)

4.1.2 Tipos de Bombas Utilizadas en Sistemas de Agua Potable

Según ENHOSa (2023), en los sistemas de agua potable, se utilizan varios tipos de bombas, cada una seleccionada según la aplicación específica y las condiciones operativas:

- **Bombas Centrífugas:** Son las más utilizadas debido a su eficiencia y capacidad para manejar grandes volúmenes de agua. Funcionan mediante un impulsor que gira dentro de una carcasa, aumentando la velocidad del agua y convirtiéndola en presión. Son ideales para el abastecimiento de agua a gran escala, sistemas de distribución urbana y plantas de tratamiento de agua.

- **Bombas de Pistón y Émbolo:** Estas bombas de desplazamiento positivo se utilizan en aplicaciones donde se requieren altas presiones y caudales más bajos. Son comunes en sistemas de presurización y en situaciones donde el agua debe ser impulsada a grandes alturas o distancias.
- **Bombas de Diafragma:** También de desplazamiento positivo, son utilizadas en aplicaciones que requieren la manipulación de agua con posibles partículas o contaminantes, debido a su diseño que permite mantener el fluido aislado de los componentes mecánicos internos. Son comunes en sistemas de tratamiento de agua y procesos industriales.

4.1.3 Aplicaciones Específicas

Las bombas desempeñan roles cruciales en diversas etapas del suministro y tratamiento de agua potable (ENHOSa, 2023):

- **Captación y Elevación:** En esta etapa, las bombas son utilizadas para extraer agua de fuentes naturales como ríos, lagos y pozos, y elevarla hasta las plantas de tratamiento o sistemas de almacenamiento. Las bombas centrífugas y de tornillo son comunes en estas aplicaciones debido a su capacidad para manejar grandes volúmenes y sólidos en suspensión.
- **Tratamiento de Agua:** Durante el tratamiento, las bombas se emplean para transportar agua a través de diferentes etapas del proceso, como coagulación, sedimentación, filtración y desinfección. Las bombas de diafragma y centrífugas son frecuentemente utilizadas aquí, especialmente en sistemas que requieren un control preciso del caudal y presión.
- **Distribución:** En la red de distribución de agua potable, las bombas centrífugas son esenciales para mantener la presión adecuada en las tuberías, asegurando que el agua llegue de manera eficiente a todos los usuarios finales, desde áreas urbanas hasta rurales.
- **Almacenamiento y Presurización:** Las bombas también se utilizan en sistemas de almacenamiento, como torres de agua y tanques elevados, para garantizar que el agua se mantenga disponible y a presión adecuada para su distribución continua. Las bombas de pistón y émbolo son útiles en estas aplicaciones debido a su capacidad para generar altas presiones.

4.2 **Diseño hidráulico de sistemas de bombeo de agua potable**

El diseño hidráulico de sistemas de agua potable es un proceso técnico complejo que implica la comprensión y aplicación de una serie de principios y parámetros interrelacionados. Estos parámetros incluyen el flujo, la presión, la pérdida de carga y el diámetro de las tuberías, entre otros factores críticos (como características geográficas, topográficas, disponibilidad del recurso o distancia al lugar a abastecer) que afectan la eficiencia, la confiabilidad y la sostenibilidad del sistema. A continuación, se detallan los conceptos y principios fundamentales involucrados en el diseño hidráulico de un sistema de agua potable.

En los proyectos de sistemas de agua potable, el caudal de diseño debe contemplar una cantidad superior a la demanda final debido a las pérdidas y mermas que ocurren a lo largo de las diferentes etapas del proceso, como tratamiento, transporte, almacenamiento y distribución. En cada una de estas fases, factores técnicos y fallas de gestión o contabilidad pueden reducir la cantidad de agua que efectivamente llega a los usuarios finales. (ENHOSa, 2023)

La merma total de agua disponible se debe, en gran medida, a aspectos técnicos como fugas en las tuberías, fallas en los equipos de tratamiento o distribución, y pérdidas administrativas y contables relacionadas con el registro y control del agua. (ENHOSa, 2023)

El cálculo del caudal de diseño debe basarse en las demandas previstas, teniendo en cuenta tanto las demandas promedio como las máximas, así como posibles variaciones diarias y estacionales. Herramientas como la ecuación de continuidad, que relaciona el caudal con la velocidad media en la y el área de la sección transversal de la tubería, son fundamentales en esta etapa.

Ecuación de continuidad: Si no hay pérdidas de fluido dentro de un tubo uniforme, la masa de fluido que entra es igual a la que sale en un tubo en un tiempo (Jiménez Carballo, 2017).

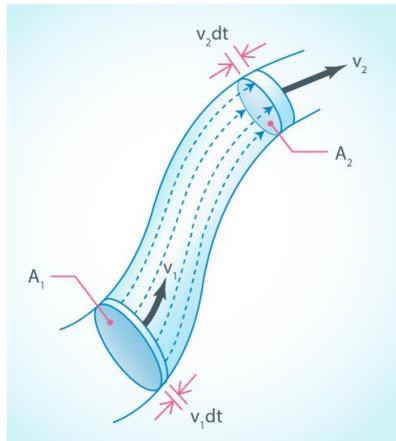


Figura 5. Esquema de fluido en tubo uniforme para ecuación de continuidad. (Jiménez Carballo, 2017)

En la figura, la masa que entra y la masa que salen en el tubo durante un tiempo corto (Δt) están descritas por las ecuaciones 4.1 y 4.2,

$$\Delta m_1 = \rho_1 \Delta V_1 = \rho_1 A_1 \Delta X_1 = \rho_1 A_1 v_1 \Delta t \quad (4.1)$$

$$\Delta m_2 = \rho_1 \Delta V_2 = \rho_1 A_2 \Delta X_2 = \rho_1 A_2 v_2 \Delta t \quad (4.2)$$

donde:

Δm_1 es la masa que entra

Δm_2 es la masa que sale

ρ_1 es la densidad del fluido que entra

ρ_2 es la densidad del fluido que sale

A_1 es el área transversal del tubo en la entrada

A_2 es el área transversal del tubo a la salida

v_1 es la velocidad del fluido que entra

v_2 es la velocidad del fluido que sale

Puesto que la masa se conserva ($\Delta m_1 = \Delta m_2$) se tiene la ecuación 4.3:

$$\rho_1 A_1 v_1 \Delta t = \rho_1 A_2 v_2 \Delta t \quad (4.3)$$

A este resultado se le denomina ecuación de continuidad. En específico, se considera al agua como un fluido incompresible ($\rho_1 = \rho_2$) y como se trata de un movimiento permanente, las características de fuerza, velocidad y presión son función exclusiva de cada punto y no del tiempo, por ello $\Delta t_1 = \Delta t_2$. En base a estas aclaraciones, la ecuación de continuidad se expresa según 4.4.

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 \quad (4.4)$$

Trabajando la ecuación 4.4, se desprende la expresión 4.5

$$Q = vA = cte \quad (4.5)$$

donde:

Q es el caudal (m^3/s)

v es la velocidad (m/s)

A es el área de la sección transversal (m^2)

Esta ecuación es aplicable para cualquier tipo de régimen de flujo y tanto para tuberías forzadas como a presión atmosférica.

4.2.1 Conceptos de flujo en sistemas de agua potable

El flujo se refiere a la cantidad de fluido que circula a través de una tubería en un determinado periodo de tiempo, generalmente expresado en metros cúbicos por segundo (m^3/s) o litros por segundo (l/s).

En el diseño hidráulico, según los autores Crane y Crane (2009), se distingue entre dos tipos principales de conductos donde pasará el flujo:

- Flujo en Conductos Libres: También es llamado flujo en canales abiertos, se caracteriza por el movimiento del agua a través de una superficie libre, es decir, una superficie que está en contacto con la atmósfera y no se encuentra confinada por las paredes del conducto en todos sus lados. En general, en este tipo de flujo, la fuerza principal que impulsa el movimiento del fluido es la gravedad, y el nivel de agua cambia a lo largo del trayecto debido a la pendiente del conducto y a la fricción. Ejemplos de flujo en conductos libres son los ríos, canales y desagües.
- Flujo en Conductos Forzados: El flujo en conductos forzados se produce en tuberías cerradas

donde el fluido está completamente confinado y es impulsado por una diferencia de presión generada por un sistema de bombeo o gravedad controlada. En las tuberías de impulsión, que forman parte de los sistemas de bombeo, el agua se desplaza bajo presión elevada, lo que permite un control del caudal y de la velocidad del flujo en función de las necesidades del sistema. En las tuberías de impulsión (sistema luego de la presurización), el diseño se enfoca en evitar pérdidas de carga y garantizar que la presión sea suficiente para mantener el flujo deseado a lo largo de toda la tubería. Este tipo de flujo sigue la ecuación de continuidad y las ecuaciones de energía y de Darcy-Weisbach, que incorporan factores como la rugosidad de las paredes, la velocidad del fluido y el diámetro de la tubería para calcular las pérdidas de presión y asegurar que la energía de bombeo sea eficiente.

Además del tipo de conducto por donde escurrirá el flujo, según Mataix (1982), el mismo se puede distinguir en dos tipos principales:

- Flujo Laminar: Ocurre cuando el movimiento del agua es suave y en capas, con mínimas turbulencias. Este tipo de flujo es típico en sistemas de baja velocidad y baja pendiente. El flujo laminar es más predecible y permite un análisis más sencillo, pero es menos común en redes de distribución de agua potable.
- Flujo Turbulento: Es el más común en sistemas de agua potable y se caracteriza por la presencia de turbulencias y remolinos. En este tipo de flujo, la velocidad del agua varía a lo largo de la sección transversal de la tubería, manteniendo la velocidad media como constante. El flujo turbulento se asocia a mayores pérdidas de carga debido a la fricción interna y requiere consideraciones especiales en el diseño de los sistemas. En los casos más corrientes de la práctica, las tuberías cerradas se verifican bajo régimen turbulento.

En hidráulica, el flujo en tuberías y conductos puede clasificarse también en dos regímenes: régimen permanente y régimen transitorio. Cada uno describe la naturaleza del movimiento del fluido en función de la estabilidad de sus propiedades, como velocidad, presión y caudal.

- Régimen Permanente: El flujo en régimen permanente se caracteriza porque las variables del fluido (velocidad, presión, caudal) permanecen constantes en el tiempo en cualquier punto específico de la tubería. Esto significa que, aunque el fluido puede cambiar de posición, sus propiedades en cada sección del sistema no varían a lo largo del tiempo. En

un sistema de agua potable, por ejemplo, el régimen permanente se logra cuando el flujo de agua se mantiene constante, sin cambios en la demanda o en la operación de los equipos de bombeo (Mataix, 1982).

- **Régimen Transitorio:** El régimen transitorio ocurre cuando las propiedades del fluido cambian en función del tiempo en uno o más puntos del sistema. Este tipo de flujo es común en eventos donde el sistema experimenta cambios bruscos, como el encendido o apagado de una bomba o el cierre súbito de una válvula. Estos cambios generan variaciones en la velocidad y la presión que se propagan a lo largo de la tubería (Mataix, 1982).

Uno de los fenómenos más importantes asociados al régimen transitorio es el golpe de ariete (Streeter y Wylie, 1978). Este fenómeno ocurre cuando un cambio súbito en la velocidad del fluido (por ejemplo, debido al cierre rápido de una válvula o apagado repentino de una bomba) provoca un aumento brusco de la presión en la tubería. Este incremento se desplaza en forma de ondas de presión a lo largo del conducto, lo que puede causar daños estructurales en las tuberías y equipos si no se toman las precauciones adecuadas. Para mitigar el golpe de ariete, se emplean dispositivos como válvulas anticipadoras de onda, cámaras de aire o calderines (dispositivos hidroneumáticos), diseñados para absorber y disipar la energía generada por estas variaciones de presión (Parmakian, 1957).

4.2.2 Pérdida de Carga

La pérdida de carga es una de las principales preocupaciones en el diseño hidráulico, ya que representa la energía que se disipa a medida que el agua fluye por las tuberías, ocasionando menor eficiencia en el sistema y elevando los costos si no se controla de manera adecuada. Se clasifica en dos tipos según los autores Crane y Crane (2009), y Mataix (1982):

- **Pérdidas de Carga por Fricción (Pérdidas distribuidas):** Estas son causadas por la interacción entre el agua y la superficie interna de la tubería. Se calcula utilizando la ecuación de Darcy-Weisbach (la misma es aplicable a cualquier tipo de régimen y tanto para tuberías forzadas como a presión atmosférica). La ecuación de Darcy-Weisbach es una ecuación ampliamente usada en hidráulica para calcular la pérdida de carga dentro de una tubería llena. La misma tiene la siguiente forma:

$$h_f = f \left(\frac{L}{D} \right) \left(\frac{v^2}{2g} \right) \quad (4.5)$$

donde:

h_f es la pérdida de carga debido a la fricción (m).

f es el coeficiente de fricción de Darcy-Weisbach (-).

L es la longitud de la tubería (m).

D es el diámetro interno de la tubería (m).

v es la velocidad media del fluido (m/s).

g es la aceleración de la gravedad (m/s²).

El coeficiente de fricción se calcula con las ecuaciones propuestas por Swamee-Jain (aunque pueden haber otras como las propuestas por Colebrook-White), en los cuales se establece:

$$f = \frac{0,25}{\left(\log \left(\frac{\varepsilon_r}{3,7} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) \right)^2} \quad (4.6)$$

donde:

ε_r es la rugosidad relativa del material, definida adimensionalmente como la rugosidad absoluta del material dividida por el diámetro interno de la tubería (-).

Re es el número de Reynolds (-).

- Pérdidas de Carga Localizadas: Son aquellas asociadas a cambios en la dirección, velocidad o área del flujo, como ocurre en elementos del sistema como codos, válvulas, tes y otros accesorios. Se cuantifican mediante factores de pérdida que se suman a la pérdida total del sistema. La expresión para el cálculo de las pérdidas localizadas es explicitada en la ecuación 4.7:

$$h_l = k \left(\frac{v^2}{2g} \right) \quad (4.7)$$

donde:

h_l es la pérdida de carga localizada (m).

k es el coeficiente determinado para cada elemento/accesorio (-).

v es la velocidad media del fluido (m/s).

g es la aceleración de la gravedad (m/s^2).

La acumulación de pérdidas de carga afecta directamente la presión disponible en el sistema y, por lo tanto, la capacidad para abastecer de agua a los usuarios. El diseño debe buscar minimizar estas pérdidas a través de la selección adecuada de materiales, el uso de tuberías con superficies lisas o con superficies que se comporten como hidráulicamente lisas y la optimización de trayectorias.

4.2.3 Diámetro de las Tuberías de Impulsión

El diámetro de las tuberías es otro parámetro relevante en el diseño de sistemas de agua potable, ya que influye en la capacidad de transporte de agua y en las pérdidas de carga. La selección del diámetro se realiza considerando:

- Caudal de diseño: Un diámetro insuficiente puede generar velocidades elevadas, incrementando las pérdidas por fricción y la probabilidad de erosión interna de las tuberías.
- Velocidad del flujo: En sistemas de agua potable, se busca mantener velocidades dentro de rangos que eviten tanto pérdidas de carga excesivas como sedimentación de partículas. Generalmente, se recomiendan velocidades entre 0,6 y 3 m/s.
- Presupuesto y disponibilidad de materiales: El costo y la disponibilidad de tuberías con determinados diámetros también influyen en la decisión.

La elección del diámetro adecuado es un equilibrio entre las demandas hidráulicas del sistema y las restricciones económicas y técnicas. En proyectos grandes, se suelen realizar análisis de costos en función de la energía y las pérdidas de carga a lo largo de la vida útil del sistema (ENHOSa, 2023).

4.3 Definición de sistema de bombeo para agua potable y las partes que lo componen.

Un sistema de bombeo para agua potable es un conjunto de equipos y componentes diseñados para captar, transportar y distribuir agua desde una fuente (como un pozo o una captación superficial)

hasta los usuarios finales, garantizando la cantidad, calidad y presión adecuadas. Estos sistemas son esenciales en áreas donde la topografía, la distancia o la falta de presión natural hacen inviable el suministro por gravedad. Los sistemas de bombeo están configurados para cumplir con la demanda hidráulica específica, asegurando la eficiencia energética y la sostenibilidad del recurso hídrico.

El diseño hidráulico integra cálculos, criterios y normas para garantizar el suministro de agua potable desde la captación hasta la distribución. Implica la determinación de parámetros clave, selección de equipos, y diseño de las redes de transporte, almacenamiento y distribución.

El procedimiento según ENOHSa (2023) incluye:

- Captación: Determinar el caudal de captación, incrementando el caudal de diseño en un porcentaje para compensar pérdidas en el sistema.
- Transporte: Diseñar tuberías con diámetro económico, minimizando pérdidas de carga y costos operativos.
- Almacenamiento: Dimensionar reservorios con capacidad para cubrir la demanda diaria promedio más un volumen de reserva para emergencias.
- Distribución: Configurar la red para mantener presiones mínimas y caudales adecuados en todos los puntos.
- Selección de Equipos: Elegir bombas, válvulas y accesorios en función de los parámetros calculados (caudal, presión, pérdidas de carga).

En específico, el manual de ENOHSa (2023) establece criterios específicos para:

- Parámetros de diseño.
- Selección de materiales.
- Métodos de cálculo.
- Factores de seguridad y contingencia.

4.3.1 Partes Principales de un Sistema de Bombeo para Agua Potable

- **Pozo Filtrante:** Es el componente inicial del sistema, encargado de captar el agua subterránea. Está diseñado con revestimientos perforados o ranurados que permiten el ingreso del agua mientras filtran sólidos gruesos. Su diseño incluye un lecho filtrante de grava para evitar la entrada de partículas finas, preservando la calidad del agua y el funcionamiento de la bomba (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 2002).
- **Cañería de Aspiración:** Conduce el agua desde el pozo filtrante hasta la bomba. Su diseño debe minimizar las pérdidas por fricción y prevenir fenómenos como la cavitación, que podría dañar la bomba. Es fundamental seleccionar materiales resistentes a la corrosión y al desgaste.
- **Reserva (Tanque de Almacenamiento):** Actúa como un depósito intermedio para almacenar agua antes de su distribución o rebombeo. Este componente permite regular las fluctuaciones de demanda y garantiza un suministro continuo durante interrupciones del sistema (ENHOSa, 2023).
- **Cañería de Impulsión:** Conduce el agua desde la bomba hasta el siguiente componente del sistema, como un reservorio elevado o la red de distribución. Su diseño considera factores como el caudal requerido, la presión de diseño y las pérdidas de carga para asegurar un flujo eficiente.
- **Características y Determinación de Dimensiones:** Las dimensiones de cada componente del sistema (diámetro de las tuberías, capacidad del pozo y del tanque, etc.) se determinan con base en la demanda de agua, las condiciones topográficas y las propiedades hidráulicas. Esto incluye el cálculo del caudal máximo, la presión requerida y las pérdidas de carga.
- **Válvulas y Accesorios:** Incluyen dispositivos esenciales para el control, protección y mantenimiento del sistema, como:
 - **Válvulas de retención:** Evitan el flujo inverso, protegiendo la bomba y otros equipos.
 - **Válvulas de alivio de presión:** Previenen daños por sobrepresión.
 - **Válvulas de compuerta o esclusa:** Permiten aislar secciones del sistema durante el mantenimiento.

- Válvulas de aire: Eliminan bolsas de aire que podrían reducir la eficiencia del flujo.
- Accesorios: Como uniones flexibles, bridas, y medidores de flujo o presión, esenciales para el monitoreo y la operación eficiente del sistema.

El diseño de un sistema de bombeo requiere un análisis integral que considere las condiciones geográficas, los requerimientos de caudal y presión, y las características del agua. Además, es fundamental la selección adecuada de materiales y equipos para garantizar la durabilidad, la eficiencia operativa y el cumplimiento de las normativas de calidad del agua potable (CAA, 2024).

4.3.2 Tipos de Sistemas de Bombeo y su Esquema de Funcionamiento

En los sistemas de bombeo de agua potable, la configuración de las bombas desempeña un papel fundamental en la capacidad del sistema para cumplir con los requisitos de caudal y presión. Los esquemas de funcionamiento más comunes son las configuraciones en serie, en paralelo y alternado. Cada una tiene implicaciones específicas en los cálculos hidráulicos y en el diseño del sistema.

4.3.2.1 Sistemas en Serie

En una configuración en serie, las bombas están dispuestas una después de otra en el circuito hidráulico. Este esquema tiene como principal objetivo incrementar la altura total dinámica (TDH), es decir, la presión o energía disponible para superar las pérdidas de carga y alcanzar mayores alturas de elevación (Mataix, 1982).

- Funcionamiento:
 - El flujo (caudal) permanece constante a través de todas las bombas en el sistema.
 - La altura o presión total es la suma de las alturas generadas por cada bomba.
- Ventajas:
 - Ideal para sistemas que requieren alta presión, como el bombeo hacia grandes alturas o largas distancias.
 - Útil en sistemas de rebombeo para superar etapas intermedias.

- Cálculos Afectados:
 - La altura total dinámica se calcula sumando las alturas individuales de las bombas.
 - El diseño debe prever cañerías capaces de soportar mayores presiones.

4.3.2.2 Sistemas en Paralelo

En una configuración en paralelo, las bombas funcionan simultáneamente, pero cada una tiene una línea de salida conectada a un colector común. Este esquema se utiliza principalmente para incrementar el caudal total del sistema, mientras se mantiene una presión similar en la red (Mataix, 1982).

- Funcionamiento:
 - El caudal total es la suma de los caudales individuales de cada bomba.
 - La altura o presión generada es igual para todas las bombas.
- Ventajas:
 - Adecuado para redes de distribución con alta demanda de caudal.
 - Flexibilidad operativa: se puede activar o desactivar bombas según las necesidades de consumo.
- Cálculos Afectados:
 - El caudal total es la suma de los aportes de cada bomba.
 - La capacidad de las tuberías y válvulas debe dimensionarse para manejar el caudal combinado.

4.3.2.3 Sistemas Alternados

En un sistema alternado, las bombas no funcionan simultáneamente; en cambio, se activan en ciclos según las demandas del sistema o para distribuir uniformemente el desgaste entre los equipos. Este esquema es común en sistemas donde las demandas fluctúan o se desea extender la vida útil de las bombas.

- **Funcionamiento:**
 - Solo una bomba opera en un momento dado, mientras las otras permanecen en reposo.
 - La operación alternada puede ser automática (controlada por sensores) o manual.
- **Ventajas:**
 - Reduce el desgaste y el mantenimiento al evitar el uso continuo de una sola bomba.
 - Permite una respuesta eficiente a demandas variables.
- **Cálculos Afectados:**
 - El caudal y la altura dinámica deben calcularse con base en la bomba más grande o más eficiente en el sistema.
 - Es necesario prever redundancia para garantizar el suministro en caso de falla de una bomba.

Influencia en los Cálculos

- **Altura Dinámica Total (TDH):**
 - En serie: TDH aumenta proporcionalmente con el número de bombas.
 - En paralelo: TDH se mantiene constante y depende de la capacidad individual de las bombas.
- **Caudal Total:**
 - En serie: El caudal es el mismo para todas las bombas.
 - En paralelo: El caudal total es la suma de los caudales individuales.
- **Pérdidas de Carga:**
 - En serie: Las pérdidas son acumulativas y deben incluirse en los cálculos para la altura dinámica.
 - En paralelo: Las pérdidas dependen del caudal total combinado y de las características de las tuberías.

- Eficiencia del Sistema:
 - En paralelo: Es crucial seleccionar bombas con características similares para evitar problemas de eficiencia.
 - En alternado: La redundancia mejora la confiabilidad, pero se debe calcular el impacto en la operación energética.

4.3.2.4 Selección del Tipo de Sistema

La elección entre estos esquemas depende de factores como las condiciones topográficas, la demanda de caudal y presión, y las características de la red de distribución. Los sistemas en serie son ideales para superar grandes alturas, mientras que los paralelos se adaptan mejor a demandas variables de caudal. Los sistemas alternados son recomendables para instalaciones con alta demanda de confiabilidad y mantenimiento reducido.

4.3.3 Conceptos de Bombeo: Selección, Instalación y Funcionamiento

Se explicitan los conceptos de bombeo, en específico las bombas seleccionadas para el desarrollo del proyecto, tanto en sus métodos de instalación como en las ventajas y desventajas del uso de las mismas.

4.3.3.1 Bombas Seleccionadas

En los sistemas de agua potable, las bombas más comunes son las centrífugas y las electrosumergibles. Estas se seleccionan en función de los requerimientos de caudal, presión, eficiencia y características específicas del sistema.

Bombas Centrífugas:

- **Funcionamiento:** Utilizan un impulsor rotativo para convertir energía cinética en energía de presión. Son ideales para aplicaciones donde se requiere un flujo continuo y relativamente uniforme.
- **Método de Instalación:** Usualmente se instalan sobre superficie y se conectan a una tubería de aspiración y una de impulsión. Requieren cebado para evitar daños por cavitación.
- **Curvas Características:** Las curvas de rendimiento incluyen:
 - Curva de altura (H): Relación entre el caudal y la altura generada.
 - Curva de eficiencia (η): Indica la eficiencia óptima para diferentes caudales.
 - Curva de potencia (P): Refleja el consumo energético en función del caudal.

Bombas Electro-Sumergibles:

- **Funcionamiento:** Diseñadas para operar sumergidas dentro del fluido, combinan motor eléctrico y bomba en un mismo conjunto. Se utilizan en pozos profundos o lugares con acceso restringido.
- **Método de Instalación:** Se sumergen directamente en el pozo o tanque, conectadas a un tubo de impulsión.
- **Curvas Características:**
 - Curva de altura y caudal: Relación entre la altura dinámica generada y el caudal.
 - Curva de eficiencia: Muestra el punto de mayor rendimiento energético.
 - Curva de potencia: Relaciona el consumo energético con la altura y el caudal.

4.3.3.2 Diámetro Económico

El diámetro económico de las tuberías se determina considerando el balance entre:

- **Costo inicial (fijo):** Relacionado con el material y el tamaño de la tubería.
- **Costo operativo (variable):** Asociado a las pérdidas de carga y el consumo energético requerido para superarlas.

Se calcula utilizando la fórmula de mínimos costos totales:

$$C_{total} = C_{fijo} + C_{variable} \quad (4.8)$$

donde:

C_{fijo} es el costo fijo, el cual depende del diámetro y del material de la tubería.

$C_{variable}$ es el costo variable, el cual es calculado con base en las pérdidas por fricción y el costo energético.

El diámetro que minimice esta función será el económico.

4.3.3.3 Válvulas, Accesorios y Su Función

Un sistema de bombeo eficiente requiere diversos componentes que aseguren su correcto funcionamiento. Entre los principales se encuentran:

Válvulas:

- Válvula de retención: Impide el retorno del flujo hacia la bomba.
- Válvula de alivio de presión: Libera presión excesiva para proteger los componentes.
- Válvula anticipadora de onda: Reduce los efectos del golpe de ariete al liberar presión antes de que alcance un nivel crítico.
- Válvula esclusa: Permite aislar secciones del sistema para mantenimiento.
- Válvula de flotador: Controla el nivel de líquido en depósitos, evitando desbordes.

Accesorios:

- Manómetros y caudalímetros: Miden presión y caudal, respectivamente.
- Codos y derivaciones: Permiten cambios de dirección en las tuberías.

4.3.3.4 Golpe de Ariete y Elementos de Protección

El golpe de ariete es un fenómeno transitorio que ocurre cuando se detiene o cambia bruscamente el flujo en una tubería, generando ondas de presión que pueden dañar el sistema. Se produce por el cambio súbito en la velocidad del flujo debido al cierre de válvulas o el apagado de bombas. Genera presiones transitorias elevadas que pueden causar rupturas en las tuberías o fallos en

los accesorios. (Wylie y Streeter, 1978)

Elementos de Protección:

- Válvulas anticipadoras de onda: Reducen la sobrepresión liberando fluido.
- Cámaras de aire: Absorben la energía del golpe mediante un colchón de aire.
- Depósitos hidroneumáticos: Compensan las variaciones de presión.
- Válvulas de alivio: Se abren para liberar exceso de presión.
- Tuberías de mayor diámetro: Reducen la velocidad del flujo, minimizando el impacto del golpe.

El diseño hidráulico de sistemas de agua potable es una disciplina que requiere un análisis detallado de múltiples variables y una integración equilibrada de los principios teóricos con las restricciones prácticas y económicas.

4.3.4 Parámetros Principales para el Dimensionado de Sistemas de Bombeo para Agua Potable

El diseño hidráulico de un sistema de bombeo para agua potable requiere la identificación y análisis de varios parámetros fundamentales. Entre ellos destacan la población actual y futura, así como el caudal de diseño y caudal de bombeo, determinados según los criterios establecidos en el Manual ENOHSa (2023), que rige el diseño de sistemas de abastecimiento de agua potable en Argentina.

4.3.4.1 Población Actual y Futura

- La población actual corresponde al número de habitantes que el sistema debe abastecer en el momento de su implementación.
- La población futura proyecta el número de habitantes en un horizonte de diseño, generalmente de 15 a 20 años, considerando el crecimiento poblacional.

4.3.4.2 Caudal de Diseño

Es el volumen de agua requerido para satisfacer la demanda total de la población, considerando las pérdidas en transporte, almacenamiento, distribución y consumo no registrado.

Según ENOHSa, el caudal de diseño incluye:

- Q_C (Caudal medio diario): Calculado como el consumo diario per cápita multiplicado por la población.
- Q_D (Caudal máximo diario): Multiplica el Q_C por un coeficiente de variación diaria (llamado α_1).
- Q_E (Caudal máximo horario): Representa el pico de consumo en una hora específica del día más demandante.

Fórmulas:

$$Q_C = P * C \quad (4.9)$$

$$Q_D = \alpha_1 * Q_C \quad (4.10)$$

$$Q_E = \alpha * Q_C \quad (4.11)$$

donde:

P es la población total.

C es el consumo diario per cápita (litros/habitante.día).

α_1 es el coeficiente de máximo diario.

α es el coeficiente total máximo horario.

Valor Adoptado

- Consumo diario per cápita: Según ENOHSa (2023), varía entre 150 y 400 l/hab.día dependiendo del tipo de localidad. El valor adoptado será un promedio de 300 l/hab.día
- Coeficientes: Algunos de los valores de los coeficientes dependen de la población servida.
 - α_1 toma el valor de 1,4 independientemente de la población servida.
 - α puede tomar valores de entre 1,95 y 2,66 dependiendo la población servida.

4.3.4.3 Caudal de Bombeo

Representa el volumen de agua que las bombas deben extraer y transportar para cumplir con la demanda del sistema. Incluye un factor de seguridad para compensar pérdidas por fricción, evaporación, fugas y posibles fallas operativas.

4.3.4.4 Pozos filtrantes

Un pozo filtrante es una infraestructura diseñada para extraer agua subterránea mediante la infiltración controlada a través de materiales porosos. Es utilizado principalmente en áreas con acuíferos de buena calidad, lo que reduce la necesidad de tratamientos extensos. Este tipo de captación es esencial para sistemas de agua potable, ya que aprovecha las características del terreno como un filtro natural (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 2002).

Partes del Pozo Filtrante

- **Tubo de revestimiento:** Un elemento estructural que mantiene la estabilidad del pozo y evita el colapso del terreno, especialmente en suelos sueltos o acuíferos no consolidados.
- **Filtro o cribado:** Facilita el ingreso de agua al pozo mientras bloquea partículas sólidas. Generalmente fabricado con acero inoxidable o PVC ranurado.
- **Grava de empaque:** Rellena el espacio anular entre el tubo y las paredes del pozo, mejorando la capacidad de infiltración y evitando el ingreso de sedimentos.
- **Sellos sanitarios:** Crean una barrera contra contaminantes desde la superficie, garantizando la calidad del agua extraída.
- **Cámara de bombeo:** Zona donde se ubica la bomba para la extracción del agua captada.

Método de Cálculo y Dimensionamiento

El diseño de un pozo filtrante considera los siguientes factores:

- **Capacidad del acuífero:** Mediante pruebas de bombeo se determina el caudal sostenible (Q), la transmisividad (T) y el coeficiente de almacenamiento.

- Diámetro del pozo: Depende del caudal requerido y el espacio necesario para alojar el equipo de bombeo.
- Longitud del filtro: Debe ser suficiente para captar el volumen necesario del acuífero productivo.
- Material del filtro: Seleccionado según el tamaño de partículas del suelo, garantizando un equilibrio entre filtración y eficiencia.

4.3.4.5 Reservorios

El reservorio es una estructura destinada a almacenar agua potable en el sistema, asegurando el suministro continuo y uniforme ante fluctuaciones de demanda o fallos operativos. Puede ser una cisterna subterránea o un tanque elevado dependiendo de las necesidades específicas del sistema (ENHOSa, 2023).

4.3.4.6 Tipos de Reservorios

- Tanques elevados: Aprovechan la altura para generar presión en el sistema de distribución.
- Cisternas: Ubicadas al nivel del suelo o bajo tierra, requieren sistemas de bombeo adicionales para distribución.

4.3.4.7 Determinación del Volumen

El volumen del reservorio se calcula sumando el caudal máximo diario y un porcentaje adicional para reservas de emergencia, generalmente un 20%. Según el ENHOSa, este volumen debe cubrir al menos 24 horas de consumo promedio, considerando también posibles incrementos de demanda futura.

4.3.4.8 Potabilización

La potabilización asegura que el agua cumpla con los estándares de calidad del Código Alimentario Argentino (CAA), permitiendo su consumo humano sin riesgos sanitarios.

Los procesos incluyen:

- Desinfección: Elimina microorganismos patógenos mediante cloración (dosis típica:

0.5-1 mg/L).

- Filtración: Remueve partículas suspendidas, garantizando una mayor claridad del agua.
- Corrección química (si es necesario): Ajusta parámetros como el pH y elimina elementos como hierro o manganeso.

Para agua captada mediante pozos filtrantes, la desinfección suele ser suficiente si se garantiza la calidad inicial del recurso.

4.3.4.9 Parámetros Relevantes

Además de los conceptos mencionados, existen otros factores importantes que deben considerarse en el diseño hidráulico:

- Elevación y topografía (planialtimetría): La diferencia de altura entre puntos dentro de la red afecta directamente la presión disponible y puede requerir la instalación de estaciones de bombeo o tanques elevados. Este aspecto es el que se evalúa previo al diseño, puesto que tiene en cuenta la interrelación con de la topografía con la disponibilidad del recurso. (ENHOSa, 2023)
- Infraestructura urbana: Un condicionante importante en el diseño y construcción de infraestructura son las interferencias con los servicios existentes, aéreos (como alumbrado, líneas de alta tensión, líneas de media tensión, fibra óptica) y superficiales (postes, calles, gasoductos, veredas, edificaciones actuales y proyectadas, gasoductos, etc). (ENHOSa, 2023).

4.4 Selección de equipos en sistemas de bombeo

La selección de equipos en un sistema de bombeo es un proceso crítico que influye en la eficiencia operativa, la confiabilidad y la durabilidad del sistema. Involucra la elección adecuada de bombas, válvulas, tuberías y otros componentes, considerando factores como las condiciones de operación, la eficiencia energética, los costos y la expectativa de vida útil (ENHOSa, 2023).

4.4.1 Criterios para la Selección de Equipos

- Selección de Bombas: Las bombas son el corazón de cualquier sistema de bombeo y su selección debe considerar:
 - Características del fluido: Tipo de fluido, viscosidad, presencia de sólidos y temperatura son factores esenciales para determinar el tipo de bomba adecuado (centrífuga, de desplazamiento positivo, etc.).
 - Condiciones de operación: Caudal, altura manométrica, presión y eficiencia en el punto de operación son parámetros fundamentales a la hora de seleccionar el modelo y tamaño de la bomba. Es fundamental elegir una bomba que opere cerca de su punto de máxima eficiencia para reducir el consumo energético y el desgaste.
 - Fiabilidad y vida útil: Se evalúa la robustez de los materiales, la resistencia a la corrosión y la facilidad de mantenimiento para garantizar un funcionamiento confiable a largo plazo.

- Selección de Válvulas: Las válvulas controlan el flujo, la presión y la dirección del agua en el sistema. La selección depende de:
 - Función específica: Según si se requiere una válvula de retención, de regulación, de alivio de presión, entre otras.
 - Características del fluido y presión de trabajo: La compatibilidad de los materiales con el fluido y la capacidad de soportar la presión y temperatura son consideraciones clave.
 - Pérdida de carga: La elección debe minimizar las pérdidas de energía causadas por restricciones o turbulencias generadas por la válvula.

Las válvulas utilizadas en sistemas de agua potable según autores (Crane y Crane, 2009), (ENHOSa, 2023) son:

- Válvula de retención: Permite el flujo de agua en una sola dirección y evita el retroceso, protegiendo equipos como bombas de daños por flujo inverso. Es esencial en sistemas de bombeo y líneas de impulsión.
- Válvula de alivio de presión: Diseñada para liberar presión excesiva en el sistema cuando supera el límite preestablecido. Se utiliza para evitar daños en tuberías y equipos debido a aumentos de presión inesperados.
- Válvula anticipadora de onda: Se activa para prevenir el golpe de ariete al detectar variaciones bruscas de presión. Es ideal en sistemas de agua potable, especialmente en redes extensas, para mitigar efectos de cambios repentinos en la velocidad del flujo.
- Válvula de flotador: Controla automáticamente el nivel de agua en tanques y depósitos mediante un flotador que sube o baja con el nivel del agua, cerrando o abriendo el flujo para mantener niveles seteados.
- Válvula de flotador diferencial: Similar a la válvula de flotador, pero diseñada para mantener un diferencial de nivel entre dos puntos, evitando que el nivel de agua caiga por debajo o suba por encima de un rango específico.
- Válvula esclusa: También conocida como válvula de compuerta, esta válvula abre y cierra el paso de agua mediante un disco que se levanta perpendicularmente al flujo. Es útil para interrumpir completamente el flujo en tuberías de gran diámetro.

- Válvula globo: Controla el flujo de agua mediante un obturador en forma de disco o globo, regulando tanto la cantidad de agua que pasa. Se usa donde se necesita una regulación del flujo y es común en líneas de control de caudal.
- Selección de Tuberías: La elección de las tuberías depende de:
 - Material: Plásticos (PVC, HDPE) y metales (acero, hierro dúctil) son opciones comunes, seleccionadas según la compatibilidad química con el fluido, la durabilidad, el costo y las presiones requeridas.
 - Diámetro: El diámetro debe optimizarse para equilibrar la velocidad del flujo y minimizar tanto las pérdidas de carga como los costos. Diámetros demasiado pequeños incrementan la fricción y los costos operativos, mientras que diámetros excesivos pueden resultar innecesariamente costosos.
 - Condiciones ambientales: Factores como la corrosión, la exposición a rayos UV y las condiciones de instalación influyen en la selección del material de las tuberías.

4.4.2 Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo

La eficiencia energética es un aspecto fundamental en el diseño y operación de sistemas de bombeo, ya que un sistema bien diseñado puede reducir significativamente los costos operativos y la huella de carbono. Las estrategias según autores como Ulrich y Eppinger (2009) o el Hydraulic Institute (s.f.) para mejorar la eficiencia energética incluyen:

- Selección de Equipos de Alta Eficiencia: Las bombas y motores de alta eficiencia pueden reducir el consumo de energía en comparación con equipos convencionales. Es recomendable seleccionar equipos con certificaciones de eficiencia energética, como aquellos clasificados bajo normas internacionales.
- Optimización del Diseño del Sistema: Un diseño hidráulico optimizado minimiza las pérdidas de carga y asegura que el sistema opere dentro de los rangos de eficiencia ideales. Aspectos como el diseño de trazas de tuberías para evitar curvas y codos innecesarios, la instalación de válvulas de control eficientes y la selección adecuada de diámetros son necesarios para la optimización.

- **Energías Renovables:** La integración de energías renovables, como paneles solares para alimentar estaciones de bombeo, es una tendencia creciente. Este enfoque reduce la dependencia de fuentes de energía convencionales.

4.4.3 Operación y Mantenimiento de Sistemas de Bombeo

Una operación y mantenimiento (O&M) adecuado es esencial para garantizar la confiabilidad de un sistema de bombeo a lo largo del tiempo tal como lo explica Troffé (2017). La implementación de buenas prácticas en O&M reduce los tiempos de inactividad, prolonga la vida útil de los equipos y optimiza los costos de operación. Las siguientes son consideraciones tenidas en cuenta:

- **Programación de Mantenimiento Preventivo:** Un programa de mantenimiento preventivo bien estructurado incluye inspecciones regulares, ajustes, lubricación y reemplazo de piezas antes de que se produzcan fallos críticos. Este enfoque evita interrupciones imprevistas y extiende la vida útil de los equipos.
- **Resolución de Problemas:** Es importante establecer procedimientos para la identificación rápida y eficaz de problemas comunes, como cavitación en bombas, pérdida de presión, fugas en tuberías o fallos en válvulas. El personal debe estar capacitado para diagnosticar y corregir estos problemas utilizando técnicas como el análisis de vibraciones, pruebas de presión y monitoreo de condiciones. (Hydraulic Institute, s.f.)
- **Gestión de Riesgos:** La gestión de riesgos implica identificar y mitigar posibles fallos en el sistema, como el golpe de ariete, cortes de energía o contaminaciones accidentales. Estrategias como la instalación de válvulas de alivio, la implementación de sistemas de respaldo y la planificación de contingencias son esenciales para minimizar las consecuencias de eventos inesperados.
- **Monitoreo y Optimización Continua:** La incorporación de sistemas de monitoreo en tiempo real permite evaluar continuamente el desempeño del sistema y detectar desviaciones antes de que se conviertan en problemas graves. Estos sistemas pueden incluir sensores de presión, caudalímetros y análisis de energía para ajustar la operación según las condiciones cambiantes. (ENHOSa, 2023)

4.5 Regulaciones locales, nacionales e internacionales

El diseño y operación de sistemas de agua potable están regidos por una serie de regulaciones y normativas que buscan garantizar la seguridad, calidad y sostenibilidad del suministro. Estas normativas varían según el contexto local, nacional e internacional, e imponen criterios estrictos que deben ser cumplidos para asegurar que el agua entregada a la población sea apta para el consumo humano y que el sistema de distribución sea confiable y seguro. En Argentina, el Ente Nacional de Obras Hídricas de Saneamiento (ENOHSa, 2023) y el Código Alimentario Argentino (CAA, 2024) en específico en el artículo XII, son referencias en la regulación del agua potable.

4.5.1 Regulaciones Locales, Nacionales e Internacionales

- Normativas Internacionales: Organizaciones como la Organización Mundial de la Salud (WHO, 2004) establecen guías y recomendaciones sobre la calidad del agua potable, que sirven como referencia para la elaboración de normativas nacionales. Estas guías incluyen parámetros microbiológicos, químicos y radiológicos, así como recomendaciones sobre prácticas de gestión del riesgo para el control de la calidad del agua. En este caso en particular se utilizarán las Guías de Calidad para el Agua Potable (WHO, 2004).
- Normativas Nacionales en Argentina (ENOHSa): ENOHSa es el organismo encargado de la planificación, regulación y financiamiento de proyectos de saneamiento en Argentina. Además de apoyar técnicamente a las provincias y municipios en la implementación de sistemas de agua potable, ENOHSa establece criterios de diseño, operación y mantenimiento para asegurar que los sistemas cumplan con los estándares de calidad y seguridad. Las normativas de ENOHSa incluyen especificaciones sobre la infraestructura del sistema, control de calidad del agua y gestión del servicio. Dichas normativas se encuentran en las Guías de Agua Potable (ENHOSa, 2023).
- Normativas Locales y Provinciales: Cada provincia y municipio en Argentina cuenta con normativas específicas que se adaptan a las particularidades geográficas, demográficas y ambientales de la región. Estas normativas complementan los lineamientos nacionales y aseguran que las especificidades locales sean abordadas de manera adecuada. En este caso particular, los entes involucrados para el proyecto, desde una perspectiva de regulación legal son el Municipio de Río Negro, el DPA (Departamento Provincial de Aguas), en la cual tienen participación las áreas de Intendencia General de Recursos Hídricos de la provincia de Río Negro y la Intendencia General de Recursos Hídricos de Río Negro.

- **Protección del Medio Ambiente:** En Argentina, además de las normativas de calidad del agua, existen regulaciones ambientales que establecen criterios para la protección de fuentes de agua, la gestión de residuos generados por los sistemas de tratamiento y la prevención de la contaminación. La Ley General del Ambiente (Ley 25.675) y otras normativas provinciales (Ley J N° 3183, Ley N° 2391/90 y Ley N° 2952/95) establecen las obligaciones para proteger los cuerpos de agua y el entorno en el que se desarrollan las actividades de captación, tratamiento y distribución de agua potable.

4.5.2 Requisitos de Calidad del Agua

El agua potable debe cumplir con ciertos parámetros físicos, químicos y microbiológicos para ser considerada segura para el consumo humano. En Argentina, estos requisitos están establecidos en el Código Alimentario Argentino (CAA, 2024), en su capítulo XII, que regula la calidad del agua destinada a la población. Este código se basa en las recomendaciones de organismos internacionales como la OMS y adapta sus criterios a la realidad local. A continuación, se describen los principales parámetros y requisitos estipulados en el CAA (2024):

Parámetros Físicos:

- **Color y Turbidez:** El agua no debe presentar color ni turbidez perceptibles. El CAA establece que la turbidez no debe superar 1 Unidad Nefelométrica de Turbidez (UNT), lo que garantiza una apariencia clara y sin partículas en suspensión.
- **Olor y Sabor:** El agua potable no debe tener olores ni sabores extraños. Esto incluye evitar olores metálicos, a cloro o a materia orgánica en descomposición.

Parámetros Químicos:

- **pH:** El pH del agua potable debe mantenerse dentro de un rango de 6.5 a 8.5 para evitar la corrosión de las tuberías y garantizar la estabilidad química del agua.
- **Presencia de Sustancias Tóxicas:** El CAA establece límites para sustancias químicas como arsénico, nitratos, nitritos, fluoruro y metales pesados (plomo, mercurio, cadmio, etc.), que pueden representar riesgos para la salud si se encuentran en concentraciones superiores a los niveles permitidos.

- **Concentración de Cloro Residual:** Para garantizar la desinfección del agua, el cloro residual debe mantenerse entre 0.2 y 0.5 mg/L al final de la red de distribución. Este parámetro asegura que el agua se mantenga libre de patógenos durante su recorrido por la red.

Parámetros Microbiológicos:

- **Coliformes Totales y Escherichia coli (E. coli):** El agua potable no debe contener coliformes totales ni coliformes fecales como E. coli, indicadores de contaminación biológica. La presencia de estas bacterias sugiere la posible contaminación con aguas residuales o fuentes de origen fecal.
- **Bacterias Heterotróficas:** Si bien no son patógenas, su presencia en concentraciones elevadas puede indicar una mala calidad del agua o problemas en el proceso de tratamiento y distribución.

Estos parámetros son monitoreados regularmente por las autoridades sanitarias y los prestadores de servicios, quienes deben cumplir con los límites establecidos y realizar las correcciones necesarias en caso de que se detecten desviaciones.

4.5.3 Impacto de los Requisitos de Calidad en el Diseño y la Operación del Sistema

El cumplimiento de los estándares de calidad del agua impacta directamente en las decisiones de diseño y operación del sistema. Algunos ejemplos incluyen:

- **Selección de Tecnologías de Tratamiento:** Dependiendo de la calidad del agua cruda, se seleccionan procesos de tratamiento como la coagulación-floculación, filtración y desinfección para garantizar la remoción de partículas, compuestos químicos y microorganismos peligrosos.
- **Diseño de Sistemas de Distribución:** Para mantener la calidad del agua en toda la red, se debe considerar la protección contra la contaminación cruzada, evitando presiones negativas que puedan generar infiltraciones y asegurando una concentración adecuada de cloro residual a lo largo del sistema.

- **Monitoreo y Control de Calidad:** La implementación de sistemas de monitoreo en tiempo real y laboratorios de control de calidad permite detectar cualquier anomalía y actuar rápidamente para corregirla, evitando que agua no apta llegue a los usuarios.

Las regulaciones y normativas en el suministro de agua potable en Argentina, lideradas por ENOHSa (2023) y el Código Alimentario Argentino (2024), establecen un marco para garantizar que el agua distribuida sea segura para el consumo. Estos requisitos no solo guían el diseño y operación de los sistemas, sino que también protegen la salud pública y el medio ambiente.

4.6 Consideraciones económicas y financieras en sistemas de bombeo de agua potable

El desarrollo de un sistema de agua potable requiere un análisis integral que no solo aborde aspectos técnicos, sino también económicos y financieros. Estos sistemas implican una inversión significativa en la fase de instalación, seguida por costos continuos de operación y mantenimiento ya sea por el personal municipal o por empresas subcontratadas. Por lo tanto, es crucial evaluar y gestionar adecuadamente los recursos financieros para asegurar la viabilidad y sostenibilidad del proyecto a largo plazo. Según autores como Ulrich y Eppinger (2009), García Melón (2010) y ENHOSa (2023), este análisis incluye la identificación de los costos involucrados y la planificación de estrategias para optimizar la inversión.

4.6.1 Costos Asociados a la Instalación, Operación y Mantenimiento

- **Costos de Instalación:**
 - **Estudios Preliminares y Diseño:** Los costos iniciales incluyen estudios de factibilidad, análisis de impacto ambiental, levantamientos topográficos y diseño detallado del sistema. Esta etapa es crucial para reducir riesgos y asegurar la precisión en la ejecución del proyecto.
 - **Materiales y Equipos:** La selección y adquisición de materiales como tuberías, bombas, válvulas y sistemas de control representan una porción significativa de la inversión inicial. Además, los costos pueden variar considerablemente según la calidad, durabilidad y tecnología de los equipos seleccionados.

- Mano de Obra y Construcción: Los costos de construcción incluyen la excavación, instalación de tuberías, montaje de estaciones de bombeo, tanques de almacenamiento y otros componentes del sistema. Estos costos pueden verse influenciados por la complejidad del terreno, el acceso a la ubicación y la disponibilidad de mano de obra calificada.
- Permisos y Licencias: Cumplir con las regulaciones locales, nacionales e internacionales implica obtener permisos ambientales, de construcción y de operación, los cuales tienen un costo que debe considerarse en el presupuesto total.
- Costos de Operación:
 - Consumo Energético: La operación de bombas, equipos de tratamiento y sistemas de control representa un costo operativo constante. La energía es uno de los mayores gastos en la operación de un sistema de agua potable, por lo que la eficiencia energética es un factor crítico para controlar estos costos.
 - Tratamiento del Agua: Dependiendo de la calidad del agua fuente, los costos de tratamiento pueden incluir productos químicos, energía para procesos como filtración y desinfección, y la operación de plantas de tratamiento.
 - Personal Operativo: Los costos de operación también incluyen la contratación y capacitación del personal necesario para supervisar y mantener el sistema, asegurando su correcto funcionamiento y la calidad del agua distribuida.
- Costos de Mantenimiento:
 - Mantenimiento Preventivo y Correctivo: El mantenimiento preventivo incluye inspecciones regulares, ajustes y reemplazo de componentes antes de que se presenten fallos. Por otro lado, el mantenimiento correctivo abarca reparaciones o sustituciones después de que un equipo falla. Un enfoque en el mantenimiento puede reducir significativamente los costos a largo plazo y evitar interrupciones del servicio.
 - Reparaciones y Reemplazo de Equipos: Con el tiempo, ciertos componentes del sistema requerirán reparaciones o reemplazo. La vida útil de equipos como bombas, válvulas y tuberías influye directamente en la periodicidad y magnitud de estos costos.

4.6.2 Estrategias para Optimizar la Inversión

El éxito financiero de un sistema de agua potable depende en gran medida de la capacidad de optimizar principalmente la inversión inicial y los costos operativos. Según autores como Melón (2010) y ENHOSa (2023), algunas estrategias clave son:

- **Planificación del Ciclo de Vida:** El análisis del costo del ciclo de vida evalúa todos los costos asociados a un sistema a lo largo de su vida útil, incluyendo instalación, operación, mantenimiento y desmantelamiento. Esta metodología ayuda a identificar soluciones más eficientes y económicas a largo plazo, priorizando inversiones en tecnologías más duraderas y de bajo mantenimiento.
- **Optimización Energética:** La energía representa uno de los mayores costos operativos en un sistema de agua potable. Implementar tecnologías de alta eficiencia, como bombas con variadores de velocidad, o integrar fuentes de energía renovable (por ejemplo, sistemas solares) puede reducir considerablemente los costos energéticos. Además, la automatización y el uso de sistemas de control inteligente permiten ajustar la operación del sistema en función de la demanda real, evitando el desperdicio de energía.
- **Economías de Escala y Estandarización:** Diseñar el sistema considerando economías de escala y estandarización de equipos y materiales puede reducir los costos iniciales y de mantenimiento. La compra en volumen y la estandarización de componentes facilitan la gestión de inventarios y la disponibilidad de repuestos, reduciendo tiempos de inactividad y costos operativos.

4.6.3 Sostenibilidad del proyecto

Para asegurar la sostenibilidad económica de un proyecto de agua potable, según autores como García Melón (2010) y ENHOSa (2023), se deben seguir estas acciones para lograrlo.

- **Tarifas y Recuperación de Costos:** Establecer tarifas adecuadas para los usuarios es esencial para garantizar la sostenibilidad financiera del sistema. Las tarifas deben ser justas, asequibles para la población y suficientes para cubrir los costos asociados. Implementar modelos de tarifas escalonadas o por consumo puede incentivar un uso más eficiente del recurso. Esta

temática queda fuera del alcance del proyecto actual, aunque es necesario incluirla debido a la repetición que tiene en la diversa bibliografía de los autores.

- **Monitoreo y Evaluación del Desempeño:** La implementación de sistemas de monitoreo y evaluación en tiempo real permite ajustar la operación para mejorar la eficiencia y detectar ineficiencias o problemas antes de que se conviertan en fallas críticas. Este enfoque reduce los costos operativos y mejora la rentabilidad del sistema.
- **Gestión de Activos:** La gestión eficiente de los activos del sistema implica un enfoque integral que combina mantenimiento preventivo, rehabilitación de infraestructuras ya existentes y planificación de inversiones futuras. Esto infiere en que el sistema se mantenga en condiciones para su operación, prolongando su vida útil y evitando costos de reparaciones mayores o reemplazos prematuros.

Las consideraciones económicas y financieras son fundamentales para asegurar que el sistema de agua potable cumpla con los requisitos técnicos y normativos, además de que el proyecto sea viable y sostenible a largo plazo.

5 METODOLOGÍA

Para realizar este trabajo se utilizará un tipo de investigación Exploratoria y Evaluativa, ya que es necesario conocer, recopilar, explorar, registrar y analizar toda la información correspondiente e interpretar la naturaleza actual en lo referido al funcionamiento y operación del sistema de bombeo, para poder realizar el estudio integral de la maquinaria y sus accesorios, y en particular del conjunto de posibles tipos de fallos.

Es del tipo Evaluativo porque surge de la necesidad de identificar, diagnosticar y documentar el estado operativo del equipamiento de bombeo, como así también su entorno en lo que hace a los aspectos dinámicos, de selección, de mantenimiento, etc., con el fin de ponderar aspectos relevantes para la toma de decisiones y las posibles correcciones que se podrían implementar al sistema actual.

La metodología para el desarrollo del proyecto se basará en la teoría propuesta por Ulrich y Eppinger (2009). Si bien los autores abordan en su metodología proyectual el enfoque a productos de consumo masivo, se adaptarán los conceptos específicos para el desarrollo del actual trabajo, los cuales incluyen:

- Entendimiento de los requisitos del cliente. Definir la necesidad que se debe cubrir y de qué modo se cubrirá, interpretando el marco contextual sobre el cual debe abordarse el proyecto.
- Generación de conceptos.
- Evaluación de los conceptos, el desarrollo de los mismos a nivel sistema y luego a nivel detalle.
- Lanzamiento del producto que, en este caso, será la evaluación final de la viabilidad del proyecto propuesto.

La metodología propuesta por Ulrich y Eppinger (2009) se verá complementada con la metodología propuesta por el Ente Nacional de Obras Hídricas de Saneamiento (ENHOSa, 2023), el cual rige en el territorio argentino. ENHOSa ejecuta las obras de agua potable y saneamiento cloacal para ampliar la cobertura a toda la población argentina. El ente propone guías para llevar a cabo proyectos relacionados al manejo, tratamiento y distribución del agua potable.

En dichas guías se proponen diversas Fases y Subfases que deben satisfacerse para llevar a cabo el ciclo completo del proyecto:

Tabla 1. Fases y Subfases de un proyecto según ENHOSa (2023).

	Fases	Subfases	Actividades
I	Fase de preinversión	Preparación y evaluación del proyecto, ajuste de las condiciones de financiamiento	
II	Fase de inversión	A	Identificación de acciones de mejoramiento comercial y operativo y apoyo institucional a desarrollar y diseño preliminar de las obras.
		B	Diseño definitivo de las acciones a desarrollar e Ingeniería de detalle de las obras.
		C	Contratación de servicios de asistencia técnica para las acciones de mejoramiento comercial y operativo y apoyo institucional. Ejecución de los servicios contratados. Elaboración de los documentos de licitación. Construcción de las obras civiles y las instalaciones del proyecto. Adquisición de equipos. Prueba y habilitación de los equipos e instalaciones.
III	Fase de operación	Puesta en marcha de acciones institucionales, comerciales y operativas programadas. Puesta en marcha de equipos e instalaciones.	

Según lo establecido en el criterio del Ente, el proyectista debe tener una amplia responsabilidad en todo el proceso de identificación e implementación del Proyecto y una activa participación en todas sus Fases y Subfases, siendo de su directa responsabilidad las fases IIA y IIB. En relación con la Subfase IIC es de su directa responsabilidad, como mínimo, la elaboración de las especificaciones técnicas para la contratación de obras y de los términos de referencia para la contratación de servicios.

En base a los lineamientos propuestos por los autores Ulrich y Eppinger (2009), complementado con lo establecido en el criterio para la elaboración de proyectos del Ente, se propone la siguiente metodología específica para llevar a cabo el proyecto:

Tabla 2. Fases y Subfases del PIP.

	Fase	Subfase	Actividades	Prototipado
I	Planeación	A	<p>Recopilar información general y/o particular relacionada con este tipo de proyecto y además, vinculada a requerimientos locales, provinciales y nacionales inherente a marcos regulatorios legales y ambientales.</p> <p>Realizar relevamientos InSitu dentro de la zona de emplazamiento del sistema de bombeo (imágenes satelitales, fotografías, datos obtenidos por GPS).</p>	No
		B	<p>Realizar un estudio cuantitativo de la demanda hídrica de los usuarios (relevamientos sociales).</p> <p>Realizar análisis de restricciones y consideraciones ambientales y tecnológicas.</p>	No
II	Desarrollo	A	<p>Realizar un diseño preliminar del sistema de bombeo que se ajuste a todas las condiciones de bordes que el mismo posee.</p> <p>Evaluación técnica y económica de al menos dos conceptos propuestos.</p>	<p>Simulación de la operación del sistema en régimen permanente y transitorio (Software Allievi, u otro)</p>
		B	<p>Seleccionar las bombas y elementos adecuados (protecciones mecánicas, válvulas) en función del requerimiento del sistema.</p> <p>Análisis y selección de protecciones ante golpes de ariete para el sistema.</p>	
III	Informes finales	A	<p>Desarrollar un plan integral para el lanzamiento del sistema, considerando aspectos logísticos, de operación y mantenimiento.</p> <p>Elaboración del Informe Final</p>	No

La metodología antes mencionada puede ser descompuesta en actividades específicas para desarrollar los objetivos propuestos, los cuales son:

1. Recopilar información general y/o particular relacionada con este tipo de proyecto y además, vinculada a requerimientos locales, provinciales y nacionales inherente a marcos regulatorios legales y ambientales.
2. Realizar relevamientos InSitu dentro de la zona de emplazamiento del sistema de bombeo (imágenes satelitales, fotografías, datos obtenidos por GPS).
3. Realizar un estudio cuantitativo de la demanda hídrica de los usuarios (relevamientos sociales).
4. Realizar análisis de restricciones y consideraciones ambientales y tecnológicas.
5. Realizar un diseño preliminar del sistema de bombeo que se ajuste a todas las condiciones de bordes que el mismo posee.
6. Evaluación técnica y económica de al menos dos conceptos propuestos.
7. Seleccionar las bombas y elementos adecuados (instrumentación, skid, protecciones mecánicas, válvulas) en función del requerimiento del sistema.
8. Simulación de la operación del sistema en régimen permanente y transitorio (Software Allievi, u otro).
9. Análisis y selección de protecciones ante golpes de ariete para el sistema.
10. Desarrollar un plan integral para el lanzamiento del sistema, considerando aspectos logísticos, de operación y mantenimiento.
11. Elaboración del Informe Final.

En base a dichas actividades, se realiza el cronograma de las mismas.

Actividad	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7
1	X						
2	X	X					
3		X					
4		X	X				
5		X	X	X			
6			X	X			
7				X	X		
8					X		
9					X	X	
10						X	X
11							X

Figura 6. Cronograma de tareas PIP.

6 DESARROLLO

En la presente sección se procede al desarrollo de las actividades específicas listadas anteriormente en el apartado 5 (METODOLOGÍA).

6.1 Recopilación de información

Las Perlas, también llamada Balsa Las Perlas es una localidad ubicada en la provincia de Río Negro, Argentina. Pertenece al ejido de Cipolletti, aunque, a diferencia de dicha ciudad, Las Perlas se ubica dentro del departamento El Cuy, a diferencia de la ciudad de Cipolletti que se ubica en el departamento General Roca.

6.1.1 Ubicación del área de estudio

La localidad de Balsa Las Perlas se ubica a la margen sur del Río Limay, a unos 12km de la confluencia del Río Neuquén. Las separa de la ciudad de Neuquén el Río Limay, el cual puede cruzarse por un puente carretero.



Figura 7. Ubicación geográfica de Balsa Las Perlas con respecto a otras ciudades (Google Earth Pro, 2024).

6.1.2 Ubicación del área de estudio ampliada a escala de localidad a intervenir

El área de estudio para el presente proyecto es el sector este de la localidad, el cual se indica

en la Figura 8.



Figura 8. Identificación de sector este. (Google Earth Pro, 2024)

En específico, se indica en la Figura 9 un esquema de ubicación de la zona de extracción, junto con las parcelas destinadas a la instalación de las cisternas y tanques elevados, junto con el listado de los barrios abastecidos. El área a abastecer es de 2,52 km².

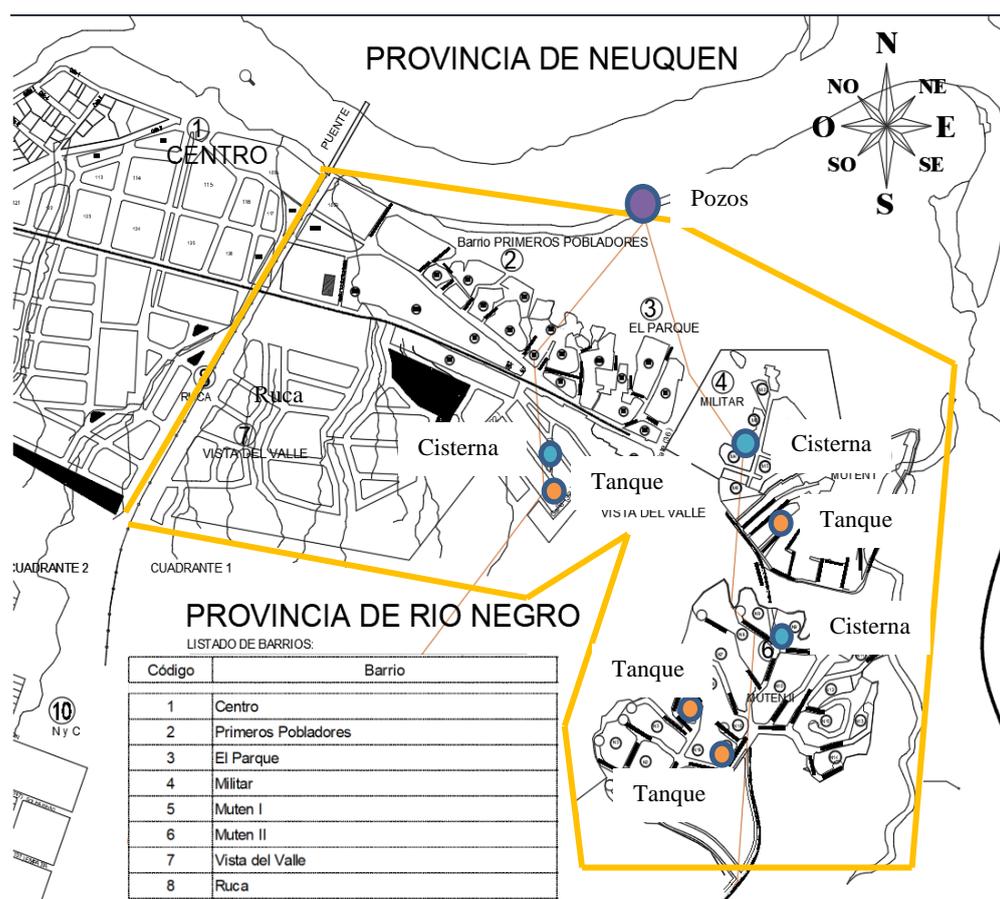


Figura 9. Esquema de ubicación de tanques, cisternas y pozos filtrantes.

6.1.2.1 Estado actual de las instalaciones

Actualmente en la localidad de Balsa Las Perlas existe un suministro de agua para su población, el cual no cumple con los requerimientos para el abastecimiento del recurso según los criterios provistos por ENHOSa (Verdugo, 2023).

Además de eso, la distribución de agua es ineficiente ya que, no cuenta con una infraestructura para proveer a todos los habitantes de la localidad.



Figura 10. Sector donde actualmente se extrae agua.



Figura 11. Fotografía del interior del recinto donde se extra actualmente agua.

Como puede observarse en la Figura 10 y Figura 11, las tuberías desde donde actualmente se extrae agua para suministro presentan signos de corrosión debido a la salinidad notable, evidenciando que la zona de extracción del recurso no es propicia. Asimismo, se observa que algunos elementos de

regulación se encuentran en un estado de incapacidad para operar.



Figura 12. Fotografía de válvula en el exterior del recinto donde se extrae agua.



Figura 13. Válvula mariposa de apertura a chimenea con pérdidas de fluido y salinidad.

En vista de lo mencionado anteriormente, es la propuesta de valor el diseño de un sistema para

la captación, bombeo y almacenamiento de agua potable siguiendo los lineamientos propuestos por el Ente Nacional de Obras Hídricas y Saneamiento, puesto que es dicho Ente el que aprueba este tipo de obras relacionadas al abastecimiento de agua potable. En específico, se acotará el alcance al sector este de dicha localidad, el cual se indica en la Figura 8.

Los requerimientos para el proyecto son que, no solo la población actual de Balsa Las Perlas tenga acceso al agua potable, sino que se plasme en la continuación de los estudios realizados por los Docentes de Máquinas Hidráulicas para Ingeniería Mecánica de la Universidad Nacional del Comahue, para la demanda futura para un período de al menos 15 años. Actualmente en la localidad completa residen 17.000 personas y se proyecta que, en 15 años, la población ascienda a 60.000 personas en función a las bases históricas de la tasa de crecimiento actual que tiene la misma (INDEC, 2024). Dicho agua tiene que cumplir con los requisitos físico-químicos para que el recurso pueda ser ingerido por los habitantes según la reglamentación vigente del capítulo XII del Código Alimentario Argentino (2024) (Ver ANEXO I).

6.2 Relevamientos In-Situ

Dentro de las actividades, se plantea un relevamiento In-Situ de la zona de emplazamiento del sistema de bombeo. ENHOSa (2023) recomienda en su Capítulo 1 – *Aspectos a considerar en un proyecto*, que los proyectistas o diseñadores visiten el área donde se construirán las facilidades y los sistemas de bombeo, puesto que permite una mirada más detallada o permite visualizar más fielmente las restricciones que pudieran llegar a existir.

Se realizó un relevamiento de la zona de construcción de los pozos filtrantes, en el cual se tomaron las dimensiones del mismo.

La nueva zona de extracción de agua (lugar donde se situarán los pozos filtrantes) queda a las orillas del río Limay, alejada de la ladera donde se encuentra la actual zona de extracción. Separadas ambas por 200 m. Se observa en la Figura 14 una imagen satelital de la antigua zona de extracción del recurso. Sobre la misma se realizaron fotografías satelitales explicitadas en la Figura 15.



Figura 14. Zona antigua y nueva de extracción de agua (Google Earth pro, 2024).

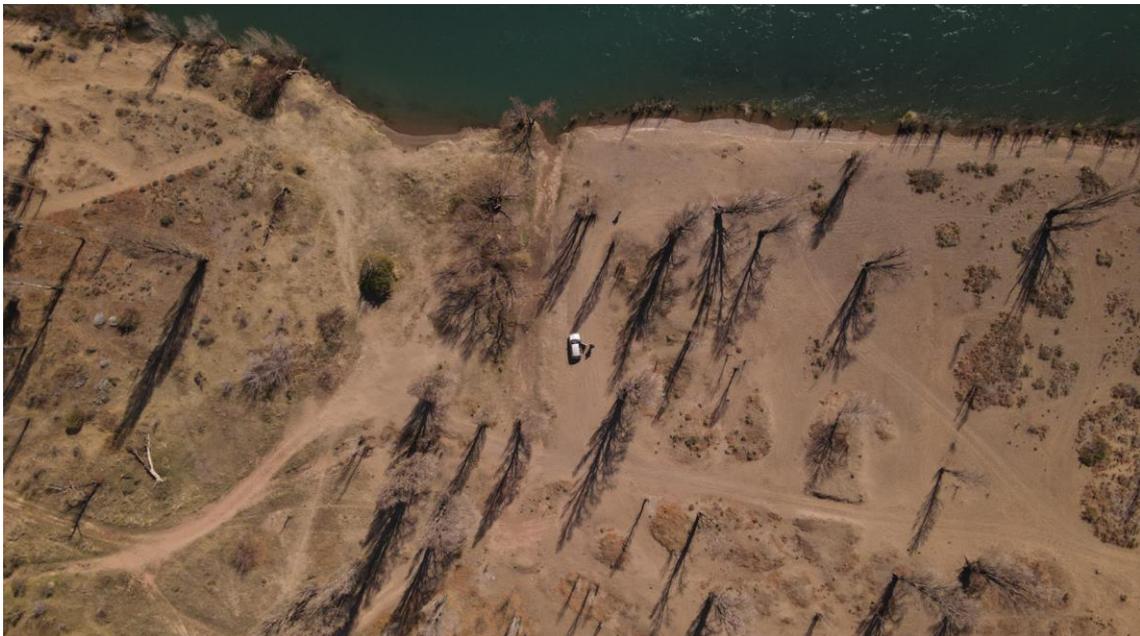


Figura 15. Fotografía desde dron de la nueva zona de emplazamiento.

También se realizó un relevamiento en la zona donde actualmente existe la estación de rebombeo de uno de los ramales. La ubicación de las zonas se indica en la Figura 16 sobre las cuales

se tomaron fotografías de dron, las cuales se indican en las Figura 17, Figura 18, Figura 19 y Figura 20.



Figura 16. Zona de cisternas actuales y tanques elevados sobre barrio Muten II (Google Earth Pro, 2024).

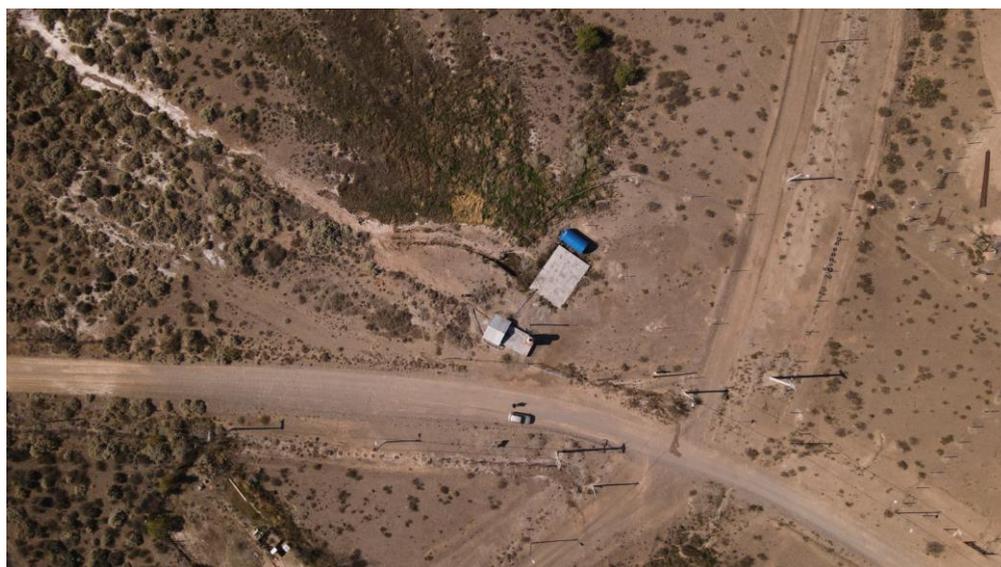


Figura 17. Fotografía desde dron de la zona de rebombeo actual.



Figura 18. Fotografía en vista superior de zona de bombeo actual.



Figura 19. Fotografía de la cisterna actual del sistema de bombeo.



Figura 20. Fotografía de la zona donde comienza la tubería de PVC enterrada actual.

Como parte del relevamiento del sistema que actualmente existe, se prosigue a evaluar la zona donde está actualmente ubicado el tanque elevado.



Figura 21. Tanque elevado existente en barrio Muten II.

En el capítulo 2 – *Estudios preliminares para el diseño de las obras* brindado por el Ente (ENHOSa, 2023) se expresa que, de ser posible, se deben reutilizar la mayor cantidad de materiales existentes y en caso de ser necesario, readecuarlos. En esta etapa, como se mencionó en el apartado 5 (METODOLOGÍA) se hace un hincapié en los costos asociados al diseño. Se tratará de evitar costos redundantes en materiales y/o maquinarias ya existentes, siempre y cuando cumplan con los requisitos calculados.

6.3 Demanda hídrica

Según la cantidad de población actual y la proyección de los barrios de la localidad, se estima la demanda hídrica de los usuarios, así como también las trazas de las tuberías a seguir. En ellas se indican las zonas donde se instalarán los pozos de extracción de agua, las cisternas, tanques elevados, y cuáles son los subsistemas que deberá abastecer cada uno.

Se indica en la Figura 22 un croquis la traza tentativa de las mismas a fin de obtener la información del consumo de agua y de los elementos necesarios para su instalación. El mismo fue provisto por los directores del proyecto.

ESQUEMA FUNCIONAMIENTO ZONA ESTE

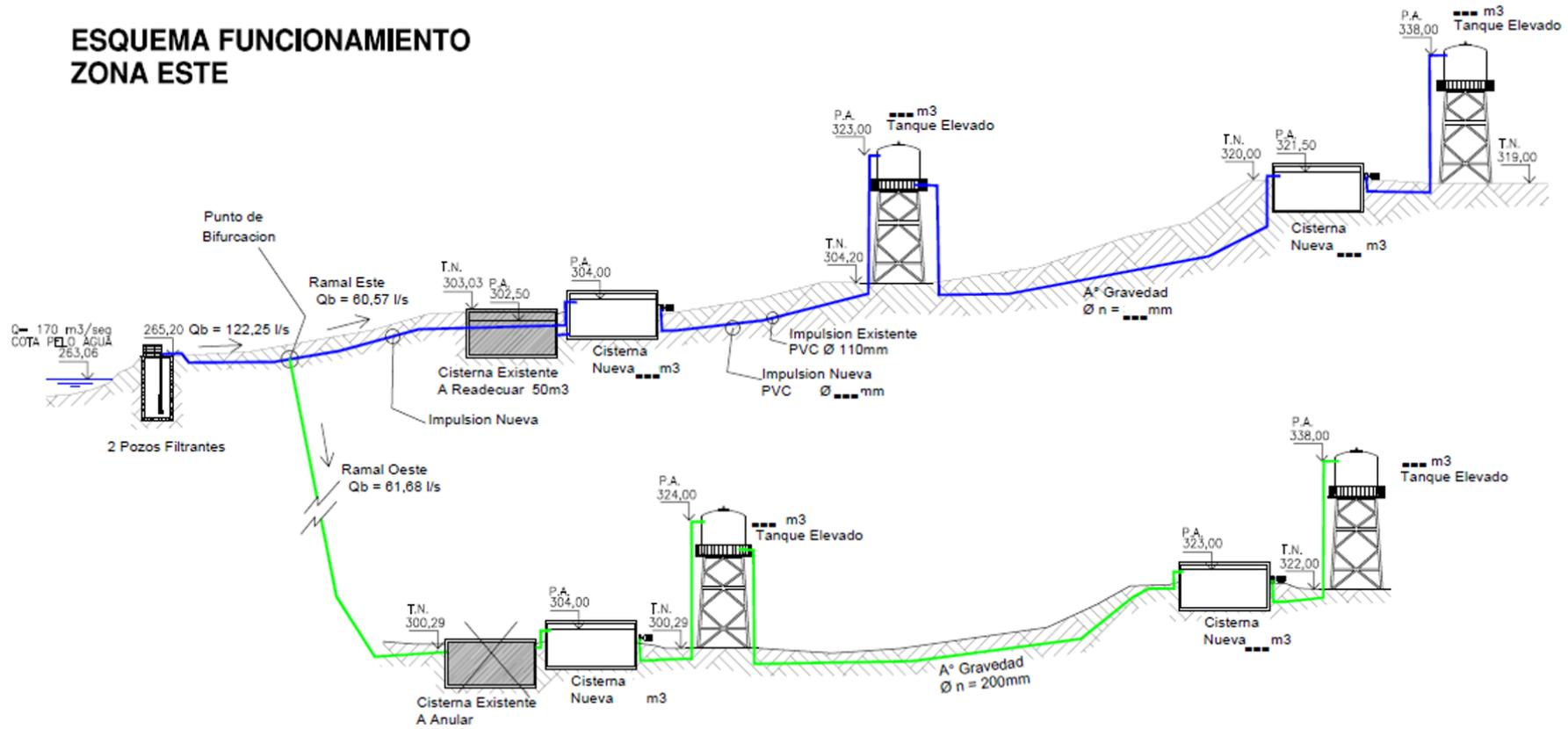


Figura 23. Esquema de funcionamiento y demanda zona este.

En la Figura 24 se indica un esquema en planta de la zona este, en la cual se indican los consumos de los subsistemas a abastecer y las longitudes de las tuberías. El esquema de planta fue provisto por los directores del proyecto.

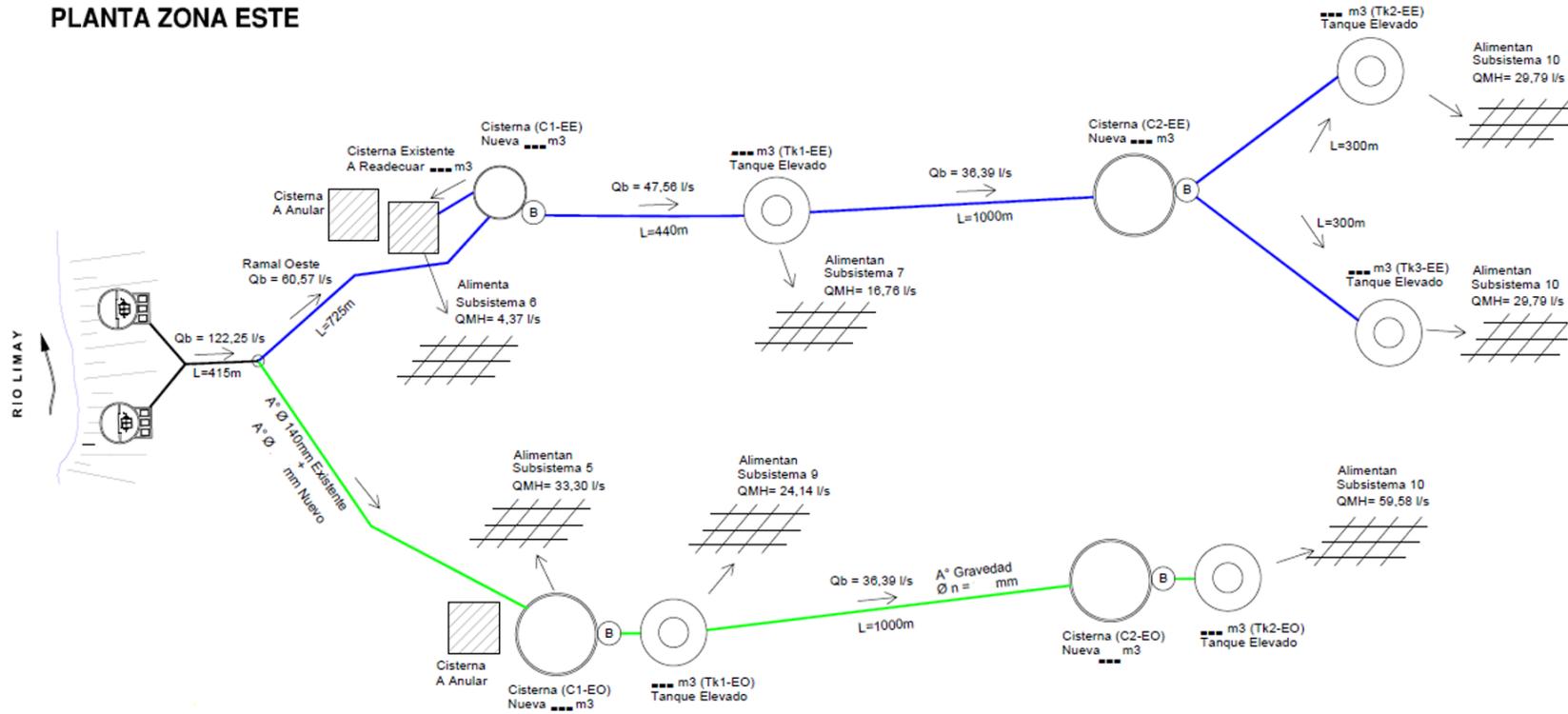


Figura 24. Esquema de planta zona este.

En base a estudios de impacto ambiental (Vialidad Rionegrina, 2019), junto con los datos históricos de INDEC (2024), se calculan las proyecciones poblacionales (proyección lineal, tasas geométricas, relación tendencia) para los años 2038 y 2048.

Los datos se explicitan en la Tabla 3.

Tabla 3. Proyecciones poblacionales.

Año	Proyección lineal	Geométrica constante	Geométrica decreciente	Relación - tendencia
2001	2350	2350	2350	2350
2010	5295	5295	5295	5295
2020	10419	10419	10419	10419
2028	14518	13829	17906	20122
2038	19642	35233	35233	39979
2048	24766	69329	69329	80024

Con los datos de las proyecciones poblacionales, adicionado a la densidad poblacional promedio (Vialidad Rionegrina, 2019) y al área a abastecer, se calcula la cantidad de habitantes a abastecer.

Una vez se tiene la cantidad de habitantes a abastecer en la zona este de Balsa Las Perlas, se establece una dotación promedio de 300 l/hab.día (ENHOSa, 2023). Con dicha cantidad y dotación promedio fueron calculados los consumos.

Puede observarse que los consumos están divididos en subsistemas, sobre los cuales se indica el QMH (caudal máximo horario), que es el caudal máximo que se consume por hora, siendo éste un pico de consumo y no un promedio. Los pozos indicados en la Figura 24 funcionarán en paralelo.

Los valores se resumen en la Tabla 4. Dichos caudales se obtienen de la base histórica de censos (INDEC, 2024) con proyecciones futuras, cotejado con cálculos realizados en base a los Criterios de ENHOSa (2023). Los datos han sido provistos por los directores del proyecto.

Tabla 4. QMH para cada subsistema.

Zona	Subsistema	QMH (l/s)	QMH (m ³ /h)	Población a abastecer estimada
Este	6	4,37	15,73	1259
Este	7	16,76	60,34	4827
Este	10	29,79	107,24	8580
Este	10	29,79	107,24	8580
Oeste	5	33,30	119,88	9590
Oeste	9	24,14	86,90	6952
Oeste	10	59,58	214,49	17159

6.4 Análisis de restricciones y consideraciones ambientales y tecnológicas

Como parte del análisis de restricciones y consideraciones ambientales y tecnológicas, el sistema de bombeo no solo debe satisfacer la demanda de agua actual, sino que tiene que poder satisfacer la demanda esperada para los próximos 15 años.

Dentro de las consideraciones se tiene que la extracción de agua se realizará mediante pozos filtrantes, ya que presenta ventajas en comparación con la extracción directa desde el río. En primer lugar, la calidad del agua suele ser notablemente superior, ya que los pozos permiten que el agua atraviese capas de suelo y roca, lo que ayuda a filtrar impurezas y contaminantes. Esto resulta en un agua más limpia y segura para el consumo humano (Verdugo, 2023).

Dentro de las consideraciones ambientales, se observa que la extracción de agua desde pozos filtrantes, a diferencia de la extracción directa del río, no interrumpe el flujo natural del agua ni altera el hábitat de especies acuáticas, lo que resulta en una menor perturbación de los ecosistemas fluviales.

Por parte del suministro, los pozos filtrantes pueden ofrecer un suministro de agua más estable a lo largo del tiempo, ya que están menos sujetos a las fluctuaciones estacionales en el caudal del río, indicando que se puede contar con un abastecimiento constante de agua potable.

Por último, la extracción de agua desde pozos filtrantes puede requerir menos tratamiento para hacerla potable, lo que se traduce en menores costos operativos y una mayor eficiencia en el sistema de abastecimiento de agua al no ser imperativo de entrada una planta de tratamiento de agua.

Los pozos están menos expuestos a la contaminación originada por actividades humanas, vertidos industriales o aguas residuales, ya que suelen estar ubicados a cierta distancia de estas fuentes potenciales de contaminación. Esto garantiza un suministro de agua más confiable y menos susceptible

a la contaminación, lo que es crucial para la salud pública. Es un aspecto notable este tipo de extracción teniendo en cuenta que aguas arriba se encuentran ciudades altamente pobladas como lo son Plottier o Senillosa.

Otra consideración a tener en cuenta son las trazas de las tuberías y las facilidades de los emplazamientos de las estaciones rebompeo. Se procurará interferir lo menos posible con los habitantes que actualmente residen en la localidad. Para ello se procurará que las trazas pasen por zonas de ejido municipal y no por zonas privadas. Este aspecto es necesario considerarlo ya que mucha de la población reside en terrenos fuera de lo establecido por el gobierno local, muchas veces sobrepasando las parcelas establecidas. Las zonas de las estaciones de rebompeo hacia los tanques elevados (y cisternas) actualmente están delimitadas como puede verse en las fotografías de dron (Figura 15, Figura 17 y Figura 18).

6.5 Realizar un diseño preliminar del sistema de bombeo que se ajuste a todas las condiciones de bordes que el mismo posee.

El caudal provisto como dato es QMH, el cual el Ente lo considera como caudal máximo horario (QE). Para el diseño del sistema de bombeo (ENHOSa, 2023) se utiliza como caudal de diseño el caudal medio diario (QC), el cual se obtiene como el producto entre la cantidad de habitantes estimada y la dotación de agua (l/hab.día), donde la dotación depende del uso, el cual en este caso particular es residencial; los datos han sido provistos por los directores del proyecto. Ambos caudales se relacionan mediante un coeficiente $\alpha=QE/QC$.

Tabla 5. Tabla de relaciones entre coeficientes. Extraída de Guías Agua Potable (ENHOSa, 2023).

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

Los coeficientes provistos en la tabla extraída de las Guías de Agua Potable de ENHOSa

(2023) no consideran el agua no contabilizada ni los consumos puntuales concentrados (hospitales, escuelas, etc).

Este coeficiente de relación α depende de la cantidad de habitantes en la zona de alimentación del subsistema.

Tabla 6. Valores de coeficientes extraídos de Guías Agua Potable (ENHOSa, 2023).

Población servida	α_1	α_2	α	β_1	β_2	β
500 h < Ps < 3000 h	1,40	1,90	2,66	0,60	0,50	0,30
3000 h < Ps < 15000 h	1,40	1,70	2,38	0,70	0,50	0,35
15000 h < Ps	1,40	1,50	1,95	0,70	0,60	0,42

Se toma el valor α igual a 2,38 puesto que, en cada uno de los subsistemas, si bien actualmente no existen más de 3000 habitantes, las previsiones poblacionales para dentro del margen temporal analizado indican que se puede superar o estar próximo a dicho valor de población.

Se presenta esquema de caudales y ramales con sus consumos.

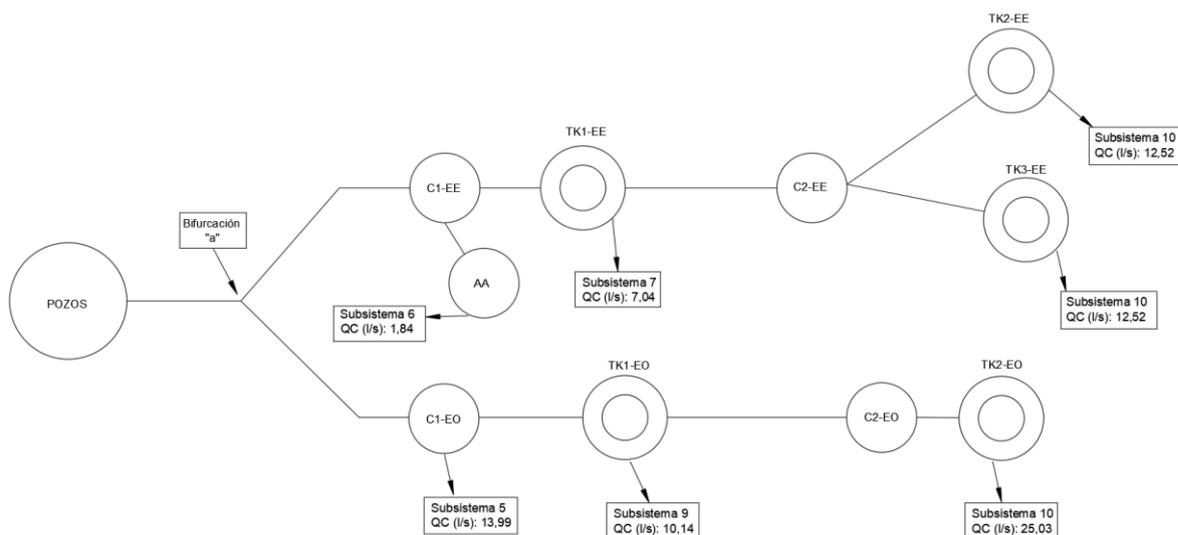


Figura 25. Esquema de caudales y ramales con consumos.

En la Figura 25 se esquematiza un solo pozo a fines de simplicidad al mostrar los datos, aunque en la realidad habrá dos pozos en paralelo.

Se resumen los valores en la Tabla 7.

Tabla 7. Caudal medio diario requerido por cada elemento.

	C1-EO	TK1-EO	TK2-EO	AA	TK1-EE	TK2-EE	TK3-EE
QE (l/s)	33,30	24,14	59,58	4,37	16,76	29,79	29,79
α	2,38	2,38	2,38	2,38	2,38	2,38	2,38
QC (l/s)	13,99	10,14	25,03	1,84	7,04	12,52	12,52

6.5.1 Tuberías

La zona de bifurcación entre la salida del tramo recto del pozo y las dos salidas que conducen a los ramales este (denominado ramal 1) y oeste (denominado ramal 2), se nombrará arbitrariamente como “a”, puesto que requiere un análisis en detalle por ser la zona previa a la bifurcación, y por donde pasará la mayor cantidad de caudal de agua. (Ver Figura 25)

Realizando el balance de caudales, y considerando que las bombas no estarán funcionando las 24 horas del día, se realiza el cálculo de caudales de bombeo considerando inicialmente que las bombas funcionarán 12 horas por día, valor que sirve como primera aproximación a la cantidad de horas reales que estará funcionando. Además de esto, el hecho de que las bombas funcionen la mitad de las horas del día permite que, en caso de necesitarse una demanda extra (consumos elevados en verano), sean capaces de funcionar mayor cantidad de horas y satisfacer la demanda.

Tabla 8. Caudales medio diario y de bombeo requeridos por cada tramo.

Ramal	Oeste (2)	Oeste (2)	Este (1)	Este (1)	Este (1)	Este (1)	Este (1)	-
Tramo	a - C1-EO	TK1EO – C2-EO	a - C1-EE	C1-EE - TK1-EE	TK1-EE – C2- EE	C2-EE – TK2- EE	C2-EE – TK3- EE	Pozo - a
QC (l/s)	49,17	25,03	33,91	32,08	25,03	12,52	12,52	83,08
QC (m3/s)	0,049	0,025	0,034	0,032	0,025	0,013	0,013	0,083
Qb (m3/s)	0,098	0,050	0,068	0,064	0,050	0,025	0,025	0,166
Qb (l/s)	98,34	50,07	67,82	64,15	50,07	25,03	25,03	166,16

Se denotará como Q_b al caudal volumétrico de bombeo.

Las velocidades del fluido recomendadas en tuberías de conducción de agua se establecen entre 1 y 3 m/s para evitar excesivas pérdidas de carga por fricción y localizadas (cambios de dirección, etc.), así como también reducir la sobrepresión generada en caso de que existiera un fenómeno transitorio como un golpe de ariete. (ENHOSa, 2023)

Teniendo el dato de los caudales y del rango de velocidades, se establece una velocidad objetivo de 1,5 m/s utilizando la ecuación de continuidad para estimar los rangos de diámetros de tubería que satisfacen dicho requerimiento.

Tabla 9. Estimación temprana de diámetros de tubería.

Zona	a - C1- EO	TK1EO - C2- EO	a - C1- EE	C1-EE - TK1- EE	TK1- EE - C2-EE	C2-EE - TK2- EE	C2-EE - TK3- EE	Pozo - a
Area interna (m²)	0,07	0,03	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02	0,11
Diámetro interno (m)	0,29	0,21	0,24	0,23	0,21	0,15	0,15	0,38
Diámetro interno (mm)	288,91	206,15	239,94	233,35	206,15	145,77	145,77	375,55
Diámetro interno (in)	11,37	8,12	9,45	9,19	8,12	5,74	5,74	14,79

Las ecuaciones utilizadas son 6.1 y 6.2:

$$A = Q_b/V \quad (6.1)$$

$$d = \sqrt{A * \frac{4}{\pi}} \quad (6.2)$$

donde:

d representa el diámetro interno.

A representa el área interna.

V representa la velocidad media del fluido.

Con estos valores se obtienen las primeras aproximaciones de diámetros para las tuberías.

El Ente (ENHOSa, 2023) indica que los proyectistas deben realizar un análisis técnico-económico de las posibles soluciones que satisfagan las necesidades detectadas, por lo que, previo a la definición del diámetro óptimo se deben considerar los materiales de fabricación. El Ente no especifica cuáles son los materiales para la realización de proyectos de conducción de agua, pero indica que los mismos deben cumplir con las normas IRAM correspondientes al material seleccionado. El material y clase de tuberías para aducciones debe seleccionarse tomando en cuenta la topografía del terreno, las presiones y esfuerzos a los que puedan estar sometidos, las características químicas del agua y del suelo y otros factores tales como disponibilidad del mercado, costos, etc. En el caso de aguas o suelos agresivos deben seleccionarse materiales resistentes o proyectar protecciones adecuadas. En el capítulo 11 – *Conducción de agua cruda y tratada* de las Guías de Agua Potable de ENHOSa (2023) se tratan los materiales de las cañerías, dentro de los cuales se incluyen:

- Fundición dúctil:
 - Las cañerías deben responder a lo establecido en la norma ISO 2531 – 1991 con el espesor mínimo correspondiente a la clase K 9.
 - Requieren revestimiento interior y exterior.
- PRFV (Poliéster Reforzado Con Fibra De Vidrio):
 - Las cañerías deben responden a lo establecido en la norma AWWA C- 950 e IRAM 13.431, 13.439 y 13.483 con un espesor mínimo correspondiente a la clase 6 y una presión interna mínima de 6 bar.
- PVC (Policloruro De Vinilo No Plastificado):
 - Las cañerías deben responder a las normas IRAM N° 13.3350 – 1972, N° 13.351 – 1988, N° 13.352 – 1968 y 13.359 – 1970 con un espesor mínimo correspondiente a la clase 6.
 - De ser importados deben responder a la norma ISO 161.
- PEAD (Polietileno De Alta Densidad):
 - Las cañerías deben responder a las normas ASTM D – 3350 –1984, D – 1248 1984, ISO N° 4427, AWWA C – 901 – 1988, C – 909 – 1960 e IRAM 13.330, 13.345, 13.349 y 13.485 con un espesor mínimo correspondiente a la clase de presión 6 bar.
- Acero:
 - Las tuberías deben ser de conformidad con las normas ANSI / AWWA C200, C 203, C 205, C 208, C 210 y C 214, en chapa de acero calidad mínima SAE 1020 y para una presión mínima de diseño de 10 kg. / cm².
 - Requieren revestimiento interno y externo.
- Hormigón Armado con Alma de Acero:

- Los caños deben responder a las normas AWWA C 300 para hormigón armado (“Reinforced concrete”) C 301 para hormigón pretensado (“Prestressed concrete”) o C 303 para hormigón pretensionado (“Pretensioned concrete”). Se emplearán para diámetros de 600 mm y mayores.
 - El revestimiento exterior mediante epoxi al alquitrán debe tener un espesor de 120 micrómetros, 100 % sólido.
- Asbesto Cemento:
- Los caños deben cumplir con la norma IRAM N° 11.516 – 1992, con un espesor mínimo correspondiente a la clase 5.
 - Las juntas deben ser del tipo manguito con aro de goma según la norma IRAM N° 11.510/92 y aros de goma según IRAM N° 113.048 – 1990 o ISO 4633 – 1983.

En base a los costos de instalación y acondicionamiento (en caso de que tengan un recubrimiento), así como consideraciones correspondientes a la topografía del terreno y las presiones a soportar, el material seleccionado es PVC (Policloruro De Vinilo No Plastificado).

Se utilizará PVC PN6 en función de la resistencia que se requiere ante posibles fenómenos transitorios, sumado a eso, la tubería irá soterrada debido a que de esta manera se realiza protección ultravioleta ante los rayos solares.

En resumen, se llega a los diámetros óptimos indicados en la Tabla 10.

Tabla 10. Diámetros óptimos para conducción de fluido.

Zona	a - C1- EO	TK1EO – C2-EO	a - C1-EE	C1-EE - TK1-EE	TK1-EE – C2-EE	C2-EE – TK2-EE	C2-EE – TK3-EE	Pozo - a
Diámetro nominal (in)	10	6	8	8	8	5	5	12
Diámetro interno (mm)	256	157	206	206	206	131	131	307
Diámetro interno (in)	10,08	6,18	8,11	8,11	8,11	5,16	5,16	12,09
Área interior (m²)	0,05	0,02	0,03	0,03	0,03	0,01	0,01	0,07
Velocidad (m/s)	1,91	2,59	2,03	1,92	1,50	1,86	1,86	2,24

Una vez validados los diámetros óptimos, se puede observar en la Tabla 10, que las velocidades están dentro de los rangos recomendados de operación según los autores (Mataix, 1982) y el Ente (ENHOSa, 2023).

En vista de que se tiene una primera aproximación de los diámetros de las tuberías y del material, se procede a realizar un estudio más detallado de la zona abarcada entre los pozos de extracción de agua y las primeras cisternas.

En el ANEXO II se indica el detalle para el cálculo del diámetro óptimo.

6.5.2 Sector Pozo-a-1A/2A

El sector a analizar se indica en la Figura 26, el cual es un extracto del esquema de funcionamiento (Figura 23), provisto por los directores del proyecto. El sector a analizar es desde los pozos filtrantes hasta las cisternas C1-EE y C1-EO.

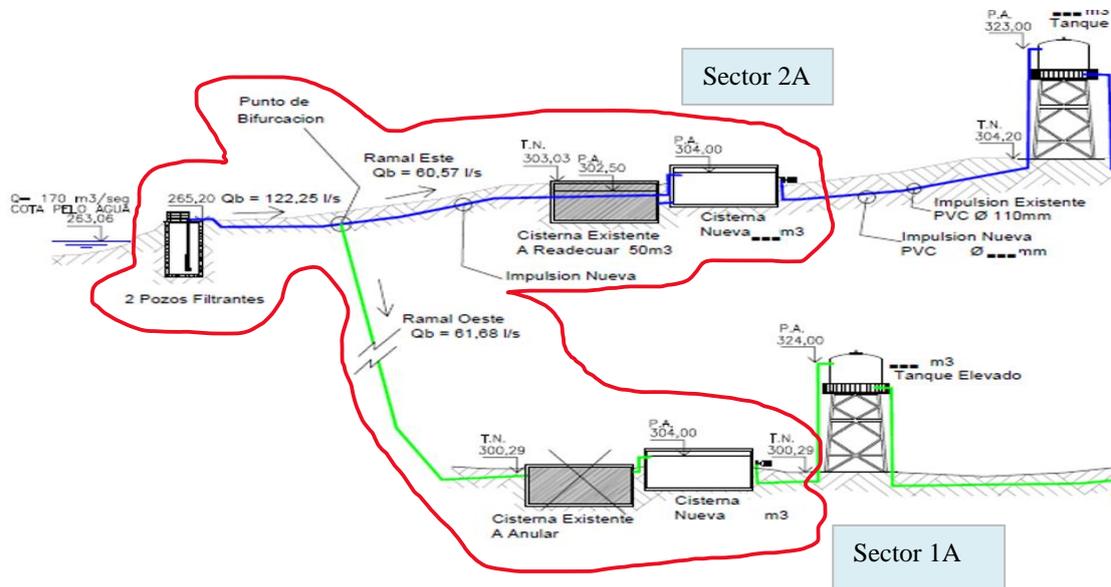


Figura 26. Sector de pozos hasta las primeras cisternas.

Se arman las curvas del sistema desde “a” (recordando que el punto de bifurcación es arbitrariamente llamado “a”) hasta la cisterna nueva (1A). Siguiendo la ecuación de altura para un sistema de bombeo en el cual se tiene en cuenta las pérdidas totales, se explicita la misma en 6.3,

$$H_{sistema} = \sum J_L + \sum J_f + H_b \quad (6.3)$$

siendo:

$\sum J_L$ la sumatoria de pérdidas localizadas a lo largo del sector a analizar

$\sum J_f$ la sumatoria de pérdidas distribuidas a lo largo del sector a analizar

H_b la diferencia topográfica entre las alturas de los pozos filtrantes y las cisternas analizadas

Las pérdidas localizadas se cuantizan siguiendo las consideraciones tomadas según el autor Crane y Crane (2009) para los elementos:

Tabla 11. Coeficientes de pérdidas localizadas sector a - 1A.

Elemento	K (coef. de pérdida unit.)	Cantidad estimada	K*cantidad
Codo	0,75	3	2,25
Tee	1,8	1	1,8
Válvulas	5	1	5
Suma			9,05

$$\Sigma J_L = \frac{kV^2}{2g} \quad (6.4)$$

La altura bruta entre el punto de bifurcación “a” y el pelo de agua de la cisterna 1A es de 38,8 m (H_b).

Las pérdidas distribuidas se calculan según el coeficiente f de fricción. Para el PVC se conoce el valor de ε el cual es de 0,0015 mm. Teniendo en cuenta que se trata de un flujo turbulento, se calcula el valor de f con la expresión de Swaame-Jain:

$$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{\varepsilon}{3.7d} \right) + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right]^2} \quad (6.5)$$

Se obtiene un valor adimensional de f según cada valor de número de Reynolds y rugosidad relativa.

Se plantea la curva del sistema a-1A y se indican los valores en la Tabla 12.

Tabla 12. Valores para curva de sistema a-1A.

Punto	Q_b (m ³ /s)	$\frac{V^2}{2g}$	Re	f	J_L	J_f	J_{total}	H_b	H_{sist_1}
0	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,00	0,00	38,8	39
1	0,01	0,00	69.877,9	0,01944	0,01	0,03	0,04	38,8	39
2	0,01	0,00	139.755,7	0,01683	0,02	0,12	0,14	38,8	39
3	0,02	0,01	209.633,6	0,01554	0,05	0,25	0,30	38,8	39
4	0,02	0,01	279.511,4	0,01472	0,09	0,42	0,51	38,8	39
5	0,03	0,02	349.389,3	0,01412	0,15	0,63	0,77	38,8	40
6	0,03	0,02	419.267,1	0,01367	0,21	0,88	1,09	38,8	40
7	0,04	0,03	489.145,0	0,01330	0,29	1,16	1,45	38,8	40
8	0,05	0,04	559.022,8	0,01299	0,37	1,48	1,85	38,8	41
9	0,05	0,05	628.900,7	0,01273	0,47	1,83	2,31	38,8	41
10	0,06	0,06	698.778,5	0,01250	0,58	2,22	2,81	38,8	42
11	0,06	0,08	768.656,4	0,01230	0,71	2,65	3,35	38,8	42
12	0,07	0,09	838.534,2	0,01213	0,84	3,11	3,95	38,8	43
13	0,08	0,11	908.412,1	0,01197	0,99	3,60	4,58	38,8	43
14	0,08	0,13	978.289,9	0,01182	1,14	4,12	5,27	38,8	44
15	0,09	0,14	1.048.167,8	0,01169	1,31	4,68	5,99	38,8	45
16	0,10	0,19	1.187.923,5	0,01146	1,69	5,89	7,58	38,8	46

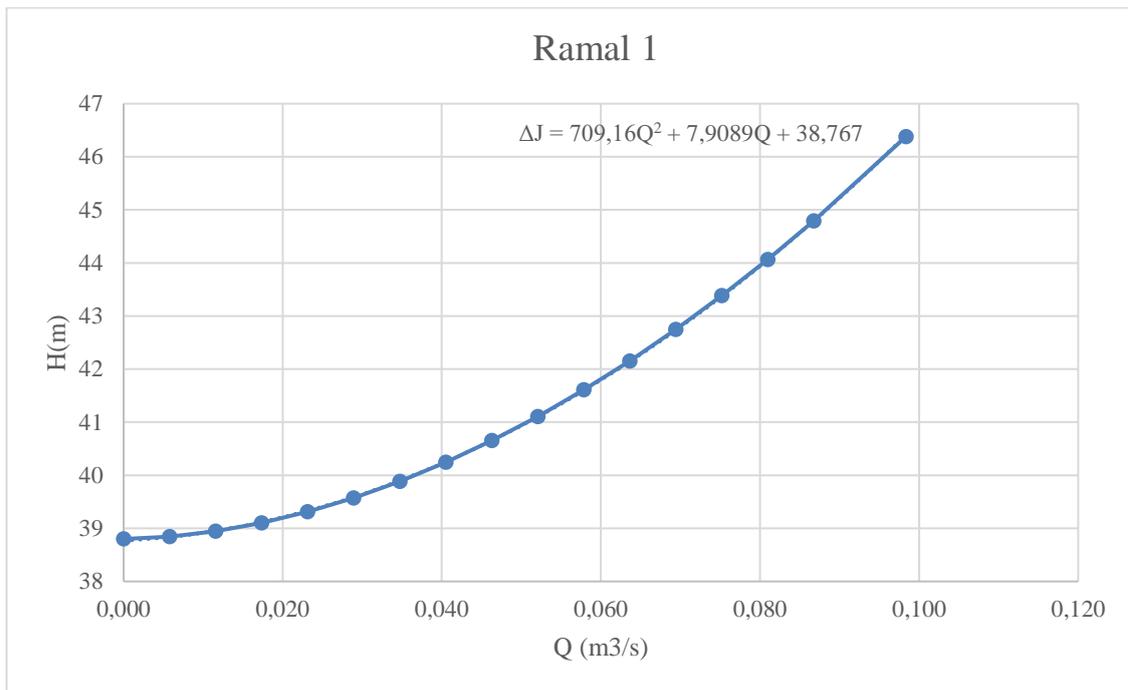


Figura 27. Gráfico de curva de sistema a-1A.

Se sigue el mismo procedimiento para el ramal a-2A, teniendo en cuenta las pérdidas localizadas, las distribuidas y la altura bruta, la cual es la misma que en el ramal a-1A.

Tabla 13. Curva del sistema a-2A.

Punto	Q_b (m3/s)	$\frac{V^2}{2g}$	Re	f	J_L	J_f	J_{total}	H_b	H_{sist_2}
0	0,00	0,00	-	0,0000	0,00	0,00	0,00	38,8	39
1	0,00	0,00	24.950,23	0,0246	0,01	0,06	0,07	38,8	39
2	0,01	0,00	49.900,45	0,0209	0,03	0,21	0,24	38,8	39
3	0,01	0,01	74.850,68	0,0192	0,06	0,44	0,49	38,8	39
4	0,02	0,01	99.800,90	0,0180	0,11	0,73	0,83	38,8	40
5	0,02	0,02	124.751,13	0,0172	0,17	1,09	1,25	38,8	40
6	0,02	0,03	149.701,35	0,0166	0,24	1,51	1,75	38,8	41
7	0,03	0,04	174.651,58	0,0161	0,32	1,99	2,32	38,8	41
8	0,03	0,05	199.601,80	0,0157	0,42	2,54	2,96	38,8	42
9	0,04	0,06	224.552,03	0,0153	0,54	3,14	3,67	38,8	42
10	0,04	0,07	249.502,25	0,0150	0,66	3,80	4,46	38,8	43
11	0,04	0,09	274.452,48	0,0148	0,80	4,51	5,31	38,8	44
12	0,05	0,11	299.402,70	0,0145	0,95	5,28	6,24	38,8	45
13	0,05	0,12	324.352,93	0,0143	1,12	6,11	7,23	38,8	46
14	0,06	0,14	349.303,16	0,0141	1,30	6,99	8,29	38,8	47
15	0,06	0,16	374.253,38	0,0140	1,49	7,93	9,41	38,8	48
16	0,07	0,21	424.153,83	0,0136	1,91	9,95	11,87	38,8	51

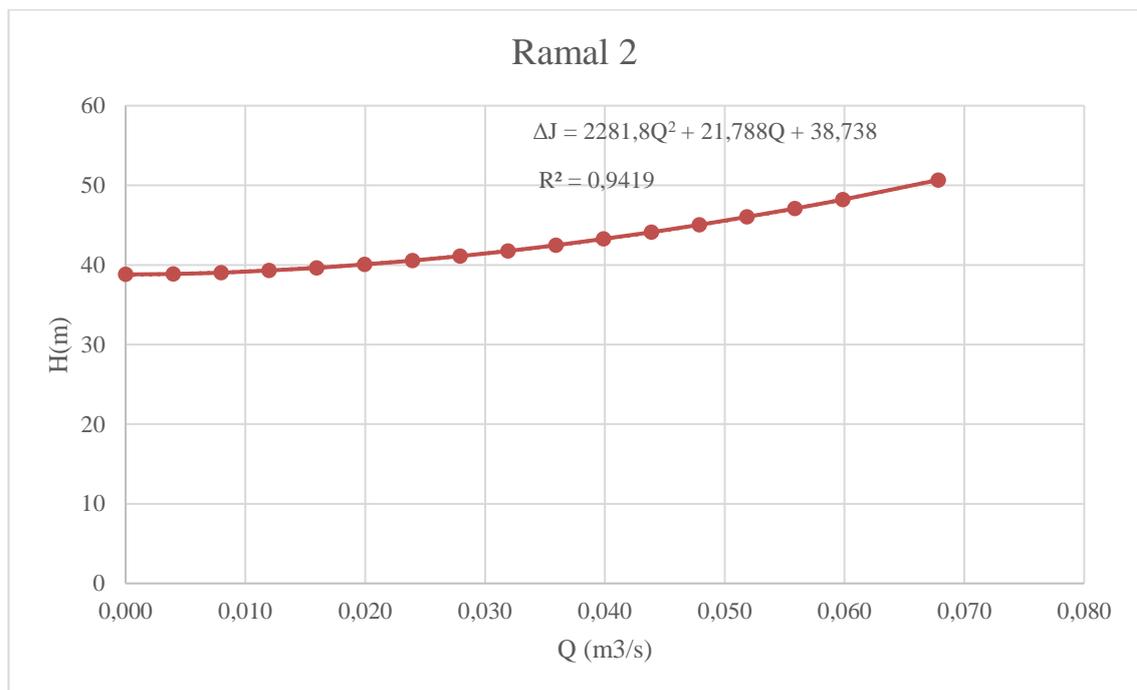


Figura 28. Gráfico de curva de sistema a-2A.

Una vez se tienen las curvas del sistema para ambos ramales, lo que sigue es sumar los caudales por cada altura. Para esto se tiene soporte de casos similares planteados por el Mataix (1982).

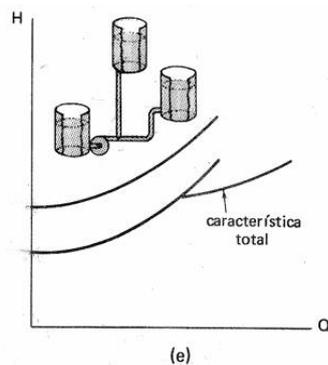


Figura 29. Figura 20-1e (Mataix, 1982).

Mataix (1982) en su capítulo XX indica que: “la figura representa un esquema de ramificación con dos alturas estáticas distintas. Se trazan las características parciales y luego la característica total, sumando los caudales de cada rama para una misma altura total (altura estática más altura de pérdidas).”

La curva de ambos sistemas es representada por una aproximación parabólica con R^2 de 1, por lo que considera despreciable el error y que la regresión se ajusta perfectamente a cada uno de los

valores.

Las curvas están descritas por la ecuación parabólica indicada en la expresión 6.6,

$$y = aX^2 + bX + c \quad (6.6)$$

representando:

X el caudal

y la altura

Para el ramal 1, los coeficientes son:

$$a_1 = 709,16$$

$$b_1 = 7,909$$

$$c_1 = 38,8$$

La ecuación del sistema queda definida por la expresión 6.7.

$$y_1 = 709,16X^2 + 7,909X + 38,8 \quad (6.7)$$

Para el ramal 2, los coeficientes son:

$$a_2 = 2281,8$$

$$b_2 = 21,78$$

$$c_2 = 38,8$$

Con los valores de los coeficientes, la curva del ramal 2 queda definida según la expresión 6.8.

$$y_2 = 2281,8X^2 + 21,78X + 38,8 \quad (6.8)$$

Se plantean los caudales que se tendrían con cada una de las alturas para cada ramal, para luego sumarlos y obtener el sistema equivalente en paralelo.

Tabla 14. Caudales según cada altura para cada ramal.

H_{s1+2} (m)	Q_1 (m3/s)	Q_2 (m3/s)	Q_{eq} (m3/s)
38,8	-	-	-
40	0,0359	0,0187	0,0546
41	0,0504	0,0266	0,0771
42	0,0618	0,0330	0,0948
43	0,0716	0,0384	0,1100
44	0,0802	0,0432	0,1235
45	0,0881	0,0476	0,1357

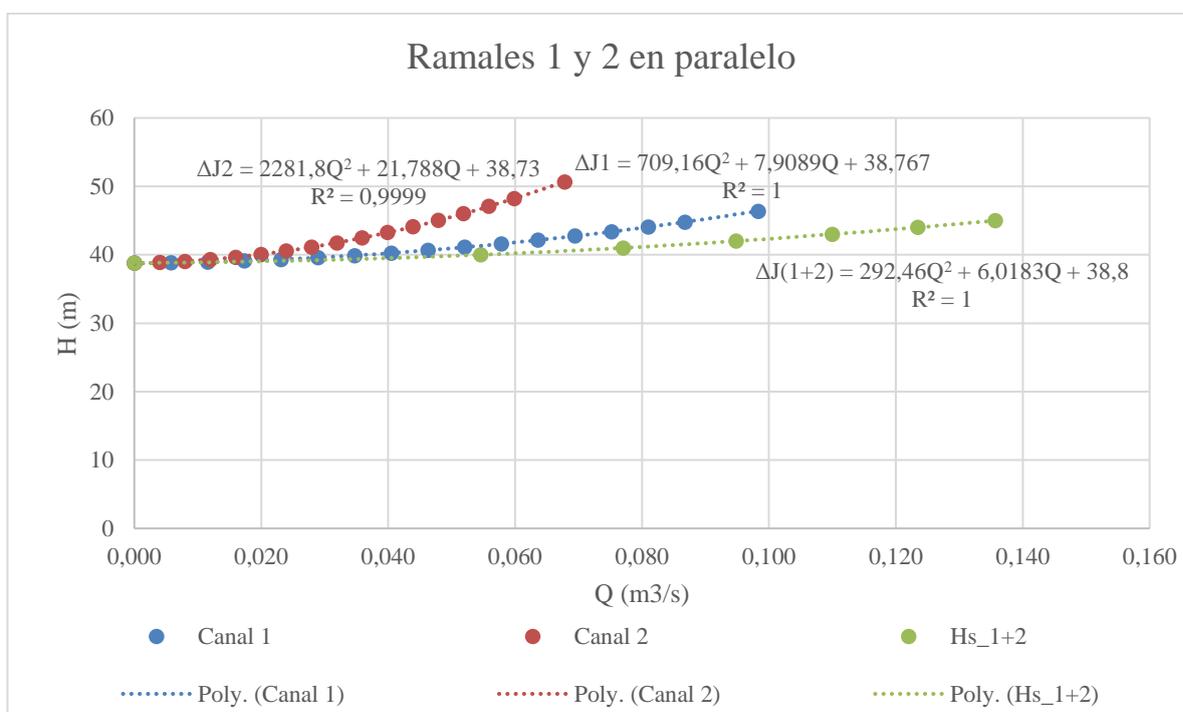


Figura 30. Sistema equivalente de canales 1 y 2 desde la bifurcación.

Una vez se tiene la curva del sistema en paralelo se arma la curva del sistema desde el pozo hasta la bifurcación.

Tabla 15. Curva del sistema en paralelo desde pozo hacia bifurcación.

Punto	Q_b (m ³ /s)	$\frac{V^2}{2g}$	Re	f	J_L	J_f	J_{total}	H_b	$H_{sist.pozo-a}$
0	0,00	0,00	-	0	0,00	0,00	0,00	0	0,00
1	0,01	0,00	160.952,6	0,0164	0,00	0,01	0,02	0	0,02
2	0,01	0,00	321.905,2	0,01438	0,02	0,04	0,06	0	0,06
3	0,02	0,00	482.857,7	0,01338	0,04	0,08	0,13	0	0,13
4	0,03	0,01	643.810,3	0,01274	0,07	0,14	0,22	0	0,22
5	0,04	0,01	804.762,9	0,01229	0,11	0,22	0,33	0	0,33
6	0,04	0,02	965.715,5	0,01193	0,16	0,30	0,47	0	0,47
7	0,05	0,02	1.126.668,1	0,01165	0,22	0,40	0,63	0	0,63
8	0,06	0,03	1.287.620,6	0,01142	0,29	0,51	0,81	0	0,81
9	0,07	0,04	1.448.573,2	0,01122	0,37	0,64	1,01	0	1,01
10	0,07	0,05	1.609.525,8	0,01105	0,46	0,78	1,23	0	1,23
11	0,08	0,06	1.770.478,3	0,0109	0,55	0,93	1,48	0	1,48
12	0,09	0,07	1.931.430,9	0,01077	0,66	1,09	1,75	0	1,75
13	0,10	0,09	2.092.383,5	0,01065	0,77	1,27	2,04	0	2,04
14	0,10	0,10	2.253.336,1	0,01055	0,89	1,46	2,35	0	2,35
15	0,11	0,11	2.414.288,7	0,01045	1,03	1,66	2,68	0	2,68
16	0,13	0,15	2.736.193,8	0,01029	1,32	2,09	3,41	0	3,41

La gráfica de los datos de la Tabla 15 se explicita gráficamente en la Figura 31.

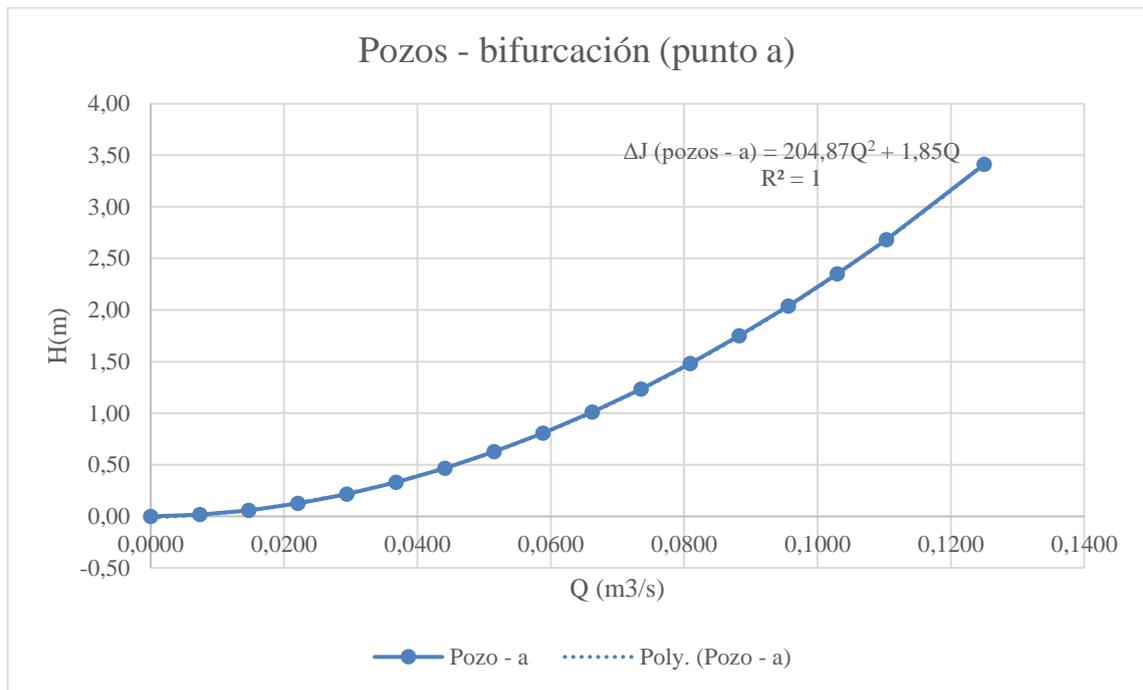


Figura 31. Gráfica sistema desde pozos hasta bifurcación (punto a).

Se tiene la curva de funcionamiento del sistema desde el pozo hasta la bifurcación y el equivalente de la bifurcación hasta los tanques. Se procede a realizar el sistema total equivalente, el cual se realiza mediante la sumatoria como sistemas en serie.

Para realizar la sumatoria en serie, por cada caudal se suman las alturas de los sistemas.

Las ecuaciones para cada uno de los subsistemas son las indicadas en 6.9 y 6.10.

La curva equivalente desde la bifurcación hacia los tanques se indica en la expresión 6.9.

$$y = 292,4X^2 + 6,02X^2 + 38,8 \quad (6.9)$$

La curva desde el pozo hacia la bifurcación se indica en la expresión 6.10.

$$y = 204,87X^2 + 1,8X \quad (6.10)$$

Una vez que se tienen las dos ecuaciones de gobierno de los subsistemas, se procede a realizar la sumatoria de las alturas (y) para cada caudal (X). Los valores se expresan en la Tabla 16:

Tabla 16. Altura equivalente de sistema en serie pozo - primeras cisternas.

Q (m³/s)	H sumada (m)
0	38,80
0,005	39,12
0,015	39,84
0,025	40,66
0,035	41,58
0,045	42,60
0,055	43,71
0,065	44,93
0,075	46,24
0,085	47,66
0,095	49,17
0,105	50,78
0,115	52,49
0,125	54,31
0,135	56,22
0,145	58,23
0,155	60,34
0,165	62,54

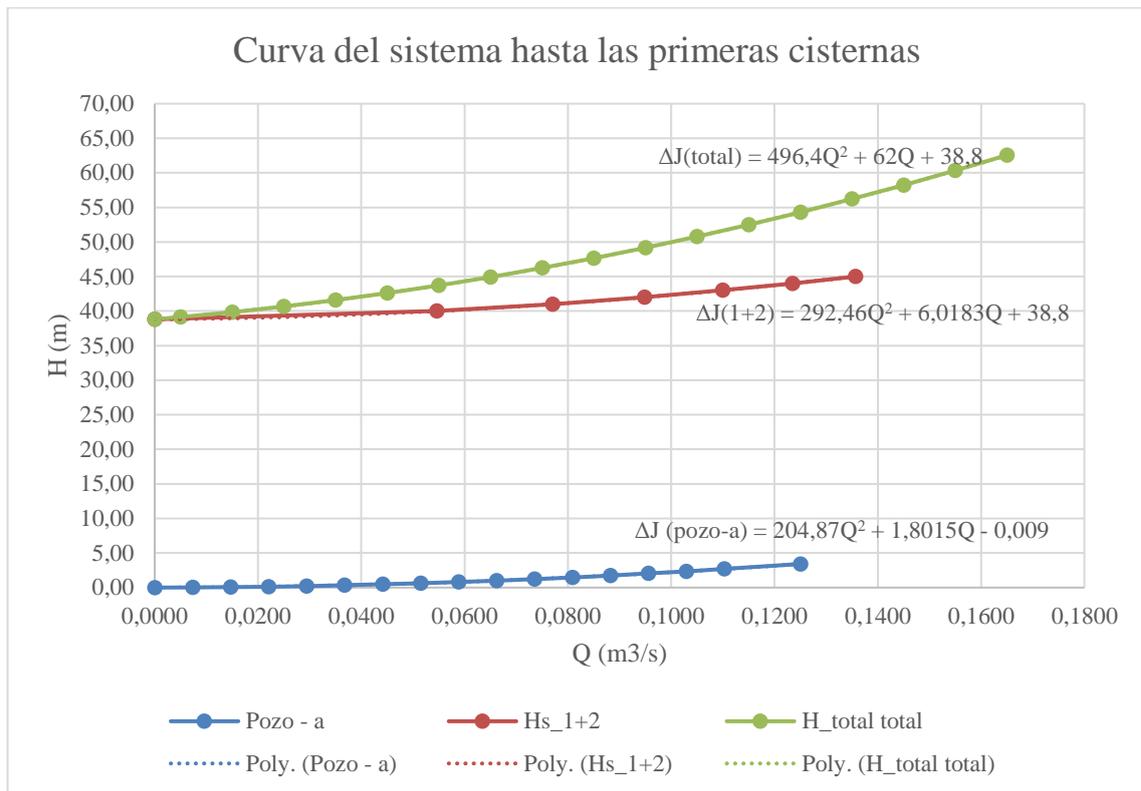


Figura 32. Gráfica de la curva del sistema hasta las primeras cisternas.

6.5.3 Bombas de fondo (pozo)

Se seleccionarán bombas sumergibles debido a que presentan ventajas sobre las bombas de aspiración tipo centrífugas. Su eficiencia energética es mayor, gracias a su diseño que minimiza las pérdidas de energía asociadas con la fricción en las tuberías de aspiración. Además, al operar sumergidas en el líquido que bombean, estas bombas están menos sujetas a la cavitación. Esta característica, junto con su menor necesidad de mantenimiento debido a su diseño sellado, las convierte en una opción ideal para el bombeo de aguas subterráneas en sectores industriales.

Una vez se tiene la curva del sistema, se procede a buscar bombas que satisfagan las necesidades de altura y caudal.

Siguiendo los criterios de ENHOSa (2023), se indica que, en caso de usar una o dos bombas, se debe tener una más de reserva en caso de que alguna falle.

Para el caso de estudio se tiene que el agua se bombeará desde dos pozos, dentro de los cuales se decide instalar dos bombas sumergibles en cada uno, más una de reserva. La bomba de reserva no estará funcionando normalmente ya que estará en caso de que alguna de las otras falle. La elección de

dos bombas funcionando en paralelo por cada pozo es debido a que no siempre se estarán llenando ambos tanques a la vez.

El sistema de bombeo desde los pozos hasta los primeros tanques debe satisfacer tres casos de funcionamiento, cuando se llena el ramal 1 solamente, cuando se llena el ramal 2 solamente y cuando se llenan ambos.

Para poder buscar la bomba o bombas que mejor se ajusten al sistema, se arma el sistema en serie tramo pozo-a sumando cada ramal.

Para el tramo pozo-a + ramal 1 los requerimientos del sistema son:

$$Q \text{ requerido} = 354 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$H \text{ requerido} = 46 \text{ m}$$

Para el tramo pozo-a + ramal 2 los requerimientos del sistema son:

$$Q \text{ requerido} = 244,2 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$H \text{ requerido} = 51 \text{ m}$$

Para el caso en que se deban llenar las dos cisternas en el sistema pozo-a + ramal equivalente 1 y 2, los requerimientos del sistema son:

$$Q \text{ requerido} = 594 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$H \text{ requerido} = 62,5 \text{ m}$$

La comparativa entre las bombas seleccionadas que cumplen los requerimientos se indican en el ANEXO III.

Ninguna de las bombas seleccionadas pasa exactamente por el punto de funcionamiento del sistema, por lo que se realiza una comparación entre el caudal requerido para cierta altura contra el que la curva de las bombas entrega.

Si la diferencia porcentual en el caudal entregado es positiva quiere decir que está entregando más caudal de lo requerido y si es negativa entrega menos para esa misma altura. En comparación con los caudales de bombeo requeridos, se evidencia lo establecido en apartados anteriores de cantidad de

horas de funcionamiento la bomba, puesto que en el caso que la diferencia sea negativa, estarán funcionando más horas las bombas, pero igualmente podrá satisfacerse la demanda.

Las bombas seleccionadas deben ser todas iguales por recomendación del Ente (ENHOSa, 2023) y autores (Hydraulic Institute, s.f.), para evitar problemas de recirculación, así como una visión en el ahorro de repuestos y cuestiones asociadas a los tiempos de mantenimiento y desgaste.

Los criterios para la selección de la bomba son que la diferencia porcentual entre lo requerido y lo entregado sea lo menor posible, así como también que la potencia consumida sea lo menor posible, el rendimiento y las posibilidades de instalación.

La bomba que tiene menor diferencia porcentual en los parámetros entregados es la **BS 2201 HT 3~ 266** de la marca Xylem (2024), pero la razón por la que no se selecciona dicha bomba es porque la instalación de la misma requiere que esté apoyada sobre el fondo del pozo filtrante, lo cual no se podrá satisfacer.

La bomba seleccionada en función de los parámetros indicados anteriormente es la **NP 3202 HT** de la marca Xylem (2024), la misma tiene una diferencia porcentual positiva en cada uno de los canales, indicando que, en el mayor de los casos, la bomba estará encendida menos de las 12hs indicadas inicialmente.

La bomba permite ser instalada en fosa húmeda sin necesidad de estar en contacto directo con el fondo del pozo (instalación tipo P), según se indica en la hoja de datos del fabricante (Xylem, 2024).

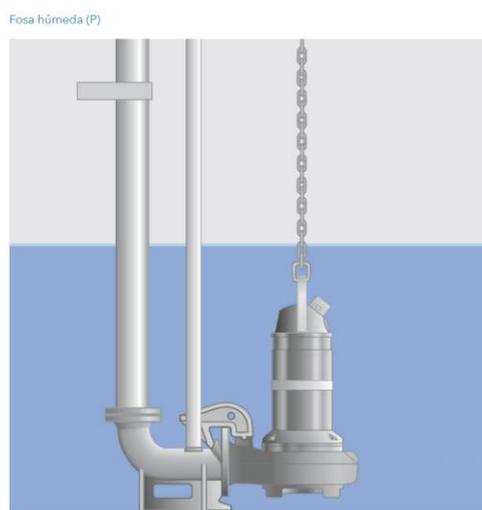


Figura 33. Fotografía de catálogo (Xylem, 2024). Instalación tipo (P) en fosa húmeda.

La bomba permite una instalación semipermanente en fosa húmeda, con la bomba instalada

sobre barras de guía gemelas con conexión automática a la tubería de descarga.

Los datos provistos por el fabricante en su catálogo se indican en la Tabla 17.

Tabla 17. Parámetros de la bomba seleccionada.

Parámetro	Valor (N 3203 HT métrico)
Frecuencia	50 Hz
Número de polos	4
Fases	3
Voltaje	400 V
Diámetro de tubería de descarga	150 mm
Velocidad de rotación	1475 rpm
Material	Acero fundido gris
Eficiencia energética	Eficiencia Premium (IE3)

Se presenta en la Figura 34 y Figura 35 las gráficas de caudal y altura para la bomba seleccionada:

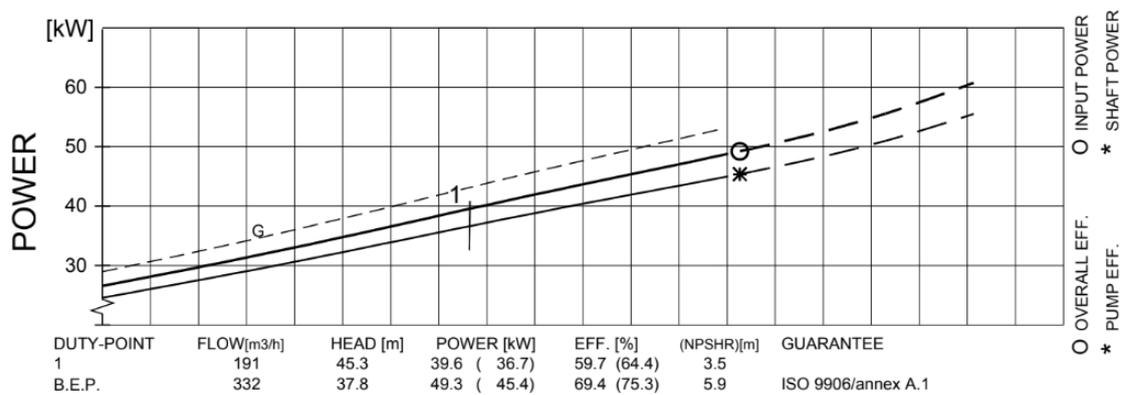


Figura 34. Gráfica de potencia para bomba seleccionada. Extraída de catálogo de fabricante (Xylem, 2024).

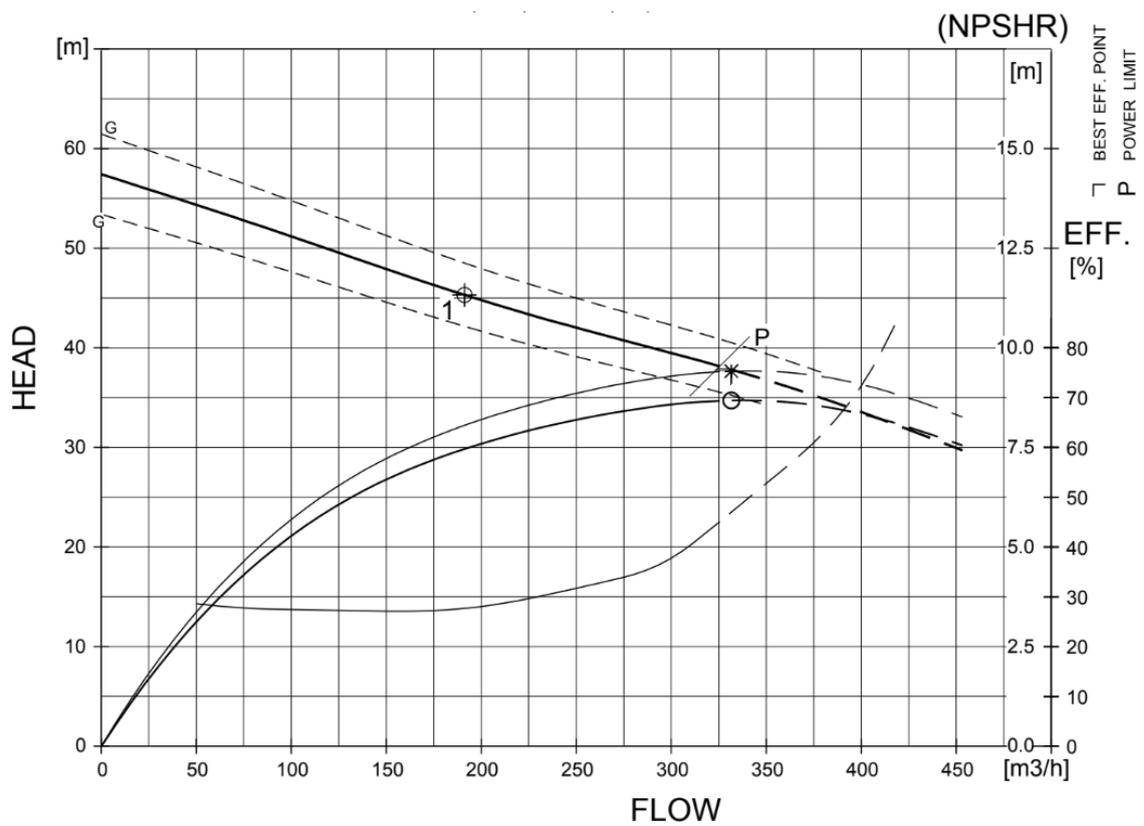


Figura 35. Gráfica de eficiencia, altura y NPSH para la bomba seleccionada. Extraída de catálogo del fabricante (Xylem, 2024).

Una vez se tiene la bomba seleccionada, se procede a intersecar la curva requerida por el sistema con la curva entregada por las bombas. Para el caso en el que se llenen las dos cisternas al mismo tiempo, se estarán utilizando cuatro bombas en paralelo (dos de cada pozo). Se presenta en la Figura 36 la gráfica de las mismas.

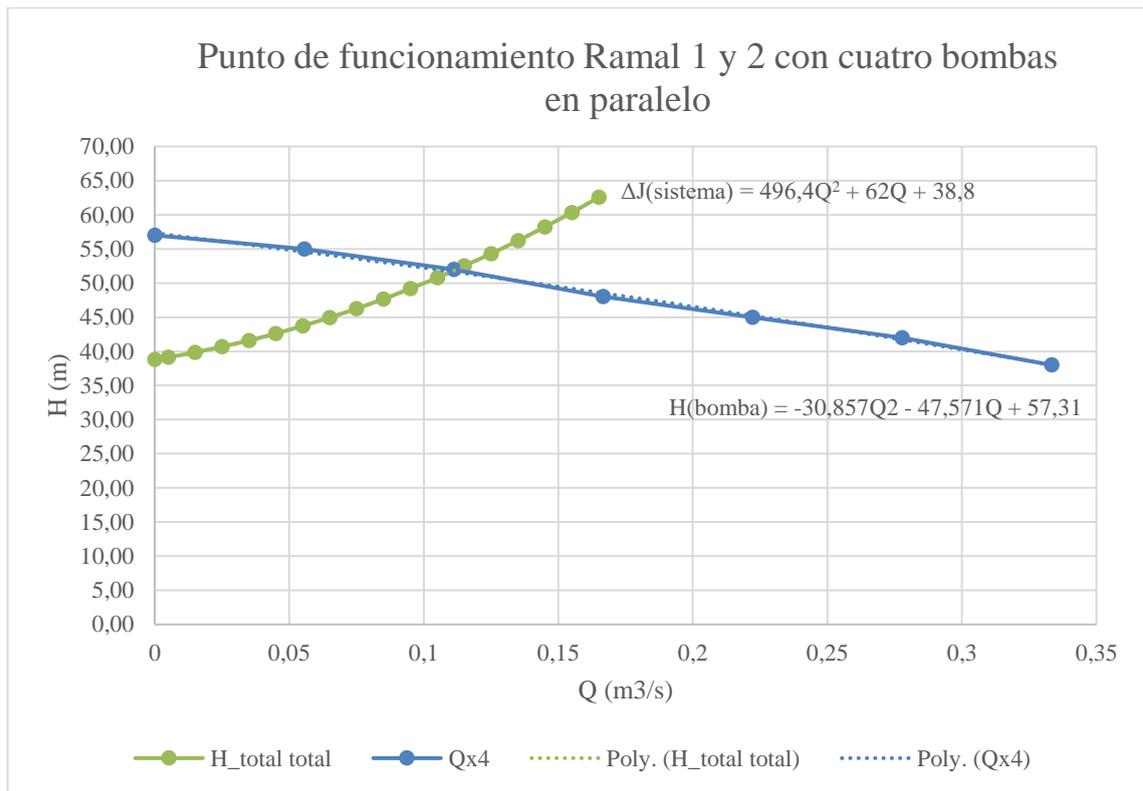


Figura 36. Gráfica de punto de funcionamiento de sistema equivalente con bombas en paralelo.

Como puede verse en la Figura 36, ambas curvas se intersecan en un caudal de $0,113 \text{ m}^3/\text{s}$ ($405 \text{ m}^3/\text{h}$). Esto se traduce en que, en vez de trabajar 12 horas, las bomba estarán trabajando como máximo, 17 horas por día para satisfacer la demanda.

Para los casos en los que solo se llene una de las cisternas, las bombas encenderán de a pares (ya sea que se requiera para el ramal 1 o para el ramal 2 solamente). Se arma la curva del sistema para el ramal 1 y para el ramal 2, en el cual se intersecan con la curva de la bomba en paralelo (solo dos trabajando).

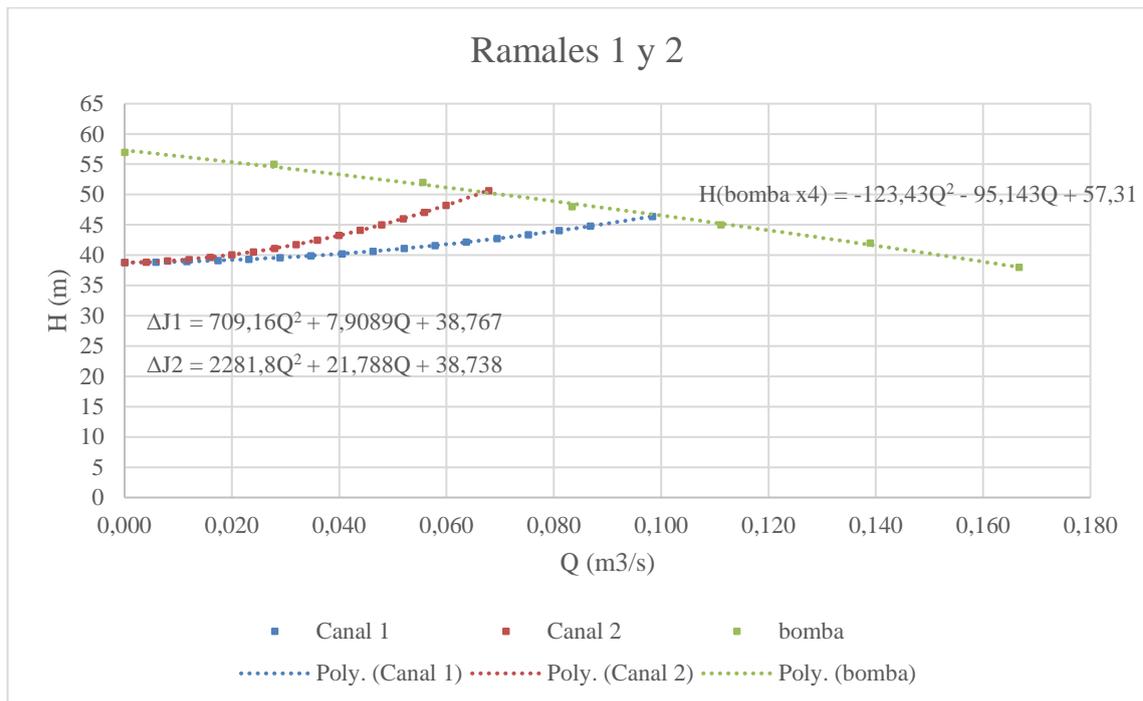


Figura 37. Curva del sistema en ramales 1 y 2 para dos bombas en paralelo.

Para el ramal 1, la intersección se da a los 46 m, erogando un caudal de 0,106 m³/s (380 m³/h). La altura requerida por el sistema es de 46 m de altura y un caudal de 0,098 m³/s por lo que el caudal entregado a dicha altura es un 7% superior al requerido. Esto se traduce en un menor tiempo de bombeo con respecto a las 12 horas inicialmente establecidas.

Para el ramal 2, la intersección se da a los 50 m, erogando un caudal de 0,067 m³/s (240 m³/h). La altura requerida por el sistema es de 50 m de altura y un caudal de 0,068 m³/s por lo que el caudal entregado a dicha altura es, a fines prácticos, igual al requerido.

6.5.4 Bombas (entre cisternas y tanques)

Entre las cisternas y los tanques de almacenamiento existirán bombas para llevar el agua desde el reservorio a nivel del suelo hasta la zona elevada del tanque y en otras ocasiones se realizará un transporte de fluido impulsado por una diferencia entre las cotas geográficas, es decir mediante gravedad. El esquema de planta a seguir se encuentra en la Figura 24. Esquema de planta zona este.

Se observa que las zonas donde se encuentran bombas que impulsan fluido desde la cisterna a los tanques son en la zona este: desde la cisterna C1-EE al tanque elevado TK1-EE, desde la cisterna

C2-EE hacia los tanques TK2-EE y TK3-EE; en la zona oeste se tiene desde la cisterna C1-EO hacia el tanque elevado TK1-EO, y desde la cisterna C2-EO hacia el tanque elevado TK2-EO. Para todas estas impulsiones se utilizarán bombas centrífugas.

Se realiza la curva de sistema para cada uno de los tramos a analizar, a fin de poder encontrar la bomba que mejor satisfaga la demanda.

6.5.4.1 C1-EE a TK1-EE

Este tramo se realizará con tubería enterrada de PVC, teniendo la misma una longitud de 440 metros. Las características de la tubería de impulsión son:

- Diámetro nominal (pulgadas): 8"
- Área interna: 0,03 m²
- Diámetro interno (mm): 206 mm

Las pérdidas localizadas están estimadas según lo indicado en la Tabla 18.

Tabla 18. Pérdidas localizadas en tramo C1-EE a TK1-EE.

Elemento	K (coef. de pérdida)	Cantidad estimada	K*cantidad
Codo	0,75	4	3
Te	1.8	0	0
Válvulas	8	1	8
Suma	-	-	11

El caudal de bombeo es de 0,064 m³/s (230,4 m³/h), se realiza la curva del sistema del sistema contemplando un posible excedente en el caudal que pase por la misma.

Tabla 19. Curva del sistema tramo CI-EE a TK1-EE.

Nº	Q_b (m ³ /s) (QC)	$V^2/2g$	J_{loc}	J_{dist}	J_{total}	H_b	H_{sist}	Q (m ³ /h)
1	0,001	0,00	0,00	0,00	0,00	19	19,00	3,6
2	0,006	0,00	0,02	0,03	0,06	19	19,06	21,6
3	0,011	0,01	0,08	0,11	0,19	19	19,19	39,6
4	0,016	0,01	0,16	0,24	0,40	19	19,40	57,6
5	0,021	0,03	0,28	0,41	0,69	19	19,69	75,6
6	0,026	0,04	0,42	0,63	1,05	19	20,05	93,6
7	0,031	0,05	0,60	0,89	1,49	19	20,49	111,6
8	0,036	0,07	0,81	1,20	2,01	19	21,01	129,6
9	0,041	0,10	1,05	1,56	2,61	19	21,61	147,6
10	0,046	0,12	1,32	1,97	3,29	19	22,29	165,6
11	0,051	0,15	1,62	2,42	4,04	19	23,04	183,6
12	0,056	0,18	1,96	2,92	4,87	19	23,87	201,6
13	0,061	0,21	2,32	3,46	5,78	19	24,78	219,6
14	0,064	0,23	2,55	3,81	6,36	19	25,36	230,4
15	0,066	0,25	2,72	4,05	6,77	19	25,77	237,6
16	0,071	0,29	3,14	4,69	7,83	19	26,83	255,6
17	0,076	0,33	3,60	5,37	8,97	19	27,97	273,6
18	0,081	0,37	4,09	6,10	10,19	19	29,19	291,6
19	0,086	0,42	4,61	6,88	11,49	19	30,49	309,6

La curva del sistema queda gráficamente determinada según lo indicado en la Figura 38.

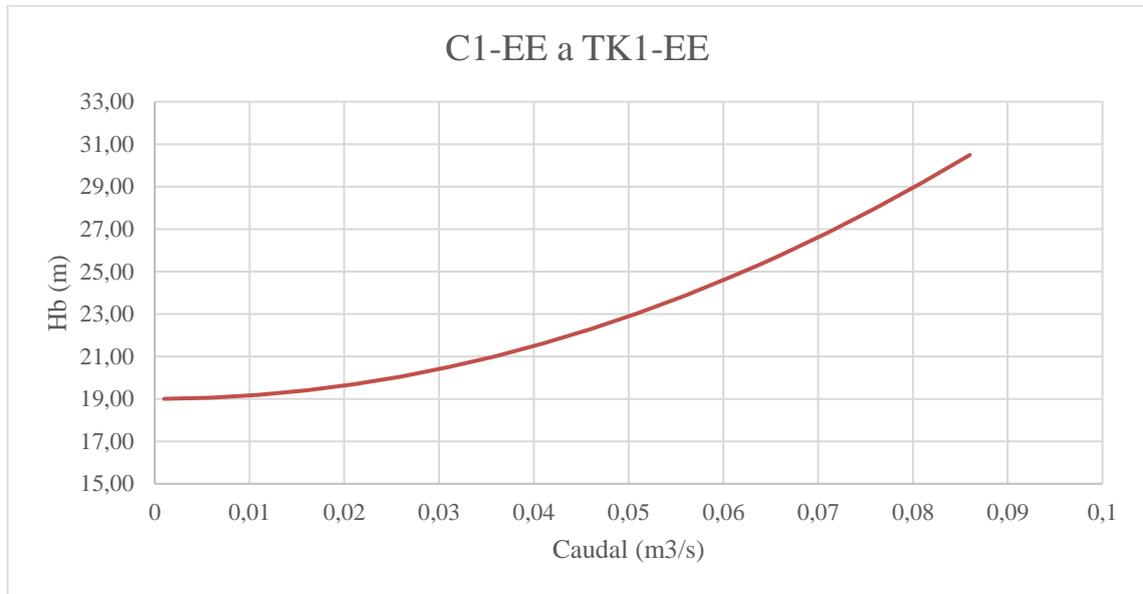


Figura 38. Gráfico sistema C1-EE a TK1-EE.

Las bombas mono etapa que satisfacen mejor las condiciones son:

- Bomba principal: LNES 125-315/220/L45VCC4
- Bomba alternativa: LNES 150-315/220/L45VCC4

6.5.4.2 C1-EO a TK1-EO

Este tramo se realizará con tubería de acero expuesta al exterior, teniendo la misma una longitud aproximada de 35 metros. Las características de la tubería de impulsión son:

- Diámetro nominal (pulgadas): 6"
- Área interna: 0,02 m²
- Diámetro interno (mm): 157 mm

Las pérdidas localizadas están dadas por lo indicado en la Tabla 20.

Tabla 20. Pérdidas localizadas en tramo CI-EO a TK1-EO.

Elemento	K (coef. de pérdida)	Cantidad estimada	K*cantidad
Codo	0,75	4	3
Te	1.8	0	0
Válvulas	8	1	8
Suma			11

El caudal de bombeo es de 0,035 m³/s (136 m³/h), se realiza la curva del sistema del sistema contemplando un posible excedente en el caudal que pase por la misma.

Tabla 21. Curva del sistema tramo CI-EO a TK1-EO.

Nº	Q_b (m ³ /s) (QC)	$V^2/2g$	J_{loc}	J_{dist}	J_{total}	H_b	H_{sist}	Q (m ³ /h)
1	0,001	0,00	0,00	0,00	0,00	24	24,00	3,6
2	0,003	0,00	0,01	0,00	0,01	24	24,01	10,8
3	0,005	0,00	0,02	0,00	0,02	24	24,02	18,0
4	0,007	0,00	0,03	0,00	0,04	24	24,04	25,2
5	0,009	0,00	0,05	0,01	0,06	24	24,06	32,4
6	0,011	0,01	0,08	0,01	0,09	24	24,09	39,6
7	0,013	0,01	0,11	0,02	0,12	24	24,12	46,8
8	0,015	0,01	0,14	0,02	0,16	24	24,16	54,0
9	0,017	0,02	0,18	0,03	0,21	24	24,21	61,2
10	0,019	0,02	0,23	0,04	0,26	24	24,26	68,4
11	0,021	0,03	0,28	0,04	0,32	24	24,32	75,6
12	0,023	0,03	0,33	0,05	0,38	24	24,38	82,8
13	0,025	0,04	0,39	0,06	0,45	24	24,45	90,0
14	0,027	0,04	0,45	0,07	0,53	24	24,53	97,2
15	0,029	0,05	0,52	0,09	0,61	24	24,61	104,4
16	0,031	0,05	0,60	0,10	0,70	24	24,70	111,6
17	0,033	0,06	0,68	0,11	0,79	24	24,79	118,8
18	0,035	0,07	0,76	0,12	0,89	24	24,89	126,0
19	0,037	0,08	0,85	0,14	0,99	24	24,99	133,2

La curva del sistema se observa gráficamente en la Figura 39.

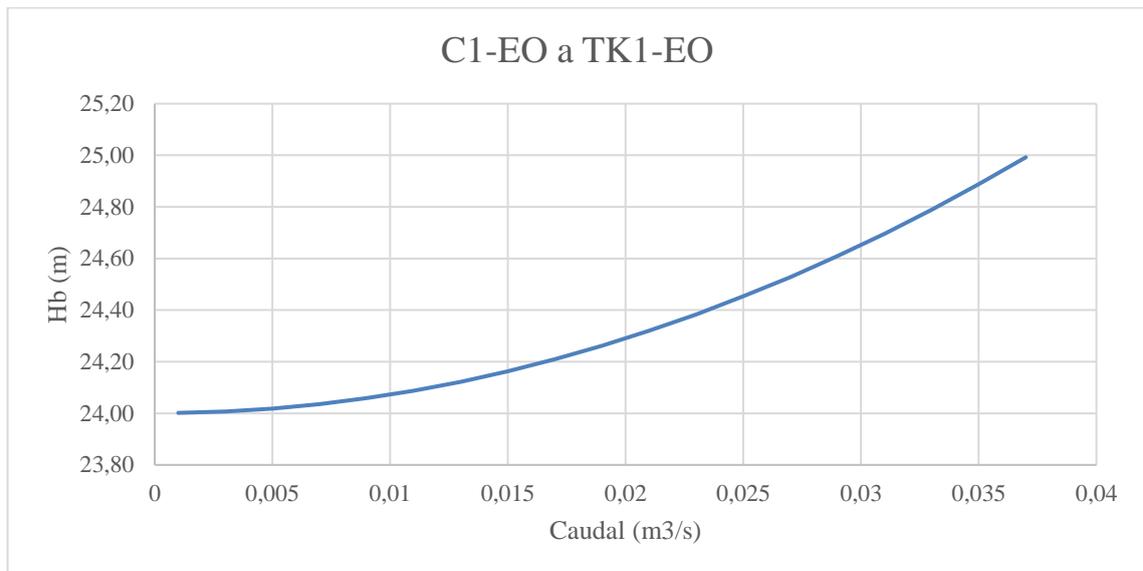


Figura 39. Gráfico sistema C1-EO a TK1-EO.

Las bombas mono etapa que satisfacen mejor las condiciones son las siguientes:

- Bomba seleccionada: IXPC125-100-315D150P45BDN4S1G
- Bomba alternativa: IXPS125-100-315D150P45BDN4S0

6.5.4.3 C2-EO a TK2-EO

Este tramo se realizará con tubería de acero expuesta a intemperie, teniendo la misma una longitud aproximada de 26 metros. Las características de la tubería de impulsión son:

- Diámetro nominal (pulgadas): 6"
- Área interna: 0,02 m²
- Diámetro interno (mm): 157 mm

Las pérdidas localizadas están dadas por lo indicado en la Tabla 22.

Tabla 22. Pérdidas localizadas en tramo C2-EO a TK2-EO.

Elemento	K (coef. de pérdida)	Cantidad estimada	K*cantidad
Codo	0,75	4	3
Tee	1.8	0	0
Válvulas	8	1	8
Suma			11

El caudal de bombeo es de 0,025 m³/s (90 m³/h), se realiza la curva del sistema del sistema contemplando un posible excedente en el caudal que pase por la misma.

Tabla 23. Curva del sistema tramo C2-EO a TK2-EO.

Nº	Q_b (m ³ /s) (QC)	$V^2/2g$	J_{loc}	J_{dist}	J_{total}	H_b	H_{sist}	Q (m ³ /h)
1	0,001	0,00	0,00	0,00	0,00	16	16,00	3,6
2	0,0025	0,00	0,01	0,00	0,01	16	16,01	9,0
3	0,004	0,00	0,02	0,00	0,03	16	16,03	14,4
4	0,0055	0,00	0,04	0,01	0,05	16	16,05	19,8
5	0,007	0,01	0,07	0,01	0,08	16	16,08	25,2
6	0,0085	0,01	0,10	0,01	0,11	16	16,11	30,6
7	0,01	0,01	0,14	0,02	0,16	16	16,16	36,0
8	0,0115	0,02	0,19	0,02	0,21	16	16,21	41,4
9	0,013	0,02	0,24	0,03	0,27	16	16,27	46,8
10	0,0145	0,03	0,29	0,04	0,33	16	16,33	52,2
11	0,016	0,03	0,36	0,04	0,40	16	16,40	57,6
12	0,0175	0,04	0,43	0,05	0,48	16	16,48	63,0
13	0,019	0,05	0,51	0,06	0,57	16	16,57	68,4
14	0,0205	0,05	0,59	0,07	0,66	16	16,66	73,8
15	0,022	0,06	0,68	0,08	0,76	16	16,76	79,2
16	0,0235	0,07	0,77	0,09	0,87	16	16,87	84,6
17	0,025	0,08	0,88	0,11	0,98	16	16,98	90,0
18	0,0265	0,09	0,99	0,12	1,10	16	17,10	95,4
19	0,028	0,10	1,10	0,13	1,23	16	17,23	100,8

Gráficamente la curva del sistema queda representada según lo indicado en la Figura 40.

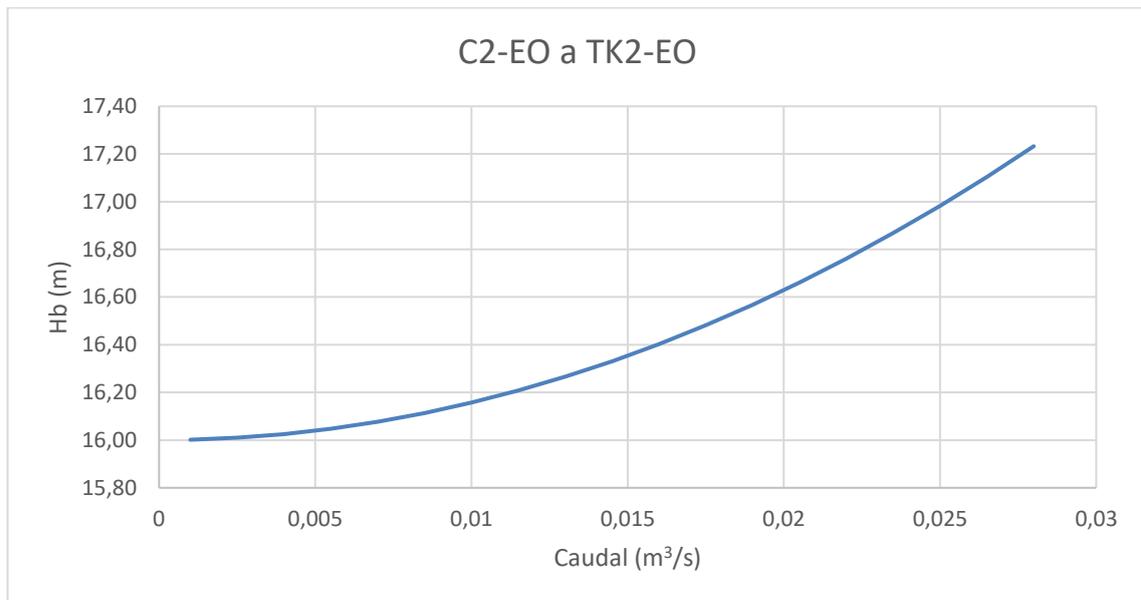


Figura 40. Gráfico del sistema C2-EO a TK2-EO.

Las bombas mono etapa que satisfacen mejor las condiciones son:

- Bomba seleccionada: IXPC100-65-315C75P45BDN4S1G
- Bomba alternativa: IXPS100-65-315C75P45BDN4S0

6.5.4.4 C2-EE a TK2-EE / C2-EE a TK3-EE

En esta sección se indica el tramo desde la cisterna C2-EE hacia el tanque elevado TK2-EE así como el tramo entre la cisterna C2-EE hacia el tanque elevado TK3-EE. En ambos casos se toma que la altura bruta de los tanques es la misma. Para ambos ramales la distancia que existe desde la salida de la bomba hacia los tanques es de 300 m. Dicha trayectoria se realizará con tubería enterrada de PVC.

Las características de la tubería son las siguientes:

- Diámetro nominal (pulgadas): 5"
- Área interna: 0,013 m²
- Diámetro interno (mm): 131 mm

Las pérdidas de carga localizadas están dadas por lo indicado en la Tabla 24.

Tabla 24. Pérdidas localizadas en tramo C2-EE a TK2-EE / C2-EE a TK3-EE.

Elemento	K (coef. de pérdida)	Cantidad estimada	K*cantidad
Codo	0,75	4	3
Tee	1.8	0	0
Válvulas	8	1	8
Suma			11

El caudal de bombeo es de 0,0125 m³/s (45 m³/h), se realiza la curva del sistema del sistema contemplando un posible excedente en el caudal que pase por la misma.

Tabla 25. Curva del sistema C2-EE a TK2-EE / C2-EE a TK3-EE.

Nº	Q_b (m ³ /s) (QC)	V ² /2g	J_Loc	J_dist	J_total	Hb	H_sist	Q (m ³ /h)
1	0,001	0,00	0,00	0,01	0,01	19	19,01	3,6
2	0,002	0,00	0,01	0,02	0,03	19	19,03	7,2
3	0,003	0,00	0,03	0,05	0,08	19	19,08	10,8
4	0,004	0,00	0,05	0,08	0,13	19	19,13	14,4
5	0,005	0,01	0,08	0,13	0,21	19	19,21	18,0
6	0,006	0,01	0,11	0,19	0,30	19	19,30	21,6
7	0,007	0,01	0,15	0,26	0,41	19	19,41	25,2
8	0,008	0,02	0,20	0,34	0,54	19	19,54	28,8
9	0,009	0,02	0,25	0,43	0,68	19	19,68	32,4
10	0,01	0,03	0,31	0,53	0,84	19	19,84	36,0
11	0,011	0,03	0,37	0,64	1,01	19	20,01	39,6
12	0,012	0,04	0,44	0,76	1,21	19	20,21	43,2
13	0,0125	0,04	0,48	0,83	1,31	19	20,31	45,0
14	0,0135	0,05	0,56	0,97	1,53	19	20,53	48,6
15	0,0145	0,06	0,65	1,11	1,76	19	20,76	52,2
16	0,0155	0,07	0,74	1,27	2,01	19	21,01	55,8
17	0,0165	0,08	0,84	1,44	2,28	19	21,28	59,4
18	0,0175	0,09	0,95	1,62	2,57	19	21,57	63,0
19	0,0185	0,10	1,06	1,81	2,87	19	21,87	66,6

Gráficamente la curva se ve representada según lo indicado en la Figura 41.

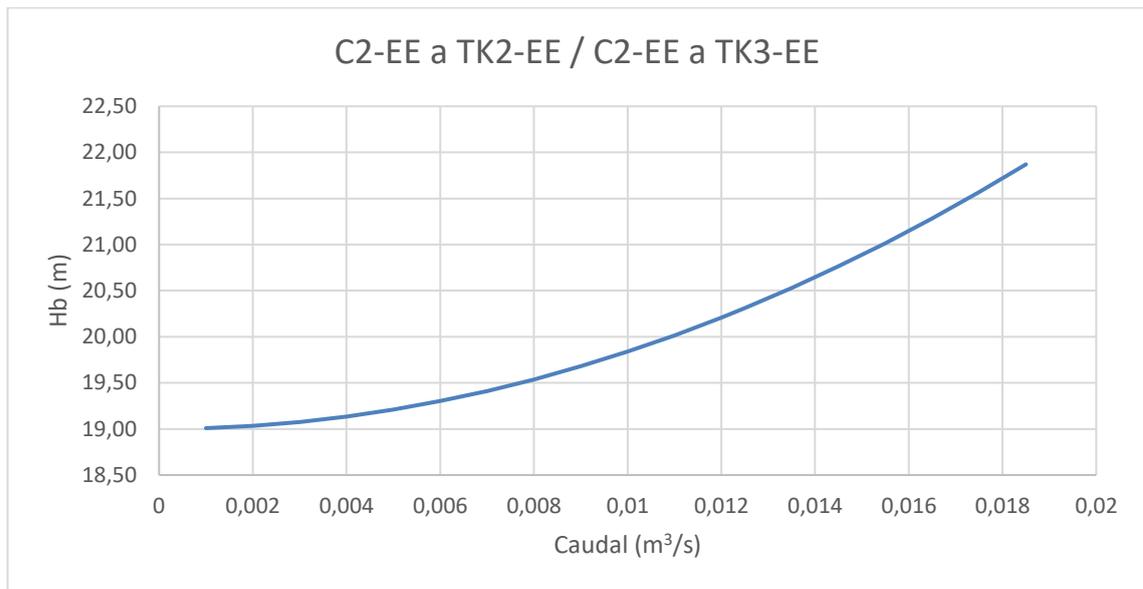


Figura 41. Gráfico del sistema C2-EE a TK2-EE / C2-EE a TK3-EE.

Las bombas mono etapa que satisfacen mejor las condiciones son:

- Bomba seleccionada: IXPS80-65-160C55P25BDN4S0
- Bomba alternativa: XPC80-65-160C55P25BDN4S1G

6.5.5 Tanques

Todo sistema de agua potable debe disponer de un almacenamiento cuya finalidad básica es la de efectuar la regulación entre la producción de agua y la demanda del consumo, esencialmente variable y de disponer de reservas estratégicas.

Se siguen los lineamientos del Ente (ENHOSa, 2023) en cuanto al dimensionamiento de los volúmenes de los tanques y cisternas.

Lo primero que se hace es el balance de caudales, el cual se indica en la Figura 42.

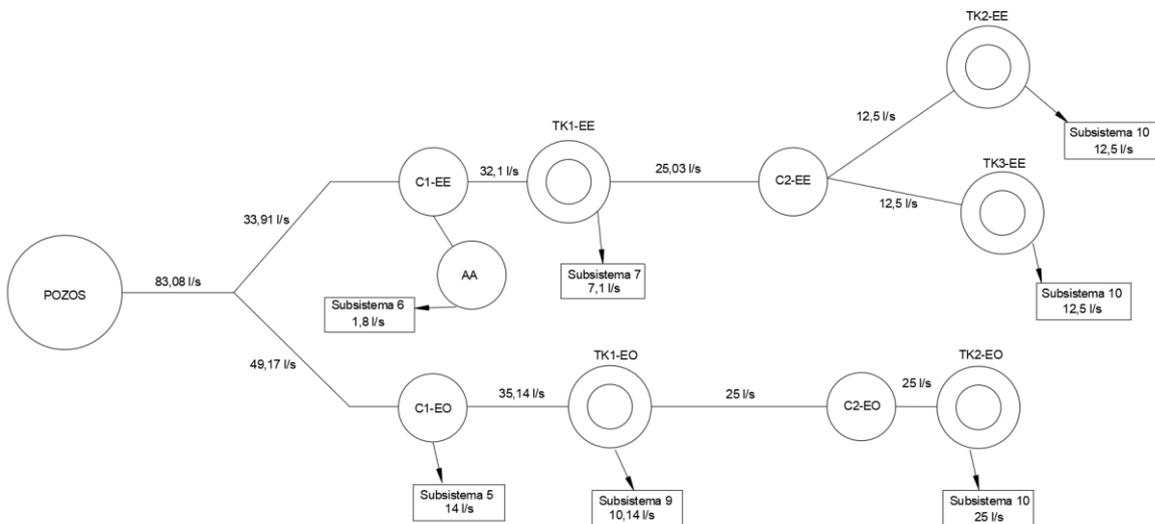


Figura 42. Esquema de caudales por cada tramo en vista en planta del sistema.

El caudal volumétrico mostrado es QC (medio diario) en l/s.

El Ente explicita que cuando se conozca la curva de demanda de la localidad cuyo abastecimiento se debe proyectar (de localidades cercanas de características similares o en su defecto una curva “tipo” de consumo), el proyectista debe determinar la capacidad de almacenamiento por medio del diagrama de masas (según W. Rippl), aplicando el método gráfico de las tangentes exteriores a la curva de consumos acumulados (ENHOSa, 2023).

En este caso no se tiene las curvas de demanda local, ni de las proyectadas, por lo que el Ente, así como los autores Fernández Rodríguez y Pardo Picazo (2012) indican que la curva de la demanda puede ser asemejada a una senoide y aplicar las consideraciones necesarias para obtener una curva de demanda estimada para la localidad.

Se establece que el volumen mínimo de almacenamiento para la regulación y para considerar una interrupción de energía o de las fuentes de abastecimiento, debe ser en todos los casos, como mínimo, el 25% del gasto medio diario para la población al horizonte de diseño, lo que representa una reserva aproximada de 6 horas para ese consumo.

El volumen de los tanques será calculado como la sumatoria de los volúmenes operacionales y contra emergencias (en caso de fallas del servicio). El volumen contra incendio no está contemplado en los cálculos de estos tanques.

6.5.5.1 Volumen operacional

Como no se tienen los datos de los consumos locales por hora, se utiliza el método basado en asimilar la curva de consumo a una senoide como se indica en las guías de ENHOSa en el capítulo 10 – *Almacenamiento y regulación de la presión*. Las ecuaciones provistas en dicho capítulo son las explicitadas como 6.11 y 6.12,

$$Q \left[\frac{m^3}{h} \right] = A * \text{sen} \left(\frac{\pi}{12} * t \right) + Q_{Dn}/24 \quad (6.11)$$

$$A = (\alpha_{2n} - 1) * Q_{Dn}/24 \quad (6.12)$$

donde:

Q es el caudal correspondiente al tiempo t .

α_{2n} es el coeficiente para la hora de máximo consumo en el día de máximo consumo anual.

Q_{Dn} es el caudal máximo diario anual en el año de horizonte del proyecto.

t es el tiempo en horas.

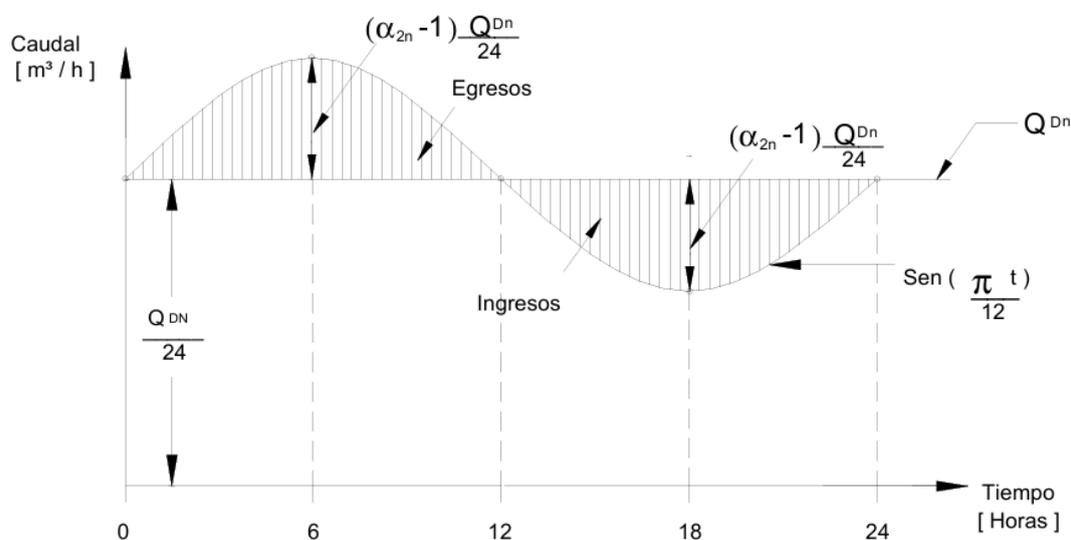


Figura 43. Gráfica de consumos sinusoidal. ENHOSa (2023).

Se resuelve el consumo según la curva, quedando la expresión según lo indicado en la ecuación 6.13.

$$Q \left[\frac{m^3}{h} \right] = (\alpha_{2n} - 1) * \frac{Q_{Dn}}{24} * \text{sen} \left(\frac{\pi}{12} * t \right) + \frac{Q_{Dn}}{24} \quad (6.13)$$

El volumen de almacenamiento operacional corresponderá a la integral de cualquiera de las superficies coloreadas en la Figura 43. Gráfica de consumos sinusoidal. ENHOSa (2023). La ecuación de gobierno para el cálculo del volumen operacional se expresa en la ecuación 6.14,

$$V.O. [m^3] = \int_0^{12} Q * dt - \left(12 * \frac{Q_{Dn}}{24} \right) \quad (6.14)$$

la cual también puede escribirse según lo explicitado en la ecuación 6.15.

$$V.O. [m^3] = \left(\frac{\alpha_{2n} - 1}{\pi} \right) * Q_{Dn} = V\% \frac{Q_{Dn}}{100} \quad (6.15)$$

El Ente provee una tabla en la cual se indica el volumen operacional en función de α_2 .

Tabla 26. Volumen operacional en función de α_2 . ENHOSa (2023).

Coficiente α_{2n}	V.O. [m³]
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}

6.5.5.2 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.

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 cuanto a interrupciones por fallas en el abastecimiento una cuidadosa elaboración del proyecto y precauciones como disponer de dos fuentes de energía independientes serán ineludibles.

El volumen de emergencias (V.E.) se calcula según la expresión 6.16,

$$V.E. \left[\frac{m^3}{día} \right] = 0,083 * Q_{Dn} \quad (6.16)$$

donde:

Q_{Dn} es el caudal máximo diario anual al horizonte del proyecto.

0,083 es un coeficiente igual a 2/24 (dos horas durante el día).

El valor del coeficiente es provisto por ENHOSa (2023), arbitrariamente para contemplar las cuestiones antes mencionadas por un período de dos horas al día.

6.5.5.3 Volúmenes totales

En vista de que ya se tienen las ecuaciones de gobierno para cada uno de los volúmenes, se procede a calcular el volumen total que deben tener los tanques y cisternas. El volumen total se obtiene como la suma del operacional y el de emergencias.

El dimensionamiento de los tanques y cisternas según las fundamentaciones de ENHOSa (2023) son iguales, por lo que se procede a dimensionarlas todas con este criterio y luego se analizará cada una por separado.

Tabla 27. Predimensionamiento de volúmenes tanques y cisternas.

	TK1-EO	C1-EO	C1-EE	AA	TK1-EE	C2-EO	TK2-EO	TK2-EE	TK3-EE
QC (l/s)	35,14	49,14	33,9	1,8	25,03	25,03	25,03	12,5	12,5
$\alpha 1$	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
QD (l/s)	49,2	68,8	47,5	2,5	35,1	35,1	35,1	17,5	17,5
QD (m3/h)	177	248	171	9	126	126	126	63	63
QD (m3/día)	4251	5944	4101	218	3028	3028	3028	1512	1512
$\alpha 2$	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7
Coef. de V.O.	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22
V.O. (m3)	935	1308	902	48	666	666	666	333	333
V.E. (m3)	353	493	340	18	251	251	251	125	125
V.T. (m3)	1288	1801	1242	66	917	917	917	458	458
V.T. (l)	1.287.912	1.801.024	1.242.465	65.972	917.372	917.372	917.372	458.136	458.136
QC (m3/h)	126,504	176,904	122,04	6,48	90,108	90,108	90,108	45	45
(m3/día)	3036	4245	2928	155	2162	2162	2162	1080	1080

Se presenta a continuación la vista en planta del sistema completo para indicar las conexiones entre tanques

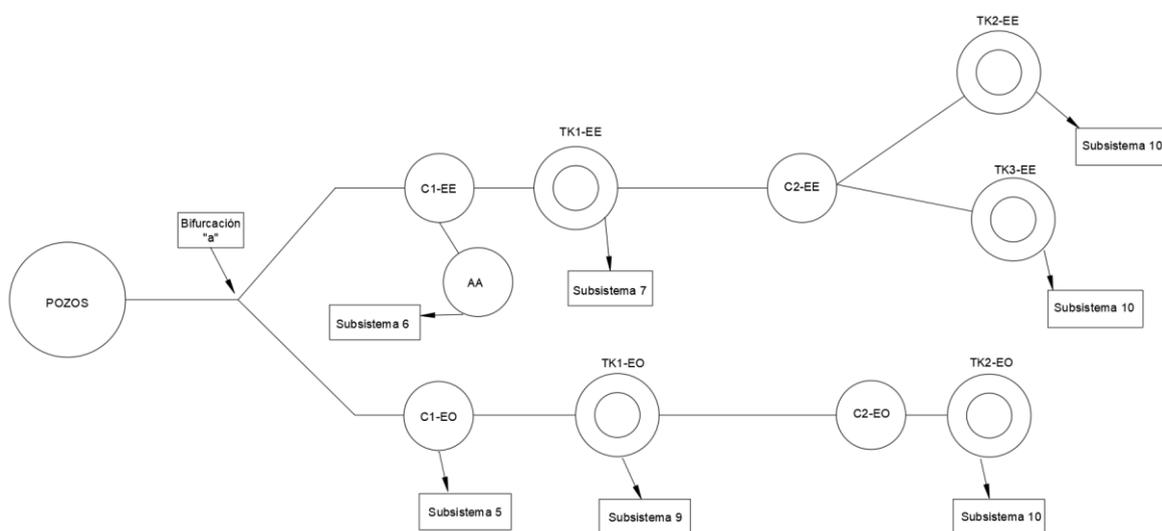


Figura 44. Vista en planta del sistema con indicación conexiones entre tanques.

Manteniendo una visión en los costos, se opta por agrupar los volúmenes a los más próximos posibles para evitar costos extra en cálculos civiles y de materiales (encofrado o armadura). Los volúmenes seleccionados quedarán agrupados según lo resumido en la Tabla 28, Tabla 29, Tabla 30 y Tabla 31.

50 m³

Se selecciona un volumen de 50 m³ en comparación al cálculo teórico de 66 m³ debido a que esta cisterna AA actualmente existe, por lo que, para evitar costos extra de construcción, se decide readecuar y utilizarla.

Tabla 28. Elementos con volumen de 50m³.

Nueva cisterna AA			
Parámetro	Unidad	Valor	Detalle
QC	l/s	1,8	-
QC	m ³ /h	6,48	-
QD	m ³ /h	9,1	-
VT	m ³	66	Calculado
VT	1	65972	Calculado
Hs abastecidas		8	Hs abastecidas con Consumo medio diario
		6	Hs abastecidas con Consumo máximo diario

500 m³

Los elementos de 500 m³ son tanques elevados del ramal este.

Tabla 29. Elementos con volumen de 500m³.

		TK2-EE	TK3-EE	
Parámetro	Unidad	Valor	Valor	Detalle
QC	l/s	12,5	12,5	
QC	m ³ /h	45	45	
QD	m ³ /h	63	63	
VT	m ³	458	458	Calculado
VT	1	458136	458136	Calculado
Hs abastecidas		11	11	Hs abastecidas con Consumo medio diario
		8	8	Hs abastecidas con Consumo máximo diario

Como los tanques elevados son de forma cilíndrica, se optimiza el cálculo del volumen.

El área del tanque cilíndrico se expresa según la ecuación 6.17,

$$A_T = 2\pi R^2 + 2\pi R h \quad (6.17)$$

siendo:

A_T el área del tanque cilíndrico.

R el radio del tanque.

h la altura del tanque.

El volumen del tanque se expresa según la ecuación 6.18,

$$V_T = \pi R^2 h = 500 \text{ m}^3 \quad (6.18)$$

Como el volumen es conocido se realiza el cálculo de optimización para encontrar las dimensiones que satisfagan la necesidad.

Se despeja la altura para reemplazarla en la ecuación del área y derivar igualando a cero a fin de encontrar el mínimo de la función.

$$h = \frac{500}{\pi R^2} \quad (6.19)$$

$$A_T = 2\pi R^2 + \frac{1000}{R} \quad (6.20)$$

derivando se obtiene:

$$\frac{\partial A_T}{\partial R} = 4\pi R - \frac{1000}{R^2} \quad (6.21)$$

Se obtiene un diámetro de 10 metros y una altura de 6,4 metros en su cálculo óptimo.

900 m³

Dentro de los elementos de 900 m³ se encuentran dos tanques elevados del ramal oeste y uno del ramal este.

Tabla 30. Elementos con volumen de 900m3.

		TK1-EO	TK1-EE	TK2-EO	
Parámetro	Unidad	Valor	Valor	Valor	Detalle
QC	l/s	35,14	25,03	25,03	-
QC	m3/h	126,5	90,1	90,1	-
QD	m3/h	177.1056	126.1512	126.1512	-
VT	m3	1288	917	917	Calculado
VT	1	1287912	917372	917372	Calculado
Hs abastecidas		7	10	10	Hs abastecidas con Consumo medio diario
		5	7	7	Hs abastecidas con Consumo máximo diario

Se optimiza el cálculo del volumen como en los elementos anteriores, llegando al resultado que el diámetro óptimo es de 10 m y la altura óptima es de 11,4 m.

1000 m³

Los elementos de 1000 m³ son dos cisternas del ramal este y dos del ramal oeste.

Tabla 31. Elementos con volumen de 1000m3.

		C1-EO	C1-EE	C2-EO	C2-EE	
Parámetro	Unidad	Valor	Valor	Valor	Valor	Detalle
QC	l/s	49,14	33,9	25,03	25	-
QC	m3/h	177	122	90	90	-
QD	m3/h	248	171	126	126	-
VT	m3	1801	1242	917	916	Calculado
VT	1	1801024	1242465	917372	916272	Calculado
Hs abastecidas		6	8	11	11	Hs abastecidas con Consumo medio diario
		4	6	8	8	Hs abastecidas con Consumo máximo diario

El criterio para seleccionar el volumen es que sean todos elementos de un mismo tipo (cisternas o tanques) y que el volumen total del conjunto cisterna y tanque sea el suficiente para abastecer a la población en caso de un corte eléctrico o de un mantenimiento preventivo durante al menos media jornada laboral (de 4 a 6 horas). Puede verse que en todos los casos se cumplen los criterios, y en ninguno de los subsistemas, en caso de que se consuma el valor del consumo medio

diario, es menor al tiempo establecido.

6.5.5.4 Material

Si bien los materiales a utilizar son a criterio del proyectista en su análisis técnico-económico, ENHOSa (2023) recomienda algunos materiales para la construcción de los tanques.

Dado que los materiales a utilizar 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, queda librado, en todos los casos, a un cotejo económico la elección de uno u otro material.

A fin de defender a las superficies metálicas de posibles acciones agresivas del agua, el proyecto debe contemplar la debida protección de las mismas por medio de un revestimiento adecuado.

En función de los materiales disponibles en el mercado y del costo de instalación, construcción y diseño, así como el mantenimiento según lo indicado en las Fundamentaciones XII – *Almacenamiento y regulación de la presión* en la sección 2.7 de las Guías de Agua Potable de ENHOSa (2023), se decide realizar los tanques elevados de hormigón armado, todos con tapa.

ENHOSa (2023) también prevé el mantenimiento preventivo mínimo que se le debe realizar a los tanques de hormigón, los cuales se indican en la Figura 45:

NOMBRE DE LA INSTITUCIÓN				
NORMAS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE INSTALACIONES Y EQUIPOS				
- TANQUES DE HORMIGÓN O MAMPOSTERÍA.....				Página 1/1
Período de mantenimiento	Ejecutante		TRABAJOS A REALIZAR	Materiales, Repuestos y Lubricantes - INDISPENSABLES
	Nivel	Grupo		
1 año			<ul style="list-style-type: none"> - Drenaje, limpieza manual y lavado del fondo y paredes interiores. - Desinfección con solución de cloro. - Revisión de válvulas y elementos de operación y reparaciones si fueren necesarias. 	<ul style="list-style-type: none"> - Implementos de trabajo para limpieza - Hipoclorito - Empaquetaduras de válvulas - Prensa - estopas - Pintura anticorrosiva para elementos metálicos.

Figura 45. Formulario de mantenimiento. Extraído de ENHOSa.

6.5.6 Válvulas

Una vez se tienen los diámetros de las tuberías y las bombas a utilizar, se procede a seleccionar las válvulas a utilizar en el sistema de bombeo.

Se sigue la recomendación de la cátedra de Bombas y Sistemas de Bombeo de la Facultad de Ingeniería, en la cual se explicita un sistema típico de succión positiva, indicado en la Figura 46.

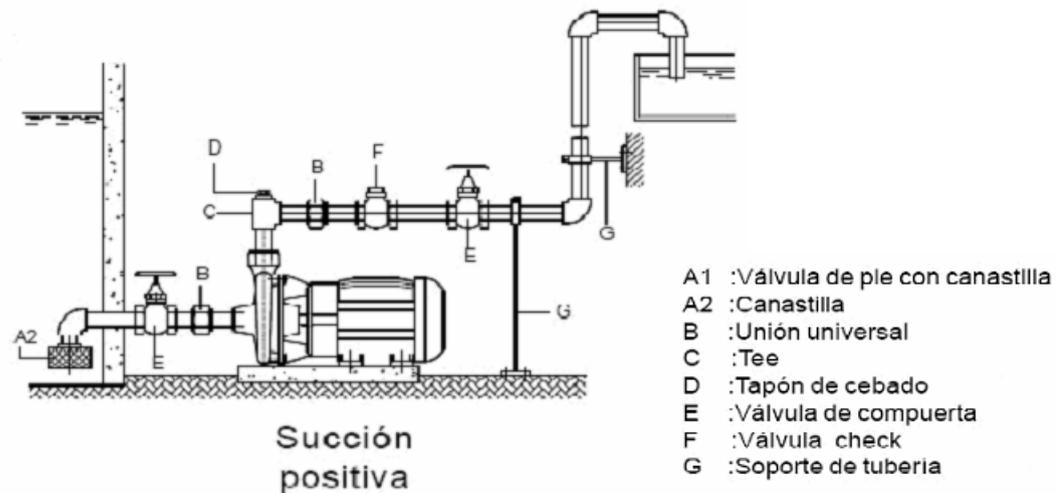


Figura 46. Esquema típico de sistema de bombeo de succión positiva (Interagua, 2015).

También una conexión típica en una estación de bombeo con cañería de alivio de presión, como la indicada en la Figura 47.

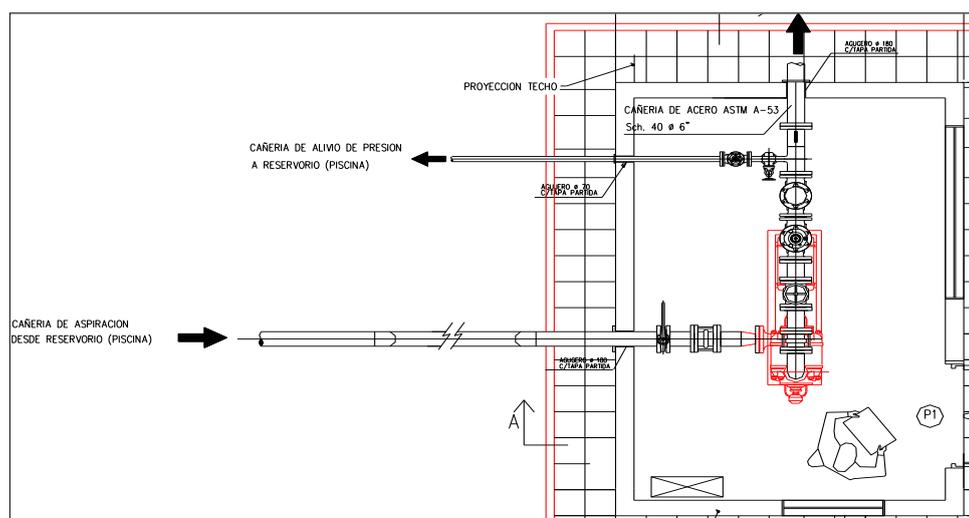


Figura 47. Conexión típica de estación de bombeo con cañería de alivio de presión.

Como puede observarse, la cañería de alivio de presión descarga a un reservorio a presión

atmosférica luego de la válvula de retención (también llamada check valve). En el sistema preliminar diseñado se tiene en cuenta dicha cañería, la cual descargará al río. Esta cañería no está drenando agua al río nominalmente, por lo que no interfiere con el ecosistema acuático (salvo cuando se detecte una sobrepresión).

6.5.6.1 Pozos - Cisternas

La conexión propuesta sobre cada uno de los pozos será como se indica en la Figura 48.

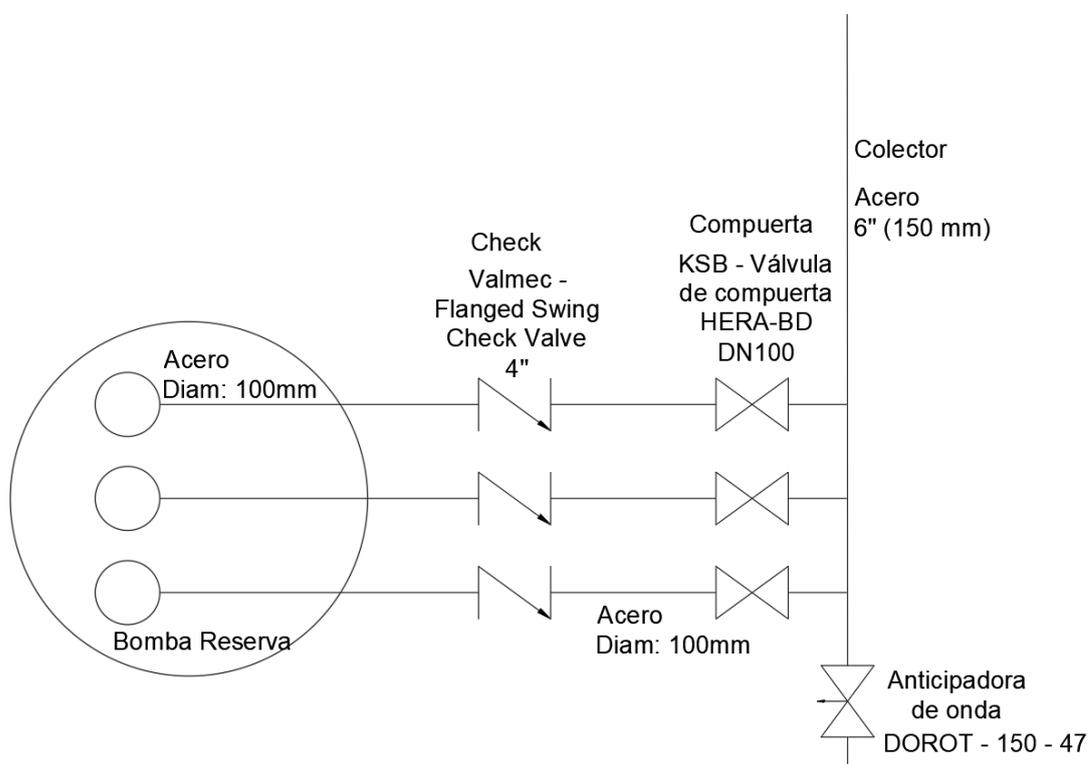


Figura 48. Conexión en pozos preliminar.

Desde la salida de cada una de las bombas de pozo se conectará una tubería de acero de 100 mm de diámetro, luego una válvula de retención de 100 mm (4") de clapeta. Seguido a eso una válvula de compuerta marca KSB modelo HERA-BD de 100 mm de diámetro. Cada uno de esos tramos de tubería se conectará a un colector de 150 mm de diámetro (6"). El colector sobre uno de los extremos tendrá una válvula anticipadora de onda marca DOROT modelo 150 – 47.

En caso que la presión se encuentre por encima del punto setado en la válvula, los pilotos de la válvula dejarán pasar el fluido hacia el río (presión atmosférica), aliviando la presión en la tubería.

En caso de que la presión sea menor a la seteada, los pilotos abrirán, dejando pasar aire a la tubería para evitar presión negativa en la misma.

El esquema de conexión se repite para el otro pozo, quedando el colector de acero de 150 mm como un medio para recolectar el agua que se extrae de cada bomba y de los dos pozos.

El colector del pozo 1 y del pozo 2 se unen en una tubería de 12" (305 mm) de PVC PN6, la cual irá enterrada hasta la bifurcación.

Luego de la bifurcación, se divide en una tubería enterrada de PVC de 10" hacia la cisterna C1-EE y una tubería de PVC enterrada de 8" hacia la cisterna C1-EO. En cada una de las cisternas se tiene el mismo tipo de conexionado.

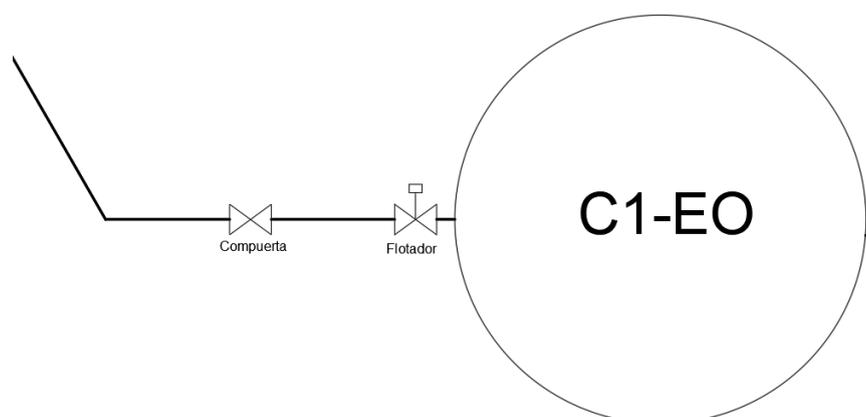


Figura 49. Conexión entrada a cisterna.

Se colocará antes de la cisterna un tramo de tubería de acero, sobre la cual irá situada una válvula de compuerta del diámetro nominal de la tubería. Esto permitirá el corte de suministro en caso de ser necesario para mantenimiento y/o reparación de la cisterna.

Seguido a ello se colocará una válvula de flotante diferencial marca DOROT modelo 30-FLDI (la válvula de flotante diferencial 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.

La válvula es de apertura y cierre. No permite regulaciones de caudal intermedias. Puede operar, a pesar de la ilustración de instalación típica, sin una contrapresión de agua, es decir, la descarga puede estar en la parte superior de la cisterna.

Instalación típica

Las aplicaciones típicas incluyen una válvula de flotante diferencial modelo 30-FLDI. La válvula se cerrará cuando alcance el nivel superior y se abrirá cuando el nivel descienda al mínimo valor establecido. (Las características integradas tales como control de flujo, cavitación y protección contra golpes de ariete están disponibles).

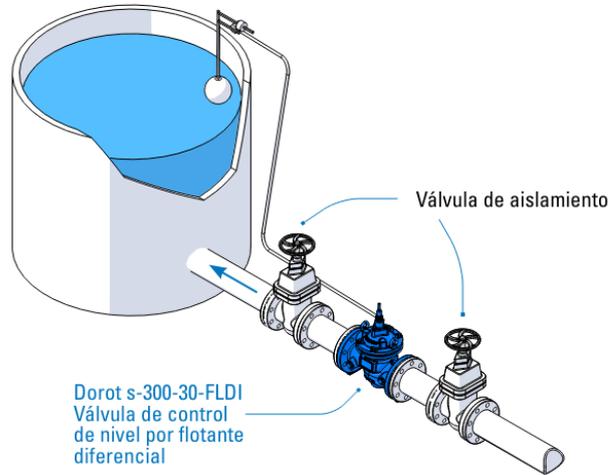


Figura 50. Imagen de catálogo DOROT (Dorot, 2024).

Para las conexiones del circuito para las primeras cisternas (C1-EE y C1-EO) se utilizarán válvulas de flotador diferencial. La lógica de funcionamiento de estas válvulas es que cuando el nivel de agua llegue hasta el flotante superior, lo accione cortando el suministro de agua. Cuando el nivel de agua llegue al punto mínimo seteado, el flotante de la válvula se accionará permitiendo nuevamente el paso de flujo a la cisterna. Se ejemplifica en la Figura 51 extraída de boletín técnico del fabricante DOROT (Dorot, 2024) el funcionamiento de la misma.

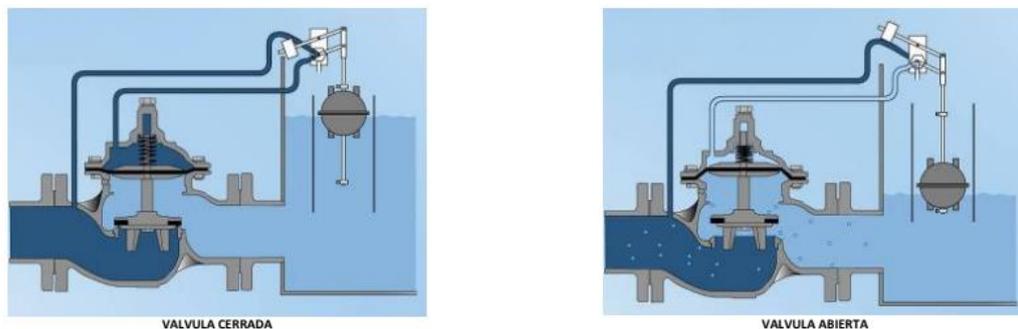


Figura 51. Esquema de funcionamiento de válvula de flotador diferencial. (Dorot, 2024)

El modelo seleccionado es el FLDI 1 puesto que la instalación se realizará de forma vertical. Como este flotante puede ser calibrado, no es necesario que exista un solenoide o equipo electrónico que regule cuándo abrirá el paso o lo cerrará.

Estas válvulas permiten la conexión de un piloto, el cual mandará la señal al tablero de control para que cuando estén en su posición abierta se enciendan las bombas. Si ambas válvulas se encuentran abiertas (las de las dos cisternas), los dos pozos tendrán sus bombas encendidas. Análogamente si solo una de las cisternas se encuentra en posición abierta, solo uno de los pozos bombeará agua.

La lógica del circuito de control será dividida en dos etapas. La primera referida al subsistema que va desde los pozos de extracción hacia las primeras cisternas (C1-EE y C1-EO) y en otro subsistema que va desde las cisternas hacia los tanques.

6.5.6.2 Cisternas – Tanques

El sistema de conexión cisterna – tanque está comprendido por tubería de acero expuesta a la intemperie en los casos donde la longitud sea menor a 50m (C1-EO a TK1-EO y C2-EO a TK2-EO), sobre la cual irá montada la o las bombas para alimentar al tanque, permitiendo elevar el fluido hacia el mismo.

En el resto de los casos en los cuales la conducción es por flujo forzado, es decir, utilizando una bomba centrífuga, desde la tubería de impulsión luego de la bomba de la cisterna se conecta una válvula mariposa bridada del diámetro nominal de la tubería. En el extremo de la llegada del tanque se conecta una válvula activada por solenoide, la cual se abre o se cierra en función de la señal recibida según un flotante que se instala en el tanque como se expresa en la Figura 52.

Esta disposición permite, en caso de que se deba realizar un mantenimiento en la bomba, el poder aislarla cerrando la válvula mariposa en la cañería de aspiración y cerrando el solenoide instalado en la válvula que descarga al tanque.

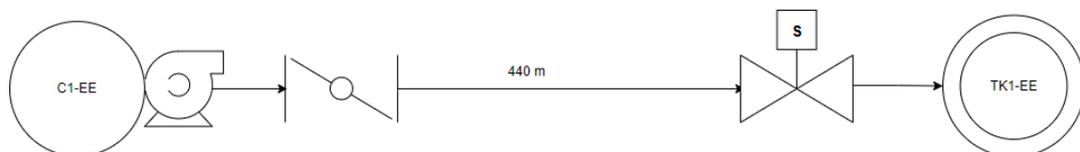


Figura 52. Esquema de conexión con válvulas en sistema cisterna-tanque con bomba.

Análogamente, se repite el diagrama de conexionado para el resto de los subsistemas cisterna-tanque.

Para los sistemas de tanque a cisterna, la conducción es por gravedad, es decir, no se requiere el uso de bombas. En esos casos, la disposición de las válvulas queda como se indica en la Figura 53.

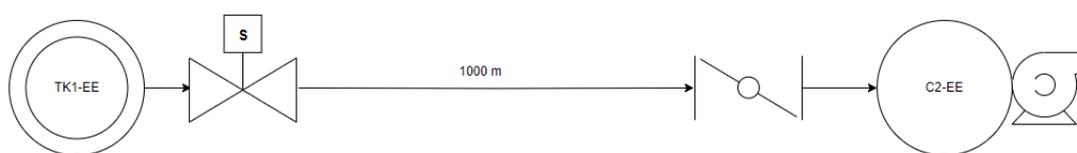


Figura 53. Esquema de conexión de sistema tanque-cisterna.

La implementación de válvulas en los extremos de las tuberías permite que se pueda realizar un cierre del tramo en caso que sea necesario un mantenimiento o reparación del mismo. En el caso del sistema tanque-cisterna, es el nivel instalado dentro de la cisterna el que comanda la señal hacia el solenoide permitiendo dejar pasar o no el fluido desde el tanque a la cisterna.

6.5.7 Pozo filtrante

Se presenta a continuación el cálculo y diseño de los pozos filtrantes destinados a abastecer las necesidades de caudal de diseño en la región. Este estudio se basa en el marco teórico proporcionado por el Manual de Diseño de Galerías Filtrantes (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 2002), cotejado con datos extraídos de la tesis de la Licenciada Verdugo (2023), cuya investigación proporciona los datos necesarios para la implementación de sistemas de extracción de agua subterránea en la zona de estudio. Además, se consideran las condiciones tecnológicas actuales de la región, lo que permitirá desarrollar una solución sostenible que responda a las demandas específicas del área, es decir, considerando las maquinarias con las que se cuenta en la región y el costo de utilización de las mismas.

Con este enfoque, se busca asegurar un suministro continuo y de alta calidad de agua potable, aprovechando las ventajas que ofrecen los pozos filtrantes en comparación con otras alternativas de extracción. En específico, se identificará del pozo filtrante el diámetro teórico que el mismo debe poseer y la profundidad para que quepan dentro del mismo los elementos necesarios (bombas, tubería).

6.5.7.1 Caracterización

Una captación de agua subterránea es una obra hacia la cual fluye el agua de los pequeños poros, cuando es extraída por medio de alguna obra artificial o implemento mecánico, creando un cono de depresión que se extiende hacia los lados de la zona de extracción. La depresión resulta ser menos

acentuada cuanto más distante se encuentre del punto de extracción. (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 2002)

El hecho que una excavación o perforación se llene de agua, no implica necesariamente que sea una buena captación. Para ser calificada como tal, después de vaciada debe estar en capacidad de volver a llenarse rápidamente, e idealmente, que el agua no pueda ser agotada para un determinado caudal de extracción, es decir, que su poder de recuperación sea superior a la capacidad de extracción.

Según las características del acuífero, se lo clasifica como galería que compromete la parte superior del acuífero. Dentro de la misma se la subclasifica como galería en acuífero con recarga superficial, puesto que recolecta los escurrimientos tanto del acuífero propiamente dicho como del agua proveniente de un curso o cuerpo superficial, en este caso, el río.

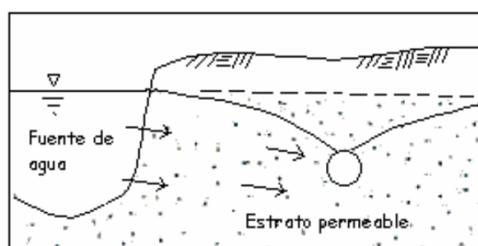


Figura 6.6 Galería que comprometen la parte superior del acuífero y ubicada en acuífero con recarga superficial

Figura 54. Esquema de galerías que comprometen la parte superior del acuífero con recarga superficial. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (2002).

6.5.7.2 Cálculo hidráulico

Para el diseño de galerías de filtración se disponen de varios métodos de cálculo: unos deducidos a partir de la ecuación de Dupuit y otros identificados con el apellido del científico que lo desarrolló.

La ecuación de Dupuit refleja la forma del cono de descensos en función de la distancia al río, la misma se expresa de según lo explicitado en la ecuación 6.22,

$$s_1 - s_2 = \frac{Q}{2\pi T} \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right) \quad (6.22)$$

donde:

Q es el caudal que atraviesa a la sección (del pozo).

T es la transmisividad.

s es el descenso.

r es la distancia.

El Manual de Diseño de Galerías Filtrantes (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 2002) recomienda realizar el cálculo de las dimensiones del pozo filtrante variando diferentes parámetros. Esto se debe a que en general el estudio hidrogeológico puede no estar suficientemente detallado como para realizar un cálculo exacto. Además, este tipo de variaciones en los parámetros permite ver cuáles son los que tienen mayor influencia en el diseño del mismo.

Los parámetros se explicitan en la Tabla 32.

Tabla 32. Parámetros principales de diseño de galerías.

Parámetro	Símbolo	Unidades
Conductividad hidráulica (permeabilidad)	k_f	m/s
Profundidad del acuífero	H	m
Transmisividad ($k_f \cdot H$)	T	m ² /s
Espesor dinámico del acuífero en el punto de observación	H_b	m
Porosidad efectiva	S	Adimensional (-)
Radio de influencia del abatimiento	R	m
Distancia entre la galería y el pozo de observación	L	m
Distancia entre la galería y el punto de descarga	L	m

Con lo que respecta a las galerías de filtración, los principales símbolos a utilizar se indican en la Tabla 33.

Tabla 33. Parámetros de diseño de galerías filtrantes.

Parámetro	Símbolo	Unidades
Radio del dren	r	m
Tiempo de extracción del agua de la galería	t	s
Abatimiento de la napa de agua a la altura de la galería	s	m
Profundidad de ubicación del dren con respecto al fondo del curso o cuerpo de agua superficial	z	m
Carga de la columna de agua sobre el dren	pd	m
Caudal unitario por longitud de dren	q	m ³ /s-m
Caudal unitario por área superficial	q'	m ³ /s-m ²

Teniendo en cuenta la caracterización antes mencionada, se procede al cálculo de la misma mediante el apartado 6.4.2 “Galerías que comprometen la parte superior del acuífero”, en específico, las ecuaciones para acuíferos con recarga superficial. (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 2002)

Se presenta a continuación una ilustración esquemática de las galerías que comprometen la parte superior del acuífero.

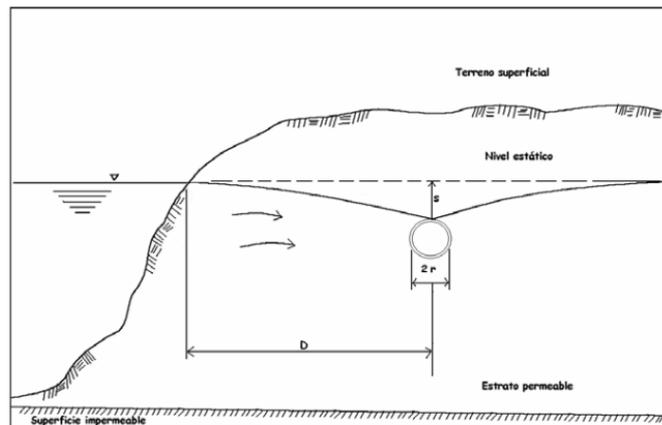


Figura 55. Esquema de galerías que comprometen a la parte superior del acuífero adyacente a una fuente de recarga superficial. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (2002).

La ecuación de gobierno es indicada por la expresión 6.23.

$$q = \pi * k_f * s / \left[\text{Ln} \left(\frac{D}{r} \right) \right] \quad (6.23)$$

Los datos hidráulicos para el cálculo en detalle del pozo o galería deben ser tomados en el lugar donde se realizará la excavación mediante pozos exploratorios. De la tesis de la Licenciada Verdugo (2023), se extraen datos de zonas aledañas a donde se construirá el pozo filtrante. Los datos más próximos son del año 2022, en el cual el k_f es en promedio de 93 m/día. Dato que se condice con los datos tomados en 2015 por Laurencena (Verdugo, 2023), el cual obtuvo una conductividad hidráulica de entre 100 y 150 m/día. A fines prácticos y de fecha de actualización de datos se tomará el valor de 93 m/día.

Tabla 34. Conductividad hidráulica para cálculo de pozo filtrante.

k	93	m/día
	3,875	m/h
	0,001076	m/s

El valor de “D”, indica la distancia media que existe entre la orilla del agua (zona de recarga) y la mitad del diámetro de la galería horizontal calculada. En el caso de estudio, es un dato que se encuentra cotejado con los relevamientos tomados en el lugar de emplazamiento. Existe la posibilidad de que el centro de la galería teórica esté a 8 m de la orilla del río.

En cuanto al abatimiento “s” no existen datos experimentales de su valor a dicha distancia, sin embargo, se toma un valor de referencia de 0,5 m debido a que, según el Manual de Diseño de Galerías Filtrantes (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 2002), en sus ejemplos de aplicación, es un valor conservativo para el análisis, sin embargo, a medida que se realicen más exploraciones en campo, el valor se irá refinando para obtener un valor más exacto.

El caudal necesario a extraer de cada pozo es de 0,083 m³/s, equivalente a la mitad del caudal de bombeo de diseño del sistema. Se calcula la mitad debido a que como primera iteración se tiene que el caudal necesario de bombeo se extrae equitativamente de cada uno de los pozos.

Se calcula el caudal por metro de galería (L=1). El radio de la galería es variable y se utilizan herramientas de análisis de datos (Excel, 2016) para calcular el radio necesario para el cual el caudal por metro de galería es el indicado como 0,083 m³/s.

Tabla 35. Parámetros de diseño para galería filtrante.

Coefficiente	Valor	Unidad
K_f	0,001076	m/s
s	0,5	m
D	8	m
L	1	m
r	7,84	m

Con el valor de radio obtenido de 7,84 m, se obtiene el caudal por metro de galería requerido.

Como las galerías son cilindros con perforaciones en su superficie para que entre el agua, la superficie de intercambio de la galería se puede aproximar con el área de intercambio de un cilindro, obteniendo, con los datos antes calculados, un área de 49,25 m².

En vista que los cálculos antes realizados son para galerías filtrantes y no exclusivamente para pozos, se procede a realizar el cálculo del diámetro teórico del pozo. Para esto se tiene que el área equivalente de la galería filtrante, es decir, el área por donde ingresa el agua, es la misma que en el pozo.

Para los datos antes citados, el diámetro interno del pozo debe ser de 7,92 m.

Se procede a realizar los mismos cálculos con diferentes abatimientos (s) a fin de evaluar la diferencia que existe en el diámetro teórico debido a que este abatimiento es el parámetro del cual se tiene menor cantidad de datos experimentales.

Tabla 36. Diámetros de pozo en función del abatimiento.

s (m)	r (m) galería	q (m³/s)	Área de intercambio de galería (m²)	d (m) de pozo	Diferencia %
0,25	7,9	0,083	49,76	7,96	1%
0,50	7,8	0,083	49,25	7,92	0%
1,00	7,7	0,083	48,26	7,84	-1%
1,50	7,5	0,083	47,29	7,76	-2%

Se puede observar en la Tabla 36 que a medida que el abatimiento es mayor, el diámetro del pozo disminuye su diámetro, sin embargo, la disminución de diámetro es a lo sumo un 2% de los cálculos teóricos, indicando que no variará prácticamente con dicho valor.

La profundidad del pozo debe ser de al menos 12 metros según los datos extraídos de la tesis

de la Licenciada Verdugo (2023), puesto que luego de esa profundidad se encuentra la unidad acuífera con mayor capacidad de almacenamiento y transmisión de agua.

La sumergencia de la bomba es la altura mínima que se necesita de líquido para evitar que en la entrada se formen vórtices que pueden afectar a la bomba produciendo mala disposición en la en la cámara de aspiración o irregularidad de flujo.

En la Figura 56 se indican las zonas de influencia del pozo.

La distancia desde la superficie del terreno hasta la primera sección donde se encuentra el agua, para la zona donde irán montadas las bombas, es de 2 metros.

El delta H del río es el abatimiento (también llamado cono de depresión) a la distancia donde estará el centro del pozo.

La sumergencia mínima de la bomba seleccionada¹ es de 4,86 m.

La bomba seleccionada mide 1275 mm (1,275 m) de altura².

La separación de fondo será de 3 metros de distancia. Si bien no hay una fórmula de cálculo, es una recomendación práctica de varios fabricantes a la hora de la instalación de la misma para evitar que la bomba aspire sedimentos depositados en el fondo.

¹ Dato de catálogo. (Xylem, 2024)

² Dato de catálogo. (Xylem, 2024)

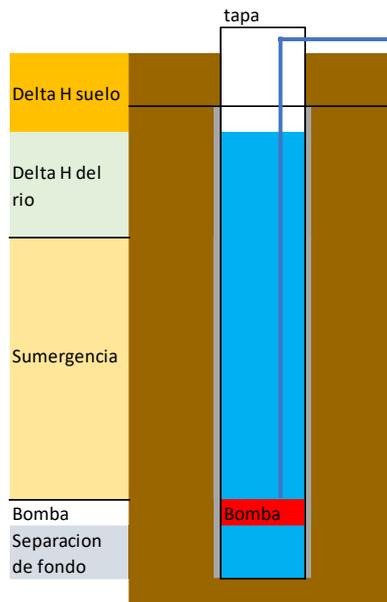


Figura 56. Esquema de capas dentro de pozo filtrante.

La sumatoria de las alturas necesarias desde la superficie del terreno hasta el fondo del pozo es de 11,66 de los cuales 9,66 son los necesarios para el correcto funcionamiento del sistema.

Según los datos extraídos de la tesis de la Licenciada Verdugo (2023), el acuífero presenta un espesor medio de entre 10 m y 12 m, siendo estos valores superiores al mínimo necesario para el correcto funcionamiento del sistema.

6.6 Simulación de la operación del sistema en régimen permanente y transitorio

Una vez definidos los elementos constitutivos del sistema de bombeo, se procede a realizar simulaciones del mismo bajo los régimen de operación permanente y transitorio a fin de evaluar el comportamiento del mismo.

La simulación se llevará a cabo mediante el software Allievi (ITA | Universidad Politécnica de Valencia, 2024).

6.6.1 Tramo pozo a Cisternas C1-EE / C1-EO

A fin de evaluar las protecciones necesarias ante un efecto transitorio, se indica el funcionamiento del sistema en régimen permanente y el transitorio sin protecciones.

El sistema queda definido según lo indicado en la Figura 57.

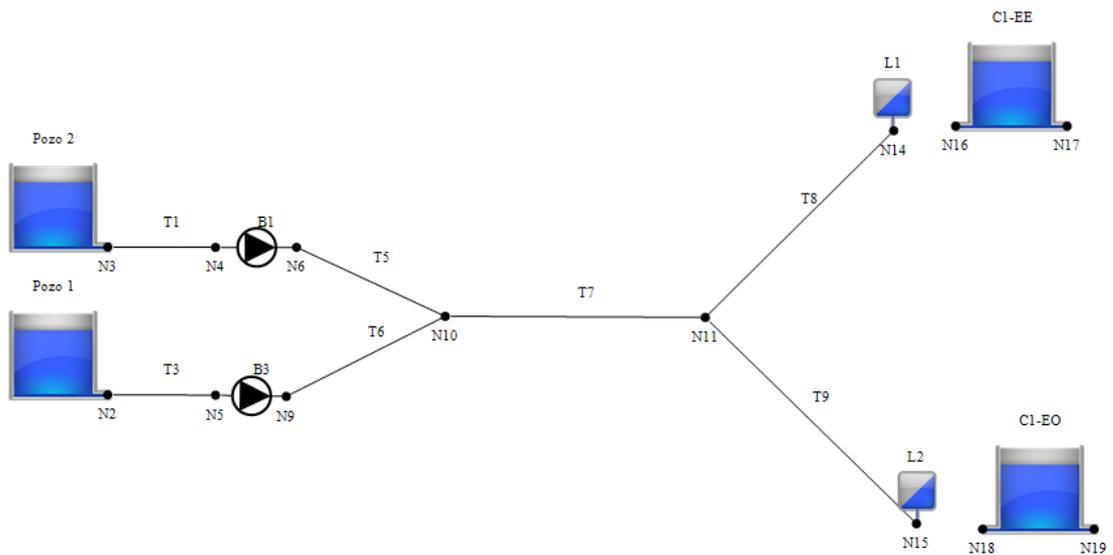


Figura 57. Esquema en Allievi de tramo pozo a primeras cisternas.

Los depósitos son del tipo grandes dimensiones, con su respectiva altura.

Depósitos - Datos básicos							
Nombre	Ni	Nf	Zs (m)	Tipo	S (m ²)	Z0 (m)	Zvar
Pozo 1	---	N2	261	GD		263	
Pozo 2	---	N3	261	GD		263	
C1-EE	N16	N17	299	GD		304	
C1-EO	N18	N19	299	GD		304	

Figura 58. Alturas geométricas de pozos y cisternas.

Se detallan los datos básicos de las tuberías (longitud, diámetro y espesor) en la Figura 59.

Tuberías - Datos básicos											Pérdidas		Caudal nulo	
Nombre	Ni	Zi (m)	Nf	Zf (m)	Dint (mm)	L (m)	e (mm)	a (m/s)	Perfil	Rug (mm)	k	Qin=0	H Imp	
T1	N3	261	N4	261	150	0.6	0	307.2	Calc.	-1	0			
T3	N2	261	N5	261	150	0.6	0	307.2	Calc.	-1	0			
T5	N6	261	N10	267	254	10	9.27	1264.4585	Calc.	0.046	2.25			
T6	N9	261	N10	267	254	10	9.27	1264.4585	Calc.	0.046	2.25			
T7	N10	267	N11	266	307	415	10.3	295.7386	Calc.	0.0015	1.8			
T8	N11	266	N14	304.5	206	725	8.2	320.8625	Calc.	0.0015	1.8			
T9	N11	266	N15	304.5	256	650	9.3	307.1976	Calc.	0.0015	1.8			

Figura 59. Datos básicos de tuberías para simulación.

Se indican en la Figura 60 los datos de la estación de bombeo teniendo en cuenta que en cada pozo se instalarán dos bombas de fondo sumada a una tercer bomba de reserva por pozo en caso de que alguna de las dos falle.

Estación de bombeo - Datos básicos				Instalación				Rotación				Parada/Arranque																																																																				
Nombre	Ni	Nf	Z (m)	Num	Curva	V Reg	V Ret	By-Pass	Nreg	Nnom	I	Inicial	Paran	Inst. par.	Nuevo arr	Arranque	Inst. arr.	Duración (s)	Nueva par	Inst. par.																																																												
B1	N4	N6	261	2	Universale	Si	Si	No	2945	2945	0.225	Calc	En marcha	Si	No	-	-	-	-	No	-																																																											
Rendimiento óptimo				V Regulación				V Retención				By-Pass																																																																				
Q (l/s)	H (m)	P (Kw)	Rend(%)	DN (mm)	Tipo	Modelo	Maniobra	V Retención	By-Pass																																																																							
45.8	52	35.801	85.26	125	De compuerta			100	K																																																																							
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">Estación de bombeo - Datos básicos</th> <th colspan="4">Instalación</th> <th colspan="4">Rotación</th> <th colspan="4">Parada/Arranque</th> </tr> <tr> <th>Nombre</th> <th>Ni</th> <th>Nf</th> <th>Z (m)</th> <th>Num</th> <th>Curva</th> <th>V Reg</th> <th>V Ret</th> <th>By-Pass</th> <th>Nreg</th> <th>Nnom</th> <th>I</th> <th>Inicial</th> <th>Paran</th> <th>Inst. par.</th> <th>Nuevo arr</th> <th>Arranque</th> <th>Inst. arr.</th> <th>Duración (s)</th> <th>Nueva par</th> <th>Inst. par.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>B3</td> <td>N5</td> <td>N9</td> <td>261</td> <td>2</td> <td>Universale</td> <td>Si</td> <td>Si</td> <td>No</td> <td>2645</td> <td>2945</td> <td>0.225</td> <td>Calc</td> <td>En marcha</td> <td>Si</td> <td>No</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>No</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table>																						Estación de bombeo - Datos básicos				Instalación				Rotación				Parada/Arranque				Nombre	Ni	Nf	Z (m)	Num	Curva	V Reg	V Ret	By-Pass	Nreg	Nnom	I	Inicial	Paran	Inst. par.	Nuevo arr	Arranque	Inst. arr.	Duración (s)	Nueva par	Inst. par.	B3	N5	N9	261	2	Universale	Si	Si	No	2645	2945	0.225	Calc	En marcha	Si	No	-	-	-	-	No	-
Estación de bombeo - Datos básicos				Instalación				Rotación				Parada/Arranque																																																																				
Nombre	Ni	Nf	Z (m)	Num	Curva	V Reg	V Ret	By-Pass	Nreg	Nnom	I	Inicial	Paran	Inst. par.	Nuevo arr	Arranque	Inst. arr.	Duración (s)	Nueva par	Inst. par.																																																												
B3	N5	N9	261	2	Universale	Si	Si	No	2645	2945	0.225	Calc	En marcha	Si	No	-	-	-	-	No	-																																																											

Figura 60. Datos básicos de estación de bombeo.

En el diagrama de la Figura 57 no se indicarán las válvulas de retención ni de compuerta debido a que lo que se busca es conocer el funcionamiento del sistema bajo régimen permanente y transitorio sin protecciones.

Los resultados de la simulación en régimen transitorio en un tiempo de parada de 10 segundos (eventual parada repentina de bomba) quedan graficados en la Figura 61.

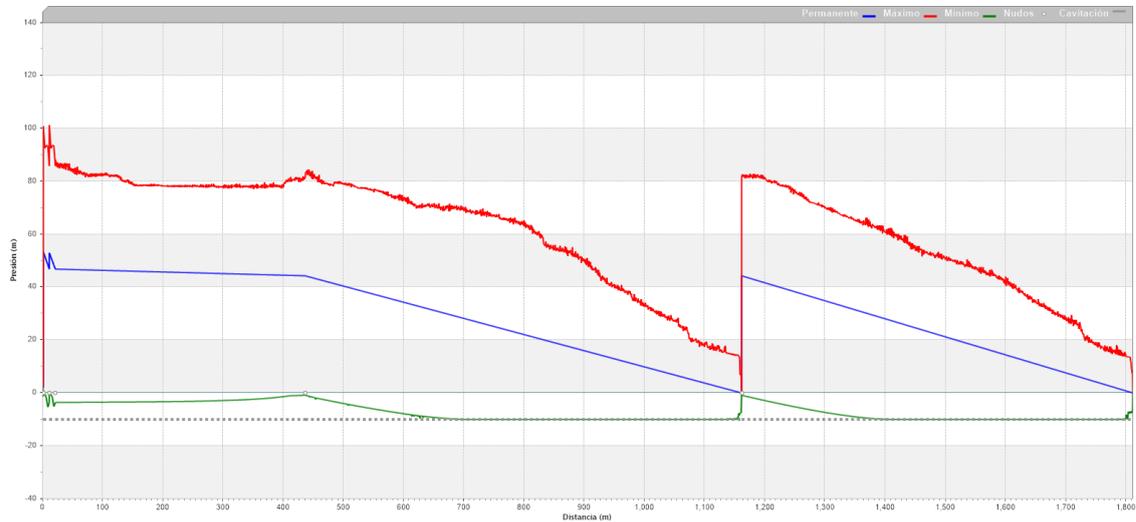


Figura 61. Gráfico de simulación presión en función de la distancia.

Se tiene la gráfica de la envolvente $P=P(x)$, es decir, la gráfica de presión en función de la distancia. Se debe tener en cuenta que el programa (ITA | Universidad Politécnica de Valencia, 2024) no permite el gráfico de tuberías que se bifurquen, por lo que las indica en distancias contiguas. Siendo a partir de los 1170 m los datos correspondientes a la tubería T9 (sección desde bifurcación hacia C1-EO).

Como puede verse en las simulaciones de la Figura 61 que la presión máxima que se alcanza es de 100 m, superando ampliamente los 60 m máximos que soporta la tubería de PVC PN6 por lo que un sistema de protecciones es necesario en el sistema. Otro aspecto a tener en cuenta es que a partir de los 600 m la presión mínima es de -10 m, ocasionando una depresión en la tubería.

En base a los resultados obtenidos, se observa la necesidad de utilizar protecciones ante las sobrepresiones y depresiones ocurridas a raíz de efectos transitorios en el sistema de bombeo analizado.

Se realiza la simulación con las válvulas anticipadoras de onda seleccionadas con una apertura inmediata (1 segundo después del paro repentino de las bombas), con un cierre de 90 segundos luego del tiempo de máxima presión.

El esquema de los ramales se presenta en la Figura 62.

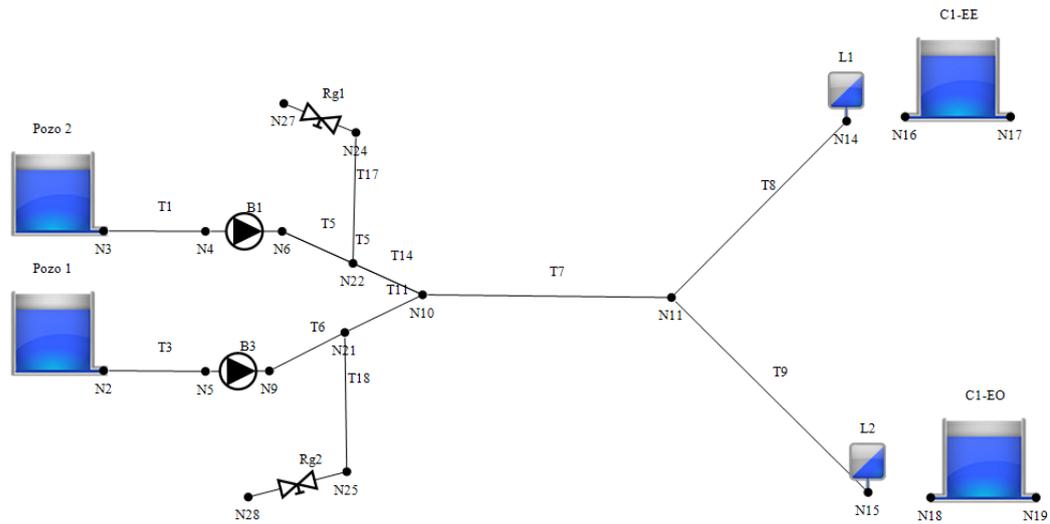


Figura 62. Esquema de ramales con válvulas anticipadoras de presión.

Los resultados de las simulaciones indican la gráfica mostrada en la Figura 63.

Para el sistema completo puede observarse en la Figura 63 que la presión máxima alcanza el valor de 55 m, siendo menor a los 60 m soportados por la tubería. En cuanto a la depresión, puede observarse una mejora en comparación al sistema sin protecciones, aunque igualmente existen zonas con presiones menores a -5 m (lo mínimo soportado por las tuberías PN6).

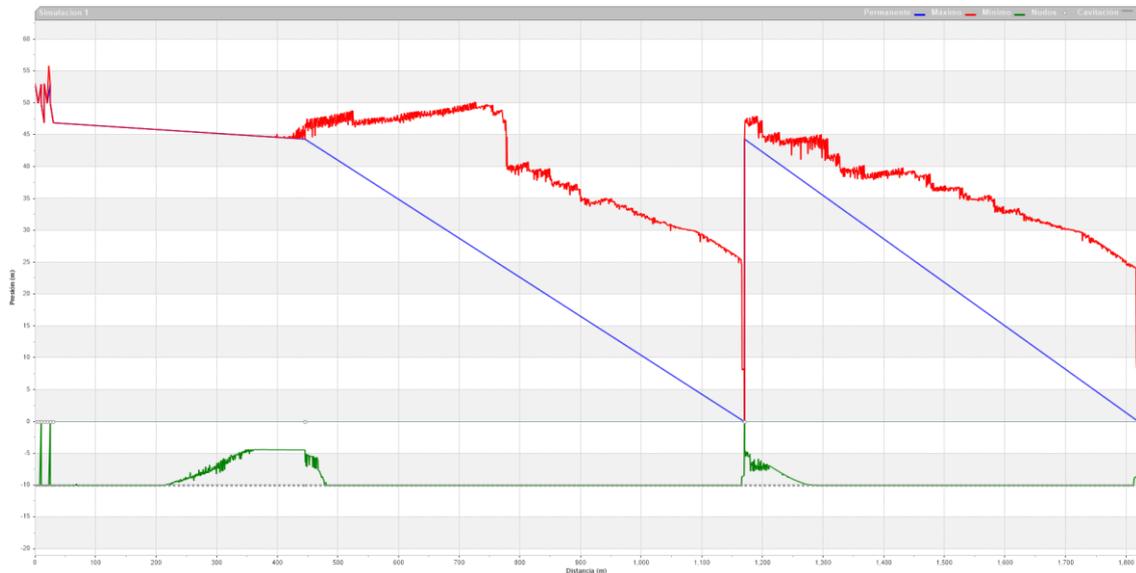


Figura 63. Gráfica simulación con válvula anticipadora de onda.

En base a los resultados obtenidos, es necesario adicionar protecciones al sistema para evitar el colapso de la misma.

Se añaden ventosas al sistema en la zona de las tuberías T5, T15 (ramal este) y en las tuberías T6 y T11 (ramal este). Estas ventosas se sitúan en la zona del colector, previo a la bifurcación que comunica los pozos con la tubería principal.

Las ventosas son estandarizadas con aducción de DN200 y la ventosa de DN50.

El nuevo esquema de la instalación queda determinado según lo indicado en la Figura 64.

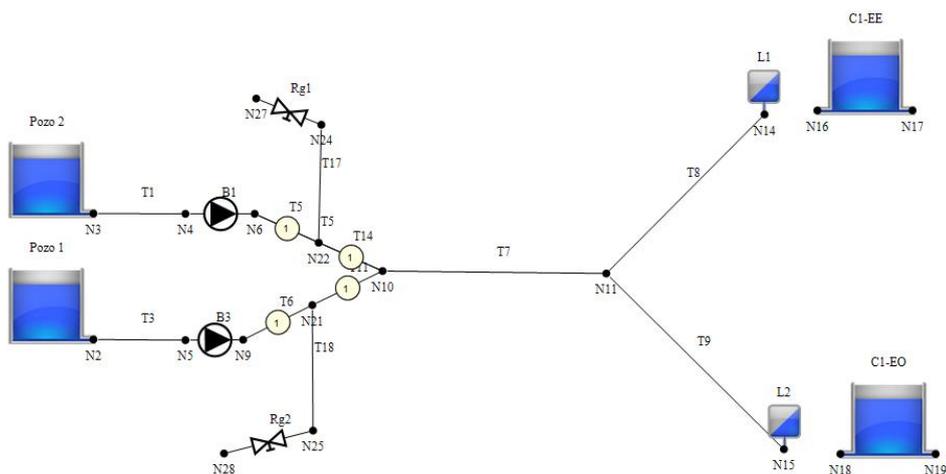


Figura 64. Esquema de ramales con válvula anticipadora de onda y cuatro ventosas.

En la Figura 65 se indica la simulación con las presiones alcanzadas en el sistema (pico

máximo de 170 m).

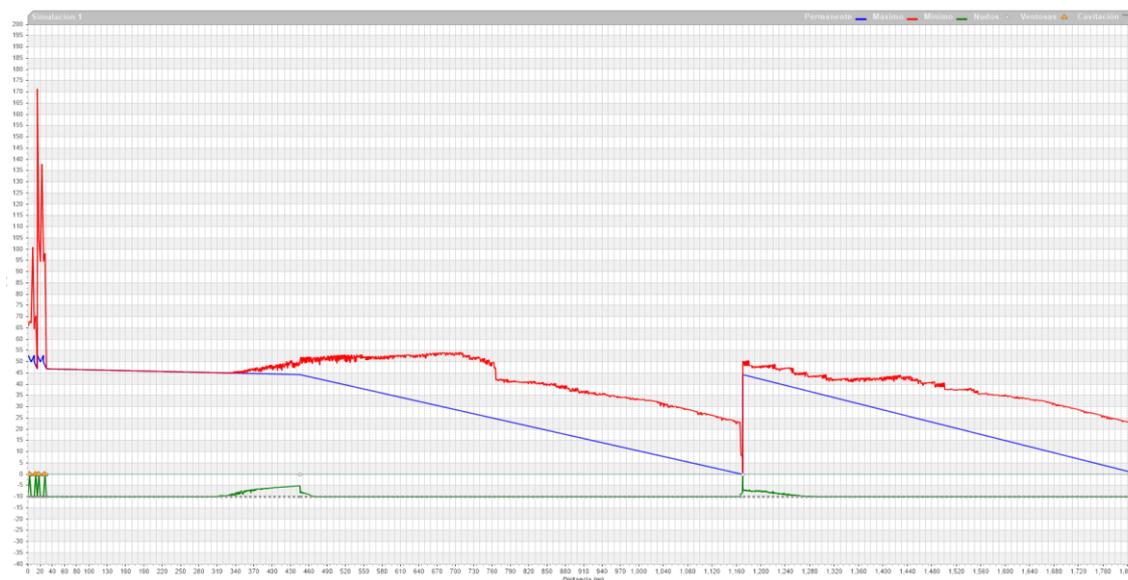


Figura 65. Gráfica de simulación sistema con cuatro ventosas y dos válvulas anticipadoras de onda

Desde una perspectiva de ingeniería, la instalación de ventosas en el sistema mitiga localmente el fenómeno de depresión únicamente en las zonas específicas donde se encuentran colocadas, sin embargo, no aporta una solución integral al comportamiento de presión negativa en el resto de la red. Adicionalmente, se observa que la incorporación de ventosas eleva significativamente los picos máximos de presión en comparación con los escenarios sin estos dispositivos.

Con base en los resultados obtenidos, se exploran alternativas de protección más efectivas para el sistema. Dado que las ventosas no son capaces de corregir el problema de la depresión en toda la tubería, se propone la implementación de un dispositivo capaz de reducir tanto la depresión como la sobrepresión de manera simultánea. Se evalúa la incorporación de dos calderines de expansión (hidroneumáticos), elementos comúnmente utilizados en sistemas de agua potable para absorber los efectos generados por transitorios hidráulicos.

Los calderines seleccionados tienen un volumen de 2,6 m³, están dispuestos en posición vertical y operan a una presión interna de 1,41 bar. El esquema de instalación correspondiente queda definido según lo indicado en la Figura 66.

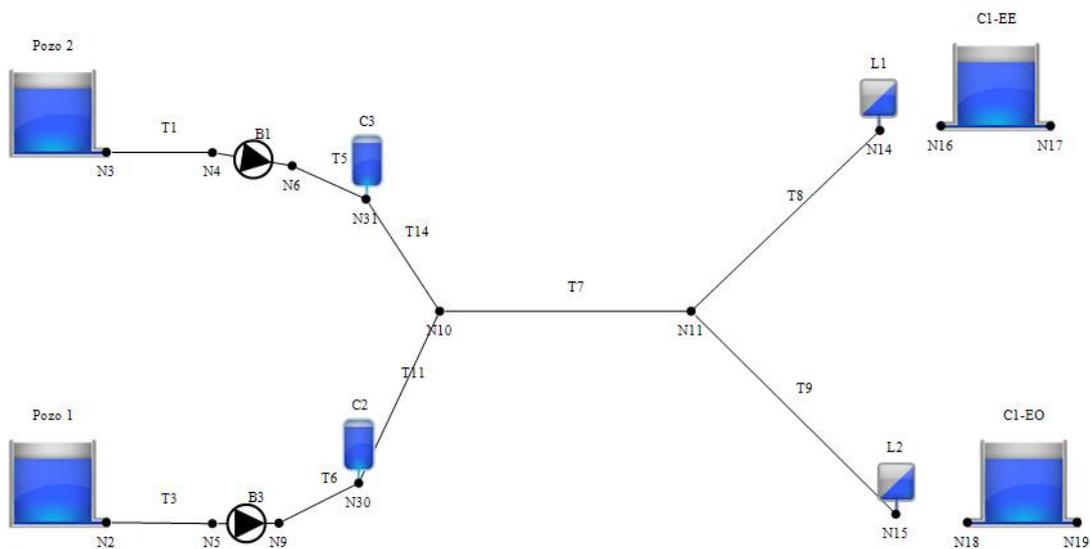


Figura 66. Esquema de instalación con dos calderines.

Las simulaciones pertinentes indican las gráficas indicadas en la Figura 67.

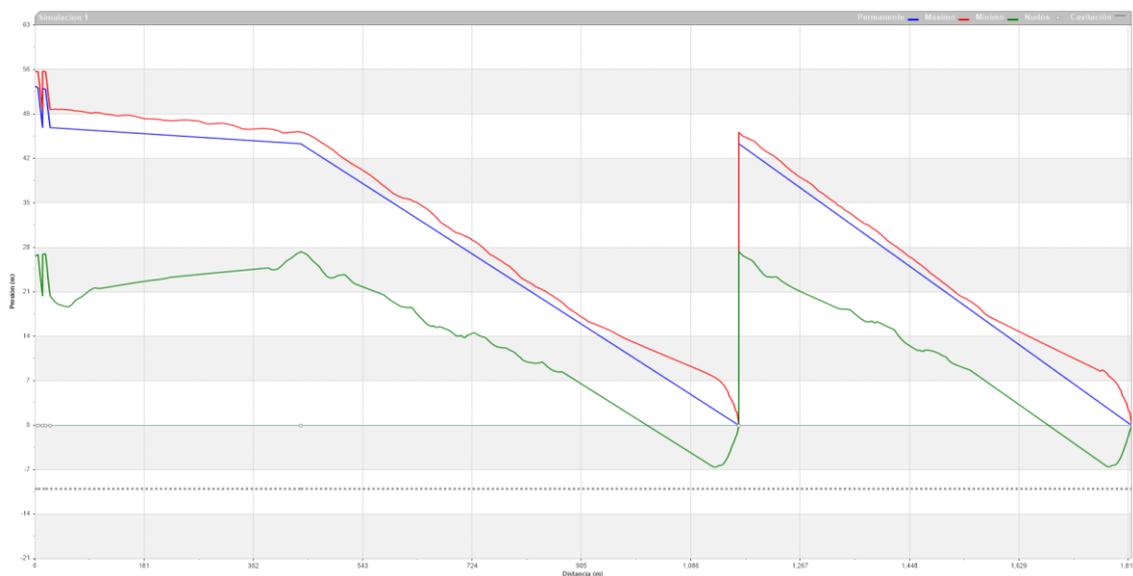


Figura 67. Gráfica de simulación con dos calderines.

Los resultados indican una mejora significativa en el comportamiento del sistema ante efectos transitorios. La presión máxima registrada es de 55 m (inferior a los 60 m soportados por la tubería de PVC PN6), mientras que la presión mínima no desciende por debajo de 0 m a lo largo de la mayoría del sistema. No obstante, se identifican zonas puntuales donde la presión es inferior a 0 m, lo que representa una situación de vacío. Se evaluará la posibilidad de instalar ventosas en dichas ubicaciones con el fin de elevar la presión y evitar condiciones de depresión.

Como se observa en la gráfica de la Figura 67, los tramos donde se presenta la mayor depresión corresponden a los sectores T8 y T9, los cuales abarcan las tuberías de PVC que derivan de la bifurcación de la línea principal de 12” de PVC y conectan con los ramales hacia las cisternas C1-EE y C1-EO.

Se presenta en la Figura 68 la gráfica de la tubería T9 en régimen transitorio.

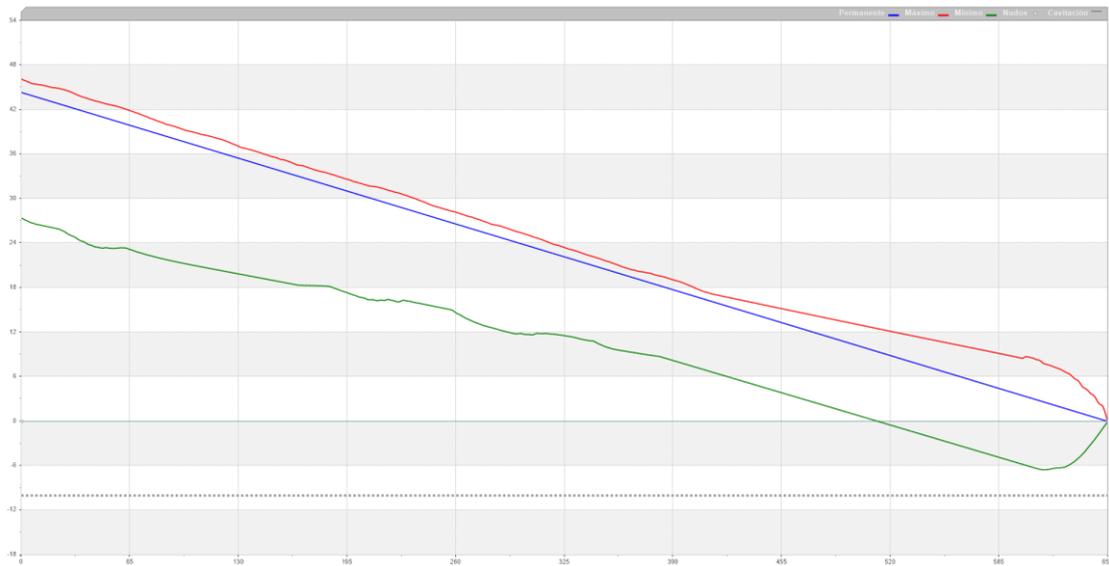


Figura 68. Gráfica de simulación en régimen transitorio tramo T9.

Se presenta en la Figura 69 la gráfica de la tubería T8 en régimen transitorio.



Figura 69. Gráfica de simulación en régimen transitorio T8.

Se incorporan ventosas en las secciones donde la presión cae por debajo de 0 m, con el objetivo de evitar que la curva de presiones mínimas descienda hasta valores críticos que puedan generar condiciones de colapso estructural en las tuberías (lo cual ocurre a los -5 m).

El nuevo esquema del sistema se define según lo indicado en la Figura 70.

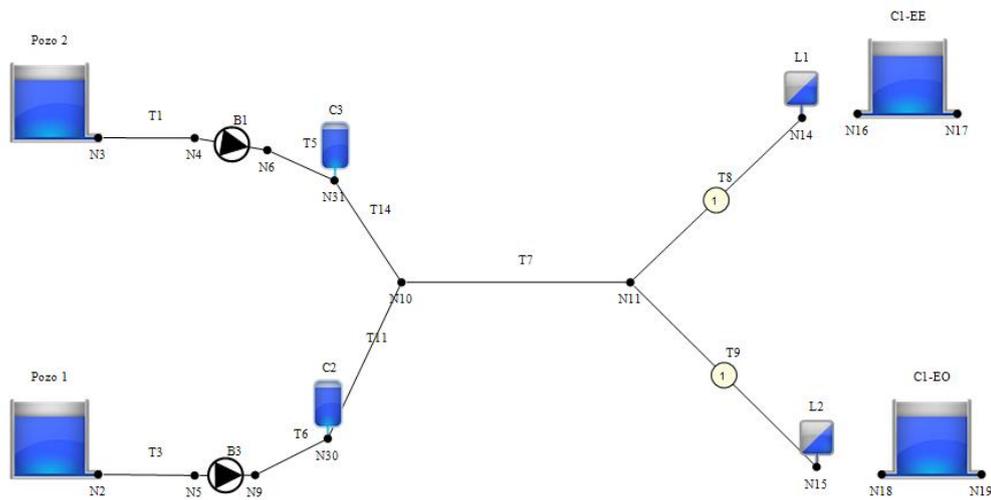


Figura 70. Esquema de instalación con dos calderines y dos ventosas.

En el tramo de tubería T8, la ventosa se instala a 640 m desde la bifurcación, mientras que en el tramo T9 se coloca a 570 m desde la misma referencia.

Como se observa en la Figura 71, la introducción de ventosas tiene un impacto considerable en el comportamiento de la presión mínima del sistema, logrando distanciarla de los valores críticos. No obstante, en las tuberías T8 y T9 aún se registran puntos con presiones cercanas a los -5 m, lo que sugiere la necesidad de un monitoreo continuo y posibles ajustes adicionales.

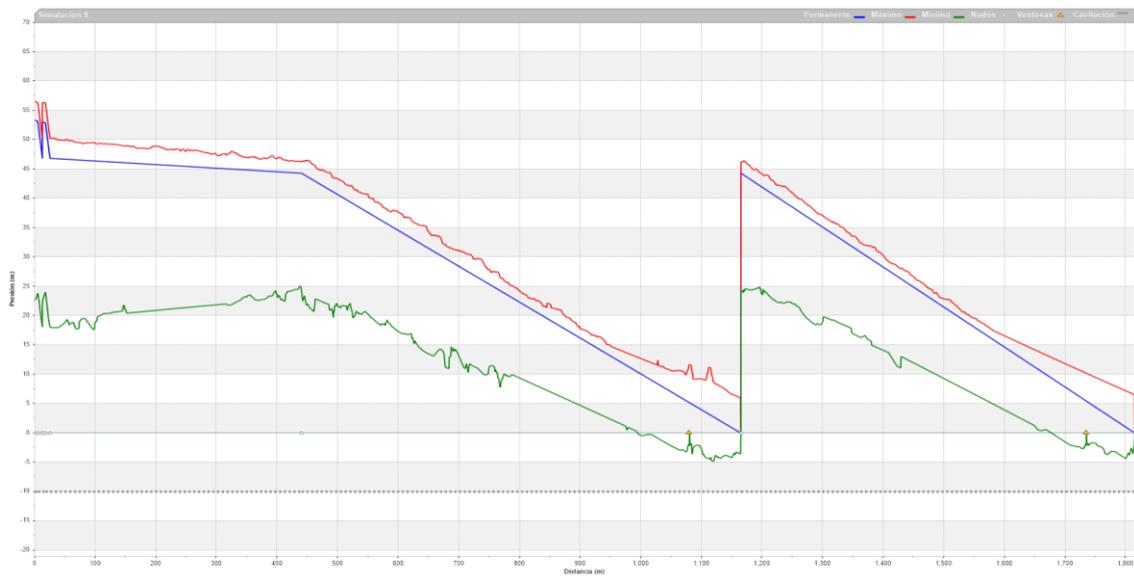


Figura 71. Gráfica de simulación con dos calderines y dos ventosas.

Con base en las simulaciones realizadas, se evalúa el comportamiento del sistema añadiendo un mayor número de ventosas, con el objetivo de mantener las presiones por encima de 0 m.

Se ejecuta una nueva simulación incorporando cuatro ventosas, obteniendo los resultados indicados en la Figura 72.

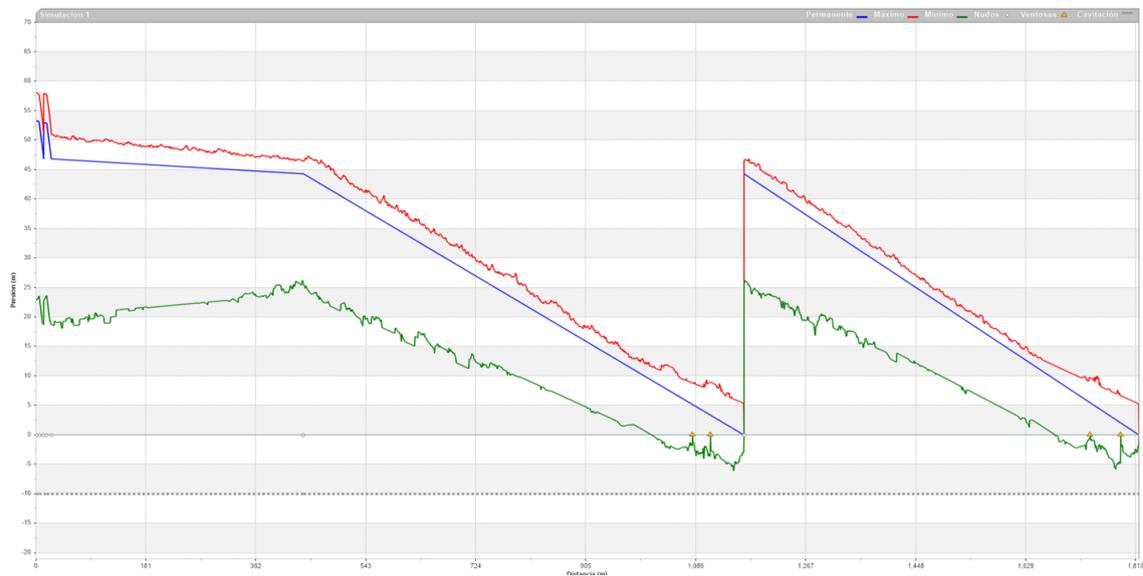


Figura 72. Gráfica de simulación con dos calderines y cuatro ventosas.

Se observa que la presión en algunos tramos desciende por debajo de los 5 m soportados por la tubería de PVC, lo que requiere la incorporación de más ventosas para mitigar este efecto.

Se realiza una prueba con la adición de diez ventosas: seis en el tramo T8 y cuatro en el tramo

T9 y se obtienen los resultados indicados en la Figura 73.

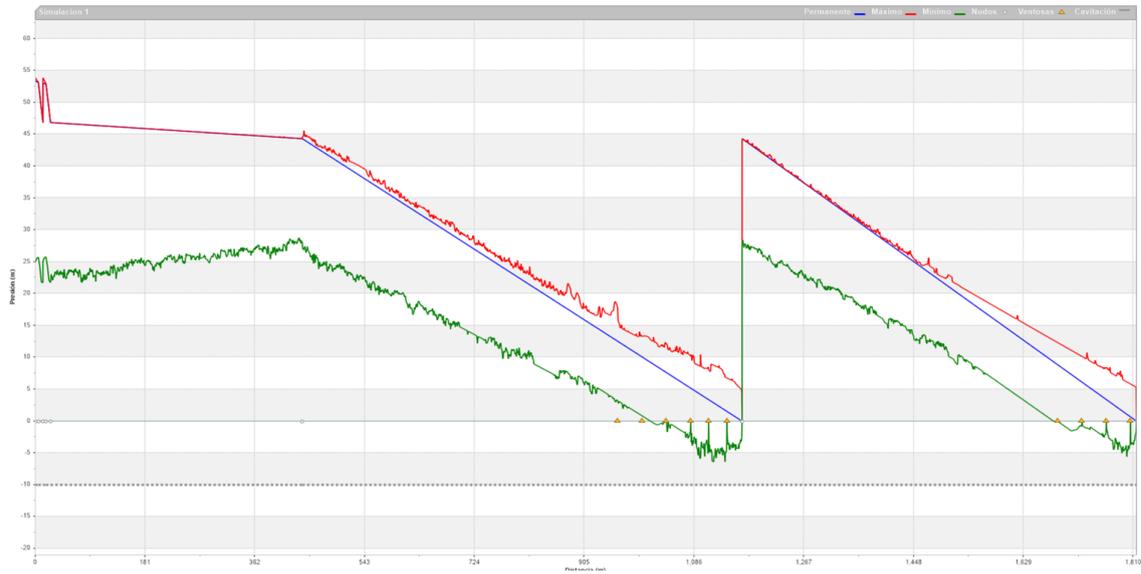


Figura 73. Gráfica de simulación con dos calderines y diez ventosas.

Como se aprecia en la Figura 73, las presiones mínimas (línea verde) en algunos tramos continúan siendo inferiores a los 5 m, lo que indica que seguir añadiendo ventosas deja de ser una solución viable. Esta medida no corrige de manera efectiva las depresiones mínimas y además incrementa significativamente el costo total de la instalación.

Por lo tanto, se evalúa la modificación de los parámetros operativos de los calderines. En este análisis, se ajusta la presión hidroneumática interna, partiendo de una presión inicial de 2,19 bar y un volumen de 3,81 m³, obteniendo los resultados indicados en la Figura 74.

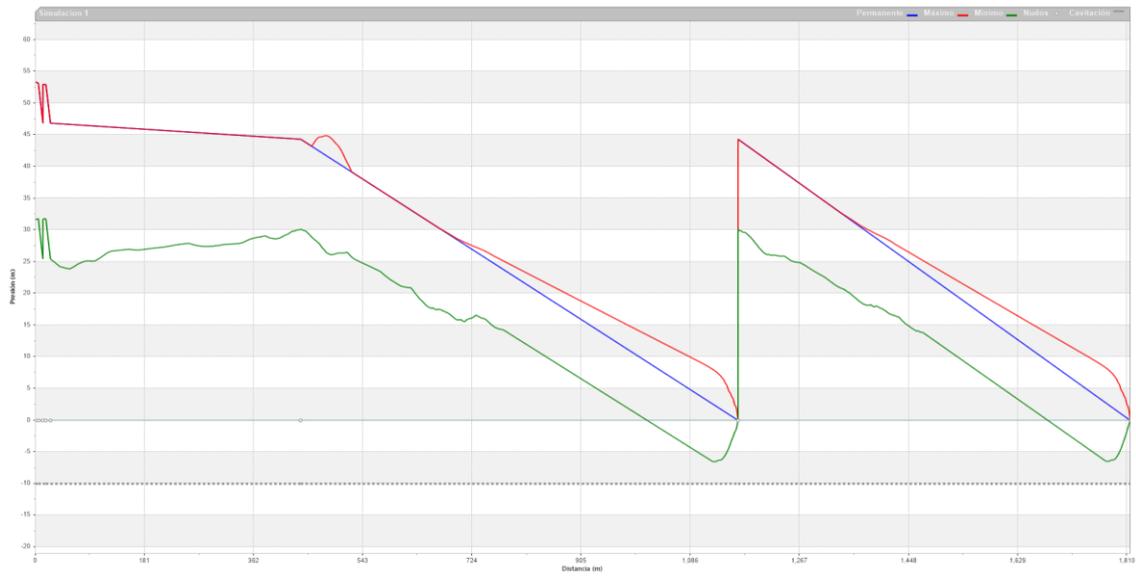


Figura 74. Gráfica de simulación con dos calderines (3,81m³ y 2,19bar) sin ventosas.

Se observa que la presión mínima sigue siendo inferior a los 5 m. Para mitigar este problema, se ajustan los volúmenes de los calderines a 7,85 m³ y la presión hidroneumática a 5 bar, obteniendo los resultados de la Figura 75.

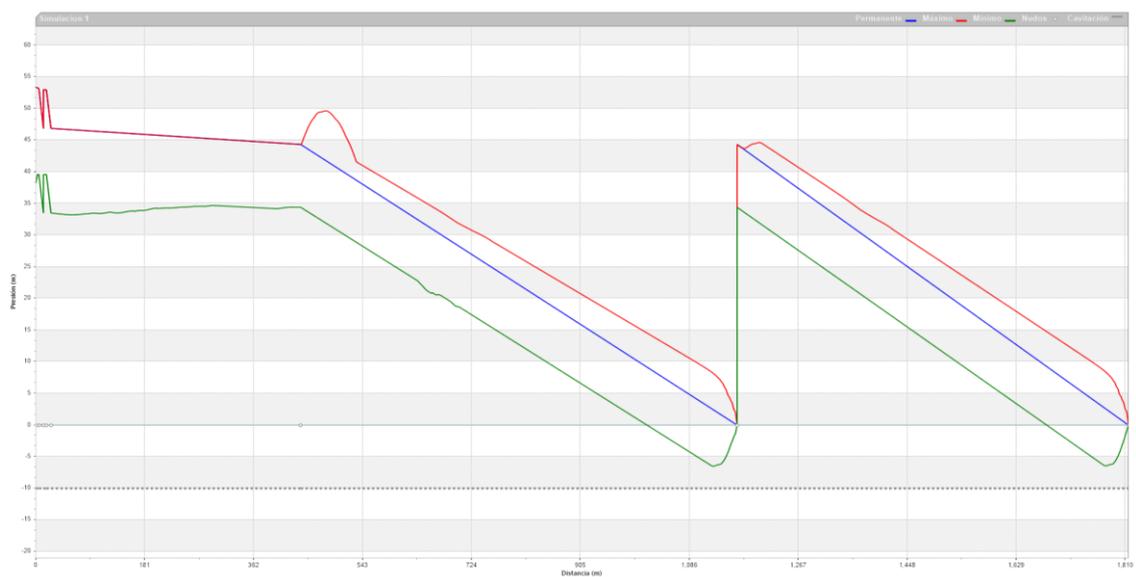


Figura 75. Gráfica de simulación con dos calderines (7,85m³ y 5bar).

Los resultados siguen siendo desfavorables, ya que no corrigen adecuadamente la presión mínima en el sistema. Como alternativa, se evalúa la incorporación de un calderín adicional en la zona de bifurcación inicial de los colectores, configurando el sistema con un total de tres calderines de menor diámetro y altura que los previamente instalados. En la Figura 76 se detalla la ubicación y

nomenclatura de cada uno de ellos.

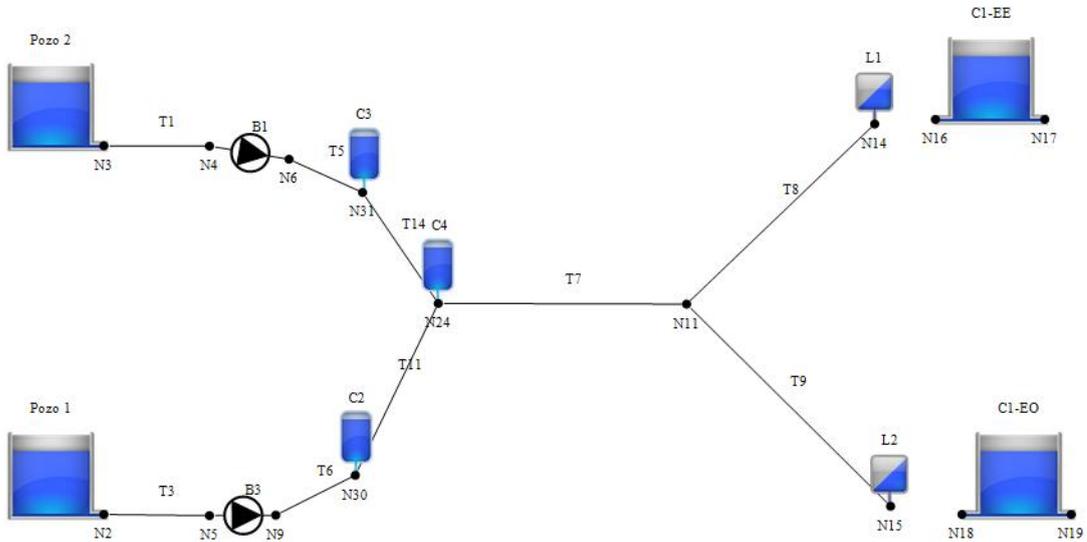


Figura 76. Esquema de sistema con tres calderines.

Los parámetros de los calderines se resumen en la Figura 77 extraída del software utilizado:

Calderines - Datos básicos						Características físicas del calderín										Ramal de unión			Pérdidas		
Nombre	Nudo	Zu (m)	Num	Calc. K	Act	D (m)	L (m)	V (m ³)	Pred	Rug (mm)	Zb (m)	Posición	Vejeja	P (bar)	EP	D (mm)	L (m)	Rug (mm)	K sal	K ent	
C2	N30	261	1	...	✓	1.25	3.12	3.81	...	0.046	261	Vertical	No	2.19	Calc.	1.2	127	5	0.046	605.07	1000.6
C3	N31	261	1	...	✓	1.25	3.12	3.81	...	0.046	261	Vertical	No	2.19	Calc.	1.2	127	5	0.046	605.07	1000.6
C4	N24	267	1	...	✓	1.37	3.42	5.03	...	0.046	261	Vertical	No	1.9	Calc.	1.2	200	6	0.046	683.79	911.54

Figura 77. Parámetros de calderines.

Se observa que la presión interna en los calderines es menor en comparación con las situaciones previas, así como los volúmenes de cada uno de los mismos. Se ha considerado que los diámetros de los calderines sean compatibles con el transporte en tráileres convencionales, cuyas dimensiones son de 2,5 m de ancho y 11 m de largo. Además, se evalúa la reducción en los requerimientos de presión hidroneumática en los equipos, ya que una mayor presión interna podría representar un riesgo tanto para las personas cercanas a las instalaciones como para los operarios.

Los resultados de la simulación se indican en la Figura 78.

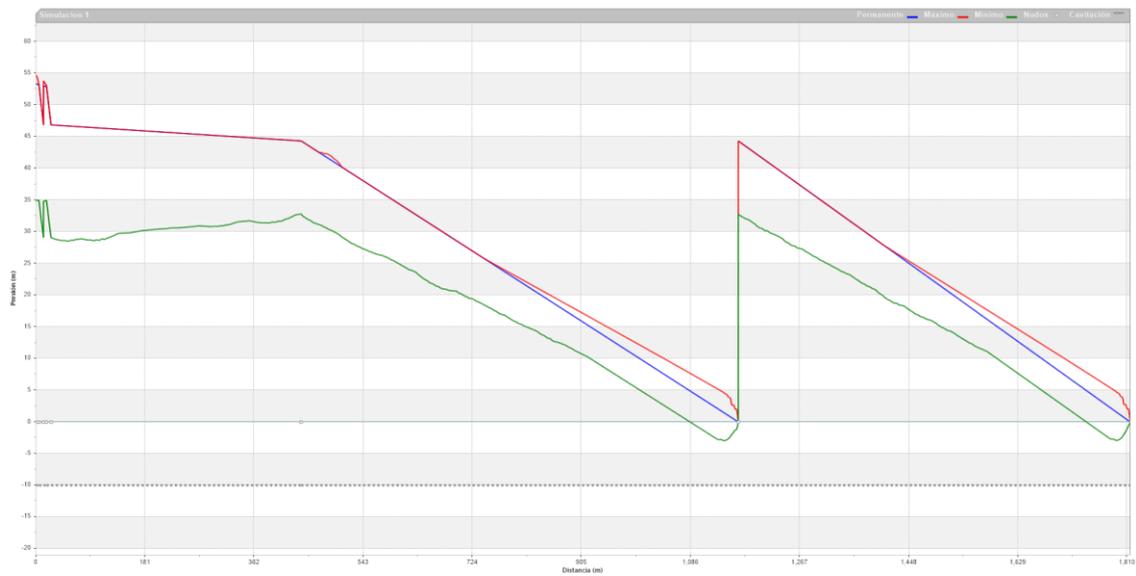


Figura 78. Gráfica de simulación con tres calderines.

Como se puede observar en la Figura 78, la incorporación de un calderín adicional ha mejorado significativamente el comportamiento del sistema, ya que la presión mínima ahora se mantiene por encima de los 5 m, resolviendo el problema previo de depresión. Además, la adición de este calderín no ha generado complicaciones en las presiones máximas alcanzadas, que se mantienen sin cambios, con un valor máximo de 55 m, lo cual está dentro del límite soportado por las tuberías de PVC PN6.

En conclusión, los calderines deben cumplir con las especificaciones indicadas en la Tabla 37 y Tabla 38.

Calderines de colectores (C2 y C3):

Tabla 37. Parámetros de calderines C2 y C3.

Parámetros	Valor
Diámetro de conexión del calderín	254 mm
Ramal de unión	127 mm
Disipador	No
By-Pass	No
Diámetro	1,25 m
Longitud	3,12 m
Volumen total	3,81 m ³
Volumen de gas	2,43 m ³
Presión de hinchado	2,19 bar
Posición	Vertical

Calderín de bifurcación (C4):

Tabla 38. Parámetros de calderín C4.

Parámetros	Valor
Diámetro de conexión del calderín	150 mm
Ramal de unión	200 mm
Disipador	No
By-Pass	No
Diámetro	1,37 m
Longitud	3,42 m
Volumen total	5,03 m ³
Volumen de gas	3,22 m ³
Presión de hinchado	1,9 bar
Posición	Vertical

En el ANEXO IV se indica la vista en planta del sistema final propuesto, con sus componentes, materiales, caudales, volúmenes de tanque, reservas, cisternas y válvulas para el tramo desde el pozo hasta las primeras cisternas.

6.7 **Desarrollar un plan integral para el lanzamiento del sistema.**

Para un plan integral de lanzamiento de un sistema de bombeo y rebombeo para abastecer de agua potable a una localidad, se consideran los siguientes aspectos:

- **Logística**
 - Transporte y almacenamiento de equipos: Planificación del transporte de los equipos (bombas, tuberías, válvulas, etc.) y su almacenamiento en el sitio de instalación.
 - Cronograma de suministro: Establecer un cronograma para la entrega de materiales, asegurando que todo esté disponible antes de la instalación.
 - Disponibilidad de mano de obra: Coordinación de los recursos humanos necesarios para la instalación y puesta en marcha del sistema.
 - Gestión de permisos y normativas: Asegurar el cumplimiento de normativas locales y obtener los permisos necesarios para la construcción y operación del sistema.
- **Operación**
 - Puesta en marcha inicial (PEM): Desarrollar un plan para la puesta en marcha del sistema, incluyendo pruebas de funcionamiento, ajustes y calibración de los equipos.
 - Capacitación del personal: Capacitar a los operadores y técnicos locales en el uso y mantenimiento del sistema, incluyendo la operación de bombas, control de válvulas y lectura de indicadores.
 - Procedimientos de operación estándar: Definir los procedimientos para la operación diaria, incluyendo protocolos de encendido/apagado, monitoreo de caudal y presión, y respuesta a fallas típicas.
 - Plan de contingencias: Incluir procedimientos para enfrentar emergencias como cortes eléctricos, fallas en bombas o desabastecimiento de insumos.
- **Mantenimiento**
 - Plan de mantenimiento preventivo: Establecer un calendario de revisiones periódicas para garantizar la operatividad continua del sistema, incluyendo la limpieza de filtros, revisión de bombas, lubricación de partes móviles y pruebas de control.
 - Inventario de repuestos y consumibles: Mantener un stock de repuestos críticos y consumibles (sellos, rodamientos, lubricantes) para minimizar tiempos de inactividad.
 - Sistema de monitoreo y diagnóstico: Implementar un sistema para monitorear parámetros clave (presión, caudal, consumo de energía) y detectar fallas tempranas.
 - Registro de mantenimiento: Llevar un registro detallado de todas las actividades de mantenimiento y reparaciones para mejorar la gestión del ciclo de vida de los equipos.

- **Aspectos comunitarios y sociales**

- Comunicación con la comunidad: Informar a la comunidad sobre los beneficios del sistema, su funcionamiento y los tiempos de instalación.
- Educación y sensibilización: Capacitar a la población en el uso responsable del agua y en la importancia de la conservación de los recursos hídricos.
- Mecanismos de retroalimentación: Establecer canales para recibir y responder a las inquietudes o problemas reportados por la comunidad.

El plan integral incluye un cronograma que coordine todas las actividades para asegurar que el sistema esté completamente operativo dentro del plazo previsto. El plan propuesto es el siguiente:

6.7.1 1. Objetivo

Implementar un sistema de bombeo y rebombeo que garantice la provisión continua y segura de agua potable para la comunidad de la localidad de Balsa Las Perlas sector Este. El plan considera las fases de logística, operación y mantenimiento.

6.7.2 2. Alcance

Este plan abarca desde la adquisición de equipos y materiales hasta la operación y mantenimiento del sistema durante los primeros 12 meses de operación.

6.7.3 3. Fases del Proyecto

El proyecto puede subdividirse en cuatro fases principales, la cuales se desplazan a continuación:

6.7.3.1 Fase 1: Logística y Preparación (Mes 1-2)

Gestión de permisos y normativas:

- Obtener permisos de construcción y ambientales.
- Coordinar con las autoridades locales y cumplir con las normativas vigentes.

Transporte y almacenamiento de equipos:

- Planificar la entrega de bombas, tuberías y otros equipos al sitio de instalación.
- Asegurar un almacenamiento adecuado para evitar daños por manipulación o condiciones climáticas.

Cronograma de suministro:

- Establecer un cronograma de entregas según las necesidades de la instalación.
- Verificar la disponibilidad de todos los materiales antes del inicio de la obra.

Disponibilidad de mano de obra:

- Contratar y capacitar al personal técnico para la instalación y operación inicial.
- Definir turnos de trabajo para asegurar la continuidad de la instalación.

6.7.3.2 Fase 2: Instalación y Puesta en Marcha (Mes 3-5)

Instalación de equipos:

- Instalar las bombas de captación y rebombeo en los sitios designados.
- Conectar tuberías principales y secundarias según el diseño hidráulico.
- Configurar válvulas, sistemas de control y dispositivos de monitoreo.

Pruebas de funcionamiento:

- Realizar pruebas de presión y caudal para validar el rendimiento de las bombas.
- Ajustar parámetros operativos como velocidad de bombeo y niveles de control.

Capacitación del personal local:

- Capacitar a los operadores y técnicos en el manejo seguro y eficiente del sistema.
- Elaborar manuales de operación y procedimientos de emergencia.

Comunicación con la comunidad:

- Informar a la comunidad sobre el inicio de la operación y la disponibilidad de agua potable.
- Realizar campañas de sensibilización sobre el uso responsable del agua.

6.7.3.3 Fase 3: Operación y Monitoreo (Mes 6-12)

Operación diaria:

- Implementar procedimientos operativos estándar para la operación del sistema.
- Monitorear el sistema de manera continua para asegurar el suministro adecuado.

Plan de contingencias:

- Preparar protocolos para atender situaciones de emergencia como cortes eléctricos, daños en tuberías o fallas en bombas.

Mecanismos de retroalimentación comunitaria:

- Establecer una línea directa o canal de comunicación para que la comunidad reporte problemas o sugerencias.

6.7.3.4 Fase 4: Mantenimiento Preventivo y Correctivo (Mes 6-12)

Plan de mantenimiento preventivo:

- Realizar revisiones mensuales de bombas, válvulas y tuberías.
- Limpieza periódica de filtros y calibración de instrumentos.

Inventario de repuestos y consumibles:

- Mantener un stock de repuestos críticos como sellos, empaques y rodamientos.
- Establecer acuerdos con proveedores para tiempos de entrega rápidos.

Registro de actividades de mantenimiento:

- Llevar un registro detallado de cada intervención para optimizar las futuras operaciones.

Sistema de monitoreo:

- Implementar sensores para vigilar la presión, caudal y consumo energético.
- Automatizar alertas tempranas para el diagnóstico de posibles fallas.

6.7.4 4. Cronograma tentativo

Se presenta en la Tabla 39 un cronograma tentativo de las actividades según los meses para llevar a cabo el plan de lanzamiento del sistema:

Tabla 39. Cronograma tentativo de actividades para lanzamiento del sistema.

Actividad	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7- 12
Permisos y normativas	X						
Transporte y almacenamiento	X	X					
Instalación de equipos		X	X				
Pruebas de funcionamiento y puesta en marcha			X	X			
Capacitación del personal			X	X			
Operación diaria					X	X	X
Mantenimiento preventivo y correctivo						X	X
Sensibilización y comunicación a la comunidad			X	X	X	X	X

7 CONCLUSIONES

El diseño del sistema de bombeo para abastecer al sector este de la población de Balsa Las Perlas ha cumplido con los objetivos planteados, integrando todos los elementos necesarios para garantizar un suministro de agua potable eficiente y sostenible. A continuación, se presentan las conclusiones específicas para cada uno de los objetivos del proyecto.

El pozo filtrante diseñado cumple con los parámetros técnicos necesarios para captar agua subterránea de manera eficiente y libre de sedimentos. Su dimensionamiento incluyó la determinación de profundidad, diámetro y materiales de construcción, adaptándose a las condiciones del acuífero local y asegurando un flujo continuo y sostenible. Este diseño está alineado con los estándares establecidos por el ENOHSA, asegurando la viabilidad técnica de esta etapa inicial del sistema.

En cuanto al sistema de bombeo desde el pozo filtrante hasta el reservorio, se seleccionaron bombas centrífugas, las cuales se adaptan a los requerimientos de caudal y altura manométrica. Las dimensiones de las tuberías, así como las válvulas de retención y alivio integradas, garantizan la protección contra golpes de ariete y presiones negativas, promoviendo la fiabilidad operativa del sistema. Todo esto fue respaldado por cálculos hidráulicos detallados y ajustados a las normativas técnicas aplicables.

El diseño del sistema de rebombeo desde el reservorio hasta el tanque elevado también fue desarrollado con criterios técnicos claros, incorporando bombas electro-sumergibles para asegurar la presión adecuada en la red de distribución. La inclusión de válvulas anticipadoras de onda y otros dispositivos de protección contribuyen a mitigar los efectos del golpe de ariete, asegurando la integridad del sistema a largo plazo.

En relación a la factibilidad técnico-económica, el análisis preliminar indica que el proyecto es técnicamente viable. Los parámetros calculados, como caudal, pérdidas de carga y dimensiones de los componentes, cumplen con los estándares establecidos. Sin embargo, la viabilidad económica requiere un análisis más exhaustivo, que contemple costos, eficiencia energética y sostenibilidad. Este análisis excede el alcance del presente informe, pero resulta indispensable para avanzar en las etapas de implementación.

En conclusión, el diseño propuesto ofrece una solución técnica adecuada para satisfacer las demandas de agua potable del sector este de Balsa Las Perlas. A través de un enfoque integral que abarca captación, almacenamiento y distribución, se garantiza el cumplimiento de las normativas vigentes y la confiabilidad operativa. No obstante, para garantizar el éxito a largo plazo, será fundamental llevar a cabo estudios complementarios de carácter técnico y económico.

8 REFERENCIAS

- ASME. (2018). *B36.10 Welded and Seamless Wrought Steel Pipe*.
- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. (2002). *Manual de Diseño de Galerías Filtrantes*. Lima.
- Crane y Crane. División de Ingeniería. (2009). *Flujo de fluidos: en válvulas, accesorios y tuberías*. McGraw-Hill Interamericana.
- Dorot. (15 de abril de 2024). *Aquestia*. Obtenido de <https://www.dorot.com/>
- Ente Nacional de Obras Hídricas de Saneamiento (ENOHSa). (2023). *Guías Agua Potable*. Buenos Aires: ENOHSa.
- Fernández Rodríguez, H., y Pardo Picazo, M. Á. (2012). *Patrones de consumo de agua en pequeñas poblaciones de la provincia de Alicante*. Universidad de Alicante.
- García Melón, M. (2010). *Fundamentos del diseño en la ingeniería*. Editorial UPV.
- Google (s.f.). *Google Earth Pro*. Versión 7.3 (2024) [Software de ordenador]. Obtenido de: <https://www.google.com/earth/about/>
- Hydraulic Institute. (s.f.). *Pump Application Guide for Water Systems*. Hydraulic Institute.
- INDEC. (15 de marzo de 2024). *Instituto Nacional de Estadísticas y Censos de la República Argentina*. Obtenido de <https://www.indec.gov.ar/>
- Interagua. (2015). *Norma técnica de diseño estaciones de bombeo de AAPP*. Guayaquil.
- ITA | Universidad Politécnica de Valencia. (08 de mayo de 2024). *Allievi*. Obtenido de <https://www.allievi.net/allievi-es.php>
- Ley N°18.284 *Código Alimentario Argentino*. (18 de julio de 1969). Cap. XII: Bebidas Analcohólicas, Bebidas Hídricas, Agua y Agua Gasificada. Obtenido de https://alimentosargentinos.magyp.gov.ar/contenido/marco/CAA/Capitulo_12.php
- Ley Nacional N° 25.675. *Ley general del ambiente*. Obtenido de <https://www.argentina.gov.ar/normativa/nacional/ley-25675-79980/texto>
- Ley Provincial de Río Negro J N° 3183 (23 de diciembre de 1997). *Marco regulatorio para la prestación de los servicios de agua potable desagües cloacales, riego y drenaje en la provincia de Río Negro*. Obtenido de <https://web.legisrn.gov.ar/digesto/normas/ver?id=1997120040#:~:text=Marco%20Regulatorio%20para%20la%20prestaci%C3%B3n,y%20drenaje%20de%20la%20Provincia>
- Ley Provincial de Río Negro N° 2391/90 (31 de octubre de 1990). *Régimen de control de calidad y protección de los recursos hídricos provinciales. Crea Registro Prov. de usuarios Cuerpos Receptores Hídricos*. Obtenido de <https://web.legisrn.gov.ar/legislativa/legislacion/ver?id=2392>

- Ley Provincial de Río Negro N° 2952/95 (05 de febrero de 1996). *Código de Aguas*. Obtenido de <https://web.legisrn.gov.ar/legislativa/legislacion/ver?id=2953>
- Mataix Plana, C. (1982). *Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas*.
- Parmakian, J. (1957). *Water-hammer design criteria*. Journal of the Power Division.
- Riba, C. (2002). *Herramientas para el diseño concurrente*. Diseño Concurrente, 3ra ed., Barcelona, España, Ediciones UPC, 178-180.
- Troffé, M. (2017). *HEGI. Herramientas de Gestión Integradas*. Editorial Dunken.
- Ulrich, K. T., y Eppinger, S. D. (2009). *Diseño y Desarrollo de Productos* (4ta ed.). México, DF.
- Valmec. (10 de mayo de 2024). *Innovación y Tecnología para el Control de Fluidos*. <https://valmec.com.ar>
- 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.
- Vialidad Rionegrina (2019). *COMPONENTE ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL Y SOCIAL (EsIAS). Obra de repavimentación de la RP N° 6 y RP N°8 Empalme RN N° 22 – La Esperanza (Departamentos de General Roca, El Cuy y 25 de Mayo) Provincia de Río Negro, Argentina AR-L1307*. Obtenido de <https://fffir.gob.ar/images/NewFinan/Documentos/EIA-RP6-RN.pdf>
- World Health Organization (WHO). (2004). *Guidelines for Drinking-Water Quality* (3ra ed.). World Health Organization.
- Wylie, E. B., y Streeter, V. L. (1978). *Fluid transients*. New York.
- Xylem. (08 de mayo de 2024). *Soluciones y Tecnologías Xylem*. Obtenido de <https://www.xylem.com/es-ar/>

9 ANEXO I

Características de agua potable según el capítulo XII del Código Alimentario Argentino (2024).

Art 982 - Con las denominaciones de Agua potable de suministro público y Agua potable de uso domiciliario, se entiende la que es apta para la alimentación y uso doméstico: no deberá contener sustancias o cuerpos extraños de origen biológico, orgánico, inorgánico o radiactivo en tenores tales que la hagan peligrosa para la salud. Deberá presentar sabor agradable y ser prácticamente incolora, inodora, límpida y transparente.

El agua potable de uso domiciliario es el agua proveniente de un suministro público, de un pozo o de otra fuente, ubicada en los reservorios o depósitos domiciliarios.

Ambas deberán cumplir con las características físicas, químicas y microbiológicas siguientes:

Características físicas:

Turbiedad: máx. 3 N T U;

Color: máx. 5 escala Pt-Co;

Olor: sin olores extraños.

Características químicas:

pH: 6,5 - 8,5;

pH sat.: $\text{pH} \pm 0,2$.

Substancias inorgánicas:

Amoníaco (NH_4^+) máx.: 0,20 mg/l;

Antimonio máx.: 0,02 mg/l;

Aluminio residual (Al) máx.: 0,20 mg/l;

Arsénico (As) máx.: 0,01 mg/l;

Boro (B) máx.: 0,5 mg/l;

Bromato máx.: 0,01 mg/l;

Cadmio (Cd) máx.: 0,005 mg/l;
Cianuro (CN-) máx.: 0,10 mg/l;
Cinc (Zn) máx.: 5,0 mg/l;
Cloruro (Cl-) máx.: 350 mg/l;
Cobre (Cu) máx.: 1,00 mg/l;
Cromo (Cr) máx.: 0,05 mg/l;
Dureza total (CaCO₃) máx.: 400 mg/l;

Fluoruro (F-): para los fluoruros 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 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:
- Hierro total (Fe) máx.: 0,30 mg/l;
Manganeso (Mn) máx.: 0,10 mg/l;
Mercurio (Hg) máx.: 0,001 mg/l;

Niquel (Ni) máx.: 0,02 mg/l;
Nitrato (NO₃⁻) máx.: 45 mg/l;
Nitrito (NO₂⁻) máx.: 0,10 mg/l;
Plata (Ag) máx.: 0,05 mg/l;
Plomo (Pb) máx.: 0,05 mg/l;
Selenio (Se) máx.: 0,01 mg/l;
Sólidos disueltos totales, máx.: 1500 mg/l;
Sulfatos (SO₄⁼) máx.: 400 mg/l;
Cloro activo residual (Cl) mín.: 0,2 mg/l.

La autoridad sanitaria competente podrá admitir valores distintos si la composición normal del agua de la zona y la imposibilidad de aplicar tecnologías de corrección lo hicieran necesario.

Para aquellas regiones del país con suelos de alto contenido de arsénico, se establece un plazo de hasta 5 años para adecuarse al valor de 0,01 mg/l.

(Resolución Conjunta SPReI N° 34/2012 y SAGyP N° 50/2012): Prorrógase el plazo de cinco (5) años previsto para alcanzar el valor de 0,01 mg/l de arsénico hasta contar con los resultados del estudio “Hidroarsenicismo y Saneamiento Básico en la República Argentina – Estudios básicos para el establecimiento de criterios y prioridades sanitarias en cobertura y calidad de aguas” cuyos términos fueron elaborados por la Subsecretaría de Recursos Hídricos del Ministerio de Planificación Federal.

Características Microbiológicas:

Bacterias coliformes: NMP a 37 °C- 48 hs. (Caldo Mc Conkey o Lauril Sulfato), en 100 ml: igual o menor de 3.

Escherichia coli: ausencia en 100 ml.

Pseudomonas aeruginosa: ausencia en 100 ml.

En la evaluación de la potabilidad del agua ubicada en reservorios de almacenamiento domiciliario deberá incluirse entre los parámetros microbiológicos a controlar el recuento de bacterias mesófilas en agar (APC - 24 hs. a 37 °C): en el caso de que el recuento supere las 500 UFC/ml y se cumplan el resto de los parámetros indicados, sólo se deberá exigir la higienización del reservorio y un nuevo recuento.

En las aguas ubicadas en los reservorios domiciliarios no es obligatoria la presencia de cloro activo.

Contaminantes orgánicos:

THM, máx.: 100 ug/l;

Aldrin + Dieldrin, máx.: 0,03 ug/l;

Clordano, máx.: 0,30 ug/l;

DDT (Total + Isómeros), máx.: 1,00 ug/l;

Detergentes, máx.: 0,50 mg/l;

Heptacloro + Heptacloroepóxido, máx.: 0,10 ug/l;

Lindano, máx.: 3,00 ug/l;

Metoxicloro, máx.: 30,0 ug/l;

2,4 D, máx.: 100 ug/l;

Benceno, máx.: 10 ug/l;

Hexacloro benceno, máx.: 0,01 ug/l;

Monocloro benceno, máx.: 3,0 ug/l;

1,2 Dicloro benceno, máx.: 0,5 ug/l;

1,4 Dicloro benceno, máx.: 0,4 ug/l;

Pentaclorofenol, máx.: 10 ug/l;

2, 4, 6 Triclorofenol, máx.: 10 ug/l;

Tetracloruro de carbono, máx.: 3,00 ug/l;

1,1 Dicloroetano, máx.: 0,30 ug/l;

Tricloro etileno, máx.: 30,0 ug/l;
1,2 Dicloro etano, máx.: 10 ug/l;
Cloruro de vinilo, máx.: 2,00 ug/l;
Benzopireno, máx.: 0,01 ug/l;
Tetra cloro eteno, máx.: 10 ug/l;
Metil Paratión, máx.: 7 ug/l;
Paratión, máx.: 35 ug/l;
Malatión, máx.: 35 ug/l.

Los tratamientos de potabilización que sea necesario realizar deberán ser puestos en conocimiento de la autoridad sanitaria competente".

10 ANEXO II

Se presenta a continuación el análisis para obtener los diámetros óptimos:

Tramo pozo-a:

En los datos de la instalación se tiene:

Tabla 40. Datos de instalación tramo pozo-a.

CARACTERÍSTICAS GOMÉTRICAS		CARACT. HIDRÁULICAS		CARACTERÍSTICAS INSTALACIÓN	
Longitud =	415,00 m	Caudal =	166,16 l/s	Vida Util =	15 años
Altura geométrica =	0,00 m			Tiempo funcionamiento =	4380 h/año
Material =	PVC U			Coste energía =	0,21 U\$/Kwh
C =	145				
DH _{loc}	5 %				

RANGO DIÁMETROS	
v<3m/s	265,557 mm
v>0.5m/s	650,479 mm

El rango de tuberías a estudiar es el siguiente:

Tabla 41. Rango de tuberías a estudiar tramo pozo-a.

RANGO DE TUBERÍAS A ESTUDIAR						
DN (in)	5	6	8	10	12	14
Diam ext. (mm)	141,3	168,3	219,1	273	323,9	355,6
Diam int. (mm)	131	154,1	202,7	254,4	303,3	333,4
e	5,15	7,1	8,2	9,3	10,3	11,1
v (m/s)	12,33	8,91	5,15	3,27	2,30	1,90
J (m)	316,0	143,3	37,7	12,5	5,3	3,3
J* (m)	331,8	150,4	39,6	13,1	5,6	3,5

Los costos de inversión son:

Tabla 42. Costos fijos tubería tramo pozo-a.

Aprox en mm	127	152	203	254	305	356
DN	5	6	8	10	12	14

COSTE DE INVERSIÓN DE LA TUBERÍA (I1)							
	U\$/ml tubo	USD	USD	USD	USD	USD	USD
		5,54	6,91	13,66	21,73	33,58	54,69
Costo estimado respecto a	Tubería	USD 2.299,10	USD 2.867,65	USD 5.668,90	USD 9.017,95	USD 13.935,70	USD 22.696,35
30%	Colocación	USD 689,73	USD 860,30	USD 1.700,67	USD 2.705,39	USD 4.180,71	USD 6.808,91
20%	Obra civil	USD 459,82	USD 573,53	USD 1.133,78	USD 1.803,59	USD 2.787,14	USD 4.539,27
5%	Elem. regulación	USD 114,96	USD 143,38	USD 283,45	USD 450,90	USD 696,79	USD 1.134,82
TOTAL COSTE INVERSIÓN I1 =		USD 3.563,61	USD 4.444,86	USD 8.786,80	USD 13.977,82	USD 21.600,34	USD 35.179,34

Tabla 43. Costos fijos equipos tramo pozo-a.

COSTE DE INVERSIÓN EQUIPO IMPULSIÓN (I2)							
H (mca)	331,8	150,4	39,6	13,1	5,6	3,5	
η	70%						
Potencia Hidráulica	1070	485	128	42	18	11	C. V.
	788	357	94	31	13	8	K w
Potencia Eléctrica	1177	534	140	46	20	12	C. V.
	866	393	103	34	15	9	K w
Costo estimado respecto a	Bomba	USD 28.483,88	USD 19.380,06	USD 10.117,21	USD 5.903,50	USD 3.890,95	USD 3.108,96
50%	Cuadro Eléctrico	USD 14.241,94	USD 9.690,03	USD 5.058,60	USD 2.951,75	USD 1.945,48	USD 1.554,48
10%	Calde. y Valv.	USD 2.848,39	USD 1.938,01	USD 1.011,72	USD 590,35	USD 389,10	USD 310,90
TOTAL COSTE INVERSIÓN I2 =		USD 45.574,21	USD 31.008,09	USD 16.187,53	USD 9.445,61	USD 6.225,52	USD 4.974,34

COSTE TOTAL INVERSIÓN I (US\$)	49.137,81	35.452,95	24.974,33	23.423,43	27.825,86	40.153,68
---------------------------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------

Los costos anuales son:

Tabla 44. Costos variables tramo pozo-a.

DN	5	6	8	10	12	14	
COSTES FIJOS (A1)							
Inversión (U\$S)	49.137,81	35.452,95	24.974,33	23.423,43	27.825,86	40.153,68	
Tasa interés anual	4%						
Nº pagos	15		años				
TOTAL COSTO FIJO C1 =	Amortización	USD 4.249,53	USD 3.066,04	USD 2.159,83	USD 2.025,70	USD 2.406,43	USD 3.472,56
COSTES VARIABLES (A2)							
Costo estimado respecto a Inversión							
2,50%	Mantenimiento	USD 1.228,45	USD 886,32	USD 624,36	USD 585,59	USD 695,65	USD 1.003,84
	Energía	USD 796.915,28	USD 361.288,37	USD 95.050,85	USD 31.431,62	USD 13.348,74	USD 8.419,29
TOTAL COSTO VARIABLE C2 =		USD 798.143,73	USD 362.174,69	USD 95.675,21	USD 32.017,21	USD 14.044,38	USD 9.423,13
COSTOS TOTALES ANUALES C (U\$S)		802.393,25	365.240,7	97.835,04	34.042,91	16.450,81	12.895,69

Finalmente se obtiene una relación entre los costos fijos y los variables para cada diámetro:

Tabla 45. Costos totales por cada diámetro tramo pozo-a.

	DN	5	6	8	10	12	14
COS TOS	Inversión	USD 49.137,81	USD 35.452,95	USD 24.974,33	USD 23.423,43	USD 27.825,86	USD 40.153,68
	Anuales	USD 802.393,25	USD 365.240,73	USD 97.835,04	USD 34.042,91	USD 16.450,81	USD 12.895,69
	TOTALES (U\$S)	851.531,07	400.693,68	122.809,37	57.466,34	44.276,67	53.049,38

Gráficamente, el costo vs diámetro se representa en la siguiente curva.

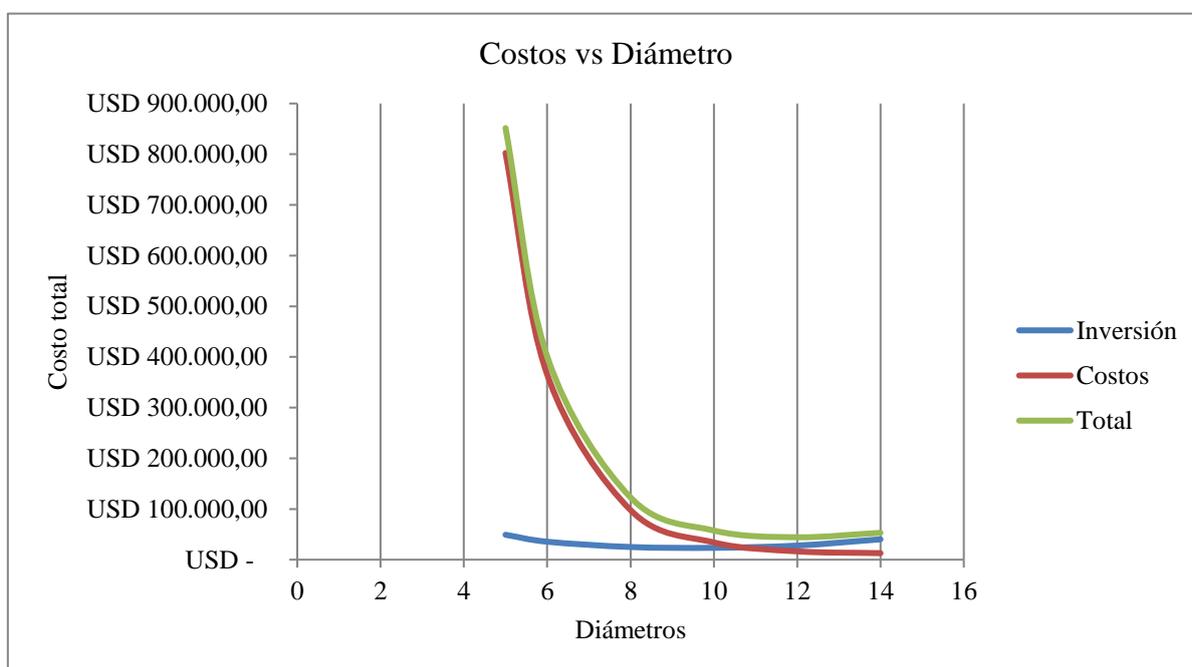


Figura 79. Gráfica costo total por cada diámetro en tramo pozo-a.

En el tramo desde “a” en el ramal 1A se tiene:

Los datos de la instalación:

Tabla 46. Datos de instalación tramo a-1A.

CARACTERÍSTICAS GOMÉTRICAS	CARACT. HIDRÁULICAS	CARACTERÍSTICAS INSTALACIÓN
Longitud = 650,00 m	Caudal = 98,34 l/s	Vida Util = 15 años
Altura geométrica = 38,80 m		Tiempo funcionamiento = 4380 h/año
Material = PVC U		Coste energía = 0,21 U\$/Kwh
C = 145		
ΔH_{loc} = 5 %		
	RANGO DIÁMETROS	
	v < 3m/s	204,296 mm
	v > 0.5m/s	500,421 mm

El rango de tuberías a estudiar:

Tabla 47. Rango de tuberías a estudiar tramo a-1A.

RANGO DE TUBERÍAS A ESTUDIAR						
DN (in)	5	6	8	10	12	14
Diam ext (mm)	141,3	168,3	219,1	273	323,9	355,6
Diam int (mm)	131	154,1	202,7	254,4	303,3	333,4
e	5,15	7,1	8,2	9,3	10,3	11,1
v (m/s)	7,30	5,27	3,05	1,93	1,36	1,13
J (m)	187,4	84,9	22,3	7,4	3,1	2,0
J* (m)	196,7	89,2	23,5	7,8	3,3	2,1

El costo de inversión inicial:

Tabla 48. Costos fijos tubería tramo a-1A.

		DN	5	6	8	10	12	14
		COSTE DE INVERSIÓN DE LA TUBERÍA (I1)						
		U\$S/ml tubo	USD 5,54	USD 6,91	USD 13,66	USD 21,73	USD 33,58	USD 54,69
Costo estimado respecto a	Tubería	USD 3.601,00	USD 4.491,50	USD 8.879,00	USD 14.124,50	USD 21.827,00	USD 35.548,50	
30%	Colocación	USD 1.080,30	USD 1.347,45	USD 2.663,70	USD 4.237,35	USD 6.548,10	USD 10.664,55	
20%	Obra civil	USD 720,20	USD 898,30	USD 1.775,80	USD 2.824,90	USD 4.365,40	USD 7.109,70	
5%	Elem. regulación	USD 180,05	USD 224,58	USD 443,95	USD 706,23	USD 1.091,35	USD 1.777,43	
TOTAL COSTE INVERSIÓN I1 =		USD 5.581,55	USD 6.961,83	USD 13.762,45	USD 21.892,98	USD 33.831,85	USD 55.100,18	

Tabla 49. Costos fijos de equipos en tramo a-1A.

COSTE DE INVERSIÓN EQUIPO IMPULSIÓN (I2)							
H (mca)	235,5	128,0	62,3	46,6	42,1	40,9	
η	70%						
Potencia Hidráulica	450	244	119	89	80	78	C. V.
	331	180	87	65	59	57	K w
Potencia Eléctrica	495	269	131	98	88	86	C. V.
	364	198	96	72	65	63	K w
Costo estimado respecto a	Bomba	USD 18.674,66	USD 13.877,51	USD 9.771,79	USD 8.482,46	USD 8.076,30	USD 7.961,79
50%	Cuadro Eléctrico	USD 9.337,33	USD 6.938,76	USD 4.885,90	USD 4.241,23	USD 4.038,15	USD 3.980,89
10%	Calde. y Valv.	USD 1.867,47	USD 1.387,75	USD 977,18	USD 848,25	USD 807,63	USD 796,18
TOTAL COSTE INVERSIÓN I2 =		USD 29.879,45	USD 22.204,02	USD 15.634,87	USD 13.571,94	USD 12.922,08	USD 12.738,86
COSTE TOTAL INVERSIÓN I (U\$S)		35.461,00	29.165,84	29.397,32	35.464,91	46.753,93	67.839,04

Los costos anuales son:

Tabla 50. Costos variables tramo a-1A.

DN	5	6	8	10	12	14	
COSTES FIJOS (A1)							
Inversión (U\$S)	35.461,00	29.165,84	29.397,32	35.464,91	46.753,93	67.839,04	
Tasa interés anual	4%						
Nº pagos	15		años				
TOTAL COSTO FIJO C1 =	Amortización	USD 3.066,73	USD 2.522,32	USD 2.542,33	USD 3.067,07	USD 4.043,37	USD 5.866,84
COSTES VARIABLES (A2)							
Costo estimado respecto a Inversión							
2,50%	Mantenimiento	USD 887	USD 729	USD 735	USD 887	USD 1.169	USD 1.696
	Energía	USD 334.793	USD 181.929	USD 88.504	USD 66.180	USD 59.835	USD 58.105
TOTAL COSTO VARIABLE C2 =		USD 335.679	USD 182.658	USD 89.239	USD 67.067	USD 61.004	USD 59.801
COSTOS TOTALES ANUALES C (U\$S)		338.746	185.180	91.782	70.134	65.047	65.668

Finalmente se obtiene una relación entre los costos fijos y los variables para cada diámetro:

Tabla 51. Costos totales por cada diámetro para el tramo a-1A.

DN		5	6	8	10	12	14
COS TOS	Inversión	USD 35.461	USD 29.166	USD 29.397	USD 35.465	USD 46.754	USD 67.839,04
	Anuales	USD 338.746	USD 185.180	USD 91.782	USD 70.134	USD 65.047	USD 65.667,76
	TOTALES (U\$S)	374.207	214.346	121.179	105.599	111.801	133.507

Gráficamente los costos totales en función del diámetro:

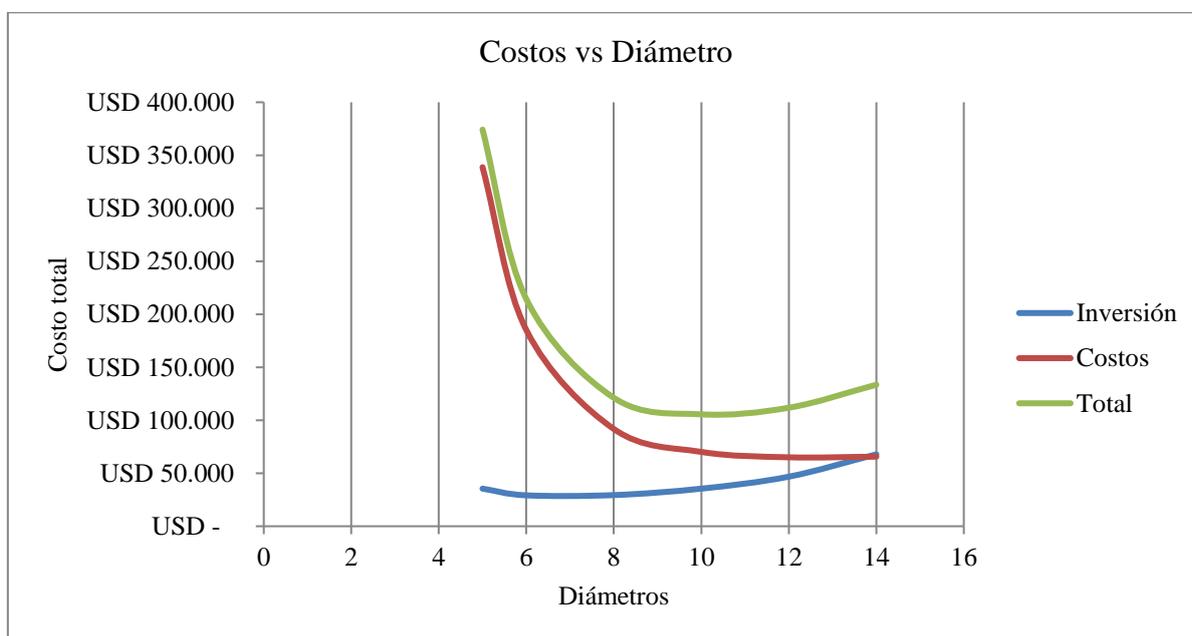


Figura 80. Costos totales por cada diámetro para el tramo a-1A.

Para el tramo desde a hasta 2A se tiene:

Tabla 52. Datos de instalación tramo a-2A.

CARACTERÍSTICAS GOMÉTRICAS			CARACT. HIDRÁULICAS			CARACTERÍSTICAS INSTALACIÓN		
Longitud =	725,00	m	Caudal =	67,82	l/s	Vida Util =	15	años
Altura geométrica =	38,80	m				Tiempo funcionamiento =	4380	h/año
Material =	PVC U		RANGO DIÁMETROS			Coste energía =	0,21	U\$/Kw h
C =	145		v<3m/s	169,658	mm			
ΔH_{loc}	5	%	v>0.5m/s	415,575	mm			

El rango de tuberías a estudiar es el siguiente:

Tabla 53. Rango de tuberías a estudiar tramo a-2A.

RANGO DE TUBERÍAS A ESTUDIAR						
DN (in)	5	6	8	10	12	14
Diam ext (mm)	141,3	168,3	219,1	273	323,9	355,6
Diam int (mm)	131	154,1	202,7	254,4	303,3	333,4
e	5,15	7,1	8,2	9,3	10,3	11,1
v (m/s)	5,03	3,64	2,10	1,33	0,94	0,78
J (m)	105,0	47,6	12,5	4,1	1,8	1,1
J* (m)	110,3	50,0	13,2	4,3	1,8	1,2

Los costos de fijos estimados son los siguientes:

Tabla 54. Costos fijos de tubería en tramo a-2A.

		DN	5	6	8	10	12	14
		COSTE DE INVERSIÓN DE LA TUBERÍA (I1)						
		U\$/ml tubo	USD 5,54	USD 6,91	USD 13,66	USD 21,73	USD 33,58	USD 54,69
Costo estimado respecto a	Tubería	USD 4.016,50	USD 5.009,75	USD 9.903,50	USD 15.754,25	USD 24.345,50	USD 39.650,25	
30%	Colocación	USD 1.204,95	USD 1.502,93	USD 2.971,05	USD 4.726,28	USD 7.303,65	USD 11.895,08	
20%	Obra civil	USD 803,30	USD 1.001,95	USD 1.980,70	USD 3.150,85	USD 4.869,10	USD 7.930,05	
5%	Elem. regulación	USD 200,83	USD 250,49	USD 495,18	USD 787,71	USD 1.217,28	USD 1.982,51	
TOTAL COSTE INVERSIÓN I1 (U\$) =		6.225,58	7.765,11	15.350,43	24.419,09	37.735,53	61.457,89	

Tabla 55. Costos fijos de equipos para el tramo a-2A.

COSTE DE INVERSIÓN EQUIPO IMPULSIÓN (I2)							
H (mca)	149,1	88,8	52,0	43,1	40,6	40,0	
η	70%						
Potencia Hidráulic	196	117	68	57	54	53	C. V.
a	144	86	50	42	39	39	K w
Potencia Eléctrica	216	129	75	62	59	58	C. V.
	159	95	55	46	43	43	K w
Costo estimado respecto a	Bomba	USD 12.473,31	USD 9.692,68	USD 7.466,79	USD 6.821,55	USD 6.626,04	USD 6.571,68
50%	Cuadro Eléctrico	USD 6.236,65	USD 4.846,34	USD 3.733,40	USD 3.410,78	USD 3.313,02	USD 3.285,84
10%	Calde. y Valv.	USD 1.247,33	USD 969,27	USD 746,68	USD 682,16	USD 662,60	USD 657,17
TOTAL COSTE INVERSIÓN I2 =		USD 19.957,29	USD 15.508,30	USD 11.946,86	USD 10.914,48	USD 10.601,67	USD 10.514,69
COSTE TOTAL INVERSIÓN I (US\$)		26.182,86	23.273,41	27.297,29	35.333,57	48.337,19	71.972,57

Los costos variables son los siguientes:

Tabla 56. Costos variables para el tramo a-2A.

DN	5	6	8	10	12	14	
COSTES FIJOS (A1)							
Inversión (U\$S)	26.182,86	23.273,41	27.297,29	35.333,57	48.337,19	71.972,57	
Tasa interés anual	4%						
Nº pagos	15		años				
TOTAL COSTO FIJO C1 =	Amortización	USD 2.264,34	USD 2.012,73	USD 2.360,72	USD 3.055,71	USD 4.180,29	USD 6.224,32
COSTES VARIABLES (A2)							
Costo estimado respecto a Inversión							
2,50%	Mantenimiento	USD 654,57	USD 581,84	USD 682,43	USD 883,34	USD 1.208,43	USD 1.799,31
	Energía	USD 146.126,33	USD 87.038,85	USD 50.926,98	USD 42.297,80	USD 39.845,08	USD 39.176,46
TOTAL COSTO VARIABLE C2 =		USD 146.780,91	USD 87.620,69	USD 51.609,41	USD 43.181,14	USD 41.053,51	USD 40.975,77
COSTOS TOTALES ANUALES C (U\$S)		149.045,25	89.633,41	53.970,13	46.236,85	45.233,80	47.200,09

Se realiza un balance entre los costos fijos y los variables para dicho sector:

Tabla 57. Costos totales por cada diámetro tramo a-2A.

DN		5	6	8	10	12	14
COSTOS	Inversión	USD 26.182,86	USD 23.273,41	USD 27.297,29	USD 35.333,57	USD 48.337,19	USD 71.972,57
	Anuales	USD 149.045,25	USD 89.633,41	USD 53.970,13	USD 46.236,85	USD 45.233,80	USD 47.200,09
	TOTALES (U\$S)	175.228,11	112.906,82	81.267,42	81.570,43	93.570,99	119.172,67

Gráficamente las curvas de costo total por cada diámetro:

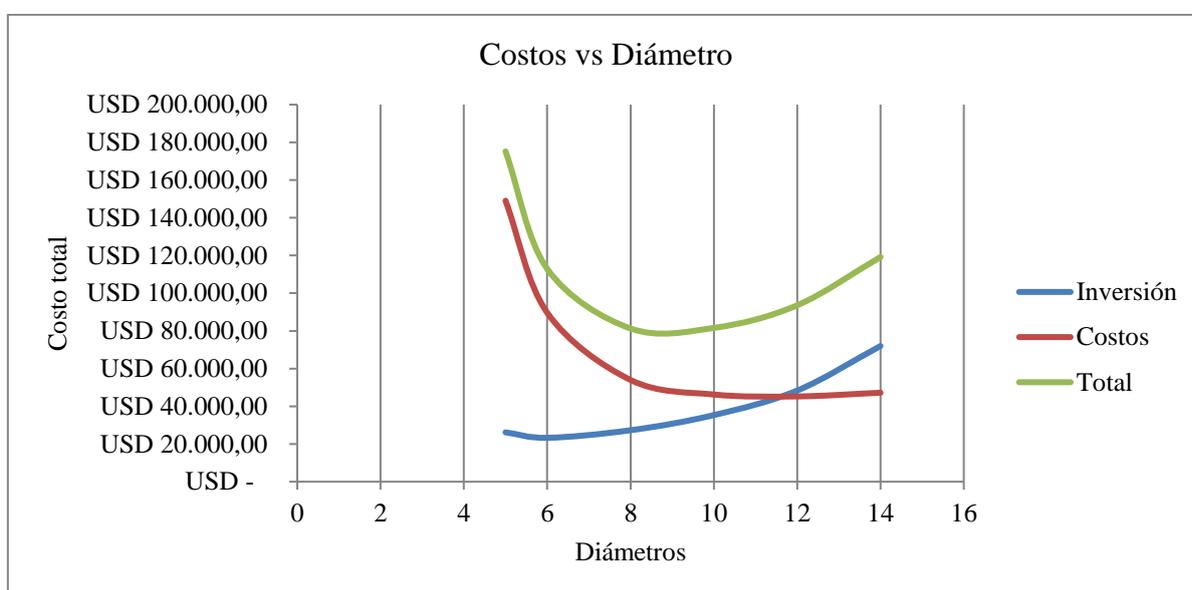


Figura 81. Costos totales por cada diámetro para el tramo a-2A.

11 ANEXO III

Se presenta a continuación una comparativa de las bombas de fondo analizadas que cumplen el requerimiento de caudal y altura:

BS 2250 HT 3~ 433

Punto nominal:

- $H = 52 \text{ m}$
- $Q(x4) = 507 \text{ m}^3/\text{h}$

Ramal 1 con dos bombas:

- $Q \text{ entregado} = 338 \text{ m}^3/\text{h}$
- $H \text{ entregado} = 44 \text{ m}$
- Diferencia porcentual en el caudal entregado = -5%

Ramal 2 con dos bombas:

- $Q \text{ entregado} = 375 \text{ m}^3/\text{h}$
- $H \text{ entregado} = 46 \text{ m}$
- Diferencia porcentual en el caudal entregado = +35%

Ramal 1 y 2 con las cuatro bombas:

- $Q \text{ entregado} = 514 \text{ m}^3/\text{h}$
- $H \text{ entregado} = 50 \text{ m}$
- Diferencia porcentual en el caudal entregado = -16%



Figura 82. Fotografía de catálogo de bomba BS 2250 HT 3~ 433.

BS 2201 HT 3~ 266

Punto nominal:

- $H = 54,5 \text{ m}$
- $Q(x4) = 555,5 \text{ m}^3/\text{h}$

Ramal 1 con dos bombas:

- $Q \text{ entregado} = 335 \text{ m}^3/\text{h}$
- $H \text{ entregado} = 44 \text{ m}$
- Diferencia porcentual en el caudal entregado = -6%

Ramal 2 con dos bombas:

- $Q \text{ entregado} = 244 \text{ m}^3/\text{h}$
- $H \text{ entregado} = 45 \text{ m}$
- Diferencia porcentual en el caudal entregado = 0%

Ramal 1 y 2 con las cuatro bombas:

- $Q \text{ entregado} = 561 \text{ m}^3/\text{h}$
- $H \text{ entregado} = 50 \text{ m}$
- Diferencia porcentual en el caudal entregado = -6%



Figura 83. Fotografía de catálogo de bomba BS 2201 HT 3~ 266.

BS 2201 HT 3~ 259

Punto nominal:

- $H = 50 \text{ m}$
- $Q(x4) = 466 \text{ m}^3/\text{h}$

Ramal 1 con dos bombas:

- $Q \text{ entregado} = 303 \text{ m}^3/\text{h}$
- $H \text{ entregado} = 44 \text{ m}$
- Diferencia porcentual en el caudal entregado = -17%

Ramal 2 con dos bombas:

- $Q \text{ entregado} = 383 \text{ m}^3/\text{h}$
- $H \text{ entregado} = 46 \text{ m}$
- Diferencia porcentual en el caudal entregado = +36%

Ramal 1 y 2 con las cuatro bombas:

- $Q \text{ entregado} = 466 \text{ m}^3/\text{h}$
- $H \text{ entregado} = 50 \text{ m}$
- Diferencia porcentual en el caudal entregado = -27%

NP 3315 HT 3~ 458

Punto nominal:

- $H = 50 \text{ m}$
- $Q(x4) = 466 \text{ m}^3/\text{h}$

Ramal 1 con dos bombas:

- $Q \text{ entregado} = 303 \text{ m}^3/\text{h}$
- $H \text{ entregado} = 44 \text{ m}$
- Diferencia porcentual en el caudal entregado = -17%

Ramal 2 con dos bombas:

- $Q \text{ entregado} = 383 \text{ m}^3/\text{h}$
- $H \text{ entregado} = 46 \text{ m}$
- Diferencia porcentual en el caudal entregado = +36%

Ramal 1 y 2 con las cuatro bombas:

- $Q \text{ entregado} = 466 \text{ m}^3/\text{h}$
- $H \text{ entregado} = 50 \text{ m}$
- Diferencia porcentual en el caudal entregado = -27%

NP 3202 HT 3~ 450

Punto nominal:

- $H = 50 \text{ m}$
- $Q(x4) = 469 \text{ m}^3/\text{h}$

Ramal 1 con dos bombas:

- $Q \text{ entregado} = 440 \text{ m}^3/\text{h}$
- $H \text{ entregado} = 44 \text{ m}$
- Diferencia porcentual en el caudal entregado = +20%

Ramal 2 con dos bombas:

- Q entregado = 354 m³/h
- H entregado = 46 m
- Diferencia porcentual en el caudal entregado = +31%

Ramal 1 y 2 con las cuatro bombas:

- Q entregado = 469 m³/h
- H entregado = 50 m
- Diferencia porcentual en el caudal entregado = -27%

NP 3202 SH 3~ 272

Punto nominal:

- H = 46 m
- Q(x4) = 375,6 m³/h

Ramal 1 con dos bombas:

- Q entregado = 390 m³/h
- H entregado = 44 m
- Diferencia porcentual en el caudal entregado = +9%

Ramal 2 con dos bombas:

- Q entregado = 378 m³/h
- H entregado = 46 m
- Diferencia porcentual en el caudal entregado = +35%

Ramal 1 y 2 con las cuatro bombas:

- Q entregado = 689 m³/h
- H entregado = 50 m
- Diferencia porcentual en el caudal entregado = +14%



Figura 84. Fotografía de catálogo de bomba NP 3202 SH 3~ 272.

12 ANEXO IV

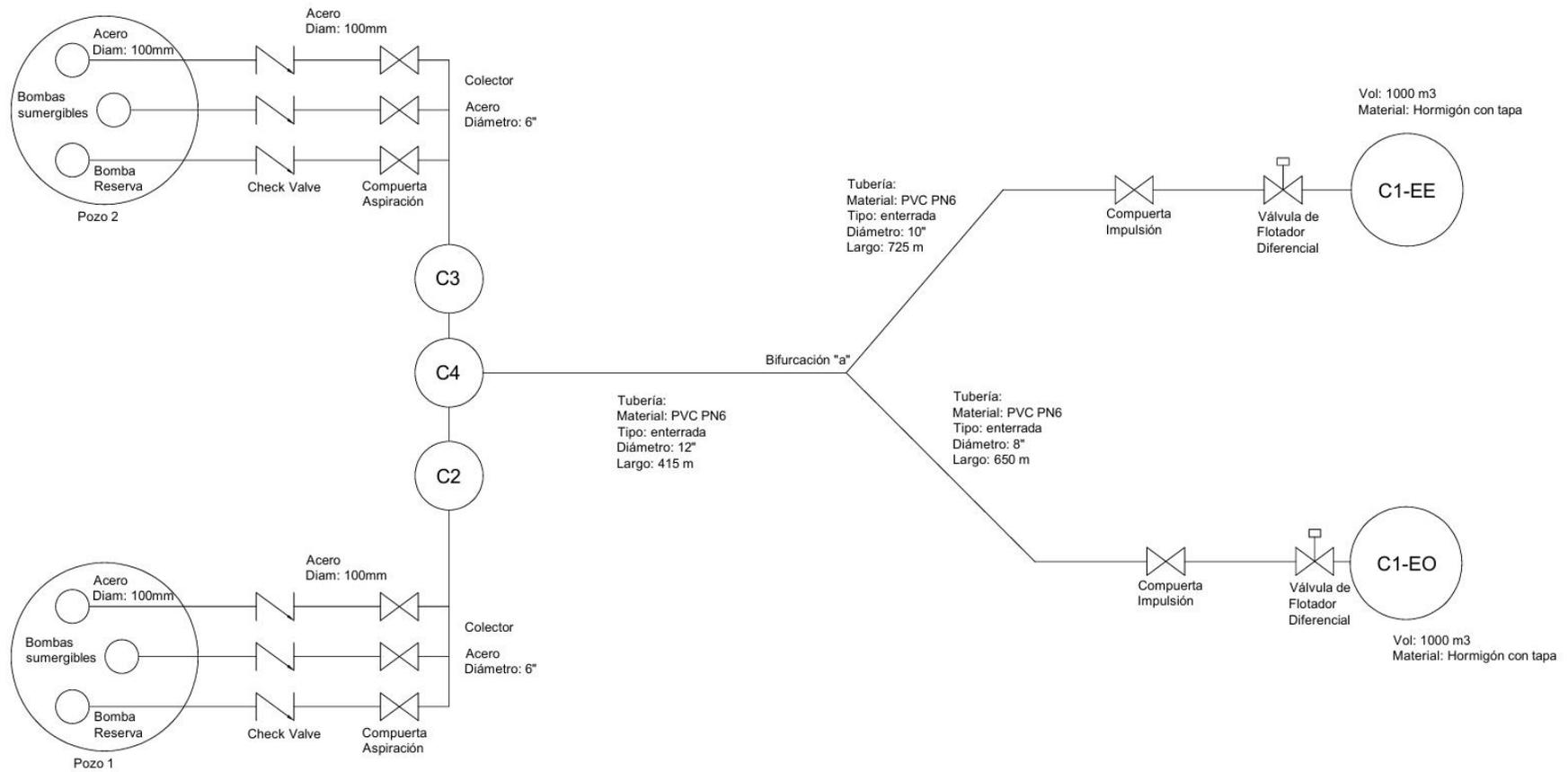


Figura 85. Esquema en planta del sistema propuesto para sector desde pozos hasta las primeras cisternas.

Tabla 58. Referencias de esquema de planta propuesto.

Referencia	Observación	Referencia en documento
C1-EE	Cisterna C1-EE	6.3 / 6.5.5.3
C1-EO	Cisterna C1-EO	6.3 / 6.5.5.3
C2	Calderín vertical (volumen total 3,81 m ³ a 2,19 bar)	6.6.1
C3	Calderín vertical (volumen total 3,81 m ³ a 2,19 bar)	6.6.1
C4	Calderín vertical (volumen total 5,03 m ³ a 1,9 bar)	6.6.1
Bombas sumergibles	Bombas sumergibles Xylem N 3203 HT	6.5.3
Check Valve	Valmec – Flanged Swing 4”	6.5.6.1
Válvula compuerta aspiración	KSB HERA-BD	6.5.6.1
Válvula compuerta impulsión	KSB HERA-BD	6.5.6.1
Válvula de flotador diferencial	Dorot FLDI 1	6.5.6.1
Pozo 1	Pozo de extracción de agua	6.5.7
Pozo 2	Pozo de extracción de agua	6.5.7

13 ANEXO V

Se indica en la Figura 86 el esquema de funcionamiento de todo el sistema. El mismo se ha dividido en tres segmentos para facilitar su visualización.

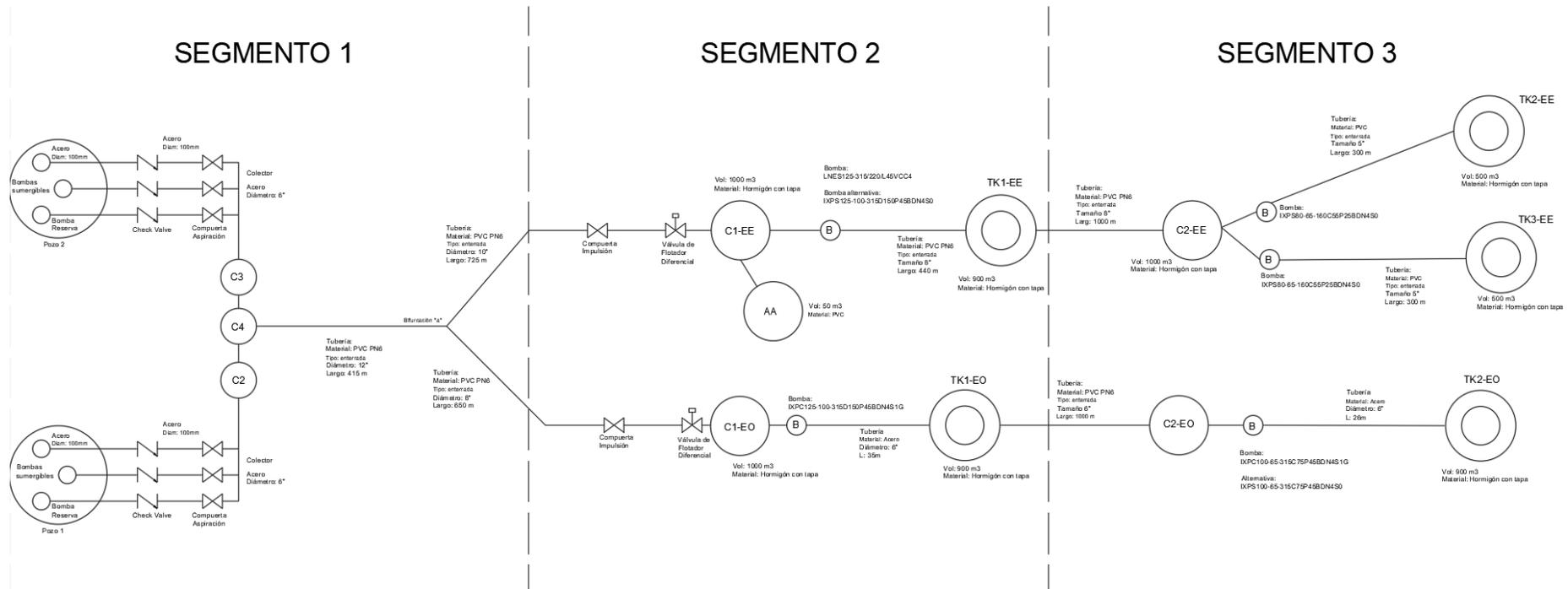


Figura 86. Esquema de funcionamiento de todo el sistema.

SEGMENTO 1

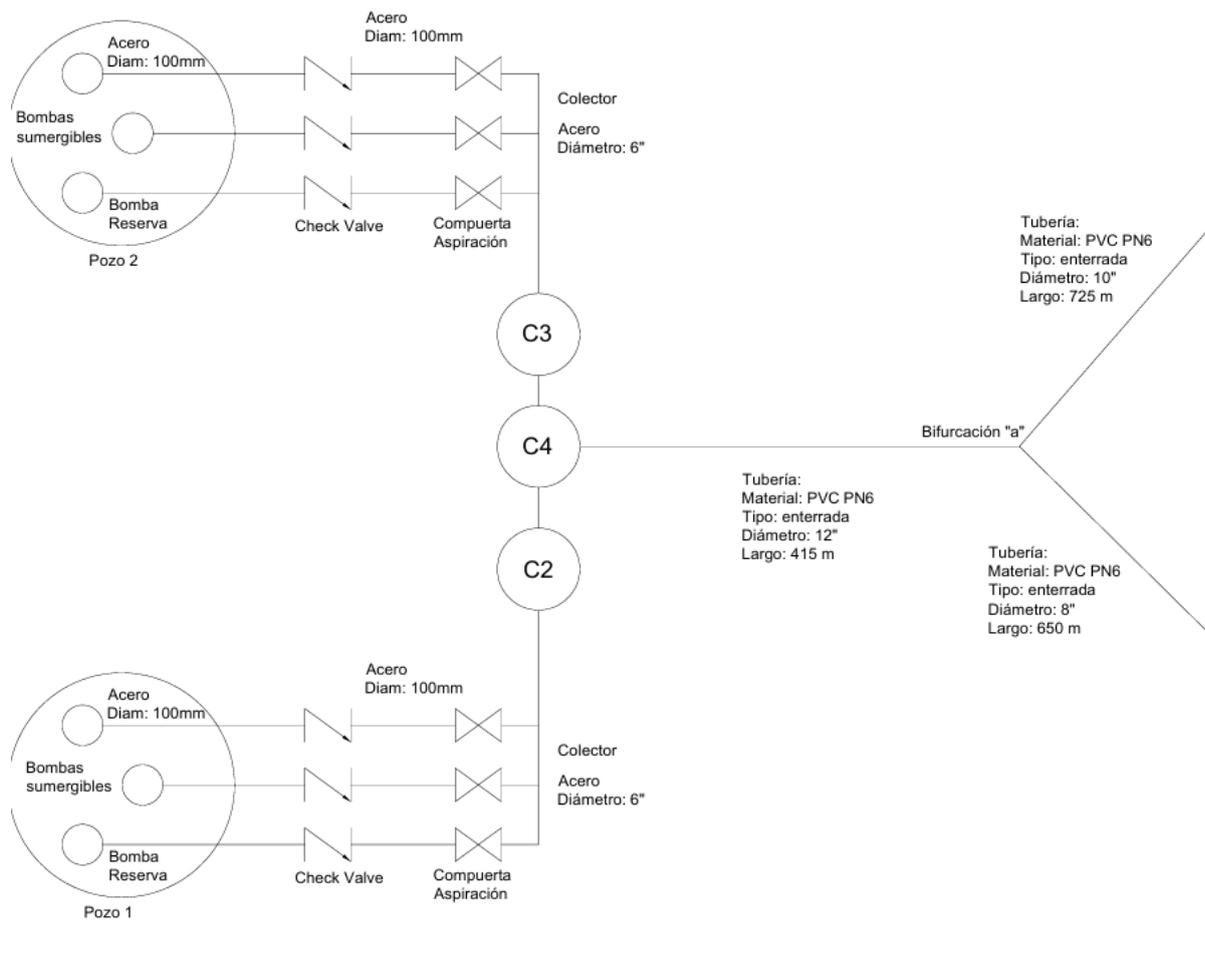


Figura 87. Esquema de funcionamiento - Segmento 1

Tabla 59. Referencias en esquema - Segmento 1

Referencia	Observación	Referencia en documento
Pozo 1 / Pozo 2	Pozos de extracción de agua	6.5.7
Bombas sumergibles	Bombas sumergibles Xylem N 3203 HT	6.5.3
C2	Calderín vertical (vol. total 3,81 m ³ a 2,19 bar)	6.6.1
C3	Calderín vertical (vol. total 3,81 m ³ a 2,19 bar)	6.6.1
C4	Calderín vertical (vol. total 5,03 m ³ a 1,9 bar)	6.6.1

Check Valve	Valmec – Flanged Swing 4”	6.5.6.1
Compuerta aspiración	KSB HERA-BD	6.5.6.1
Tuberías	Tuberías desde calderín hacia cisternas	6.5.1

SEGMENTO 2

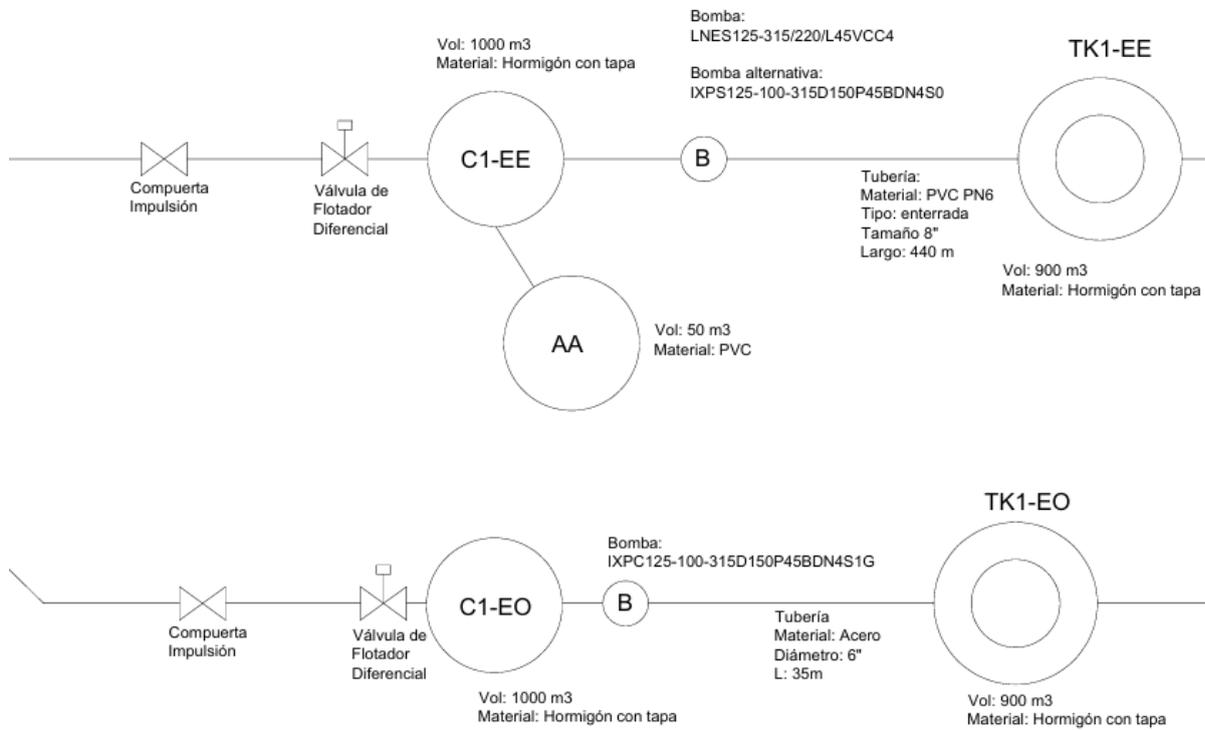


Figura 88. Esquema de funcionamiento - Segmento 2.

Tabla 60. Referencias en esquema - Segmento 2

Referencia	Observaciones	Referencia en documento
Compuerta impulsión	KSB HERA-BD	6.5.6.1
Válvula de flotador diferencial	Dorot FLDI 1	6.5.6.1
C1-EE	Cisterna C1-EE	6.5.5
AA	Cisterna nueva AA	6.5.5
C1-EO	Cisterna C1-EO	6.5.5
Bomba de C1-EE a TK1-EE	Bomba centrífuga: LNES 125-315/220/L45VCC4	6.5.4.1
Bomba de C1-EO a TK1-EO	Bomba centrífuga: IXPC125-100-315D150P45BDN4S1G	6.5.4.2
TK1-EE	Tanque elevado TK1-EE	6.5.5
TK1-EO	Tanque elevado TK1-EO	6.5.5
Tuberías	Tuberías desde bombas hacia tanques	6.5.1

SEGMENTO 3

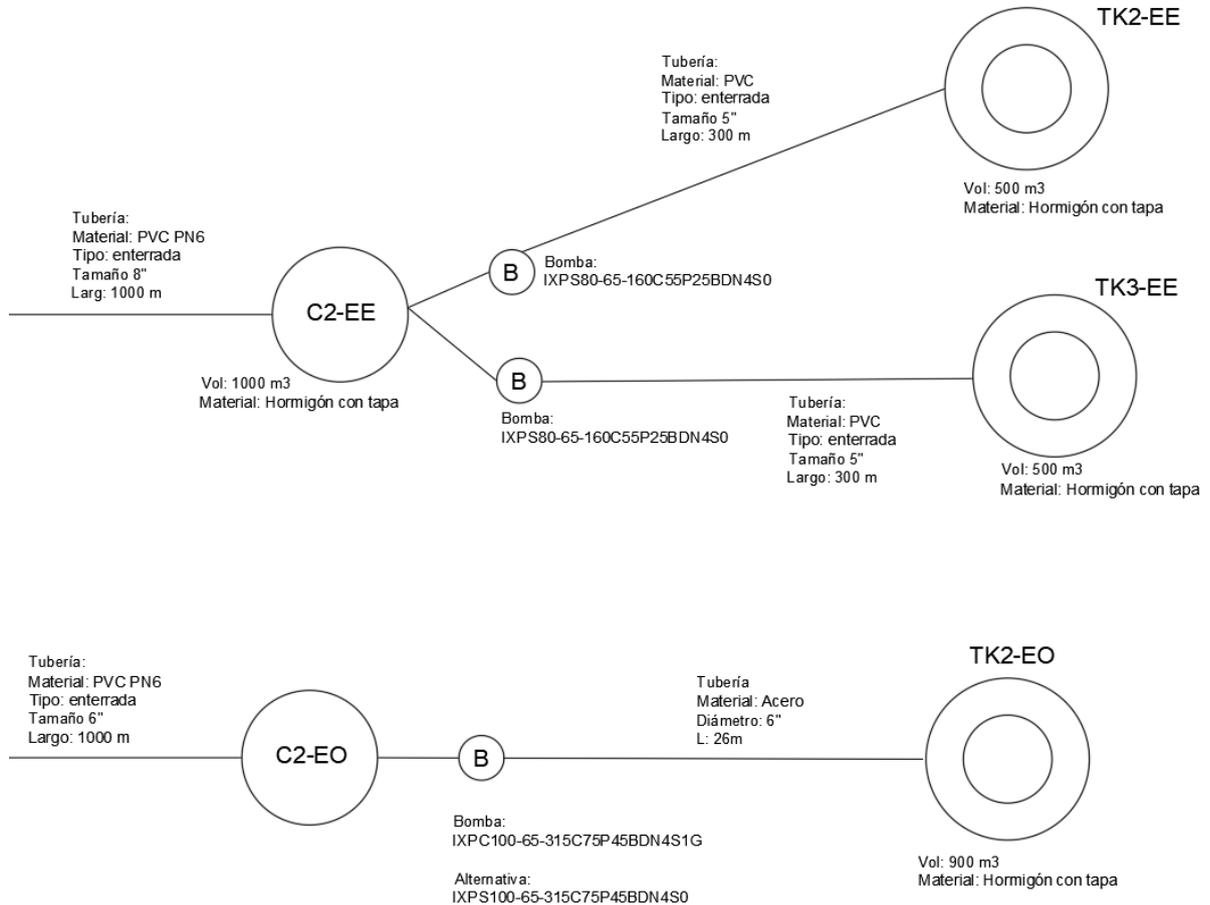


Figura 89. Esquema de funcionamiento - Segmento 3.

Tabla 61. Referencias en esquema - Segmento 2

Referencia	Observación	Referencia en documento
C2-EO	Cisterna C2-EO	6.5.5
C2-EE	Cisterna C2-EE	6.5.5
Bomba de C2-EE a TK2-EE	Bomba centrífuga: IXPS80-65-160C55P25BDN4S0	6.5.4.4
Bomba de C2-EE a TK3-EE	Bomba centrífuga: IXPS80-65-160C55P25BDN4S0	6.5.4.4
Bomba de C2-EO a TK2-EO	Bomba centrífuga: IXPC100-65-315C75P45BDN4S1G	6.5.4.3
Tuberías	Tuberías desde tanque hacia cisternas y desde cisternas hacia tanques	6.5.1