

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL



TESIS

**“ANÁLISIS DE SISTEMAS DE REBOMBEO DE AGUA POTABLE
CON SISTEMAS DE CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN
IMPLEMENTANDO LA MEDICIÓN SCADA EN LIMA”**

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

ELABORADO POR

MARCO ANTONIO TAIPE TREVEJO

ASESOR

ING. CARLOS AUGUSTO AZCOYTIA PARRA

Lima - Perú

2021

© 2021, Universidad Nacional de Ingeniería. Todos los derechos reservados

**“El autor autoriza a la UNI a reproducir la Tesis en su totalidad o en parte,
con fines estrictamente académicos.”**

Taipe Trevejo, Marco Antonio

mtaipet@uni.pe

939814181

DEDICATORIA

A mi madre Octavia

Por darme la vida, por el infinito amor, cariño y consejos que me han iluminado ser lo que soy en la actualidad. Por creer en mí y ser mi motivación a seguir durante estos años. Además, por el apoyo y esfuerzo constante que me brindó desde niño para que yo pueda culminar mis estudios y superar obstáculos que se presentaron durante todos estos años de mi vida.

A mi familia

Por estar presentes en mi vida, por sus enseñanzas, por el amor y cariño que me tienen. Además, por poder contar siempre con ellos ante cualquier tipo de vicisitudes de la vida.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional de Ingeniería

A la Facultad de Ingeniería Civil

A los docentes por las experiencias, enseñanzas, consejos y conocimientos
brindados para impulsar el desarrollo de nuestra formación profesional.

A mi asesor ing. Eduardo Dionisio Huari Cama, por los invaluable aportes,
revisión e interés en desarrollar esta investigación.

Finalmente, agradezco a los miembros del Jurado por la revisión exhaustiva que
han realizado al presente trabajo de investigación.

ÍNDICE

RESUMEN	4
ABSTRACT	5
PRÓLOGO	6
LISTA DE TABLAS	7
LISTA DE FIGURAS	8
LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS	10
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	13
1.1 GENERALIDADES	13
1.2 PLANTEAMIENTO DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA	17
1.3 OBJETIVOS.....	19
1.3.1 Objetivo General	19
1.3.2 Objetivos Específicos.....	19
1.4 FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS	19
CAPÍTULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO	20
2.1 SISTEMA DE CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN EN SISTEMAS DE AGUA POTABLE	20
2.1.1 Niveles de automatización	21
2.1.2 Modo de operación	23
2.1.3 Descripción de tableros e instrumentación	25
2.2 TEORÍA DE BOMBAS HIDRÁULICAS.....	27
2.2.1 Clasificación de Bombas Hidráulicas.....	28
2.2.2 Bombas centrífugas	28
2.3 EFICIENCIA DE LAS BOMBAS	31
2.3.1 Rango de fiabilidad de operación de las bombas centrífugas.....	32
2.4 FENÓMENOS HIDRÁULICOS QUE AFECTAN LOS SISTEMAS DE REBOMBEO	33
2.4.1 Golpe de ariete	33

2.4.2	Cavitación	39
2.5	MATERIAL MÁS COMUNES EMPLEADOS EN LÍNEAS DE IMPULSIÓN DE AGUA	42
2.6	DIÁMETRO ECONÓMICO EN LÍNEAS DE IMPULSIÓN DE AGUA	44
CAPÍTULO III: DESCRIPCIÓN DE UN SISTEMA DE REBOMBEO DE AGUA		
49		
3.1	ASPECTOS GENERALES.....	49
3.1.1	Objetivo.....	49
3.1.2	Ubicación geográfica.....	49
3.1.3	Área de influencia y área de estudio	51
3.1.4	Población beneficiaria	52
3.2	DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL PROYECTO.....	52
3.2.1	Fuente de abastecimiento	52
3.2.2	Producción de agua potable.....	53
3.2.3	Sistema de Agua Potable.....	53
3.2.4	Sistema de Alcantarillado.....	62
3.3	SISTEMA DE CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN DEL PROYECTO	64
3.3.1	Alcance	64
3.3.2	Filosofía de control.....	64
3.3.3	Equipamiento para Estaciones Remotas.....	71
3.3.4	Telemetría.....	74
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DEL SISTEMA DE REBOMBEO DE AGUA CON MEDICIÓN SCADA		76
4.1	ANÁLISIS HIDRÁULICO DE LAS LÍNEAS DE REBOMBEO ENTRE RESERVORIOS	76
4.1.1	Línea de bombeo de R-05 al RAP-02	77
4.1.2	Línea de bombeo de R-04 al RAP-03	79
4.1.3	Línea de bombeo de R-5B al RAP-04	81
4.2	ANÁLISIS DE FENÓMENOS TRANSITORIOS	83

4.2.1	Línea de rebombeo de R-05 al RAP-02	83
4.2.2	Línea de rebombeo de R-04 al RAP-03	85
4.2.3	Línea de rebombeo de R-5B al RAP-04	87
4.3	SIMULACIÓN DE UN SISTEMA SCADA CON EL SOFTWARE LABVIEW ..	88
4.3.1	Niveles en un reservorio.....	89
4.3.2	Funcionamiento de la simulación	89
4.3.3	Simulación en LabView.....	90
	CAPÍTULO V: COMPARACIÓN ENTRE SISTEMAS DE REBOMBEO CONVENCIONAL Y CON MEDICIÓN SCADA	93
5.1	SISTEMA DE REBOMBEO DE AGUA POTABLE CONVENCIONAL	93
5.2	SISTEMA DE REBOMBEO DE AGUA POTABLE CON MEDICIÓN SCADA	95
5.3	COMPARACIÓN ENTRE SISTEMAS DE REBOMBEO CONVENCIONAL Y CON MEDICIÓN SCADA.....	96
	CONCLUSIONES.....	102
	RECOMENDACIONES.....	103
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	104
	ANEXOS	106

RESUMEN

El objetivo de la presente investigación es estudiar y analizar los sistemas de bombeo de agua potable que poseen sistemas de control y automatización para la optimización de recursos humanos, financieros y energéticos.

Para la optimización de los recursos humanos y financieros es necesario realizar un análisis económico a cada propuesta técnica por lo que el autor propone un conjunto de fórmulas para la obtención del diámetro que cumpla los criterios hidráulicos del sistema y a su vez sea una propuesta que involucre menores costos durante el periodo de diseño del sistema.

El tipo de Investigación seguida en la presente tesis es Aplicada y la metodología fue la revisión de bibliografía, manuales para consolidar los conocimientos; así mismo, se investigó y recopiló información de proyectos locales con la finalidad de proponer fórmulas respecto al diámetro para conocer el diámetro con el cual una línea de bombeo de agua es más económica en un periodo de diseño de 20 años.

Adicionalmente, se describe y verifica el sistema de bombeo de agua potable de un proyecto local. Finalmente, se realizará la comparación entre un sistema de bombeo convencional y un sistema de bombeo con medición SCADA teniendo en cuenta recursos humanos, financieros y energéticos.

Se concluye que los sistemas de bombeo convencional se usan por lo general a nivel rural, donde la población es poca y no es necesario un riguroso control de las estaciones de bombeo. Sin embargo, las grandes ventajas que representa supervisar, controlar y adquirir datos en tiempo real de las estaciones de bombeo desde un centro de control es lo que hace primordial la automatización e interconexión en la basta cantidad de estructuras hidráulicas en Lima y en ciudades.

Palabras clave: Bombeo de agua potable, Medición SCADA, Automatización en saneamiento

ABSTRACT

The objective of this research is to study and analyze drinking water pumping systems that have control and automation systems for optimizing human, financial and energy resources.

For the optimization of human and financial resources, it is necessary to carry out an economic analysis of each technical proposal, so the author proposes a set of formulas to obtain the diameter that meets the hydraulic criteria of the system and in turn is a proposal that involves minors costs during the system design period.

The type of research followed in this thesis is Applied and the methodology was the review of bibliography, manuals to consolidate knowledge; Likewise, information from local projects was investigated and compiled in order to propose formulas regarding the diameter to know the diameter with which a water pumping line is more economical in a design period of 20 years.

Additionally, the potable water pumping system of a local project is described and verified. Finally, a comparison will be made between a conventional pumping system and a pumping system with SCADA measurement, taking into account human, financial and energy resources.

It is concluded that conventional pumping systems are generally used in rural areas, where the population is small and a rigorous control of the pumping stations is not necessary. However, the great advantages of monitoring, controlling and acquiring data in real time from the pumping stations from a control center is what makes automation and interconnection essential in the vast number of hydraulic structures in Lima and in cities.

Keywords: Drinking water re-pumping, SCADA measurement, Sanitation automation

PRÓLOGO

En la actualidad, el crecimiento poblacional de la ciudad de Lima se da en los distritos periféricos y cada vez en zonas más elevadas; por lo que es necesario dotar de servicios básicos, entre ellos, de agua potable y alcantarillado sanitario. Es por ello que la presente tesis se enfoca en analizar los sistemas de bombeo de agua potable que se usan generalmente para poblaciones asentadas en zonas elevadas.

A continuación, se describe brevemente los seis capítulos de la tesis:

El primer capítulo es la introducción donde se presentan los antecedentes referenciales del sistema SCADA, se realiza el planteamiento de la realidad problemática, se plasman los objetivos y se formula la hipótesis de la tesis.

El segundo capítulo es el fundamento teórico donde se dan conceptos básicos para comprender con mayor claridad la tesis.

En el tercer capítulo se describe un proyecto local en el que se da énfasis a las líneas de bombeo de agua potable que posee.

En el cuarto capítulo se analiza hidráulica y económicamente cada línea de bombeo descrita en el tercer capítulo, y se realiza una simulación básica de un sistema SCADA en el bombeo de agua potable de un reservorio fuente a un reservorio destino.

En el quinto capítulo se compara y plasman las ventajas y desventajas que tienen los sistemas de bombeo de agua convencional y sistemas de bombeo con medición SCADA.

En las conclusiones de la tesis se desarrollan y verifican el cumplimiento de los objetivos de la tesis; las recomendaciones se presentan las sugerencias del autor referente al tema de investigación.

Finalmente, en los anexos se encuentran la información complementaria de la tesis que brinda un mayor panorama al trabajo de investigación.

LISTA DE TABLAS

Tabla N°	Título	Pág. N°
2.1	Presiones admisibles de componentes con juntas flexibles	43
2.2	Presiones admisibles de componentes con juntas bridadas	44
3.1	Resumen de reservorios proyectados en el proyecto	56
3.2	Resumen de cisternas proyectadas en el proyecto	56
3.3	Resumen de casetas de bombeo mejoradas en el proyecto	57
3.4	Resumen de líneas de impulsión en el proyecto	58
3.5	Resumen de Troncales Estratégica en el proyecto	59
3.6	Resumen de Redes Secundarias de Agua Potable proyectadas en el proyecto	59
3.7	Resumen de Redes Secundarias de Agua Potable mejoradas en el proyecto	60
3.8	Resumen de Conexiones Domiciliarias de Agua Potable en el proyecto	60
3.9	Resumen de Líneas de Rebose de Alcantarillado en el proyecto	62
3.10	Resumen de Líneas de Colectores de Alcantarillado en el proyecto	63
3.11	Resumen de Redes Secundarias de Alcantarillado en el proyecto	63
3.12	Resumen de Conexiones Domiciliarias de Alcantarillado en el proyecto	63
3.13	Resumen de Secuencias a Implementar en Estaciones Remotas en el proyecto	71
3.14	Resumen de enlaces de punto a punto para estaciones locales y CCSS Comas en el proyecto	74
4.1	Resultados técnicos y económicos del rebombeo R-05 al RAP-02	78
4.2	Resultados técnicos y económicos del rebombeo R-04 al RAP-03	80
4.3	Resultados técnicos y económicos del rebombeo R-5B al RAP-04	82
4.4	Características hidráulicas de la línea de rebombeo R-05 al RAP-02	83
4.5	Características hidráulicas de la línea de rebombeo R-04 al RAP-03	85
4.6	Características hidráulicas de la línea de rebombeo R-5B al RAP-04	87
5.1	Comparación cualitativa entre sistemas de rebombeo convencionales y automatizados	99
5.2	Comparación cuantitativa entre sistemas de rebombeo convencionales y automatizados	100
5.3	Comparación en costos de los indicadores cuantitativos entre sistemas de rebombeo convencionales y automatizados	101

LISTA DE FIGURAS

Fig. N°	Título	Pág. N°
2.1	Niveles de automatización para estructuras hidráulicas en Lima	22
2.2	Modos de operación para estructuras hidráulicas en Lima	23
2.3	Configuración por proceso para Proceso Automático de estructuras hidráulicas en Lima	25
2.4	Bomba centrífuga tipo turbina vertical	29
2.5	Bomba centrífuga helicoidal	30
2.6	Partes generales de una bomba centrífuga helicoidal	30
2.7	Variación de eficiencia de bombas respecto a la velocidad específica	31
2.8	Tipos de bombas respecto a la dirección de salida del flujo	32
2.9	Comportamiento de la bomba y consecuencias de la operación fuera del punto de diseño	32
2.10	Zonas de operación de una bomba después de una interrupción inmediata	35
2.11	Variación de la carga piezométrica “h” y el gasto en una bomba cuando se instala una válvula antirretorno en la línea de impulsión	36
2.12	Variación de constante C respecto a la pendiente (Hm/L)	37
2.13	Variación de constante K respecto a la longitud (L)	38
2.14	Curva de operación de una bomba	41
2.15	Representación gráfica del Costo de Tubería y del Costo de Bombeo respecto al diámetro	45
3.1	Macrolocalización del Área de Estudio	50
3.2	Microlocalización del Área de Estudio	50
3.3	Plano general de obras de agua potable	51
3.4	Área de Influencia y Área de Estudio del proyecto	52
3.5	Plano general de las líneas de bombeo analizadas en la tesis	54
3.6	Reservorios analizados en la tesis	55
3.7	Esquema Hidráulico del Sistema de Agua Potable	61
3.8	Grupo Hidráulico N°1 del proyecto	65
3.9	Grupo Hidráulico N°2 del proyecto	66
3.10	Grupo Hidráulico N°3 del proyecto	66
3.11	Grupo Hidráulico N°4 del proyecto	67
3.12	Diagrama de flujo del encendido de una bomba en la simulación SCADA	69
3.13	Diagrama de flujo del apagado de una bomba en la simulación SCADA	70
3.14	Esquema de Arquitectura de Comunicación del proyecto	75
4.1	Esquema de bombeo del R-05 al RAP-02	77
4.2	Esquema de bombeo del R-04 al RAP-03	79
4.3	Esquema de bombeo del R-5B al RAP-04	81
4.4	Perfil de la línea de bombeo del R-05 al RAP-02 sin válvula anticipadora de onda	84

4.5	Perfil de la línea de rebombeo del R-05 al RAP-02 con válvula anticipadora de onda	85
4.6	Perfil de la línea de rebombeo del R-04 al RAP-03 sin válvula anticipadora de onda	86
4.7	Perfil de la línea de rebombeo del R-04 al RAP-03 con válvula anticipadora de onda	86
4.8	Perfil de la línea de rebombeo del R-5B al RAP-04 sin válvula anticipadora de onda	87
4.9	Perfil de la línea de rebombeo del R-5B al RAP-04 con válvula anticipadora de onda	88
4.10	Niveles de un reservorio considerados en la simulación SCADA	89
4.11	Ventana de ingreso de variables para los reservorios en la simulación SCADA	90
4.12	Ventana de ingreso de variables para la línea de rebombeo en la simulación SCADA	90
4.13	Vista de la ventana de control de la simulación SCADA	91
4.14	Vista de la ventana de la simulación SCADA	91
4.15	Ventana de resultados de la simulación SCADA	92
5.1	Apertura manual de válvula compuerta	94
5.2	Verificación visual de estado de árbol hidráulico en estación de rebombeo	94
5.3	Centro de Control SCADA	95

LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

SÍMBOLOS

ΔH	Variación de energía
c	Celeridad de onda
C	Coeficiente de seguridad
c, m	Constantes
C_1	Costo de tubería
C_2	Costo de adquisición de bomba
C_3	Costo de energía de funcionamiento para el bombeo
C_4	Costo de Mantenimiento
D	Diámetro interior de la tubería
e	Espesor de la tubería
e_m	Espesor mínimo de la pared del tubo
g	Aceleración de la gravedad
H	Horas anuales de funcionamiento de la bomba
h_0	Altura de cierre cuando flujo sea nulo
h_B	Altura de bombeo
H_{fs}	Pérdida de energía por fricción en la línea de succión
h_{golpe}	Sobrepresión debido al golpe de ariete
H_m	Altura dinámica total
K	Módulo de elasticidad del fluido
K'	Módulo de elasticidad de la tubería
k_1	Costo por metro lineal de tubería
L	Longitud de línea de impulsión
L_c	Longitud crítica
p	Precio del kW-h
P	Presión absoluta en el punto considerado
POT_{bomba}	Potencia del equipo de bombeo
P_s	Presión absoluta de succión en el ingreso de la bomba
P_v	Presión absoluta de vaporización del líquido a la temperatura de bombeo
Q_B	Caudal de bombeo

r	Interés real
R_t	Resistencia mínima a la tracción
S	Altura de succión estática (+) o altura de elevación estática (-)
s	Factor de actualización, su inversa es el factor de amortización
t	Periodo de diseño
T_c	Tiempo de parada de bomba
V	Velocidad del flujo
V_1^2	Velocidad inicial al cuadrado
V_2^2	Velocidad final al cuadrado
Z_1	Cota inicial
Z_2	Cota final
γ	Peso específico del líquido a la temperatura de bombeo
ρ	Densidad del fluido a la tubería de bombeo

SIGLAS

CPC	Centro Principal de Control
CTPS	Comité Técnico Permanente de Sedapal
DCS	Distribution and Control System
EPS	Entidad Prestadora de Servicio
ER	Estación Remota
ERM	Estación Remota Maestra
NPSHPd	Altura Neta de Succión Positiva disponible
NPSHPr	Altura Neta de Succión Positiva requerida
NTP	Norma Técnica Peruana
P&ID	Piping and Instrumentation Diagram
PEA	Presión de Ensayo Admisible
PFA	Prueba de Funcionamiento Admisible
PLC	Programmable Logic Controller
PMA	Presión Máxima Admisible
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition
SEDAPAL	Servicio De Agua Potable y Alcantarillado de Lima
CPC	Centro Principal de Control
CTPS	Comité Técnico Permanente de Sedapal
DCS	Distribution and Control System
EPS	Entidad Prestadora de Servicio
ER	Estación Remota
ERM	Estación Remota Maestra

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 GENERALIDADES

El tipo de Investigación seguida en la presente tesis es Aplicada y la metodología fue la revisión de bibliografía, manuales para consolidar los conocimientos; así mismo, se investigó y recopiló información de proyectos locales con la finalidad de proponer fórmulas respecto al diámetro para conocer el diámetro con el cual una línea de rebombeo de agua es más económica en un periodo de diseño de 20 años.

Posteriormente, se describirá un proyecto en el que se usa la medición SCADA en Lima para analizar y verificar hidráulicamente el comportamiento de las líneas de rebombeo de agua. Además, con ayuda del software LabView se realizará la simulación básica de un rebombeo de agua entre 2 reservorios (fuente y destino) con 1 bomba en funcionamiento y otra en reserva para la mejor comprensión de un sistema SCADA.

Finalmente, se realizará la comparación entre un sistema de rebombeo convencional y un sistema de rebombeo con medición SCADA teniendo en cuenta recursos humanos, financieros y energéticos.

Para conocer las ventajas y desventajas de los sistemas de rebombeo con sistemas de control y automatización SCADA se consideró como variable independiente los sistemas de control y automatización debido a que son éstos los que se implementarán en diferente medida y modificará la eficiencia de los sistemas de rebombeo de agua, siendo este último la variable dependiente.

A continuación, se realizará una breve introducción al trabajo de investigación.

La automatización industrial es el poder de controlar las actividades y la evolución de los procesos de una tarea prescindiendo de la operación continua de un humano. En los últimos años, se ha estado desarrollando el sistema denominado Supervisory Control And Data Acquisition (SCADA), con la implementación de este sistema se puede supervisar y controlar los procesos que se presentan en tiempo real. Adicionalmente, el sistema SCADA puede integrar otros sistemas que permiten controlar y supervisar tales como Controladores Lógico Programable (PLC) y Sistema de Controlador Distribuido (DCS), permitiendo así tener acceso

al historial de alarmas y las variables de control, combinar bases de datos similares y presentarlos en un computador para que se manejen los datos en un ambiente más amigable (Pérez, 2015).

Los sistemas SCADA como parte de la automatización fue creada en la década de los años 60 para desarrollar soluciones y optimizar procesos industriales, en la actualidad estos sistemas se han implementado en el ámbito de los servicios básicos y se han vuelto elementos imprescindibles para el control y automatización, debido a que tienen la capacidad de llevar toda la información de campo hacia una central de monitoreo. Uno de los más grandes aportes del sistema en la última década en el Perú, fue la de implementación en los nuevos sistemas de distribución de agua potable, controlados y supervisados por sistemas SCADA, debido a la gran optimización de recursos humanos y logísticos que representa. Para su implementación se usa una gran variedad de softwares de monitoreo, buses de campo y tecnologías para las comunicaciones como GPRS (servicio general de paquetes vía radio) o una banda libre de 2.4 GHz (Florencio, 2012)

El primer tipo de SCADA se utilizó en aplicaciones tales como tuberías de gas y líquidos, la transmisión y distribución de energía eléctrica y en los sistemas de distribución de agua, para su control y monitoreo automático (Shaw, 2006).

El uso de los Controladores Lógico Programable (PLC), Radio Modem, Sensores y Actuadores al sistema de bombeo de agua potable, aporta en gran medida al control eficiente sin riesgos de fuga de agua en el llenado de cisternas y reservorios, adicionalmente evita que las bombas operen en vacío. Debido a que el sistema automático controla la mayoría de las variables con mayor importancia que influyen en la operación de bombeo de agua, se podrá garantizar que los equipos de bombeo serán desconectados en caso de posibles fallas, esto contribuye en gran medida a la prolongación de la vida útil de los motores y las bombas (Salvo, 2013).

En base a las investigaciones antes mencionadas, se concluye que el aporte de este trabajo es la optimización de los recursos en los sistemas de rebombeo de agua mediante la implementación del sistema SCADA para tener un mejor control. A diferencia de los sistemas convencionales en los que se necesitan de operarios para el control técnico del sistema de rebombeo, en el sistema SCADA no se necesitan de operarios que se encuentren permanentemente controlando las

bombas sino de un operador técnico en la central de operaciones pudiendo controlar desde gabinete el sistema SCADA.

Para el desarrollo del presente tema es necesario que se tome en cuenta los siguientes fundamentos:

a) Requisitos básicos de una estación de bombeo de agua potable

Por lo general, las componentes de una estación de bombeo son cisterna, reservorio y caseta de bombeo con su respectivo equipamiento; a excepción de las estaciones tipo booster o sobre elevadoras de presión, en que la cisterna será reemplazada por un ambiente donde se ubicará el sistema de succión con sus correspondientes dispositivos de control. La capacidad de la cisterna es función de los caudales de ingreso, de bombeo y al tiempo que debe permanecer el agua en la cisterna sin ser bombeada. La menor dimensión de la cisterna, está dada por el número y tipo de los equipos de bombeo a instalar, incluyendo sus elementos complementarios de medición y control (Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima, 2005).

Los equipos y elementos complementarios básicos en cada proyecto de agua potable y alcantarillado se estiman en lo siguiente:

- Dos electrobombas horizontales como mínimo y para trabajo alternado, hasta caudales de 10 l.p.s.
- Grupo electrógeno para accionar por lo menos el 50% de la capacidad instalada de los equipos de bombeo.
- Medidor de caudal con indicador y registrador de gasto instantáneo en litros por segundo y totalizador de lectura directa en metros cúbicos, de tipo carrete con orientador de flujo.
- Tablero de Arranque y Parada con sus accesorios internos, incluyendo los elementos de control del sistema de automatización para el funcionamiento alternado de los equipos de bombeo.
- Sistema de control automático de arranque y parada, interconectado con relación a niveles de otros reservorios y/o cisternas, según sea el caso.
- Controles de consumo de energía eléctrica: voltímetro, amperímetro, cosfímetro y totalizador de horas de funcionamiento (Kw-H).
- Bomba sumidero y sus accesorios.

b) Descripción general del sistema de agua potable actual

En cuanto a la cantidad, el actual sistema de abastecimiento de Agua Potable de la ciudad de Lima está constituido por el aprovechamiento hídrico superficial de las cuencas altas de los ríos Rímac y Chillón, los caudales incrementales producidos en los periodos de estiaje como consecuencia de la operación de los embalses y la explotación de los acuíferos de Rímac – Chillón y Lurín. La explotación de los ríos Chillón, Rímac en la época de estiaje, es decir de mayo a diciembre, es de 23.80 m³/s mientras que en época de avenidas es de 43.72 m³/s. Con respecto al río Chillón, solo cuenta con licencia de explotación de sus aguas en épocas de avenidas (2.50 m³/s) es por ello que para le época de estiaje se han instalado 28 pozos en la margen izquierda del río con una producción total de 1 m³/s (Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima, 2014).

También se debe tener en cuenta la explotación de los recursos hídricos subterráneos que se encuentran en los acuíferos Rímac – Chillón y Lurín, cuyo caudal de explotación en épocas de avenidas (diciembre a abril) es de 3.12 m³/s y en épocas de estiaje (mayo a noviembre) es de 4.27 m³/s, son 377 pozos disponibles para SEDAPAL y 28 para el Consorcio Agua Azul S.A. y otros de terceros. En este contexto, la demanda futura de la población urbana será suministrada por fuentes superficiales, las mismas que aumentarán su abastecimiento por medio del mejoramiento de los embalses existentes o la construcción de nuevos embalses (Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima, 2014).

En cuanto a calidad, la calidad del agua cruda del río Rímac está altamente contaminada por la actividad minera, industrial y por el vertimiento de residuos orgánicos de la población entre Chosica y la Atarjea. Mientras que el río Chillón no presenta contaminación minera importante, no obstante, existe la contaminación bacteriológica originada por descargas de desagües de algunos centros poblados (Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima, 2014).

c) Control de los sistemas de bombeo

La Telemetría es un sistema de comunicación bidireccional que permite el envío de la información a lugares lejanos a los equipos de campo mediante comunicación inalámbrica. Mientras que la automatización es el uso de elementos computarizados para controlar procesos industriales, sustituyendo a operadores

humanos. El sistema automatizado es capaz de reaccionar ante distintas situaciones que se puedan presentar y tomar decisiones por sí solas (Salvo, 2013).

En Lima; se viene empleando la medición SCADA la misma que se ha implementado entre los años 1999 y 2003 un total de 277 estaciones remotas, posteriormente se ejecutaron nuevos proyectos en los distritos periféricos de Lima Norte y Sur, se incrementó el número de sectores con nuevas estaciones remotas en 12. Como parte del Plan de Manejo Optimizado (PMO) se viene aplicando en la red primaria un programa anual del mantenimiento preventivo a todas las estaciones remotas de SCADA (Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima, 2014).

Para el adecuado desarrollo de un sistema SCADA en sistemas de impulsión de agua potable entre reservorios se requieren de: Telecomunicaciones, Sistemas Eléctricos, Instrumentación y Control (Florencio, 2012, pág. 4).

En general, los sistemas SCADA ofrecen una perspectiva integrada de todos los recursos de control mediante una interfaz intuitiva donde se puede visualizar e interactuar los procesos que se miden con los instrumentos de campo. La automatización industrial es hacer que las máquinas hagan los trabajos mecánicamente y que los humanos dediquen su tiempo a las tareas que requieren de análisis o del raciocinio y no de trabajos repetitivos que una máquina o software puede realizar (Pérez, 2015).

1.2 PLANTEAMIENTO DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

La población del Perú en el 2019 según censo se estima en 32' 495, 510 habitantes de los cuales el 31.9% (10' 370, 017 habitantes) corresponde a Lima (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2009).

El 89.4% (29' 050, 985 habitantes) de la población del país tiene acceso a agua para consumo humano y según el área de residencia el 94.4% del área urbana accede al servicio de agua, mientras que en el área rural es 71.9% (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2018).

El aumento de la necesidad de alcanzar el equilibrio hidrológico que asegure el abastecimiento de agua para la población se obtendrá armonizando la disponibilidad natural con las extracciones del recurso mediante el uso eficiente

del agua. La escasez de agua se está considerando como un problema hidrológico, este problema se debe a la falta de inversiones en proyectos de captación, conducción y distribución del agua potable y a su inadecuado mantenimiento de los sistemas actuales. Un gran porcentaje del suministro de agua potable en países en vías de desarrollo se pierde por fugas, tuberías dañadas, conexiones ilegales y actos vandálicos (Salvo, 2013)

Analizando específicamente Lima, la principal fuente natural de agua es el río Rímac, que deriva sus aguas hacia la planta de la Atarjea para luego, mediante procesos de tratamiento de aguas, ser distribuidas a todo Lima. Sin embargo, debido al gran crecimiento demográfico de la ciudad se ha tenido que crear otra planta de tratamiento en Huachipa, ambas plantas administradas por SEDAPAL. Todas las condiciones ya mencionadas hacen que se requiera énfasis también en la implementación de nuevos reservorios (León, 2015, pág. 1).

Actualmente en Lima se puede apreciar la migración interna que se presenta en el Perú lo cual conlleva a la gran sobrepoblación de la capital generando las grandes concentraciones en edificios en de la zona urbana o la presencia de asentamientos humanos en la zona periférica de la capital, esto genera hacer obras de mejoramiento y ampliación de los servicios de agua potable y alcantarillado de Lima (Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima, 2014).

Debido al problema que afronta el planeta acerca de la escasez de agua y controlar su desperdicio; el sistema SCADA viene a ser una herramienta de automatización que, adicionalmente genera una mayor satisfacción económica (debido a la reducción costos de operación y de mantenimiento), brinda una mayor seguridad en el óptimo funcionamiento de todo el sistema de bombeo para la eficiente distribución del agua (Salvo, 2013).

Por lo general las personas de escasos recursos que migran a la capital se asientan en la periferia de Lima formando asentamientos humanos por lo cual muchas veces no poseen servicios básicos de agua y desagüe, por ello es que se realizan las ampliaciones de los sistemas de agua y alcantarillado construyendo nuevos reservorios por encima de la cota de otros reservorios existentes con el fin de abastecer de agua potable a la nueva población, el reservorio existente que alimentará al nuevo reservorio tendrá la característica de ser de rebombeo (León, 2015).

El problema principal que se pretende dar solución es la falta de control interno en los sistemas de bombeo que originan el uso inadecuado de las bombas generando pérdidas económicas y posibles problemas de fugas en las tuberías. Adicionando como problema secundario; la mayoría de los reservorios se encuentran descuidados, y en algunos casos son operados manualmente, es por ello que se requieren de mantenimiento y mejorar sus sistemas a uno automatizado para el óptimo uso de las bombas y así evitar los problemas ya mencionados.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General

Analizar los sistemas de bombeo de agua potable con sistemas de control y automatización implementando la medición SCADA para la optimización de los recursos.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Describir las características y funcionamiento que deben tener un sistema de bombeo de agua potable con sistemas de control y automatización a fin de conocer las principales componentes que poseen.
- Analizar hidráulicamente el sistema de bombeo descrito para verificar si el diseño hidráulico satisface los requerimientos técnicos y económicos necesarios.
- Comparar los sistemas de bombeo convencional y sistemas de bombeo con medición SCADA para establecer las ventajas que presentan cada tipo de sistema.

1.4 FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Un sistema de bombeo de agua potable con diámetro económico y con sistemas de control y automatización mejorará la eficiencia en sistemas de bombeo de agua potable.

CAPÍTULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO

En este capítulo, el autor desarrollará los fundamentos teóricos y físicos necesarios para la comprensión de la presente tesis. A su vez, el autor explicará sobre el sistema de control y automatización en sistemas de agua potable, teoría de bombas hidráulicas, fenómenos hidráulicos que afectan los sistemas de rebombeo, material de línea de impulsión de agua potable y diámetro económico en líneas de impulsión de agua potable.

2.1 SISTEMA DE CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN EN SISTEMAS DE AGUA POTABLE

El sistema de control y automatización en las estructuras hidráulicas se realizan mediante la telemetría y el sistema SCADA. La telemetría es el conjunto de procesos que permiten la transmisión de señales, por medio de radio enlace, medidas con instrumentación de campo hasta poder ser visualizadas en un Centro de Control en el cuál por medio del software SCADA se pueden supervisar y controlar los datos en tiempo real. El sistema SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) significa la supervisión, control y adquisición de datos provenientes de diferentes estructuras o Estaciones Remotas (Gañán & Castañeda, 2016, pág. 57).

El proceso de la medición de datos se hace mediante instrumentación de campo (macromedidores, transductores, sensores, etc.) que convierten las magnitudes en señales eléctricas que son dirigidas hacia los tableros y torres que transmiten las señales mediante radio enlaces a un Centro de Control Local (Centro de Servicios) y posteriormente dirigen la señal hacia el Centro Principal de Control.

En Lima, las instalaciones hidráulicas y electromecánicas en los sistemas de rebombeo y/o bombeo de agua potable en Lima se encuentran enlazadas mediante el Software SCADA Survalent operada por la Entidad Prestadora de Servicio (EPS) SEDAPAL. Los sistemas en mención se encuentran monitoreadas desde un Centro de Control de SEDAPAL en sus oficinas de Breña. Las intercomunicaciones de las estaciones son mediante redes de radioenlaces con frecuencias de 6Ghz a 40 GHz, con esto permiten la transmisión de datos para la

supervisión y control entre sí (Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima, 2018, pág. 12).

La instrumentación de campo requerida en las cisternas y reservorios son: transmisores de presión, medidores de caudal, sensores de nivel de líquidos, analizadores de redes eléctricas, equipos de respaldo de suministro de energía, equipos de control y automatización y de comunicaciones que les permita operar y supervisar su propia instalación, procesar la información proveniente de otra instalación hidráulica pertenecientes a su grupo hidráulico (conjunto de estaciones remotas que interactúan entre sí realizando un control hidráulico) y luego transmitir los datos mediante telemetría al Centro Principal de Control CPC.

2.1.1 Niveles de automatización

Según el equipamiento necesario para el control del proceso, redes de comunicación y capacidad de control se definen los niveles de automatización mostrados en Figura 2.1 .

- Nivel 0 Equipos de Campo:
Compuesto por equipos del árbol hidráulico como válvulas, bombas, motores, etc.
- Nivel 1 Instrumentación de Campo
Compuesto por los instrumentos que recogen información de las variables físicas para su posterior procesamiento. Por lo general, los instrumentos de campo suelen ser: medidores de caudal, medidor de nivel, transductores de presión, actuadores eléctricos para válvulas, analizadores de red, arrancadores de estado sólido, variadores de velocidad y otros.
El protocolo de comunicación de este nivel con el nivel 2 es del tipo Profibus DP V1.
- Nivel 2 Automatización y PLC's
En este nivel se tienen a los PLC's de las Estaciones Remotas, los cuales se encuentran con el tablero TAC que intercambia información para la realización del control automático y secuencial de manera autónoma procesando y ejecutando los ajustes necesarios para su cumplimiento en función a las variables de los niveles 0 y 1.
El protocolo de comunicación de este nivel con el nivel 3 es del tipo Modbus/TCP.

- Nivel 3 Centro de Control Local (Centro de Servicios)
Está conformado por los Centros de Control Zonal, ubicados en los Centros de Servicios, los mismos que efectúan el monitoreo de los parámetros hidráulicos y eléctricos de las ERs.
El protocolo de comunicación de este nivel con el nivel 4 es del tipo ETHERNET.
- Nivel 4 Centro Principal de Control
Conformado por el SCADA del Centro de Control, algunas de las actividades que se pueden realizar son de controlar la operación de los equipos de forma remota, enviar consignas de operación a los equipos en forma remota, monitorear los parámetros hidráulicos y eléctricos de las estaciones remotas y el Sistema de Gestión de Activos.

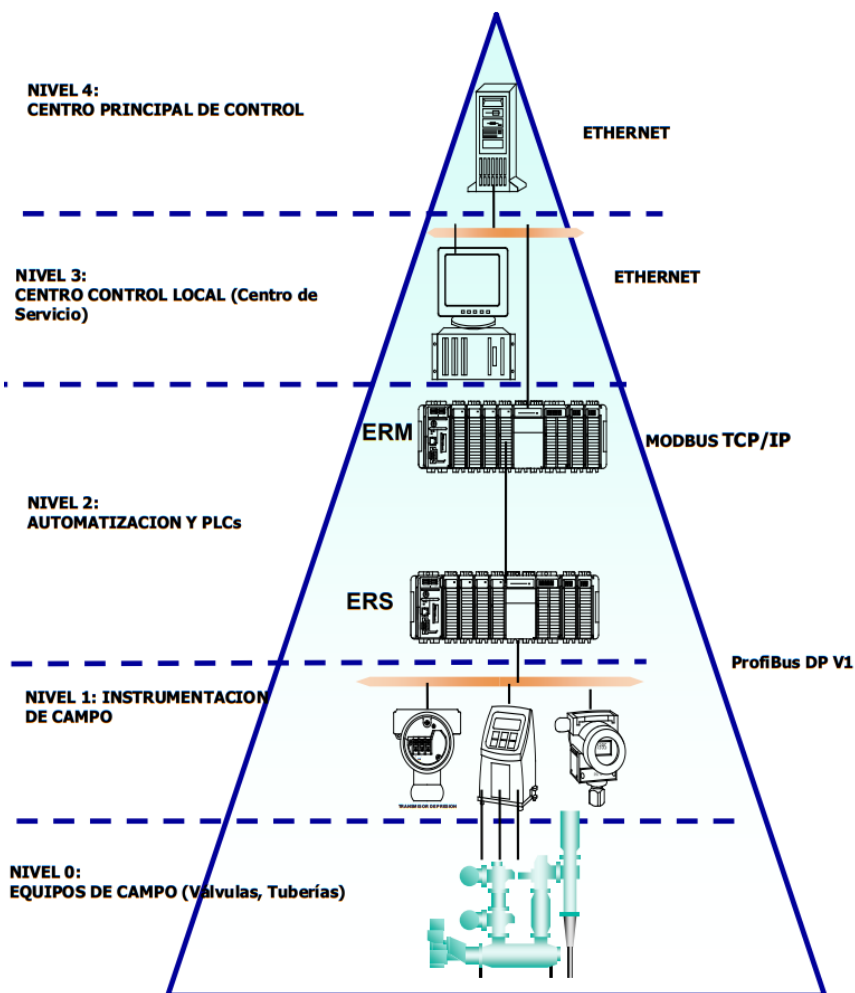


Figura 2.1 Niveles de automatización para estructuras hidráulicas en Lima.

Fuente: Automatización de las estaciones de control del sistema de distribución primario por gravedad y bombeo (Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima, 2018)

2.1.2 Modo de operación

Se presentan los diferentes modos de operación de los procesos de una estación remota de rebombeo (ver Figura 2.2).

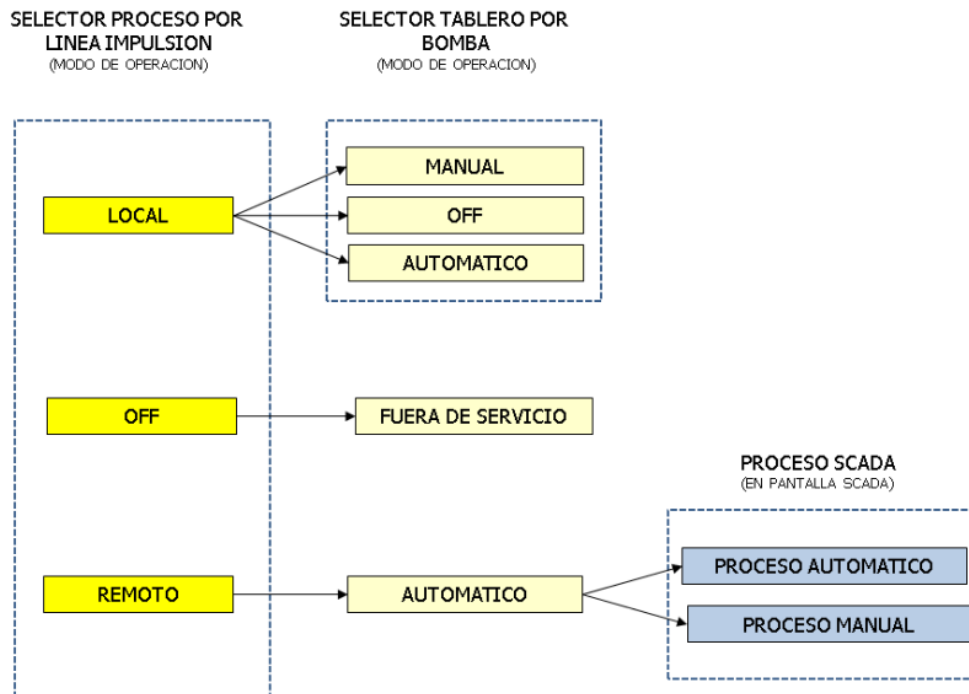


Figura 2.2 Modos de operación para estructuras hidráulicas en Lima.

Fuente: Automatización de las estaciones de control del sistema de distribución primario por gravedad y bombeo (Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima, 2018)

En el modo Local, el SCADA no tiene control de la estación de rebombeo, pero mantiene el envío de los valores y estados de señales de campo (Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima, 2018, pág. 129).

Se puede clasificar en lo siguiente:

- Local – Manual: En este modo solo está disponible para el funcionamiento desde las botoneras instaladas en los Tableros de Automatización y Control. El PLC no tiene control sobre ningún dispositivo, sin embargo, se continúa enviando valores y estado de las señales de campo a los servidores SCADA.
- Local – Automático: En este modo permitirá el funcionamiento de acuerdo a las consignas ingresadas desde el panel HMI (Human Machine Interface). En este modo no se podrá ingresar datos desde el SCADA, pero si se actualizará con los valores ingresados desde el HMI, en este modo de

funcionamiento el sistema de control se basará principalmente en la instrumentación instalada.

Se pueden dar 2 niveles de conexión; el primer nivel es el de Ingeniería en el que el personal especializado se conectará al PLC en la estación remota por medio de una laptop con el software correspondiente y el segundo nivel es el de Operador, en el que el operador realiza el control de la estación remota a través del panel de operador.

- Local – OFF: Este modo representa que la estación de rebombeo se encuentra fuera de servicio, pero se sigue enviando valores y estado de señales de campo a los servidores del SCADA.

En el modo Remoto, el SCADA tiene control de la estación de rebombeo desde el Centro de Control y se mantiene el envío de los valores y estado de las señales de campo a los servidores; el supervisor SCADA tiene control total a las estaciones que se encuentren en modo Remoto por lo que se anula la posibilidad de control Local (Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima, 2018, pág. 130).

Se puede clasificar en lo siguiente:

- Remoto – Automático: este modo trabajo es similar al modo Local Automático con la diferencia que las consignas se ingresan desde el SCADA y el HMI no podrá ingresar datos, solo monitorea. El llenado de los Reservorios se efectuará a través de un conjunto de procesos mostrados en la Figura 2.3.

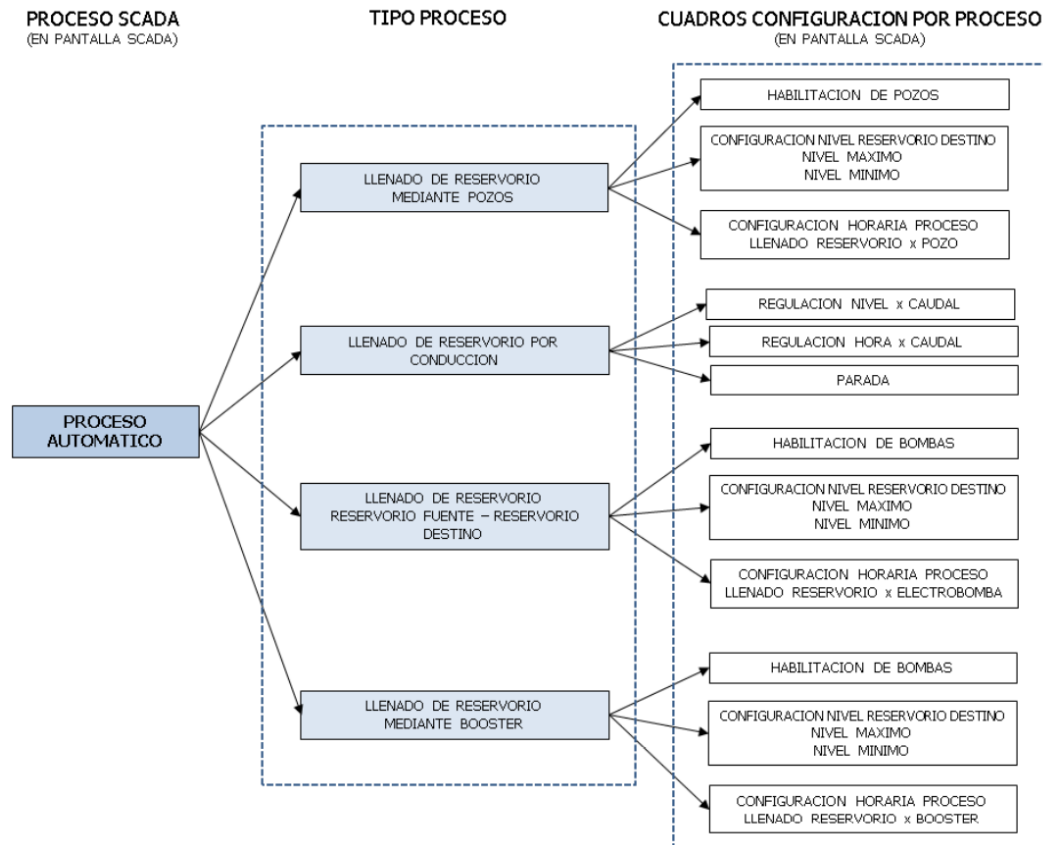


Figura 2.3 Configuración por proceso para Proceso Automático de estructuras hidráulicas en Lima.

Fuente: Automatización de las estaciones de control del sistema de distribución primario por gravedad y bombeo (Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima, 2018)

2.1.3 Descripción de tableros e instrumentación

De acuerdo a las especificaciones técnicas de SEDAPAL en Lima, los tableros comúnmente utilizados en las estaciones remotas son:

- Tablero General (TG): Se encarga de controlar los tableros de la estación de rebombeo y/o bombeo.
- Tablero de Distribución (TD): Se encarga de la distribución de los circuitos derivados y está compuesto por un conjunto de dispositivos de protección y circuito de control de motores de baja potencia (0.75 Kw).
- Tablero Rectificador (TR): Se encarga de proveer de voltaje de corriente continua (24 Vdc) a todo el equipamiento de automatización.
- Tablero de Automatización y Control (TAC): Su función es permitir el control automático de uno o varios procesos hidráulicos de la estación remota.

- Tablero de Arranque de Bomba: Su función es permitir el arranque, control y protección del equipo de bombeo, cada bomba debe contar con su tablero de arranque.
- Tablero de Banco de Condensadores (TBC): Está diseñado para la reducción o compensación de la Energía Reactiva. La compensación de energía reactiva mediante Bancos de condensadores se efectúa para no pagar energía reactiva al suministrador de energía eléctrica, para disminuir caídas de tensión, para minimizar pérdidas de energía, para ampliar la capacidad de transmisión de potencia activa en los cables; entre otras aplicaciones.
- Tablero de Inyección de Cloro: Tiene como función suministrar cloro mediante una bomba dosificadora.
- Tablero de Bomba Sumidero: Su función es bombear agua a la purga o artesa de rebose mediante una bomba cuando se detecte agua en la estación.

Los instrumentos comúnmente utilizados en las estaciones remotas son:

- Sensor de intrusismo: Dispositivo que detecta la presencia de una persona activando un contacto que puede permitir la emisión de alarma sonora o visual.
- Sensor de apertura de puerta: Detecta la apertura y cierre de puerta de los tableros.
- Sensor de inundación: Detecta altura de agua mayor a 0.05m mediante un flotador y envía una señal de alarma. Se utiliza solo en el caso que la estación sea subterránea o semi subterránea.
- Sensor de rebose: Detectan cuando la altura de nivel de agua es mayor a la programada y envía una señal de contacto al PLC que puede enviar una señal de alarma.
- Medidor de presión: Instrumento que mide la presión directa en una tubería de agua y también puede medir la altura de agua en los reservorios al ser instalado antes de la válvula de la línea de purga.
- Medidor de caudal: Instrumento que mide el caudal y velocidad del flujo en las tuberías del árbol hidráulico, su funcionamiento es del tipo electromagnético.
- Medidor de nivel: Instrumento que mide el nivel del agua en una cisterna y

reservorio, su funcionamiento es del tipo ultrasónico.

- Medidor de cloro residual: Instrumento que mide la calidad del agua con el valor del cloro residual.
- Actuador eléctrico: Instrumento que sirve de accionamiento de control de válvulas mecánicas, pueden ser del tipo on-off (cambios totales) o modulante (cambios graduales o parciales).
- Válvula solenoide: Instrumento que permite el control de válvulas tipo diafragma.
- Detector de fuga de gas cloro: Equipo que permite detectar una posible fuga de cloro y envía una señal en caso suceda al PLC.
- Balanza electrónica: Equipo que permite detectar el peso de 2 balones de gas cloro.

2.2 TEORÍA DE BOMBAS HIDRÁULICAS

En muchas ocasiones, se necesita agregar energía a un sistema hidráulico para superar las diferencias de elevación, pérdidas por fricción y pérdidas menores. Una bomba es un dispositivo al que se aplica energía mecánica y se transfiere al agua como carga total. La carga agregada se llama *carga de una bomba* y es una función del caudal a través de la bomba. En el presente título se enfoca en las bombas centrífugas debido a que son las bombas más utilizadas en los sistemas de distribución de agua.

Las bombas mayormente usadas en los sistemas de rebombeo de agua potable son centrífugas, para entender el funcionamiento de este tipo de bombas se necesita conocer la clasificación general de las turbomáquinas. Una turbomáquina está compuesta principalmente de una rueda de álabes, conocida como rodete, que gira libremente alrededor de un eje cuando pasa un fluido por su interior. Es en el rodete donde ocurre la transformación de energía del flujo y energía mecánica, o viceversa (Agüera, 2003, pág. 512).

Cuando la transformación se da de energía del flujo a energía mecánica, se dice que la turbomáquina es productora de energía mecánica; las turbinas hidráulicas, turbinas de vapor y turbinas de gas son ejemplos de turbomáquinas productoras de energía mecánica (Agüera, 2003, pág. 456).

Cuando la transformación se da de energía mecánica a energía del flujo, se dice que la turbomáquina es consumidora de energía mecánica; las bombas hidráulicas, turbocompresores y ventiladores son ejemplos de turbomáquinas consumidoras de energía mecánica (Agüera, 2003, pág. 456).

2.2.1 Clasificación de Bombas Hidráulicas

Las máquinas hidráulicas pueden clasificarse de acuerdo al principio fundamental de funcionamiento, estableciendo la ecuación de energía en la Ecuación 2.1. (López, 1995, pág. 115)

$$\text{Ecuación 2.1} \quad \Delta H = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2 * g} + (Z_2 - Z_1)$$

De acuerdo al valor de ΔH se obtiene la primera clasificación de las máquinas hidráulicas en términos de la fuente de suministro de la energía. Si ΔH es positivo, la energía mecánica es suministrada al líquido y la máquina hidráulica recibe el nombre de generador (bomba); si ΔH es negativo, la energía es suministrada por el líquido y la máquina hidráulica recibe el nombre de motor (turbina).

Para el caso particular de los generadores, se tienen 3 formas de realizar la restitución de energía, las cuales se dan mediante: energía de presión, energía cinética o energía potencia. (López, 1995, pág. 116)

Se recomienda revisar el **Anexo 1 Clasificación de bombas hidráulicas** donde se realiza una clasificación detallada de las bombas hidráulicas.

2.2.2 Bombas centrífugas

Las bombas centrífugas son las más usuales en los sistemas de bombeo de agua potable en Lima. Este tipo de bombas son denominadas “rotodinámicas” debido a que su movimiento es siempre rotativo. La relación entre la altura de bombeo (h_B) y el caudal de bombeo (Q_B) viene dado por la Ecuación 2.2. Esta curva define la relación entre la altura de bombeo y la cantidad de flujo que pasa la bomba, la curva en mención no es lineal y, como cabría esperar, cuanto más agua bombea menor es la altura a la que se puede bombear.

$$\text{Ecuación 2.2} \quad h_B = h_0 - c * Q_B^m$$

Donde,

h_B = Altura de bombeo (m)

h_0 = Altura de cierre para cuando el flujo sea 0 (m)

Q_B = Caudal de bombeo (litros/segundo)

c, m = Constantes

A continuación, se detallarán las partes típicas por las que se compone las bombas centrífugas del tipo turbina vertical y bombas centrífugas helicoidal.

La bomba centrífuga tipo turbina vertical está diseñada para operar en pozos profundos, cisternas y reservorios de rebombeo. Es capaz de soportar una gran fuerza axial y en algunos casos tiene la ventaja de usar poca área superficial lo cual su instalación ocupa menos área en la caseta de válvula de reservorios de rebombeo. Este tipo de bombas pueden ser lubricadas por aceite o por agua (autolubricadas).

Los elementos que generalmente componen a las bombas centrífugas tipo turbina vertical según la Figura 2.4, el motor eléctrico vertical es el que se encarga de suministrar la energía necesaria a la bomba, este a su vez puede ser de eje sólido o de eje hueco. La linterna de descarga es aquel elemento de la bomba que recibe el flujo de la columna y transmite el fluido hacia la tubería de impulsión. La columna está conformada por dos cuerpos, uno exterior y uno interior formado por el eje de transmisión. Mientras que el cuerpo de la bomba está formado por “tazones” que albergan los impulsores y la cantidad de “tazones” depende de la altura y caudal a bombear. Por último, se tienen al tubo de succión, elemento que transporta axialmente flujo captado por la canastilla hacia el cuerpo de la bomba, y a la canastilla, pudiendo ser tipo cesto (cilíndrico) o tipo cónico (tronco de cono).

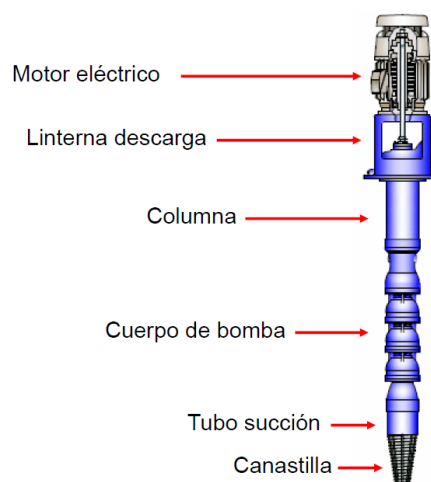


Figura 2.4 Bomba centrífuga tipo turbina vertical.

Fuente: Catálogo de proveedor Hidrostral.

Los elementos que generalmente componen a las bombas centrífugas helicoidales según la Figura 2.6; el impulsor o rodete es el elemento transmisor de la energía mecánica suministrada por un motor al fluido en forma de energía cinética, está compuesto por un conjunto de álabes que conducen el fluido hacia la voluta. La voluta o caja espiral es parte del sistema difusor debido a que conduce el fluido en dirección hacia la tubería de impulsión, en la voluta también se realiza la conversión de la energía cinética en energía de presión. Por último, se tiene al difusor, es el elemento que se une con la tubería de impulsión con bridas.



Figura 2.5 Bomba centrífuga helicoidal.

Fuente: Catálogo de proveedor Hidrostral.

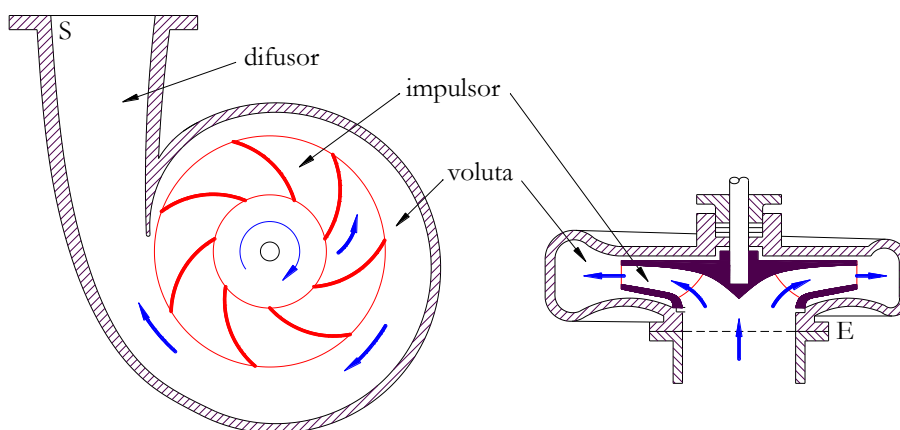


Figura 2.6 Partes generales de una bomba centrífuga helicoidal

Fuente: Catálogo de proveedor Hidrostral.

2.3 EFICIENCIA DE LAS BOMBAS

La eficiencia es uno de los factores más importantes que se debe conocer al momento de seleccionar una bomba, en las bombas hidráulicas depende directamente de la velocidad específica según la Figura 2.7. Observándose que los rangos de velocidad específica que generan mayor eficiencia para bombas centrífugas es de 30 a 60, bombas de flujo mixto es de 100 a 150 y para bombas de flujo axial es de 225 a 275 (Agüera, 2003, pág. 507).

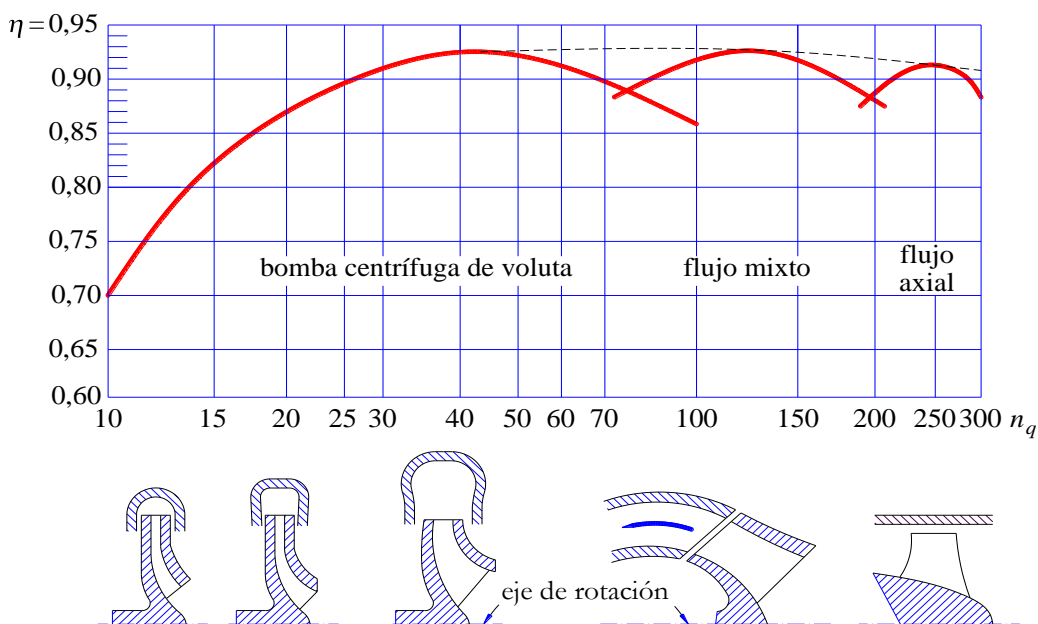


Figura 2.7 Variación de eficiencia de bombas respecto a la velocidad específica

Fuente: Diapositiva de José Agüera Soriano.

De la Figura 2.8 se infiere que a mayor altura y poco caudal necesitan menor velocidades específicas y exigen rodets con mayores diámetros y pequeñas anchuras de salidas. Caso contrario, para mayores velocidades específicas exigen rodets con menores diámetros y mayores anchuras de salidas. Las bombas centrífugas tipo turbina vertical requieren poco diámetro y muchos rodets (bombas multicelulares), por lo general estas se ubican en lugares con poco espacio por lo que resulta que los rodets tienen poco diámetro lo que ocasiona poca presión y para compensarlo se requieren varios rodets que proporcionen de manera escalonada la presión necesaria para el sistema de rebombeo (o bombeo) (Agüera, 2003, pág. 507).

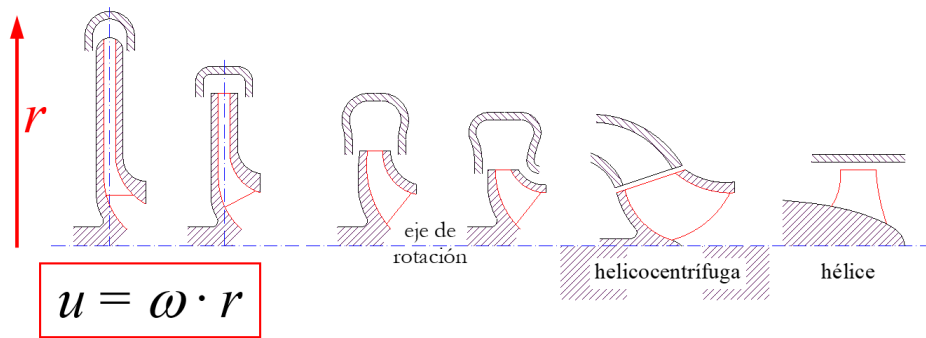


Figura 2.8 Tipos de bombas respecto a la dirección de salida del flujo

Fuente: Diapositiva de José Agüera Soriano.

2.3.1 Rango de fiabilidad de operación de las bombas centrífugas

El rango de operación óptima de las bombas centrífugas es una recomendación práctica desde el punto de vista de operación segura y fiable para minimizar los riesgos que pueden afectar al sistema de rebombeo (o bombeo).

De la Figura 2.9 se infiere que el rango de operación recomendada se encuentra entre el 80% y el 110% del caudal de diseño, el rango de operación permitida se encuentra entre el 70% y el 120% y los rangos de operación prohibida son para aquellos donde se opera con un caudal menor al 70% y mayor al 120% (Larralde & Ocampo, 2010, págs. 24-28).

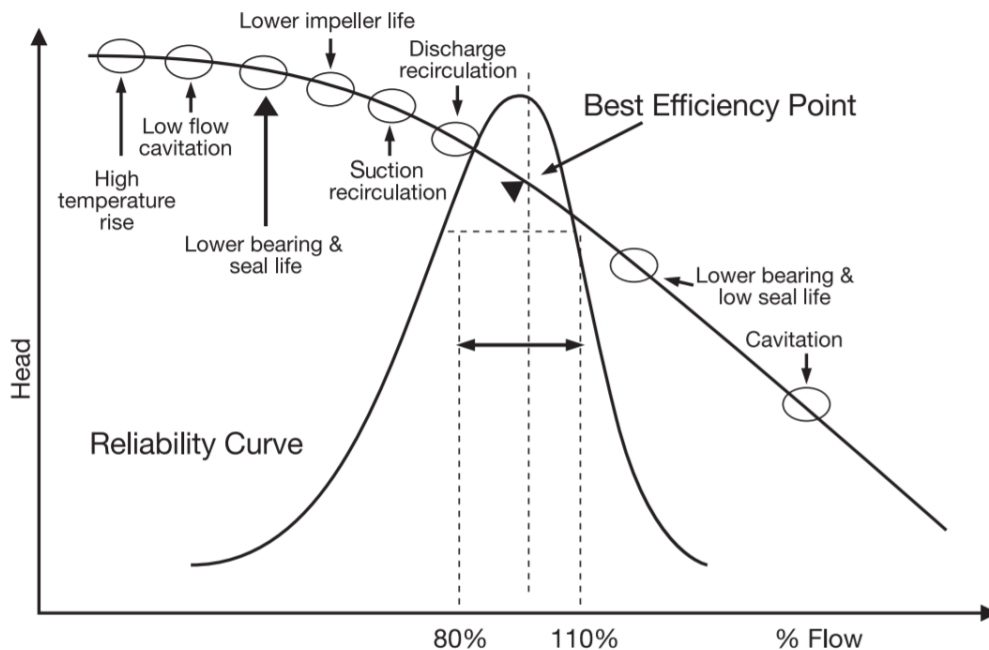


Figura 2.9 Comportamiento de la bomba y consecuencias de la operación fuera del punto de diseño

Fuente: Centrifugal pump selection process (Larralde & Ocampo, 2010).

Según Larralde & Ocampo (2010, págs. 24-28) los posibles riesgos que ocasionarían trabajar fuera del rango de operación permitido tales como:

- Recirculación en la succión: De 60% a 70% del caudal de diseño.
- Recirculación en la descarga: De 70% al 80% del caudal de diseño.
- Reducción de la vida útil del impelente: De 50% a 70% del caudal de diseño.
- Reducción de la vida útil de los rodamientos y los sellos de la bomba: De 120% a 135% del caudal de diseño.
- Cavitación: De 135% a 140% y de 25% al 50% del caudal de diseño.
- Elevación de la temperatura del fluido: De 20% al 25% del caudal de diseño.

Se entiende que el rango de fiabilidad de operación de una bomba depende del tipo y diseño de la bomba, de la velocidad específica y de las condiciones de succión fundamentalmente. Como consecuencia, se hace necesario tener en cuenta las diferencias que existen entre las bombas con diseño con caja tipo voluta (bomba centrífuga) y las que tienen caja tipo tazón (bomba tipo turbina vertical), se tiene que, para un mismo valor de velocidad específica y velocidad específica de succión y mismas condiciones de operación, las bombas centrífugas tendrán un rango mayor óptimo en comparación de las bombas tipo turbina vertical. Adicionalmente, las bombas con baja velocidad específica poseen un rango de fiabilidad mayor a aquellas en las que la velocidad específica es mayor (Valdés, 2011, pág. 21).

2.4 FENÓMENOS HIDRÁULICOS QUE AFECTAN LOS SISTEMAS DE REBOMBEO

En los sistemas de rebombeo (o bombeo) pueden ocurrir algunos fenómenos que afectarían directamente a la línea de impulsión, es por ello que su análisis es fundamental para conocer las condiciones en las que se puedan evitar los fenómenos que se detallarán y diseñar el sistema para que no se vea afectado.

2.4.1 Golpe de ariete

El golpe de ariete es un fenómeno transitorio que se puede presentar en sistemas hidráulicos que funcionan a gravedad y en sistemas hidráulicos que funcionan con bombas hidráulicas. El cambio de la velocidad de flujo convierte la energía cinética en una onda de presión, por lo tanto, toda maniobra que provoca cierto cambio en la velocidad del sistema de agua genera un golpe de ariete.

En los sistemas hidráulicos con bombas puede presentarse como resultado de diversos factores que modifiquen el régimen del flujo, algunas de las causas pueden ser:

- Interrupción repentina del suministro eléctrico generando que el líquido que se esté bombeando regrese hacia la bomba si no se cuenta con válvulas antiretorno o de retención.
- Cierre de válvulas de seccionamiento antes del paro de una bomba generando que la válvula siga bombeando el fluido hasta la válvula de seccionamiento produciendo sobrepresiones que conllevan al golpe de ariete.
- Apertura de válvulas de seccionamiento después del arranque de una bomba pueden generar sobrepresiones.
- Llenado de tuberías vacías a alta velocidad generando un elevado caudal.
- Cierre violento del flotante de ciertas válvulas de aire.
- Fallas mecánicas en la bomba.

En un sistema de rebombeo (o bombeo), las causas mencionadas pueden generar que la bomba pase por 3 tipos de zonas de operación Figura 2.10.

La primera zona llamada Zona de operación de bomba, esta zona inicia con la interrupción del funcionamiento normal de la bomba y la energía cinética de los elementos rotatorios de la bomba es la única que permite que éstos sigan girando por periodo de tiempo, en esta zona la velocidad angular de los elementos rotatorios, la carga piezométrica y el gasto disminuyen debido a que la energía cinética restante de los elementos rotatorios no es la suficiente como para poder soportar toda la carga hidráulica requerida de la bomba; esta zona finaliza cuando las ondas se reflejan en la bomba cambiando la orientación del flujo (Mancebo, 1994, pág. 108).

En la segunda zona llamada Zona de disipación de energía, esta zona se inicia con el gasto de la bomba en un inminente cambio de orientación del flujo disipándose la energía, debido a que no existe ninguna válvula antirretorno o que no permita el retroceso del flujo la energía cinética restante de los elementos rotatorios decrece igualándose a "0" y culminando de esta forma la segunda zona (Mancebo, 1994, pág. 108).

La tercera zona se conoce como Zona de operación tipo turbina, es aquí donde a medida que la velocidad de rotación inversa de los elementos de la bomba sigue disminuyendo hasta un valor máximo, el flujo invertido que circula se reduce rápidamente funcionando la bomba como turbina por la alta carga piezométrica del sistema (Mancebo, 1994, pág. 109).

De acuerdo a lo mencionado, puede verse la existencia de 3 zonas de funcionamiento de la bomba claramente diferenciadas, en la primera zona se caracteriza por una disminución de la carga piezométrica que alcanza su valor mínimo y la disminución del gasto bombeado hasta el valor de "0". La segunda y tercera zona se caracterizan por el aumento del flujo invertido y de la carga piezométrica alcanza un valor máximo en ésta última zona.

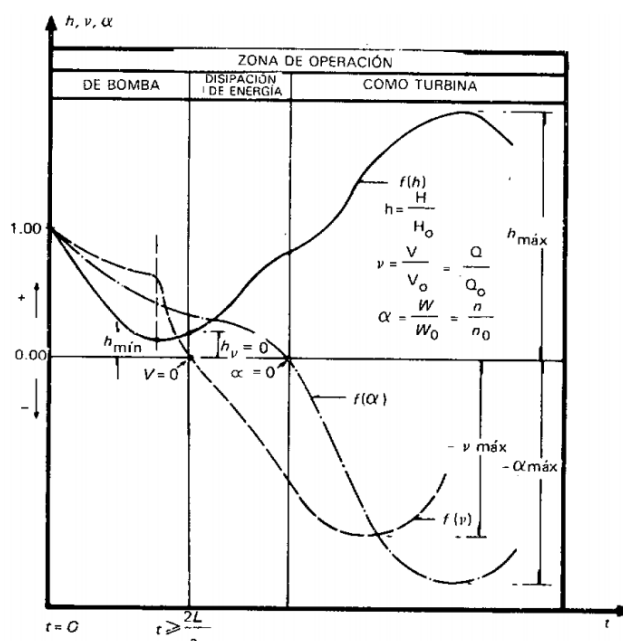


Figura 2.10 Zonas de operación de una bomba después de una interrupción inmediata

Fuente: Teoría del golpe de ariete y sus aplicaciones en ingeniería hidráulica (Mancebo del Castillo, 1994)

En los casos en que a la salida de la impulsión exista una válvula antirretorno que impida el retroceso del flujo en la bomba (ver Figura 2.11), ésta solo podrá operar en la Zona de operación de bomba y en el instante de cierre se generará la oscilación respecto a la carga máxima "T" segundos después. Y si en lugar de una válvula antirretorno se instala una válvula de seccionamiento (compuerta o mariposa) automática que cerrará la tubería en el instante de la interrupción del suministro eléctrico, dependerá de la forma cómo se lleve a cabo la maniobra de cerrado para que la bomba trabaje en las zonas de operación mencionadas.

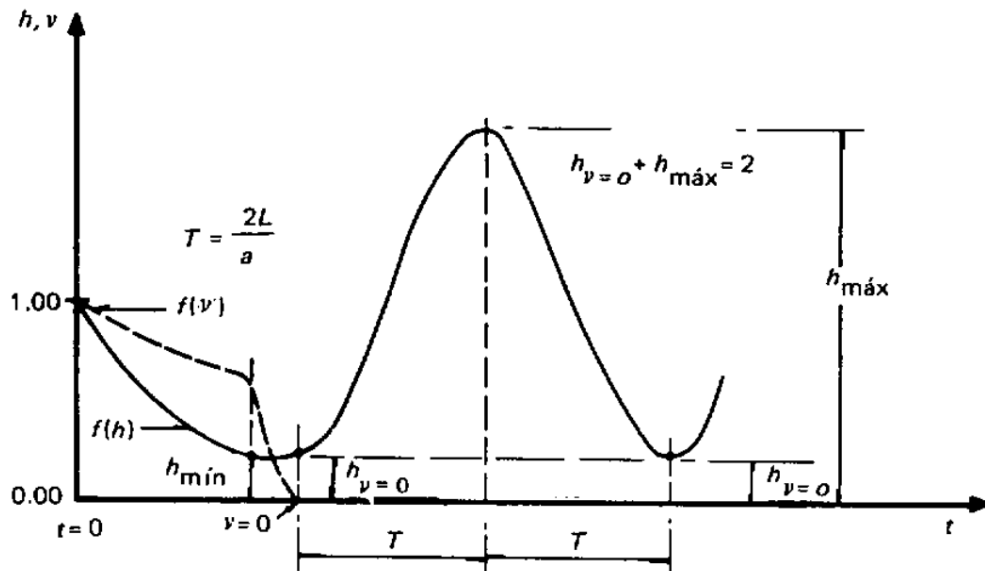


Figura 2.11 Variación de la carga piezométrica "h" y el gasto en una bomba cuando se instala una válvula antirretorno en la línea de impulsión.

Fuente: Teoría del golpe de ariete y sus aplicaciones en ingeniería hidráulica (Mancebo del Castillo, 1994)

Los efectos del golpe de ariete se pueden atenuar si se instalan válvulas de seccionamiento en la tubería de impulsión que se cierran lentamente ante la interrupción de la energía (Mancebo, 1994, pág. 110).

En una anulación de caudal, aparece gradualmente una depresión a la salida de la bomba (golpe de ariete negativo) y se propaga por toda la línea de impulsión; adicionalmente, aparece una sobrepresión a la entrada de la bomba (golpe de ariete positivo) y se propaga por la tubería de succión. Por lo general la longitud de la tubería de succión es mucho menor que la longitud de la tubería de impulsión y por tal motivo algunos diseñadores suelen obviarlo, pero se recomienda analizar ambos casos para evitar problemas de roturas en la línea de succión.

Para el caso del golpe de ariete negativo, la onda de presión recorrerá la tubería de impulsión y luego de un tiempo dado por la Ecuación 2.3 retornará a la salida de la bomba generando un golpe de ariete positivo.

$$\text{Ecuación 2.3} \quad \text{Tiempo}_{\text{de propagación de onda}} = \frac{2 \cdot L}{c}$$

Donde,

L = Longitud de línea de impulsión (m)

c = Celeridad de onda (m/s)

La celeridad de onda se calcula mediante Ecuación 2.4.

Ecuación 2.4

$$C = \frac{\sqrt{\frac{K}{\rho}}}{\sqrt{1 + \frac{K \cdot D}{K' \cdot e}}}$$

Donde,

K = Módulo de elasticidad del fluido (Pa)

K' = Módulo de elasticidad de la tubería (Pa)

ρ = Densidad del fluido a la tubería de bombeo (kg/m³)

D = Diámetro interior de la tubería (mm)

e = Espesor de la tubería (mm)

Para el caso del golpe de ariete negativo y para interrupciones de la bomba imprevistas, el tiempo de parada de la bomba imprevisto se calcula con la fórmula de Mendiluce representada por la Ecuación 2.5.

Ecuación 2.5

$$\text{Tiempo de parada de bomba} = C + \frac{K \cdot L \cdot V}{g \cdot H_m}$$

Donde,

C y K = Coeficientes de ajustes empíricos

V = Velocidad del flujo (m/s)

g = Aceleración de la gravedad (m/s²)

H_m = Altura dinámica total (m)

L = Longitud de línea de impulsión

(m)

c = Celeridad de bomba (m/s)

Los valores del coeficiente “C” se ajustan a la curva empírica mostrada en la Figura 2.12.

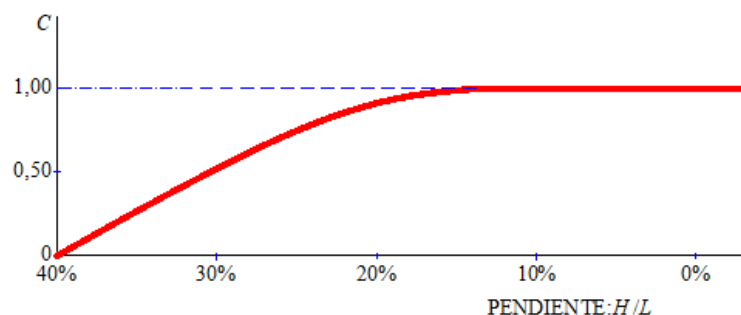


Figura 2.12 Variación de constante C respecto a la pendiente (Hm/L)

Fuente: Diapositiva de José Agüera Soriano.

Los valores del coeficiente “K” se ajustan a la curva empírica mostrada en la Figura 2.13.

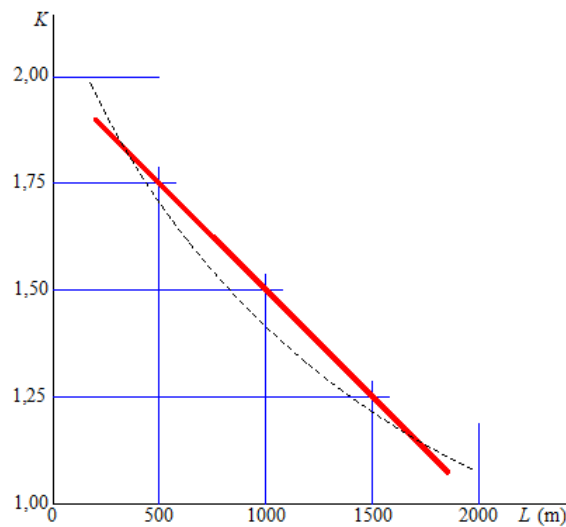


Figura 2.13 Variación de constante K respecto a la longitud (L)

Fuente: Diapositiva de José Agüera Soriano.

De la comparación entre los valores de la Ecuación 2.3 y Ecuación 2.5 se infiere que si el “Tiempo de propagación de la onda” es mayor que “Tiempo de parada de bomba” equivaldrá a un cierre del tipo instantáneo ya que el tiempo de recorrido de ida y vuelta de la onda de presión es superior al de cierre, es decir, se tiene un cierre rápido alcanzándose la sobrepresión máxima en algún punto de la tubería generando así el golpe de ariete. En el caso contrario, equivaldrá a un cierre del tipo lento ya que la onda de presión regresará a la válvula sin que ésta se encuentre totalmente cerrada por lo que ningún punto de la tubería alcanzará la sobrepresión máxima.

De la Ecuación 2.3 se despeja el valor de la longitud, obteniéndose el valor de la longitud calculada con Ecuación 2.6

Ecuación 2.6
$$L_c = \frac{c \cdot T_c}{2}$$

Donde,

L_c = Longitud crítica (m)

c = Celeridad de onda (m/s)

T_c = Tiempo de parada de bomba (s)

Para el cálculo de la sobrepresión se aplicarán las fórmulas de Micheaud o de Allieve, según se cumpla las siguientes condiciones.

Para el caso en el que la longitud de bombeo es mayor a la longitud crítica, se considera una “impulsión larga” y cierre rápido, se usará la fórmula de Allieve (ver Ecuación 2.7) (Agüera, 2003, pág. 390).

$$\text{Ecuación 2.7} \quad h_{golpe} = \frac{c \cdot V}{g}$$

Donde,

H_{golpe} = sobrepresión (m.c.a.)

c = Celeridad de onda (m/s)

V = Velocidad del flujo (m/s)

g = Aceleración de la gravedad (m/s²)

Para el caso en el que la longitud de bombeo es menor a la longitud crítica, se considera una “impulsión corta” y cierre lento, se usará la fórmula de Micheaud (ver Ecuación 2.8) (Agüera, 2003, pág. 405).

$$\text{Ecuación 2.8} \quad h_{golpe} = \frac{2 \cdot L \cdot V}{g \cdot T}$$

Donde,

H_{golpe} = sobrepresión (m.c.a.)

L = Longitud de línea de impulsión (m)

V = Velocidad del flujo (m/s)

g = Aceleración de la gravedad (m/s²)

T = Tiempo de parada de bomba (m/s)

2.4.2 Cavitación

La cavitación es un fenómeno que ocurre cuando la presión absoluta dentro del impulsor se reduce hasta alcanzar la presión de vapor del líquido bombeado y esto condiciona la formación de burbujas de vapor que impactan antes de salir del impulsor ocasionando deterioro del material con el que está en contacto. En los sistemas que presentan este fenómeno se suelen manifestar como ruido, vibración, disminución del caudal bombeado, reducción de la presión de descarga y de la eficiencia del rebombeo (o bombeo).

Por lo presentado, se denomina cavitación al fenómeno de aparición y desaparición rápida de burbujas de vapor en el líquido bombeado. Las burbujas se forman en las zonas de reducción de presión que al ser conducidas a zonas

con mayor presión explotan ocasionando desgaste de la bomba hidráulica (Rocha, 2007, pág. 176).

Los principales motivos por los que se debe evitar este fenómeno son:

- La cavitación produce una discontinuidad en el flujo y esto conlleva una disminución de la eficiencia.
- La cavitación genera vibración y ruidos volviendo inestable el sistema de bombeo (o bombeo).
- Las explosiones de las burbujas producen daños permanentes a las bombas y a la tubería de impulsión.

Una forma de medir la posibilidad de cavitación viene dado por la Ecuación 2.9 (Rocha, 2007, pág. 176).

$$\text{Ecuación 2.9} \quad \text{Parámetro de Cavitación} = \frac{P - P_V}{\rho * V^2}$$

Donde,

P = Presión absoluta en el punto considerado

P_V = Presión absoluta de vaporización del líquido a la temperatura de bombeo

ρ = Densidad del líquido

V = Velocidad media del líquido

Otra forma de evitar la cavitación en una bomba es teniendo en consideración que la Altura Neta de Succión Positiva, por ello se definirán los parámetros necesarios para su comprensión.

La capacidad de succión de las bombas rotodinámicas se puede cuantificar mediante la Altura Neta de Succión Positiva (NPSH por sus siglas en inglés) o por la velocidad específica de succión “S” (Valdés, 2011, pág. 12).

El NPSH representa la cantidad de energía que dispone el líquido al ingreso de la bomba. Éste parámetro puede dividirse en NPSH requerido y NPSH disponible.

NPSH requerido: Representa la mínima diferencia entre la presión de succión y la presión de vapor en la que se consideran que el sistema no tiene riesgos de cavitación. Su valor depende fundamentalmente del diseño de la bomba y de las condiciones de operación, por lo que es proporcionado por el fabricante. En la Figura 2.14 se observa la curva de operación de una bomba y otras curvas, entre ellos el NPSH requerido, proporcionado por el fabricante.

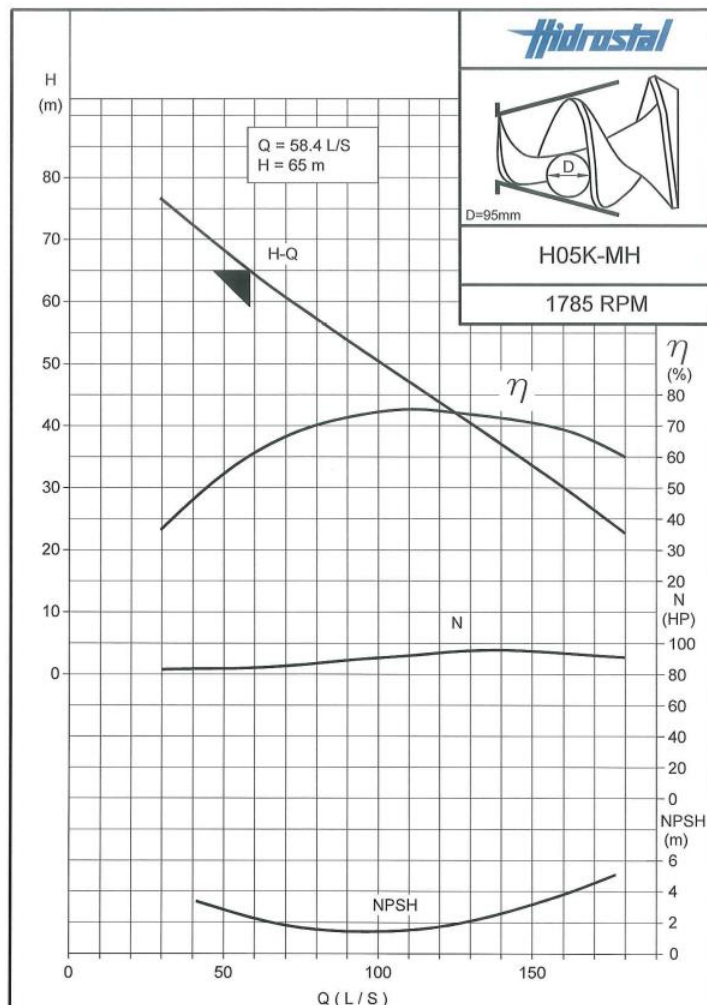


Figura 2.14 Curva de operación de una bomba

Fuente: Catálogo de proveedor Hidrostral.

NPSH disponible: Representa la cantidad de energía disponible (respecto al eje de la bomba) sobre la presión de vapor que dispone el líquido a la temperatura de bombeo. Su valor depende fundamentalmente del sistema en la que opera la bomba, del caudal y de las características del líquido que se bombea. La Ecuación 2.10 corresponde al cálculo de la Altura Neta de Succión Positiva disponible del sistema de bombeo (López, 1995, pág. 123).

Ecuación 2.10

$$NPSH_d = \frac{P_s}{\gamma} - \frac{P_v}{\gamma} \pm S - h_{fs}$$

Donde,

P_s = Presión absoluta de succión en el ingreso de la bomba (Pa)

P_v = Presión de vapor absoluta del líquido a la temperatura de bombeo (Pa)

γ = Peso específico del líquido a la temperatura de bombeo (N/m³)

S = Altura de succión estática (+) o altura de elevación estática (-) (m)

H_{fs} = Pérdida de energía por fricción en la línea de succión (m)

De lo presentado, la Altura Neta de Succión Positiva disponible debe ser mayor que la Altura Neta de Succión Positiva requerida en 0.50m, según la Ecuación 2.11.

Ecuación 2.11
$$NPSH_d > NPSH_r + 0.50$$

Donde,

$NPSH_r$ = Altura neta de succión positiva requerida por la bomba (m)

$NPSH_d$ = Altura neta de succión positiva disponible por el sistema (m)

2.5 MATERIAL MÁS COMUNES EMPLEADOS EN LÍNEAS DE IMPULSIÓN DE AGUA

Las líneas de impulsión convencionales de agua potable pueden ser de Hierro Dúctil (HD), Fibra de Vidrio (GPRV) y en algunos casos de Acero SCH-40. Sin embargo, en Lima, la Entidad Prestadora de Servicio SEDAPAL en los sistemas de líneas de impulsión usa tuberías y accesorios de HD debido a las altas presiones y esfuerzos de tracción que pueden soportar los elementos elaborados con este material.

Una vez diseñada la línea de impulsión y sabiendo las presiones que deberá soportar la tubería de impulsión es necesario conocer qué clase de tubería es la más adecuada, para saber la clase adecuada de tubería se presentará, según la norma NTP ISO 2531:2015, los tipos de presiones de las tuberías de HD.

Presión de Funcionamiento Admisible (PFA): Es la presión interior que puede soportar la tubería con régimen hidráulico permanente sin considerar golpe de ariete. La PFA se calcula mediante la Ecuación 2.12.

Ecuación 2.12
$$PFA = \frac{20 * e * R_t}{C * D}$$

Donde,

e = Espesor mínimo de la pared del tubo (mm)

R_t = Resistencia mínima a la tracción = 420 Mpa (Mpa)

C = Coeficiente de seguridad =3 (adimensional)

D = Diámetro medio de la tubería = $D_{\text{externo}} - e$ (mm)

Presión Máxima Admisible (PMA): Es la presión máxima hidrostática que puede soportar la tubería con régimen de sobrepresión transitoria, es decir, considerando golpe de ariete. La PMA se calcula mediante la Ecuación 2.13.

$$\text{Ecuación 2.13} \quad PMA = 1.2 * PFA$$

Donde,

PFA = Prueba de Funcionamiento Admisible (Bares)

Presión de Ensayo Admisible (PEA): Es la presión hidrostática máxima de prueba hidráulica en campo que puede soportar la tubería por un tiempo relativamente corto con la finalidad de asegurar y confirmar la integridad y estanqueidad de la tubería. La PEA se calcula mediante la Ecuación 2.14.

$$\text{Ecuación 2.14} \quad PEA = 5 + PMA$$

Donde,

PMA = Prueba de Máxima Admisible (Bares)

En la actualidad, la norma ISO 2531:2015 detalla la clasificación de las tuberías de hierro dúctil con juntas flexibles por la PFA precedidos por la letra C, mientras para las tuberías de hierro dúctil con juntas bridadas son precedidos por PN. En la Tabla 2.1 se muestran las clases de tubería de HD para juntas flexibles (espiga-campana y espiga-campana acerrojadas) y en la Tabla 2.2 para tuberías con juntas bridadas.

Clase de presión C	Presión de Funcionamiento Admisible PFA (bar)	Presión Máxima Admisible PMA (bar)	Presión de Ensayo Admisible PEA (bar)
25	25	30	35
30	30	36	41
40	40	48	53

Tabla 2.1 Presiones admisibles de componentes con juntas flexibles

Fuente: NTP ISO 2531:2015: Tubos, conexiones y piezas accesorias de función dúctil y sus juntas para conducción de agua.

Clase de presión PN	Presión de Funcionamiento Admisible PFA (bar)	Presión Máxima Admisible PMA (bar)	Presión de Ensayo Admisible PEA (bar)
10	10	12	17
16	16	20	25
25	25	30	35
40	40	48	53

Tabla 2.2 Presiones admisibles de componentes con juntas bridadas

Fuente: NTP ISO 2531:2015: Tubos, conexiones y piezas accesorias de función dúctil y sus juntas para conducción de agua.

SEDAPAL recomienda como clase mínima de 40 para diámetros menores a 800mm, clase mínima de 30 para diámetros comprendidos entre 800mm y 1800mm y clase mínima de 25 para diámetros mayores a 1800mm siempre que la presión de diseño sea menor a 20 bares, en caso contrario para diámetros mayores a 1800mm deberá ser de clase mínima de 30 bares.

Se recomienda revisar el **Anexo 2 CTPS-RE-001 Consideraciones técnicas para tuberías y accesorios y servicios en SEDAPAL (Agua Potable)** donde se especifican las diversas consideraciones realizadas por SEDAPAL para sistemas de agua potable.

2.6 DIÁMETRO ECONÓMICO EN LÍNEAS DE IMPULSIÓN DE AGUA

Una de las labores del ingeniero es la de analizar y diseñar una alternativa que sea la más viable económicamente y que satisfagan las solicitudes requeridas, en este caso, por el sistema de rebombeo de agua potable por lo que escoger la alternativa, en este caso el diámetro, más económica dentro del periodo de diseño es fundamental.

Se debe de tener en cuenta que los costos más relevantes que se toman en cuenta son (Agüera, 2003, pág. 428):

- Costo de Tubería: Es el costo de construcción de la línea de impulsión el cual abarca el trazo y replanteo, movimiento de tierra, suministro e instalación de la tubería y accesorios y pruebas hidráulicas.
- Costo de Bombeo: Es el costo del suministro eléctrico para mantener en funcionamiento el sistema de rebombeo y/o bombeo. Se obtiene de la

multiplicación entre la potencia de la bomba, número de horas de funcionamiento y el precio unitario del suministro eléctrico.

- Costo de Adquisición de Bomba: Es el costo de suministro e instalación de la bomba. Este costo está dado por los proveedores y depende de la altura dinámica total, caudal y potencia del equipo. Algunos proyectistas desprecian este costo debido a que la variación del costo de la bomba de un diámetro u otro es mínima.

Adicionalmente en los proyectos realizados se considera un porcentaje del Costo de Bombeo asignado como Costo de Mantenimiento que se estima en un 20%.

En la Figura 2.15 se muestra la variabilidad del Costo de Tubería " C_t " y del Costo de Bombeo " C_b ". Se aprecia que a mayor diámetro los costos de suministro e instalación de la línea de rebombeo son mayores, por necesitarse un ancho de zanja mayor y tuberías de mayor dimensión. El Costo de Bombeo decrece a medida que aumenta el diámetro debido a que las pérdidas por fricción son menores para un mismo caudal de bombeo por lo tanto la altura dinámica total es menor necesitándose menor potencia de bombeo (Mancebo, 1995, pág. 49).

La curva del Costo " C " representa la suma algebraica del Costo de Tubería y Costo de Bombeo para un mismo valor de diámetro. El mínimo valor de la curva " C " representa el diámetro económico para el sistema de rebombeo.

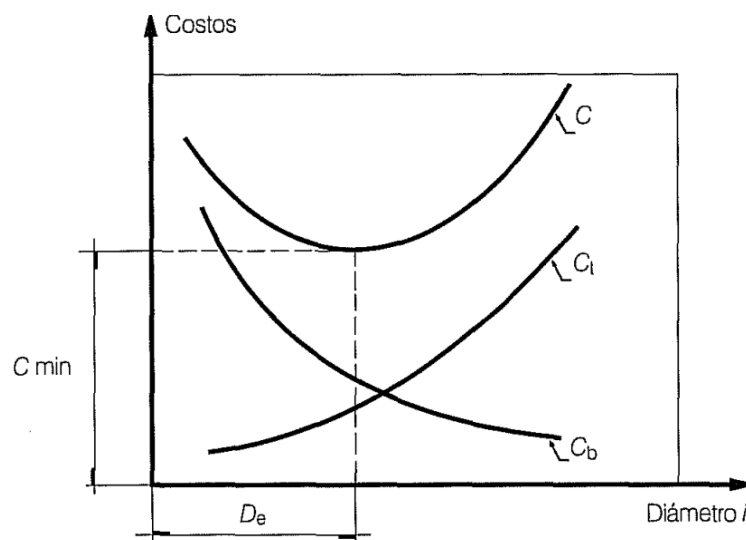


Figura 2.15 Representación gráfica del Costo de Tubería y del Costo de Bombeo respecto al diámetro.

Fuente: Cálculo del diámetro más económico de la tubería de descarga de una planta de bombeo de Mancebo del Castillo.

Se recomienda revisar el **Anexo 3 Fórmulas de otros autores para la obtención del diámetro económico**.

El autor de la presente tesis propone un conjunto de fórmulas para la obtención del diámetro económico de líneas de rebombeo y/o bombeo considerando una data de proyectos locales llevados a cabo en Lima.

La función a analizar es la Función de Costo "C" (ver Ecuación 2.15) obtenidas por la sumatoria de funciones del Costo de Tubería "C₁" dependiente del diámetro y tipo de terreno en el cual se cimentará la línea de agua potable, Costo de Adquisición de Bomba "C₂" dependiente de la potencia de la bomba, Costo de energía de funcionamiento para el bombeo "C₃" dependiente de las horas de funcionamiento anual del bombeo, precio del kW-h y de la potencia de la bomba y el Costo de Mantenimiento "C₄" considerado el 20% del C₃.

$$\text{Ecuación 2.15} \quad C = C_1 + C_2 + C_3 + C_4$$

Donde,

C₁ = Costo de tubería

C₂ = Costo de adquisición de bomba

C₃ = Costo de energía de funcionamiento para el bombeo

C₄ = Costo de Mantenimiento

Función Costo de Tubería (C₁):

En el caso de terreno normal, semirocoso y rocoso; la Ecuación 2.16, la Ecuación 2.17 y Ecuación 2.18 representan respectivamente la variación del costo por metro lineal de tubería en función del diámetro nominal.

$$\text{Ecuación 2.16} \quad k_1 = 4.13 * 10^{-3} * D^2 - 0.313 * D + 200$$

$$\text{Ecuación 2.17} \quad k_1 = 5.94 * 10^{-3} * D^2 - 0.773 * D + 405.48$$

$$\text{Ecuación 2.18} \quad k_1 = 1.97 * 10^{-3} * D^2 + 1.514 * D + 323.37$$

Donde,

D = Diámetro nominal (mm)

k₁ = Costo por metro lineal de tubería (Soles / m)

Función Costo de Adquisición de Bomba (C2):

La función Costo de Adquisición de Bomba viene dado por la Ecuación 2.19.

$$\text{Ecuación 2.19} \quad C_2 = 6261.2 * Pot_{bomba}^{0.6706}$$

Donde,

Pot_{bomba} = Potencia del equipo de bombeo (HP)

Función Costo de Energía de Funcionamiento para el Bombeo (C3):

La función Costo de Energía de Funcionamiento para el Bombeo viene dado por la Ecuación 2.20.

$$\text{Ecuación 2.20} \quad C_3 = Pot_{instalada} * h * p * s$$

Donde,

Pot_{instalada} = Potencia instalada de la bomba (kW)

H = Horas anuales de funcionamiento de la bomba (horas)

p = Precio del kW-h (soles / Kw-h)

s = Factor de actualización, su inversa es el factor de amortización
"s = $\frac{(1+r)^t - 1}{(1+r)^t * r}$ "

r = Interés real (r_{real} = r_{nominal} – inflación)

t = Periodo de diseño (años)

Función Costo de Mantenimiento (C4):

La función Costo de Mantenimiento viene dado por la Ecuación 2.21.

$$\text{Ecuación 2.21} \quad C_4 = 20\% * C_3$$

Donde,

C₃ = Costo de Energía de Funcionamiento para el Bombeo (Soles)

Así pues, para la obtención del diámetro económico será la que minimice la Ecuación 2.15 compuesta por el costo de ejecución de obra, costo de equipamiento del sistema, operación y mantenimiento del mismo.

Se recomienda revisar el **Anexo 4 Fórmulas propuestas para la obtención del diámetro económico en rebombeo de agua potable** donde se desarrollan y

proponen fórmulas para la obtención del diámetro que resulte más económico durante el periodo de diseño de la línea de bombeo.

CAPÍTULO III: DESCRIPCIÓN DE UN SISTEMA DE REBOMBEO DE AGUA

En el presente capítulo se presentará un proyecto de abastecimiento de agua potable y alcantarillado en Lima. En el que se abordarán detalles técnicos de las líneas de bombeo de agua potable que presenta el proyecto por lo que permitirá tener una idea general acerca de las componentes que posee un sistema de bombeo.

3.1 ASPECTOS GENERALES

3.1.1 Objetivo

El objetivo del presente proyecto es permitir generar las condiciones adecuadas para dotar de Agua Potable, así como la evacuación de sus aguas residuales a la población beneficiada, orientado a satisfacer la demanda insatisfecha actual y futura.

3.1.2 Ubicación geográfica

El área de Estudio del proyecto forma parte de los distritos de Comas y Carabayllo, está limitado por la autopista Chillón Trapiche, Av. Isabel Chimpu Oclo, Av. Alfonso Ugarte. Correspondiendo a los Sectores de Sedapal 346, 347, 348, 349, 350 y 351.

Los límites del área de estudio son:

- Por el Norte : Sector 357 (Carabayllo)
- Por el Sur : Sector 344 (Comas)
- Por el Este : Cerros
- Por el Oeste : Av. Túpac Amaru

El acceso al área de Estudio es por vía terrestre es desde las Avenidas Universitaria y Túpac Amaru principalmente, asimismo se puede llegar desde el Norte por la Avenida Chimpu Oclo. El área de estudio cuenta en su mayoría con infraestructura de energía eléctrica, teléfono, cable etc., y con restricciones en el servicio de agua y alcantarillado en las zonas altas, es decir en las ampliaciones

que se han venido dando en el Transcurso de los últimos años. En la Figura 3.1 y Figura 3.2 se muestran la macrolocalización y la microlocalización del proyecto.

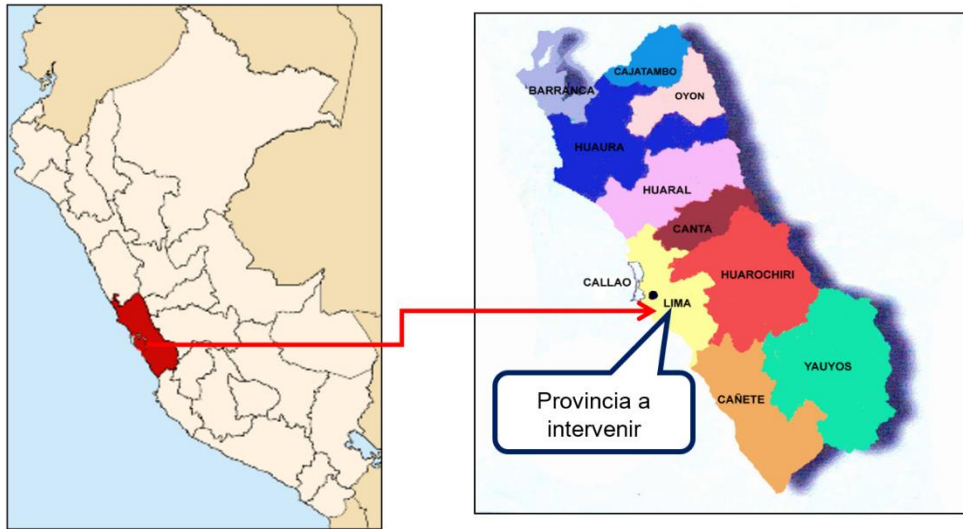


Figura 3.1 Macrolocalización del Área de Estudio.

Fuente: Elaboración propia.

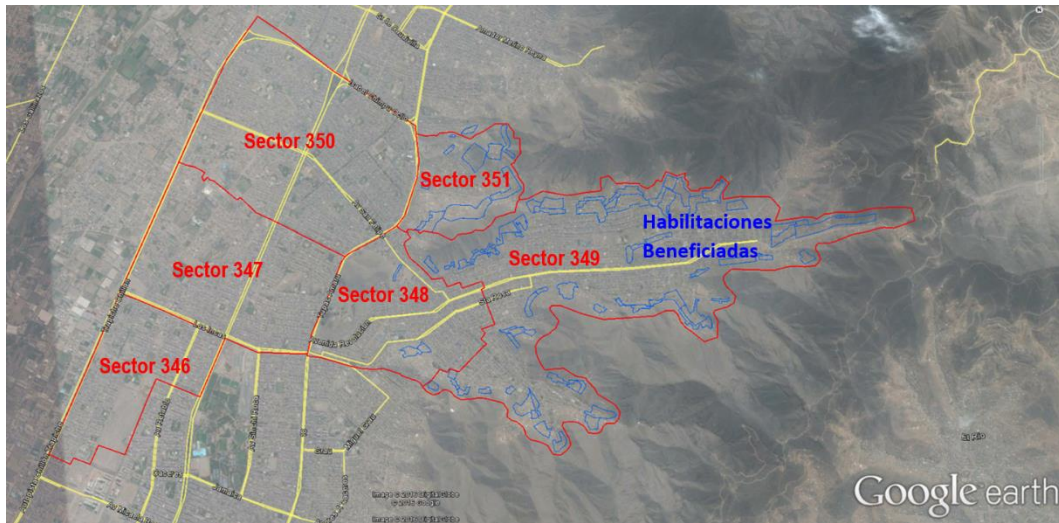


Figura 3.2 Microlocalización del Área de Estudio.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 3.3 se muestra las obras generales proyectadas de agua potable del sistema descrito.

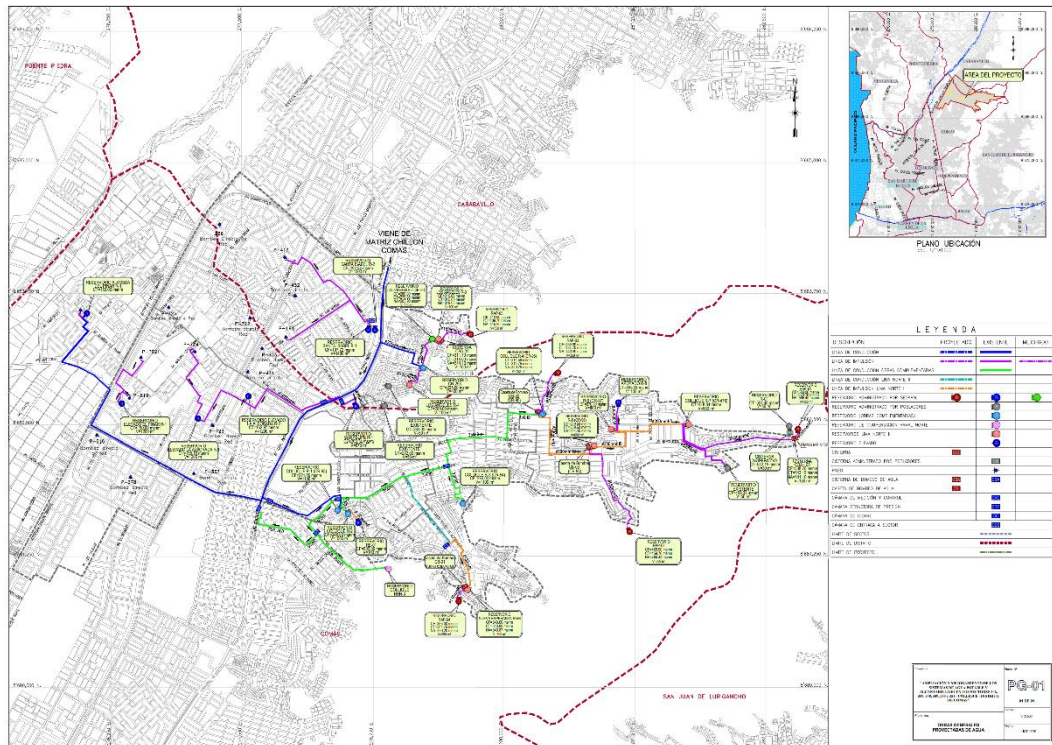


Figura 3.3 Plano general de obras de agua potable.

Fuente: Elaboración propia.

Se recomienda revisar el **Anexo 5 Plano general de agua potable** donde se muestra con mayor claridad el plano general del sistema de agua potable del proyecto descrito y analizado en la tesis.

3.1.3 Área de influencia y área de estudio

Área de Influencia: El área de influencia es el área donde vive la población a ser beneficiada con el presente proyecto, que corresponde principalmente a las partes altas de los cerros que circundan al área de Collique, en el área de Comas y la parte superior del AAHH Ramiro Priale en el distrito de Carabayllo.

Área de Estudio: El área de estudio viene a ser el área de influencia más el área donde se ubican las infraestructuras existentes y proyectadas.

En la Figura 3.4 se muestra la distribución del área de influencia y área de estudio del proyecto

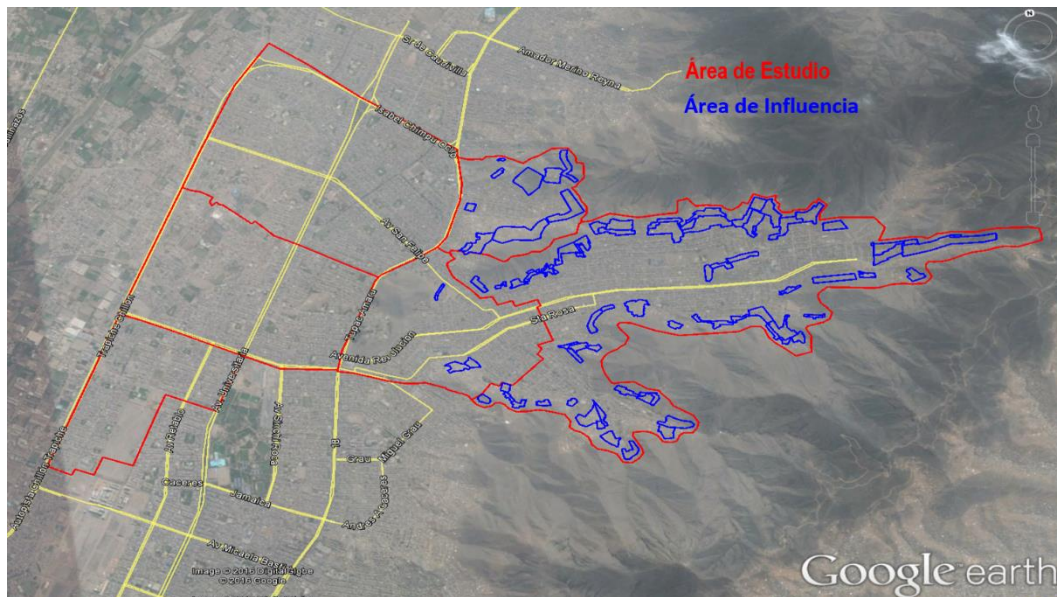


Figura 3.4 Área de Influencia y Área de Estudio del proyecto.

Fuente: Elaboración propia.

3.1.4 Población beneficiaria

La población beneficiaria actual (año base) es de 14614 habitantes y la población proyectada al finalizar el periodo de diseño es de 19830 habitantes.

3.2 DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL PROYECTO

3.2.1 Fuente de abastecimiento

Los Sectores del presente estudio consideran como fuente de abastecimiento las aguas superficiales del río Rímac a Través de la Planta de Tratamiento de Agua Potable Huachipa.

La Planta de Tratamiento de Huachipa se encuentra en la cota 396 msnm y conduce el fluido hasta el Reservorio de Compensación Collique RNN-03 de 4000 m³ ubicado en la cota 340 msnm, se abastecerá a los reservorios del área de estudio, por gravedad a los de la parte baja y de ahí por rebombes continuos a los reservorios de cabecera.

3.2.2 Producción de agua potable

La Planta de Tratamiento de Agua Potable Huachipa está diseñada para una capacidad total de 10 m³/s, estando previsto funcionamiento en dos etapas con una capacidad de tratamiento de 5 m³/s cada una. Por la ubicación geográfica de la planta se logrará abastecer de agua por gravedad, a gran parte de las zonas altas de Lima Metropolitana, en donde se considera abastecer con prioridad al área de influencia del presente proyecto con su primera etapa, a fin de garantizar una continuidad de servicio de abastecimiento las 24 horas, y la factibilidad de poder llegar a una cobertura del 100%.

El sistema de Tratamiento de la PTAP Huachipa, está conformada por los componentes que a continuación se indican:

- Bocatomas de Captación, constituidas por un dique transversal de material aluvial y 3 compuertas para control del flujo ubicadas en el margen derecho del río Rímac
- Línea de Aducción de 570 m de longitud, que transportara el agua captada hacia la zona de Tratamiento.
- Planta de Tratamiento que está conformada por los Desarenadores, las Unidades de Proceso, la zona de almacenamiento y las canchas de lodos.

Actualmente la primera etapa de la Planta de Tratamiento de Agua Potable Huachipa ya se encuentra ejecutada.

3.2.3 Sistema de Agua Potable

A continuación, se abordará brevemente las obras generales de agua potable consideradas en el proyecto descrito en el presente capítulo. En la Figura 3.5 se muestra las líneas de bombeo analizadas en la tesis y en la Figura 3.6 se muestran los reservorios analizados y descritos en el presente capítulo.

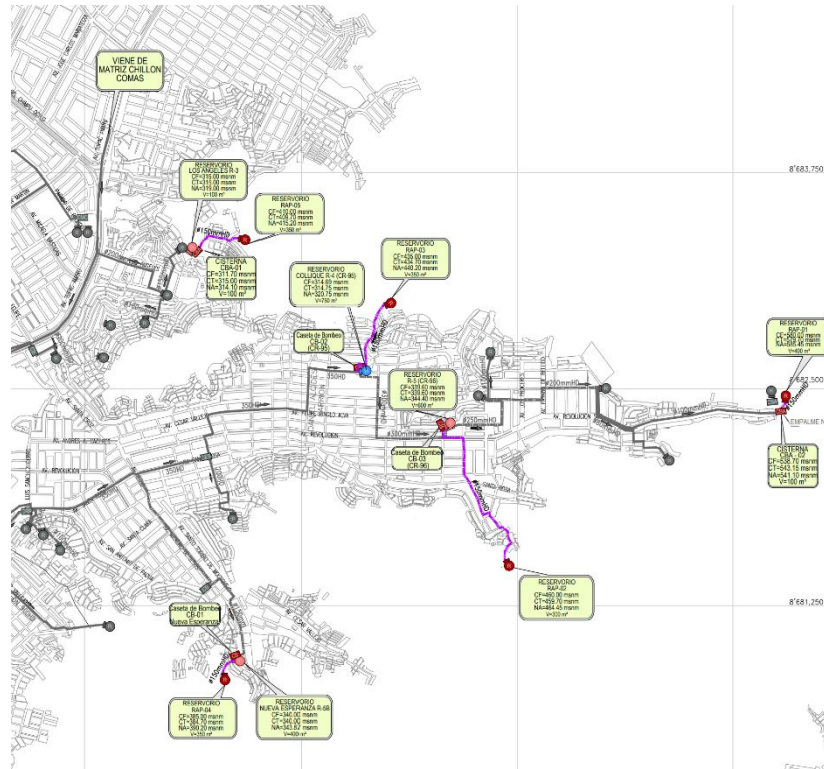
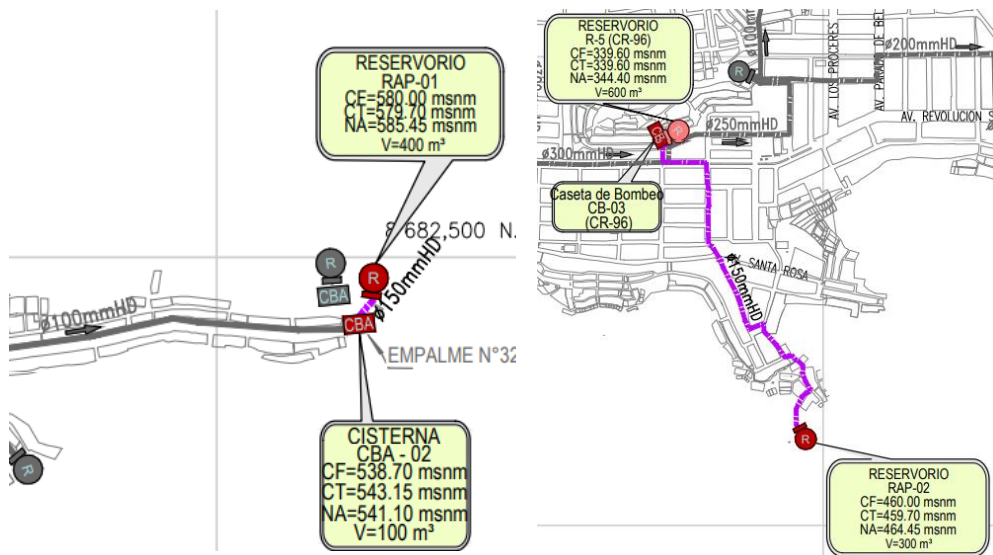


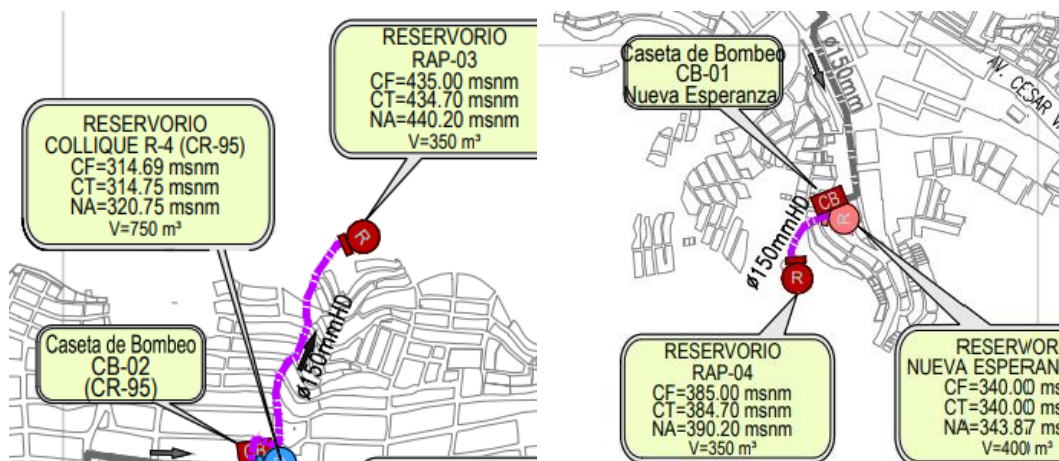
Figura 3.5 Plano general de las líneas de bombeo analizadas en la tesis.

Fuente: Elaboración propia.



(a) Reservorio Apoyado Proyectado
RAP-01

(b) Reservorio Apoyado Proyectado
RAP-02

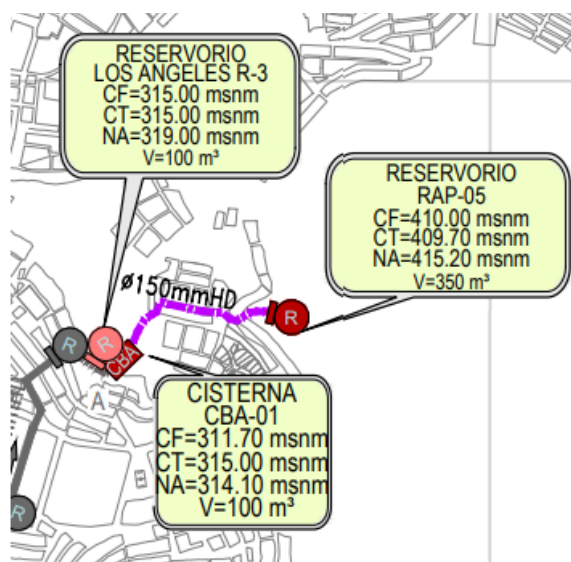


(c) Reservorio Apoyado Projectado

RAP-03

(d) Reservorio Apoyado Projectado

RAP-04



(e) Reservorio Apoyado Projectado RAP-05

Figura 3.6 Reservorios analizados en la tesis.

Fuente: Elaboración propia.

- Reservorios proyectados: En el presente proyecto se considera la proyección de 5 reservorios de cabecera RAP-01 de 400 m³, RAP-02 de 300 m³, RAP-03 de 350 m³, RAP-04 de 350 m³ y el RAP-05 de 350 m³. En la Tabla 3.1 se muestran algunas características técnicas.

Descripción	Condición	Fuente de abastecimiento	Volumen (m3)
RAP-01	Proyectado	CBA-02 con Línea de Impulsión proyectada DN 150mm, Q= 15.86 l/s	400
RAP-02	Proyectado	R-5 Collique (CR-96) con Línea de Impulsión proyectada DN 150mm, Q= 10.32 l/s	300
RAP-03	Proyectado	R-04 Collique (CR-95) con Línea de Impulsión proyectada DN 150mm, Q=13.12 l/s	350
RAP-04	Proyectado	R-5B Nueva Esperanza (CB-01) con Línea de Impulsión proyectada DN 150mm, Q= 13.71 l/s	350
RAP-05	Proyectado	CBA-01 con Línea de Impulsión proyectada DN 150mm, Q= 12.91 l/s	350

Tabla 3.1 Resumen de reservorios proyectados en el proyecto.

Fuente: Elaboración propia.

- Cisternas proyectadas: En el presente proyecto se considera la proyección de 2 cisternas CBA-01 (100 m3) y CBA-02 (100 m3). En la Tabla 3.2 se muestran algunas características técnicas.

Descripción	Condición	Fuente de abastecimiento	Volumen (m3)
CBA-01	Proyectado	R-2 Los Ángeles (CR-294) con Línea de Impulsión mejorada DN 150mm, Q=17.43 l/s	100
CBA-02	Proyectado	R-07 Línea de Impulsión proyectada DN 150mm, Q= 15.86 l/s	100

Tabla 3.2 Resumen de cisternas proyectadas en el proyecto.

Fuente: Elaboración propia.

- Casetas de bombeo: Se plantea la ampliación de las casetas de bombeo de los reservorios Nueva Esperanza R-5B, Collique R-04 (CR-95) y del Collique R-5 (CR-96), asimismo se plantea el cambio del equipamiento hidráulico del reservorio Los Ángeles R-2 (CR-294) por la falta de capacidad de las bombas para el abastecimiento del reservorio existente

Los Ángeles R-3 y la cisterna CBA-01 que bombea al reservorio proyectado RAP-05. En la Tabla 3.3 se muestran algunas características técnicas.

Descripción	Condición	Actividades a realizar	Volumen (m3)
R-5B Nueva Esperanza (CB-01)	Mejorado	Se proyecta caseta de bombeo	400
R-04 Collique (CR-95)	Mejorado	Ampliación de caseta de bombeo	750
R-5 Collique (CR-96)	Mejorado	Ampliación de caseta de bombeo	600
R-2 Los Ángeles (CR-294)	Mejorado	Cambiar los equipos de bombeo por su falta de capacidad.	150

Tabla 3.3 Resumen de casetas de bombeo mejoradas en el proyecto.

Fuente: Elaboración propia.

- Líneas de Impulsión: Se está proyectando diferentes Líneas de Impulsión que alimentaran a los reservorios y cisternas proyectados, para la determinación de los diámetros se utilizó la fórmula de Hazen y Williams y además se tomó en cuenta las horas de bombeo promedio a la que serán sometidos los sistemas de Impulsión. En la Tabla 3.4 se muestran algunas características técnicas.

Descripción	Condición	Características técnicas
Línea de impulsión de R-7 a CBA-02	Proyectado	Diámetro 150mm, Material HD-C40, Long.: 13.27m, Q= 15.86 l/s
Línea de impulsión CBA-02 a RAP-01	Proyectado	Diámetro 150mm, Material HD-C40, Long.: 87.39m, Q= 15.86 l/s
Línea de impulsión R-5 Collique a RAP-02	Proyectado	Diámetro 150mm, Material HD-C40, Long.: 1077.64m, Q= 10.32 l/s
Línea de impulsión R-04 Collique a RAP-03	Proyectado	Diámetro 150mm, Material HD-C40, Long.: 529.91m, Q= 13.12 l/s

Descripción	Condición	Características técnicas
Línea de impulsión R-5B Nueva Esperanza a RAP-04	Proyectado	Diámetro 150mm, Material HD-C40, Long.: 128.28m, Q= 13.71 l/s
Línea de impulsión CBA- 01 a RAP-05	Proyectado	Diámetro 150mm, Material HD-C40, Long.: 351.86m, Q= 12.91 l/s
Línea de impulsión R-2 Los Ángeles a CBA-01	Mejorado	Diámetro 150mm, Material HD-C40, Long.: 88.22m, Q= 17.43 l/s

Tabla 3.4 Resumen de líneas de impulsión en el proyecto.

Fuente: Elaboración propia.

- Troncales estratégica: Cada uno de los reservorios proyectados contará con una Troncal Estratégica de material Hierro Dúctil C40, la troncal estratégica del reservorio RAP-01 será de 200 mm a 100 mm de diámetro, las troncales estratégica del RAP-02, RAP-03, RAP-04 y RAP-05 será de 150 mm a 100 mm de diámetro. Cada una abastecerá a su subsector dentro del área de influencia respectiva de su reservorio, habiéndose definido zonas de presión cada 25 metros. Por lo que a la primera zona de presión se le considerara una cámara de válvulas y a las subsiguientes cámaras reductoras de presión. En la Tabla 3.5 se muestran algunas características técnicas.

Descripción	Condición	Características técnicas
Troncal estratégica del RAP-01	Proyectado	Diámetro de 200 a 100mm, Material HD-C40, Long.: 2944.05m, Qmh= 16.47 l/s
Troncal estratégica del RAP-02	Proyectado	Diámetro de 150 a 100mm, Material HD-C40, Long.: 2347.56m, Qmh= 7.74 l/s
Troncal estratégica del RAP-03	Proyectado	Diámetro de 150 a 100mm, Material HD-C40, Long.: 2362.18m, Qmh= 13.63 l/s
Troncal estratégica del RAP-04	Proyectado	Diámetro de 150 a 100mm, Material HD-C40, Long.: 4420.66m, Qmh= 14.24 l/s

Descripción	Condición	Características técnicas
Troncal estratégica del RAP-05	Proyectado	Diámetro de 150 a 100mm, Material HD-C40, Long.: 1451.53m, Qmh= 13.41 l/s
Troncal estratégica del R-3 Los Ángeles	Mejorado	Diámetro de 100mm, Material HD-C40, Long.: 63.52m

Tabla 3.5 Resumen de Troncales Estratégica en el proyecto.

Fuente: Elaboración propia.

- Redes secundarias de agua potable: Se tiene proyectado la instalación de redes de distribución de agua potable para las redes matrices proyectadas y redes secundarias el material de las tuberías será de Polietileno PEAD y con profundidades que varían de 1.20m a 1.50m. En la Tabla 3.6 y Tabla 3.7 se muestran algunas características técnicas de las redes secundarias proyectadas y mejoradas, respectivamente.

Área de Influencia	Serie de PEAD	DN 63 mm (m)	DN 75 mm (m)	DN 90 mm (m)	DN 110 mm (m)	DN 160 mm (m)
RAP-01	SDR-17, S-8, PN-10	2327.2	0	3678.5	158.2	0
RAP-02	SDR-17, S-8, PN-10	452.9	0	3365.1	785.4	0
	SDR-11, S-5, PN-16	0	0	316	0	0
RAP-03	SDR-17, S-8, PN-10	744.2	0	5174.9	461.5	0
RAP-04	SDR-17, S-8, PN-10	962.4	0	5235.3	1046.6	0
RAP-05	SDR-17, S-8, PN-10	477.1	0	2107.2	1714.9	0
Reserv. Existentes	SDR-17, S-8, PN-10	509.2	168.7	3308.6	1518.1	776.5
TOTAL		5473.0	168.7	23185.6	5684.7	776.5

Tabla 3.6 Resumen de Redes Secundarias de Agua Potable proyectadas en el proyecto.

Fuente: Elaboración propia.

Área de Influencia	Serie de PEAD	DN 90 mm (m)	DN 110 mm (m)
RAP-01	SDR-17, S-8, PN-10	91.8	0
RAP-02	SDR-17, S-8, PN-10	12.2	0
	SDR-11, S-5, PN-16	0	0
RAP-03	SDR-17, S-8, PN-10	209.2	86.4
RAP-04	SDR-17, S-8, PN-10	265	0
RAP-05	SDR-17, S-8, PN-10	0	147
Reserv. Existentes	SDR-17, S-8, PN-10	448.9	0
TOTAL		1027.1	233.4

Tabla 3.7 Resumen de Redes Secundarias de Agua Potable mejoradas en el proyecto.

Fuente: Elaboración propia.

- Conexiones domiciliarias de agua potable: Las conexiones domiciliarias son de DN 15mm de material PEAD, se instalarán dentro del área de estudio. En la Tabla 3.8 se muestran algunas características técnicas.

Área de Influencia	Proyectado	Mejorado	Total
RAP-01	566	0	566
RAP-02	358	0	358
RAP-03	462	20	482
RAP-04	532	29	561
RAP-05	387	10	397
Reserv. Existentes	417	37	454
TOTAL	2722	96	2818

Tabla 3.8 Resumen de Conexiones Domiciliarias de Agua Potable en el proyecto.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 3.7 se muestra las características técnicas de los reservorios proyectados.

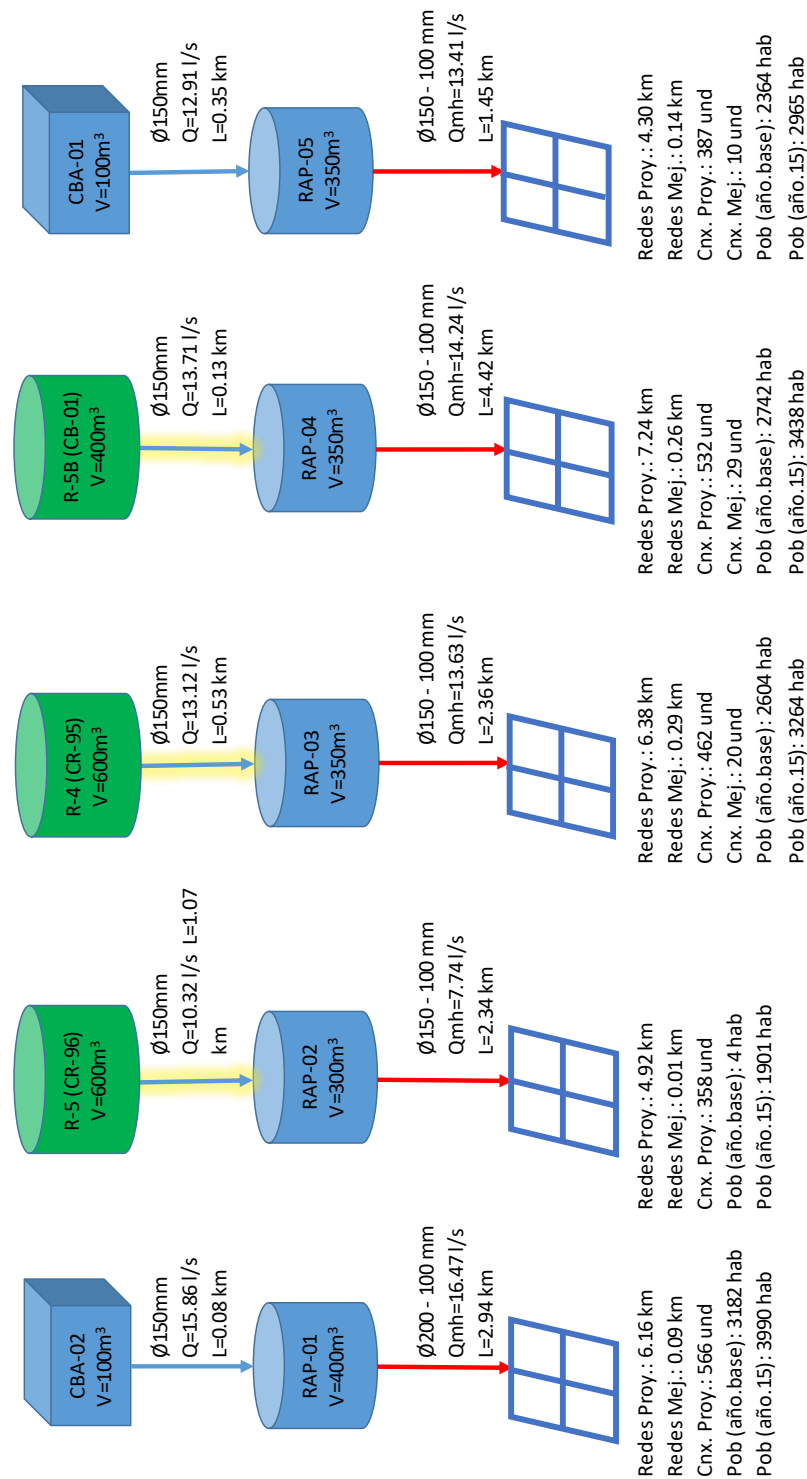


Figura 3.7 Esquema Hidráulico del Sistema de Agua Potable.

Fuente: Elaboración propia.

3.2.4 Sistema de Alcantarillado

A continuación, se abordará brevemente las obras generales de alcantarillado en el proyecto descrito en el presente capítulo. El sistema de alcantarillado para el presente proyecto implica principalmente la proyección de las redes secundarias para las habilitaciones beneficiadas. Asimismo, se instalarán líneas de rebose de 200 mm para los reservorios proyectados.

- Líneas de rebose: Se proyectarán reboses de 200 mm de diámetro material PVC a los reservorios proyectados RAP-01, RAP-02, RAP-03, RAP-04 y RAP-05. En la Tabla 3.9 se muestran algunas características técnicas.

Reservorio	Longitud (m)	Buzones (und)
RAP-01	120.2	10
RAP-02	168.9	11
RAP-03	163.1	13
RAP-04	184.2	18
RAP-05	87.8	8
TOTAL	724.2	60

Tabla 3.9 Resumen de Líneas de Rebose de Alcantarillado en el proyecto.

Fuente: Elaboración propia.

- Líneas de colectores: Se proyectarán colectores de 200 mm de diámetro material PVC-U UF ISO 4435 a los reservorios proyectados RAP-01, RAP-02, RAP-03, RAP-04 y RAP-05. En la Tabla 3.10 se muestran algunas características técnicas.

Reservorio	Material	Longitud (m)	Buzones proyectados (und)	Buzones mejorados (und)
RAP-01	PVC-U UF ISO 4435 SN-2, DN 200mm	250.4	6	2
RAP-02	PVC-U UF ISO 4435 SN-4, DN 200mm	271.3	16	1
RAP-03	PVC-U UF ISO 4435 SN-4, DN 200mm	393.5	24	1
RAP-05	PVC-U UF ISO 4435 SN-4, DN 200mm	293.7	22	1

TOTAL	1208.9	68	5
--------------	---------------	-----------	----------

Tabla 3.10 Resumen de Líneas de Colectores de Alcantarillado en el proyecto.

Fuente: Elaboración propia.

- Redes secundarias de alcantarillado: Se plantea la instalación de redes secundarias proyectadas y mejoradas dentro del área de estudio cuyos diámetros son de DN 110, 160 y 200 mm de material PVC. En la Tabla 3.11 se muestran algunas características técnicas.

Tipo	DN 110 mm (m)	DN 160 mm (m)	DN 200 mm (m)	Total (m)
Convencionales Proyectadas	0	8674.8	11994.0	20668.8
Convencionales Mejoradas	0	24.0	2172.7	2196.7
Condominiales Proyectadas	1149.9	10212.3	20.1	11382.3
Total	1149.9	18911.1	14186.8	34247.8

Tabla 3.11 Resumen de Redes Secundarias de Alcantarillado en el proyecto.

Fuente: Elaboración propia.

- Conexiones domiciliarias de alcantarillado: En la Tabla 3.12 se muestran algunas características técnicas.

Área de Influencia	Convencional		Condominial Proyectado	Total
	Proyectado	Mejorado		
RAP-01	405	2	73	480
RAP-02	146	0	149	295
RAP-03	261	46	152	459
RAP-04	308	9	229	546
RAP-05	48	0	346	394
Reservorios Existentes	405	2	73	388
TOTAL	1338	77	1147	2562

Tabla 3.12 Resumen de Conexiones Domiciliarias de Alcantarillado en el proyecto.

Fuente: Elaboración propia.

3.3 SISTEMA DE CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN DEL PROYECTO

3.3.1 Alcance

La Implementación del sistema de automatización y control comprende el Suministro, Instalación, Pruebas de funcionamiento de equipos, desarrollo de aplicaciones, y la Ingeniería necesaria para la puesta en servicio de este proyecto.

El sistema de control y automatización propuesto permitirá la ejecución de las siguientes aplicaciones desde el Centro de Control:

- Programación a distancia del PLC mediante la Red Ethernet con protocolo TCP/IP.
- Cambios en los parámetros de configuración de los PLC y sensores de campo, en el caso de la instrumentación por bus de campo Profibus DP v1.0.
- Diagnostico remoto a la Estaciones Remotas, PLC y sensores.
- Sistema de comunicación principal (SCP) que soporte la transferencia de datos entre el CC (Centro de Control) utilizará enlaces microondas y las ERs (Estaciones Remotas) utilizando Radios Ethernet de banda licenciada de 400MHz, por donde se transmitirá con protocolo MODBUS TCP.
- Gestión de activos a los equipos e instrumentos del proyecto.
- Administración de la red de comunicación.

3.3.2 Filosofía de control

Para poder entender mejor la filosofía de control de cada una de las estaciones de este proyecto es necesario primero conocer como es la distribución hidráulica porque de esta manera se establecen los tipos de secuencias de control que se utilizaron para este proyecto. La definición de Grupo Hidráulico es el conjunto de estaciones remotas que interactúan entre sí realizando un control hidráulico.

A continuación, se detalla los grupos hidráulicos de los reservorios mostrados en la Figura 3.6 y presentados en el plano del Anexo 5.

Grupo Hidráulico N°1: formado por un reservorio con cámara de bombeo R-2 (CR-294), una cisterna proyectada CBA-01 y un reservorio final RAP-05, las cuales estas son parte del presente proyecto. La Figura 3.8 representa la distribución del grupo hidráulico.

- El reservorio R-2 (CR-294) es abastecida por impulsión desde el CR-293 (que no forma parte del alcance del proyecto), y a la vez esta abastece por impulsión de 2 bombas hacia el RAP-03 y a una cisterna proyectada CBA-01.
- La cisterna CBA-01 abastecerá por impulsión a un reservorio final RAP-05 que a su vez esta descarga por aducción a la población.
- Para control el llenado de la estación existente RAP-03, se consideró la implementación de 02 válvulas de altitud en paralelo (principal + respaldo) con piloto hidráulico e interruptor de posición.

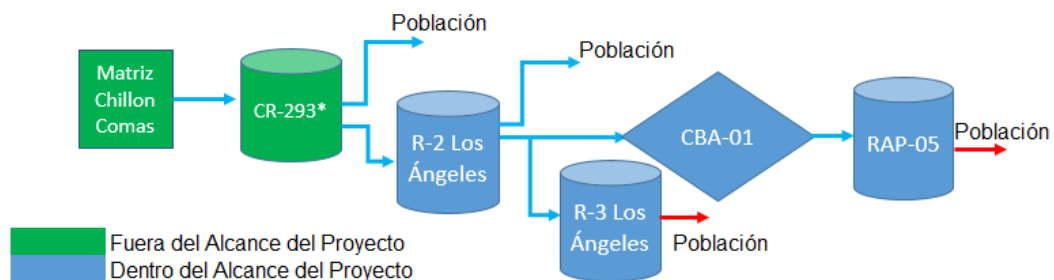


Figura 3.8 Grupo Hidráulico N°1 del proyecto.

Fuente: Elaboración propia.

Grupo Hidráulico N°2: formado por las estaciones R-4 (CR-95), R-5 (CR-96), RAP-02 y RAP-03. La Figura 3.9 representa la distribución del grupo hidráulico.

- La estación R-4(CR-95) es abastecido por conducción desde CES (cámara de Entrada de sector) (que no forma parte del alcance de este proyecto) y actualmente abastece por impulsión hacia R-5(CR-96) (este sistema de impulsión no forma parte del alcance del presente proyecto). Pero se va ampliar el R-4 para construir una cámara de bombeo CB-02 para abastecer por impulsión hacia el RAP-03.
- La estación R-5(CR-96) abastece actualmente por impulsión hacia R-6(CR-97) (este sistema de impulsión no forma parte del alcance del presente proyecto), pero va ampliar el R-5 para construir una cámara de bombeo CB-03 para abastecer por impulsión hacia el RAP-02.

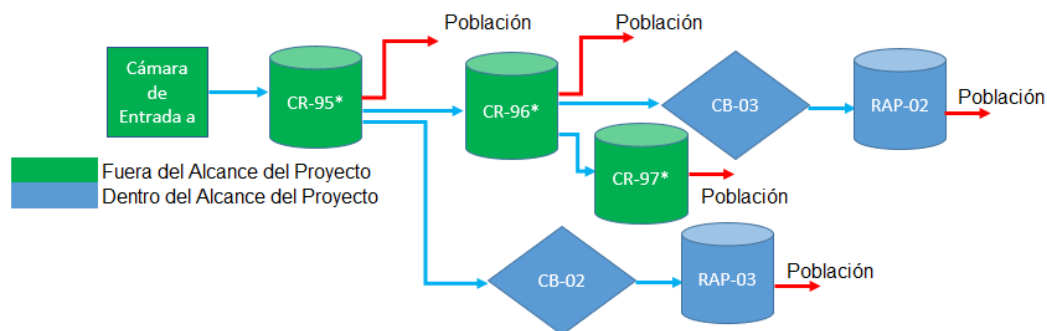


Figura 3.9 Grupo Hidráulico N°2 del proyecto.

Fuente: Elaboración propia.

Grupo Hidráulico N°3: formado por las estaciones RAP-01 Y CBA-02. La Figura 3.10 representa la distribución del grupo hidráulico.

- La estación CBA-02 es abastecido por impulsión desde R-7 (CR-476) (que no forma parte del alcance de este proyecto) y a su vez este CBA-02 abastece por medio de impulsión a una estacione tipo reservorio final RAP-01 la cual descarga a la población por aducción.

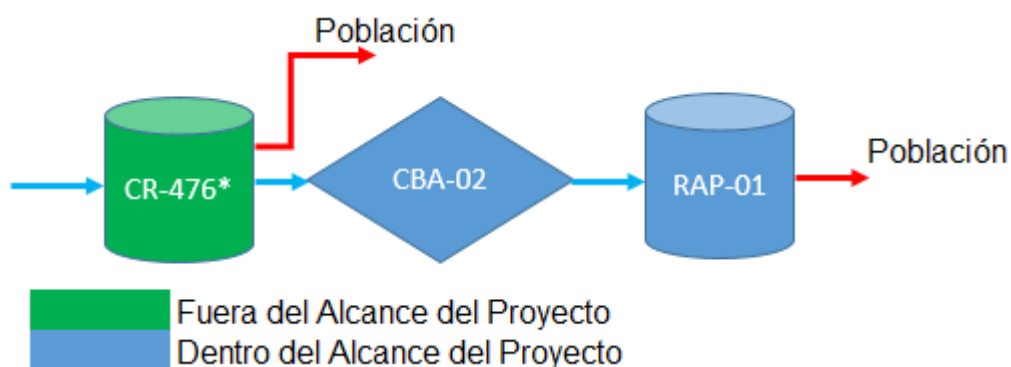


Figura 3.10 Grupo Hidráulico N°3 del proyecto.

Fuente: Elaboración propia.

Grupo Hidráulico N°4: formado por las siguientes estaciones CB-01(R-5B) Y RAP-04. La Figura 3.11 representa la distribución del grupo hidráulico.

- La estación R-5B se va ampliar para la construcción de una Cámara de Bombeo CB-01, el cual abastece por impulsión a un reservorio final RAP-04 la cual descarga a la población será por aducción.

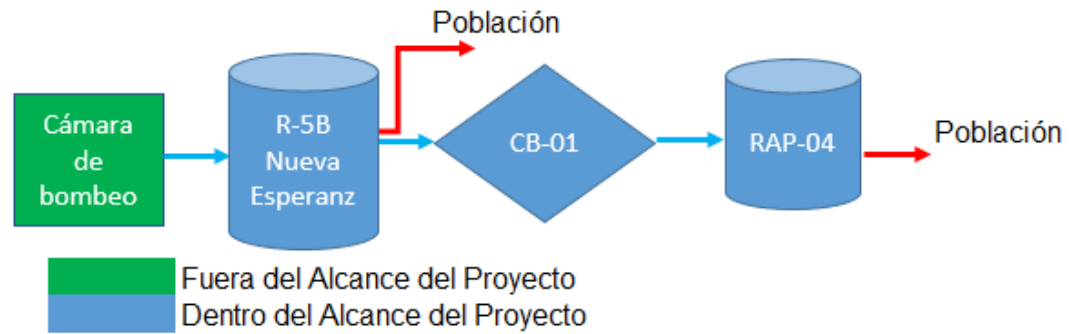


Figura 3.11 Grupo Hidráulico N°4 del proyecto.

Fuente: Elaboración propia.

Como filosofía de control en los sistemas de rebombeo de agua se tienen 2 escenarios:

El primer escenario es con la bomba en funcionamiento por lo que se definirá que la bomba se encienda si es que el nivel de agua en el reservorio destino se encuentre en nivel mínimo, si en una estación de bombeo existen 2 o más bombas en funcionamiento se deberá prender primero aquella que tenga el menor tiempo de funcionamiento acumulado, la diferencia entre encendidos de bomba deberá ser de 3min y se deberán pre-definir una configuración horaria para el encendido o apagado del rebombeo.

- El sistema simulado posee 1 bomba en funcionamiento y 1 bomba en reserva, similar a las líneas de rebombeo entre reservorios del proyecto descrito en el presente capítulo, por lo que la simulación se simplifica a 1 bomba en funcionamiento obviándose el tiempo de 3min entre encendidos de bomba y por simplicidad no se tomó en cuenta la variación horaria del consumo por lo que no se definió una configuración horaria para el rebombeo. En la Figura 3.12 se muestra el diagrama de flujo considerado para el encendido de la bomba en la simulación realizada.

El segundo escenario es con la bomba apagada, por lo que se definirá que la bomba se apague si es que el nivel de agua en el reservorio destino se encuentre en nivel máximo, si en una estación de bombeo existen 2 o más bombas encendidas se deberá apagar primero aquella que tenga el mayor tiempo de funcionamiento acumulado, la diferencia entre apagados de bomba deberá ser de 1min y el apagado deberá ser gradual cerrando la válvula controladora de la

bomba en intervalos de 25%. Otros motivos por los cuales se puede apagar un sistema de bombeo es porque se detecta sobrepresión o subpresión, si se produce una falla en el arrancador de la bomba, problemas con el suministro eléctrico o falla de comunicación de enlace.

- El sistema simulado es un sistema básico, similar a las líneas de bombeo entre reservorios del proyecto descrito en el presente capítulo, por lo que la simulación se simplifica obviándose el tiempo de 1min entre apagados de bombas, en la simulación existe un botón de control para el apagado de la bomba. En la Figura 3.12 se muestra el diagrama de flujo considerado para el encendido de la bomba en la simulación realizada. En la Figura 3.13 se muestra el diagrama de flujo considerado para el apagado de la bomba en la simulación realizada.

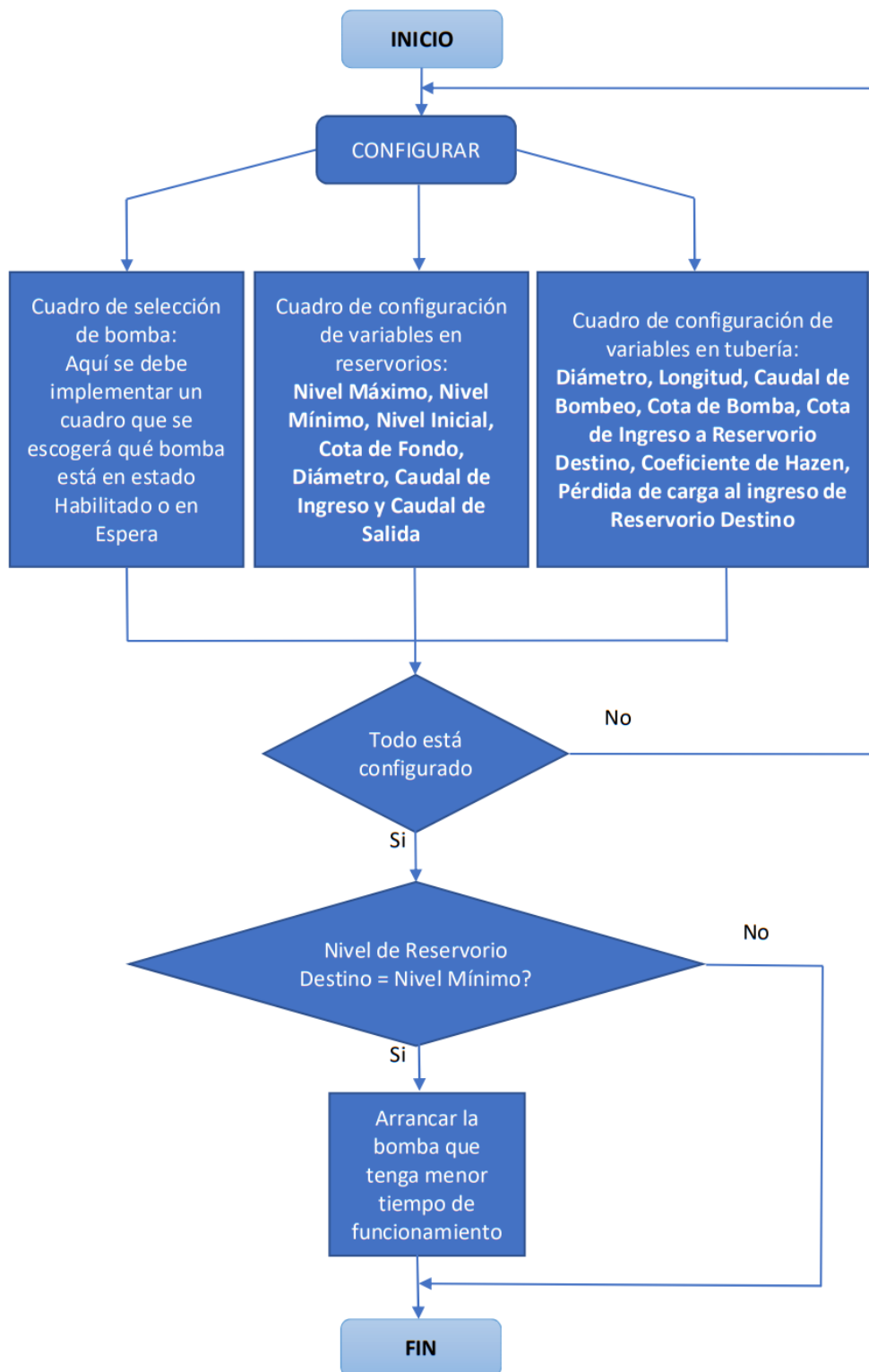


Figura 3.12 Diagrama de flujo del encendido de una bomba en la simulación SCADA.

Fuente: Elaboración propia

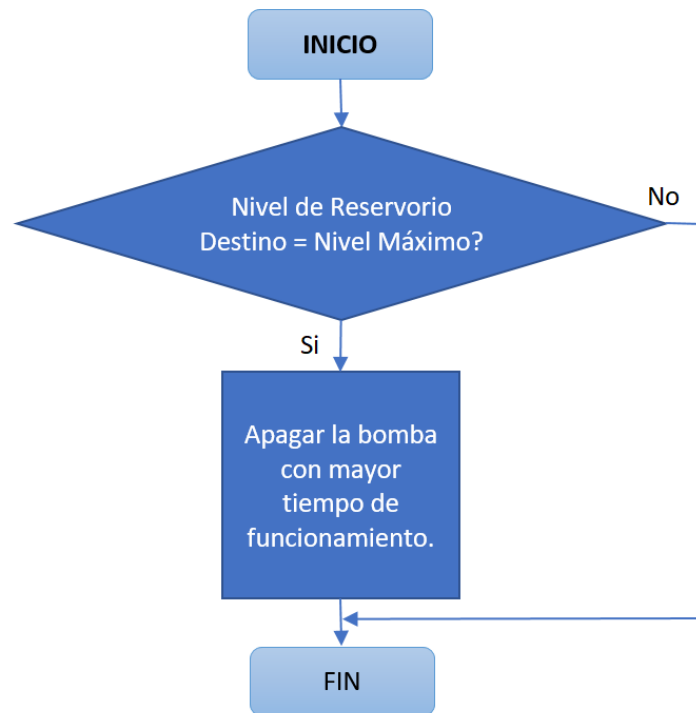


Figura 3.13 Diagrama de flujo del apagado de una bomba en la simulación SCADA.

Fuente: Elaboración propia

Tomando como referencia lo establecido en el documento *GPDA036 Automatización de las estaciones de control del sistema distribución primario por gravedad y bombeo* de SEDAPAL en su anexo D, detalla la filosofía de control que se debe implementar para las estaciones remotas de bombeo de agua potable.

A continuación, en la Tabla 3.13 se indica la Secuencia a Implementar por Estación Remota.

ESTACIONES	SECUENCIA A IMPLEMENTAR
RAP-01	Proceso automático- llenado de reservorio destino por bombeo
RAP-02	Proceso automático- llenado de reservorio destino por bombeo
RAP-03	Proceso automático- llenado de reservorio destino por bombeo
RAP-04	Proceso automático- llenado de reservorio destino por bombeo

ESTACIONES	SECUENCIA A IMPLEMENTAR
RAP-05	Proceso automático- llenado de reservorio destino por rebombeo
CBA-01 (R-3)	Proceso automático- llenado de reservorio destino por rebombeo
CBA-02 (R-01)	Proceso automático- llenado de reservorio destino por rebombeo
R-2 (CR-294)	Proceso automático- llenado de reservorio destino por rebombeo
R-4 (CR-95)/ CB-02	Proceso automático- llenado de cisterna por conducción (gravedad)
R-5 (CR-96)/CB-03	Proceso automático- llenado de reservorio destino por rebombeo
R-5B / CB-01	Proceso automático- llenado de reservorio destino por rebombeo

Tabla 3.13 Resumen de Secuencias a Implementar en Estaciones Remotas en el proyecto.

Fuente: Elaboración propia.

Se recomienda revisar el **Anexo 6 Proceso automático – llenado de reservorio destino mediante reservorio fuente por rebombeo** donde se detallan los procesos y condiciones del proceso automático de llenado de reservorio destino mediante un reservorio fuente.

3.3.3 Equipamiento para Estaciones Remotas

En cada una de estas estaciones se instalará instrumentos para medir el nivel, caudal y presión de tal manera que se pueda monitorear y controlar el llenado y descarga automático de estos reservorios y/o cisterna.

Para garantizar la automatización en los reservorios de cabecera (RAP-01, RAP-02, RAP-03, RAP-04 y RAP-05) se consideró la siguiente implementación:

- Tablero de Distribución (TD): Alimentación de 230 Vac para servicios (1und).
- Tablero Rectificador (TR): Alimentar con 24 Vdc al TC (1und).
- Tablero de Automatización y Control (TAC): Controlar las variables de funcionamiento de la estación como nivel y caudal (1und).

- Caja de conexiones (JB/OX): Incluye repetidor para red Profibus DP.
- Transmisor de nivel (LIT): Medir nivel del reservorio (1und).
- Manómetro dial 4" (PI): Lectura de presión relativa manual para estimar la altura de nivel del reservorio de 0 – 1 bar (1und).
- Sensor transmisor e indicador de caudal en aducción (FE/FIT): Medir caudal en línea de aducción (1und).
- Switch de rebose (LSHH): Detecta nivel muy alto del reservorio y previene rebose (1und).
- Sensor detector de intrusos (YE): Detecta el ingreso de intrusos a la caseta de válvulas (1und).
- Sirena luminosa y sonora (YA): Alarma sonora y visual (1und).
- Tablero de Telemetría (TT) y Sistema de Transmisión inalámbrica: Establecer un enlace de comunicación inalámbrica (1und).

Para garantizar la automatización en los reservorios de bombeo (R-2 Los Ángeles, R-4 Collique, R-5 Collique, R-5B Nueva Esperanza) se consideró la siguiente implementación:

- Tablero Rectificador (TR): Alimentar con 24 Vdc al TC (1und).
- Tablero de Automatización y Control (TAC): Controlar las variables de funcionamiento de la estación como presión, nivel y caudal. Además del arranque y parada de las bombas (1und).
- Manómetro dial 4" (PI): Lectura de presión relativa manual para estimar la altura de nivel del reservorio de 0 – 1 bar (1und) y de 0 – 10 bar (3und).
- Caja de conexiones (JB/OX): Incluye repetidor para red Profibus DP (2und).
- Switch de rebose (LSHH): Detecta nivel muy alto del reservorio y previene rebose (1und).
- Sensor detector de intrusos (YE): Detecta el ingreso de intrusos a la caseta de válvulas (1und).
- Sirena luminosa y sonora (YA): Alarma sonora y visual (1und).
- Tablero de Telemetría (TT) y Sistema de Transmisión inalámbrica: Establecer un enlace de comunicación inalámbrica (1und).
- Transmisor de nivel (LE/LIT): Medir nivel del reservorio (1und).
- Controlador de nivel con boyas (LSH/LSL/LC): Respaldo de medición del nivel mínimo y máximo del reservorio (2und).

- Sensor de presión (PIT): Medir la presión en cada tubería de salida de la bomba 0 – 1 bar (1und) y de 0 – 10 bar (1und).
- Presostato de seguridad (PSH): Indicar la presión máxima seteada en la tubería línea de impulsión para detener el sistema arranque del motor (1und).

Para garantizar la automatización en las cisternas (CBA-01 y CBA-02) se consideró la siguiente implementación:

- Tablero Rectificador (TR): Alimentar con 24 Vdc al TC (1und).
- Tablero de Automatización y Control (TAC): Controlar las variables de funcionamiento de la estación como presión, nivel y caudal. Además del arranque y parada de las bombas (1und).
- Sensor de nivel ultrasónico (LE/LIT): Medir nivel de cisterna (1und).
- Caja de conexiones (JB/OX): Incluye repetidor para red Profibus DP (2und).
- Controlador de nivel con boyas (LSH/LSL/LC): Respaldo de medición del nivel mínimo y máximo de la cisterna (2und).
- Sensor de presión (PIT): Medir la presión en cada tubería de salida de la bomba (1und) y de 0 – 10 bar (1und).
- Presostato de seguridad (PSH): Indicar la presión máxima seteada en la tubería línea de impulsión para detener el sistema arranque del motor (1und).
- Switch de rebose (LSHH): Detecta nivel muy alto de la cisterna y previene rebose (1und).
- Sensor detector de intrusos (YE): Detecta el ingreso de intrusos a la caseta de válvulas (1und).
- Sirena luminosa y sonora (YA): Alarma sonora y visual (1und).
- Tablero de Telemetría (TT) y Sistema de Transmisión inalámbrica: Establecer un enlace de comunicación inalámbrica (1und).

Se recomienda revisar el **Anexo 7 Plano Diagrama de tuberías e instrumentación P&ID típico** donde se visualiza diagramas de tuberías, instrumentos y válvulas incluyendo símbolos de PLC y otros del SCADA.

3.3.4 Telemetría

Hablar sobre algunas consideraciones de telemetría

Los reservorios RAP-02, RAP-03, RAP-05, RPT-01 y el CC.SS. Comas poseen torres autosoportadas de 18, 17, 17, 30 y 9 metros de altura mientras que la CBA-01, RAP-01, RAP-04, R-4 Collique y R-5 Collique poseen torres ventadas. En la Tabla 3.14 se presentan los tipos de enlace en cada estación.

Enlaces	Origen	Destino	Tipo de Enlace
1	C.S. Comas (M)	RPT-01	6Ghz <> 40Ghz
2	RPT-01	RAP-05	6Ghz <> 40Ghz
3	RAP-05	CBA-01	400Mhz
4	CBA-01	R-2(CR-294)	Fibra Óptica
5	RAP-05	RAP-04	400Mhz
6	RAP-04	R-5(CB-01)	Fibra Óptica
7	RPT-01	RAP-03	6Ghz <> 40Ghz
8	RAP-03	R-4(CR-95)	400Mhz
9	RAP-03	RAP-02	6Ghz <> 40Ghz
10	RAP-02	R-5 (CR-96)	400Mhz
11	R-5 (CR-96)	RAP-01	400Mhz
12	RAP-01	CBA-02	Fibra Óptica

Tabla 3.14 Resumen de enlaces de punto a punto para estaciones locales y CCSS Comas en el proyecto.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 3.14 se muestra el esquema de la Arquitectura de Comunicación del proyecto descrito.

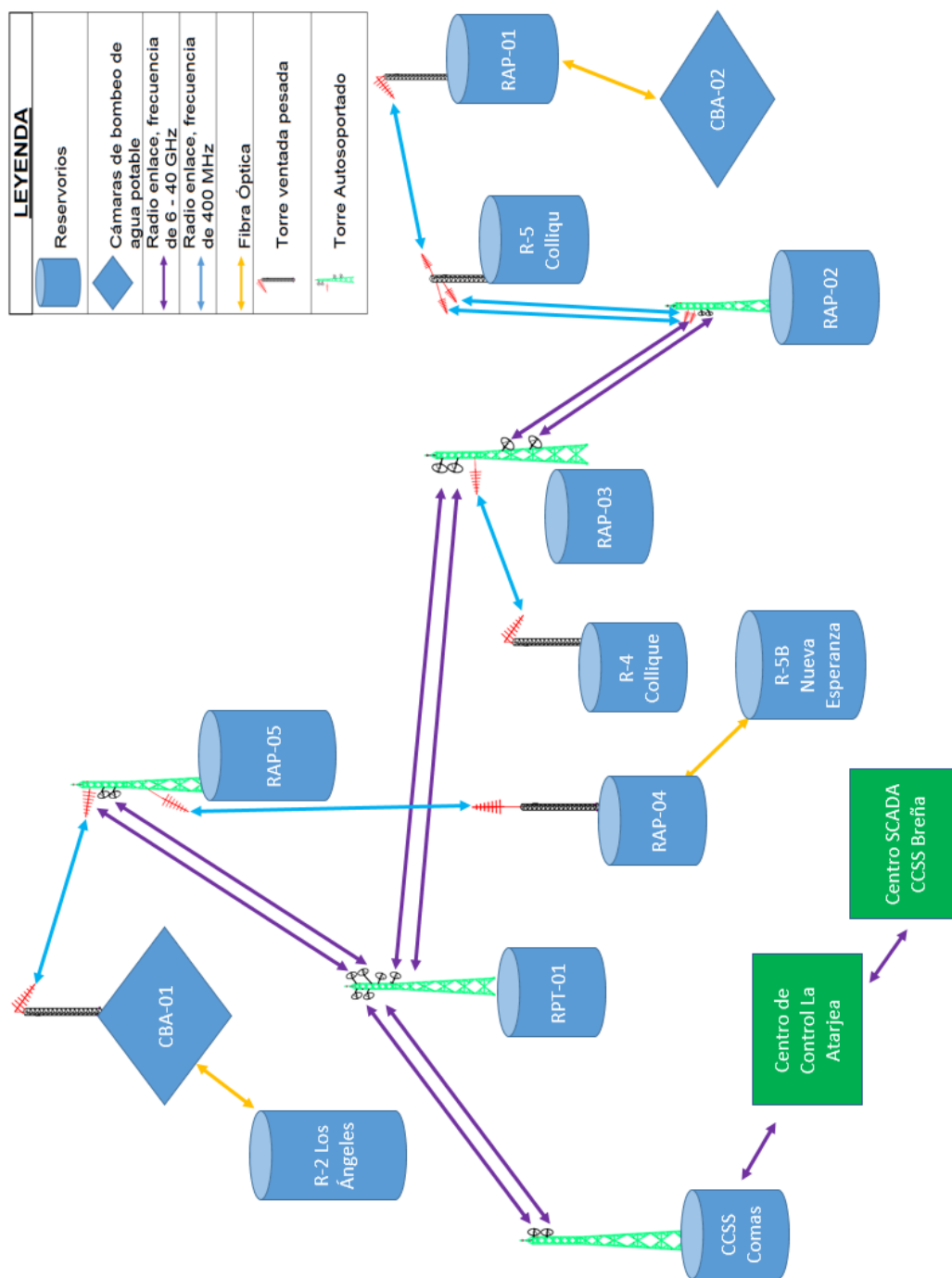


Figura 3.14 Esquema de Arquitectura de Comunicación del proyecto.

Fuente: Elaboración propia.

Se recomienda revisar el **Anexo 8 Vista de SCADA en reservorio R-04** donde se visualiza la pantalla de control del SCADA en la Estación Remota R-04 Collique.

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DEL SISTEMA DE REBOMBEO DE AGUA CON MEDICIÓN SCADA

En este capítulo, se realizará una simulación del sistema de bombeo entre reservorios del proyecto descrito en el capítulo 3 (ver Figura 3.6 y presentados en el plano del Anexo 5). Las líneas de bombeo a analizar son del R-05 al RAP-02, R-04 al RAP-03 y R-5B al RAP-04 verificándose el diseño hidráulico, se realizará análisis de golpe de ariete con el software Hammer v10.01.01.04 y se realizará una simulación básica del sistema SCADA con el software LabVIEW v20.0.1.

4.1 ANÁLISIS HIDRÁULICO DE LAS LÍNEAS DE REBOMBEO ENTRE RESERVORIOS

Se realizó el análisis hidráulico de las líneas de bombeo entre reservorios teniendo en consideración lo siguiente:

- Caudales máximo diarios en el año 20 obtenidos de la demanda del proyecto.
- Tubería de Hierro Dúctil C-40.
- Periodo de diseño de 20 años.
- Tasa costo de oportunidad igual a 8% (obtenido del Ministerio de Economía y Finanzas).
- Criterio de velocidad recomendable en líneas de impulsión de 0.6 m/s a 1.2 m/s.
- Densidad del agua igual a 1000 kg/m³.
- Eficiencia promedio de bomba igual a 77%.
- Las Ecuación 2.16, Ecuación 2.17, Ecuación 2.18, Ecuación 2.19, Ecuación 2.20 y Ecuación 2.21 sugeridas por el autor para el análisis económico en cada línea y obtener el diámetro que sea más económico de cada sistema de bombeo analizado.
- 01 bomba de reserva para cada línea de bombeo.

En base a las consideraciones realizadas se obtuvieron resultados que serán verificados, en el siguiente título, la posible ocurrencia del fenómeno de golpe de ariete en el software Hammer v10.01.01.04.

4.1.1 Línea de rebombeo de R-05 al RAP-02

Se proyecta la línea de rebombeo (ver Figura 4.1) del reservorio R-05 Collique (CR-96) hacia el reservorio RAP-02 con caudal de bombeo igual a 10.46 l/s por 13 horas diarias, la longitud de rebombeo es de 1078.10 metros, de material Hierro Dúctil con diámetro igual a 150mm.

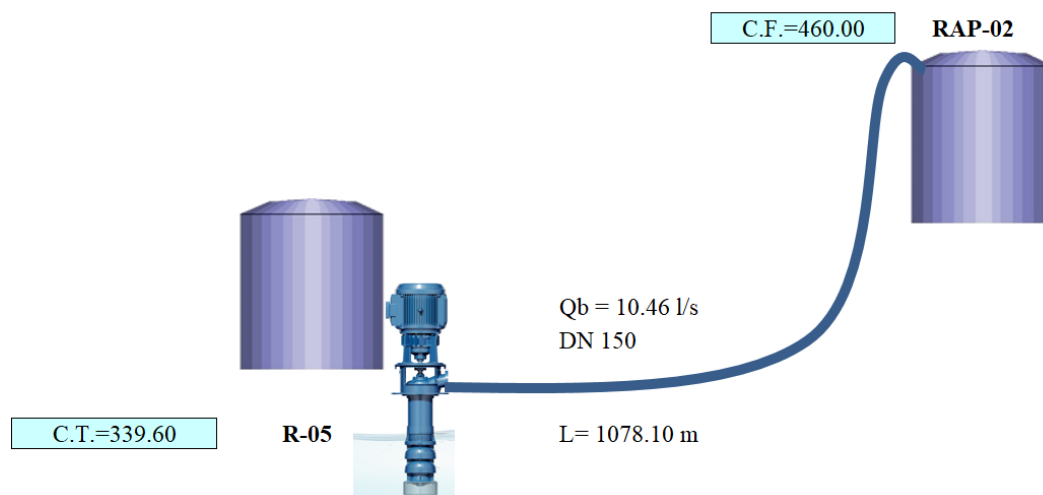


Figura 4.1 Esquema de rebombeo del R-05 al RAP-02.

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 4.1 se muestran los resultados técnicos y económicos del análisis realizado al tramo R-05 al RAP-02.

RESULTADOS TÉCNICOS TRAMO: R-05 - RAP-02

N°	Díámetro Nominal (mm)	Díámetro Interno (mm)	Velocidad (m/s)	Pendiente S (m/Km)	Pérdida por Fricción hf (m)	Pérdida Local hk (m)	Pérdida Total ht (m)	Altura Estática H (m)	Altura Dinámica HDT (m)	Potencia de Bomba (HP)	Potencia Instalada de Bomba (HP)
1	200	200	0.33	0.89	0.68	0.28	0.96	126.40	130.86	23.40	25.74
2	150	150	0.59	3.36	2.73	0.89	3.62	126.40	133.52	23.87	26.26
3	100	100	1.33	22.40	19.64	4.51	24.15	126.40	154.05	27.55	30.31
4	80	80	2.08	64.20	58.17	11.04	69.21	126.40	199.11	35.60	39.16
5	60	60	3.70	251.24	235.94	34.92	270.86	126.40	400.76	71.66	78.83

2 Se escoge la tubería de 150 mm, debido a que la tubería de 100 mm genera demasiada pérdida de carga por la fuerte longitud de la línea de impulsión y la alta carga estática siendo con la tubería de 150 mm una altura dinámica menor por 20 metros lo que genera menos riesgos en el funcionamiento de la bomba.

RESULTADOS ECONÓMICO TRAMO: R-05 - RAP-02

N°	Díámetro Nominal (mm)	Díámetro Interno (mm)	Costo de Tubería (T. Semirocoso) (s/.)	Costo de Adquisición de Bomba (s/.)	Costo de Energía de Funcionamiento para el Bombeo (s/.)	Costo de Mantenimiento (s/.)	Costo Total (s/.)
1	200	200	S/ 526,630.29	S/ 55,285.55	S/ 40,263.14	S/ 8,052.63	S/ 630,231.61
2	150	150	S/ 456,230.36	S/ 56,027.77	S/ 41,071.84	S/ 8,214.37	S/ 561,544.34
3	100	100	S/ 417,850.00	S/ 61,682.37	S/ 47,403.82	S/ 9,480.76	S/ 536,416.95
4	80	80	S/ 411,463.33	S/ 73,251.73	S/ 61,255.03	S/ 12,251.01	S/ 558,221.10
5	60	60	S/ 410,199.80	S/ 117,101.95	S/ 123,301.55	S/ 24,660.31	S/ 675,263.61

Tabla 4.1 Resultados técnicos y económicos del rebombeo R-05 al RAP-02.

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a los resultados técnicos y económicos se escoge la tubería de 150 mm, debido a que la tubería de 100 mm genera demasiada pérdida de carga por la fuerte longitud de la línea de impulsión y la alta carga estática siendo con la tubería de 150 mm una altura dinámica menor por 20 metros lo que genera menos riesgos en el funcionamiento de la bomba. Se deberá usar 01 bomba en funcionamiento y 01 bomba de reserva, ambas con potencia de 30 HP.

4.1.2 Línea de bombeo de R-04 al RAP-03

Se proyecta la línea de bombeo (ver Figura 4.2) del reservorio R-04 Collique (CR-95) hacia el reservorio RAP-03 con caudal de bombeo igual a 13.28 l/s por 18 horas diarias, la longitud de bombeo es de 529.20 metros, de material Hierro Dúctil con diámetro igual a 150mm.

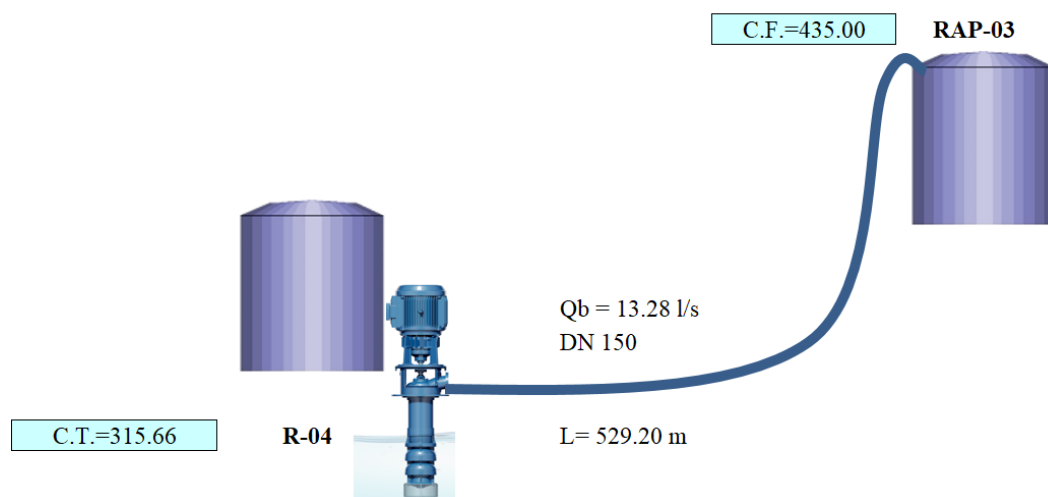


Figura 4.2 Esquema de bombeo del R-04 al RAP-03.

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 4.2 se muestran los resultados técnicos y económicos del análisis realizado al tramo R-04 al RAP-03.

RESULTADOS TÉCNICOS TRAMO: R-04 - RAP-03

N°	Diámetro Nominal (mm)	Diámetro Interno (mm)	Velocidad (m/s)	Pendiente S (m/Km)	Pérdida por Fricción hf (m)	Pérdida Local hk (m)	Pérdida Total ht (m)	Altura Estática H (m)	Altura Dinámica HDT (m)	Potencia de Bomba (HP)	Potencia Instalada de Bomba (HP)
1	250	250	0.27	0.68	0.17	0.19	0.36	129.74	133.60	30.32	33.35
2	200	200	0.42	1.83	0.52	0.45	0.97	129.74	134.21	30.46	33.51
3	150	150	0.75	6.67	2.10	1.43	3.53	129.74	136.77	31.04	34.14
4	100	100	1.69	42.23	15.06	7.29	22.35	129.74	155.59	35.31	38.84
5	80	80	2.64	117.82	44.57	17.78	62.35	129.74	195.59	44.39	48.83

3 Se escoge la tubería de 150 mm por cumplir con el criterio de velocidad, tener baja pérdida de carga y presentar un costo óptimo.

RESULTADOS ECONÓMICOS TRAMO: R-04 - RAP-03

N°	Diámetro Nominal (mm)	Diámetro Interno (mm)	Costo de Tubería (T. Semiroscoso) (s/.)	Costo de Adquisición de Bomba (s/.)	Costo de Energía de Funcionamiento para el Bombeo (s/.)	Costo de Mantenimiento (s/.)	Costo Total (s/.)
1	250	250	S/ 308,777.62	S/ 65,775.34	S/ 72,235.40	S/ 14,447.08	S/ 461,235.44
2	200	200	S/ 258,503.62	S/ 65,978.86	S/ 72,568.94	S/ 14,513.79	S/ 411,565.21
3	150	150	S/ 223,946.86	S/ 66,818.73	S/ 73,950.75	S/ 14,790.15	S/ 379,506.49
4	100	100	S/ 205,107.34	S/ 72,851.03	S/ 84,123.75	S/ 16,824.75	S/ 378,906.87
5	80	80	S/ 201,972.36	S/ 84,934.66	S/ 105,756.25	S/ 21,151.25	S/ 413,814.52

Tabla 4.2 Resultados técnicos y económicos del bombeo R-04 al RAP-03.

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a los resultados técnicos y económicos se escoge la tubería de 150 mm por cumplir con el criterio de velocidad, tener baja pérdida de carga y presentar un costo óptimo. Se deberá usar 01 bomba en funcionamiento y 01 bomba de reserva, ambas con potencia de 40 HP.

4.1.3 Línea de bombeo de R-5B al RAP-04

Se proyecta la línea de bombeo (ver Figura 4.3) del reservorio R-5B Nueva Esperanza hacia el reservorio RAP-04 con caudal de bombeo igual a 13.87 l/s por 18 horas diarias, la longitud de bombeo es de 128.50 metros, de material Hierro Dúctil con diámetro igual a 150mm.

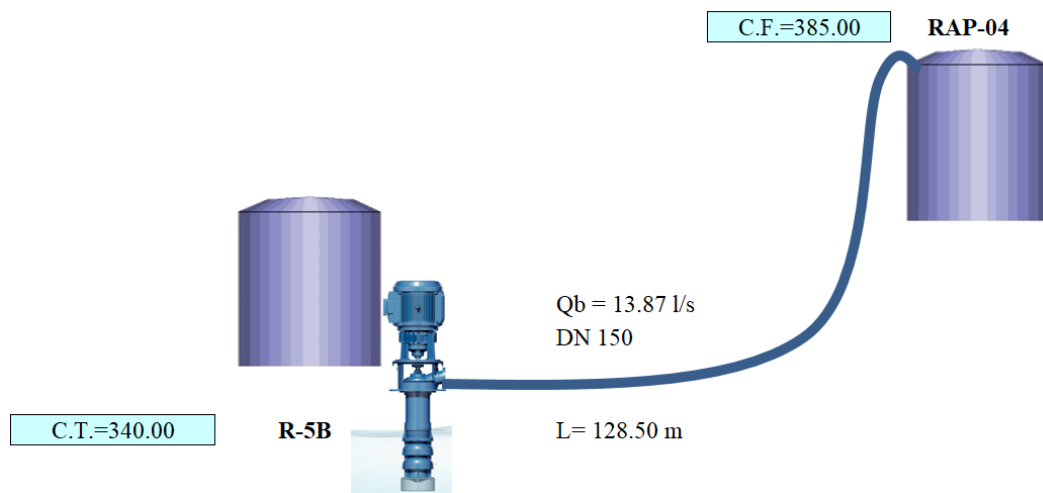


Figura 4.3 Esquema de bombeo del R-5B al RAP-04.

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 4.3 se muestran los resultados técnicos y económicos del análisis realizado al tramo R-5B al RAP-04.

RESULTADOS TÉCNICOS TRAMO: R-5B - RAP-04

N°	Díámetro Nominal (mm)	Díámetro Interno (mm)	Velocidad (m/s)	Pendiente S (m/Km)	Pérdida por Fricción hf (m)	Pérdida Local hk (m)	Pérdida Total ht (m)	Altura Estática H (m)	Altura Dinámica HDT (m)	Potencia de Bomba (HP)	Potencia Instalada de Bomba (HP)
1	250	250	0.28	1.95	0.05	0.2	0.25	51.80	55.55	13.16	14.48
2	200	200	0.44	4.90	0.14	0.49	0.63	51.80	55.93	13.25	14.58
3	150	150	0.78	16.50	0.57	1.55	2.12	51.80	57.42	13.61	14.97
4	100	100	1.77	93.93	4.08	7.99	12.07	51.80	67.37	15.96	17.56
5	80	80	2.76	244.75	12.02	19.43	31.45	51.80	86.75	20.56	22.62
3	Se escoge la tubería de 150 mm por cumplir con el criterio de velocidad, tener baja pérdida de carga y presentar el costo más óptimo.										

RESULTADOS ECONÓMICOS TRAMO: R-5B - RAP-04

N°	Díámetro Nominal (mm)	Díámetro Interno (mm)	Costo de Tubería (T. Rocosos) (s/.)	Costo de Adquisición de Bomba (s/.)	Costo de Energía de Funcionamiento o para el (s/.)	Costo de Mantenimiento (s/.)	Costo Total (s/.)
1	250	250	S/ 106,011.86	S/ 37,582.75	S/ 31,352.83	S/ 6,270.57	S/ 181,218.01
2	200	200	S/ 90,588.65	S/ 37,754.91	S/ 31,567.25	S/ 6,313.45	S/ 166,224.26
3	150	150	S/ 76,431.16	S/ 38,439.77	S/ 32,424.93	S/ 6,484.99	S/ 153,780.85
4	100	100	S/ 63,539.40	S/ 42,772.97	S/ 38,023.65	S/ 7,604.73	S/ 151,940.75
5	80	80	S/ 58,737.09	S/ 50,690.76	S/ 48,982.84	S/ 9,796.57	S/ 168,207.26

Tabla 4.3 Resultados técnicos y económicos del rebombeo R-5B al RAP-04.

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a los resultados técnicos y económicos se escoge la tubería de 150 mm por cumplir con el criterio de velocidad, tener baja pérdida de carga y presentar el costo más óptimo. Se deberá usar 01 bomba en funcionamiento y 01 bomba de reserva, ambas con potencia de 20 HP.

Se recomienda revisar el **Anexo 9 Análisis técnico – económico de líneas de bombeo de agua potable** donde se muestra la hoja de cálculo realizada para la obtención de los resultados descritos en el presente título.

4.2 ANÁLISIS DE FENÓMENOS TRANSITORIOS

Los fenómenos transitorios como el golpe de ariete son los que más afectan los sistemas de bombeo y/o rebombeo debido a que dañan directamente la bomba si no cuentan con los correctos sistemas de protección.

En éste título se analizarán las líneas de rebombeo de agua potable con el software de ingeniería Hammer v10.01.01.04 evaluándose el sistema en régimen permanente como así también en régimen transitorio mediante la parada de bomba en un tiempo de retardo de 5 segundos.

4.2.1 Línea de rebombeo de R-05 al RAP-02

Se realizó el análisis de la línea de rebombeo proyectada del reservorio R-05 al RAP-02. En la Tabla 4.4 se presentan las características hidráulicas de la línea de rebombo consideradas para el análisis en el software.

Características	Valor
Material de Tubería	HD C-40
Diámetro nominal (mm)	150
Longitud de impulsión (m)	1077.64
Cota de succión (m.s.n.m.)	339.60
Cota de descarga (m.s.n.m.)	465.95
Caudal de bombeo (lt/s)	10.50
Altura Dinámica Total (m.c.a.)	133.50
Arreglo de bombas	1 en funcionamiento + 1 en reserva

Tabla 4.4 Características hidráulicas de la línea de rebombeo R-05 al RAP-02.

Fuente: Elaboración propia.

En el escenario sin válvula anticipadora de onda se observa que no existe sobrepresión ni subpresión que pueda perjudicar el sistema sin ningún dispositivo de control. En la Figura 4.4 se muestra el perfil de la línea de bombeo representada por la línea verde, el gradiente transitorio máximo y mínimo están representados por la línea roja y azul, respectivamente.

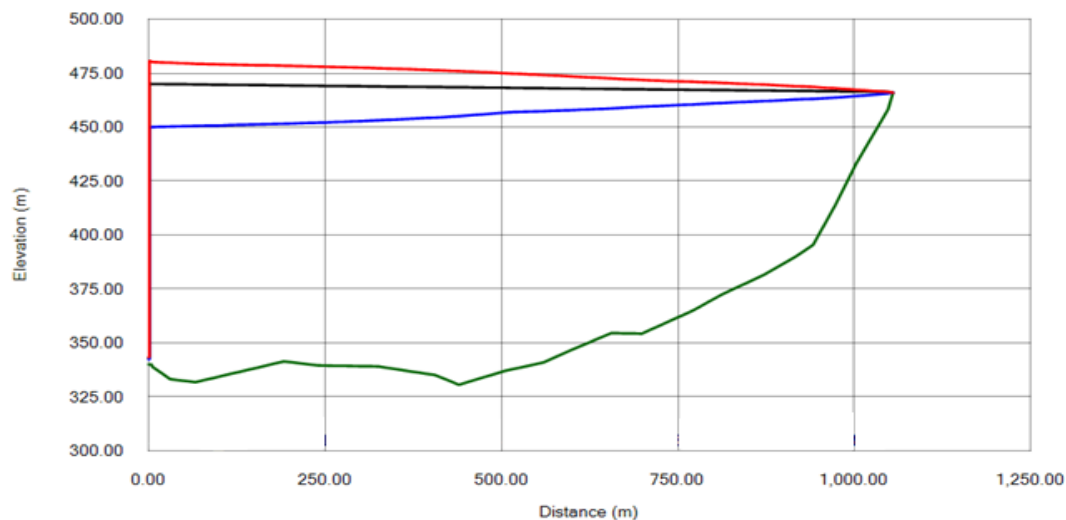


Figura 4.4 Perfil de la línea de bombeo del R-05 al RAP-02 sin válvula anticipadora de onda.

Fuente: Elaboración propia

En el escenario con válvula anticipadora de onda se observa que, debido a la poca sobrepresión, la válvula anticipadora de onda no influye significativamente en el sistema ya que la sobrepresión es mínima, la presión umbral diferencial que se estableció a la válvula fue de 10 mca. En la Figura 4.5 se muestra el perfil de la línea de bombeo representada por la línea verde, el gradiente transitorio máximo y mínimo están representados por la línea roja y azul, respectivamente.

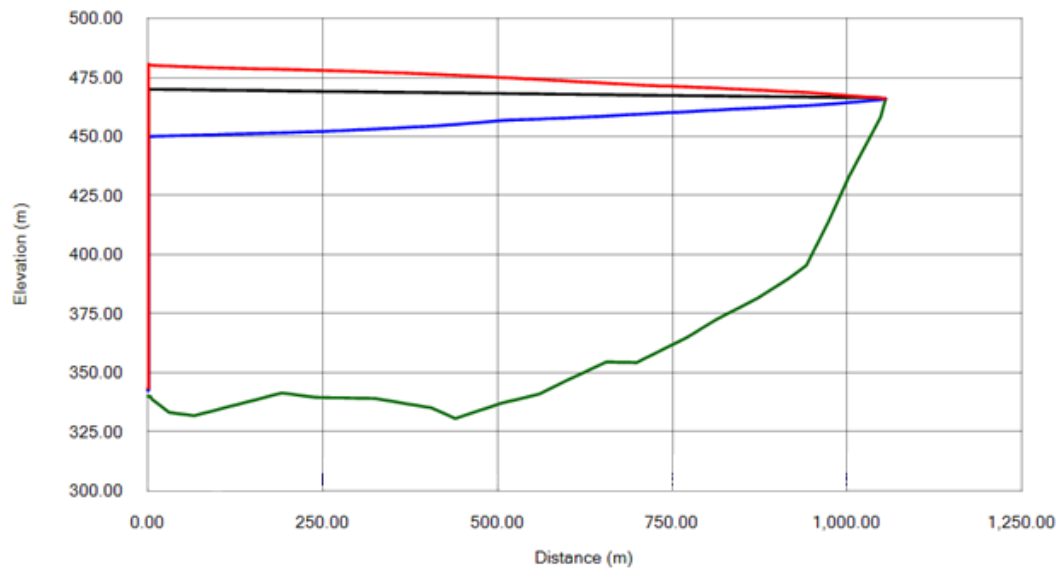


Figura 4.5 Perfil de la línea de bombeo del R-05 al RAP-02 con válvula anticipadora de onda.

Fuente: Elaboración propia

4.2.2 Línea de bombeo de R-04 al RAP-03

Se realizó el análisis de la línea de bombeo proyectada del reservorio R-04 al RAP-03. En la Tabla 4.5 se presentan las características hidráulicas de la línea de bombeo consideradas para el análisis en el software.

Características	Valor
Material de Tubería	HD C-40
Diámetro nominal (mm)	150
Longitud de impulsión (m)	529.91
Cota de succión (m.s.n.m.)	315.66
Cota de descarga (m.s.n.m.)	441.75
Caudal de bombeo (lt/s)	13.50
Altura Dinámica Total (m.c.a.)	136.70
Arreglo de bombas	1 en funcionamiento + 1 en reserva

Tabla 4.5 Características hidráulicas de la línea de bombeo R-04 al RAP-03.

Fuente: Elaboración propia.

En el escenario sin válvula anticipadora de onda se observa que no existe sobrepresión ni subpresión que pueda perjudicar el sistema sin ningún dispositivo de control. En la Figura 4.6 se muestra el perfil de la línea de bombeo representada por la línea verde, el gradiente transitorio máximo y mínimo están representados por la línea roja y azul, respectivamente.

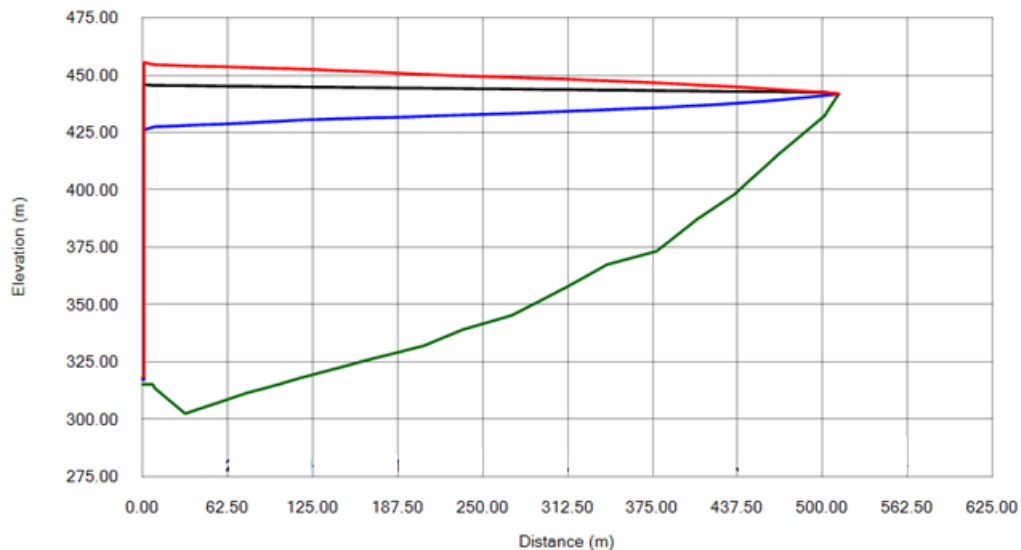


Figura 4.6 Perfil de la línea de bombeo del R-04 al RAP-03 sin válvula anticipadora de onda.

Fuente: Elaboración propia

En el escenario con válvula anticipadora de onda se observa que, debido a la poca sobrepresión generada por el golpe de ariete, la válvula anticipadora de onda no influye significativamente en el sistema ya que la sobrepresión es mínima, la presión umbral diferencial que se estableció a la válvula fue de 10 mca. En la Figura 4.7 se muestra el perfil de la línea de bombeo representada por la línea verde, el gradiente transitorio máximo y mínimo están representados por la línea roja y azul, respectivamente.

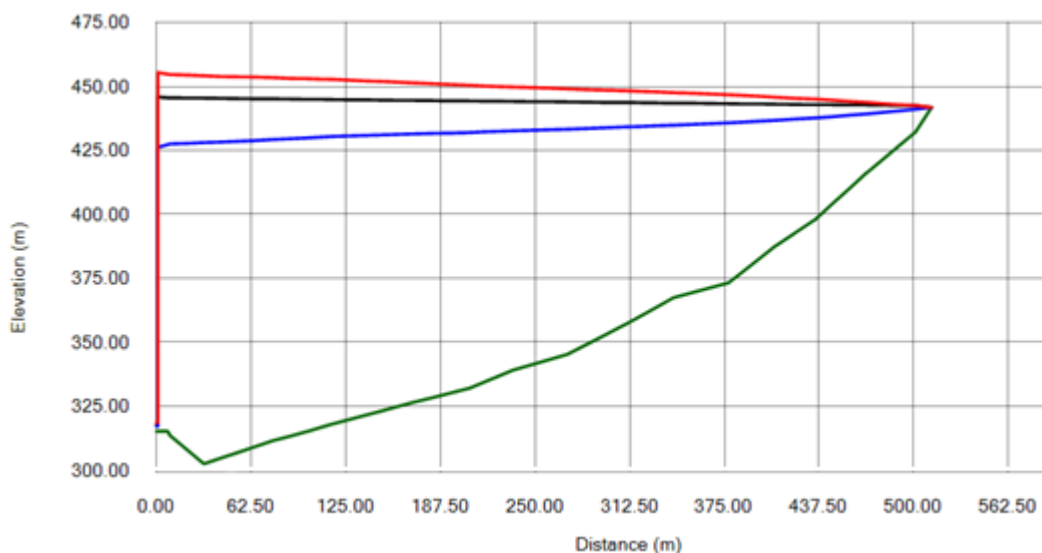


Figura 4.7 Perfil de la línea de bombeo del R-04 al RAP-03 con válvula anticipadora de onda.

Fuente: Elaboración propia

4.2.3 Línea de rebombeo de R-5B al RAP-04

Se realizó el análisis de la línea de rebombeo proyectada del reservorio R-5B al RAP-04. En la Tabla 4.6 se presentan las características hidráulicas de la línea de rebombo consideradas para el análisis en el software.

Características	Valor
Material de Tubería	HD C-40
Diámetro nominal (mm)	150
Longitud de impulsión (m)	128.28
Cota de succión (m.s.n.m.)	340.00
Cota de descarga (m.s.n.m.)	391.75
Caudal de bombeo (lt/s)	14.00
Altura Dinámica Total (m.c.a.)	82.50
Arreglo de bombas	1 en funcionamiento + 1 en reserva

Tabla 4.6 Características hidráulicas de la línea de rebombeo R-5B al RAP-04.

Fuente: Elaboración propia.

En el escenario sin válvula anticipadora de onda se observa que el incremento de la presión es despreciable, prácticamente no se genera golpe de ariete, esto debido a las características del sistema. En la Figura 4.8 se muestra el perfil de la línea de rebombeo representada por la línea verde, el gradiente transitorio máximo y mínimo están representados por la línea roja y azul, respectivamente.

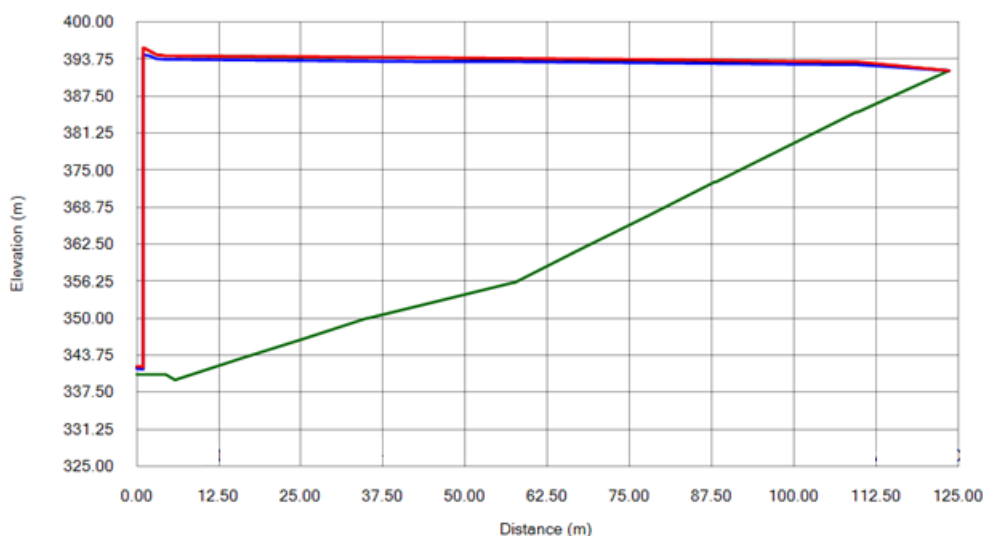


Figura 4.8 Perfil de la línea de rebombeo del R-5B al RAP-04 sin válvula anticipadora de onda.

Fuente: Elaboración propia

En el escenario con válvula anticipadora de onda se observa que, debido a la poca sobrepresión generada por el golpe de ariete, la válvula anticipadora de onda no influye significativamente en el sistema ya que la sobrepresión es mínima, la presión umbral diferencial que se estableció a la válvula fue de 10 mca. En la Figura 4.9 se muestra el perfil de la línea de bombeo representada por la línea verde, el gradiente transitorio máximo y mínimo están representados por la línea roja y azul, respectivamente.

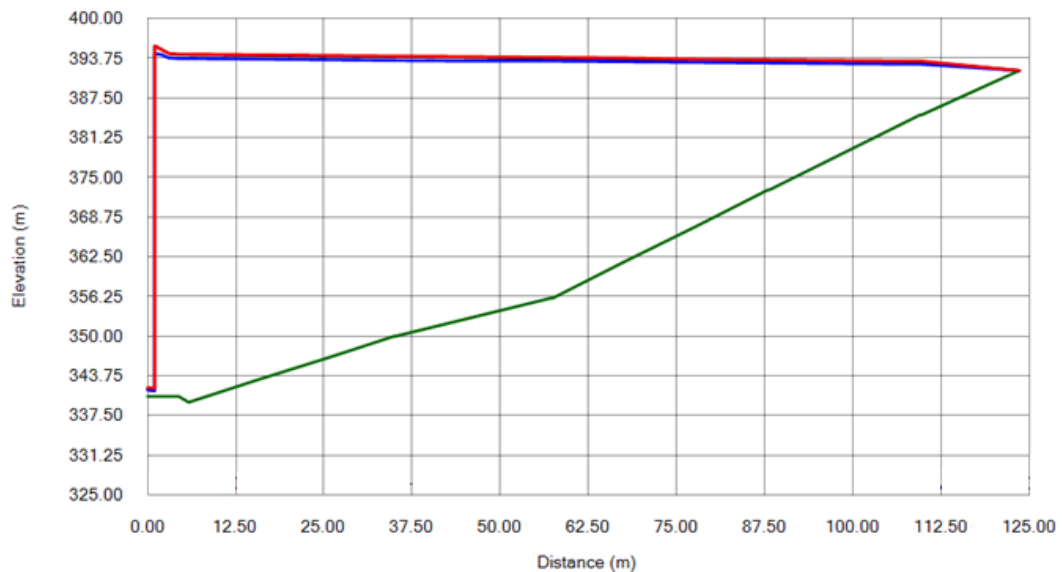


Figura 4.9 Perfil de la línea de bombeo del R-5B al RAP-04 con válvula anticipadora de onda.

Fuente: Elaboración propia

Se recomienda revisar el **Anexo 10 Resultados de análisis de transitorios en las líneas de bombeo de agua potable** donde se muestran los resultados del software Hammer v10.01.01.04.

4.3 SIMULACIÓN DE UN SISTEMA SCADA CON EL SOFTWARE LABVIEW

LabView es un software de ingeniería que se usa para verificación, medición o control y ofrece una programación intuitiva y gráfica ayudando a visualizar cada aspecto de su aplicación. Algunas de las funciones del software LabView son:

- Medir sistemas físicos con sensores y actuadores
- Validar o verificar diseños electrónicos
- Desarrollar sistemas de producción
- Diseñar máquinas inteligentes o equipo industrial

Se simulará un sistema SCADA conformado por un reservorio fuente, una línea de impulsión y un reservorio destino con el software LabView 20.0.1 para observar y analizar cómo es el comportamiento del sistema de bombeo.

4.3.1 Niveles en un reservorio

Es necesario conocer los niveles considerados en la simulación SCADA mostrada en la Figura 4.10 para comprender correctamente el proceso del bombeo, existen 5 cotas o niveles:

- Cota base: Nivel de contacto del reservorio con el suelo.
- Cota de fondo: Cota de fondo de la cuba.
- Nivel mínimo: Nivel mínimo del volumen de regulación.
- Nivel inicial: Nivel con actual del reservorio.
- Nivel máximo: Nivel máximo del volumen de regulación donde no puede ser mayor que este nivel porque el agua fluiría por la artesa de rebose.

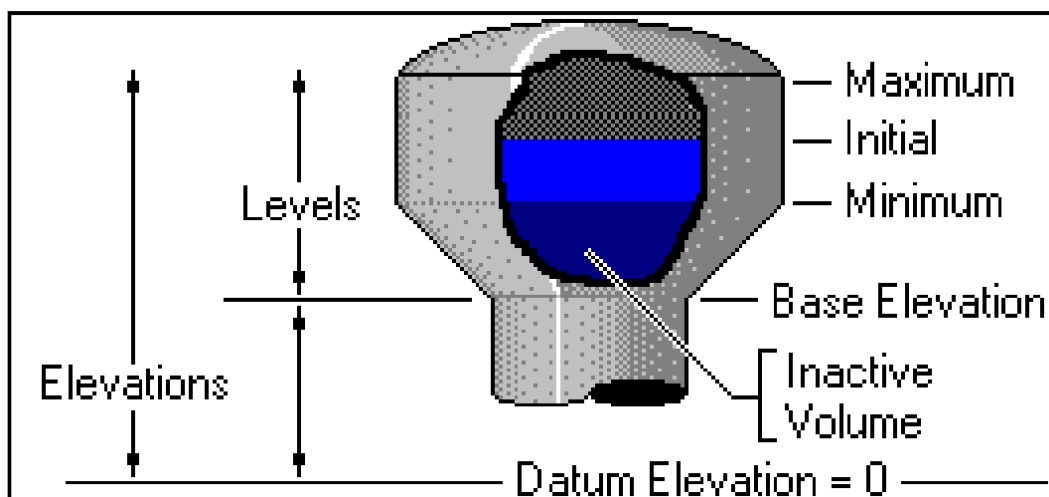


Figura 4.10 Niveles de un reservorio considerados en la simulación SCADA.

Fuente: Bentley Systems

4.3.2 Funcionamiento de la simulación

La filosofía de control de la simulación se encuentra descrita en el acápite 3.3.2 del presente trabajo de investigación.

4.3.3 Simulación en LabView

En la ventana de simulación de un sistema de bombeo con medición SCADA, se aprecia a la izquierda 2 cuadros donde se ingresará el INPUT para los reservorios (ver Figura 4.11) y para la línea de bombeo (ver Figura 4.12).

VARIABLES PARA RESERVORIOS		
VARIABLES	RESERVORIO FUENTE	RESERVORIO DESTINO
Nivel Máximo (m.s.n.m.)		
Nivel Mínimo (m.s.n.m.)		
Nivel Inicial (m.s.n.m.)		
Cota de Fondo (m.s.n.m.)		
Diámetro (m)		
Caudal de ingreso (litros/seg)		-
Caudal de salida (litros/seg)	-	

Figura 4.11 Ventana de ingreso de variables para los reservorios en la simulación SCADA.

Fuente: Elaboración propia

VARIABLES PARA LÍNEA DE REBOMBEO	
VARIABLES	TUBERÍA DE IMPULSIÓN
Diámetro de succión (mm)	
Diámetro de impulsión (mm)	
Longitud de Succión (m)	
Longitud de Impulsión (m)	
Caudal (litros/seg)	
Cota de bomba (m.s.n.m.)	
Cota de ingreso en reservorio destino (m.s.n.m.)	
Coefficiente de Hazen – William	
Pérdida de carga al ingreso del reservorio destino (m)	

Figura 4.12 Ventana de ingreso de variables para la línea de bombeo en la simulación SCADA.

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4.13 se muestra la ventana de control en la que se puede controlar el paso del tiempo (T) de la simulación, con qué bomba se desea que se inicie la simulación (bomba 1 o 2) y si se desea que la línea de aducción del reservorio destino se encuentre abierta o cerrada.



Figura 4.13 Vista de la ventana de control de la simulación SCADA.

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4.14 se muestra la simulación gráfica del sistema de bombeo en la cual el reservorio fuente posee 2 bombas (bomba 0 y bomba 1), ambos reservorios poseen una válvula (ingreso o salida) que puede representar algún flujo que ingresa al reservorio o que sale del reservorio, dentro de cada reservorio se muestra el nivel del agua respecto a la cota de fondo y en la parte superior derecha se encuentra la cota de nivel de agua en el reservorio respecto al nivel medio del mar.

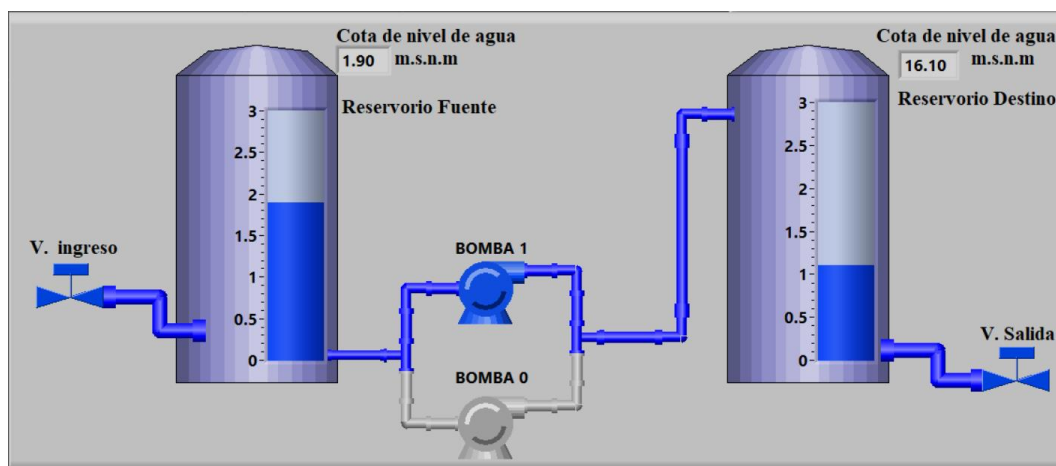


Figura 4.14 Vista de la ventana de la simulación SCADA.

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4.15 se muestran los resultados de la simulación como por ejemplo, los niveles de los reservorios en tiempo real, la presión de salida en la bomba y la

altura dinámica total y una gráfica que representa la variación de las cotas de agua en cada reservorio.

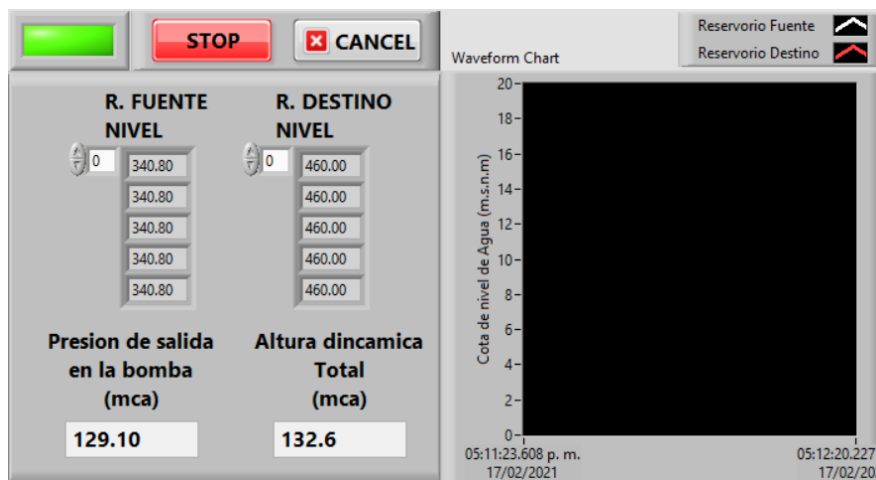


Figura 4.15 Ventana de resultados de la simulación SCADA.

Fuente: Elaboración propia

Se recomienda revisar el **Anexo 11 Programación de simulación SCADA en LabView 20.0.1** donde se muestra la programación realizada en el software LabView 20.0.1.

CAPÍTULO V: COMPARACIÓN ENTRE SISTEMAS DE REBOMBEO CONVENCIONAL Y CON MEDICIÓN SCADA

En este capítulo se compara sistemas de bombeo de agua potable convencional y sistemas de bombeo de agua potable con sistema de control y automatización con medición SCADA y se verificarán las ventajas y desventajas que ofrece un sistema respecto al otro. El sistema de bombeo con SCADA será el sistema analizado en el Capítulo IV.

5.1 SISTEMA DE REBOMBEO DE AGUA POTABLE CONVENCIONAL

En los sistemas de bombeo de agua potable convencional, durante la Operación y Mantenimiento, requieren de recursos humanos in-situ por los siguientes motivos:

- Apertura de válvulas: La estación de bombeo requerirá que un operador de manera manual controle la apertura o cierre de válvulas en la línea de alimentación del reservorio para evitar la posibilidad que el agua en exceso se desperdicie y se elimine por el rebose. Así mismo, se requerirá un operador para el control de válvulas de regulación en la aducción (ver Figura 5.1).
- Control de bombas: En los sistemas de bombeo convencional donde las horas de bombeo son en ciertos periodos del día (depende de la variación horaria del consumo) se requerirá que un operador encienda y apague las bombas.
- Verificación y seguimiento: Para la verificación del correcto estado y funcionamiento del árbol hidráulico se requerirán técnicos que se visiten de manera periódica la estación de bombeo (ver Figura 5.2).

Cada uno de los motivos mencionados líneas arriba requiere, adicional a los recursos humanos, el uso de recursos materiales para una adecuada apertura de válvulas, control de bombas y verificación y seguimiento del estado de las estaciones de bombeo.



Figura 5.1 Apertura manual de válvula compuerta.

Fuente: Elaboración propia



Figura 5.2 Verificación visual de estado de árbol hidráulico en estación de bombeo.

Fuente: Elaboración propia

En los sistemas de bombeo convencionales los recursos humanos requeridos son no especializados, por lo que la complejidad de operación es relativamente sencilla. Adicionalmente el consumo de la energía eléctrica en estos sistemas solo se da, en su mayoría, por la bomba.

5.2 SISTEMA DE REBOMBEO DE AGUA POTABLE CON MEDICIÓN SCADA

En los sistemas de bombeo de agua potable con sistemas de control y automatización, la cantidad de recursos humanos requeridos in-situ es mínimo ya que desde un centro de control se puede controlar de manera remota y automática el funcionamiento de las estaciones de bombeo.

Algunas características fundamentales de éstos sistemas son:

- Desde un centro de control (ver Figura 5.3), cercano o lejano a la estación de Estación Remota (ER), se puede conocer el estado en tiempo real de la misma.
- Se pueden modificar las variables o elementos de control desde el centro de control sin la necesidad de un operador en la ER.
- La gestión de los datos adquiridos por la instrumentación de campo permite programar algún mantenimiento preventivo a la ER.
- Verificar la presencia de algún intruso en la ER por medio de la alarma de intrusismo.
- Presencia de instrumentación de campo, actuadores eléctricos en las válvulas motorizadas para que puedan ser controladas de manera remota.

Los recursos materiales en la etapa de Operación y Mantenimiento son menores debido a que solo se necesitaran en el centro de control y de manera esporádica en el mantenimiento de la instrumentación de campo.



Figura 5.3 Centro de Control SCADA.

Fuente: Procetradi

En los sistemas de bombeo con sistema de control y automatización, los recursos humanos requeridos son necesariamente especializados, por lo que la complejidad de operación es alta. Adicionalmente el consumo de la energía eléctrica en estos sistemas se da por la bomba, tableros de automatización y telemetría e instrumentación de campo necesaria como sensores y actuadores eléctricos.

En el proyecto descrito en el capítulo 3, el costo directo (incluye gastos generales y utilidad) para el equipamiento de automatización es de S/. 4,147,605.29, el cual incluye la instalación de sistema de control y automatización de:

- 5 reservorios de cabecera proyectados (1.19% del Costo Directo)
- 2 cámaras de bombeo de agua potable (0.27% del Costo Directo)
- 4 reservorios de bombeo mejorados (0.51% del Costo Directo)
- 1 estación remota repetidora (0.40% del Costo Directo)
- Mejoramiento del Centro de Servicios Comas (0.14% del Costo Directo)
- Integración de las ER al SCADA de SEDAPAL (0.93% del Costo Directo)

Siendo el Costo Directo para el proyecto S/. 120,825,970.01, por lo que automatizar representa un 3.43%, siendo un porcentaje relativamente mínimo frente a las ventajas del sistema SCADA.

5.3 COMPARACIÓN ENTRE SISTEMAS DE REBOMBEO CONVENCIONAL Y CON MEDICIÓN SCADA

Los sistemas de bombeo convencional y sistemas con medición SCADA poseen diversas características que los hacen adecuados dependiendo de la magnitud del proyecto.

Los sistemas de bombeo convencional:

- Hace uso de menos recursos financieros durante la ejecución de obra.
- Posee menor consumo de energía eléctrica en la etapa de operación y mantenimiento debido a que posee poco equipamiento que consume energía eléctrica.
- Es usado en sistemas poco complejos de operación y mantenimiento, por lo cual es usado por lo general a nivel rural.

Los sistemas de rebombeo con sistemas de control y automatización con medición SCADA:

- Hace uso de menos recursos humanos en operación y mantenimiento debido a que la operación de diferentes estaciones remotas se puede realizar desde un Centro de Control y el mantenimiento se pueden realizar con anticipación debido a que se cuenta con una base histórica de datos que facilitan la predicción de mantenimientos preventivos.
- Hace uso de menos recursos financieros durante la operación y mantenimiento debido que al optimizar los recursos humanos, evitan el uso de presupuesto enviando a la estación remota para la operación.
- El tiempo de operación es mínimo debido a que el sistema se encuentra automatizado y el funcionamiento se encuentra programado.
- Al hacer uso de menos recursos humanos y financieros optimizando el tiempo de operación y el flujo a bombear son sistemas más eficientes que los convencionales.
- Tienen la principal característica de poder visualizar en tiempo real el sistema, controlar el equipamiento de las estaciones remotas y adquirir datos y almacenarlos en una base de datos.

En la Tabla 5.1 y Tabla 5.2 se muestran la comparación cualitativa y cuantitativa entre sistemas de rebombeo convencional y sistemas de rebombeo automatizados, respectivamente. En la Tabla 5.3 se muestra el “ahorro” generado en costos de los sistemas comparados teniendo en cuenta los indicadores cuantitativos.

ITEM	Características	Sistema de Rebombeo Convencional	Sistema de Rebombeo con sistemas de control y automatización	Motivo
1	Cualitativas			
1.1	Sistemas más eficientes		X	Los sistemas automatizados son más eficientes por tener mayor control de las operaciones y al poseer mayor grado de confiabilidad en ellos.

ITEM	Características	Sistema de Rebombéo Convencional	Sistema de Rebombéo con sistemas de control y automatización	Motivo
1.2	Útil en sistemas hidráulicos simples	X		Para sistemas de rebombéo rural o en localidades pequeñas, se recomienda el método convencional por la facilidad de operación.
1.3	Útil en sistemas hidráulicos complejos		X	Debido a su capacidad de operación remota de los sistemas de rebombéo automatizados, es muy útil en sistemas que requieren un mayor control para disminuir las posibles fallas y/o pérdidas.
1.4	Mayor facilidad de operación	X		Los sistemas de rebombéo convencional no requieren de personal técnico especializados. Se pueden crear JASS en las localidades.
1.5	Confiabilidad		X	En sistemas de rebombéo automatizados, la confiabilidad es mayor debido a que todos los procesos siguen una filosofía de control y no hay opción a errores de naturaleza humana.
1.6	Exactitud		X	En sistemas de rebombéo automatizados la exactitud en la medición de parámetros como: caudal, sobrepresión, subpresión, nivel de reservorio, etc. es mucho mayor debido al uso de instrumentación calibrada, adecuada y enlazada al PLC.
1.7	Seguridad		X	La seguridad, desde el punto de vista material, en sistemas automatizados es mayor debido a los sensores y alarmas detectores de intrusos que poseen.
1.8	Menor tiempo de operación y control del sistema de rebombéo		X	En los sistemas automatizados con SCADA, la operatividad del sistema es muchísimo más rápida al poder supervisar, controlar y predecir posibles fallas en tiempo real desde un

ITEM	Características	Sistema de Rebombéo Convencional	Sistema de Rebombéo con sistemas de control y automatización	Motivo
				ordenador el sistema de rebombéo ubicado a varios kilómetros de distancia.

Tabla 5.1 Comparación cualitativa entre sistemas de rebombéo convencionales y automatizados.

Fuente: Elaboración propia.

ITEM	Características	Sistema de Rebombéo Convencional	Sistema de Rebombéo con sistemas de control y automatización	Motivo	Valor
2	Cuantitativas				
2.1	Menos recursos humanos durante la ejecución de obra	X		Descripción: Como ahorro en recursos humanos, la diferencia entre sistema convencional y sistema automatizado se obtuvo cuantificando la cantidad de HH usadas en el equipamiento y profesionales durante la ejecución de obra para 2 reservorios (fuente y destino) en el caso de sistema automatizado. Indicador: Ahorro de horas hombre.	3392 hh
2.2	Menos recursos humanos durante la OyM		X	Descripción: Como ahorro en recursos humanos, la diferencia entre sistema automatizado y sistema convencional se obtuvo cuantificando la cantidad de HH usadas por personal técnico para la operación de los reservorios durante 20 años (240 meses) considerando su incidencia del 30% (9 veces al mes van a los reservorios). Indicador: Ahorro de horas hombre.	51840 hh

ITEM	Características	Sistema de Rebombéo Convencional	Sistema de Rebombéo con sistemas de control y automatización	Motivo	Valor
2.3	Menos recursos financieros durante la ejecución de obra	X		Descripción: Como ahorro en recursos financieros durante la ejecución de obra, se consideró el costo de equipamiento de Automatización y Telemetría de los reservorios fuente y destino. Indicador: Ahorro de costo.	S/ 539,604.42
2.4	Menos recursos financieros durante la OyM		X	Descripción: Como ahorro en recursos financieros durante la operación y mantenimiento (periodo de diseño de 20 años), se consideró el costo de personal técnico para la operación de los reservorios. Indicador: Ahorro de costo.	S/ 107,920.88
2.5	Menos consumo de energía eléctrica en la etapa de OyM	X		Descripción: Como ahorro en recursos energéticos, la diferencia entre sistema convencional y sistema automatizado se obtuvo cuantificando la cantidad de kWh usadas durante 20 años por los tableros, instrumentación y sensores del reservorio fuente y reservorio destino Indicador: Kilo Watt hora	67742 kWh

Tabla 5.2 Comparación cuantitativa entre sistemas de rebombéo convencionales y automatizados.

Fuente: Elaboración propia.

Cuantitativas	A FAVOR DEL: Sistema de Rebombéo Convencional	A FAVOR DEL: Sistema de Rebombéo con sistemas de control y automatización
Menos recursos humanos durante la ejecución de obra	S/ 131,302.20	
Menos recursos humanos durante la OyM		S/ 1,041,292.80
Menos recursos financieros durante la ejecución de obra	S/ 539,604.42	
Menos recursos financieros durante la OyM		S/ 107,920.88
Menos consumo de energía eléctrica en la etapa de OyM	S/ 40,239.01	

Tabla 5.3 Comparación en costos de los indicadores cuantitativos entre sistemas de rebombéo convencionales y automatizados.

Fuente: Elaboración propia.

Se recomienda revisar el **Anexo 12 Comparación entre sistemas de rebombéo convencional y automatizado** donde se muestran los sustentos de los valores de los indicadores cuantitativos.

CONCLUSIONES

De la investigación desarrollada entorno a los sistemas de rebombeo de agua potable con sistemas de control y automatización implementando la medición SCADA en Lima se concluye lo siguiente:

- Según las tablas 5.1 y 5.2, los sistemas de rebombeo con sistemas de control y automatización implementando la medición SCADA poseen mayor cantidad de ventajas cualitativas y cuantitativas que los sistemas de rebombeo convencional, reflejándose en el ahorro de recursos humanos, financieros y energéticos; teniendo en cuenta la ejecución de obra y la operación y mantenimiento (periodo de 20 años). Según la tabla 5.3, los sistemas de rebombeo automatizados ahorran aproximadamente 60% más de recursos financieros totales durante la ejecución y el periodo de diseño (20 años).
- Según el acápite 2.1.1, los sistemas de rebombeo de agua potable con sistemas de control y automatización poseen diferentes niveles en los que se encuentra la instrumentación de campo (macromedidores, transductores de presión, actuadores eléctricos, sensores, etc.) que recolectan la información necesaria de los equipos de campo (válvulas, motores, bombas, etc.) y lo transmiten hacia el Tablero de Automatización y Control en el que se encuentra el Controlador Lógico Programable (PLC), posteriormente se envía la señal hacia el Tablero de Telemetría para que se conecte con una Estación Remota Maestra (ERM) o con un Centro de Control Local (Centro de Servicios) mediante cable de fibra óptica o telemetría y finalmente llega al Centro Principal de Control.
- Según los resultados mostrados en los subtítulos 4.1 y 4.2, los sistemas de rebombeo de agua potable, descritos en el capítulo 3, cumplen los requerimientos hidráulicos necesarios para satisfacer la demanda de agua potable existente y proyectada durante el periodo de diseño.
- Según las tablas 5.1 y 5.2, las grandes ventajas que poseen los sistemas de rebombeo automatizados frente a los sistemas de rebombeo convencionales son muchas, lo que hace primordial la implementación del sistema SCADA en la vasta cantidad de estructuras hidráulicas en Lima.

RECOMENDACIONES

En base a lo investigado y a los conocimientos adquiridos durante la presente investigación, se recomienda:

- Instalar elementos de control y alivio como son válvulas anticipadoras de onda, ventosas, etc. para un mejor control y mitigar los efectos de los fenómenos transitorios.
- Realizar el análisis hidráulico y posteriormente realizar el análisis económico. Debido a que el análisis económico se deberá realizar para el rango de propuestas técnicas que satisfagan las condiciones y criterios hidráulicos.
- El uso de las ecuaciones planteadas en el Anexo 4 para hallar el diámetro económico para la línea de rebombeo debido a que fueron halladas por medio de una data de proyectos locales y se asemejan más a la realidad peruana. Adicionalmente, se encuentran clasificados por el tipo de terreno en el que se encontrará la línea de rebombeo de agua potable.
- El uso de sistemas de rebombeo para aumentar la cobertura del servicio de agua potable ya que el crecimiento poblacional local se realiza en distritos periféricos y en zonas elevadas.
- Implementar sistemas control y automatización a procesos de cualquier índole ya que eso conllevará a la disminución en el uso de recursos tangibles e intangibles durante el periodo de diseño de las obras hidráulicas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agüera Soriano, J. (2003). *Mecánica de flujos incompresibles y turbomáquinas hidráulicas* (5ta Edición ed.). Madrid, España: Ciencia 3 Distribución S.L.
- Allasia Piccilli, D. G. (2000). Estimación del diámetro económico de la tubería de un sistema de bombeo. *Revista de Comunicaciones Científicas y Tecnológicas*, 12(1), 7-14. Obtenido de <http://w3.ufsm.br/dga/>
- Florencio Inga, P. P. (2012). Desarrollo del software de un sistema SCADA para la distribución de agua potable en la quebrada de Manchay. Lima, Perú: Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Franquet Bernis, J. M. (2005). Diámetro óptimo en impulsiones. *Universidad Nacional de Educación a Distancia*. Obtenido de https://www2.uned.es/ca-tortosa/Biblioteca_Digital/Biblio/JM_Franquet/Disen_economico.pdf
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2009). Perú: Migraciones Internas 1993 - 2007. Lima, Perú: INEI.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2018). Perú: Formas de Acceso al Agua y Saneamiento Básico. Lima, Perú: INEI.
- Larralde, E., & Ocampo, R. (2010). Centrifugal pump selection process. *World Pump Magazine*, 24-28.
- León Zegarra, B. O. (2015). Estudio de optimización de costos y productividad en la Instalación de agua potable. Lima, Perú: Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú.
- López Cualla, R. A. (1995). *Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados*. Santafé de Bogota, Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Mancebo del Castillo, U. (1994). *Teoría del golpe de ariete y sus aplicaciones en ingeniería hidráulica*. Ciudad de México, México: Limusa S.A. de C.V Grupo de Noriega Editores.
- Mancebo del Castillo, U. (1995). Cálculo del diámetro más económico de la tubería de descarga de una planta de bombeo. *Ingeniería Hidráulica en México*, X(1), 49-53.

- Pérez López, E. (2015). Los sistemas SCADA en la automatización industrial. *Tecnología en Marcha*, 28, 3-14. doi:<https://doi.org/10.18845/tm.v28i4.2438>
- Rocha Felices, A. (2007). *Hidráulica de tuberías y canales*. Lima, Perú: Facultad de Ingeniería Civil - Universidad Nacional de Ingeniería.
- Salvo Acuña, R. R. (2013). Automatización y telemetría de sistemas de bombeo para servicio de agua potable. Lima, Perú: Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería.
- Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima. (2005). Reglamento de elaboración de proyectos de agua potable y alcantarillado para habilitaciones urbanas de Lima Metropolitana y Callao. Lima, Perú: SEDAPAL.
- Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima. (2014). Plan maestro de los sistemas de agua potable y alcantarillado - Tomo I Diagnóstico. Lima, Perú: SEDAPAL.
- Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima. (2014). Plan maestro de los sistemas de agua potable y alcantarillado - Tomo II Estimación oferta - demanda de los servicios. Lima, Perú: SEDAPAL.
- Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima. (2018). Automatización de las estaciones de control del sistema de distribución primario por gravedad y bombeo. Lima, Perú: SEDAPAL.
- Shaw, W. (2006). *Cybersecurity for SCADA Systems*. Oklahoma, USA: PennWell Corporation.
- Valdés, Y. M. (2011). Metodología para el diseño hidráulico de las estaciones de bombeo. La Habana, Cuba: Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría".

ANEXOS

ANEXO 1 CLASIFICACIÓN DE BOMBAS HIDRÁULICAS

Bombas de desplazamiento positivo

El intercambio de energía se da por la variación de presión, las bombas de desplazamiento positivo basan su funcionamiento en confinar cierto volumen de líquido para transportarlo desde la succión hasta la impulsión. Este tipo de bombas también son conocidas como bombas volumétricas y pueden ser reciprocantes o rotatorias (López Cualla, 1995, pág. 116).

Las bombas reciprocantes (o alternativas), son aquellas bombas que poseen uno o varios compartimentos fijos cuyo volumen varía debido a la acción de un pistón u émbolo (Figura 1.1 a).

Las bombas rotativas (o rotoestáticas), son aquellas en las que el fluido es confinado en uno o varios compartimentos que se desplazan desde la zona de baja presión (zona de succión) a la zona de alta presión (zona de impulsión). Éstas a su vez pueden clasificarse en bombas rotativas de placas deslizantes y bombas rotativas de engranajes (Figura 1.1 b).

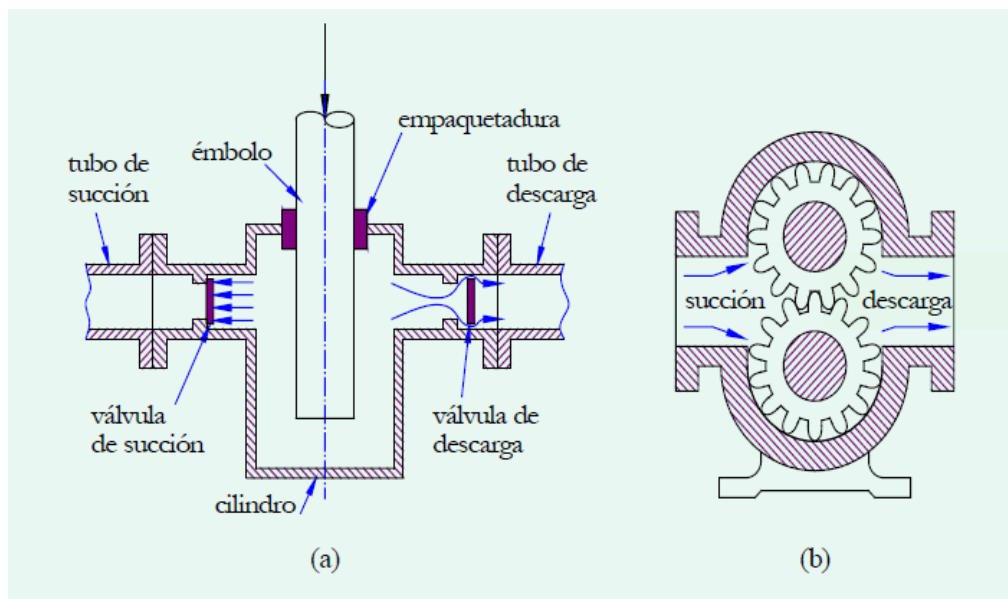


Figura 1.1 Bombas de Desplazamiento positivo.

Fuente: Presentación Bombas Hidráulicas, José Agüera Soriano 2012.

Bombas de intercambio de cantidad de movimiento

También conocidas como bombas rotodinámicas, el principio de funcionamiento de este tipo de bombas está basado en el intercambio de la cantidad de movimiento entre la máquina y el fluido. En esta clasificación hay una cantidad de rodetes con álabes que giran ocasionando un campo de presiones en el fluido. De acuerdo a la dirección del flujo a la salida del rodete (Figura 1.2) se pueden subdividir en: bombas centrífugas (salida perpendicular al eje), bombas hélice (salida paralela al eje) y bombas helicentrífugas (flujo mixto) (Agüera Soriano, 2003, pág. 506).

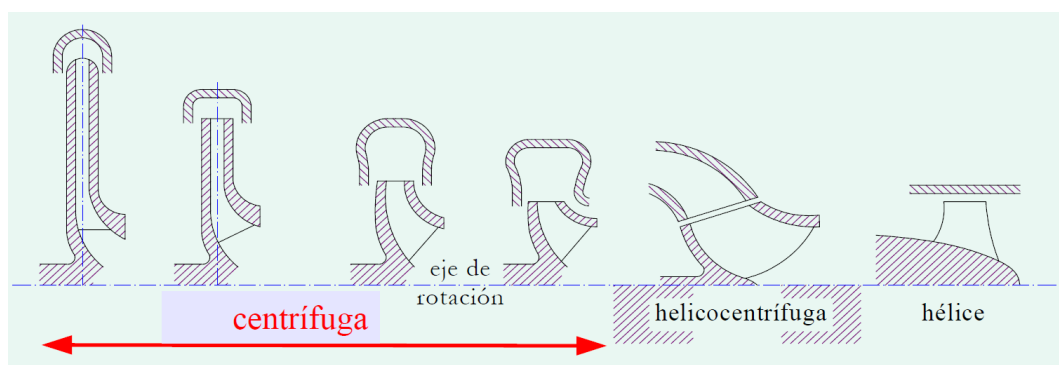


Figura 1.2 Bombas de intercambio de cantidad de movimiento.

Fuente: Presentación Bombas Hidráulicas, José Agüera Soriano 2012.

Bombas gravimétricas

El intercambio de energía se realiza en base a la energía potencial gravitatoria, en esta clasificación se encuentran las ruedas hidráulicas y el ariete hidráulico (López Cualla, 1995, pág. 117).

La rueda hidráulica (Figura 1.3) es una máquina que usa la energía hidráulica producida por el peso del agua en los cajones de la rueda metálica para poder elevar el agua a cierta altura.

El ariete hidráulico (Figura 1.4) funciona usando un contrapeso y una cámara de aire, de la fuente principal de agua se deriva mediante una tubería de carga hacia el ariete activando el contrapeso que cierra súbitamente la válvula de llegada generando golpe de ariete y la onda de sobrepresión abre la válvula de ingreso a la cámara de aire, el aire se comprime y se abre una válvula de retención permitiendo la impulsión del agua a una altura de 6 a 12 veces la altura de la fuente principal.

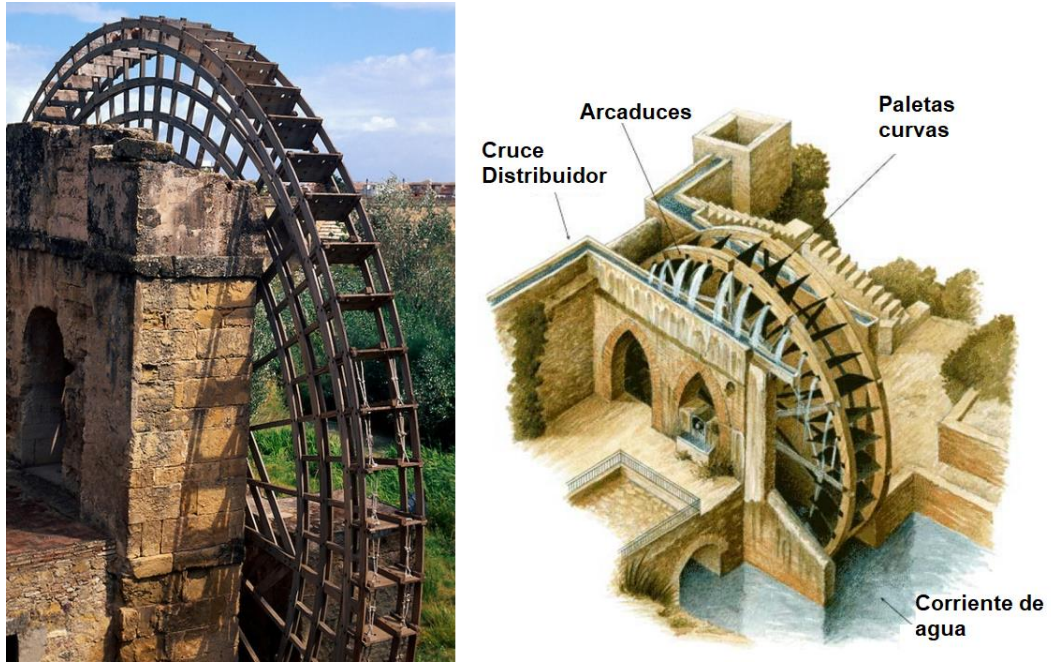


Figura 1.3 Rueda Hidráulica.

Fuente: Presentación Bombas Hidráulicas, José Agüera Soriano 2012.

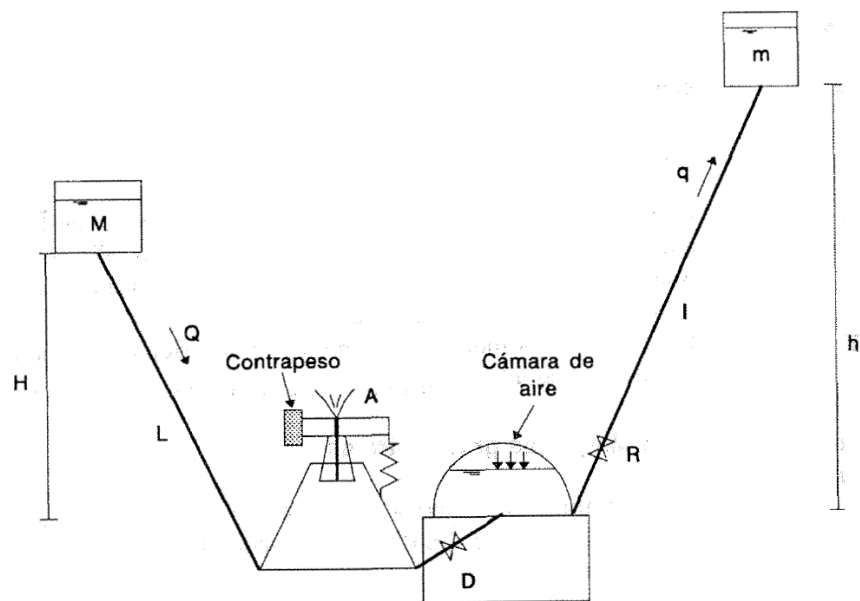


Figura 1.4 Ariete Hidráulico.

Fuente: Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados, Ricardo López Cualla 1995.

ANEXO 2 CTPS-RE-001 CONSIDERACIONES TÉCNICAS PARA TUBERÍAS Y ACCESORIOS Y SERVICIOS EN SEDAPAL (AGUA POTABLE)

DESCRIPCION	Material		Color	Norma Técnica	Tipo de Unión	Sellos Hidráulicos	Clase Mínima	Recubrimiento		
	Tuberías	Accesorios						Interno	Externo	
Tuberías en líneas de impulsión, aducción y conducción.	Hierro Fundido Dúctil	Hierro Fundido Dúctil	Tuberías y accesorios Azul ⁽⁵⁾ (Aprox. Ral 5015)	Tubería y Accesorios <ul style="list-style-type: none"> NTP-ISO 2531:2015 Tuberías, Conexiones, accesorios y sus Juntas de Hierro Dúctil Para Conducción de Agua. 	Espiga-campana, Espiga campana acerrojada, Bridado	Los anillos de caucho serán de EPDM y cumplir las siguientes normas: <ul style="list-style-type: none"> NTP-ISO 10221 Tuberías de Fierro Dúctil. Anillos de caucho para juntas de tuberías que transportan agua potable. (propiedades organolépticas) NTP-ISO 4633 Sellos de caucho. Anillos de junta para tuberías de abastecimiento de agua, drenaje y alcantarillado. Especificaciones para los materiales. 	C 40 ⁽¹⁾ C 30 ⁽¹⁾ C 25 ⁽²⁾	Tuberías: Revestimiento interno de mortero de cemento según NTP ISO 4179.	<ul style="list-style-type: none"> NTP-ISO 8179-1; Tubos de Fundición Dúctil – Revestimiento exterior al cinc; Parte 1: Cinc metálico y capa de acabado ISO 8179-2; Ductile iron pipes – External zinc coating; Part 2: Zinc rich paint with finishing layer. El Revestimiento de la capa de acabado de las tuberías no será inferior a 70 µm y para los accesorios el recubrimiento con epoxy no menor a 250 µm. Además, el estudio de suelos deberá especificar el tipo de cubrimiento exterior de la tubería, según lo establecido en la NTP ISO 2531-2015.; en cualquier caso de cubrimiento, esta deberá ser de color azul (Aprox. al Ral 5015). 	
		Acero (Reparaciones por emergencia y casos especiales)		Accesorios (Reparaciones por emergencia y casos especiales) <ul style="list-style-type: none"> ASTM A 36 Especificación Estándar para acero estructural al carbono Norma ASTM A-53 Grado A y B Tubos sin costura o con costura soldado por resistencia eléctrica (ERW) 				Las empaquetaduras para unión tipo brida, debe cumplir con lo indicado en el proyecto.		SCH 40 ASTM 36 ASTM 53
Tuberías en líneas de aducción ⁽³⁾ , conducción ⁽³⁾ de diámetro menor a 350 mm, redes secundarias (Incluye conexiones domiciliarias)	Polietileno PE 100	⁽⁴⁾ Polietileno PE 100	Tubería Azul ⁽⁵⁾ (Aprox. Ral 5015)	<ul style="list-style-type: none"> NTP-ISO 4427-2/ NTP-ISO 4427-3 Sistemas de Tuberías Plásticas, Tubos de Polietileno (PE) y conexiones para abastecimiento de agua. Parte 2: Tubos, Parte 3: Conexiones. 	Termofusión o Electrofusión ⁽⁴⁾	No aplica	PN 10	No Aplica	No Aplica	
		PVC-U (Sólo para reparaciones de tuberías existentes)	PVC-U Inyectado	Tubos y accesorios color Gris	NTP-ISO 1452 Tubos y Conexiones de Poli Cloruro de Vinilo, no plastificado (PVC-U) para el abastecimiento de agua, drenaje y alcantarillado, enterrado o aéreo con presión. Parte 2: Tubos y Parte 3: Conexiones.	Espiga campana con anillo elastomérico		<ul style="list-style-type: none"> NTP-ISO 4633 Sellos de caucho. Anillos de junta para tuberías de abastecimiento de agua, drenaje y alcantarillado. Especificaciones para los materiales. 	No aplica	No aplica
			Hierro dúctil	Azul	Norma para accesorios de hierro dúctil en uso para tuberías plásticas NTP-ISO 1452.				Pintura epóxica espesor mínimo 250 µm	Pintura epóxica espesor mínimo 250 µm
Árbol de descarga en Estaciones de bombeo y rebombeo, en reservorios, cámaras y, columnas de pozos. Accesorios en líneas de impulsión y aducción (reductoras de presión, macro medidores)	Acero	Acero	Azul (Aprox. Ral 5015)	<ul style="list-style-type: none"> ASTM A 36 Especificación Estándar para acero estructural al carbono. Norma ASTM A-53 Grado A y B Tubos sin costura. 	Mecánica doble cerrojo, espiga campana acerrojado, bridado-ISO-ANSI	<ul style="list-style-type: none"> NTP-ISO 10221; Tubos de Fierro Fundido Dúctil, anillos de caucho para juntas de tuberías que transportan agua potable. (propiedades organolépticas) NTP-ISO 4633; Anillos de caucho, anillos de junta para tuberías de abastecimiento de agua, drenaje y alcantarillado. Especificaciones para los materiales. Las empaquetaduras para unión tipo brida, deberá cumplir con lo indicado en el proyecto. 	SCH 40 ASTM 36 ASTM 53	ASTM A 123 Galvanizado por inmersión en caliente	<ul style="list-style-type: none"> ASTM A 123 Galvanizado por inmersión en caliente. Pintura Epóxica espesor mínimo 400 µm. 	

(1) Clase mínima para presiones de diseño (C40 para DN<800 mm; C30 para DN ≥ 800 mm y DN < 1800 mm).

(2) C25 para DN ≥ 1800 mm, siempre que la presión de diseño DP ≤ 20 bar (F.S. 1.25 sobre PFA); caso contrario la clase mínima será C30

(3) Como Alternativa, solo se podrán utilizar tuberías de polietileno en líneas de aducción y conducción cuando estas sean enterradas.

(4) Para el presente cuadro se considera accesorios (conexiones) a: Tees, Yees, Codos, Reducciones, Coples o similares.

(5) Excepcionalmente para aquellas tuberías que no puedan fabricarse en el país, se aceptarán en color negro si adicionalmente son revestidas con manga de polietileno color azul (Aprox. RAL 5015 Norma ISO 8180 Ductile iron pipelines – Polythylene sleeving for site application).

CÓDIGO	CTPS-RE-001
REVISIÓN	01
APROBADO	GG
FECHA	2016.11.11

Fuente: Comisión Técnico Permanente SEDAPAL 2016.

ANEXO 3 FÓRMULAS DE OTROS AUTORES PARA LA OBTENCIÓN DEL DIÁMETRO ECONÓMICO

En este anexo se presentan una breve recopilación de fórmulas conocidas para obtención del diámetro económico por diversos autores.

Fórmula de Bresse (1860)

Es la primera fórmula disponible en la literatura de ingeniería hidráulica respecto al dimensionamiento del diámetro económico de tuberías. La Ecuación 3.1 producen dimensionamientos muy conservadores ya que fue calculada teniendo en cuenta a la velocidad del flujo de 0.57 m/s (Franquet Bernis, 2005, pág. 2).

$$\text{Ecuación 3.1} \quad D = K * Q^{0.5}$$

Donde,

K = Constante de Ritcher, para Bresse K=1.50

Q = Caudal de bombeo

Fórmula de Marquardt

La Ecuación 3.2 es similar a la fórmula dada por Bresse pero considera la cantidad de horas de bombeo en el parámetro β .

$$\text{Ecuación 3.2} \quad D = \sqrt[4]{\beta} * K * Q^{0.5}$$

Donde,

K = Constante de Ritcher, depende de la velocidad de bombeo

β = Factor de horas de bombeo cada 24 horas

Q = Caudal de bombeo

Fórmula de Forchheimer (1914)

La Ecuación 3.3 propuesta por Forchheimer toma en cuenta el número de horas de funcionamiento anual del bombeo.

$$\text{Ecuación 3.3} \quad D = 0.156 * n^{0.25} * Q^{0.5}$$

Donde,

n = Número de horas de funcionamiento anual

Q = Caudal de bombeo

Fórmula de Vibert (1948), Melzer (1964) y Mendiluce (1966)

La Ecuación 3.4 propuesta por Vibert, la Ecuación 3.5 propuesta por Melzer y la Ecuación 3.6 propuesta por Mendiluce no consideran el costo de adquisición de la bomba, sin embargo, incluyen términos como factor de amortización, precio del suministro, coeficiente de fricción entre otros (Agüera Soriano, 2003, pág. 429).

$$\text{Ecuación 3.4} \quad D = 1.165 * \left(\frac{f * h * p}{\eta * a * c} \right)^{0.154} * Q^{0.46}$$

$$\text{Ecuación 3.5} \quad D = 1.106 * \left(\frac{f * h * p}{\eta * a * c} \right)^{0.143} * Q^{0.43}$$

$$\text{Ecuación 3.6} \quad D = 1.263 * \left(\frac{f * h * p}{\eta * a * c} \right)^{0.166} * Q^{0.5}$$

Donde,

D = Diámetro interno (m)

f = Coeficiente de fricción de la tubería

η = Rendimiento del grupo motobomba

a = Factor de amortización

h = Número anual de horas de funcionamiento

p = Precio del suministro eléctrico kWh

c = Coeficiente económico de ajuste del precio de la tubería ($C_1 = c * D^n$)

Q = Caudal de bombeo (m^3/s)

Fórmula de Uriel Mancebo del Castillo (1995)

La Ecuación 3.7 propuesta por Mancebo no considera el costo de válvulas de alivio, como valor de entrada del diámetro se puede iniciar el proceso iterativo considerando la Ecuación 3.1 propuesta por Bresse (Mancebo del Castillo, 1995).

$$\text{Ecuación 3.7} \quad C_1 = (C_T) * f(i, N) + \frac{10.3 * B * n^2 * Q^2}{D^{16/3}}$$

Ecuación 3.8
$$f(i, N) = \frac{i*(1+i)^N}{(1+i)^N - 1}$$

Ecuación 3.9
$$B = \frac{85848 * C_K * Q}{\eta}$$

Donde,

C_T = Costo de la línea de rebombeo por metro lineal (S/. / m)

$f(i, N)$ = Factor de amortización función del interés y del periodo de diseño (ver Ecuación 3.8)

B = Coeficiente función del caudal y del costo por kWh de bombeo (ver Ecuación 3.9)

n = Coeficiente de rugosidad de Manning

N = Periodo de diseño (años)

i = Interés nominal anual

C_K = Costo por kWh de bombeo

η = Rendimiento del grupo motobomba

Q = Caudal (m³/s)

D = Diámetro de la tubería (m)

Para obtener el valor del costo total anual "C" en función del valor "C1"

Ecuación 3.10
$$C = C_1 * L + B * H_0$$

Donde,

H_0 = Altura estática total (m)

Fórmula de Daniel Allasia (2000)

La Ecuación 3.11 propuesta por Allasia considera para el cálculo de fricción en tuberías con régimen turbulento, por simplicidad se puede considerar como valor inicial del diámetro el calculado por la Ecuación 3.1 propuesta por Bresse (Allasia Picilli, 2000).

Ecuación 3.11
$$D = \frac{0.25^{\frac{1}{6+(\alpha-1)}}}{\left\{ f a \left[\log \left(\frac{k}{3.7 * D} + \frac{2.51 * v}{V * D * \sqrt{f}} \right) \right]^2 \right\}^{\frac{1}{6+(\alpha-1)}}$$

Donde,

α = Coeficiente que varía de 1.2 a 2

f_a = Relación entre el coeficiente de fricción de Darcy y el diámetro elevado al "6+(α -1)"

k = Rugosidad absoluta de la tubería

D = Diámetro de la tubería

V = Velocidad del flujo

ν = Viscosidad cinemática del líquido

f = Coeficiente de fricción de Darcy

Fórmula de José Agüera Soriano (2003)

La Ecuación 3.12 propuesta por Agüera tiene en cuenta el costo de la bomba, el costo del suministro eléctrico debe ser el actual y el interés a aplicar al factor de amortización deberá ser el real que se obtiene restando del interés nominal la inflación (Agüera Soriano, 2003, pág. 432).

$$\text{Ecuación 3.12} \quad D = 1.165 * \left(\frac{f}{\eta} \left(0.5 + \frac{h * p}{a * c} \right) \right)^{0.154} * Q^{0.462}$$

Donde,

D = Diámetro interno (m)

f = Coeficiente de fricción de la tubería

η = Rendimiento del grupo motobomba

a = Factor de amortización

h = Número anual de horas de funcionamiento

p = Precio del suministro eléctrico kWh

c = Coeficiente económico de ajuste del precio de la tubería ($C1=c * D^n$)

Q = Caudal de bombeo (m^3/s)

ANEXO 4 FÓRMULAS PROPUESTAS PARA LA OBTENCIÓN DEL DIÁMETRO ECONÓMICO EN REBOMBEO DE AGUA POTABLE

En este anexo se presenta la base de datos, cálculos y metodologías usadas para la obtención de las fórmulas propuestas para analizar y elegir el diámetro que cumpla las características hidráulicas y que minimicen los costos del sistema de bombeo. La función de costo total se encuentra compuesta por la sumatoria de 4 funciones principales, las cuáles se presentarán las fórmulas para el cálculo de cada una de ellas.

Función Costo de Tubería (C_1): Para la obtención de la fórmula se usó la base de datos adjunta (ver Tabla 4.5) la cual contiene 85 líneas de bombeo y/o bombeo de agua potable diferenciadas por tipo de suelo de proyectos en Lima desde el año 2014.

La función Costo de Tubería viene dado por la Ecuación 4.1.

$$\text{Ecuación 4.1} \quad C_1 = k_1 * L$$

Donde,

L = Longitud de impulsión (m)

k_1 = Costo por metro lineal de tubería (Soles / m)

El ajuste escogido fue el cuadrático por su simplicidad y por tener un coeficiente de determinación (R^2) mayor igual 0.90.

En el caso de terreno normal, la Ecuación 4.2 representa la variación del costo por metro lineal de tubería en función del diámetro nominal.

$$\text{Ecuación 4.2} \quad k_1 = 4.13 * 10^{-3} * D^2 - 0.313 * D + 200$$

Donde,

D = Diámetro nominal (mm)

k_1 = Costo por metro lineal de tubería (Soles / m)

La Tabla 4.2 presenta los ajustes realizados a los datos obtenidos, en la columna "Costo por metro de tubería", por promedio aritmético en las líneas de agua potable ubicadas en terreno normal de la Tabla 4.5.

Tipo de Ajuste:		Cuadrática	Lineal	Exponencial	Potencial
Diámetro Nominal (mm)	Costo por metro de tubería (S./m)	$y = 4.13E-03x^2 - 0.313x + 200$ $R^2 = 0.901233$	$y = 1.64725E+00x + 1.35220E+01$ $R^2 = 0.812144$	$y = 1.54438E+02e^{3.71238E-03x}$ $R^2 = 0.848833$	$y = 6.62474E+00x^{7.51262E-01}$ $R^2 = 0.722635$
		Costo por Fórmula (S./.)	Costo por Fórmula (S./.)	Costo por Fórmula (S./.)	Costo por Fórmula (S./.)
100	S/ 271.13	S/ 209.94	S/ 178.25	S/ 223.86	S/ 210.71
150	S/ 262.29	S/ 245.90	S/ 260.61	S/ 269.52	S/ 285.75
200	S/ 263.81	S/ 302.52	S/ 342.97	S/ 324.49	S/ 354.69
250	S/ 406.89	S/ 379.81	S/ 425.33	S/ 390.68	S/ 419.42
300	S/ 370.89	S/ 477.75	S/ 507.70	S/ 470.36	S/ 480.99
350	S/ 670.00	S/ 596.36	S/ 590.06	S/ 566.30	S/ 540.05
400	S/ 732.34	S/ 735.64	S/ 672.42	S/ 681.81	S/ 597.03

Tabla 4.1 Ajustes de costo de tuberías para terreno normal.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 4.1 se aprecia la variación del diámetro respecto al costo por metro lineal de tubería en terreno normal.

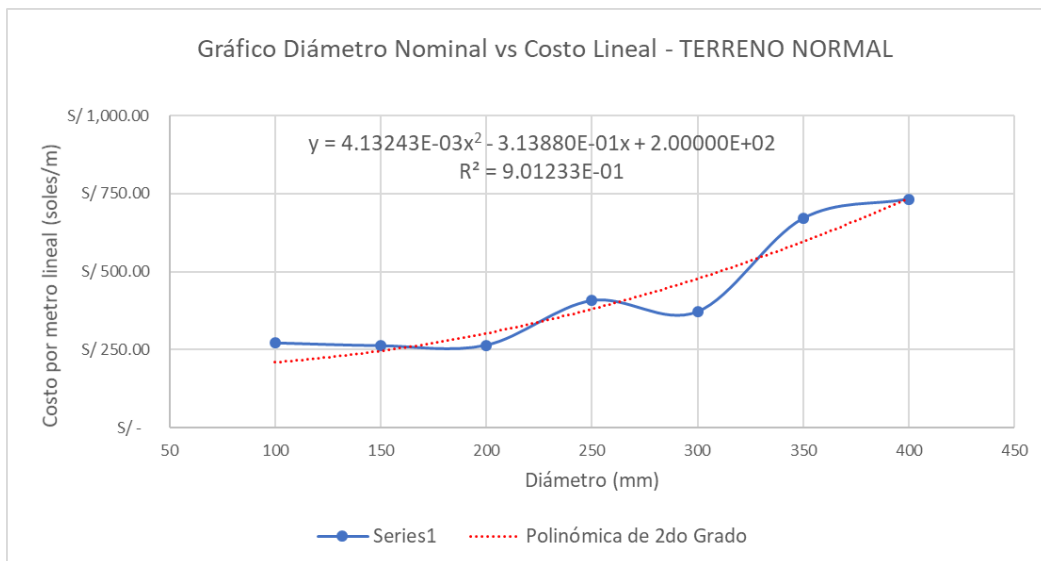


Figura 4.1 Gráfico del Costo Lineal respecto al Diámetro Nominal en terreno normal.

Fuente: Elaboración propia.

En el caso de terreno semirocoso, la Ecuación 4.3 representa la variación del costo por metro lineal de tubería en función del diámetro nominal.

$$\text{Ecuación 4.3 } k_1 = 5.94 * 10^{-3} * D^2 - 0.773 * D + 405.48$$

Donde,

D = Diámetro nominal (mm)

k_1 = Costo por metro lineal de tubería (Soles / m)

La Tabla 4.2 presenta los ajustes realizados a los datos obtenidos, en la columna “Costo por metro de tubería”, por promedio aritmético en las líneas de agua potable ubicadas en terreno semirocoso de la Tabla 4.5.

Tipo de Ajuste:		Cuadrática	Lineal	Exponencial	Potencial	
Diámetro	Costo por metro de tubería (S./m)	$y = 5.94E-03x^2 - 0.773x + 405.48$ $R^2 = 0.978024$	$y = 1.90435E+00x + 1.47704E+02$ $R^2 = 0.929642$	$y = 2.64946E+02e^{3.27185E-03x}$ $R^2 = 0.977562$	$y = 1.85036E+01x^{6.37128E-01}$ $R^2 = 0.917961$	
		Costo por Fórmula (S./.)	Costo por Fórmula (S./.)	Costo por Fórmula (S./.)	Costo por Fórmula (S./.)	
*	100	S/ 375.64	S/ 387.71	S/ 338.14	S/ 367.50	S/ 347.95
*	150	S/ 438.75	S/ 423.44	S/ 433.36	S/ 432.81	S/ 450.51
	200	S/ 492.03	S/ 488.92	S/ 528.57	S/ 509.74	S/ 541.14
*	250	S/ 603.68	S/ 584.13	S/ 623.79	S/ 600.34	S/ 623.81
*	300	S/ 659.79	S/ 709.09	S/ 719.01	S/ 707.04	S/ 700.65
*	350	S/ 887.21	S/ 863.80	S/ 814.23	S/ 832.70	S/ 772.95

* Promedio aritmético entre el costo en terreno normal y en terreno rocoso.

Tabla 4.2 Ajustes de costo de tuberías para terreno semirocoso.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 4.2 se aprecia la variación del diámetro respecto al costo por metro lineal de tubería en terreno semirocoso.

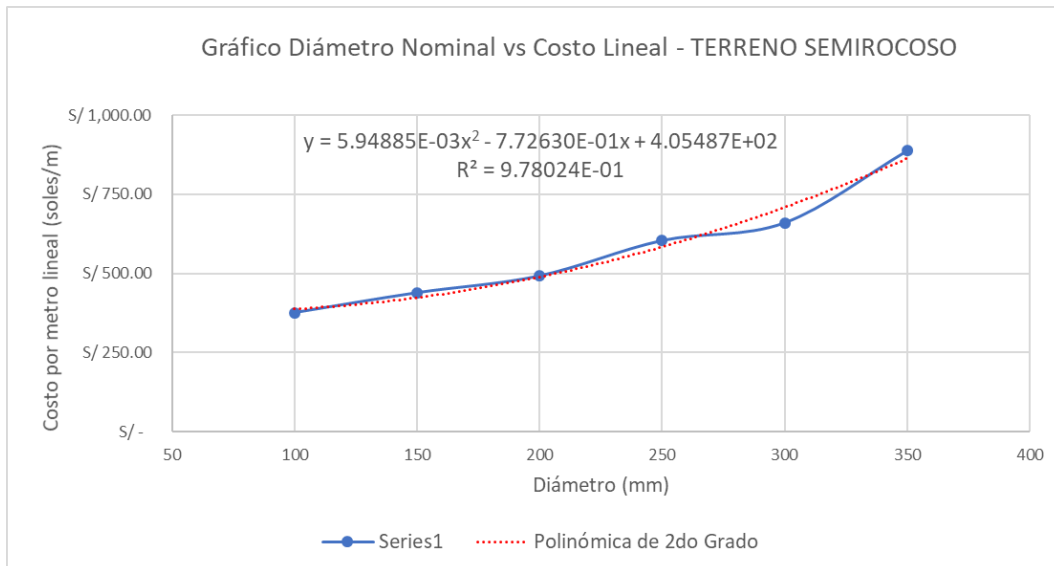


Figura 4.2 Gráfico del Costo Lineal respecto al Diámetro Nominal en terreno semirocoso.

Fuente: Elaboración propia.

En el caso de terreno rocoso, la Ecuación 4.4 representa la variación del costo por metro lineal de tubería en función del diámetro nominal.

$$\text{Ecuación 4.4 } k_1 = 1.97 * 10^{-3} * D^2 + 1.514 * D + 323.37$$

Donde,

D = Diámetro nominal (mm)

k₁ = Costo por metro lineal de tubería (Soles / m)

La Tabla 4.3 presenta los ajustes realizados a los datos obtenidos, en la columna “Costo por metro de tubería”, por promedio aritmético en las líneas de agua potable ubicadas en terreno rocoso de la Tabla 4.5.

Tipo de Ajuste:		Cuadrática	Lineal	Exponencial	Potencial
Diámetro	Costo por metro de tubería (S/./m)	$y = 1.97E-03x^2 + 1.514x + 323.37$ $R^2 = 0.993753$	$y = 2.40113E+00x + 2.37945E+02$ $R^2 = 0.990193$	$y = 3.66642E+02e^{3.18275E-03x}$ $R^2 = 0.987009$	$y = 2.48334E+01x^{6.39114E-01}$ $R^2 = 0.985566$
		Costo por Fórmula (S/.)	Costo por Fórmula (S/.)	Costo por Fórmula (S/.)	Costo por Fórmula (S/.)
100	S/ 480.15	S/ 494.49	S/ 478.06	S/ 504.04	S/ 471.26
150	S/ 615.22	S/ 594.83	S/ 598.11	S/ 590.99	S/ 610.67
* 200	S/ 720.25	S/ 705.03	S/ 718.17	S/ 692.93	S/ 733.93
250	S/ 800.47	S/ 825.09	S/ 838.23	S/ 812.47	S/ 846.43
300	S/ 948.70	S/ 955.00	S/ 958.28	S/ 952.62	S/ 951.04
350	S/ 1,104.41	S/ 1,094.77	S/ 1,078.34	S/ 1,116.94	S/ 1,049.51

* Extrapolación entre el costo en terreno normal y en terreno semirocoso

Tabla 4.3 Ajustes de costo de tuberías para terreno rocoso.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 4.3 se aprecia la variación del diámetro respecto al costo por metro lineal de tubería en terreno semirocoso.

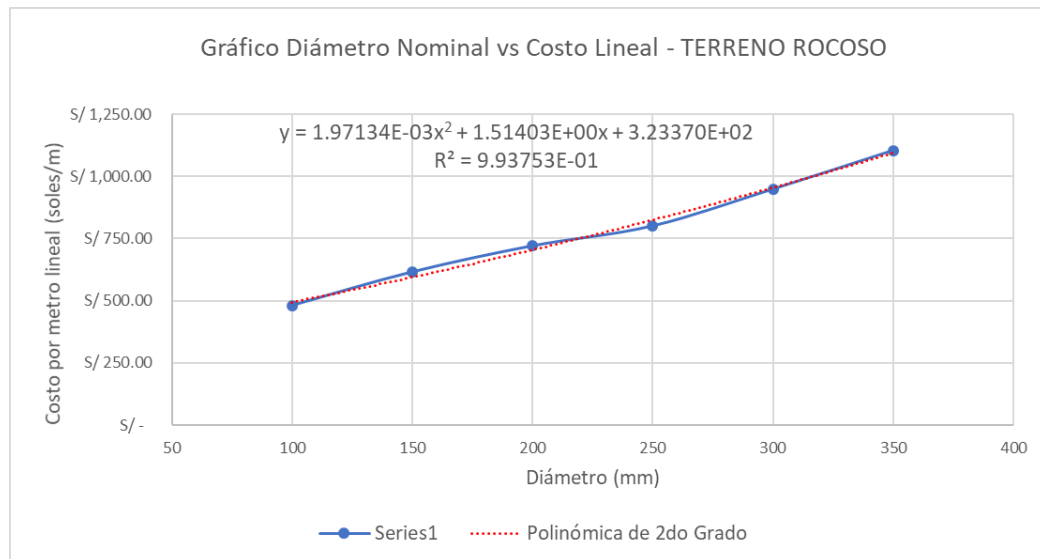


Figura 4.3 Gráfico del Costo Lineal respecto al Diámetro Nominal en terreno rocoso.

Fuente: Elaboración propia.

El costo k_1 incluye las partidas correspondientes a:

- Trazo y replanteo inicial del proyecto, para líneas-redes con estación total.
- Replanteo final de la obra, para líneas redes con estación total
- Cinta plástica para señalización de límite de seguridad de obra-sedapal
- Cerco de malla de 1 m altura para límite de seguridad de obra-sedapal
- Riego de zona de trabajo para mitigar la contaminación - polvo (incl. costo de agua y transporte surtidor a obra)
- Excav. Zanja p/tub. de 1.51m a 1.75m prof.
- Refine y nivel de zanja p/tub. para toda prof.
- Relleno comp. Zanja p/tub. de 1.51m a 1.75m prof.
- Transporte a zona s/acceso: material de relleno y desmonte p/línea h=1,51 m - 1,75m
- Elimin. Desmonte (carg+v) d=20km p/tub de 1,51m a 1,75m (incluye pago por disposición de material en centro autorizado)
- Suministro de tubería HD C-40 con junta acerrojada NTP ISO 2531 (inc. Anillo)
- Transporte de materiales para instalar tuberías en zonas sin acceso
- Instalación de tubería HD C-40 NTP ISO 2531 (inc. Prueba hidráulica a zanja abierta)
- Prueba hidráulica de tubería HD C-40 NTP ISO 2531 inc. Desinfección (zanja tapada)

- Protección de tubería HD C-40 NTP ISO 2531 c/manga de polietileno
- Prueba de compactación de suelo (proctor modificado y de control de compactación-densidad de campo)
- Protección de interferencias para red de agua
- Suministro e instalación de accesorios (inc. Anclaje)
- Válvulas de aire y purga

Función Costo de Adquisición de Bomba (C₂): Para la obtención de la fórmula se usó la base de datos adjunta (ver Tabla 4.5) la cual contiene 76 líneas de rebombado y/o bombeo de agua potable con datos como altura dinámica total, caudal, potencia de la bomba y el costo considerado en proyectos en Lima desde el año 2014.

La función Costo de Adquisición de Bomba viene dado por la Ecuación 4.5.

$$\text{Ecuación 4.5} \quad C_2 = 6261.2 * \text{Pot}_{\text{bomba}}^{0.6706}$$

Donde,

$\text{Pot}_{\text{bomba}}$ = Potencia del equipo de bombeo (HP)

El ajuste escogido fue el potencial por ser la gráfica que mejor se adaptaron a los datos y por tener un coeficiente de determinación (R²) aceptable. En la Figura 4.4 se aprecia la variación del costo de la bomba respecto a la potencia de la misma.

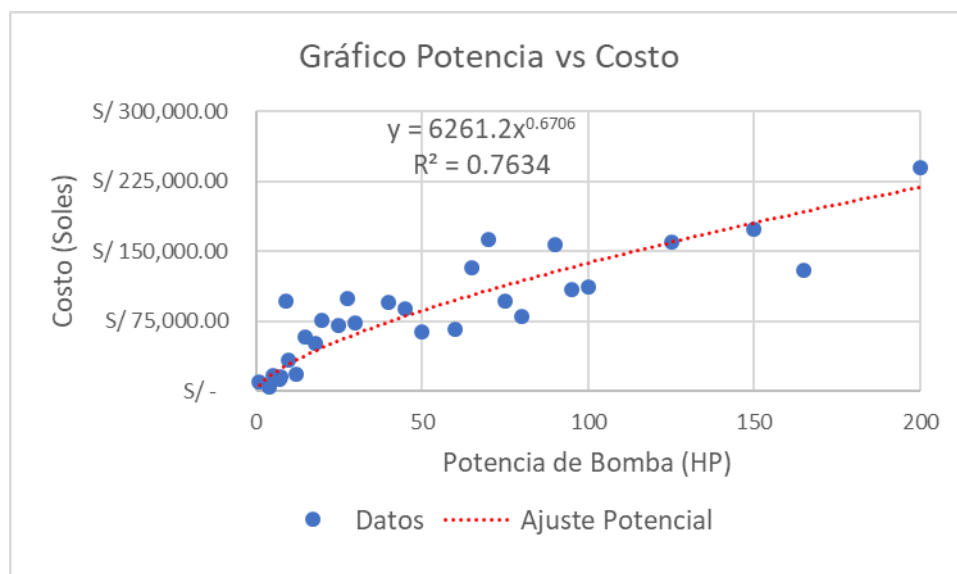


Figura 4.4 Gráfico de la Potencia de bomba respecto al Costo de Adquisición de la misma.

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 4.4 presenta el ajuste realizado a los datos obtenidos de la Tabla 4.5.

Tipo de Ajuste:				Potencial
Potencia de bomba (HP)	Costo de Bomba			$y = 6261.2x^{0.6706}$ $R^2 = 0.7634$
	Cantidad	Costo Total	Costo Unitario	Costo por Fórmula (S/.)
1	2.00	S/ 19,957.00	S/ 9,978.50	S/ 6,261.20
4	1.00	S/ 4,000.00	S/ 4,000.00	S/ 15,863.50
5	4.00	S/ 68,291.69	S/ 17,072.92	S/ 18,424.12
7	2.00	S/ 24,400.00	S/ 12,200.00	S/ 23,087.68
7.5	1.00	S/ 15,500.00	S/ 15,500.00	S/ 24,180.97
9	1.00	S/ 95,935.65	S/ 95,935.65	S/ 27,325.78
10	4.00	S/ 133,224.86	S/ 33,306.22	S/ 29,326.32
12	1.00	S/ 18,414.90	S/ 18,414.90	S/ 33,140.31
15	7.00	S/ 405,827.19	S/ 57,975.31	S/ 38,489.69
18	1.00	S/ 51,630.38	S/ 51,630.38	S/ 43,495.40
20	10.00	S/ 759,641.19	S/ 75,964.12	S/ 46,679.73
25	8.00	S/ 562,724.04	S/ 70,340.51	S/ 54,214.59
27.7	1.00	S/ 99,610.87	S/ 99,610.87	S/ 58,074.37
30	6.00	S/ 438,852.25	S/ 73,142.04	S/ 61,265.37
40	6.00	S/ 568,769.79	S/ 94,794.97	S/ 74,301.74
45	4.00	S/ 350,444.87	S/ 87,611.22	S/ 80,408.49
50	3.00	S/ 192,491.62	S/ 64,163.87	S/ 86,295.24
60	1.00	S/ 66,130.13	S/ 66,130.13	S/ 97,518.23
65	1.00	S/ 132,627.69	S/ 132,627.69	S/ 102,895.71
70	1.00	S/ 162,624.40	S/ 162,624.40	S/ 108,138.50
75	3.00	S/ 288,291.00	S/ 96,097.00	S/ 113,259.24
80	1.00	S/ 80,540.25	S/ 80,540.25	S/ 118,268.67
90	1.00	S/ 157,697.39	S/ 157,697.39	S/ 127,988.99
95	1.00	S/ 109,450.00	S/ 109,450.00	S/ 132,714.70
100	9.00	S/ 1,011,067.58	S/ 112,340.84	S/ 137,359.14
125	2.00	S/ 320,551.82	S/ 160,275.91	S/ 159,531.13
150	2.00	S/ 345,959.50	S/ 172,979.75	S/ 180,278.68
165	1.00	S/ 129,405.35	S/ 129,405.35	S/ 192,177.40
200	1.00	S/ 239,338.42	S/ 239,338.42	S/ 218,639.33

Tabla 4.4 Ajuste de los datos obtenidos respecto a una curva potencial.

Fuente: Elaboración propia.

Función Costo de Energía de Funcionamiento para el Bombeo (C₃): El costo de energía de funcionamiento es el importe actualizado de los recibos de energía eléctrica a pagar durante un periodo igual al periodo de diseño del proyecto (por lo general 20 años para reservorios y otras estructuras hidráulicas). Entonces, el costo C₃ se puede representar con la Ecuación 4.6.

$$\text{Ecuación 4.6} \quad C_3 = \sum_{i=1}^{i=t} \frac{A_i}{(1+r)^i}$$

Donde,

A_i = Importe anual a realizar en el año "i" por energía eléctrica (Soles)

r = Interés real ($r_{\text{real}} = r_{\text{nominal}} - \text{inflación}$)

t = Periodo de diseño (años)

Si se considera el interés real los importes anualizados durante el periodo de diseño será el mismo, por lo tanto, la Ecuación 4.6 se puede reescribir como la Ecuación 4.7.

$$\text{Ecuación 4.7} \quad C_3 = A * \frac{(1+r)^t - 1}{(1+r)^t * r} = A * s$$

Donde,

s = Factor de actualización, su inversa es el factor de amortización " $s=1/a$ "

El valor del importe anual es igual al producto de la potencia instalada de la bomba, horas de funcionamiento anual del bombeo y del precio del kW-h local. Así, la fórmula del Costo C_3 finalmente viene dado por la Ecuación 4.8.

$$\text{Ecuación 4.8} \quad C_3 = \text{Pot}_{\text{instalada}} * h * p * s$$

Donde,

$\text{Pot}_{\text{instalada}}$ = Potencia instalada de la bomba (kW)

H = Horas anuales de funcionamiento de la bomba (horas)

p = Precio del kW-h (soles / Kw-h)

s = Factor de actualización, su inversa es el factor de amortización " $s=1/a$ "

Función Costo de Mantenimiento (C_4): Representa el costo que se destinará a dar mantenimiento preventivo al sistema de rebombeo y/o bombeo para evitar que falle el sistema de impulsión. En la EPS SEDAPAL se suele considerar un 20% del costo de la energía de funcionamiento " C_3 ".

$$\text{Ecuación 4.9} \quad C_4 = 20\% * C_3$$

Donde,

C_3 = Costo de Energía de Funcionamiento para el Bombeo (Soles)

ID	Nombre del proyecto	Fecha	Tramo	Diámetro (mm)	Material	Caudal (LPS)	ADT (mH2O)	Tipo de Terreno Considerado	Longitud Total de Línea de Impulsión (m)	Costo de Total de Línea de Impulsión	Costo de Bomba	Potencia (HP)	Unidades	(T) Bomba Tipo Turbina Vertical (C) Bomba Centrifuga
1	Ampliación y mejoramiento de los sistemas de agua potable y alcantarillado de los sectores 346, 347, 348, 349, 350, 351, Collique - distrito de Comas	30/06/2020	CBA-02 AL RAP-01	150	HD C-40	15.86	53.5	Rocoso	87.39	S/ 65,913.62	S/ 45,782.88	20	2	T
2	Ampliación y mejoramiento de los sistemas de agua potable y alcantarillado de los sectores 346, 347, 348, 349, 350, 351, Collique - distrito de Comas	30/06/2020	R-5 AL RAP-02	150	HD C-40	10.32	133.5	Rocoso	1077.64	S/ 804,251.97	S/ 98,155.72	30	2	T
3	Ampliación y mejoramiento de los sistemas de agua potable y alcantarillado de los sectores 346, 347, 348, 349, 350, 351, Collique - distrito de Comas	30/06/2020	R-4 AL RAP-03	150	HD C-40	13.12	136.7	Rocoso	529.92	S/ 399,302.35	S/ 99,889.92	40	2	T
4	Ampliación y mejoramiento de los sistemas de agua potable y alcantarillado de los sectores 346, 347, 348, 349, 350, 351, Collique - distrito de Comas	30/06/2020	R-5B AL RAP-04	150	HD C-40	13.71	82.5	Rocoso	128.28	S/ 101,841.58	S/ 81,854.24	30	2	T
5	Ampliación y mejoramiento de los sistemas de agua potable y alcantarillado de los sectores 346, 347, 348, 349, 350, 351, Collique - distrito de Comas	30/06/2020	CBA-01 AL RAP-05	150	HD C-40	12.91	112	Rocoso	351.86	S/ 300,467.42	S/ 65,205.92	30	2	T
6	Ampliación y mejoramiento de los sistemas de agua potable y alcantarillado de los sectores 346, 347, 348, 349, 350, 351, Collique - distrito de Comas	30/06/2020	R-2 AL CBA-01	250	HD C-40	17.43	46.1	Normal	88.22	S/ 46,388.26	S/ 125,556.08	20	2	T
7	Instalaciones complementarias de redes secundarias y conexiones domiciliarias de agua potable y alcantarillado del esquema Ñaña y anexos - distrito de Lurigancho Chosica	31/01/2018	RAP-01 AL RAP-02	100	HD K-9	5.24	41.09	Rocoso	66.93	S/ 33,449.38	S/ 9,007.60	-	2	C
8	Obras generales de agua potable y alcantarillado de la quebrada de Manchay - Distrito de Pachacamac	31/01/2018	CP-02 al RP-8	150	HD K-9	45	194	Normal	1194.00	S/ 193,975.14	-	-	3	-
9	Obras generales de agua potable y alcantarillado de la quebrada de Manchay - Distrito de Pachacamac	31/01/2018	CP-02 al RP-8	300	HD K-9	45	194	Normal	3674.00	S/ 1,027,422.00	-	-	3	-
10	Obras generales de agua potable y alcantarillado de la quebrada de Manchay - Distrito de Pachacamac	31/01/2018	CP-02 al RP-7	200	HD K-9	45	207.5	Normal	4238.00	S/ 739,753.94	-	-	2	-
11	Obras generales de agua potable y alcantarillado de la quebrada de Manchay - Distrito de Pachacamac	31/01/2018	CP-02 al RP-7	250	HD K-9	45	207.5	Normal	1425.00	S/ 266,589.00	-	-	2	-
12	Obras generales de agua potable y alcantarillado de la quebrada de Manchay - Distrito de Pachacamac	31/01/2018	CP-02 al RP-7	300	HD K-9	45	207.5	Normal	430.00	S/ 108,209.50	-	-	2	-
13	Obras generales de agua potable y alcantarillado de la quebrada de Manchay - Distrito de Pachacamac	31/01/2018	CP-04 al RP-3	80	HD K-9	6	24.5	Rocoso	625.00	S/ 95,306.25	-	-	2	-
14	Obras generales de agua potable y alcantarillado de la quebrada de Manchay - Distrito de Pachacamac	31/01/2018	RP-10 al RP-11	100	HD K-9	9	70	Semirocoso	525.00	S/ 77,119.50	-	-	2	-
15	Obras generales de agua potable y alcantarillado de la quebrada de Manchay - Distrito de Pachacamac	31/01/2018	RP-13 al RP-5	80	HD K-9	4.29	59.26	Semirocoso	975.00	S/ 64,756.50	-	-	2	-
16	Ampliación y mejoramiento de los sistemas de agua potable y alcantarillado de los sectores 273, 277, 278, 279, 280, 394, 395 - distrito de Ventanilla	31/12/2017	RP-01LosCedros AL REP-03	100	HD C-40	14.04	40.14	Rocoso	42.04	S/ 18,183.42	S/ 38,278.04	20	2	T
17	Ampliación y mejoramiento de los sistemas de agua potable y alcantarillado de los sectores 273, 277, 278, 279, 280, 394, 395 - distrito de Ventanilla	31/12/2017	RP-02LosCedros AL REP-01	100	HD C-40	8	62	Normal	1190.99	S/ 400,396.58	S/ 44,565.79	10	2	T
18	Ampliación y mejoramiento de los sistemas de agua potable y alcantarillado de los sectores 273, 277, 278, 279, 280, 394, 395 - distrito de Ventanilla	31/12/2017	R-03VillaLosReyes AL R-05LosAngeles	250	HD C-40	43.44	80	Normal	387.06	S/ 153,228.58	S/ 72,145.58	75	2	T
19	Ampliación y mejoramiento de los sistemas de agua potable y alcantarillado de los sectores 273, 277, 278, 279, 280, 394, 395 - distrito de Ventanilla	31/12/2017	R-05LosAngeles AL REP-02	100	HD C-40	8	54	Rocoso	64.02	S/ 28,015.88	S/ 38,325.25	10	2	T
20	Ampliación y mejoramiento de los sistemas de agua potable y alcantarillado de los sectores 273, 277, 278, 279, 280, 394, 395 - distrito de Ventanilla	31/12/2017	CR253 AL RP-5A	250	HD C-40	66	82	Normal	1601.85	S/ 716,537.54	S/ 87,904.80	100	4	T

ID	Nombre del proyecto	Fecha	Tramo	Diámetro (mm)	Material	Caudal (LPS)	ADT (mH2O)	Tipo de Terreno Considerado	Longitud Total de Línea de Impulsión (m)	Costo de Total de Línea de Impulsión	Costo de Bomba	Potencia (HP)	Unidades	(T) Bomba Tipo Turbina Vertical (C) Bomba Centrifuga
21	Ampliación y mejoramiento de los sistemas de agua potable y alcantarillado de los sectores 273, 277, 278, 279, 280, 394, 395 - distrito de Ventanilla	31/12/2017	CP-01 AL RAP-04	100	HD C-40	6	113	Rocoso	1130.21	S/ 580,091.40	S/ 59,394.22	20	2	T
22	Ampliación y mejoramiento de los sistemas de agua potable y alcantarillado de los sectores 273, 277, 278, 279, 280, 394, 395 - distrito de Ventanilla	31/12/2017	R-03VentanillaAlta AL RAP-07	100	HD C-40	8	77	Normal	1464.88	S/ 360,623.99	S/ 48,802.86	20	2	T
23	Ampliación y mejoramiento de los sistemas de agua potable y alcantarillado de los sectores 273, 277, 278, 279, 280, 394, 395 - distrito de Ventanilla	31/12/2017	R-03VentanillaAlta AL RAP-05	150	HD C-40	17	119	Normal	916.89	S/ 264,942.92	S/ 65,954.56	50	2	T
24	Ampliación y mejoramiento de los sistemas de agua potable y alcantarillado de los sectores 273, 277, 278, 279, 280, 394, 395 - distrito de Ventanilla	31/12/2017	RRP-01 AL RAP-03	100	HD C-40	6	109	Normal	619.56	S/ 187,908.90	S/ 118,788.64	20	2	T
25	Ampliación y mejoramiento de los sistemas de agua potable y alcantarillado de los sectores 273, 277, 278, 279, 280, 394, 395 - distrito de Ventanilla	31/12/2017	RP-02LosCedros AL RP-03LosCedros	300	HD C-40	41.71	51.55	Normal	269.48	S/ 162,726.72	S/ 58,736.67	40	3	T
26	Ampliación y mejoramiento de los sistemas de agua potable y alcantarillado de los sectores 273, 277, 278, 279, 280, 394, 395 - distrito de Ventanilla	31/12/2017	CP-01 AL R-03VentanillaAlta	250	HD C-40	46	89	Normal	1694.50	S/ 778,243.97	S/ 80,664.90	100	2	T
27	Ampliación y mejoramiento de los sistemas de agua potable y alcantarillado de los sectores 273, 277, 278, 279, 280, 394, 395 - distrito de Ventanilla	31/12/2017	R-01VillaLosreyes AL R-03VillaLosReyes	300	HD C-40	37.1	50.55	Normal	259.56	S/ 140,518.67	S/ 52,754.92	50	3	T
28	Ampliación y mejoramiento de los sistemas de agua potable y alcantarillado de los sectores 273, 277, 278, 279, 280, 394, 395 - distrito de Ventanilla	31/12/2017	R-02A.M.Caceres AL R-03A.M.Caceres	150	HD C-40	20	58	Normal	555.84	S/ 171,605.19	S/ 47,499.65	30	2	T
29	Ampliación y mejoramiento de los sistemas de agua potable y alcantarillado para los sectores 359 y 360 y nuevas habilitaciones del esquema integral Carabaylo, sectores 352, 353, 355, 356, 357, 358 distrito de Carbaylo y San Antonio de Huarochiri	31/10/2017	CP-01 AL REP-18	200	HD K-9	25.2	48	Normal	25.00	S/ 6,387.20	S/ 48,714.96	25	2	T
30	Ampliación y mejoramiento de los sistemas de agua potable y alcantarillado para los sectores 359 y 360 y nuevas habilitaciones del esquema integral Carabaylo, sectores 352, 353, 355, 356, 357, 358 distrito de Carbaylo y San Antonio de Huarochiri	31/10/2017	CP-01 AL CP-02	600	HD K-9	124	44	Normal	675.00	S/ 619,792.79	S/ 93,251.10	100	4	T
31	Ampliación y mejoramiento de los sistemas de agua potable y alcantarillado para los sectores 359 y 360 y nuevas habilitaciones del esquema integral Carabaylo, sectores 352, 353, 355, 356, 357, 358 distrito de Carbaylo y San Antonio de Huarochiri	31/10/2017	CP-02 AL RAP-07	450	HD K-9	89.56	61	Normal	835.00	S/ 509,693.27	S/ 99,511.20	100	3	T
32	Ampliación y mejoramiento de los sistemas de agua potable y alcantarillado para los sectores 359 y 360 y nuevas habilitaciones del esquema integral Carabaylo, sectores 352, 353, 355, 356, 357, 358 distrito de Carbaylo y San Antonio de Huarochiri	31/10/2017	CP-02 AL RRP-01	350	HD K-9	57.04	122	Rocoso	1640.00	S/ 1,811,236.59	S/ 107,202.18	150	3	T
33	Ampliación y mejoramiento de los sistemas de agua potable y alcantarillado para los sectores 359 y 360 y nuevas habilitaciones del esquema integral Carabaylo, sectores 352, 353, 355, 356, 357, 358 distrito de Carbaylo y San Antonio de Huarochiri	31/10/2017	CP-02 AL RRP-02	350	HD K-9	56.74	107	Normal	1186.00	S/ 1,338,277.04	S/ 94,503.12	125	3	T
34	Ampliación y mejoramiento de los sistemas de agua potable y alcantarillado para los sectores 359 y 360 y nuevas habilitaciones del esquema integral Carabaylo, sectores 352, 353, 355, 356, 357, 358 distrito de Carbaylo y San Antonio de Huarochiri	31/10/2017	CP-03 AL RP-04	350	HD K-9	75.5	69	Normal	1637.20	S/ 685,119.89	S/ 90,904.46	100	3	T
35	Ampliación y mejoramiento de los sistemas de agua potable y alcantarillado para los sectores 359 y 360 y nuevas habilitaciones del esquema integral Carabaylo, sectores 352, 353, 355, 356, 357, 358 distrito de Carbaylo y San Antonio de Huarochiri	31/10/2017	RRP-01 AL RAP-03	150	HD K-9	12.02	95	Rocoso	730.00	S/ 417,443.38	S/ 60,537.61	25	2	T

ID	Nombre del proyecto	Fecha	Tramo	Diametro (mm)	Material	Caudal (LPS)	ADT (mH2O)	Tipo de Terreno Considerado	Longitud Total de Línea de Impulsión (m)	Costo de Total de Línea de Impulsión	Costo de Bomba	Potencia (HP)	Unidades	(T) Bomba Tipo Turbina Vertical (C) Bomba Centrifuga
36	Ampliación y mejoramiento de los sistemas de agua potable y alcantarillado para los sectores 359 y 360 y nuevas habilitaciones del esquema integral Carabaylo, sectores 352, 353, 355, 356, 357, 358 distrito de Carabaylo y San Antonio de Huarochiri	31/10/2017	RRP-02 AL RAP-04	250	HD K-9	40.08	110	Rocoso	935.00	S/ 813,409.31	S/ 93,966.54	100	2	T
37	Ampliación y mejoramiento de los sistemas de agua potable y alcantarillado para los sectores 359 y 360 y nuevas habilitaciones del esquema integral Carabaylo, sectores 352, 353, 355, 356, 357, 358 distrito de Carabaylo y San Antonio de Huarochiri	31/10/2017	RRP-04 AL RAP-05	150	HD K-9	18.32	86	Rocoso	860.00	S/ 525,372.46	S/ 40,576.83	30	2	T
38	Ampliación y mejoramiento de los sistemas de agua potable y alcantarillado para los sectores 359 y 360 y nuevas habilitaciones del esquema integral Carabaylo, sectores 352, 353, 355, 356, 357, 358 distrito de Carabaylo y San Antonio de Huarochiri	31/10/2017	R-02 AL CR-01	150	HD K-9	14.09		Rocoso	502.00	S/ 271,017.28	S/ 42,651.61	15	2	T
39	Ampliación y mejoramiento de los sistemas de agua potable y alcantarillado para los sectores 359 y 360 y nuevas habilitaciones del esquema integral Carabaylo, sectores 352, 353, 355, 356, 357, 358 distrito de Carabaylo y San Antonio de Huarochiri	31/10/2017	CR-01 AL RAP-02	150	HD K-9	12.17	78	Rocoso	130.60	S/ 68,191.66	S/ 51,630.38	18	2	T
40	Ampliación y mejoramiento de los sistemas de agua potable y alcantarillado para los sectores 359 y 360 y nuevas habilitaciones del esquema integral Carabaylo, sectores 352, 353, 355, 356, 357, 358 distrito de Carabaylo y San Antonio de Huarochiri	31/10/2017	RRP-03 AL RAP-01	150	HD K-9	12.38	97	Rocoso	1304.00	S/ 782,305.70	S/ 60,537.61	25	2	T
41	Mejoramiento de los sistemas de agua potable y alcantarillado en los AAHH El cerro del Agustino Frente 1 (Alternativa 2)	31/03/2017	CP-01 AL RRP-01	250	HD K-9	53	70	Normal	182.70	S/ 155,073.01	S/ 71,587.47	75	2	T
42	Mejoramiento de los sistemas de agua potable y alcantarillado en los AAHH El cerro del Agustino Frente 1 (Alternativa 2)	31/03/2017	RRP-01 AL CR-129	200	HD K-9	29.5	81	Normal	160.30	S/ 132,401.10	S/ 73,782.14	50	2	T
43	Mejoramiento de los sistemas de agua potable y alcantarillado en los AAHH El cerro del Agustino Frente 1 (Alternativa 2)	31/03/2017	CR-129 AL RAP-01	100	HD K-9	11	59.5	Normal	395.80	S/ 187,405.89	S/ 74,379.18	15	2	T
44	Ampliación de los sistemas de agua potable y alcantarillado del proyecto especial Los Angeles - distrito San Juan de Lurigancho	31/12/2016	CR-112 AL CR-113	300	HD K-9	95.5	97	Normal	1110.90	S/ 620,314.99	S/ 129,405.35	165	2	T
45	Ampliación de los sistemas de agua potable y alcantarillado del proyecto especial Los Angeles - distrito San Juan de Lurigancho	31/12/2016	R-02 AL RAP-01	150	HD K-9	11.5	137	Rocoso	741.10	S/ 297,120.55	S/ 77,848.18	25	2	T
46	Ampliación y mejoramiento de los sistemas de agua potable y alcantarillado para el esquema San Juan de Amancaes, distrito del Rimac	30/11/2016	EB-01 AL R-835	250	HD K-9	43.9	27.7	Normal	1008.06	S/ 423,862.83	S/ 99,610.87	27.7	2	T
47	Ampliación y mejoramiento de los sistemas de agua potable y alcantarillado para el esquema San Juan de Amancaes, distrito del Rimac	30/11/2016	R-835 AL R-836	250	HD K-9	40.8	41.2	Rocoso	101.90	S/ 62,785.73	S/ 114,443.56	40	2	T
48	Ampliación y mejoramiento de los sistemas de agua potable y alcantarillado para el esquema San Juan de Amancaes, distrito del Rimac	30/11/2016	EB-02 AL R-832	300	HD K-9	90.42	5.07	Normal	437.71	S/ 266,612.68	S/ 97,195.67	15	2	T
49	Ampliación y mejoramiento de los sistemas de agua potable y alcantarillado para el esquema San Juan de Amancaes, distrito del Rimac	30/11/2016	EB-02 AL CR-101	400	HD K-9	138.1	28.18	Normal	959.80	S/ 702,900.89	S/ 144,557.95	75	2	T
50	Ampliación y mejoramiento de los sistemas de agua potable y alcantarillado para el esquema San Juan de Amancaes, distrito del Rimac	30/11/2016	CR-101 AL RA-108	150	HD K-9	20.4	92	Normal	715.41	S/ 304,098.00	S/ 124,962.04	40	2	T
51	Ampliación y mejoramiento de los sistemas de agua potable y alcantarillado para el esquema San Juan de Amancaes, distrito del Rimac	30/11/2016	CR-101 AL CR-102	350	HD K-9	117.8	85.9	Normal	723.77	S/ 471,447.75	S/ 239,338.42	200	2	T
52	Ampliación y mejoramiento de los sistemas de agua potable y alcantarillado para el esquema San Juan de Amancaes, distrito del Rimac	30/11/2016	CR-102 AL RP-02	300	HD K-9	60.9	81.2	Rocoso	835.72	S/ 770,066.52	S/ 172,025.33	100	2	T
53	Ampliación y mejoramiento de los sistemas de agua potable y alcantarillado para el esquema San Juan de Amancaes, distrito del Rimac	30/11/2016	CR-102 AL RP-09	250	HD K-9	40.2	158.8	Rocoso	812.36	S/ 604,090.48	S/ 226,048.70	125	3	T
54	Instalación de los sistemas de agua potable y alcantarillado del esquema integral Villas de Ancón, distrito de Ancón (alternativa 1)	31/08/2016	CP-01 AL REP-02	150	HD K-9	50	90.82	Normal	1392.00	S/ 317,581.86	S/ 80,540.25	80	2	T
55	Instalación de los sistemas de agua potable y alcantarillado del esquema integral Villas de Ancón, distrito de Ancón (alternativa 2)	31/08/2016	RAP-01 AL REP-01	300	HD K-9	27.5	177	Rocoso	2156.23	S/ 2,068,388.94	S/ 158,579.25	100	3	T

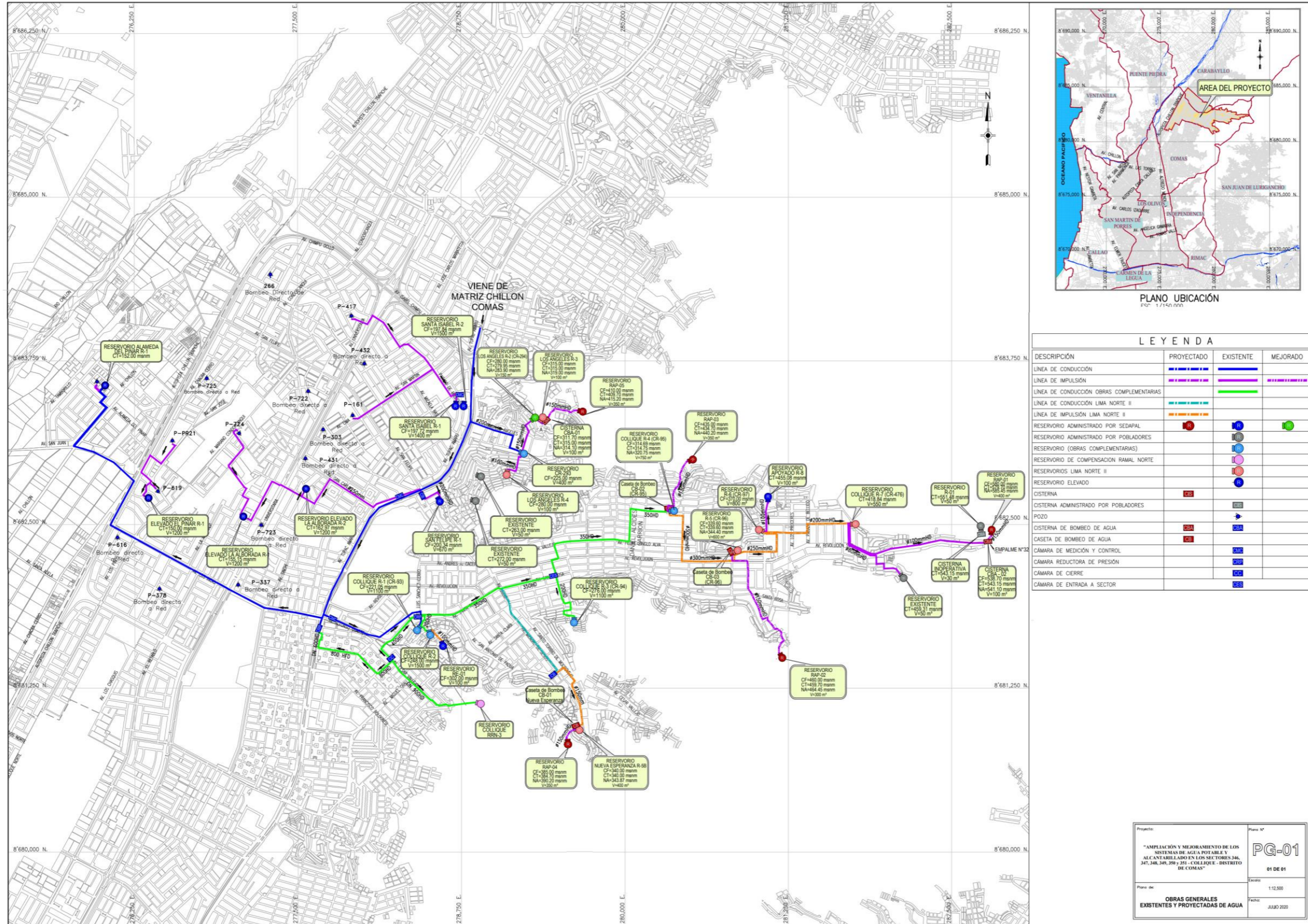
ID	Nombre del proyecto	Fecha	Tramo	Diametro (mm)	Material	Caudal (LPS)	ADT (mH2O)	Tipo de Terreno Considerado	Longitud Total de Línea de Impulsión (m)	Costo de Total de Línea de Impulsión	Costo de Bomba	Potencia (HP)	Unidades	(T) Bomba Tipo Turbina Vertical (C) Bomba Centrifuga
56	Ampliación y mejoramiento de los sistemas de agua potable y alcantarillado de los sectores 268, 269, 270, 271, 272, 274, 275 - distrito de Ventanilla - provincia institucional del Callao (alternativa 2)	30/06/2016	R2ANGAMOS AL RAP-02	150	HD K-9	12.17	113.96	Rocoso	550.00	S/ 301,165.76	S/ 56,469.04	25	2	T
57	Ampliación y mejoramiento de los sistemas de agua potable y alcantarillado de los sectores 268, 269, 270, 271, 272, 274, 275 - distrito de Ventanilla - provincia institucional del Callao (alternativa 2)	30/06/2016	CR471 AL RAP-01	200	HD K-9	27.98	94	Rocoso	650.00	S/ 454,522.85	S/ 76,124.87	45	3	T
58	Ampliación y mejoramiento de los sistemas de agua potable y alcantarillado de los sectores 268, 269, 270, 271, 272, 274, 275 - distrito de Ventanilla - provincia institucional del Callao (alternativa 2)	30/06/2016	CR471 AL R1KenjiFujimori	200	HD K-9	14.23	98.88	Normal	696.00	S/ 367,041.94	S/ 56,469.04	25	3	T
59	Ampliación y mejoramiento de los sistemas de agua potable y alcantarillado de los sectores 268, 269, 270, 271, 272, 274, 275 - distrito de Ventanilla - provincia institucional del Callao (alternativa 2)	30/06/2016	CR471 AL CP-01	150	HD K-9	11.3	72.97	Rocoso	868.00	S/ 501,721.99	S/ 42,467.08	15	2	T
60	Ampliación y mejoramiento de los sistemas de agua potable y alcantarillado de los sectores 268, 269, 270, 271, 272, 274, 275 - distrito de Ventanilla - provincia institucional del Callao (alternativa 2)	30/06/2016	CP-01 AL R-02CostaAzul	100	HD K-9	10.98	68.83	Rocoso	375.00	S/ 215,708.41	S/ 18,414.90	12	2	T
61	Ampliación y mejoramiento de los sistemas de agua potable y alcantarillado de los sectores 268, 269, 270, 271, 272, 274, 275 - distrito de Ventanilla - provincia institucional del Callao (alternativa 2)	30/06/2016	CP-01 AL REP-01	100	HD K-9	11.04	107.56	Rocoso	764.00	S/ 437,378.41	S/ 54,979.26	20	2	T
62	Ampliación y mejoramiento de los sistemas de agua potable y alcantarillado para el esquema Musa 4ta y 5ta Etapa - distrito de La Molina (Expediente técnico)	31/03/2016	CE-01 AL RRE-01	250	HD K-9	50	65	Normal	790.50	S/ 380,680.64	S/ 66,130.13	60	2	T
63	Ampliación y mejoramiento de los sistemas de agua potable y alcantarillado para el esquema Musa 4ta y 5ta Etapa - distrito de La Molina (Expediente técnico)	31/03/2016	RRE-01 AL RAP-01	200	HD K-9	25.5	7.3	Rocoso	228.40	S/ 192,654.04	S/ 64,449.68	40	2	T
64	Ampliación y mejoramiento de los sistemas de agua potable y alcantarillado para el Esquema Vallecito Bajo, Sector 309 - Distrito de Villa María del Triunfo	31/03/2016	EST.BOOSTER AL R-2A	350	HD K-9	54	46.7	Normal	970.00	S/ 531,533.32	S/ 135,860.00	45	3	T
65	Ampliación y mejoramiento de los sistemas de agua potable y alcantarillado para el Esquema Vallecito Bajo, Sector 309 - Distrito de Villa María del Triunfo	31/03/2016	R-2A AL R-RICRA	200	HD K-9	20	87.4	Semirocoso	370.00	S/ 182,050.05	S/ 105,559.89	30	2	T
66	Ampliación y mejoramiento de los sistemas de agua potable y alcantarillado para el Esquema Vallecito Bajo, Sector 309 - Distrito de Villa María del Triunfo	31/03/2016	R-VIÑAS3 AL R-VIÑAS1	100	HD K-9	9	44.65	Semirocoso	230.00	S/ 109,747.30	S/ 11,050.00	7	2	C
67	Ampliación y mejoramiento de los sistemas de agua potable y alcantarillado para el Esquema Vallecito Bajo, Sector 309 - Distrito de Villa María del Triunfo	31/03/2016	R-2A AL RP-10	200	HD K-9	22.8	170.26	Normal	1012.00	S/ 396,664.07	S/ 162,624.40	70	2	T
68	Horas complementarias para los sistemas de agua potable y alcantarillado em la quebrada Manchay	30/06/2015	RP-08 AL RP-20	100	HD K-9	6	43	Normal	1017.00	S/ 228,599.93	S/ 10,905.40	5	2	C
69	Horas complementarias para los sistemas de agua potable y alcantarillado em la quebrada Manchay	30/06/2015	RP-16 AL RP-19	100	HD K-9	5	65	Rocoso	721.00	S/ 303,444.72	S/ 11,318.00	5	1	C
70	Horas complementarias para los sistemas de agua potable y alcantarillado em la quebrada Manchay	30/06/2015	RP-12 AL RP-18	100	HD K-9	6	140	Rocoso	1688.19	S/ 689,326.75	S/ 21,506.00	15	1	C
71	Horas complementarias para los sistemas de agua potable y alcantarillado em la quebrada Manchay	30/06/2015	RP-13 AL RP-21	100	HD K-9	4	18	Semirocoso	2715.00	S/ 562,971.37	S/ 8,639.00	1	1	C
72	Horas complementarias para los sistemas de agua potable y alcantarillado em la quebrada Manchay	30/06/2015	RP-05 AL RP-22	100	HD K-9	5	6.5	Rocoso	680.00	S/ 292,027.08	S/ 11,318.00	1	2	C
73	Ampliación y mejoramiento de los sistemas de agua potable y alcantarillado del esquema Independencia unificada y Ermitaño	28/02/2015	RRE-06 AL RAP-01	100	HD K-9	5.79	73.01	Rocoso	391.17	S/ 222,323.65	S/ 15,500.00	7.5	2	C
74	Ampliación y mejoramiento de los sistemas de agua potable y alcantarillado del esquema Independencia unificada y Ermitaño	28/02/2015	RRE-04 AL RAP-02	100	HD K-9	6.64	57.47	Rocoso	205.48	S/ 148,320.98	S/ 13,350.00	7	2	C
75	Ampliación y mejoramiento de los sistemas de agua potable y alcantarillado del esquema Independencia unificada y Ermitaño	28/02/2015	RRE-03 AL REE-04	200	HD K-9	29.16	80.52	Rocoso	838.57	S/ 550,791.96	S/ 106,287.92	40	2	T

ID	Nombre del proyecto	Fecha	Tramo	Diámetro (mm)	Material	Caudal (LPS)	ADT (mH2O)	Tipo de Terreno Considerado	Longitud Total de Línea de Impulsión (m)	Costo de Total de Línea de Impulsión	Costo de Bomba	Potencia (HP)	Unidades	(T) Bomba Tipo Turbina Vertical (C) Bomba Centrifuga
76	Ampliación y mejoramiento de los sistemas de agua potable y alcantarillado del esquema Independencia unificada y Ermitaño	28/02/2015	RRE-02 AL RAE-02	200	HD K-9	63.13	80.41	Rocoso	65.79	S/ 609,652.38	S/ 157,697.39	90	2	T
77	Ampliación y mejoramiento de los sistemas de agua potable y alcantarillado del esquema Independencia unificada y Ermitaño	28/02/2015	RRE-01 AL RAP-03	100	HD K-9	8.19	60.47	Rocoso	110.73	S/ 81,822.91	S/ 95,935.65	9	2	T
78	Rehabilitación y mejoramiento de los sistemas de agua potable en el AAHH Cerro el Pino - Distrito La Victoria	31/07/2014	CRP-01 AL RP-02	100	HD K-9	9.84	22.49	Rocoso	13.95	S/ 6,968.55	S/ 4,000.00	4	2	C
79	Ampliación y mejoramiento de los sistemas de agua potable y alcantarillado para el Esquema Jose Galves, Sector 315 - Distrito de Villa María del Triunfo	30/06/2014	C-15NOV AL R-15NOV	200	HD K-9	39	137.8	Normal	345.00	S/ 81,457.09	S/ 109,450.00	95	2	T
80	Ampliación y mejoramiento de los sistemas de agua potable y alcantarillado para el Esquema Jose Galves, Sector 315 - Distrito de Villa María del Triunfo	30/06/2014	C-PALMAS1 AL R-PALMAS	200	HD K-9	36.04	73.16	Normal	551.00	S/ 130,134.23	S/ 69,230.00	45	2	T
81	Ampliación y mejoramiento de los sistemas de agua potable y alcantarillado para el Esquema Jose Galves, Sector 315 - Distrito de Villa María del Triunfo	30/06/2014	C-CONCRETO AL R-METALICO	300	HD K-9	66	87.39	Normal	1320.00	S/ 456,465.90	S/ 134,260.00	100	2	T
82	Ampliación y mejoramiento de los sistemas de agua potable y alcantarillado para el Esquema Jose Galves, Sector 315 - Distrito de Villa María del Triunfo	30/06/2014	C-KUWAIT AL R-KUWAIT	100	HD K-9	5.34	104.42	Normal	678.65	S/ 90,172.22	S/ 12,745.00	10	2	C
83	Ampliación y mejoramiento de los sistemas de agua potable y alcantarillado para el esquema de Musa 4ta y 5ta etapa - Distrito de La Molina	30/06/2014	RRE-01 AL RAP-01	200	HD K-9	36.04	73.16	Rocoso	195.00	S/ 110,462.54	S/ 69,230.00	45	2	T
84	Ampliación y mejoramiento de los sistemas de agua potable y alcantarillado para el esquema Jerusalem y anexos, distrito de Puente Piedra	31/05/2014	RE-02 AL REP-01	100	HD K-9	14	41	Rocoso	327.00	S/ 108,706.05	S/ 39,400.00	15	2	T
85	Ampliación y mejoramiento de los sistemas de agua potable y alcantarillado para el esquema Jerusalem y anexos, distrito de Puente Piedra	31/05/2014	RE-04 AL RE-06	100	HD K-9	5	48.5	Rocoso	160.00	S/ 70,289.92	S/ 36,304.29	5	2	T


Tabla 4.5 Base de datos de proyectos en Lima desde el año 2014.

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO 5 PLANO GENERAL DE AGUA POTABLE



ANEXO 6 PROCESO AUTOMÁTICO – LLENADO DE RESERVORIO DESTINO MEDIANTE RESERVORIO FUENTE POR REBOMBEO

	CONSIDERACIONES TÉCNICAS	Código : GPDA036 Revisión : 02 Aprobado : GPDP Fecha : 2018.11.21 Página : 155 de 355
	AUTOMATIZACIÓN DE LAS ESTACIONES DE CONTROL DEL SISTEMA DE DISTRIBUCION PRIMARIO POR GRAVEDAD Y BOMBEO	

CONSIDERACIONES:

1. Al normalizarse las alarmas descritos en el cuadro anterior, los pozos afectados **DEBEN** funcionar automáticamente, **NO** es necesario de un **RESET** y/o Reconocimiento para que vuelvan a operar, a excepción de las siguiente alarma:

a. **Alarma de Sobrepresión/Subpresión Línea de impulsión**

Para tales fines se debe crear un botón tipo pulsador en la pantalla del SCADA de la estación remota y en la del panel del operador para que uno de ellos pueda normalizar la alarma.

2. Para este proceso se debe considerar un transmisor de nivel, para los "n" reservorios, con el objetivo de identificar su nivel mínimo, su nivel actual y su nivel máximo.

3. Es importante indicar que se debe considerar para los "n" Reservorios de este proceso, "n" Válvulas de altitud con su respectivo ON/OFF (Limite de Carrera).

4. Si el pozo se encuentran funcionando y los reservorios 1, 2 y "N", **NO** llegan a su nivel máximo, las válvulas de altitud permanecieran abiertas.

5. Si el reservorio1 llega a su nivel máximo, la valvula de altitud1 se cerrará hidráulicamente y el pozo continuará funcionando hasta que el nivel del último reservorio destino llegue a su nivel máximo.

6. La función de la válvula de altitud es evitar reboses.

1.1.2 PROCESO AUTOMÁTICO - LLENADO DE RESERVORIO POR CONDUCCIÓN (GRAVEDAD)

La Filosofía de control del llenado de reservorio por gravedad estará a cargo del Equipo distribución Primaria.

Si el reservorio o cisterna esta conformado por equipos de bombeo consultar con el Equipo de Operación de los Sistema de Bombeo de Agua – EOMASBA, la filosofía de control del Ingreso al Reservorio.

1.1.3 PROCESO AUTOMÁTICO - LLENADO DE RESERVORIO DESTINO MEDIANTE RESERVORIO FUENTE POR REBOMBEO:


Este proceso se caracteriza por considerar dos Reservorios: Un Reservorio FUENTE ("A") y uno DESTINO ("B"); "A" llena a "B" a través del encendido de equipos de bombeo. Durante el proceso, el encendido de las bombas de "A" estará dirigido por el Nivel de "B".

El criterio para prender los equipos de bombeo de "A" será definido en el Cuadro de configuración de nivel de "B", en la que "B" solicitara que se enciendan o paren las bombas según la cantidad fijada en el cuadro.

El proceso de llenado será configurado desde el SCADA y por lo tanto el PLC de la estación remota respectiva debe tener en consideración esta programación.

Es preciso indicar que el supervisor, desde el SCADA, va a poder configurar los siguientes parámetros:

Fuente: Automatización de las estaciones de control del sistema de distribución primario por gravedad y bombeo (Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima, 2018, pág. 155)

	CONSIDERACIONES TÉCNICAS	Código : GPDA036 Revisión : 02 Aprobado : GPDP Fecha : 2018.11.21 Página : 156 de 355
	AUTOMATIZACIÓN DE LAS ESTACIONES DE CONTROL DEL SISTEMA DE DISTRIBUCION PRIMARIO POR GRAVEDAD Y BOMBEO	

CONFIGURACIÓN PARAMETROS PERMISIVOS	
Nivel Maximo	Nivel Maximo Reservoirio
Nivel Minimo	Nivel Minimo Reservoirio
Sobrepresión	Sobrepresion Linea de Impulsion (mca)
Subpresión	Subpresión Linea de Impulsion (mca)

A.-CONFIGURACIÓN:

El Supervisor podrá ingresar, desde el SCADA, valores que intervendrán directamente en el proceso (antes, durante y después de su ejecución) a través de 3 cuadros

A.1.-CUADRO DE SELECCION DE BOMBAS EN RESERVORIO FUENTE

Este cuadro permite al Supervisor (desde el SCADA), Habilitar las bombas que serán considerados en el ARRANQUE de PROCESO. Para el caso de las bombas que NO están seleccionados se les considerara en estado de "ESPERA", es decir pueden ser seleccionados en cualquier momento según criterio del Supervisor Ver las tablas 2.8 y 2.9.

SELECCION DE BOMBAS	
ELECTROBOMBAS	ESTADO
BOMBA1	ESTADO1
BOMBA2	ESTADO2
BOMBA3	ESTADO3
BOMBA N	ESTADO

Tabla 2.8

SELECCION DE BOMBAS	
ESTADO	DESCRIPCIÓN
SELECCION1	Orden Bomba 1 Habilitar/Espera para Arranque
SELECCION2	Orden Bomba 2 Habilitar/Espera para Arranque
SELECCION3	Orden Bomba 3 Habilitar/Espera para Arranque
SELECCIÓN N	Orden Bomba n Habilitar/Espera para Arranque

Tabla 2.9


A.2.-CUADRO DE CONFIGURACIÓN NIVEL RESERVORIO DESTINO

Este cuadro permite al Supervisor modificar (desde el SCADA) el nivel máximo y el nivel mínimo del reservorio destino. La cantidad de bombas a encender se realizará de acuerdo a la configuración del "Cuadro de Selección de Bombas"

CONFIGURACIÓN RESERVORIO DESTINO		Descripción
Nivel Maximo	Nivel Maximo Reservoirio Destino (mca)	Apagarán las Bombas
Nivel Minimo	Nivel Minimo Reservoirio Destino (mca)	Encenderán las Bombas

Tabla 2.10

Fuente: Automatización de las estaciones de control del sistema de distribución primario por gravedad y bombeo (Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima, 2018, pág. 156)

	CONSIDERACIONES TÉCNICAS	Código : GPDA036 Revisión : 02 Aprobado : GPDP Fecha : 2018.11.21 Página : 157 de 355
	AUTOMATIZACIÓN DE LAS ESTACIONES DE CONTROL DEL SISTEMA DE DISTRIBUCION PRIMARIO POR GRAVEDAD Y BOMBEO	

A.3.- CUADRO DE CONFIGURACIÓN HORARIA – PROCESO LLENADO RESERVORIO DESTINO MEDIANTE RESERVORIO FUENTE POR REBOMBEO

Este cuadro permite al Supervisor configurar (desde el SCADA), los diferentes Intervalos de tiempo de Arranque/Parada del Proceso de llenado de Reservoirio mediante electrobombas. Ver tablas 2.11 y 2.12.

PROCESO LLENADO RESERVORIO DESTINO MEDIANTE RESERVORIO FUENTE POR REBOMBEO	
H-HORARIOS(Horas)	ESTADO
HH:MM1	ESTADO1
HH:MM2	ESTADO2
HH:MM3	ESTADO3
HH:MM4	ESTADO4


ESTADO=ARRANQUE o PARADA
HH=de 0 a 23 horas y MM: de 0 a 59 minutos

Tabla 2.11

CONFIGURACIÓN HORARIA PROCESO LLENADO RESERVORIO DESTINO MEDIANTE RESERVORIO FUENTE POR REBOMBEO		
	HORAS/ ESTADOS	DESCRIPCIÓN
HORARIOS (HORAS)	HH:MM1	Consigna de Hora Arranque-Parada 1/Proceso llenado RDestino - RFuente
	HH:MM2	Consigna de Hora Arranque-Parada 2/Proceso llenado RDestino - RFuente
	HH:MM3	Consigna de Hora Arranque-Parada 3/Proceso llenado RDestino - RFuente
	HH:MM4	Consigna de Hora Arranque-Parada 4/Proceso llenado RDestino - RFuente
ESTADO	ESTADO1	Orden de Arranque ó Parada 1/Proceso llenado RDestino - RFuente
	ESTADO2	Orden de Arranque ó Parada 2/Proceso llenado RDestino - RFuente
	ESTADO3	Orden de Arranque ó Parada 3/Proceso llenado RDestino - RFuente
	ESTADO4	Orden de Arranque ó Parada 4/Proceso llenado RDestino - RFuente

Tabla 2.12

Fuente: Automatización de las estaciones de control del sistema de distribución primario por gravedad y bombeo (Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima, 2018, pág. 157)

	CONSIDERACIONES TÉCNICAS	Código : GPDA036 Revisión : 02 Aprobado : GPDP Fecha : 2018.11.21 Página : 158 de 355
	AUTOMATIZACIÓN DE LAS ESTACIONES DE CONTROL DEL SISTEMA DE DISTRIBUCION PRIMARIO POR GRAVEDAD Y BOMBEO	

Configuración Horaria	
Hora(hh:mm)	Estado-Orden
7 : 30	Parar
12 : 30	Arrancar
16 : 30	Parar
19 : 30	Arrancar
Nuevas consignas	

Tabla 2.13

La ejecución del cuadro de configuración Horaria del Proceso llenado de Reservorios Fuente – Reservorio Destino, se ejecutará de manera secuencial y con un orden cíclico horario .

B.- SECUENCIA FUNCIONAMIENTO DEL PROCESO LLENADO RESERVORIO DESTINO MEDIANTE RESERVORIO FUENTE POR REBOMBEO


PASO 1.-

Las bombas se encenderán si es que el nivel del reservorio destino se encuentra con un NIVEL MINIMO, configurado en el cuadro "CONFIGURACIÓN DE NIVEL RESERVORIO DESTINO" (se debe considerar que el supervisor del SCADA puede cambiar este nivel) Y si es que se encuentra HABILITADO, configurado en el cuadro "SELECCION DE BOMBAS EN RESERVORIO FUENTE" Y si es que se ha configurado como ARRANCAR en el cuadro "CONFIGURACIÓN HORARIA – PROCESO LLENADO RESERVORIO FUENTE-RESERVORIO DESTINO".

El criterio para determinar cual de las bombas será el primero en encender, será el Tiempo de funcionamiento de cada uno de ellas. Iniciando el encendido con la bomba que tenga el menor tiempo de funcionamiento acumulado, de existir mas bombas habilitadas se escogerá nuevamente con el criterio del menor Tiempo de funcionamiento. El tiempo que se considerará entre arranques de bombas será de 3 minutos por defecto

PASO 2.-Una vez iniciado el proceso, las bombas se mantendrán en funcionamiento HASTA que el reservorio destino llegue a su nivel máximo de acuerdo al cuadro de "CONFIGURACIÓN NIVEL DE RESERVORIO DESTINO" (se debe considerar que el supervisor del SCADA puede cambiar este nivel). Llegado a este nivel las bombas se apagaran y NO se encenderán hasta que el Nivel del reservorio destino llegue a su nivel minimo, una vez alcanzada esta consigna se considerará para el arranque nuevamente lo indicado en el PASO1; O, HASTA que se presente alguna condición o permisivo que ocasione la paralización de las bombas (ver cuadro Condiciones y Permisivos que APAGARAN los Equipos de Bombeo), de normalizarse las condiciones las bombas volverán a funcionar automáticamente, respetando lo indicado en el Paso1, hasta llegar al nivel máximo.


Fuente: Automatización de las estaciones de control del sistema de distribución primario por gravedad y bombeo (Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima, 2018, pág. 158)

	CONSIDERACIONES TÉCNICAS	Código : GPDA036
	AUTOMATIZACIÓN DE LAS ESTACIONES DE CONTROL DEL SISTEMA DE DISTRIBUCION PRIMARIO POR GRAVEDAD Y BOMBEO	Revisión : 02 Aprobado : GPDP Fecha : 2018.11.21 Página : 159 de 355

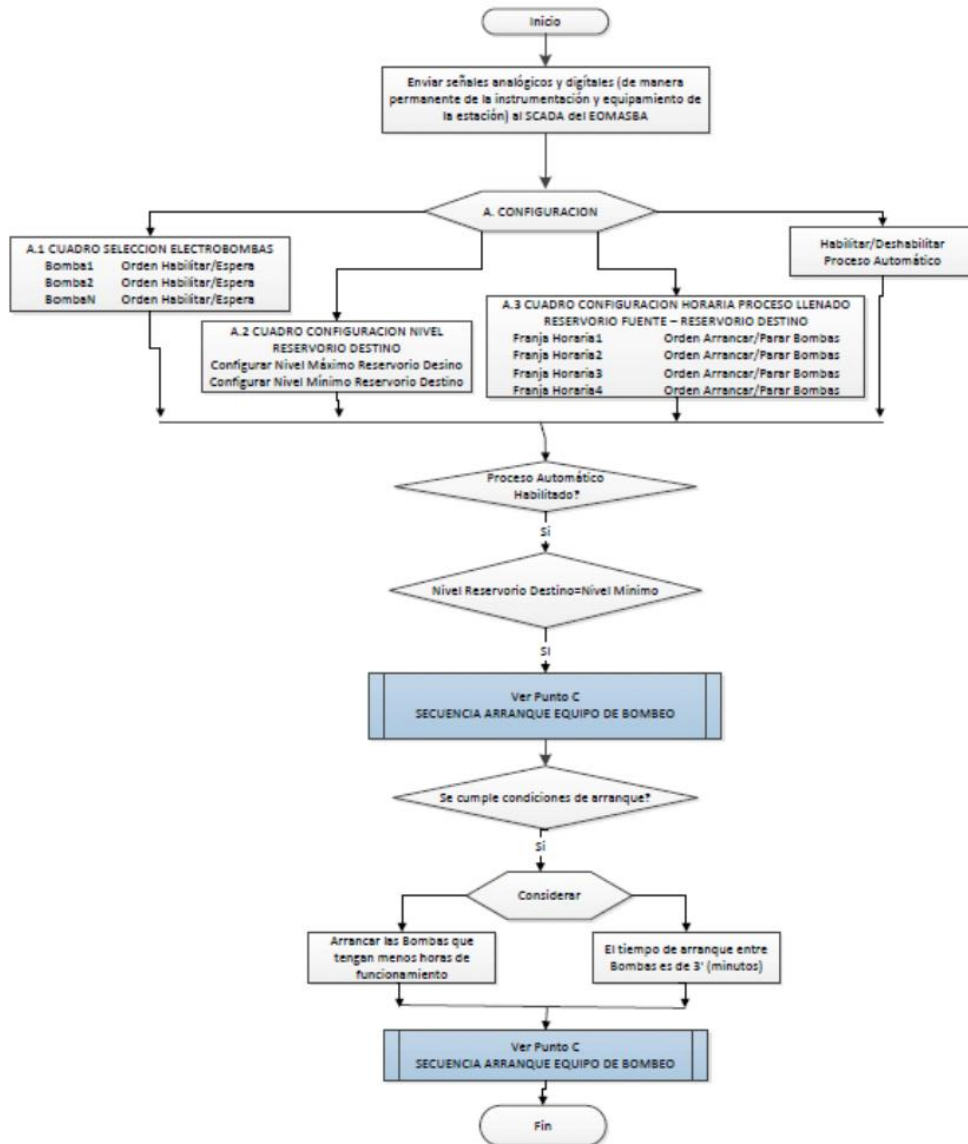
Se adjunta **flujograma general**, que debe ser complementada con: el paso1, paso2, SECUENCIA ARRANCAR EQUIPO DE BOMBEO RESERVORIO FUENTE y SECUENCIA PARAR EQUIPO DE BOMBEO RESERVORIO FUENTE.

1. Flujograma de Secuencia del proceso de Llenado Reservoirio Destino mediante Reservoirio Fuente por Rebombeo.
2. Flujograma de Secuencia de Parada Equipos de Bombeo


Fuente: Automatización de las estaciones de control del sistema de distribución primario por gravedad y bombeo (Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima, 2018, pág. 155)

	CONSIDERACIONES TÉCNICAS	Código : GPDA036 Revisión : 02 Aprobado : GPDP Fecha : 2018.11.21 Página : 160 de 355
	AUTOMATIZACIÓN DE LAS ESTACIONES DE CONTROL DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN PRIMARIO POR GRAVEDAD Y BOMBEO	

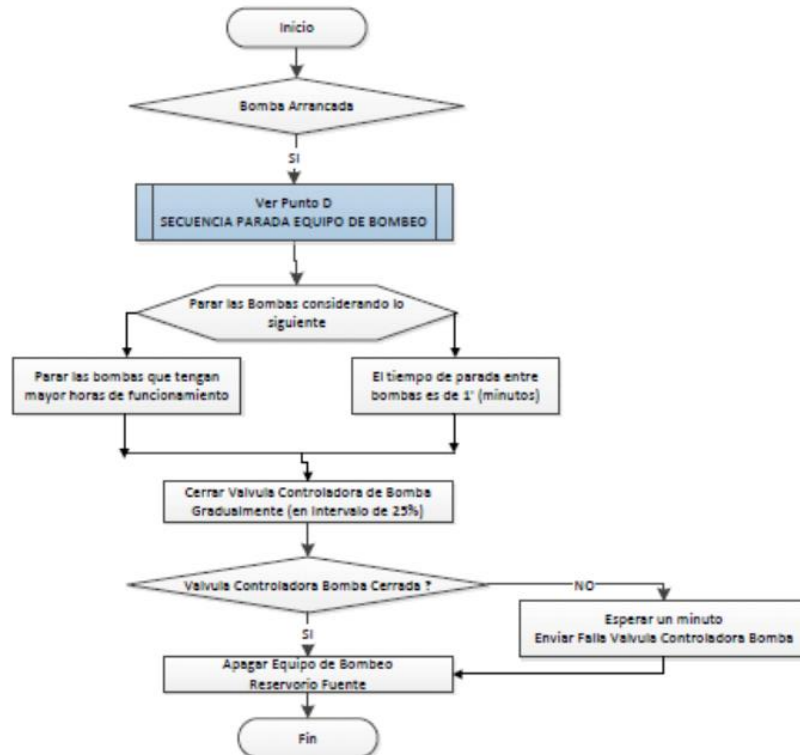
1. Flujograma de Secuencia del proceso de Llenado Reservoirio Destino mediante Reservoirio Fuente por Rebombeo.



Fuente: Automatización de las estaciones de control del sistema de distribución primario por gravedad y bombeo (Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima, 2018, pág. 160)

	CONSIDERACIONES TÉCNICAS	Código : GPDA036 Revisión : 02 Aprobado : GPDP Fecha : 2018.11.21 Página : 161 de 355
	AUTOMATIZACIÓN DE LAS ESTACIONES DE CONTROL DEL SISTEMA DE DISTRIBUCION PRIMARIO POR GRAVEDAD Y BOMBEO	

2. Flujograma de Secuencia de parada de Equipos de Bombeo.




C.- SECUENCIA DE ARRANQUE EQUIPO DE BOMBEO:

Para el modo de Operación Remoto Automático o Local Automático, se cumplirá esta secuencia cada vez que se arranque una bomba.

El criterio para determinar cual de las bombas será el primero en encender, será el Tiempo de funcionamiento de cada uno de ellas. Iniciando el encendido con el equipo que tenga el menor tiempo de funcionamiento acumulado, de existir mas bombas habilitadas se escogerá nuevamente con el criterio del menor Tiempo de funcionamiento. El tiempo que se considerará entre arranques de bombas será de 3 minutos por defecto. Para las paradas el intervalo entre ellas será por defecto 1 minuto.

PASO 1.- Verificar si la bomba se encuentra en condiciones viables para un Arranque. Para ello se deberá de evaluar lo siguiente: Ver Cuadro Condiciones y Permisivos viables para un Arranque Equipo de Bombeo.


Fuente: Automatización de las estaciones de control del sistema de distribución primario por gravedad y bombeo (Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima, 2018, pág. 161)

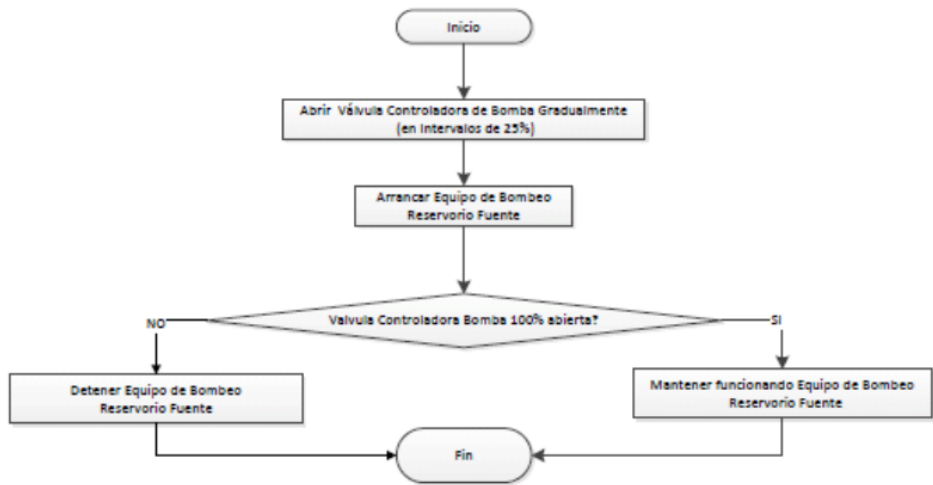
	CONSIDERACIONES TÉCNICAS	Código : GPDA036 Revisión : 02 Aprobado : GPDP Fecha : 2018.11.21 Página : 162 de 355
	AUTOMATIZACIÓN DE LAS ESTACIONES DE CONTROL DEL SISTEMA DE DISTRIBUCION PRIMARIO POR GRAVEDAD Y BOMBEO	

Cuadro Condiciones y Permisivos viables para Arranque Equipo de Bombeo (La activación de alguna de estas alarmas, no permitirá el funcionamiento de la bomba)
Por Tabla 2.8 Cuadro de Selección de Bombas en Reservorio Fuente: Se dará cuando el Proceso se encuentre funcionando, si en esta tabla se selecciona la opción "HABILITAR" de una bomba, entonces este entrará en funcionamiento, esto en el Modo Remoto Automático.
Por Tabla 2.10 Cuadro de Configuración de Niveles de Reservorio Destino: Se dará cuando el Proceso se encuentre funcionando y cuando el reservorio destino llegue a su NIVEL MINIMO, esto en el Modo Remoto Automático asimismo se debe considerar que el supervisor del SCADA puede cambiar el nivel mínimo.
Por Tabla 2.11 Cuadro de Configuración Horaria – Proceso Llenado Reservorio Destino mediante Reservorio Fuente por Rebombeo; Se dará cuando el Proceso se encuentre funcionando y en el caso de que se cumpla un Estado de ARRANCAR.
Sobrepresión o Subpresión, Si la presión de la línea de impulsión sube o baja del valor límite configurado en el SCADA, se genera dicha falla, la cual permanecerá enclavada hasta su reseteo desde el SCADA ó desde el panel de operador y no permitirá que arranque alguna bomba.
Falla de Comunicación de Enlace; esta señal estará asociada a la comunicación entre estaciones de Bombeo que se encuentren interconectadas a través de par trenzado o de forma inalámbrica. Se activará esta alarma, cuando se pierda la comunicación entre los PLC de cada estación y no permitirá que arranque la bomba.
Falla Válvula Controladora de Bomba, esta falla se obtendrá con la confirmación del Límite de Carrera y no permitirá que arranque la bomba.
Alarma de Sensor de Nivel (Reservorio Fuente) por Electrodo,
Alarmas Rele de Protección Línea de Alimentación, Asociada a suministro eléctrico del medidor de Energía de estación de bombeo y se activará en los siguientes casos: Por mínima tensión, máxima tensión desbalance de fases y/o pérdida de secuencia de fases
Alarma de Arrancador de Bomba, Asociada al contacto auxiliar del arrancador de estado sólido que se activa cuando se produce una falla en el Arrancador del equipo de bombeo.
Alarma de Sensor de nivel Reservorio Destino

PASO 2.- Seguir el siguiente "Flujograma Arrancar Equipo de Bombeo".

Fuente: Automatización de las estaciones de control del sistema de distribución primario por gravedad y bombeo (Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima, 2018, pág. 162)


	CONSIDERACIONES TÉCNICAS	Código : GPDA036
	AUTOMATIZACIÓN DE LAS ESTACIONES DE CONTROL DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN PRIMARIO POR GRAVEDAD Y BOMBEO	Revisión : 02 Aprobado : GPDP Fecha : 2018.11.21 Página : 163 de 355



CONSIDERACIONES:

1. De ser el caso, si se detecta que la siguiente bomba a arrancar tiene problemas, se continuara con el arranque de la subsiguiente bomba y así sucesivamente.
2. El criterio para determinar cual de las bombas será el primero en encender, será el Tiempo de funcionamiento de cada uno de ellas. Iniciando el encendido con el equipo que tenga el menor tiempo de funcionamiento acumulado. Este criterio será considerado cuando las bombas inicien nuevamente el ciclo de llenado o cuando se habilite el proceso automático.

Fuente: Automatización de las estaciones de control del sistema de distribución primario por gravedad y bombeo (Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima, 2018, pág. 163)


	CONSIDERACIONES TÉCNICAS	Código : GPDA036 Revisión : 02 Aprobado : GPDP
	AUTOMATIZACIÓN DE LAS ESTACIONES DE CONTROL DEL SISTEMA DE DISTRIBUCION PRIMARIO POR GRAVEDAD Y BOMBEO	Fecha : 2018.11.21 Página : 164 de 355

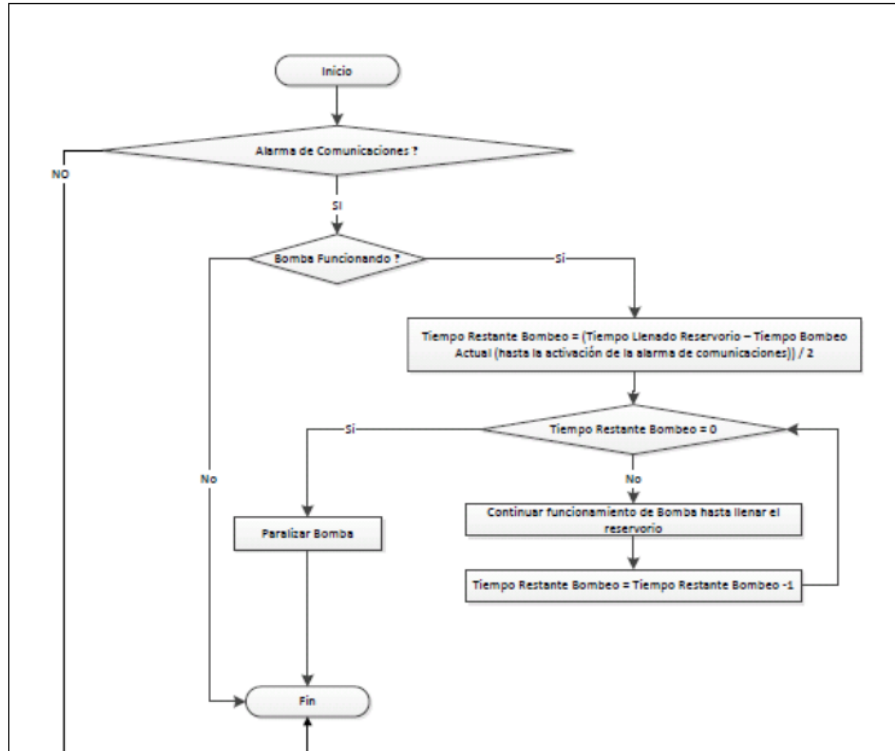
D.- SECUENCIA PARADA EQUIPOS DE BOMBEO:

El Equipo de bombeo se paralizará en los siguientes casos:

Condiciones y Permisivos que APAGARAN los Equipos de Bombeo
Por Tabla 2.8 Cuadro de Selección de Bombas en Reservorio Fuente: Se dará cuando el Proceso se encuentre funcionando, si en esta tabla se selecciona la opción "ESPERA" de una bomba, entonces este parará, esto en el Modo Remoto Automático. O
Por Tabla 2.10 Cuadro de Configuración de Niveles de Reservorio Destino: Se dará cuando el Proceso se encuentre funcionando y cuando el reservorio destino llegue a su NIVEL MAXIMO, esto en el Modo Remoto Automático asimismo se debe considerar que el supervisor del SCADA puede cambiar el nivel maximo. O
Por Tabla 2.11 Cuadro de Configuración Horaria de Proceso Llenado Reservorio Destino mediante Reservorio Fuente por Rebombeo; Se dará cuando el Proceso se encuentre funcionando y en el caso de que se cumpla o se selecciona un Estado de PARADA (teniendo en cuenta la franja horaria). O
Sobrepresion o Subpresión, Si la presión de la línea de impulsión sube o baja del valor límite configurado en el SCADA, se genera dicha falla, la cual permanecerá enclavada hasta su reseteo desde el SCADA ó desde el panel de operador y ocasionará que la bomba se detenga. O
Deshabilitar el Proceso Automatico, desde el SCADA, apagará todas las bombas. O
Alarma de Arrancador de Bomba, Asociada al contacto auxiliar del arrancador de estado sólido que se activa cuando se produce una falla en el Arrancador del equipo de bombeo. O
Alarmas Rele de Protección Línea de Alimentación, Asociada a suministro eléctrico del medidor de Energía de estación de bombeo y se activara en los siguientes casos: Por mínima tensión, máxima tensión desbalance de fases y/o pérdida de secuencia de fases. O
Falla de Comunicación de Enlace; esta señal estará asociada a la comunicación entre estaciones de Bombeo que se encuentren interconectadas a través de par trenzado o de forma inalámbrica y se dará cuando el Proceso se encuentre funcionando. Al activarse esta alarma considerar lo siguiente:

Fuente: Automatización de las estaciones de control del sistema de distribución primario por gravedad y bombeo (Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima, 2018, pág. 164)

	CONSIDERACIONES TÉCNICAS	Código : GPDA036 Revisión : 02 Aprobado : GPDP Fecha : 2018.11.21 Página : 165 de 355
	AUTOMATIZACIÓN DE LAS ESTACIONES DE CONTROL DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN PRIMARIO POR GRAVEDAD Y BOMBEO	



Es decir: Si el proceso se encuentra funcionando se debe controlar el tiempo de llenado del reservorio y el tiempo de bombeo actual para que cuando se presente una alarma de comunicación se realice el cálculo que se indica.

O

**Alarma de Sensor de nivel (Reservorio Fuente) por Electrodo,
Alarma de Sensor de nivel Reservorio Destino**


CONSIDERACIONES:

1. Al normalizarse las alarmas descritos en el cuadro anterior, las bombas afectadas **DEBEN** funcionar automáticamente, **NO** es necesario de un **RESET** y/o Reconocimiento para que vuelvan a operar, a excepción de las siguiente alarma:
 - a. Alarma de Sobrepresión/Subpresión Línea de impulsión

Para tales fines se debe crear un botón tipo pulsador en la pantalla del SCADA de la estación remota y en la del panel del operador para que uno de ellos pueda normalizar la alarma.

- b. El criterio para determinar cual de las bombas será el primero en detenerse, será el Tiempo de funcionamiento de cada uno de ellas. Iniciando el encendido con el equipo que tenga el mayor tiempo de funcionamiento acumulado. De existir mas

Fuente: Automatización de las estaciones de control del sistema de distribución primario por gravedad y bombeo (Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima, 2018, pág. 165)

	CONSIDERACIONES TÉCNICAS	Código : GPDA036 Revisión : 02 Aprobado : GPDP Fecha : 2018.11.21 Página : 166 de 355
	AUTOMATIZACIÓN DE LAS ESTACIONES DE CONTROL DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN PRIMARIO POR GRAVEDAD Y BOMBEO	

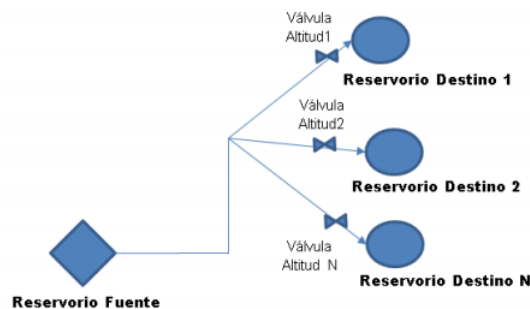
bombas trabajando se escogerá nuevamente con el criterio del mayor Tiempo de funcionamiento, esto en el Modo Remoto Automático.

c. El tiempo de parada entre bombas será de un minuto.

E.- PROCESO AUTOMÁTICO - LLENADO DE "N" RESERVORIOS DESTINOS MEDIANTE BOMBEO MEDIANTE RESERVORIO FUENTE:

En puntos anteriores se detalló el Proceso de llenado, por bombeo, de un Reservorio Fuente a un Reservorio Destino; en algunos grupos hidráulicos se presenta el arreglo en el cual un Reservorio Fuente llena a "n" Reservorios Destinos a la vez, para este caso los "n" Reservorios Destinos deben considerar un sensor de nivel con el objetivo de identificar su nivel máximo.


Es necesario indicar que se debe considerar para los "n" Reservorios Destinos de este proceso, "n" Válvulas de control de nivel con piloto de altitud y con un limitador de carrera ON/OFF.



Mientras las electrobombas del reservorio fuente se encuentren funcionando y los reservorios destinos 1, 2 y "N", NO lleguen a su nivel máximo las válvulas de altitud se encontrarán abiertas, si el Reservorio Destino 1 llega a su nivel máximo la válvula de altitud1 se cerrará de manera hidráulica y las electrobombas del reservorio fuente continuarán funcionando hasta que el nivel del último Reservorio Destino llegue a su nivel máximo. La función de esta válvula es evitar reboses.

La configuración del llenado de estos reservorios es igual al proceso de llenado de Reservorio Fuente – Reservorio Destino sin embargo la configuración del cuadro de configuración de nivel de reservorio es como sigue:

Fuente: Automatización de las estaciones de control del sistema de distribución primario por gravedad y bombeo (Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima, 2018, pág. 166)

	CONSIDERACIONES TÉCNICAS	Código : GPDA036 Revisión : 02 Aprobado : GPDP Fecha : 2018.11.21 Página : 167 de 355
	AUTOMATIZACIÓN DE LAS ESTACIONES DE CONTROL DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN PRIMARIO POR GRAVEDAD Y BOMBEO	

Reservorio > Reservorio - Modo Operacion Actual Activado

Configuracion Bombas		Reservorio Destino		Configuracion Horaria	
Bombas	Estado Actual	Nivel Máximo	Nivel Actual	Hora (hh:mm)	Estado-Orden
Bomba 1	Habilitado	Reser1 2.4	2.40	6 : 0	Arrancar
Bomba 2	Habilitado	Nivel Actual	2.40	12 : 0	Arrancar
Bomba N	Espera	Nivel Minimo	1.8	18 : 0	Arrancar
		Reser2 2.8	2.24	20 : 0	Arrancar
		Nivel Actual	2.24		
		Nivel Minimo	1.5		
		ReserN 2.8	2.47		
		Nivel Actual	2.47		
		Nivel Minimo	1.5		

Configurar Nuevas consignas

<Atras Parar/Activar

1.1.4 PROCESO AUTOMATICO - LLENADO DE RESERVORIO MEDIANTE UNA ESTACION TIPO BOOSTER

Este proceso consiste en que una estación tipo Booster llena un Reservorio. Durante el proceso de llenado, el encendido de las bombas de la estación Booster estará dirigido por el Nivel del Reservorio

El criterio para prender las bombas será definido en el Cuadro de configuración de Nivel, en la que el reservorio solicitará que se enciendan o paren las bombas según la cantidad fijada en el cuadro de selección de bombas.

El proceso de llenado será configurado desde el SCADA y por lo tanto el PLC de la estación remota respectiva debe tener en consideración esta programación.

Es preciso indicar que el supervisor, desde el SCADA, va a poder configurar los siguientes parámetros:

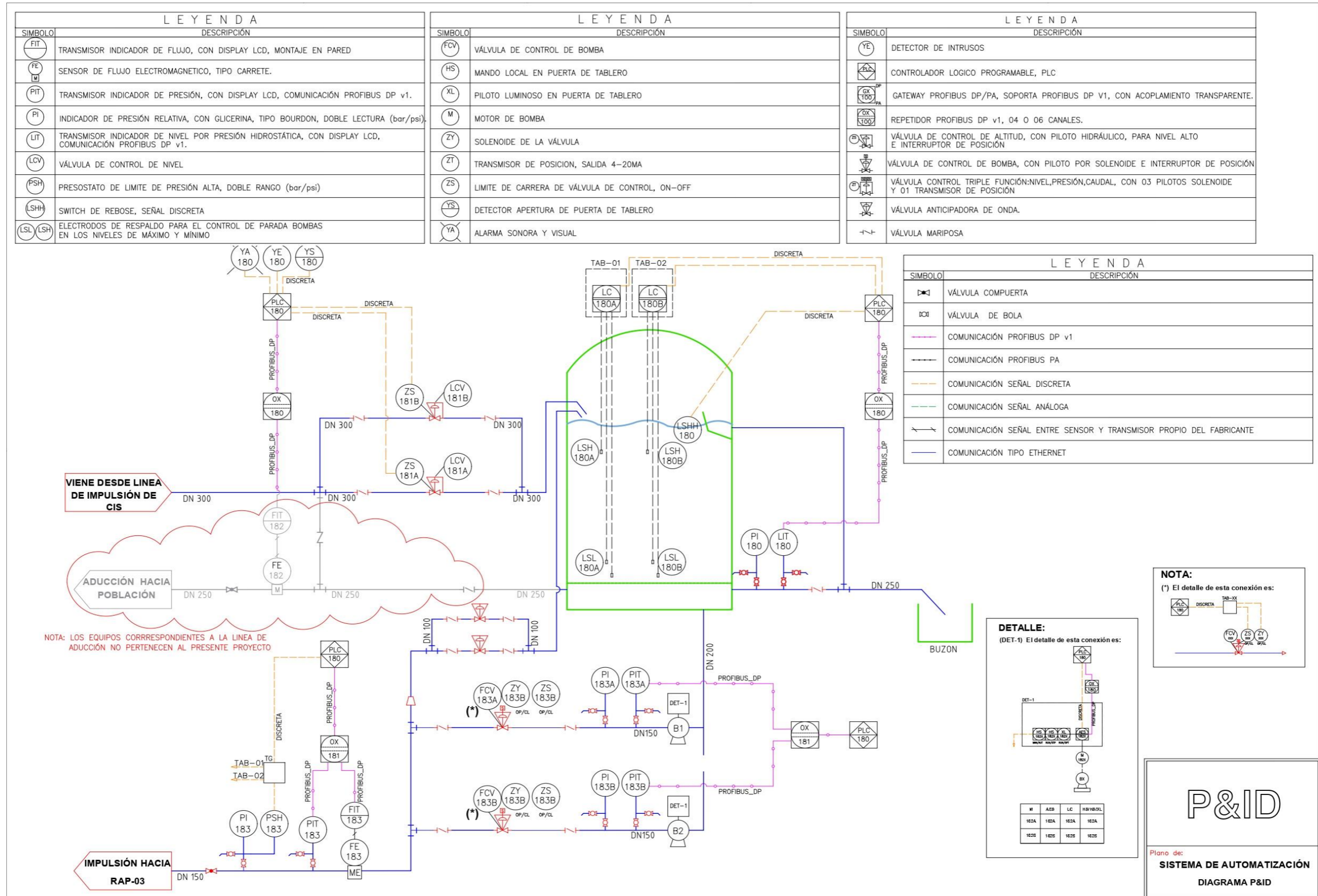
CONFIGURACIÓN PARAMETROS PERMISIVOS	
Nivel Maximo	Nivel Maximo Reservorio
Nivel Minimo	Nivel Minimo Reservorio
Sobrepresión	Sobrepresion Linea de Impulsion (mca)
Subpresión	Subpresión Linea de Impulsion (mca)

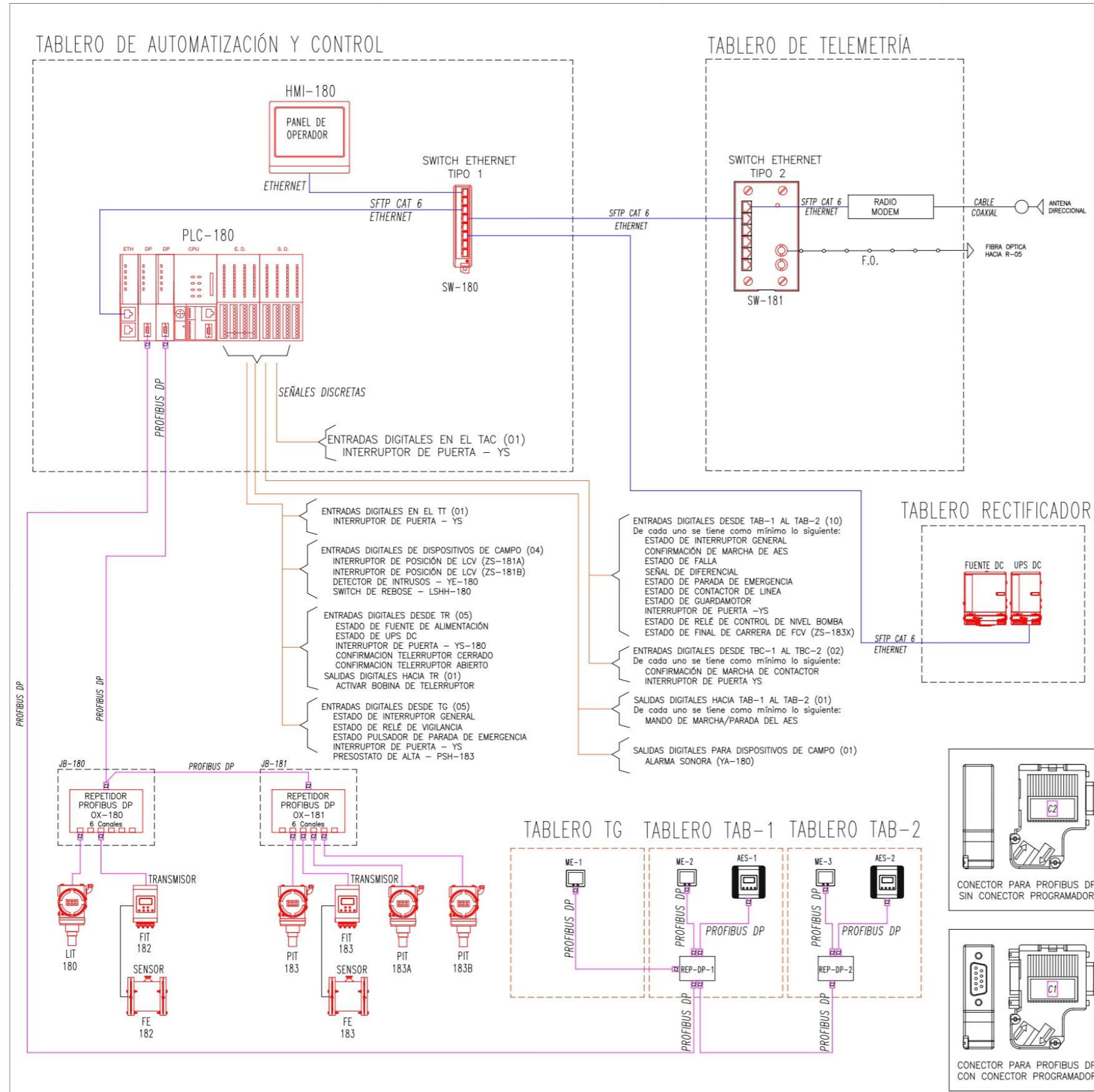
A.-CONFIGURACIÓN:

El Supervisor podrá ingresar, desde el SCADA, valores que intervendrán directamente en el proceso (antes, durante y después de su ejecución) a través de 3 cuadros

Fuente: Automatización de las estaciones de control del sistema de distribución primario por gravedad y bombeo (Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima, 2018, pág. 160)

ANEXO 7 PLANO DIAGRAMA DE TUBERÍAS E INSTRUMENTACIÓN P&ID TÍPICO





LEYENDA	
SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
	PROGRAMADOR LÓGICO DE CONTROL DE PROCESOS, DEL TIPO MODULAR CON ENTRADAS Y SALIDAS ANALÓGICAS Y DIGITALES, PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN MODBUS TCP, PROFIBUS DP, V1, ETHERNET INDUSTRIAL TCP/IP ATRAVÉS DE MÓDULOS INSTALADOS EN RACK, CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS 24VDC.
	TERMINAL DE DIALOGO HOMBRE - MÁQUINA, CON PANEL FRONTAL TOUCHSCREEN GRÁFICO DE MÍNIMO 9", IP65, COMUNICACIÓN ETHERNET AL PLC ATRAVÉS DEL PUERTO RJ-45, VISUALIZADOR RETROILUMINADO, A COLOR Y DE RESOLUCIÓN 800X600 pixels.
	UNIDAD DE TELEMETRÍA CON CHASIS TIPO INDUSTRIAL, RADIO MODEM CON ETHERNET
	SWITCH ETHERNET ADMINISTRABLE CON CHASIS TIPO INDUSTRIAL RACKEABLE, CON 24 PUERTOS RJ 45 Y 4 PUERTOS F.O. COMO MÍNIMO, CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS : 24 VDC. CON APLIAMIENTO TIPO STACK
	SWITCH ETHERNET ADMINISTRABLE CON CHASIS TIPO INDUSTRIAL CON 8 PUERTOS COMO MÍNIMO, 06 PUERTOS RJ-45 10/100BASE TX Y 02 PUERTOS SFP FX, CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS : 24 VDC.
	SWITCH ETHERNET ADMINISTRABLE CON CHASIS TIPO INDUSTRIAL CON 8 PUERTOS RJ-45 COMO MÍNIMO, Y PUERTOS DE RESERVA, CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS : 24 VDC.
	REPETIDOR DE SEÑAL PROFIBUS DP, EL CUAL SEGÚN NECESIDAD PODRÁ SER DE 4 O 6 CANALES
	CAJA DE PROTECCIÓN DE SEGMENTOS DE RED PROFIBUS PA, PARA MONTAJE EN RIEL DIN, EL CUAL SEGÚN LA NECESIDAD PODRÁ SER DE 4 O 6 CANALES, CON AISLAMIENTO GALVÁNICO.
	GATEWAY PROFIBUS PA/DP, SOPORTA PROFIBUS DP v1, CON ACOPLAMIENTO TRANSPARENTE, PARA MONTAJE EN RIEL DIN, CON MÍNIMO 01 SEGMENTO.
	TRANSMISOR INDICADOR DE NIVEL POR PRESIÓN HIDROSTÁTICA, CON DISPLAY LCD, COMUNICACIÓN PROFIBUS DP v1.
	TRANSMISOR INDICADOR DE FLUJO, CON DISPLAY LCD, MONTAJE EN PARED, COMUNICACIÓN PROFIBUS DP v1.
	TRANSMISOR INDICADOR DE PRESIÓN, CON DISPLAY LCD, COMUNICACIÓN PROFIBUS DP v1.
	ENTRADAS Y SALIDAS DIGITALES.
	ENTRADAS Y SALIDAS ANALÓGICAS.
	PUERTO DE COMUNICACIÓN PROFIBUS DP v1.
	BLOCK ENTRADA PLC.
	SWITCH DETECTOR DE APERTURA DE PUERTA DE TABLEROS ELÉCTRICOS.
	RELÉ DE CONTROL DE ESTADO SÓLIDO, TIPO BORNERA, 1NA/1NC, BOBINA 24VDC
	INTERRUPTOR TERMOMAGNÉTICO CON REGULACIÓN TÉRMICA Y MAGNÉTICA VARIABLE PARA TABLEROS DE REGULACIÓN FIJA PARA LOS TABLEROS TD Y TAC, INSTALACION TIPO RIEL DIN, 20 kA DE PODER DE RUPTURA.
	HIGROSTATO DIGITAL 50-100 % HUMEDAD RELATIVA, SALIDA 1NA/1NC.
	TERMOSTATO DIGITAL 5°C a 60°C, SALIDA 1NA/1NC.
	RESISTENCIA CALEFACTORA 30W.
	VENTILADOR CON REJILLA Y FILTRO INCORPORADO.
	LIMITADOR DE TENSION 220 VAC.
	SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN/VENTILACIÓN FORZADA, RESISTENCIA CALEFACTORA E HIGROSTATO - 220V-60Hz
	FUSIBLE DE PROTECCION PARA BANCO DE BATERIAS FK2 Y DE CONTROL.
	FUENTE DE ALIMENTACIÓN 220VAC/24VDC, In=20A.
	SISTEMA UPS DC DE 24VDC, In=20A, CON INDICADORES DE ESTADO Y SEÑALES DISCRETAS
	CONTACTOR ELECTROMAGNÉTICO CLASE AC3 (CARGAS INDUCTIVAS) Y CLASE AC-1. (CARGAS RESISTIVAS PARA ILUMINACIÓN).
	CONTACTO AUXILIAR NA.
	TELLERUPTOR BIPOLAR, 16A, CON BOBINA EN 24VDC, CON DOS CONTACTOS AUXILIARES DE ESTADO 01NA Y 01NC.
	POZO DE PUESTA A TIERRA SISTEMA DE CONTROL O FUERZA.
	ANTENA UNIDIRECCIONAL.
	BORNER DE DOBLE PISO DE 6mm ²
	CONECTOR DE BUS PARA PROFIBUS DP v1, 90°, MATERIAL METÁLICO, CON CONECTOR PROGRAMADOR (PG), CON DIAGNÓSTICO, TERMINALES TIPO TORNILLO CON RESISTENCIA TERMINADORA.
	CONECTOR DE BUS PARA PROFIBUS DP v1, 90°, MATERIAL METÁLICO, SIN CONECTOR PROGRAMADOR (PG), SIN DIAGNÓSTICO, TERMINALES TIPO TORNILLO CON RESISTENCIA TERMINADORA.
	JUNCTION BOX (JB)

P&ID

Plano de:
**SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN
ARQUITECTURA DE COMUNICACIÓN**

ANEXO 8 VISTA DE SCADA EN RESERVORIO R-04

Aspen Process Explorer V7.3 - aspenONE - [T00164]

File Edit View Favorites Tools Window Help

COMAS: ESTACION T00164 TENDENCIAS

PETICION DE LECTURA

ESTACION	RESERVORIO R-4/CR
C. SERVICIOS	COMAS
DISTRITO	COMAS
DIRECCION PLC	172.10.17.2
UBICACION	
ULT. LECTURA	25-JUL-16 16:34:18.3
S. ELECTRICO	
COORDENADAS	
ALTITUD	
SCAN ESTACION	ON
A. COMUNICAC.	17
SECTOR	349

INGRESO DE TUBERIA DN 300

TUBERIA DE ADUCCION DN 250

RESERVORIO R-4 (CR-95) COLLIQUE 4

CAMARA DE BOMBAS

ORDEN NO DISPONIBLE

MODO NO DISPONIBLE

VIENE DE RESERVORIO RRN 3 COLLIQUE DN 250

LIMPIEZA Y REBOSE

PRINCIPAL ESTACIONES

CUADRO DE LECTURA

VALVULA 1

Equipo T00164VLV001

Tipo Valvula VALVULA_SOLENOIDE

REGULACION CAUDAL HORA

Consigna por Caudal Hora			
0	hhmm	0.00	lps
0	hhmm	0.00	lps
0	hhmm	0.00	lps
0	hhmm	0.00	lps
0	hhmm	0.00	lps
0	hhmm	0.00	lps

CAMBIO DE CONSIGNAS

FECHA Y HORA: 25/07/2016 04:34:24 p.m.

EQUIPO: EST1

DOMINIO: SCADAEDP

USUARIO: JSOSA

DISTRITOS

ANCON

CARABAYLLO

COMAS

INDEPENDENCIA

LOS OLIVOS

PUENTE PIEDRA

RIMAC

S. M. PORRES

ADMINISTRACION

COMUNICACIONES

REPORTES

ALARMAS ACTIVAS

ALARMAS HISTORICAS

F2

ALARMAS

ESTADO DE ORDENES LOCAL REMOTO

Intrusismo Deshabilitado

Diferencia de Datos del PLC con IP21 en V1

n	Seq	Nombre Tag	Estación	Distrito	CCSS	Descripcion Variable Proceso	Tipo	Gravedad	Tiempo Inicio	T. Reconocimiento	T. Normalizacion	AID	MSG	V. Ini.	V. Rec.	V. Nor.
1	501642	T00164YIC001	T00164	COMAS	COMAS	ESTADO_COMUNICACIONES	COMUNICACION	LEVE	14/12/2015 11:27:22 a.m.			DIG	ACTIVA	01		
2	448180	T00164YIC001	T00164	COMAS	COMAS	ESTADO_COMUNICACIONES	COMUNICACION	LEVE	19/11/2015 11:08:50 a.m.			DIG	ACTIVA	01		

Fuente: SEDAPAL

ANEXO 9 ANÁLISIS TÉCNICO – ECONÓMICO DE LÍNEAS DE REBOMBEO DE AGUA POTABLE

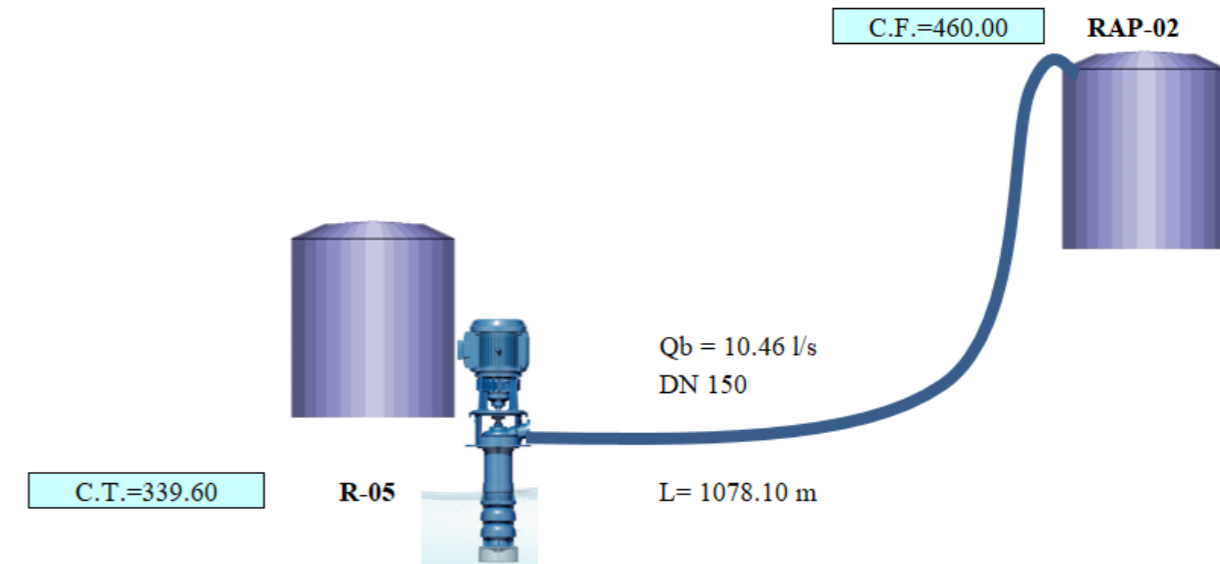
LÍNEA DE IMPULSION
R-05 al RAP-02

1 DATOS GENERALES

TRAMO: R-05 - RAP-02

01.01 Caudal máximo diario (año 20)	Qmd	5.67	l/s
01.02 Horas de bombeo	Hb	13	Horas
01.03 Caudal de bombeo (Qb = Qmd * 24/ # Hb)	Qb	10.46	l/s
01.04 Material de tubería de impulsión		Hierro Ductil	
01.05 Coeficiente de Hazen - William	C	140	
01.06 Desnivel Geométrico entre reservorios	H1	120.40	m
01.07 Longitud de Impulsión	L1	1078.1	m
01.08 Pendiente	S1	111.68	m/Km
01.09 Diámetro (Formula Maquardt)	D1	114.08	mm
01.10 Velocidad de impulsión	V1	1.02	m/s
01.11 Pérdida de carga en ingreso de RAP-02	h	3.50	m
01.12 Altura de succión	Hs	0	m
01.13 Velocidad de succión	Vs	0.33	m/s
01.14 Diámetro de succión	Ds	200	mm
01.15 Longitud de succión	Ls	4	m
01.16 Material de tubería de succión		HD	
01.17 Altura Estática Total + NDD	H _{Est. Total}	120.40	m
01.18 Peso específico	g	1000.00	Kg/m ³
01.19 Eficiencia de bomba	e	77%	
01.20 Costo del kW-h	C _{kW-h}	0.045	Soles / Kw-hr
01.21 Tasa Costo de Oportunidad o Interés real*	r	8%	
01.22 Periodo de Diseño	t	20	años
01.23 Factor de actualización	S	9.82	
01.24 Nivel Dinámico de Diseño	NDD	0	m
01.25 Altura de ingreso en RAP-02	H _{i2}	6.00	m

FORMULAS	
Potencia de bomba	POT. BOMBA = g HDT x Qb / 76 e
Potencia instalada	POT. INST. = 1.1 POT. BOMBA
Costo de Tubería (T. Semirocoso)	C1 = (5.94*10 ⁻³ *D ² -0.773*D+405.48)*L
Costo de Adquisición de Bomba	C2 = 6261.2*POT _{INST.} ^{0.6706}
Costo de Energía de Funcionamiento para el Bombeo	C3 = 0.746*POT _{INST.} *(Hb*365)*C _{Kw-h} *S
Costo de Mantenimiento	C4 = 20%*C3



*https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv_publica/anexos/anexo11_directiva001_2019EF6301.pdf

Criterio de Selección: Velocidad recomendable línea de impulsión: 0.6 < V < 1.2 m/s

2 RESULTADOS TÉCNICOS

TRAMO: R-05 - RAP-02

Nº	Diámetro Nominal (mm)	Diámetro Interno (mm)	Velocidad (m/s)	Pendiente S (m/Km)	Pérdida por Fricción hf (m)	Pérdida Local hk (m)	Pérdida Total ht (m)	Altura Estática H (m)	Altura Dinámica HDT (m)	Potencia de Bomba (HP)	Potencia Instalada de Bomba (HP)
1	200	200	0.33	0.89	0.68	0.28	0.96	126.40	130.86	23.40	25.74
2	150	150	0.59	3.36	2.73	0.89	3.62	126.40	133.52	23.87	26.26
3	100	100	1.33	22.40	19.64	4.51	24.15	126.40	154.05	27.55	30.31
4	80	80	2.08	64.20	58.17	11.04	69.21	126.40	199.11	35.60	39.16
5	60	60	3.70	251.24	235.94	34.92	270.86	126.40	400.76	71.66	78.83

2 Se escoge la tubería de 150 mm, debido a que la tubería de 100 mm genera demasiada pérdida de carga por la fuerte longitud de la línea de impulsión y la alta carga estática siendo con la tubería de 150 mm una altura dinámica menor por 20 metros lo que genera menos riesgos en el funcionamiento de la bomba.

RESULTADOS ECONOMICOS

TRAMO: R-05 - RAP-02

Nº	Diámetro Nominal (mm)	Diámetro Interno (mm)	Costo de Tubería (T. Semirocoso) (s/.)	Costo de Adquisición de Bomba (s/.)	Costo de Energía de Funcionamiento para el Bombeo (s/.)	Costo de Mantenimiento (s/.)	Costo Total (s/.)
1	200	200	S/ 526,630.29	S/ 55,285.55	S/ 40,263.14	S/ 8,052.63	S/ 630,231.61
2	150	150	S/ 456,230.36	S/ 56,027.77	S/ 41,071.84	S/ 8,214.37	S/ 561,544.34
3	100	100	S/ 417,850.00	S/ 61,682.37	S/ 47,403.82	S/ 9,480.76	S/ 536,416.95
4	80	80	S/ 411,463.33	S/ 73,251.73	S/ 61,255.03	S/ 12,251.01	S/ 558,221.10
5	60	60	S/ 410,199.80	S/ 117,101.95	S/ 123,301.55	S/ 24,660.31	S/ 675,263.61

# de equipos simultaneos	01	UND
Qb por equipo	10.46	lps
HP por equipo	26.26	HP
Potencia elegida	30.00	HP

BOMBAS TIPO TURBINA

SOLUCION: 02 BOMBAS TIPO TURBINA DE 30 HP

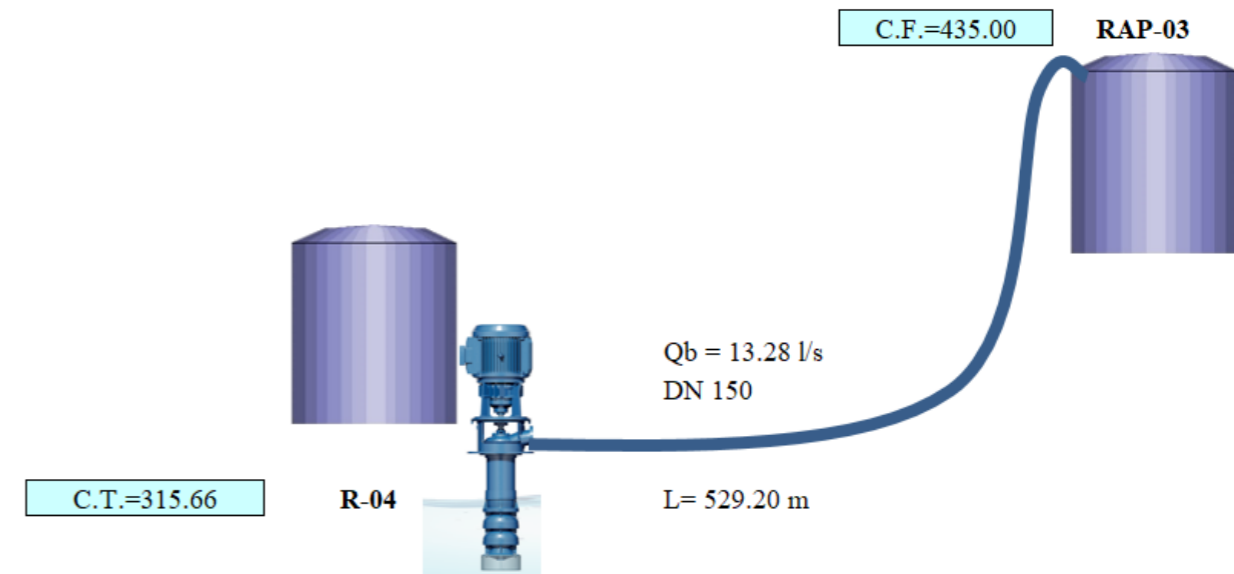
**LINEA DE IMPULSION
R-04 al RAP-03**

1 DATOS GENERALES

TRAMO: R-04 - RAP-03

01.01 Caudal máximo diario (año 20)	Qmd	9.96	l/s
01.02 Horas de bombeo	Hb	18	Horas
01.03 Caudal de bombao ($Q_b = Q_{md} * 24 / \# H_b$)	Qb	13.28	l/s
01.04 Material de tubería de impulsión		Hierro Ductil	
01.05 Coeficiente de Hazen - William	C	140	
01.06 Desnivel Geométrico entre reservorios	H1	119.34	m
01.07 Longitud de Impulsión	L1	529.2	m
01.08 Pendiente	S1	225.51	m/Km
01.09 Diámetro (Formula Maquardt)	D1	139.41	mm
01.10 Velocidad de impulsión	V1	0.87	m/s
01.11 Pérdida de carga en ingreso de RAP-03	h	3.50	m
01.12 Altura de succión	Hs	3.6	m
01.13 Velocidad de succión	Vs	0.42	m/s
01.14 Diámetro de succión	Ds	200	mm
01.15 Longitud de succión	Ls	4	m
01.16 Material de tubería de succión		HD	
01.17 Altura Estática Total + NDD	H _{Est. Total}	122.94	m
01.18 Peso específico	g	1000.00	Kg/m ³
01.19 Eficiencia de bomba	e	77%	
01.20 Costo del kW-h	C _{kW-h}	0.045	Soles / Kw-hr
01.21 Tasa Costo de Oportunidad o Interés real*	r	8%	
01.22 Periodo de Diseño	t	20	años
01.23 Factor de actualización	S	9.82	
01.24 Nivel Dinámico de Diseño	NDD	0	m
01.25 Altura de ingreso en RAP-03	H _{i2}	6.80	m

FORMULAS	
Potencia de bomba	$POT. BOMBA = g \cdot HDT \cdot Q_b / 76 \cdot e$
Potencia instalada	$POT. INST. = 1.1 \cdot POT. BOMBA$
Costo de Tubería (T. Semirocoso)	$C1 = (5.94 \cdot 10^{-3} \cdot D^2 - 0.773 \cdot D + 405.48) \cdot L$
Costo de Adquisición de Bomba	$C2 = 6261.2 \cdot POT_{INST.}^{0.6706}$
Costo de Energía de Funcionamiento para el Bombeo	$C3 = 0.746 \cdot POT_{INST.} \cdot (H_b \cdot 365) \cdot C_{Kw-h} \cdot S$
Costo de Mantenimiento	$C4 = 20\% C3$



*https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv_publica/anexos/anexo11_directiva001_2019EF6301.pdf

Criterio de Selección: Velocidad recomendable línea de impulsión: $0.6 < V < 1.2$ m/s

2 RESULTADOS TÉCNICOS

TRAMO: R-04 - RAP-03

Nº	Diámetro Nominal (mm)	Diámetro Interno (mm)	Velocidad (m/s)	Pendiente S (m/Km)	Pérdida por Fricción hf (m)	Pérdida Local hk (m)	Pérdida Total ht (m)	Altura Estática H (m)	Altura Dinámica HDT (m)	Potencia de Bomba (HP)	Potencia Instalada de Bomba (HP)
1	250	250	0.27	0.68	0.17	0.19	0.36	129.74	133.60	30.32	33.35
2	200	200	0.42	1.83	0.52	0.45	0.97	129.74	134.21	30.46	33.51
3	150	150	0.75	6.67	2.10	1.43	3.53	129.74	136.77	31.04	34.14
4	100	100	1.69	42.23	15.06	7.29	22.35	129.74	155.59	35.31	38.84
5	80	80	2.64	117.82	44.57	17.78	62.35	129.74	195.59	44.39	48.83
3	Se escoge la tubería de 150 mm por cumplir con el criterio de velocidad, tener baja pérdida de carga y presentar un costo óptimo.										

RESULTADOS ECONOMICOS

TRAMO: R-04 - RAP-03

Nº	Diámetro Nominal (mm)	Diámetro Interno (mm)	Costo de Tubería (T. Semirocoso) (s/.)	Costo de Adquisición de Bomba (s/.)	Costo de Energía de Funcionamiento para el Bombeo (s/.)	Costo de Mantenimiento (s/.)	Costo Total (s/.)
1	250	250	S/ 308,777.62	S/ 65,775.34	S/ 72,235.40	S/ 14,447.08	S/ 461,235.44
2	200	200	S/ 258,503.62	S/ 65,978.86	S/ 72,568.94	S/ 14,513.79	S/ 411,565.21
3	150	150	S/ 223,946.86	S/ 66,818.73	S/ 73,950.75	S/ 14,790.15	S/ 379,506.49
4	100	100	S/ 205,107.34	S/ 72,851.03	S/ 84,123.75	S/ 16,824.75	S/ 378,906.87
5	80	80	S/ 201,972.36	S/ 84,934.66	S/ 105,756.25	S/ 21,151.25	S/ 413,814.52

# de equipos simultaneos	01	UND
Qb por equipo	13.28	lps
HP por equipo	34.14	HP
Potencia elegida	40.00	HP

BOMBAS TIPO TURBINA

SOLUCION: 02 BOMBAS TIPO TURBINA DE 40 HP

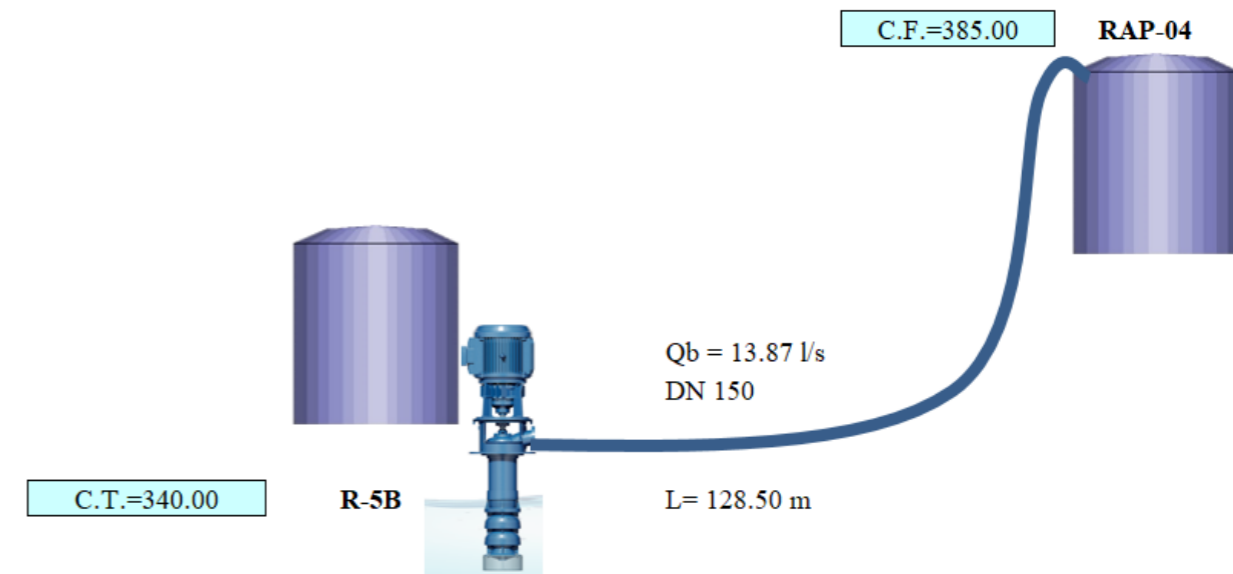
**LÍNEA DE IMPULSION
R-5B al RAP-04**

1 DATOS GENERALES

TRAMO: R-5B - RAP-04

01.01	Caudal máximo diario (año 20)	Qmd	10.40	l/s
01.02	Horas de bombeo	Hb	18	Horas
01.03	Caudal de bombao ($Q_b = Q_{md} * 24 / \# H_b$)	Qb	13.87	l/s
01.04	Material de tubería de impulsión		Hierro Ductil	
01.05	Coefficiente de Hazen - William	C	140	
01.06	Desnivel Geométrico entre reservorios	H1	45.00	m
01.07	Longitud de Impulsión	L1	128.5	m
01.08	Pendiente	S1	350.19	m/Km
01.09	Diámetro (Formula Maquardt)	D1	142.46	mm
01.10	Velocidad de impulsión	V1	0.87	m/s
01.11	Pérdida de carga en ingreso de RAP-04	h	3.50	m
01.12	Altura de succión	Hs	0	m
01.13	Velocidad de succión	Vs	0.44	m/s
01.14	Diámetro de succión	Ds	200	mm
01.15	Longitud de succión	Ls	4	m
01.16	Material de tubería de succión		HD	
01.17	Altura Estática Total + NDD	H _{Est. Total}	45.00	m
01.18	Peso específico	g	1000.00	Kg/m ³
01.19	Eficiencia de bomba	e	77%	
01.20	Costo del kW-h	C _{kW-h}	0.045	Soles / Kw-hr
01.21	Tasa Costo de Oportunidad o Interés real*	r	8%	
01.22	Periodo de Diseño	t	20	años
01.23	Factor de actualización	S	9.82	
01.24	Nivel Dinámico de Diseño	NDD	0	m
01.25	Altura de ingreso en RAP-04	H ₂	6.80	m

FORMULAS	
Potencia de bomba	$POT. BOMBA = g \cdot HDT \cdot Q_b / 76 \cdot e$
Potencia instalada	$POT. INST. = 1.1 \cdot POT. BOMBA$
Costo de Tubería (T. Rocoso)	$C1 = (1.97 \cdot 10^{-3} \cdot D^2 + 1.514 \cdot D + 323.37) \cdot L$
Costo de Adquisición de Bomba	$C2 = 6261.2 \cdot POT_{INST.}^{0.6706}$
Costo de Energía de Funcionamiento para el Bombeo	$C3 = 0.746 \cdot POT_{INST.} \cdot (H_b \cdot 365) \cdot C_{Kw-h} \cdot S$
Costo de Mantenimiento	$C4 = 20\% C3$



*https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv_publica/anexos/anexo11_directiva001_2019EF6301.pdf

Criterio de Selección: Velocidad recomendable línea de impulsión: $0.6 < V < 1.2$ m/s

2 RESULTADOS TÉCNICOS

TRAMO: R-5B - RAP-04

N°	Diámetro Nominal (mm)	Diámetro Interno (mm)	Velocidad (m/s)	Pendiente S (m/Km)	Pérdida por Fricción hf (m)	Pérdida Local hk (m)	Pérdida Total ht (m)	Altura Estática H (m)	Altura Dinámica HDT (m)	Potencia de Bomba (HP)	Potencia Instalada de Bomba (HP)
1	250	250	0.28	1.95	0.05	0.2	0.25	51.80	55.55	13.16	14.48
2	200	200	0.44	4.90	0.14	0.49	0.63	51.80	55.93	13.25	14.58
3	150	150	0.78	16.50	0.57	1.55	2.12	51.80	57.42	13.61	14.97
4	100	100	1.77	93.93	4.08	7.99	12.07	51.80	67.37	15.96	17.56
5	80	80	2.76	244.75	12.02	19.43	31.45	51.80	86.75	20.56	22.62

3 Se escoge la tubería de 150 mm por cumplir con el criterio de velocidad, tener baja pérdida de carga y presentar el costo más óptimo.

RESULTADOS ECONOMICOS

TRAMO: R-5B - RAP-04

N°	Diámetro Nominal (mm)	Diámetro Interno (mm)	Costo de Tubería (T. Rocoso) (s/.)	Costo de Adquisición de Bomba (s/.)	Costo de Energía de Funcionamiento para el Bombeo (s/.)	Costo de Mantenimiento (s/.)	Costo Total (s/.)
1	250	250	S/ 106,011.86	S/ 37,582.75	S/ 31,352.83	S/ 6,270.57	S/ 181,218.01
2	200	200	S/ 90,588.65	S/ 37,754.91	S/ 31,567.25	S/ 6,313.45	S/ 166,224.26
3	150	150	S/ 76,431.16	S/ 38,439.77	S/ 32,424.93	S/ 6,484.99	S/ 153,780.85
4	100	100	S/ 63,539.40	S/ 42,772.97	S/ 38,023.65	S/ 7,604.73	S/ 151,940.75
5	80	80	S/ 58,737.09	S/ 50,690.76	S/ 48,982.84	S/ 9,796.57	S/ 168,207.26

# de equipos simultaneos	01	UND
Qb por equipo	13.87	lps
HP por equipo	14.97	HP
Potencia elegida	20.00	HP

BOMBAS TIPO TURBINA

SOLUCION: 02 BOMBAS TIPO TURBINA DE 20 HP

ANEXO 10 RESULTADOS DE ANÁLISIS DE TRANSITORIOS EN LAS LÍNEAS DE REBOMBEO DE AGUA POTABLE

LÍNEA DE REBOMBEO R-05 AL RAP-02

TABLA DE RESULTADOS EN LA LINEA SIN VÁLVULA ANTICIPADORA DE ONDA

Label	Diameter (mm)	Material	Length (m)	Hazen-Williams C	Wave Speed (m/s)	Pressure (Maximum, Transient) (m H2O)	Pressure (Minimum, Transient) (m H2O)
P-3	80.0	Ductile Iron	3.00	130.0	1,344.34	(N/A)	(N/A)
P-4	150.0	Ductile Iron	1.40	130.0	1,255.56	140.2340	109.7267
P-6	200.0	Ductile Iron	1.00	130.0	1,200.59	3.5850	2.3722
P-7	150.0	Ductile Iron	1.00	130.0	1,255.56	140.2785	109.7159
P-10	200.0	Ductile Iron	1.00	130.0	1,200.59	3.6087	2.3725
P-11	150.0	Ductile Iron	1.00	130.0	1,255.56	140.4554	109.6053
P-14	200.0	Ductile Iron	1.40	130.0	1,200.59	342.2653	2.6447
P-15	200.0	Ductile Iron	1.00	130.0	1,200.59	3.4154	2.4721
P-16	200.0	Ductile Iron	1.00	130.0	1,200.59	3.4164	2.4727
P-17	150.0	Ductile Iron	1.00	130.0	1,255.56	140.2212	109.7384
P-18	150.0	Ductile Iron	1.40	130.0	1,255.56	140.9683	109.8192
P-19	150.0	Ductile Iron	1.00	130.0	1,255.56	140.4085	109.6650
P-20	150.0	Ductile Iron	1.00	130.0	1,255.56	140.2340	109.7159
T-1	150.0	Ductile Iron	7.27	130.0	1,255.56	8.3018	0.0000
T-2	150.0	Ductile Iron	25.21	130.0	1,255.56	146.4475	110.9637
T-3	150.0	Ductile Iron	27.24	130.0	1,255.56	79.4001	67.5747
T-4	150.0	Ductile Iron	27.17	130.0	1,255.56	92.5989	80.3834
T-5	150.0	Ductile Iron	30.89	130.0	1,255.56	97.6977	84.2554
T-6	150.0	Ductile Iron	30.11	130.0	1,255.56	73.1147	50.5863
T-7	150.0	Ductile Iron	32.03	130.0	1,255.56	54.9502	30.7457
T-8	150.0	Ductile Iron	34.71	130.0	1,255.56	145.0229	119.0442
T-9	150.0	Ductile Iron	35.77	130.0	1,255.56	147.3047	116.8898
T-10	150.0	Ductile Iron	40.96	130.0	1,255.56	132.9020	110.7207
T-11	150.0	Ductile Iron	42.82	130.0	1,255.56	117.7939	103.8887
T-12	150.0	Ductile Iron	42.89	130.0	1,255.56	88.0611	73.1612
T-13	150.0	Ductile Iron	42.75	130.0	1,255.56	105.9746	88.4094

Label	Diameter (mm)	Material	Length (m)	Hazen-Williams C	Wave Speed (m/s)	Pressure (Maximum, Transient) (m H2O)	Pressure (Minimum, Transient) (m H2O)
T-14	150.0	Ductile Iron	43.98	130.0	1,255.56	33.6098	7.4507
T-15	150.0	Ductile Iron	48.73	130.0	1,255.56	138.2479	109.9862
T-16	150.0	Ductile Iron	54.42	130.0	1,255.56	137.6528	116.2054
T-17	150.0	Ductile Iron	55.27	130.0	1,255.56	126.2469	103.8887
T-18	150.0	Ductile Iron	65.74	130.0	1,255.56	145.0229	119.4741
T-19	150.0	Ductile Iron	71.71	130.0	1,255.56	117.3895	95.4241
T-20	150.0	Ductile Iron	79.56	130.0	1,255.56	141.0024	113.8716
T-21	150.0	Ductile Iron	85.04	130.0	1,255.56	138.2479	112.2878
T-22	150.0	Ductile Iron	125.25	130.0	1,255.56	147.3047	109.9862

Fuente: Elaboración propia.

TABLA DE RESULTADOS EN LA LINEA CON VÁLVULA ANTICIPADORA DE ONDA

Label	Diameter (mm)	Material	Length (m)	Hazen-Williams C	Wave Speed (m/s)	Pressure (Maximum, Transient) (m H2O)	Pressure (Minimum, Transient) (m H2O)
P-3	80.0	Ductile Iron	3.00	130.0	1,344.34	140.2425	109.7188
P-4	150.0	Ductile Iron	1.40	130.0	1,255.56	140.1709	109.7270
P-6	200.0	Ductile Iron	1.00	130.0	1,200.59	3.5667	2.3703
P-7	150.0	Ductile Iron	1.00	130.0	1,255.56	140.2141	109.7125
P-10	200.0	Ductile Iron	1.00	130.0	1,200.59	3.6126	2.3714
P-11	150.0	Ductile Iron	1.00	130.0	1,255.56	140.4456	109.5958
P-14	200.0	Ductile Iron	1.40	130.0	1,200.59	342.2653	2.6500
P-15	200.0	Ductile Iron	1.00	130.0	1,200.59	3.4352	2.4529
P-16	200.0	Ductile Iron	1.00	130.0	1,200.59	3.4354	2.4528
P-17	150.0	Ductile Iron	1.00	130.0	1,255.56	140.1592	109.7504
P-18	150.0	Ductile Iron	1.40	130.0	1,255.56	140.9707	109.8197
P-19	150.0	Ductile Iron	1.00	130.0	1,255.56	140.3677	109.6693
P-20	150.0	Ductile Iron	1.00	130.0	1,255.56	140.1709	109.7219
T-1	150.0	Ductile Iron	7.27	130.0	1,255.56	8.3018	0.0000

Label	Diameter (mm)	Material	Length (m)	Hazen-Williams C	Wave Speed (m/s)	Pressure (Maximum, Transient) (m H2O)	Pressure (Minimum, Transient) (m H2O)
T-2	150.0	Ductile Iron	25.21	130.0	1,255.56	146.4299	110.9669
T-3	150.0	Ductile Iron	27.24	130.0	1,255.56	79.3924	67.5535
T-4	150.0	Ductile Iron	27.17	130.0	1,255.56	92.5945	80.3819
T-5	150.0	Ductile Iron	30.89	130.0	1,255.56	97.7092	84.2521
T-6	150.0	Ductile Iron	30.11	130.0	1,255.56	73.1177	50.5764
T-7	150.0	Ductile Iron	32.03	130.0	1,255.56	54.9415	30.7309
T-8	150.0	Ductile Iron	34.71	130.0	1,255.56	145.0501	119.0317
T-9	150.0	Ductile Iron	35.77	130.0	1,255.56	147.3361	116.8918
T-10	150.0	Ductile Iron	40.96	130.0	1,255.56	132.8966	110.7217
T-11	150.0	Ductile Iron	42.82	130.0	1,255.56	117.7693	103.8916
T-12	150.0	Ductile Iron	42.89	130.0	1,255.56	88.0534	73.1511
T-13	150.0	Ductile Iron	42.75	130.0	1,255.56	106.0010	88.4019
T-14	150.0	Ductile Iron	43.98	130.0	1,255.56	33.5989	7.4688
T-15	150.0	Ductile Iron	48.73	130.0	1,255.56	138.2497	109.9826
T-16	150.0	Ductile Iron	54.42	130.0	1,255.56	137.6638	116.2101
T-17	150.0	Ductile Iron	55.27	130.0	1,255.56	126.2355	103.8916
T-18	150.0	Ductile Iron	65.74	130.0	1,255.56	145.0501	119.4675
T-19	150.0	Ductile Iron	71.71	130.0	1,255.56	117.3808	95.4262
T-20	150.0	Ductile Iron	79.56	130.0	1,255.56	140.9991	113.8763
T-21	150.0	Ductile Iron	85.04	130.0	1,255.56	138.2497	112.2909
T-22	150.0	Ductile Iron	125.25	130.0	1,255.56	147.3361	109.9826

Fuente: Elaboración propia.

LÍNEA DE REBOMBEO R-04 AL RAP-03

TABLA DE RESULTADOS EN LA LINEA SIN VÁLVULA ANTICIPADORA DE ONDA

Label	Diameter (mm)	Material	Length (m)	Hazen-Williams C	Wave Speed (m/s)	Pressure (Maximum, Transient) (m H2O)	Pressure (Minimum, Transient) (m H2O)
P-1	200.0	Ductile Iron	1.50	130.0	1,200.59	317.1156	2.2249
P-2	200.0	Ductile Iron	1.50	130.0	1,200.59	3.2585	2.0496
P-3	200.0	Ductile Iron	1.50	130.0	1,200.59	3.0404	2.0491
P-4	200.0	Ductile Iron	1.00	130.0	1,200.59	3.1792	1.9629
P-5	150.0	Ductile Iron	1.00	130.0	1,255.56	139.6070	111.3741
P-6	150.0	Ductile Iron	0.50	130.0	1,255.56	139.5835	111.3823
P-7	200.0	Ductile Iron	1.00	130.0	1,200.59	3.5591	1.9633
P-8	150.0	Ductile Iron	1.00	130.0	1,255.56	140.0596	110.7443
P-9	150.0	Ductile Iron	1.00	130.0	1,255.56	139.9928	110.9817
P-10	150.0	Ductile Iron	1.50	130.0	1,255.56	139.8917	111.1846
P-11	150.0	Ductile Iron	1.50	130.0	1,255.56	139.5835	111.4216
P-12	80.0	Ductile Iron	1.50	130.0	1,346.98	(N/A)	(N/A)
P-13	150.0	Ductile Iron	1.50	130.0	1,255.56	139.4576	111.6965
P-14	150.0	Ductile Iron	1.50	130.0	1,255.56	140.8642	111.9108
T-1	150.0	Ductile Iron	10.86	130.0	1,255.56	10.4928	0.0000
T-2	150.0	Ductile Iron	17.06	130.0	1,255.56	137.6935	112.2000
T-3	150.0	Ductile Iron	22.42	130.0	1,255.56	151.3213	113.8423
T-4	150.0	Ductile Iron	22.13	130.0	1,255.56	141.5466	114.6147
T-5	150.0	Ductile Iron	25.54	130.0	1,255.56	57.8815	39.8233
T-6	150.0	Ductile Iron	29.43	130.0	1,255.56	118.2369	93.3476
T-7	150.0	Ductile Iron	31.45	130.0	1,255.56	73.3915	48.9817

Label	Diameter (mm)	Material	Length (m)	Hazen-Williams C	Wave Speed (m/s)	Pressure (Maximum, Transient) (m H2O)	Pressure (Minimum, Transient) (m H2O)
T-8	150.0	Ductile Iron	31.88	130.0	1,255.56	27.4245	9.0742
T-9	150.0	Ductile Iron	32.67	130.0	1,255.56	91.4788	67.3888
T-10	150.0	Ductile Iron	38.10	130.0	1,255.56	103.6995	77.2746
T-11	150.0	Ductile Iron	34.46	130.0	1,255.56	47.1534	22.9894
T-12	150.0	Ductile Iron	35.02	130.0	1,255.56	110.3131	88.0025
T-13	150.0	Ductile Iron	35.88	130.0	1,255.56	79.9418	62.5370
T-14	150.0	Ductile Iron	35.68	130.0	1,255.56	124.4284	99.8934
T-15	150.0	Ductile Iron	45.82	130.0	1,255.56	151.3213	117.4029
T-16	150.0	Ductile Iron	54.33	130.0	1,255.56	134.3899	104.5593

Fuente: Elaboración propia.

TABLA DE RESULTADOS EN LA LINEA CON VÁLVULA ANTICIPADORA DE ONDA

Label	Diameter (mm)	Material	Length (m)	Hazen-Williams C	Wave Speed (m/s)	Pressure (Maximum, Transient) (m H2O)	Pressure (Minimum, Transient) (m H2O)
P-1	200.0	Ductile Iron	1.50	130.0	1,200.59	317.1156	2.2513
P-2	200.0	Ductile Iron	1.50	130.0	1,200.59	3.2449	2.0564
P-3	200.0	Ductile Iron	1.50	130.0	1,200.59	3.0338	2.0560
P-4	200.0	Ductile Iron	1.00	130.0	1,200.59	3.1323	1.9926
P-5	150.0	Ductile Iron	1.00	130.0	1,255.56	139.6488	111.3472
P-6	150.0	Ductile Iron	0.50	130.0	1,255.56	139.6296	111.3582
P-7	200.0	Ductile Iron	1.00	130.0	1,200.59	3.5386	1.9942
P-8	150.0	Ductile Iron	1.00	130.0	1,255.56	140.0425	110.7340

Label	Diameter (mm)	Material	Length (m)	Hazen-Williams C	Wave Speed (m/s)	Pressure (Maximum, Transient) (m H2O)	Pressure (Minimum, Transient) (m H2O)
P-9	150.0	Ductile Iron	1.00	130.0	1,255.56	139.9417	110.9727
P-10	150.0	Ductile Iron	1.50	130.0	1,255.56	139.8441	111.1926
P-11	150.0	Ductile Iron	1.50	130.0	1,255.56	139.6296	111.4134
P-12	80.0	Ductile Iron	1.50	130.0	1,346.98	139.5186	111.6637
P-13	150.0	Ductile Iron	1.50	130.0	1,255.56	139.4903	111.6967
P-14	150.0	Ductile Iron	1.50	130.0	1,255.56	140.8887	111.8824
T-1	150.0	Ductile Iron	10.86	130.0	1,255.56	10.4915	0.0000
T-2	150.0	Ductile Iron	17.06	130.0	1,255.56	137.7313	112.1848
T-3	150.0	Ductile Iron	22.42	130.0	1,255.56	151.3721	113.8344
T-4	150.0	Ductile Iron	22.13	130.0	1,255.56	141.6075	114.6131
T-5	150.0	Ductile Iron	25.54	130.0	1,255.56	57.9214	39.8049
T-6	150.0	Ductile Iron	29.43	130.0	1,255.56	118.2874	93.3375
T-7	150.0	Ductile Iron	31.45	130.0	1,255.56	73.4735	48.9885
T-8	150.0	Ductile Iron	31.88	130.0	1,255.56	27.4751	9.0672
T-9	150.0	Ductile Iron	32.67	130.0	1,255.56	91.4310	67.3556
T-10	150.0	Ductile Iron	38.10	130.0	1,255.56	103.6728	77.2660
T-11	150.0	Ductile Iron	34.46	130.0	1,255.56	47.1689	23.0019
T-12	150.0	Ductile Iron	35.02	130.0	1,255.56	110.4212	87.9998
T-13	150.0	Ductile Iron	35.88	130.0	1,255.56	80.0289	62.4918
T-14	150.0	Ductile Iron	35.68	130.0	1,255.56	124.5025	99.8874
T-15	150.0	Ductile Iron	45.82	130.0	1,255.56	151.3721	117.4305
T-16	150.0	Ductile Iron	54.33	130.0	1,255.56	134.4528	104.5810

Fuente: Elaboración propia.

LÍNEA DE REBOMBEO R-5B AL RAP-04

TABLA DE RESULTADOS EN LA LINEA SIN VÁLVULA ANTICIPADORA DE ONDA

Label	Diameter (mm)	Material	Length (m)	Hazen-Williams C	Wave Speed (m/s)	Pressure (Maximum, Transient) (m H2O)	Pressure (Minimum, Transient) (m H2O)
P-1	200.0	Ductile Iron	1.40	130.0	1,200.59	341.187	1.193
P-3	200.0	Ductile Iron	1.00	130.0	1,200.59	1.480	1.158
P-4	200.0	Ductile Iron	1.00	130.0	1,200.59	1.482	1.193
P-5	200.0	Ductile Iron	1.00	130.0	1,200.59	1.561	1.183
P-6	150.0	Ductile Iron	1.00	130.0	1,255.56	53.945	53.202
P-7	150.0	Ductile Iron	1.00	130.0	1,255.56	53.916	53.199
P-8	200.0	Ductile Iron	1.00	130.0	1,200.59	1.480	1.061
P-9	150.0	Ductile Iron	1.00	130.0	1,255.56	55.144	53.674
P-10	150.0	Ductile Iron	1.00	130.0	1,255.56	54.513	53.200
P-11	80.0	Ductile Iron	3.00	130.0	1,346.98	(N/A)	(N/A)
P-12	150.0	Ductile Iron	1.40	130.0	1,255.56	53.883	53.199
P-13	150.0	Ductile Iron	1.40	130.0	1,255.56	53.883	53.096
P-14	150.0	Ductile Iron	1.40	130.0	1,255.56	54.611	53.096
T-1	150.0	Ductile Iron	14.02	130.0	1,255.56	8.497	0.061
T-2	150.0	Ductile Iron	21.55	130.0	1,255.56	20.511	8.071
T-3	150.0	Ductile Iron	22.26	130.0	1,255.56	43.967	37.107
T-4	150.0	Ductile Iron	29.33	130.0	1,255.56	54.611	43.360
T-5	150.0	Ductile Iron	30.64	130.0	1,255.56	37.784	19.999

Fuente: Elaboración propia.

TABLA DE RESULTADOS EN LA LINEA CON VÁLVULA ANTICIPADORA DE ONDA

Label	Diameter (mm)	Material	Length (m)	Hazen-Williams C	Wave Speed (m/s)	Pressure (Maximum, Transient) (m H2O)	Pressure (Minimum, Transient) (m H2O)
P-1	200.0	Ductile Iron	1.40	130.0	1,200.59	341.187	1.217
P-3	200.0	Ductile Iron	1.00	130.0	1,200.59	1.480	1.134
P-4	200.0	Ductile Iron	1.00	130.0	1,200.59	1.482	1.214
P-5	200.0	Ductile Iron	1.00	130.0	1,200.59	1.561	1.193
P-6	150.0	Ductile Iron	1.00	130.0	1,255.56	53.985	53.199
P-7	150.0	Ductile Iron	1.00	130.0	1,255.56	53.919	53.199
P-8	200.0	Ductile Iron	1.00	130.0	1,200.59	1.480	1.037
P-9	150.0	Ductile Iron	1.00	130.0	1,255.56	55.144	53.675
P-10	150.0	Ductile Iron	1.00	130.0	1,255.56	54.513	53.203
P-11	80.0	Ductile Iron	3.00	130.0	1,346.98	54.054	53.010
P-12	150.0	Ductile Iron	1.40	130.0	1,255.56	53.915	53.199
P-13	150.0	Ductile Iron	1.40	130.0	1,255.56	53.883	53.098
P-14	150.0	Ductile Iron	1.40	130.0	1,255.56	54.611	53.098
T-1	150.0	Ductile Iron	14.02	130.0	1,255.56	8.479	0.061
T-2	150.0	Ductile Iron	21.55	130.0	1,255.56	20.518	8.071
T-3	150.0	Ductile Iron	22.26	130.0	1,255.56	43.988	37.136
T-4	150.0	Ductile Iron	29.33	130.0	1,255.56	54.611	43.340
T-5	150.0	Ductile Iron	30.64	130.0	1,255.56	37.816	19.999

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO 11 PROGRAMACIÓN DE SIMULACIÓN SCADA EN LABVIEW 20.0.1

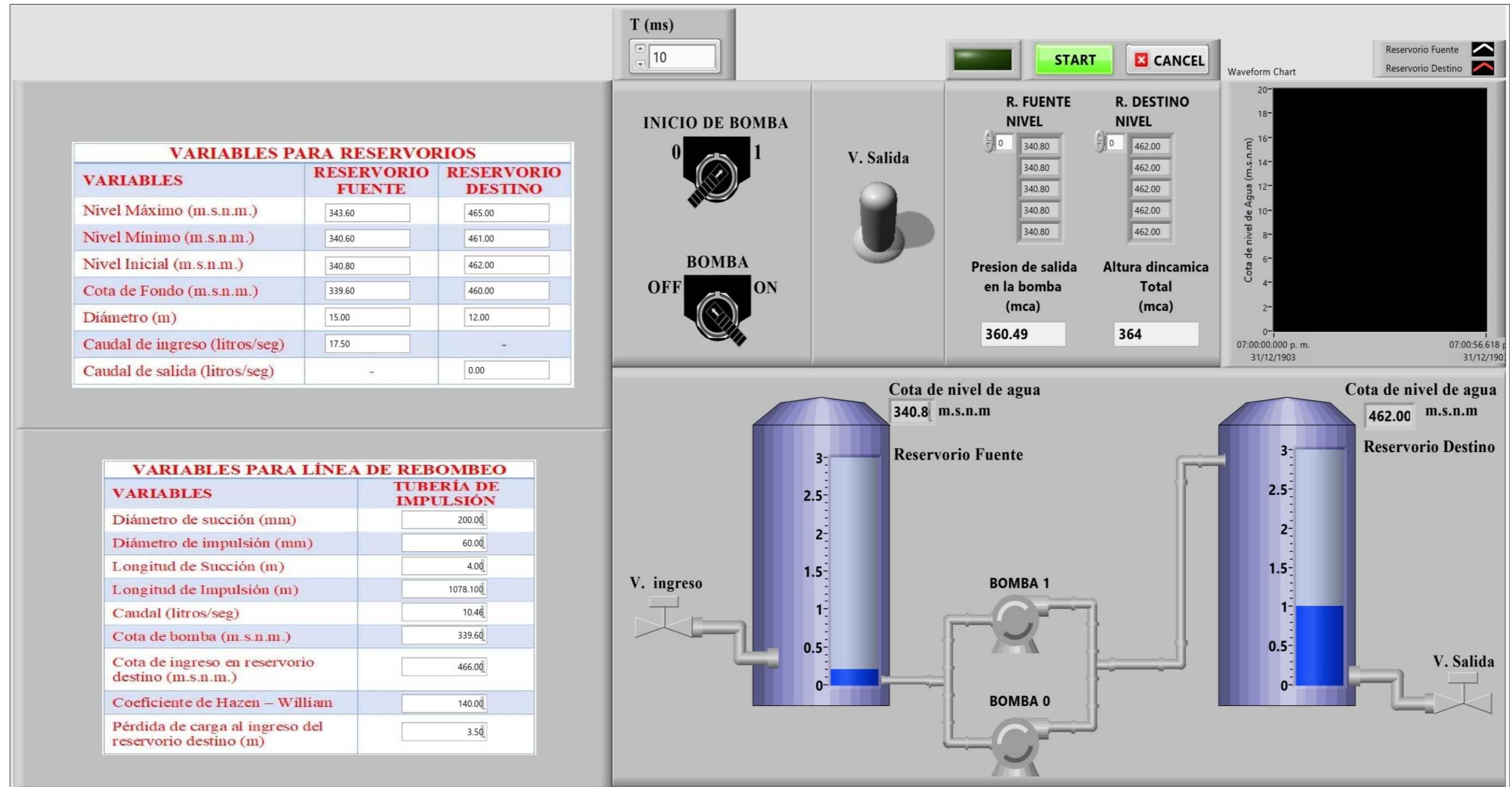


Figura 11.1 Ventana de la simulación SCADA en LabView.

Fuente: Elaboración propia

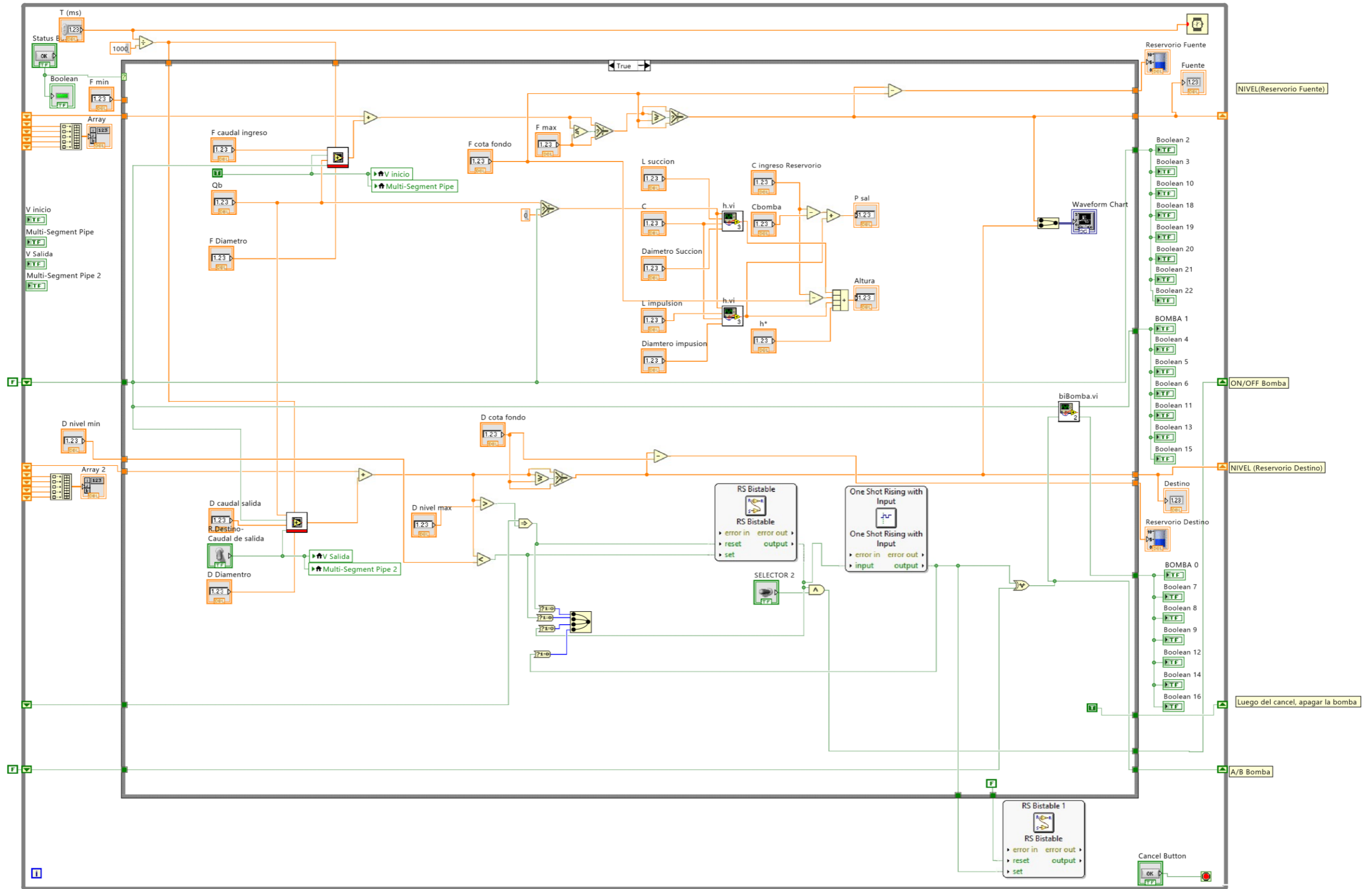


Figura 11.2 Ventana de programación en LabView.

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 12 COMPARACIÓN ENTRE SISTEMAS DE REBOMBEO CONVENCIONAL Y AUTOMATIZADO

A continuación, se presentan las tablas 12.1 y 12.2 donde se muestran la comparación cualitativa y cuantitativa respectivamente.

ITEM	Características	Sistema de Bombeo Convencional	Sistema de Bombeo con sistemas de control y automatización	Motivo
1	Cualitativas			
1.1	Sistemas más eficientes		X	Los sistemas automatizados son más eficientes por tener mayor control de las operaciones y al poseer mayor grado de confiabilidad en ellos.
1.2	Útil en sistemas hidráulicos simples	X		Para sistemas de bombeo rural o en localidades pequeñas, se recomienda el método convencional por la facilidad de operación.
1.3	Útil en sistemas hidráulicos complejos		X	Debido a su capacidad de operación remota de los sistemas de bombeo automatizados, es muy útil en sistemas que requieren un mayor control para disminuir las posibles fallas y/o pérdidas.
1.4	Mayor facilidad de operación	X		Los sistemas de bombeo convencional no requieren de personal técnico especializados. Se pueden crear JASS en las localidades.
1.5	Confiabilidad		X	En sistemas de bombeo automatizados, la confiabilidad es mayor debido a que todos los procesos siguen una filosofía de control y no hay opción a errores de naturaleza humana.
1.6	Exactitud		X	En sistemas de bombeo automatizados la exactitud en la medición de parámetros como: caudal, sobrepresión, subpresión, nivel de reservorio, etc. es mucho mayor debido al uso de instrumentación calibrada, adecuada y enlazada al PLC.
1.7	Seguridad		X	La seguridad, desde el punto de vista material, en sistemas automatizados es mayor debido a los sensores y alarmas detectores de intrusos que poseen.
1.8	Menor tiempo de operación y control del sistema de bombeo		X	En los sistemas automatizados con SCADA, la operatividad del sistema es muchísimo más rápida al poder supervisar, controlar y predecir posibles fallas en tiempo real desde un ordenador el sistema de bombeo ubicado a varios kilómetros de distancia.

Tabla 12.1 Comparación cualitativa entre sistemas de bombeo convencional y automatizados.

Fuente: Elaboración propia

ITEM	Características	Sistema de Bombeo Convencional	Sistema de Bombeo con sistemas de control y automatización	Motivo	Valor	A FAVOR O AHORRO DEL: Sistema de Bombeo Convencional	A FAVOR O AHORRO DEL: Sistema de Bombeo con sistemas de control y automatización
2	Cuantitativas						
2.1	Menos recursos humanos durante la ejecución de obra	X		Descripción: Como ahorro en recursos humanos, la diferencia entre sistema convencional y sistema automatizado se obtuvo cuantificando la cantidad de HH usadas en el equipamiento y profesionales durante la ejecución de obra para 2 reservorios (fuente y destino) en el caso de sistema automatizado. Indicador: Ahorro de horas hombre.	3392 hh	S/ 131,302.20	
2.2	Menos recursos humanos durante la OyM		X	Descripción: Como ahorro en recursos humanos, la diferencia entre sistema automatizado y sistema convencional se obtuvo cuantificando la cantidad de HH usadas por personal técnico para la operación de los reservorios durante 20 años (240 meses) considerando su incidencia del 30% (9 veces al mes van a los reservorios a inspeccionarlos). Indicador: Ahorro de horas hombre.	51840 hh		S/ 1,041,292.80
2.3	Menos recursos financieros durante la ejecución de obra	X		Descripción: Como ahorro en recursos financieros durante la ejecución de obra, se consideró el costo de equipamiento de Automatización y Telemetría de los reservorios fuente y destino, costo del especialista y asistente de automatización de los reservorios analizados. Indicador: Ahorro de costo.	S/ 539,604.42	S/ 539,604.42	
2.4	Menos recursos financieros durante la OyM		X	Descripción: Como ahorro en recursos financieros durante la operación y mantenimiento (periodo de diseño de 20 años), se consideró el costo de personal técnico para la operación de los reservorios. Indicador: Ahorro de costo.	S/ 107,920.88		S/ 107,920.88
2.5	Menos consumo de energía eléctrica en la etapa de OyM	X		Descripción: Como ahorro en recursos energéticos, la diferencia entre sistema convencional y sistema automatizado se obtuvo cuantificando la cantidad de kWh usadas durante 20 años por los tableros, instrumentación y sensores del reservorio fuente y reservorio destino Indicador: Kilo Watt hora	67742 kWh	S/ 40,239.01	



Tabla 12.2 Comparación cuantitativa entre sistemas de bombeo convencional y automatizados.

Fuente: Elaboración propia

El sustento del indicador **2.1 Menos recursos humanos durante la ejecución de obra** es el siguiente:

2.1	Menos recursos humanos durante la ejecución de obra
------------	--

EQUIPAMIENTO DE AUTOMATIZACIÓN Y TELEMETRÍA	Cant.	HH	Costo (Inc. LLSS)	Parcial
01 Reservoirio Fuente (R-5, V=600m3)	1	776	S/ 15,752.60	S/ 15,752.60
01 Reservoirio Destino (RAP-02, V=300m3)	1	776	S/ 15,752.60	S/ 15,752.60

GASTOS DE ADMINISTRACIÓN EN OBRA	Cant.	Incid	Periodo (meses)	Horas al mes	HH	Costo Mensual (Inc. LLSS) *	Parcial
Ing. Especialista Electronico, Telecomunicaciones, Scada (Ing. Electrónico, o Ing. Telecomunicaciones)	1	100%	3.83	240	920	S/ 15,266.00	S/ 58,519.67
Ingeniero Asistente en Automatización y Comunicación SCADA (Ing. Electrónico)	1	100%	3.83	240	920	S/ 10,768.00	S/ 41,277.33

*Costo considerado en el área de Estudios Definitivos de SEDAPAL.

TOTAL: 3392 S/ 131,302.20

01 Reservoirio Fuente (R-5, V=600m3) Costo por Mano de Obra S/ 15,752.60

Partida	02.10.03.01.04	(018901150133-2060324-01)	Montaje y conexionado electrico de TAC y TR				
Rendimiento	und/DIA	MO.	EQ.		Costo unitario directo por : und		2,787.77
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra							
0147020100	MO: Técnico incluye leyes sociales		h		20.0000	23.21	464.20
0147030001	MO: Capataz incluye leyes sociales		h		2.0000	27.54	55.08
0147050001	MO: Operador de maquinaria-equipos pesado, incl. leyes sociales		h		8.0000	23.94	191.52
0147060001	MO: Operario incluye leyes sociales		h		20.0000	22.96	459.20
0147080001	MO: Oficial incluye leyes sociales		h		20.0000	18.16	363.20
0147100001	MO: Peon incluye leyes sociales		h		20.0000	16.41	328.20
1,861.40							
Materiales							
0231210010	Soldadura cellocord AP		kg		5.0000	8.58	42.90
0254070005	Pintura anticorrosiva-epóxica naval, envase por galón		und		0.4000	150.59	60.24
0254080005	Pintura esmalte sintético (galón)		und		0.4000	60.00	24.00
127.14							
Equipos							
0337009001	Herramientas complementarias (%MO)		%MO		2.0000	1,861.40	37.23
0337420005	Tecla t/trípode inc. cadena para 5 tonel		h		8.0000	2.60	20.80
0348010001	Andamio de metal y/o de madera (alquiler)		h		20.0000	3.92	78.40
0348140001	Camioneta pick-up 4x2 simple 1000 kg 90 HP		h		8.0000	42.87	342.96
0348270003	Equipo de corte y soldeo (oxi-ace.)		h		8.0000	6.67	53.36
0349450005	Motosoldadora de 250 amp.		h		8.0000	33.31	266.48
799.23							

Montaje de instrumentos		10.93 hh por unidad	
Metrado		5 unidad	
HH TOTAL		54.67 hh	
Costo por Mano de Obra		S/ 1,022.60	
Partida	02.10.03.02.05 (020501030401-2060324-15) Montaje de instrumentos		
Rendimiento	und/DIA MO. 3.0000 EQ. 3.0000	Costo unitario directo por : und 208.61	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla
		Cantidad	Precio S/.
			Parcial S/.
Mano de Obra			
0147030001	MO: Capataz incluye leyes sociales	h	0.1000
			0.2667
0147060001	MO: Operario incluye leyes sociales	h	1.0000
			2.6667
0147080001	MO: Oficial incluye leyes sociales	h	1.0000
			2.6667
0147100001	MO: Peon incluye leyes sociales	h	2.0000
			5.3333
			204.52
Equipos			
0337009001	Herramientas complementarias (%MO)	%MO	2.0000
			204.52
			4.09
			4.09

Montaje de accesorios		16.40 hh por unidad	
Metrado		11 unidad	
HH TOTAL		180.40 hh	
Costo por Mano de Obra		S/ 3,374.58	
Partida	02.10.03.03.04 (020501030401-2060324-16) Montaje de accesorios		
Rendimiento	und/DIA MO. 2.0000 EQ. 2.0000	Costo unitario directo por : und 312.92	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla
		Cantidad	Precio S/.
			Parcial S/.
Mano de Obra			
0147030001	MO: Capataz incluye leyes sociales	h	0.1000
			0.4000
0147060001	MO: Operario incluye leyes sociales	h	1.0000
			4.0000
0147080001	MO: Oficial incluye leyes sociales	h	1.0000
			4.0000
0147100001	MO: Peon incluye leyes sociales	h	2.0000
			8.0000
			306.78
Equipos			
0337009001	Herramientas complementarias (%MO)	%MO	2.0000
			306.78
			6.14
			6.14

Tendido y conexionado de cables de control y de comunicación industrial				0.50 hh por m		
Metrado				546 m		
HH TOTAL				270.82 hh		
Costo por Mano de Obra				S/ 5,771.22		
Partida	02.10.03.04.10	(0130021501az-2060324-02) Tendido y conexionado de cables de control y de comunicación industrial				
Rendimiento	m/DIA	MO. 50.0000	EQ. 50.0000	Costo unitario directo por : m		36.98
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra						
0147030001	MO: Capataz incluye leyes sociales	h	0.1000	0.0160	27.54	0.44
0147050001	MO: Operador de maquinaria-equipos pesado, incl. leyes sociales	h	1.0000	0.1600	23.94	3.83
0147060001	MO: Operario incluye leyes sociales	h	1.0000	0.1600	22.96	3.67
0147100001	MO: Peon incluye leyes sociales	h	1.0000	0.1600	16.41	2.63
						10.57
Equipos						
0337009001	Herramientas complementarias (%MO)	%MO		2.0000	10.57	0.21
0349310150	Camión grúa tipo pluma con brazo mecánico	h	1.0000	0.1600	163.77	26.20
						26.41

01 Reservoirio Destino (RAP-02, V=300m3)

Costo por Mano de Obra

S/ 15,752.60

Montaje de accesorios

90.00 hh por unidad

Metrado

3 unidad

HH TOTAL

270.00 hh

Costo por Mano de Obra

S/ 5,584.20

Montaje de instrumentos

10.93 hh por unidad

Metrado

5 unidad

HH TOTAL

54.67 hh

Costo por Mano de Obra

S/ 1,022.60

Montaje de accesorios

16.40 hh por unidad

Metrado

11 unidad

HH TOTAL

180.40 hh

Costo por Mano de Obra

S/ 3,374.58

Tendido y conexionado de cables de control y de comunicación industrial

0.50 hh por m

Metrado

546 m

HH TOTAL

270.82 hh

Costo por Mano de Obra

S/ 5,771.22

El sustento del indicador **2.2 Menos recursos humanos durante la Operación y Mantenimiento** es el siguiente:

2.2 Menos recursos humanos durante la OyM

GASTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	Cant.	Incid	Periodo (meses)	Horas al mes	HH	Costo por HH (Inc. LLSS)	Parcial
Operador	1	30%	240	240	17280	S/ 23.94	S/ 413,683.20
Ayudante	2	30%	240	240	34560	S/ 18.16	S/ 627,609.60
					TOTAL:	51840	S/ 1,041,292.80

El sustento del indicador **2.3 Menos recursos financieros durante la ejecución de obra** es el siguiente:

2.3 Menos recursos financieros durante la ejecución de obra

2.1.1 EQUIPAMIENTO DE AUTOMATIZACIÓN Y TELEMETRÍA	Cant.	Costo	Parcial
01 Reservoirio Fuente (R-5, V=600m3)	1	S/ 189,409.99	S/ 189,409.99
01 Reservoirio Destino (RAP-02, V=300m3)	1	S/ 381,699.63	S/ 381,699.63
Descuento del Costo de Mano de Obra	-1	S/ 31,505.20	-S/ 31,505.20
		TOTAL:	S/ 539,604.42

Consideraciones

* Para la cuantificación de los recursos financieros en el equipamiento de ER se consideró:

01 Reservoirio Fuente (R-5, V=600m3)	S/ 189,409.99
Tableros (TR, TC, TT)	S/ 111,535.42
Tablero Rectificador (TR)	1 und.
Tablero de Control (TC)	1 und.
Tablero de Telemetría (TT)	1 und.
Instrumentación	S/ 4,841.25
Switch de Rebose (LSHH)	1 und.
Electrodos de Nivel (LSH/LSL)	2 und.
Sensor detector de intrusos (YF)	1 und.
Sirena luminosa y sonora (YA)	1 und.
Equipamiento exterior	S/ 26,386.00
Torre ventada pesada 15m (inc. Balizaje y luminaria Led)	1 und.
Antena tipo Yagui	3 und.
Cable Coaxial	100 m
Ductería Conduit	100 m
Bandeja de acero laminado, portacable	30 m
Accesorios para red profibus DP	S/ 17,394.52
Cables de control y de comunicación industrial	S/ 29,252.80

01 Reservoirio Destino (RAP-02, V=300m3)	S/ 381,699.63
Tableros (TR, TC, TT)	S/ 197,414.58
Tablero Rectificador (TR)	1 und.
Tablero de Control (TC)	1 und.
Tablero de Telemetría (TT)	1 und.
Instrumentación	S/ 2,520.03
Switch de Rebose (LSHH)	1 und.
Electrodos de Nivel (LSH/LSL)	2 und.
Sensor detector de intrusos (YF)	1 und.
Sirena luminosa y sonora (YA)	1 und.
Equipamiento exterior	S/ 165,490.20
Torre autosoportada 17m (inc. Balizaje y luminaria Led)	1 und.
Sistema pararrayos	1 und.
Cable Coaxial	160 m
ODU + Antena Microondas de ganancia mínima 28dbi.	2 und.
Antena tipo Yagui	3 und.
Ductería Conduit	80 m
Bandeja de acero laminado, portacable	50 m
Accesorios para red profibus DP	S/ 8,426.70
Cables de control y de comunicación industrial	S/ 7,848.12

El sustento del indicador **2.4 Menos recursos financieros durante la Operación y Mantenimiento** es el siguiente:

2.4 Menos recursos financieros durante la OyM

GASTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Se consideró como costos para los repuestos de instrumentación y sensores (spare parts) el **20%** del costo de equipamiento. El porcentaje se obtuvo de acuerdo a lo indicado por proveedores como: Cimec, Ercon, Telemation, AyB Soluciones Tecnológicas.

Cant.	Incid	Costo	Parcial
	20%	S/ 539,604.42	S/ 107,920.88
		TOTAL:	S/ 107,920.88

El sustento del indicador **2.5 Menos consumo de energía eléctrica en la etapa de Operación y Mantenimiento** es el siguiente:

2.5 Menos consumo de energía eléctrica en la etapa de OyM

Recursos energéticos ahorrados al no usar Sistemas con Automatización

67742 kWh

Tomando como referencia lo establecido en el documento GPDA 036 del 2017 que indica que la función del tablero rectificador es de proveer de 24 Vdc a todo el equipamiento de automatización y control inclusive ante cortes del suministro eléctrico, con una autonomía de 8 horas para las estaciones remotas, a continuación, se detalla el sustento técnico para la capacidad mínima que deben tener las baterías para cada tipo de estación de este proyecto.

2.5.1 01 Reservorio Fuente (R-5, V=600m3)

EQUIPOS CONTROLADORES CON ALIMENTACION DE 24VDC							
CANT	DESCRIPCION	UBICACIÓN	POT (W)	CONSUMO (AMPERIOS)	PARCIAL	F.U.	SUB TOTAL (AMPERIOS)
1	CPU DEL PLC	TAC		0.90	0.90	1	0.90
1	Módulo de comunicación Ethernet	TAC			0	1	0.00
1	Módulo de comunicación Profibus DP	TAC			0	1	0.00
2	Módulo de 32 entradas digitales	TAC		0.16	0.32	1	0.32
1	Módulo de 16 salidas digitales	TAC		0.08	0.08	1	0.08
1	Panel de operador táctil a color, entre 9 a 12"	TAC		1.05	1.05	1	1.05
2	Switch Ethernet, 8 Puerto's RJ-45 10/100Mbps, administrable	TAC / TT		0.30	0.60	1	0.60
1	Radio modem Ethernet de 400Mhz	TT	14.5	0.60	0.60	1	0.60
2	Relé de control de nivel	TR		0.19	0.38	1	0.38
						SUB TOTAL	3.93

INSTRUMENTACIÓN							
CANT	DESCRIPCION	UBICACIÓN	POT	CONSUMO (AMPERIOS)	PARCIAL	F.U.	SUB TOTAL (AMPERIOS)
			(W)				
1	Medidor de nivel, con transmisor de presión, con display, protocolo Profibus DP	CAMPO		0.02	0.02	1	0.02
3	Transmisor de presión, con display, protocolo Profibus DP	CAMPO		0.02	0.06	1	0.06
2	Transmisor de caudal, con protocolo profibus DP. (*)	CAMPO	5.6 a 9	0.40	0.80	1	0.80
2	Repetidor profibus DP, 6 canales	TAC /CAMPO		1.60	3.20	1	3.20
2	Solenoides de apertura o cierre de las válvulas globo de control			0.40	0.80	0.3	0.24
0	Señal posición de las válvulas de control en 4-20mA			0.02	0	1	0.00
1	Detector de intruso, 24Vdc,	CAMPO		0.03	0.03	1	0.03
1	Sirena estroboscópica y luminosa, 24VDC	CAMPO		0.28	0.28	1	0.28
						SUB-TOTAL	4.63

SUB-TOTAL (AMPERIOS)	8.555
FACTOR DE SEGURIDAD	1

TOTAL DE CONSUMO	8.555
FACTOR DE RESERVA	1.3
TOTAL CON RESERVA (A)	11.12

Datos:

Tensión DC del sistema

24 V

Potencia = Voltaje x Intensidad =V * I

Pot = 266.9 Watt

Kw= 0.267

Si se considera por todo el periodo de diseño:

20 años = 240 meses = 172800 horas

Kwh= 46123

Precio Unitario S / kWh (obtenido de Osinerming) 0.594

<https://www.osinergmin.gob.pe/Tarifas/Electricidad/PliegoTarifario.aspx?Id=150000>

Precio Total de energía eléctrica en el periodo de diseño:

Costo de energía Automatización (R-05)= S/ 27,397.11

2.5.2 01 Reservoirio Destino (RAP-02, V=300m3)

EQUIPOS CONTROLADORES CON ALIMENTACION DE 24VDC							
CANT	DESCRIPCION	UBICACIÓN	POT (W)	CONSUMO (AMPERIOS)	PARCIAL	F.U.	SUB TOTAL (AMPERIOS)
1	CPU DEL PLC	TAC		0.90	0.90	1	0.90
1	Módulo de comunicación Ethernet	TAC		0.18	0.18	1	0.18
1	Módulo de comunicación Profibus DP	TAC			0	1	0.00
1	Módulo de 16 entradas digitales	TAC		0.16	0.16	0.5	0.08
1	Módulo de 8 o 16 salidas digitales	TAC		0.16	0.16	0.5	0.08
1	Panel de operador táctil a color, entre 6 a 8"	TAC		0.70	0.70	1	0.70
2	Switch Ethernet, 8 Puerto's RJ-45 10/100Mbps, administrable	TAC/ TT		0.30	0.60	1	0.60
1	Radio modem Ethernet de 400Mhz	TT	14.5	0.60	0.60	1	0.60
SUB TOTAL							3.14

INSTRUMENTACIÓN							
CANT	DESCRIPCION	UBICACIÓN	POT (W)	CONSUMO (AMPERIOS)	PARCIAL	F.U.	SUB TOTAL (AMPERIOS)
1	Medidor de nivel, con transmisor de presión, con display, protocolo Profibus DP	CAMPO		0.02	0.02	1	0.02
1	Transmisor de caudal, con protocolo profibus DP.	CAMPO	5.6 a 9	0.40	0.40	1	0.40
1	Repetidor profibus DP, 4 canales	CAMPO		0.15	0.15	1	0.15
1	Detector de intruso, 24Vdc,	CAMPO		0.03	0.03	1	0.03
1	Sirena estroboscópica y luminosa, 24VDC	CAMPO		0.28	0.28	1	0.28
SUB-TOTAL							0.88

SUB-TOTAL (AMPERIOS)	4.01
FACTOR DE SEGURIDAD	1

TOTAL DE CONSUMO	4.01
FACTOR DE RESERVA	1.3
TOTAL CON RESERVA (A)	5.21

Datos:

Tensión DC del sistema 24 V

Potencia = Voltaje x Intensidad = V * I

Pot = 125.1 Watt

Kw= 0.125

Si se considera por todo el periodo de diseño:

20 años = 240 meses = 172800 horas

Kwh= 21619

Precio Unitario S / kWh (obtenido de Osinergmin) 0.594

<https://www.osinergmin.gob.pe/Tarifas/Electricidad/PliegoTarifario.aspx?Id=150000>

Precio Total de energía eléctrica en el periodo de diseño:

Costo de energía Automatización (R-05)= S/ 12,841.90