



Disertación

Maestría en Ingeniería Civil - Construcciones Civiles

***Eficiencia energética en el sistema de
abastecimiento de agua de la ciudad de Quinindé,
Ecuador***

Oscar Hernán Quijia Juiña

Leiria, Septiembre del 2018

Esta página fue intencionalmente dejada en blanco



Disertación

Maestría en Ingeniería Civil - Construcciones Civiles

***Eficiencia energética en el sistema de
abastecimiento de agua de la ciudad de Quinindé,
Ecuador***

Oscar Hernán Quijia Juiña

Disertación de Maestría realizada bajo la tutoría del Doctor Ricardo de Jesus Gomes, Profesor de la Escuela Superior de Tecnología y Gestión del Instituto Politécnico de Leiria y co-orientación del Magíster Hermano Joaquim dos Santos Bernardo, Profesor de la Escuela Superior de Tecnología y Gestión del Instituto Politécnico de Leiria, y el Magíster Juan Carlos Moya Heredia, Profesor de la Universidad Central del Ecuador.

Leiria, Septiembre del 2018

Esta página fue intencionalmente dejada en blanco

Dedicatoria

A Dios y la virgen Dolorosa, por brindarme la capacidad y fortaleza para poder culminar una nueva etapa académica.

A mis padres, Hernán y Susana, por su apoyo y ejemplo de superación.

A mis hermanos, Gabriela y Xavier, por su cariño incondicional en todo momento.

Esta página fue intencionalmente dejada en blanco

Agradecimientos

Un extenso agradecimiento al Instituto Politécnico de Leiria por abrirme las puertas al conocimiento y permitirme culminar una etapa académica más, así como a todos los docentes que nos brindaron su apoyo para seguir adelante día a día.

Agradezco infinitamente a los tutores del trabajo de titulación, el Dr. Ricardo Gomes, el Ing. Hermano Bernardo y el Ing. Juan Moya, por haberme permitido recurrir a su capacidad y conocimiento, así como también por su paciencia a lo largo del desarrollo del trabajo.

A la EMAPASOSQ-EP, muchas gracias por proveer de información indispensable para la elaboración del presente trabajo.

A la Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación (SENESCYT) por incentivar la preparación de profesionales fuera del territorio nacional.

Esta página fue intencionalmente dejada en blanco

Resumen

Los sistemas de bombeo consumen la mayor porción de energía en los servicios de agua potable y saneamiento a las poblaciones (aproximadamente el 80% del consumo de energía), sin embargo, la mayoría de los sistemas y sus instalaciones electromecánicas asociadas operan en condiciones de baja eficiencia.

En primer lugar, se presenta la caracterización del sistema de abastecimiento de agua potable Quinindé. Posteriormente, se muestran y se discuten los resultados de la evaluación de eficiencia (física, hidráulica y energética) con el propósito de detectar las ineficiencias en la operación del sistema. Luego, se determinan los valores de los indicadores de eficiencia energética adoptados para nuestro caso.

En el presente estudio se proponen alternativas de mejoría de eficiencia energética, se realiza el análisis económico de la implementación de estas alternativas mediante herramientas financieras (VPN, TIR y LCC) para establecer su viabilidad y rentabilidad.

Con las alternativas adoptadas se obtiene como resultado un ahorro anual de USD 59866 y una notable mejoría en la eficiencia energética del sistema reflejada en el cálculo de los nuevos indicadores, asumiendo hipotéticamente que las alternativas de mejoría han sido ya implementadas.

Palabras-clave: Abastecimiento de agua; Sistemas de bombeo; Eficiencia energética; Indicadores de eficiencia

Esta página fue intencionalmente dejada en blanco

Abstract

Pumping systems consume the largest portion of energy in water supply and sanitation services to populations (approximately 80% of the total energy consumption), however, most systems and their associated electromechanical installations operate in conditions of low efficiency.

First, the characterization of Quinindé's potable water supply system is presented. Subsequently, the results of the evaluation of efficiency (physical, hydraulic and energy) are shown and discussed with the purpose of detecting inefficiencies in the system's operation. Then, the values of the performance indicators adopted for our case are determined.

In the present study, alternatives of improving energy efficiency are proposed, the economic analysis of the implementation of these alternatives is carried out by financial tools (VPN, TIR and LCC) to establish their viability and profitability.

With the alternatives adopted, the result is an annual saving of USD 59866 and a notable improvement in the energy efficiency of the system reflected in the calculation of the new indicators, assuming hypothetically that the alternatives of improvement have already been implemented.

Keywords: Water supply; Pumping systems; Energy efficiency; Performance indicators

Esta página fue intencionalmente dejada en blanco

Lista de figuras

Figura 1. Demanda anual de energía eléctrica.....	11
Figura 2. Configuración típica de un sistema de abastecimiento de agua.....	14
Figura 3. Tipos de configuración de redes.	15
Figura 4. Distribución a gravedad	16
Figura 5. Líquido a través de la bomba	20
Figura 6. Caudal y altura para distintos tipos de bombas centrífugas	21
Figura 7. Curvas características de una bomba centrífuga.	25
Figura 8. Punto de funcionamiento de una bomba centrífuga.....	27
Figura 9. Asociación de 2 bombas en paralelo	28
Figura 10. Asociación de 2 bombas en serie	29
Figura 11. Esquema de un sistema típico de suministro y consumo energético en sistemas de agua potable y saneamiento.....	41
Figura 12. Flujo de pérdidas y consumo energético típico, en los componentes de un sistema de bombeo	42
Figura 13. Problemas típicos de un equipo trabajando fuera de su zona óptima	46
Figura 14. Localización geográfica del Ecuador.	55
Figura 15. Localización ciudad de Quinindé, Ecuador.	56
Figura 16. Esquema Planta de Potabilización, Almacenamiento y Distribución final.....	57
Figura 17. Esquema de las Estaciones de Bombeo, Planta de Potabilización y Almacenamiento.....	57
Figura 18. Esquema General del Sistema de Abastecimiento Quinindé.	58
Figura 19. Captación mediante barcaza flotante sobre el río Blanco	59
Figura 20. Equipos de bombeo-Estación N°1	60
Figura 21. Remoción de residuos en la succión	60
Figura 22. Tubería de Llegada y Sedimentador N°1	61
Figura 23. Sedimentador N°2 (izquierda) y tubería de salida a estación de bombeo N°2 (derecha).....	61
Figura 24. Estación de Bombeo N°2 (izquierda) y conjunto bomba-motor en funcionamiento (derecha).....	62
Figura 25. Manómetros de los equipos de bombeo-Estación N°2	62
Figura 26. Módulo N°1 de tratamiento.....	63

Figura 27. Módulo N°2 de tratamiento.....	63
Figura 28. Tanques de 1000 m ³	64
Figura 29. Tanques de 500 m ³ (izquierda) y 300 m ³ (derecha).....	64
Figura 30. Zonas abastecidas por el sistema de abastecimiento público de agua potable Quinindé	65
Figura 31. Cálculo altura manométrica desde depósito hacia depósito.....	77
Figura 32. Punto de operación real de las 4 bombas de 30 HP	82
Figura 33. Punto de operación real de las 2 bombas de 125 HP.	84
Figura 34. Punto de operación de las 3 bombas de 30 HP (Alternativa A).....	87
Figura 35. Punto de operación de las 2 bombas de 30 HP (Alternativa B).....	88
Figura 36. Punto de operación de las 3 bombas de 30 HP (Alternativa C).	89
Figura 37. Punto de operación y curvas características Bomba GRUNDFOS 150 HP	91

Lista de tablas

Tabla 1. Producción Anual de Energía Eléctrica.....	10
Tabla 2. Cobertura de servicios de agua potable y saneamiento, Viviendas Ecuador urbano 2010.....	12
Tabla 3. Cobertura de servicios de agua potable y saneamiento, Viviendas Ecuador rural 2010.....	12
Tabla 4. Clasificación de Bombas Centrífugas	22
Tabla 5. Componentes del balance hídrico.....	32
Tabla 6. Impacto estimado de consumo global de energía en etapas de un Sistema de Abastecimiento y Saneamiento	40
Tabla 7. Características equipos de bombeo (5) de la estación de bombeo N°1.....	59
Tabla 8. Características equipos de bombeo (3) de la Estación de Bombeo N°2	62
Tabla 9. Balance Hídrico del sistema de abastecimiento Quinindé, para el año 2017.....	66
Tabla 10. Dotaciones recomendadas	67
Tabla 11. Balance Volumétrico Sistema Quinindé	70
Tabla 12. Volumen de regularización del tanque para 24 horas/día de bombeo.....	72
Tabla 13. Volumen requerido y disponible de almacenamiento en el sistema Quinindé.....	73
Tabla 14. Características de Bomba y Motor de la Estación N°1.	74
Tabla 15. Características de Bomba y Motor de la Estación N°2	74
Tabla 16. Información suministro energía eléctrica del consumidor	74
Tabla 17. Consumo eléctrico anual en Estaciones de Bombeo	75
Tabla 18. Altura manométrica Bomba N°1, Estación N°1	75
Tabla 19. Altura manométrica Bomba N°2, Estación N°1	76
Tabla 20. Altura manométrica Bomba N°3, Estación N°1	76
Tabla 21. Altura manométrica Bomba N°4, Estación N°1	77
Tabla 22. Altura manométrica Bomba N°1 y 2, Estación N°2.....	78
Tabla 23. Potencia y eficiencias de los equipos de bombeo de la Estación N°1.....	79
Tabla 24. Potencia y eficiencias de los equipos de bombeo de la Estación N°2.....	80
Tabla 25. Causas y consecuencias bajo factor de carga de los motores.....	81
Tabla 26. Características de operación bombas 30 HP.	83
Tabla 27. Exceso carga de Impulsión en Estación de Bombeo N°1.	83
Tabla 28. Características de operación bombas 125 HP	84

Tabla 29. Exceso carga de Impulsión en Estación de Bombeo N°2	85
Tabla 30. Indicadores de eficiencia energética del Sistema Quinindé.	85
Tabla 31. Características de operación bombas de 30 HP (Alternativa A)	87
Tabla 32. Características de operación bombas de 30 HP (Alternativa B)	88
Tabla 33. Características de operación bombas de 30 HP (Alternativa C)	89
Tabla 34. Características Equipos de Bombeo 150 HP	90
Tabla 35. Estimación de ahorro de la Estación N°1-Alternativa A.....	92
Tabla 36. Estimación de ahorro de la Estación N°1-Alternativa B.....	92
Tabla 37. Estimación de ahorro de la Estación N°1-Alternativa C.....	93
Tabla 38. Estimación de ahorro de la Estación N°2-Alternativa A.....	93
Tabla 39. VPN y TIR de la Estación N°1-Alternativa A.	94
Tabla 40. VPN y TIR de la Estación N°1-Alternativa B.....	94
Tabla 41. VPN y TIR de la Estación N°1-Alternativa C.....	95
Tabla 42. VPN y TIR de la Estación N°2-Alternativa A.	95
Tabla 43. Costo del ciclo de vida de las alternativas de la Estación de bombeo N°1	96
Tabla 44. Costo del ciclo de vida de la alternativa de la Estación de bombeo N°2	96
Tabla 45. VPN, TIR y LCC de las alternativas de la Estación de bombeo N°1.....	97
Tabla 46. VPN, TIR y LCC de la alternativa de la Estación de bombeo N°2.....	97
Tabla 47. Ahorro total anual con la implementación de alternativas.	97
Tabla 48. Variación indicadores de eficiencia.....	98

Índice

DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTOS.....	V
RESUMEN.....	VII
ABSTRACT.....	IX
LISTA DE FIGURAS.....	XI
LISTA DE TABLAS.....	XIII
ÍNDICE.....	XV
1. INTRODUCCIÓN.....	2
1.1. Objetivos.....	2
1.1.1. Objetivo principal.....	2
1.1.2. Objetivos Específicos.....	3
1.2. Organización del documento.....	3
2. REVISIÓN LITERARIA.....	6
2.1. Sector eléctrico ecuatoriano.....	6
2.1.1. Crisis energética.....	6
2.1.2. Estructura del Sector Energético Ecuatoriano.....	8
2.1.3. Matriz energética en el Ecuador.....	9
2.1.4. Situación actual.....	10
2.2. El agua y el saneamiento en el ecuador.....	11
2.2.1. Situación actual.....	12

2.3. Abastecimiento de agua.....	13
2.3.1. Sistema de abastecimiento de agua	13
2.3.2. Métodos de distribución de agua	16
2.4. Estaciones de bombeo	17
2.4.1. Elementos de las estaciones de bombeo	17
2.4.2. Capacidad de la estación de bombeo	18
2.4.2.1. Tiempo de bombeo	18
2.4.2.2. Tipos de abastecimiento	18
2.5. Bombas Hidráulicas.....	19
2.5.1. Bombas Centrífugas	19
2.5.2. Clasificación de Bombas centrífugas	20
2.5.3. Generalidades relacionadas al estudio de las bombas	23
2.5.4. Curvas características de las bombas.....	25
2.5.5. Curva característica del sistema.....	26
2.5.6. Definición del punto de operación.....	26
2.5.7. Asociación de bombas centrífugas.....	27
2.5.7.1. Bombas acopladas en paralelo	27
2.5.7.2. Bombas acopladas en serie	28
2.5.8. Leyes de semejanza en bombas.....	29
2.6. Eficiencia energética en sistemas de abastecimiento de agua	30
2.6.1. Balance hídrico.....	31
2.6.2. Eficiencia hidráulica	33
2.6.2.1. Por medio de indicadores generales.....	33
2.6.2.2. Por medio de una metodología para determinar el Balance Volumétrico	37
2.6.2.3. Capacidad de regulación	39
2.6.3. Eficiencia energética en los sistemas de bombeo.....	39
2.6.3.1. Pérdidas Energéticas en un sistema de bombeo	41
2.6.3.2. Diagnóstico Energético de la bomba.....	42
2.6.4. Indicadores de eficiencia.....	46
2.6.5. Análisis económico.....	49
2.6.5.1. Valor presente neto	50
2.6.5.2. Tasa interna de retorno	51
2.6.5.3. Costo de ciclo de vida.....	51

3. SISTEMA DE ABASTECIMIENTO PÚBLICO DE AGUA POTABLE DE LA CIUDAD DE QUININDÉ, ECUADOR.....	54
--	-----------

3.1.	Metodología.....	54
3.2.	Localización y caracterización geográfica	54
3.3.	Caracterización del sistema de abastecimiento de agua potable Quinindé, Ecuador.....	56
3.3.1.	Población servida	58
3.3.2.	Captación	59
3.3.3.	Estación de bombeo N°1 (Captación)	59
3.3.4.	Sedimentadores primarios.....	61
3.3.5.	Estación de bombeo N°2 (a la salida de los sedimentadores primarios)	61
3.3.6.	Planta de tratamiento	63
3.3.7.	Almacenamiento	63
3.3.8.	Distribución	64
3.4.	Balance hídrico	65
3.5.	Eficiencia Hidráulica	67
3.5.1.	Por medio de indicadores generales.....	67
3.5.2.	Balance Volumétrico	69
3.5.3.	Revisión de la capacidad de regularización.....	70
3.6.	Eficiencia Energética en el Sistema de Bombeo.....	74
3.6.1.	Descripción de equipos e instalaciones de bombeo del sistema Quinindé	74
3.6.2.	Consumo de energía eléctrica.....	74
3.6.3.	Altura manométrica de Bombeo.....	75
3.6.4.	Potencia y eficiencias de unidades de bombeo en operación	79
3.6.5.	Punto de operación.....	82
3.6.5.1.	Estación de Bombeo N°1.....	82
3.6.5.2.	Estación de Bombeo N°2.....	83
3.7.	Indicadores de eficiencia.....	85
3.8.	Alternativas para el mejoramiento de la eficiencia energética	86
3.8.1.	Alternativas de mejoría para la Estación de Bombeo N°1	86
3.8.2.	Alternativa de mejoría para la Estación de Bombeo N°2	90
3.9.	Análisis económico de las alternativas	92
3.9.1.	Estimación de Ahorros	92
3.9.2.	Valor presente neto y Tasa interna de retorno de las alternativas de mejoría	93
3.9.3.	Costo de ciclo de vida de las alternativas de mejoría	95

3.10.	Alternativas adoptadas	97
4.	CONCLUSIONES	100
5.	BIBLIOGRAFÍA.....	104
6.	ANEXOS.....	110
6.1.	Curvas características de las bombas obtenidas de catálogos de fabricantes	110
6.2.	Placas Motor-Bomba.....	111
6.3.	Variación horaria de la demanda en ciudades de la costa ecuatoriana.	114
6.4.	Planilla del servicio eléctrico de las Estaciones de bombeo	115
6.5.	Cálculo de pérdidas lineales y locales en tuberías	117
6.6.	Coefficientes de proporcionalidad para motores asincrónicos	119
6.7.	Libreta de campo del Levantamiento Topográfico - Estación de bombeo N°1	120
6.8.	Medición de parámetros eléctricos en Equipos de Bombeo	121
6.9.	Descripción y curvas características de la Bomba GRUNDFOS NK150-400/360, 60Hz	122

***Eficiencia energética en el sistema de
abastecimiento de agua de la ciudad de
Quinindé, Ecuador***

INTRODUCCIÓN

Capítulo 1

1. Introducción

Las empresas de agua potable necesitan incrementar cada vez más su eficiencia operacional en relación a un mercado más competitivo. En los sistemas de abastecimiento de agua potable es conocido que los mayores costos relacionados al consumo de energía eléctrica son debidos al funcionamiento de estaciones de bombeo.

Adicionalmente, se vive una crisis energética sin precedentes resultado de principalmente el calentamiento global, la contaminación y la destrucción del medio natural. Se extrae cada vez más energía de la naturaleza y se conocen más medios para conseguirla. El progreso es inevitable, y no es malo, pero es innegable que genera problemas. La conducta del ser humano ha generado que el progreso se lo haya realizado sin tener en consideración la capacidad de la naturaleza de auto regenerarse.

Por otro lado, el desperdicio de agua es una de las principales causas de la falta de agua en varios lugares, evitar este problema es competencia de los usuarios y de las empresas de abastecimiento. Los efectos de desperdiciar el agua se reflejan en la disminución del líquido a la población, menor disponibilidad en las reservas hídricas y crisis en las épocas de estiaje. Además, aproximadamente el 55% del agua se desperdicia desde que se potabiliza hasta que llega al consumo humano. Es decir, solo el 45% del líquido logra ser facturado (Redacción El Telégrafo Quito, 2016).

Por todo lo antes mencionado, el uso racional del agua y la eficiencia energética en la operación de sistemas de abastecimiento, especialmente en las estaciones de bombeo, son aspectos fundamentales para la reducción de los costos de la empresa como también para la disminución de impactos ambientales negativos.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo principal

- Analizar y proponer una guía de acciones que permitan reducir el costo operacional del sistema de abastecimiento de agua potable Quinindé.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Describir los componentes, funcionamiento y modo de operación del sistema de abastecimiento Quinindé.
- Analizar e identificar los factores que afectan el desempeño de la estación de bombeo.
- Proponer alternativas prácticas y económicas de mejoramiento de eficiencia energética, y analizar el beneficio económico de su implementación.

1.2. Organización del documento

La presente disertación está organizada en cuatro capítulos principales. El quinto capítulo se refiere a la bibliografía utilizada y en el último capítulo se encuentran los anexos.

Capítulo 1 – Contiene la sección actual, se hace referencia a la importancia del tema a estudiar y los objetivos a alcanzar.

Capítulo 2 - Aborda literatura en referencia al tema de estudio, con especial atención a las temáticas relacionadas a las componentes de los sistemas de abastecimiento de agua, funcionamiento de sistemas de bombeo y eficiencia de los sistemas (Hidráulica, Física y Energética).

Capítulo 3 - En este capítulo se estudia las condiciones de funcionamiento y operación del sistema de abastecimiento de agua en la ciudad de Quinindé, que incluye la caracterización del sistema, el análisis de eficiencia hidráulica, física y energética, y la generación de indicadores de eficiencia. Además en este capítulo se propone alternativas para mejorar la eficiencia energética del sistema con su respectiva valoración económica.

Capítulo 4 - Se refiere a las principales conclusiones que nos sugieren los resultados obtenidos.

***Eficiencia energética en el sistema de
abastecimiento de agua de la ciudad de
Quinindé, Ecuador***

REVISIÓN LITERARIA

Capítulo 2

2. Revisión literaria

2.1. Sector eléctrico ecuatoriano

La energía eléctrica es de vital importancia para el desarrollo económico de cualquier país, Ecuador no es la excepción, el sector eléctrico es considerado como estratégico debido a su influencia directa con el desarrollo productivo del país.

La producción de energía hidroeléctrica ha ido tomando gran importancia frente a otros tipos de energía. En comparación con el petróleo se distinguen las siguientes ventajas: transporte simple y eficiente, proviene mayoritariamente de fuentes renovables y las tecnologías de usos finales son más eficientes.

Por lo antes mencionado se puede pronosticar que en el futuro la participación de la electricidad irá creciendo debido a su uso preferente en las tecnologías de usos finales.

2.1.1. Crisis energética

Ecuador viene arrastrando una pesada crisis energética, la debilidad institucional provocada por la inconsistencia de las políticas generaron fuertes crisis, durante la década de los 80 y 90, el país mantuvo un servicio eléctrico totalmente inestable y con un acceso limitado, a pesar de que en mayo de 1983 entro en operación la primera “Fase AB” de la central Hidroeléctrica de Paute (500 MW) siendo el proyecto más ambicioso del sector energético. Ecuador se vio afectado en 4 ocasiones por desastres naturales, teniendo como consecuencia en 1993 el derrumbe en la zona conocida como la Josefina en el sur del país, que afectó drásticamente al proyecto hidroeléctrico más importante del Ecuador. A causa de esto, el país se precipitó en una prolongada crisis energética afectó a todo el territorio nacional, ya que el proyecto Paute representaba un 70% de la capacidad instalada de generación eléctrica.

Para el año 1996 el país enfrenta una de las peores crisis energéticas de la historia, el gobierno se vio en la necesidad de tomar medidas extremas por entrar a un estado de emergencia, la población fue privada de energía eléctrica por periodos de hasta ocho horas diarias, obligando a las grandes y medianas empresas a adquirir generadores propios. Los principales causantes del periodo de la crisis que duro casi dos décadas fueron el

incumplimiento de obras planificadas y el aumento del consumo energético (Mayorga, 2015).

Con el pasar del tiempo la demanda de crisis energética en el país se volvió insostenible, durante el periodo de 5 años se vivieron temporadas largas de apagones los cuales registraron un saldo de más de 415 millones de dólares en pérdidas. Este valor fue superior a los costos del conflicto con el Perú, además de causar malestar a los ciudadanos que adelantaron una hora de jornada laboral (Acosta, 2006).

Para la década del 2000, específicamente en el año 2009, Ecuador vive nuevamente una de las recurrentes crisis energéticas debido a las alteraciones provocadas por el cambio climático. En este caso se creó una incertidumbre respecto a la disponibilidad del suministro, ya que la demanda y necesidad del servicio era creciente. Durante ese lapso se dieron escasas lluvias que generaron una excesiva sequía y bajos niveles del espejo de agua en la presa de Amaluza que interrumpieron por completo la operación de la Central Hidroeléctrica más importante del país (Paute), teniendo en ese momento una capacidad de generación muy frágil, generaba 34% del total de la capacidad nacional de generación eléctrica y 62% de la capacidad hidroeléctrica, creando un escenario complejo para la población afectada debido a que la generación hidroeléctrica no lograba producir los racionamientos suficientes para garantizar el abastecimiento requerido (Villavicencio, 2010). El sistema eléctrico ecuatoriano en el país tenía mucha dependencia de las condiciones climáticas siendo vulnerable a los fenómenos naturales los cuales en ese momento no fueron favorables, se exponía cada vez a una mayor dependencia de los combustibles fósiles importados con precio de venta a nivel local que no reflejaban costos reales, para enfrentar esta crisis, el gobierno se vio en la necesidad de diversificar sus medios de abastecimiento. Ecuador aumentó las compras de electricidad a Colombia y Perú, sin embargo en noviembre del 2009 Colombia limita sus exportaciones, debido a que este país se veía afectado por el severo estiaje y tenía la necesidad de satisfacer su demanda interna, sin este suministro colombiano el país entra en estado de emergencia ya que supera dramáticos niveles en su déficit energético (De Waziers & Tejeda, 2017).

En el año 2009 el Ecuador vive la peor crisis energética, durante 73 días el país sufrió cortes eléctricos de hasta 12 horas que generaron pérdidas millonarias, afectaron tanto al sector público como privado, se realizó la importación de millones de galones de diésel para las generadoras termoeléctricas que causó un gran gasto para el país. Por todo lo antes mencionado, el gobierno ecuatoriano decidió acelerar la implementación de una estrategia

nacional que le permitiera transformar su matriz energética, avanzar en la sostenibilidad del sector, en aquel tiempo la demanda de energía de Ecuador era aproximadamente 2800 MWh, de los cuales se cubría alrededor de 2100 MWh, la producción de las generadoras térmicas lograba abastecer aproximadamente el 65% de la demanda. Adicionalmente, se requería una importación de hasta 15 millones de galones de combustible al mes para disminuir la crisis por la que atravesaba el país, se emprendieron campañas para concientizar a la población sobre el ahorro de energía y evitar el consumo innecesario ya que el consumo energético creció de 4800 gigavatios hora facturados en el año 90 a 12200 en el 2008, triplicándose el consumo (Peñas, 2009).

En el 2011 el costo de la energía que se distribuía en el país era de 0.0892 centavos de dólares, aunque por los costos de transmisión, generación, distribución, se calcula que unos USD 3000 millones fueron eliminados debido a la condonación de deudas y USD 2000 más fueron destinados a pagar subsidios tarifarios, y uso de combustibles, el valor real estaba cotizado en \$ 0.15 centavos esto significaba que el Estado subsidiaba casi la mitad de esta tarifa a los consumidores (Mayoral & Acosta , 2015).

La generación eléctrica del país antes de la construcción masiva de hidroeléctricas (Coca Codo Sinclair, Sopladora, Toachi Pilatón, Minas-San Francisco, Mazar-Dudas, Manduriacu, Delsitanisagua y Quijos) se dio por 2 fuentes principales: petróleo y sus derivados en mayor porción e hidroelectricidad con menor participación.

Ecuador perdió alrededor de USD 15600 millones de dólares en los últimos 20 años a causa de las ineficiencias técnicas y administrativas, el sector eléctrico era analizado superficialmente solo cuando se generaban apagones, estos problemas fueron provocados de manera voluntaria e involuntaria debido a los actores políticos y económicos (Taipe, 2011).

2.1.2. Estructura del Sector Energético Ecuatoriano

Conforme se indica en el tercer suplemento de la Ley Orgánica de Servicio Público de Energía Eléctrica, mismo que fue publicado el 16 de Enero del 2015, en su Título III: ESTRUCTURA DEL SECTOR ELÉCTRICO, Capítulo I:ESTRUCTURA, Artículo 9.- Estructura institucional; detalla que: El sector eléctrico estará estructurado en el ámbito institucional, de la siguiente manera:

- Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, MEER;
- Agencia de Regulación y Control de Electricidad, ARCONEL;
- Operador Nacional de Electricidad, CENACE; y,
- Institutos especializados.

2.1.3. Matriz energética en el Ecuador

Una matriz energética es una representación cuantitativa de fuentes primarias y secundarias, muestra una radiografía de cómo está balanceado el consumo de energía que es ofertada en un territorio y tiempo determinado para ser utilizada en diversos procesos productivos, expresa el total de energía utilizada y demandada (Constante, 2016).

El conocimiento y análisis de la matriz energética es un elemento fundamental para orientar la planificación y aseguramiento del abastecimiento del sector energético con el fin de garantizar la producción, seguridad y el uso adecuado de la energía disponible (Vinueza, 2015).

Tal como existen dos tipos de fuentes de energía, también las hay de matrices: primarias y secundarias. La primera comprende la energía encontrada en la naturaleza y que no ha pasado por ningún proceso humano de conversión, es decir los recursos naturales disponibles como la hidráulica, eólica, solar, y los combustibles crudos (carbón, petróleo y biomasa) (Castro, 2011). Las fuentes de energía secundaria resultan de la transformación de las fuentes de energía primaria, como electricidad, gas distribuido por redes, derivados de los hidrocarburos, entre otros.

De manera análoga, las fuentes de energía primaria han incrementado su participación en la matriz energética primaria que tienen energéticos capturados directamente de recursos naturales en el consumo total.

La electricidad es una forma de energía secundaria, la cual se demanda en Ecuador en un porcentaje significativo y de hecho, se espera que vaya tomando importancia en el escenario mundial debido a las ventajas que presenta. Una de las principales ventajas es que la electricidad puede ser generada con fuentes renovables, aportando así a la seguridad energética debido a la continua disminución de las reservas de petróleo (Castro, 2011). Una vez que se ha expuesto la importancia de la electricidad en la oferta y transformación de la matriz energética, es evidente apreciar la importancia de la electricidad en el lado de la

demanda, misma que se utiliza en la vida cotidiana de los seres humanos y en casi todos los procesos productivos de la sociedad. En las últimas 4 décadas la modernización de la matriz es marcada por el incremento continuo del consumo de electricidad y la modernización de las fuentes de energía, por ese motivo, se desarrollan políticas para optimizar el uso de energía. Finalmente, se puede resumir que la electricidad es un tipo de energía que podrá ser sostenible en el futuro siempre y cuando provenga de fuentes renovables y su consumo sea eficiente, permitiendo abastecer las necesidades energéticas de los seres humanos y generando menores gases de efecto invernadero.

2.1.4. Situación actual

El sector eléctrico es calificado como transcendental debido a su influencia directa con el progreso del país. La producción en el año 2017 de energía eléctrica fue generada en su mayoría por energía Hidráulica con un 71.98%, seguida por la energía térmica con un 26.03% como se indica en la Tabla 1.

*Tabla 1. Producción Anual de Energía Eléctrica
Fuente: ARCONEL. Elaboración propia*

ENERGÍA	GWh	%
BIOGAS	23.52	0.09%
BIOMASA	371.28	1.45%
EÓLICA	68.87	0.27%
HIDRAULICA	18434.48	71.98%
INTERCONEXIÓN	9.73	0.04%
SOLAR	34.48	0.13%
TÉRMICA	6666.61	26.03%
TOTAL	25608.97	100.00%

A continuación se puede observar la Figura 1 que representa la participación de los sectores en el demanda de energía eléctrica anual por grupo de consumo.

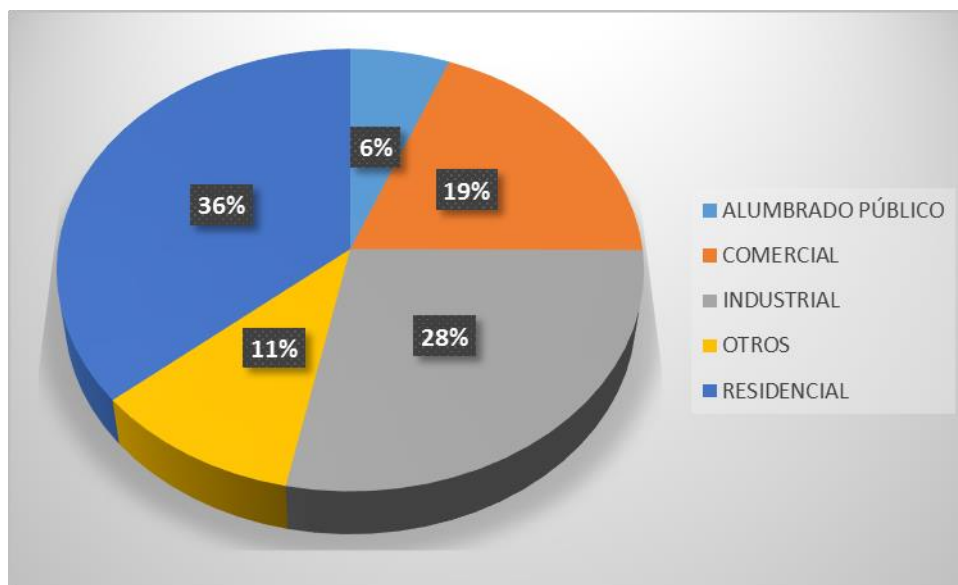


Figura 1. Demanda anual de energía eléctrica.
Fuente: ARCONEL. Elaboración propia

2.2. El agua y el saneamiento en el Ecuador

El agua libre de impurezas y accesible para todos es parte esencial del mundo en que queremos vivir. Hay suficiente agua dulce en el planeta para lograr este sueño.

Actualmente el reparto del agua no es el adecuado y para el año 2050 se espera que al menos un 25% de la población mundial viva en un país afectado por escasez crónica y reiterada de agua dulce. La sequía afecta a algunos de los países más pobres del mundo, recrudece el hambre y la desnutrición. Esa escasez de recursos hídricos junto con la mala calidad del agua y el saneamiento inadecuado repercuten en la seguridad alimentaria, los medios de subsistencia y la oportunidad de educación para las familias pobres en todo el mundo (Agrovision, 2018).

La cobertura del servicio de agua potable y saneamiento en el Ecuador aumentó significativamente en los últimos años, sin embargo, el servicio tiene como constantes bajos niveles de cobertura, deficiente calidad del servicio y una limitada recuperación de costos. Consumidores y entidades gestoras de agua potable reconocen como los principales problemas, los asociados a la oferta y demanda por los servicios, los desequilibrios en la prestación de los mismos y la insatisfactoria gestión de las entidades del sector.

2.2.1. Situación actual

La Tabla 2 y Tabla 3 indican la cobertura de servicios de agua potable y saneamiento en las áreas urbanas y rurales del Ecuador a nivel provincial de acuerdo al último censo efectuado en el año 2010.

Tabla 2. Cobertura de servicios de agua potable y saneamiento, Viviendas Ecuador urbano 2010.
Extraído del Instituto Nacional de Estadística y Censos

PROVINCIA	REGION	POBLACION	VIVIENDA	% AGUA RE	% ALC. SAN	% SOL. SAN	DEF. AGUA	DEF. ALCS
Azuay	Sierra	380445	99604	98.6%	92.7%	5.1%	1347	12299
Bolívar	Sierra	51792	14141	96.6%	87.0%	9.7%	482	3205
Cañar	Sierra	94525	23205	93.8%	78.1%	14.5%	1431	8441
Carchi	Sierra	82495	21916	98.7%	96.3%	2.2%	280	1289
Cotopaxi	Sierra	120970	32234	96.9%	77.6%	19.8%	1011	13606
Chimborazo	Sierra	187119	49154	97.7%	95.5%	3.4%	1112	3857
El Oro	Costa	464629	122671	91.1%	75.1%	17.6%	10889	52182
Esmeraldas	Costa	265090	65805	83.2%	55.8%	35.0%	11023	52092
Guayas	Costa	3080055	792319	84.5%	54.8%	41.7%	122556	688236
Imbabura	Sierra	209780	55255	98.2%	94.3%	3.5%	984	5095
Loja	Sierra	249171	62725	96.7%	87.4%	10.1%	2089	14261
Los Ríos	Costa	415842	106299	86.0%	30.4%	63.7%	14869	141747
Manabí	Costa	772355	191567	77.5%	57.7%	39.3%	43165	156187
Morona Santiago	Amazonia	49659	12509	96.6%	81.4%	12.8%	427	3927
Napo	Amazonia	35433	9157	94.9%	83.9%	9.4%	464	2337
Pastaza	Amazonia	36927	9618	95.6%	79.7%	9.7%	421	2890
Pichincha	Sierra	1761867	505362	98.6%	96.2%	2.6%	7050	32297
Tungurahua	Sierra	205546	56624	98.3%	96.1%	2.8%	980	3787
Zamora Chinchipe	Amazonia	36163	8765	96.9%	88.3%	3.1%	271	1302
Galápagos	Insular	20738	6058	96.6%	30.5%	69.2%	209	8402
Sucumbios	Amazonia	73040	20116	74.1%	71.4%	20.8%	5216	9938
Orellana	Amazonia	55928	14935	83.4%	49.4%	46.6%	2482	14514
Santo Domingo	Costa	270875	69863	69.0%	77.1%	17.8%	21682	28488
Santa Elena	Costa	170342	41597	83.5%	43.2%	48.4%	6862	43773
Zonas No Delimitadas								

Tabla 3. Cobertura de servicios de agua potable y saneamiento, Viviendas Ecuador rural 2010.
Extraído del Instituto Nacional de Estadística y Censos

PROVINCIA	REGION	POBLACION	VIVIENDAS	% AGUA RE	% ALC. SAN	% SOL. SAN	DEF. AGUA	DEF. ALCS	DEF. SANBAS
Azuay	Sierra	331682	84313	83.4%	24.4%	52.6%	13983	63775	39927
Bolívar	Sierra	131849	32969	63.4%	13.1%	54.8%	12057	28656	14896
Cañar	Sierra	130659	34172	78.1%	19.9%	49.8%	7475	27368	17157
Carchi	Sierra	82029	20984	86.8%	50.0%	35.0%	2771	10492	13646
Cotopaxi	Sierra	288235	69566	75.6%	16.6%	58.0%	16950	58042	29203
Chimborazo	Sierra	271462	73891	75.8%	15.4%	58.0%	17864	62482	31028
El Oro	Costa	136030	36345	82.0%	26.9%	45.6%	6535	26575	19777
Esmeraldas	Costa	269002	63105	37.7%	4.6%	78.0%	39325	60223	13879
Guayas	Costa	565428	148393	46.5%	3.5%	72.0%	79384	143202	41508
Imbabura	Sierra	188464	45831	86.4%	43.1%	37.1%	6233	26088	28849
Loja	Sierra	199795	50983	69.0%	12.3%	51.4%	15785	44688	24793
Los Ríos	Costa	362273	93637	40.5%	2.5%	77.4%	55690	91257	21121
Manabí	Costa	597425	146403	34.9%	1.4%	88.7%	95267	144413	16494
Morona Santiago	Amazonia	98281	20282	47.2%	10.9%	31.9%	10714	18076	13807
Napo	Amazonia	68264	13181	55.8%	15.0%	44.1%	5823	11206	7372
Pastaza	Amazonia	47006	9844	45.9%	21.7%	31.6%	5323	7707	6733
Pichincha	Sierra	814420	215568	92.6%	67.7%	24.9%	16059	69658	161826
Tungurahua	Sierra	299037	80810	83.6%	37.9%	49.3%	13221	50162	40966
Zamora Chinchipe	Amazonia	55213	12220	67.5%	23.8%	19.7%	3971	9308	9814
Galápagos	Insular	4386	1103	62.3%	6.3%	88.6%	416	1034	126
Sucumbios	Amazonia	103432	22666	35.0%	11.8%	51.0%	14730	19984	11096
Orellana	Amazonia	80468	16442	29.9%	6.7%	46.6%	11521	15337	8775
Santo Domingo	Costa	97138	24160	47.9%	13.7%	75.0%	12591	20850	6036
Santa Elena	Costa	138351	32178	76.2%	15.0%	68.6%	7667	27367	10097
Zonas No Delimitadas		32384	7834	40.2%	1.4%	89.1%	4681	7724	853

Las dos y tres últimas columnas de la Tabla 2 y Tabla 3, respectivamente, corresponden al número de viviendas que al año 2010 no tenían servicios municipales de agua potable y saneamiento.

2.3. Abastecimiento de agua

Desde que el hombre se convirtió en un ser sedentario, el abastecimiento de agua se tornó en una preocupación constante por la necesidad de tener el líquido disponible cerca de los hogares. A lo largo del tiempo los métodos de captación, tratamiento, almacenamiento, conducción y distribución han evolucionado.

2.3.1. Sistema de abastecimiento de agua

Un sistema de abastecimiento de agua potable es aquel que facilita que el agua avance desde el punto de captación hasta los puntos de entrega a los usuarios en condiciones aptas para su consumo. Por aptas no solo se entiende en cuanto a condiciones sanitarias de calidad, sino también de cantidad.

De igual manera, autores como Olivarez (2013) indican que el objetivo de un sistema de abastecimiento de agua potable es proporcionar el servicio de agua potable al usuario, servicio que debe cumplir diferentes características, siendo las principales:

- Cobertura: el servicio se debe brindar a la mayor cantidad posible de población mediante una conexión domiciliaria, el ideal es una cobertura de 100%.
- Calidad: el agua potable debe cumplir con el Reglamento de Calidad de Agua para consumo humano.
- Cantidad: el usuario debe disponer del volumen de agua requerido para satisfacer sus necesidades sin ninguna restricción, puede consumir el volumen que está dispuesto a pagar.
- Continuidad: el usuario debe tener la disponibilidad del servicio durante todo el día, el ideal es una continuidad de 24 horas.
- Costo: el costo del agua debe cubrir los costos de la infraestructura y de operación y mantenimiento, los costos deben ser eficientes, no debe financiar ineficiencias de la empresa.
- Cultura hídrica: el usuario debe hacer un uso racional del agua, sin producir pérdidas ni generando desperdicios.

Un sistema moderno de abastecimiento público de agua se compone de instalaciones para la captación, tratamiento, almacenamiento, conducción, bombeo y distribución

(Comisión Nacional del Agua, 2007). En la Figura 2 se puede identificar los componentes de un sistema de abastecimiento público de agua moderno.

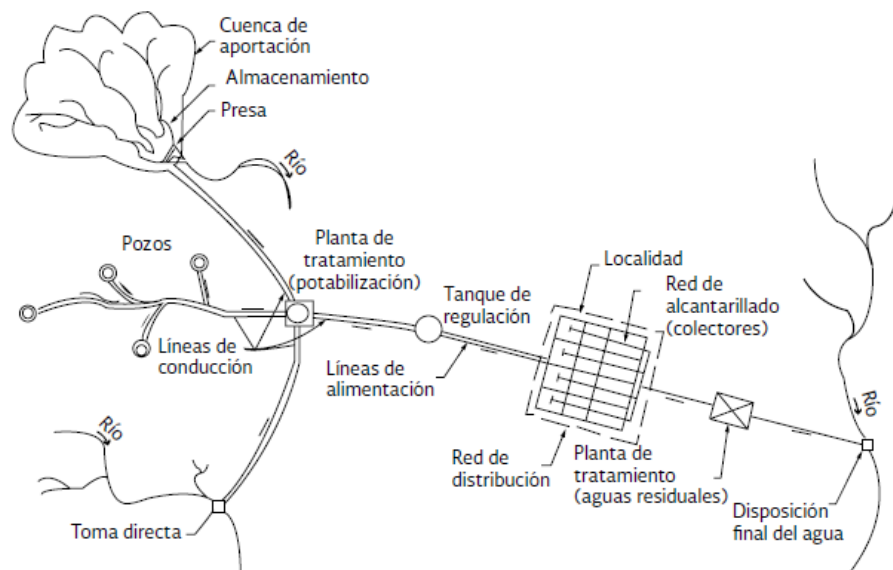


Figura 2. Configuración típica de un sistema de abastecimiento de agua
Extraído de (Comisión Nacional del Agua, 2007)

Las obras de captación son las obras civiles y equipos electromecánicos que se utilizan para reunir y disponer adecuadamente del agua superficial o subterránea. Dichas obras varían de acuerdo con la naturaleza de la fuente de abastecimiento su localización y magnitud (Rodríguez, 2001). Su funcionamiento debe ser ininterrumpido durante todo el año y debe prestar facilidades para su operación y mantenimiento.

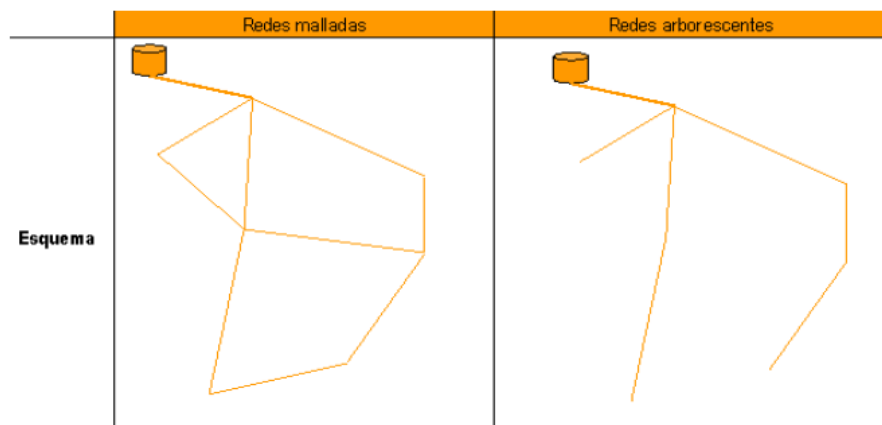
Se llama línea de conducción al conjunto integrado por tuberías, estaciones de bombeo y accesorios cuyo objetivo es transportar el agua, procedente de la fuente de abastecimiento, a partir de la obra de captación, hasta el sitio donde se localiza el tanque de regularización, planta potabilizadora o directamente a la red de distribución (Rodríguez, 2001). Pueden existir tres grupos de conducciones dependiendo del nivel topográfico de la fuente de abastecimiento: a gravedad, bombeo o mixta (gravedad y bombeo).

El agua obtenida de la fuente de abastecimiento debe pasar por alguna forma de tratamiento. El tratamiento es una serie de procedimientos para ajustar las características físicas y químicas del agua para que encajen dentro de los parámetros indicados en la legislación correspondiente. Por esto en las estaciones de tratamiento de agua se hace uso de técnicas variadas para obtener agua de calidad para el consumo.

Los reservorios son obras que garantizan el funcionamiento hidráulico del sistema y el mantenimiento de un servicio eficiente en función de las necesidades de agua proyectadas y rendimiento admisible de la fuente.

Una red de distribución es el conjunto de tubos, accesorios y estructuras que conducen el agua desde tanques de servicio o de distribución hasta la toma domiciliaria o hidrantes públicos. Su finalidad es proporcionar agua a los usuarios para consumo doméstico, público, comercial, industrial y para condiciones extraordinarias como extinguir incendio (Comisión Nacional del Agua, 2007).

Dependiendo de su configuración las redes de distribución pueden ser abiertas, cerradas o mixtas como podemos observar en la Figura 3. Para diferenciar los tipos de configuración hay que precisar el término circuito. Un circuito es un conjunto de tubos conectados en forma de polígono, donde el agua que parte de un punto puede volver al mismo después de fluir por la tubería que lo compone.



*Figura 3. Tipos de configuración de redes.
Extraído de (Salvador et al., 2005)*

Por último podemos señalar a las estaciones de bombeo que son un conjunto de estructuras civiles, equipos, tuberías y accesorios, que toman el agua directa o indirectamente de la fuente de abastecimiento y la impulsan a un reservorio de almacenamiento o directamente a la red de distribución.

2.3.2. Métodos de distribución de agua

Anteriormente se indicó que el objetivo de los sistemas de abastecimiento es proveer agua en adecuada cantidad y calidad, pero también es importante suministrar el líquido con una presión enmarcada dentro de la normativa de cada jurisdicción. Para atender esta última necesidad se dispone de varios métodos que dependen de las condiciones topográficas, localización de la fuente de abastecimiento y condiciones socioeconómicas para su aplicación. Existen tres opciones de distribución de agua potable: a gravedad, bombeo directo y bombeo con almacenamiento.

Para la Comisión Nacional del Agua (2007) en la distribución a gravedad el agua de la fuente se conduce hasta un tanque desde el cual fluye por gravedad hacia la población (situación ejemplificada en la Figura 4). De esta forma se mantiene una presión suficiente y prácticamente constante en la red para el servicio a los usuarios. Este es el método más confiable y se debe utilizar siempre que se dispone de cotas de terreno suficientemente altas para la ubicación del tanque, para asegurar así las presiones requeridas en la red. En algunos casos puede ser necesario la inserción de cámaras de pérdida de carga o válvulas reductoras de presión para ajustar las presiones de servicio a lo largo de la red de distribución.

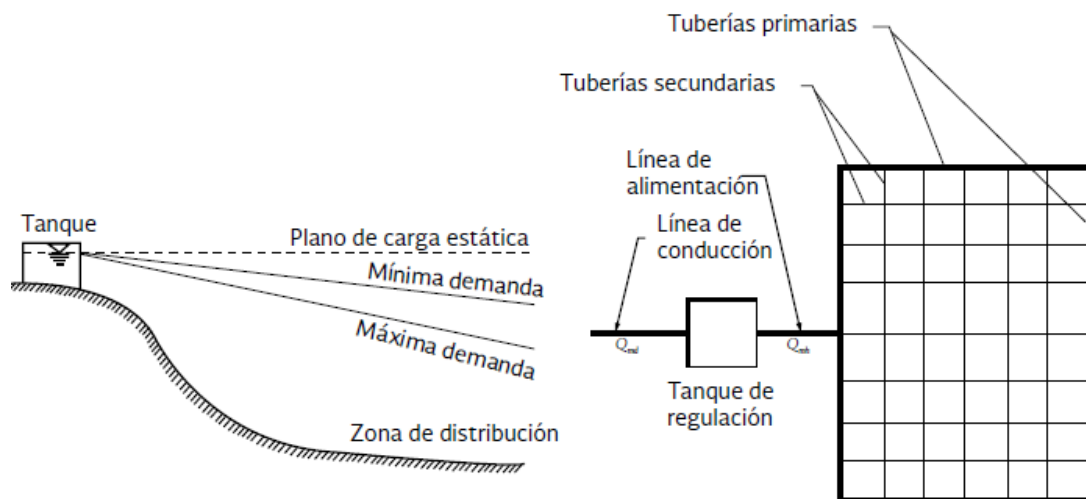


Figura 4. Distribución a gravedad
Extraído de (Comisión Nacional del Agua, 2007)

La alternativa de bombeo directo es el sistema menos deseable, puesto que una falla en el equipo de bombeo significa una interrupción completa del servicio de agua, las bombas abastecen directamente a la red y la línea de alimentación se diseña para el gasto máximo horario en el día de máxima demanda. Por otro lado, los costes operativos también son (generalmente) más elevados debido al consumo de energía.

En el caso que no se pueda realizar una distribución a gravedad la opción recomendada es la de bombeo con almacenamiento, el agua captada es bombeada hacia un tanque de almacenamiento y distribuida a gravedad garantizando presiones adecuadas y equilibrando las variaciones de consumo.

2.4. Estaciones de bombeo

Las estaciones de bombeo son un conjunto de estructuras civiles, equipos, tuberías y accesorios, que toman el agua directa o indirectamente de la fuente de abastecimiento y la impulsan a un reservorio de almacenamiento o directamente a la red de distribución (OPS-COSUDE, 2005). Una estación de bombeo es instalación hidro-electromecánica donde se le imprime al líquido que pasa por ella una cierta cantidad de energía hidráulica suministrada por una máquina hidráulica llamada bomba, la cual se alimenta mecánicamente desde un motor.

2.4.1. Elementos de las estaciones de bombeo

Generalmente las estaciones de bombeo constan de las siguientes partes:

- Rejas
- Cámara de succión
- Las bombas propiamente dichas
- Línea de impulsión
- Servicios auxiliares:
 - ✓ Dispositivos de protección contra el golpe de ariete
 - ✓ Línea de alimentación de energía eléctrica o instalación para almacenamiento de combustible
 - ✓ Sistema de monitoreo y telecomunicaciones

2.4.2. Capacidad de la estación de bombeo

La definición del caudal de bombeo debe efectuarse de acuerdo a las características sistema de abastecimiento y de las reglas de operación previstas para la estación de bombeo. El caudal de bombeo depende de dos factores: el tiempo de bombeo y el tipo de abastecimiento.

2.4.2.1. Tiempo de bombeo

El número de horas de bombeo y el número de arranques en un día, depende del rendimiento de la fuente, el consumo de agua, la disponibilidad de energía y el costo de operación (OPS-COSUDE, 2005). Por motivos económicos y operativos, es conveniente adoptar periodos no muy extensos de bombeo, adoptando las horas de bombeo más convenientes en referencia al servicio de energía eléctrica.

2.4.2.2. Tipos de abastecimiento

Se pueden considerar 2 tipos de abastecimiento:

- Bombeo hacia almacenamiento y posterior distribución, la capacidad de la tubería de succión, equipo de bombeo y tubería de impulsión deben ser calculadas con base en el caudal máximo diario, fluctuación de los consumos y el número de horas de bombeo. Los reservorios de almacenamiento también deberán disponer de una reserva de emergencia para el caso de avería de las estaciones de bombeo (aguas arriba) o para hacer frente a situaciones de incendio.
- Sin reservorio de almacenamiento después de la estación de bombeo, la capacidad del sistema de bombeo debe ser calculada en base al caudal máximo instantáneo/horario.

2.5. Bombas Hidráulicas

La bomba hidráulica es un mecanismo que transforma energía mecánica en hidráulica. Las bombas son dispositivos que se encargan de transferir energía a la corriente del fluido impulsándolo, desde un estado de baja presión estática a otro de mayor presión.

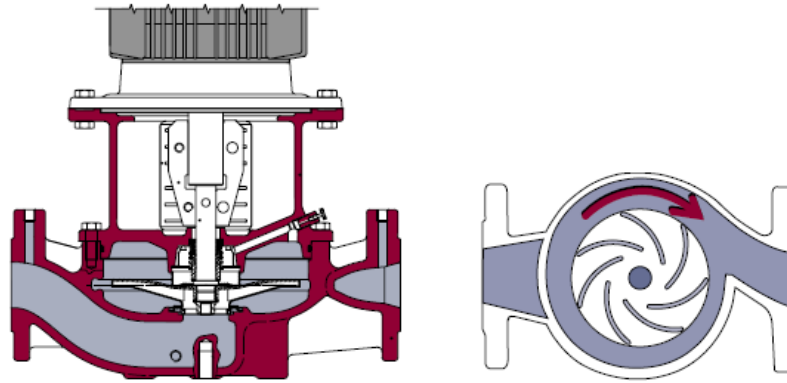
Es importante destacar que una bomba produce movimiento del líquido, las bombas no generan presión. Se genera el caudal necesario para el desarrollo de la presión en el sistema, la cual es realmente resultado de la resistencia al flujo. Por ejemplo, la presión de un fluido a la salida de la bomba es nula si ésta no está conectada a un sistema o carga. De igual manera, si una bomba está entregando caudal a un sistema, la presión solo llegará al nivel necesario para vencer la resistencia de la carga aplicada al mismo (Solórzano, 2018).

2.5.1. Bombas Centrífugas

En la industria existen un sinnúmero de tipos de bombas de características muy variadas, en el sector del agua potable las de mayor utilización son de tipo centrífuga por lo que en el presente documento se enfatizará el estudio de este tipo de bombas.

En 1689, el físico Denis Papin inventó la bomba centrífuga. Hoy en día este tipo de bomba es el más utilizado en todo el mundo. Algunos autores como indican que la bomba centrífuga está basada en un principio muy simple: el líquido se dirige al centro del impulsor y por medio de la fuerza centrífuga se arroja hacia la periferia de los impulsores. Su construcción es razonablemente económica, robusta y simple, y su alta velocidad hace que sea posible conectar la bomba directamente a un motor asíncrono. La bomba centrífuga proporciona un caudal constante de líquido y se puede regular fácilmente sin producir daños a la bomba (INDUSTRY, 2013).

El funcionamiento de la bomba consiste en el ingreso del líquido por medio de la entrada de la bomba hacia al centro del impulsor giratorio y desde allí se lanza hacia los extremos como se observa en la Figura 5. Las bombas que deben manejar líquidos impuros, como las bombas para aguas residuales, incorporan un impulsor construido especialmente para evitar que los objetos queden atascados dentro de la bomba.



*Figura 5. Líquido a través de la bomba
Extraído de (INDUSTRY, 2013)*

2.5.2. Clasificación de Bombas centrífugas

Las bombas centrífugas se dividen en tres grandes grupos: Bombas de caudal radial, bombas de caudal mixto y bombas axiales. Las bombas de caudal radial y las bombas de caudal mixto son los tipos que se utilizan con mayor frecuencia.

De igual manera, las distintas exigencias de rendimiento de una bomba centrífuga, especialmente en lo que se refiere a altura, caudal e instalación, junto con la exigencia de un funcionamiento económico, son solo algunos de los motivos por los que existen diversidad de tipos de bomba (INDUSTRY, 2013). En la Figura 6 podemos observar distintos tipos de bombas respecto a caudal y presión.

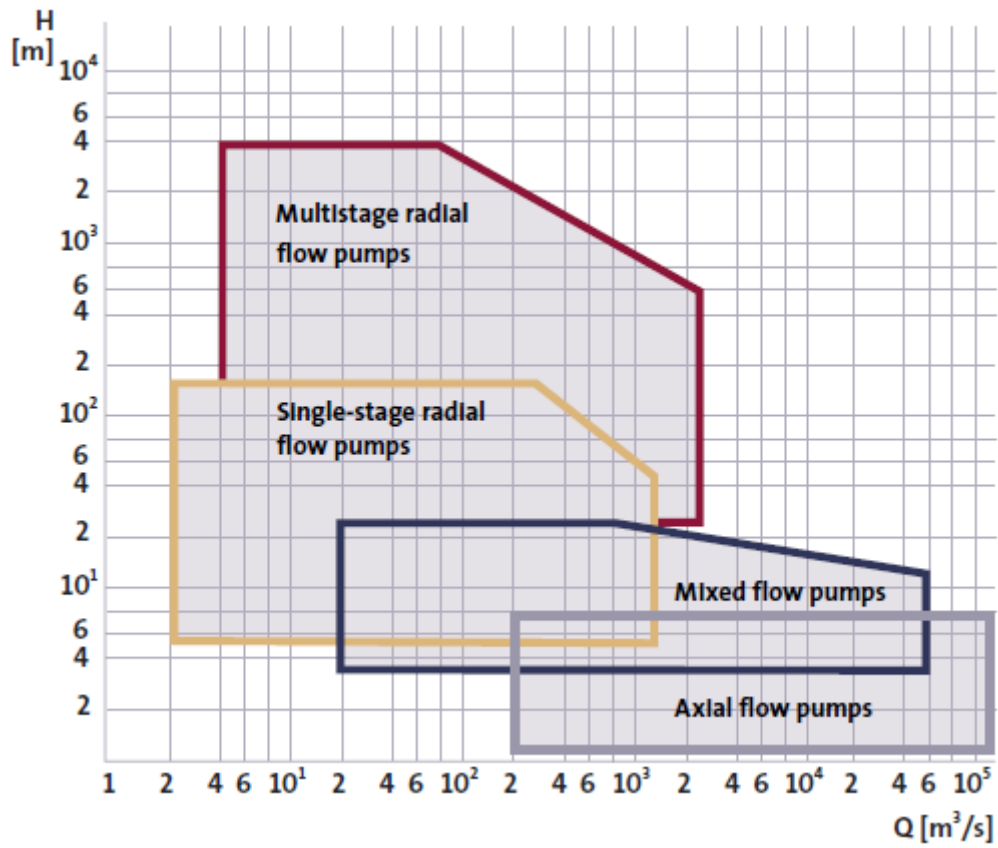






Figura 6. Caudal y altura para distintos tipos de bombas centrífugas
 Extraído de (INDUSTRY, 2013)

Además de los tres grandes grupos identificados anteriormente podemos clasificar a las bombas centrífugas por otras características como se indica en la Tabla 4.

Tabla 4. Clasificación de Bombas Centrífugas
Fuente: (SIAPA, 2014). Elaboración Propia

CLASIFICACIÓN POR EL TIPO DE SUCCIÓN	SIMPLE SUCCIÓN	
	DOBLE SUCCIÓN	
CLASIFICACIÓN POR DIRECCIÓN DE FUJO	BOMBAS DE FLUJO RADIAL	
	BOMBAS DE FLUJO AXIAL	
	BOMBAS DE FLUJO MIXTO	
CLASIFICACIÓN POR LA POSICIÓN DE SU FLECHA	BOMBAS HORIZONTALES	
	BOMBAS VERTICALES	
	BOMBAS SUMERGIBLES	

2.5.3. Generalidades relacionadas al estudio de las bombas

Para poder estudiar el funcionamiento de un sistema de bombeo es necesario entender algunos conceptos, OPS-COSUDE (2005) los define de la siguiente manera:

Caudal de bombeo (Q_b)

Volumen de líquido por unidad de tiempo, normalmente expresado en metros cúbicos por segundo (m^3/s), metros cúbicos por hora (m^3/h) o también en litros por segundo (l/s).

Carga dinámica o altura manométrica total (H_b)

La altura dinámica puede ser definida como el incremento total de la carga del flujo a través de la bomba. Es la suma de la carga de succión más la carga de impulsión:

$$H_b = H_s + H_i$$

Donde:

H_b = Altura dinámica, m.

H_s = Carga de succión, m.

H_i = Carga de impulsión, m.

Carga de succión (H_s)

Viene dado por la diferencia de elevación entre el eje de la bomba y el nivel mínimo del agua en la fuente o captación, afectado por la pérdida de carga en el lado de la succión.

$$H_s = h_s + \Delta h_s$$

Donde:

h_s = Altura de succión, es la altura del eje de la bomba sobre el nivel inferior del agua, m.

Δh_s = Pérdida de carga en las succión, m.

Debe considerarse que la carga de succión está limitada por la carga neta de succión positiva (NPSH), además, que debe existir un sumergimiento mínimo de la tubería de succión en el agua.

Carga neta de succión positiva (NPSH)

La carga neta de succión positiva es la diferencia entre la presión existente a la entrada de la bomba y la presión del vapor del líquido que se bombea. Esta diferencia es la necesaria para evitar la cavitación. En el diseño de bombas destacan dos valores de NPSH, el NPSH disponible y el NPSH requerido. El NPSH requerido está en función del diseño de fábrica de la bomba, su valor, determinado experimentalmente, es proporcionado por el fabricante. El NPSH requerido corresponde a la carga mínima que necesita la bomba para mantener un funcionamiento estable. El NPSH disponible está en función del sistema de succión de la bomba y se calcula en metros de agua.

$$NPHS \text{ disponible} = H_{atm} - (H_{vap} + h_s + \Delta H_s)$$

Donde:

NPSH disponible = Carga neta de succión positiva disponible, m.

H_{atm} = Presión atmosférica, m.

H_{vap} = Presión de vapor, m.

h_s = Altura estática de succión, m.

ΔH_s = Pérdida de carga por fricción de accesorios y tubería, m.

Para evitar el riesgo de la cavitación por presión de succión, se debe cumplir que:

$$NPHS \text{ disponible} > NPHS \text{ requerido}$$

Carga de impulsión (Hi)

Está dada por la diferencia de elevación entre el nivel máximo de las aguas en el sitio de llegada y el eje de las bombas más la pérdida de carga del lado de la tubería de impulsión:

$$H_i = h_i + \Delta h_i$$

Donde:

h_i = Altura de impulsión, es la altura del nivel superior en relación al eje de la bomba, m.

Δh_i = Pérdida de carga en la tubería de impulsión, m.

2.5.4. Curvas características de las bombas

Las curvas de funcionamiento o curvas características, nos señalan gráficamente la dependencia entre caudal y la altura, rendimiento, *NPSH*, potencia absorbida en el eje de la bomba, etc. Indican el comportamiento en condiciones de servicio diverso y son imprescindibles para la elección apropiada de una bomba. La dependencia entre los anteriores valores, se obtienen en el banco de ensayos mediante toma de datos con diferentes grados de apertura en la válvula de regulación situada en la tubería de impulsión y registradas en un sistema de coordenadas rectangulares (BOMBAS IDEAL, 2014). Se tienen las siguientes curvas tipo:

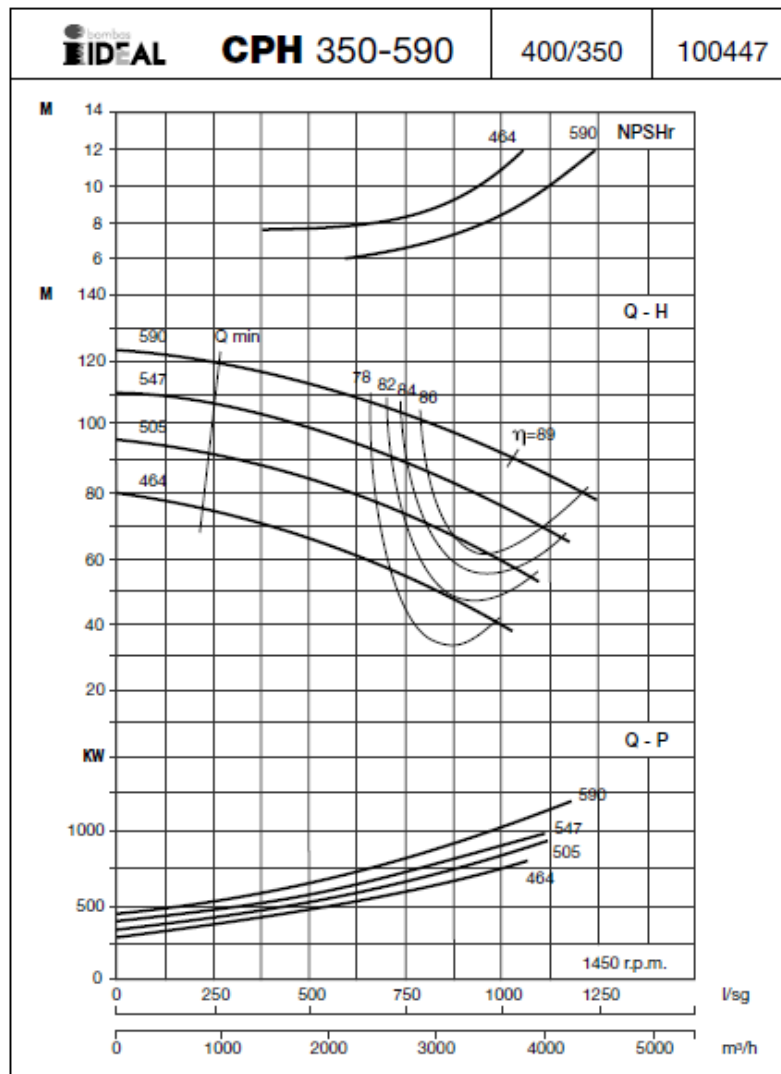


Figura 7. Curvas características de una bomba centrífuga.
Extraído de (BOMBAS IDEAL, 2014)

- de estrangulamiento que relaciona el caudal con la altura total para diferentes diámetros de rotor (Figura 7, Q-H) ;

- b) de rendimiento del conjunto motor-bomba, que son representadas como curvas de nivel sobrepuestas a las curvas de estrangulamiento (Figura 7, η);
- c) de NPSH (Net Positive Suction Head) requerido (Figura 7, NPSHr);
- d) de potencia absorbida por en el eje de la bomba (Figura 7, Q-P)

Todos los puntos situados sobre una de estas parábolas son puntos semejantes obtenidos a base de modificar la velocidad de accionamiento y por tanto tienen el mismo rendimiento. Debido a esto, a estas parábolas se las denomina también curvas de isorrendimiento. En las proximidades al origen de coordenadas la formulación teórica planteada anteriormente pierde validez y se separa de la realidad, obtenida mediante ensayos a diferentes velocidades y representada más fielmente por las colinas de isorrendimiento. No obstante, aprovechándonos de lo que nos enseña la ley de semejanza de Newton y partiendo de una curva característica Q-H conocida, podremos fácilmente determinar con bastante aproximación distintas curvas características a otras velocidades de funcionamiento.

2.5.5. Curva característica del sistema

Con la información obtenida en la etapa de levantamiento de datos se elaborará la curva característica del sistema, la cual representará la altura de la carga total que deben vencer las bombas funcionando a los diversos caudales del proyecto. La curva del sistema es la representación gráfica de la suma de la altura estática, las pérdidas por fricción y las pérdidas singulares del sistema con respecto al caudal (OPS-COSUDE, 2005).

2.5.6. Definición del punto de operación

La intersección de la curva característica Q-H de la bomba con la correspondiente a la característica resistente del sistema (ver Figura 8) nos dará el punto de funcionamiento buscado (BOMBAS IDEAL, 2014). Cabe señalar que este punto de funcionamiento es variable, pues depende de factores como variación del nivel de agua del pozo de succión y pérdidas de carga agravadas por el envejecimiento de la tubería que incurren en variaciones de la altura manométrica total. Por eso, el análisis de la operación se hace mediante la utilización de una familia de curvas del sistema de bombeo.

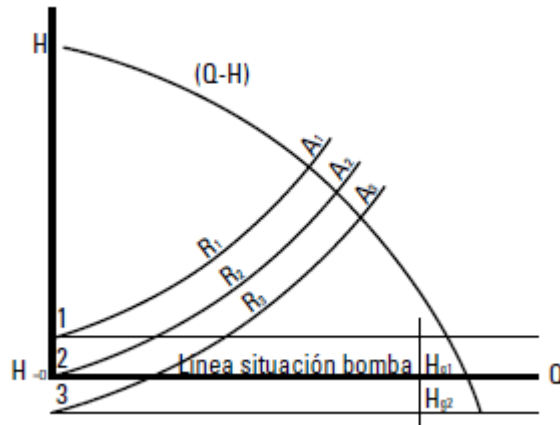


Figura 8. Punto de funcionamiento de una bomba centrífuga
Extraído de (BOMBAS IDEAL, 2014)

En los sistemas con bombas en paralelo o serie, el punto de funcionamiento también es definido por la intersección de las curvas, solo que utilizando la familia de curvas del sistema, para diferentes situaciones, y la curva del sistema de bombeo empleado (paralelo o serie).

2.5.7. Asociación de bombas centrífugas

2.5.7.1. Bombas acopladas en paralelo

Las bombas conectadas en paralelo se utilizan frecuentemente cuando (INDUSTRY, 2013):

- El caudal requerido es superior al que puede suministrar una bomba simple.
- El sistema tiene requisitos de caudal variable, y estos requisitos se consiguen encendiendo y apagando las bombas conectadas en paralelo.

Normalmente, las bombas conectadas en paralelo son del mismo tamaño y tipo. Sin embargo, las bombas pueden ser de distinto tamaño, o una o varias bombas pueden ser de velocidad controlada y por tanto tener distintas curvas de rendimiento.

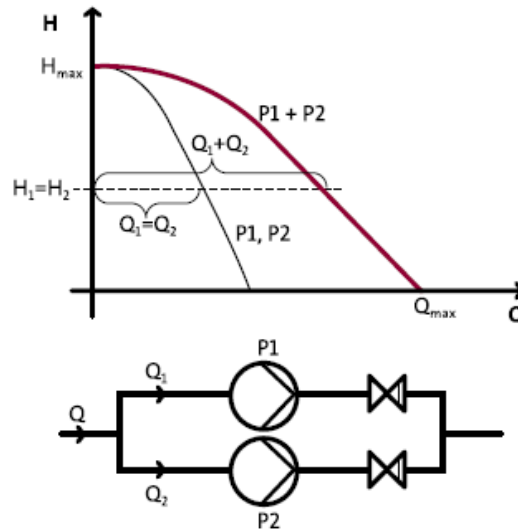


Figura 9. Asociación de 2 bombas en paralelo
Extraído de (INDUSTRY, 2013)

En la Figura 9 se puede observar un sistema con dos bombas idénticas conectadas en paralelo. La curva de rendimiento total del sistema se determina sumando Q_1 y Q_2 para cada valor de altura, que es el mismo valor para las dos bombas, $H_1=H_2$. Debido a que las bombas son idénticas, la curva de la bomba resultante tiene la misma altura máxima H_{max} pero el caudal máximo Q_{max} es el doble. Para cada valor de altura, el caudal es el doble que para una bomba simple en funcionamiento: $Q = Q_1 + Q_2 = 2 Q_1 = 2 Q_2$.

2.5.7.2. Bombas acopladas en serie

Normalmente, se utilizan bombas conectadas en serie en sistemas en los que se requiere alta presión (INDUSTRY, 2013). La Figura 10 muestra la curva de rendimiento de dos bombas similares conectadas en serie. La curva de rendimiento resultante se construye marcando la altura doble para cada valor de caudal en el sistema de coordenadas. Esto da como resultado una curva con altura máxima doble ($2 \cdot H_{max}$) y el mismo caudal máximo (Q_{max}) que cada una de las bombas simples.

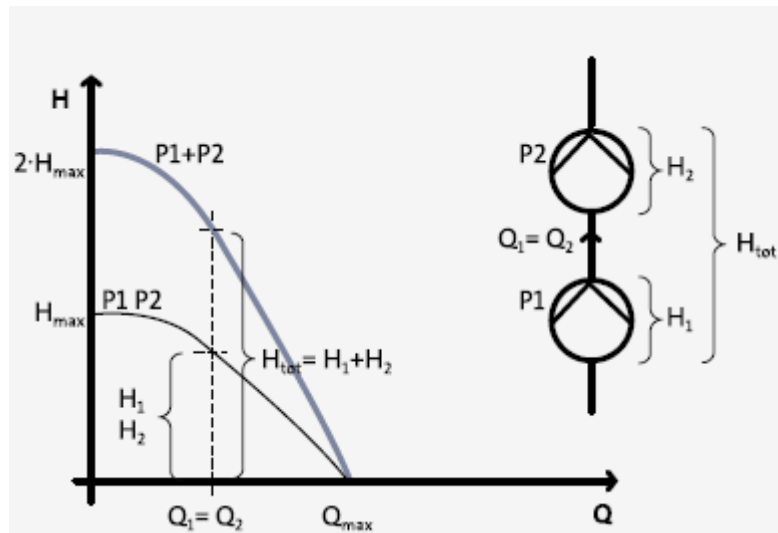


Figura 10. Asociación de 2 bombas en serie
Extraído de (INDUSTRY, 2013)

2.5.8. Leyes de semejanza en bombas

De la aplicación del "teorema II" (base del análisis dimensional) a las grandezas involucradas en la mecánica de los fluidos y en el estudio de las máquinas hidráulicas, se llega a las relaciones que interesan especialmente en el estudio de eficiencia de las bombas centrífugas, a las que se las suele denominar "leyes de semejanza". Ellas reflejan la variación de las características (caudal, altura manométrica y potencia) cuando otras magnitudes varían (rotación, diámetro del rotor, peso específico del líquido bombeado, viscosidad, etc.) (ELETROBRÁS, 2005).

Variación con la rotación:

$$Q1 = \frac{n1}{n} * Q$$

$$H1 = \left(\frac{n1}{n}\right)^2 \times H$$

$$P1 = \left(\frac{n1}{n}\right)^3 \times P$$

Variación con el diámetro del rotor:

$$Q1 = \frac{d1}{d} \times Q$$

$$H1 = \left(\frac{d1}{d}\right)^2 \times H$$

$$P1 = \left(\frac{d1}{d}\right)^3 \times P$$

Donde:

Q = Caudal

H = Altura manométrica

P = Potencia

n = Velocidad de rotación

En las siguientes relaciones, el índice "1" representa las condiciones después de la modificación del parámetro (rotación o diámetro del rotor).

2.6. Eficiencia energética en sistemas de abastecimiento de agua

Actualmente el Consejo Nacional de Electricidad (2013) define a la eficiencia energética como el consumo inteligente de la energía, es decir, atender una necesidad con la menor cantidad de energía. Las fuentes de energía son finitas y la demanda es creciente, por lo tanto, su correcta utilización se presenta como una necesidad vista hacia el futuro.

La eficiencia energética en los sistemas de abastecimiento de agua que poseen equipos de bombeo en Ecuador es un tema poco tratado. Existe muy poco monitoreo de consumos energéticos por m³ de agua, pero todavía este indicador es insuficiente cuando se pretenden evaluar las eficiencias. La magnitud de las ineficiencias es en general desconocida por ausencia de una cultura de registro e interpretación de datos y por falta de instrumentación adecuada para medir los parámetros de funcionamiento del bombeo.

Para lograr una acertada gestión de un sistema de abastecimiento de agua es importante conocer su funcionamiento real y tener una idea lo más cercana a la realidad de lo eficiente que es el sistema desde el aspecto energético. La eficiencia desde el punto de vista energético de un sistema se concreta en el que utiliza la mínima energía necesaria para su funcionamiento dentro de los parámetros exigidos.

Los sistemas de bombeo se diseñan para operar en determinados puntos de funcionamiento definidos por el proyectista, en base a los datos aportados por el fabricante. Sin embargo, la realidad hace que el sistema de bombeo tenga que funcionar adaptándose a los caudales y presiones demandados. En muchos casos, estos puntos de funcionamiento distan de los de diseño por cambio en la demanda, estrategia de regulación y control, adaptaciones y modificaciones en la estación de bombeo y en la red de abastecimiento, etc.

2.6.1. Balance hídrico

Una herramienta importante para evaluar las pérdidas de agua en un sistema de abastecimiento es el balance hídrico. Conceptos de gestión utilizados para evaluar las pérdidas de agua están basados en los términos impartidos por la IWA (Internacional Water Association), en el que se contempla todos los elementos de un abastecimiento típico desde la captación de agua hasta el consumo final por parte de los usuarios (ver Tabla 5). Este balance es bien recibido por agencias internacionales y entes reguladores para el cálculo de pérdidas.

De acuerdo a Martínez Alzamora et al., (2007) el balance hídrico más sencillo puede ser definido conociendo tan solo los datos del volumen inyectado y del volumen registrado en los contadores de los clientes, lo cual permitiría conocer el porcentaje de agua registrada. A medida que se cuenta con datos adicionales como los volúmenes controlados utilizados en el riego de jardines o la limpieza de calles, o los volúmenes incontrolados debidos a tomas ilegales o a errores de medición, se puede llegar a definir un balance hídrico más completo que incluya todos los términos descritos anteriormente.

Tabla 5. Componentes del balance hídrico.
Fuente: (Lambert & Hirner, W, 2000).Elaboración propia

A	B	C	D	E	
VOLÚMEN DISTRIBUIDO AL SISTEMA	CONSUMOS AUTORIZADOS	CONSUMOS AUTORIZADOS FACTURADOS	CONSUMOS FACTURADOS MEDIDOS (m3/año)	AGUA FACTURADA	
		(m3/año)	CONSUMOS FACTURADOS NO MEDIDOS (m3/año)		(m3/año)
	(m3/año)	CONSUMOS AUTORIZADOS NO FACTURADOS	CONSUMOS NO FACTURADOS MEDIDOS (m3/año)	AGUA NO FACTURADA	
	(m3/año)	(m3/año)	CONSUMOS NO FACTURADOS NO MEDIDOS (m3/año)		
	PÉRDIDAS DE AGUA	PÉRDIDAS APARENTES	(m3/año)		CONSUMOS NO AUTORIZADOS (m3/año)
			(m3/año)		ERRORES DE MEDICIÓN EN MICROMEDIDORES (m3/año)
		PERDIDAS REALES	(m3/año)		FUGAS EN LÍNEAS DE TRANSMISIÓN O LÍNEAS (m3/año)
	(m3/año)		FUGAS Y DESBORDE EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO (m3/año)		(m3/año)
	(m3/año)		PÉRDIDAS EN CONEXIONES ANTES DEL MICROMEDIDOR (m3/año)		
	(m3/año)				

Los pasos para calcular los componentes del balance hídrico según son los siguientes:

Paso 1: Determine el volumen de entrada de agua al sistema e introducirlo en la columna A.

Paso 2: Defina el consumo medido facturado y el consumo no medido facturado en la columna D; ingresar el total en consumo autorizado facturado (Columna C) y agua de ingresos (Columna E).

Paso 3: Calcule el volumen de agua no contabilizada (columna E) como volumen de entrada del sistema (columna A) menos ingresos Agua (Columna E).

Paso 4: Defina el consumo medido no facturado y el consumo no medido no facturado en la columna D; transfiera el valor total a al consumo autorizado no facturado en Columna C.

Paso 5: Agregue volúmenes de Consumo Autorizado Facturado y Consumo Autorizado No Facturado en la Columna C; ingresar la suma como consumo autorizado (parte superior de Columna B).

Paso 6: Calcule las pérdidas de agua (Columna B) como la diferencia entre el volumen de entrada del sistema (Columna A) y el consumo autorizado (Columna B).

Paso 7: Evaluar los componentes del consumo no autorizado y las imprecisiones de medición (Columna D) por los mejores medios disponibles, agréguelos e ingrese la suma en pérdidas aparentes (Columna C).

Paso 8: Calcule las pérdidas reales (Columna C) como pérdidas de agua (Columna B) menos las pérdidas aparentes (Columna C).

Paso 9: Evaluar los componentes de las pérdidas reales (Columna D) por los mejores medios disponibles (análisis de flujo nocturno, ráfaga cálculos de frecuencia / caudal / duración, modelado, etc.), agréguelos y coteje con el volumen de pérdidas reales en la columna C, que se deriva del Paso 8.

2.6.2. Eficiencia hidráulica

La eficiencia hidráulica de acuerdo a Watergy México A.C (2012) se define como la relación entre la capacidad de captación, conducción y distribución del agua con la que cuenta un sistema hidráulico de abastecimiento urbano, y la capacidad real con la que funciona dicho sistema. No hay un indicador específico para determinar el valor de la eficiencia hidráulica; sin embargo se puede evaluar a través de dos métodos: por medio de indicadores generales y por medio de una metodología para determinar el Balance Volumétrico.

2.6.2.1. Por medio de indicadores generales

Dotación (l/hab/día)

De acuerdo al EX-IEOS (1992) la dotación se refiere a la producción de agua para satisfacer las necesidades de la población y otros requerimientos, se fijará en base a estudios de las condiciones particulares de cada población, considerando:

- Las condiciones climáticas del sitio;

- Las dotaciones fijadas para los distintos sectores de la ciudad, considerando las necesidades de los distintos servicios públicos;
- Las necesidades de agua potable para la industria;
- Los volúmenes para la protección contra incendios;
- Las dotaciones para lavado de mercados, camales, plazas, calles, piletas, etc.;
- Las dotaciones para riego de jardines;
- Otras necesidades, incluyendo aquellas destinadas a la limpieza de sistemas de alcantarillado, etc.

Consumo unitario de los usuarios (l/hab/día)

El consumo unitario es la cantidad de agua asignada a cada habitante, considerando todos los consumos de los servicios y las pérdidas en la red, en un día medio anual; sus unidades están dadas en l/hab/día. La dotación se obtiene a partir de un estudio de Balance de Agua, dividiendo la suma del consumo total, que incluye servicio doméstico, comercial, industrial y de servicios públicos, más las pérdidas de agua, entre el número de habitantes de la localidad (Watergy México A.C., 2012). Puede calcularse mediante la siguiente ecuación:

$$Cu = \frac{Vol_{sc}}{np \times 365}$$

Donde:

Vol_{sc} = Volumen suministrado al sistema en un año (m^3).

Cu = Consumo Unitario (l/hab/día).

np = Número de habitantes servidos de la localidad.

Continuidad del servicio de agua (horas/día)

El valor representativo de continuidad del servicio de agua en una red de distribución de agua potable de acuerdo a Watergy México A.C (2012) se determina mediante un promedio ponderado de las horas que se proporciona en las diversas zonas de servicio de la localidad, mediante la siguiente ecuación:

$$hr_{servicio} = \frac{\sum_{i=1}^{nz} \%Z, i \times hr_{servicio, i}}{24}$$

Donde:

$hr_{servicio}$ = Horas promedio de continuidad del servicio de agua de un sistema de agua potable.

$\%_{z,i}$ = Porcentaje de cobertura de red o tomas domiciliarias de una zona de servicio de la red.

$hr_{servicio, i}$ = Horas de continuidad del servicio de agua potable de una zona de servicio de la red.

i = Zona de servicio.

nz = Número total de zonas de servicio de agua potable en una red.

Eficiencia de Potabilización de agua cruda (%)

Permite establecer el porcentaje de volumen de agua cruda captada desde cuerpos superficiales y/o subterráneos que se distribuye desde el tratamiento a la red de agua potable, durante el periodo de evaluación (SENAGUA, 2016).

$$EPAC = \frac{VTD}{VTC} \times 100$$

Donde:

VTD: Volumen de agua tratada (que requiere un proceso mínimo de tratamiento, ej.: desinfección con cloro) distribuida a la red, desde los sistemas de tratamiento operados por el prestador. (m^3)

VTC: Volumen total de agua captada (superficial y/o subterránea) y/o importada (cruda) para el sistema de abastecimiento de agua potable durante el periodo informado. (m^3)

Agua potable no contabilizada en la red (%)

Permite establecer el porcentaje de volumen de agua tratada que se pierde desde que ésta sale a la red de distribución del sistema hasta que llega a los consumidores del servicio y se factura, durante el periodo de evaluación (SENAGUA, 2016).

$$ANC = \frac{(VTD - VTF)}{VTD} \times 100$$

Donde:

VTD: Volumen de agua tratada (que requiere un proceso mínimo de tratamiento, ej.: desinfección con cloro) distribuida a la red, desde los sistemas de tratamiento operados por el prestador. (m^3)

VTF: Volumen total facturado de agua (medido, estimado y facturado a otros prestadores) en el período reportado. (m^3)

Eficiencia de la capacidad de almacenamiento de agua potable según la norma vigente (%)

Permite determinar la capacidad de almacenamiento en el sistema de agua potable en términos de cumplimiento de la norma que reglamenta el volumen que se debe utilizar de acuerdo a la población atendida por el prestador, durante el periodo de evaluación (SENAGUA, 2016).

$$ECA = \frac{AAP}{AAP_{INEN}} \times 100$$

Donde:

AAP: Sumatoria de los volúmenes de los tanques de almacenamiento o de reserva de todo el sistema de distribución de agua potable. (m³)

AAP_{INEN}: Volumen total de almacenamiento o de reservas de agua potable exigido por la norma para toda la jurisdicción del prestador del servicio de agua potable (Norma EX-IEOS,1992). (m³)

Volumen de agua potabilizada por conexión (m³/#conexiones)

Permite determinar el volumen promedio de agua consumida por conexión residencial (doméstica) del servicio agua potable durante el periodo de evaluación (SENAGUA, 2016).

$$VAPC = \frac{VTD}{NC_{AP}}$$

Donde:

VTD: Volumen de agua tratada (que requiere un proceso mínimo de tratamiento, ej.: desinfección con cloro) distribuida a la red, desde los sistemas de tratamiento operados por el prestador. (m³)

NC_{AP}: Total de conexiones de agua potable dentro del Área de Cobertura del Servicio en el período reportado. (# Conexiones)

Déficit entre el caudal de agua disponible en la red y el caudal de agua requerido por los usuarios (+/- %)

Por diversas razones, tales como la ubicación de las captaciones del sistema de abastecimiento, la capacidad hidráulica de la infraestructura de conducción, distribución y regularización, la topografía de la localidad, el crecimiento de la mancha urbana, etc., la

disponibilidad del agua potable ofertada por el sistema hidráulico es diferente al agua requerida por los usuarios. Este problema trae como consecuencia una ineficiencia hidráulica en la distribución en la red, lo cual se traduce en problemas de escasez, disminución de presiones y discontinuidad en el servicio de agua a los usuarios. El déficit entre el caudal de agua disponible en la red y el caudal de agua requerido por los usuarios, se determina mediante la siguiente ecuación (Watergy México A.C., 2012):

$$Def_{sar} = \sum_{i=1}^{nzs} \%Z_{,i} \left[\frac{Q_{s,i} - Q_{req,i}}{Q_{ts}} \right]$$

Donde:

Def_{sar} = Déficit promedio en el caudal de agua disponible en la red y el caudal de agua requerido por los usuarios ($\pm \%$).

$Q_{s,i}$ = Caudal de agua suministrado a la red de una zona de servicio, i (l/s).

$Q_{req,i}$ = Caudal requerido por los usuarios en una zona de servicio, i (l/s).

Q_{ts} = Caudal total suministrado a toda la red de distribución (l/s).

$\%Z_{,i}$ = Porcentaje que representa una zona de servicio i, de la suma total de las zonas de servicio.

nzs = Número de zonas de servicio.

El valor resultante es negativo si existe un déficit de suministro de agua en general en la red, y es positivo si en el sistema hay un superávit.

2.6.2.2. Por medio de una metodología para determinar el Balance Volumétrico

Los indicadores generales son parámetros que permiten hacer una evaluación rápida de la eficiencia con la que el organismo operador entrega el servicio de agua. La segunda forma de evaluación es complementaria a la primera por medio de una metodología más detallada que permite realizar un diagnóstico más preciso de la eficiencia con la que funciona el sistema de agua potable, desde la fuente hasta la entrega final al usuario, dando como resultado final de dicha eficiencia el balance volumétrico, que es la relación espacial de la entrega de agua con la población a la que se sirve.

El balance volumétrico es una herramienta que presenta las características de demanda, suministro y tipo de distribución de un sistema de agua potable en un esquema numérico sencillo y que facilita su visualización. El principal objetivo de este balance volumétrico es evaluar el desequilibrio entre el gasto disponible y el consumo demandado por la población que existe en zonas de servicio bien delimitadas, tomando en cuenta características específicas de cada una como dotación, presencia de grandes consumidores, tipo de distribución, entre otras (Watergy México A.C., 2012).

El balance volumétrico se evalúa en las condiciones más desfavorables de la operación normal, las cuales se presentan durante los días más calurosos del año en las horas de máxima demanda.

El caudal medio anual diario requerido por los usuarios se determina fijando la dotación que debería existir en el sistema de abastecimiento en condiciones de plena satisfacción de los usuarios, Arocha (1977) afirma que es el consumo continuo durante 24 horas obtenido como promedio de los consumos diarios en un periodo de un año, expresado en litros por segundo. Se lo calcula aplicando la siguiente ecuación:

$$Q_{med,req} = \frac{Dot_{req} \times n_{serv}}{86400}$$

Donde:

$Q_{med,req}$ = Gasto medio anual diario requerido actual (l/s).

Dot_{req} = Dotación actual requerida para satisfacer adecuadamente a los usuarios (l/hab/día).

n_{serv} = Número de habitantes servidos en el sistema de agua potable.

El gasto máximo requerido depende del tipo de distribución, de tal manera que para situaciones con suministro directo a la red o con tanques de regulación se calcula de acuerdo a las siguientes expresiones:

$$Q_{req,directo} = Q_{med} \times CVMD \times CVMH$$

$$Q_{req,regulado} = Q_{med} \times CVMD$$

Donde:

Q_{med} = Gasto medio (l/s).

Q_{req} = Gasto requerido (l/s).

CVMD = Coeficiente de variación máxima diaria.

CVMH = Coeficiente de variación máxima horaria.

La diferencia se calculará restando al gasto disponible el gasto máximo requerido, cuyo valor es el déficit o superávit en la zona en cuestión.

2.6.2.3. Capacidad de regulación

La capacidad de los tanques de regulación queda definida por las necesidades de consumo de las localidades por servir. En localidades urbanas grandes y principalmente las ciudades de gran importancia comercial, industrial y turística, se deberá hacer un estudio adecuado que tome en cuenta, además de la capacidad de regulación, un volumen de reserva para cubrir demandas contra incendio, interrupciones frecuentes de energía eléctrica demandas extraordinarias que se presenten durante la época de máxima concentración de población flotante (Comisión Nacional del Agua, 2007).

2.6.3. Eficiencia energética en los sistemas de bombeo

Un sistema de abastecimiento de agua y saneamiento se compone de etapas que se resumen en: Captación, Acondicionamiento, Conducción, Distribución, y Saneamiento y Manejo de agua pluvial.

Estas etapas se llevan a cabo mediante actividades que incluyen consumo de energía, dependiendo del tipo de acción que se realice. En la Tabla 6 se indica las etapas, el tipo de operación que se realiza, los elementos o sistemas de consumo de energía y el impacto típico que representa el consumo de energía de cada tipo de operación respecto al consumo total de energía del sistema de abastecimiento de agua potable. Sin embargo, pueden existir diferencias entre sistemas, dadas las características específicas de cada sistema (especialmente en lo que se refiere al relieve).

Tabla 6. Impacto estimado de consumo global de energía en etapas de un Sistema de Abastecimiento y Saneamiento
 Extraído de (Watergy México A.C., 2012)

Etapa	Nombre de la Operación	Descripción de la operación	Sistemas de consumo de energía más utilizados	Impacto Estimado sobre el consumo global de ENERGÍA (%)
Captación	Extracción de Pozo profundo	Extraer el agua a la superficie bombeando el agua cruda desde el nivel dinámico de un pozo profundo	Sistemas de bombeo de pozo profundo sumergibles o de turbina de flecha	30-60
	Captación de fuente superficial	Captar el agua cruda de una toma de río, manantial u otra fuente superficial y bombearla a la planta potabilizadora	Sistemas de bombeo centrífugos horizontales o verticales	0-10
Acondicionamiento	Desinfección	Implica la dosificación de cloro o algún otro proceso como la ozonación para lograr los niveles de desinfección requeridos por las Normas Locales	Bombas de dosificación tipo pistón	1-2
	Potabilización	Implica el procesamiento del agua cruda en una Planta de tratamiento primario o secundario	Sistemas de bombeo, ventiladores, agitadores, sopladores centrífugos	5-10
Conducción	Envío del agua potable a la red de distribución	Bombeo del agua potable de las plantas potabilizadoras a tanques de regularización o directamente a la red	Sistemas de bombeo sumergibles o de turbina de flecha. Sistemas de bombeo centrífugos horizontales o verticales	0 - 40
Distribución	Almacenamiento	Implica la operación y el mantenimiento de los tanques y cárcamos de almacenamiento incluidos en el sistema	No aplica	NA
	Rebombeo	Bombeo a zonas de mayor altura desde los tanques de regularización, cárcamos de almacenamiento o directamente de la red	Sistemas de bombeo centrífugos horizontales o verticales	5-35
Saneamiento y manejo de agua pluvial	Captación de Aguas Residuales y pluviales	Mantenimiento y operación del sistema de alcantarillado y recolección de aguas servidas	Motores de combustión interna	NA
	Almacenamiento de aguas residuales y/o pluviales	Mantenimiento y operación de los cárcamos de bombeo de agua residual	No aplica	
	Conducción de Aguas Negras y/o pluviales	Bombeo de las aguas residuales desde los cárcamos hasta las plantas de tratamiento o cuerpos de agua	Sistemas de bombeo centrífugos horizontales o verticales	5- 25
	Tratamiento y disposición de aguas residuales	Procesos de tratamiento de aguas residuales para cumplir las normas oficiales locales , incluye	Sistemas de bombeo, ventiladores, agitadores, sopladores centrífugos	0 – 15

2.6.3.1. Pérdidas Energéticas en un sistema de bombeo

Como se mencionó en apartados anteriores, usualmente los sistemas de bombeo son los que presentan un mayor consumo de energía. En la Figura 11 se puede observar los principales elementos para el suministro y transformación energética en un sistema de bombeo, necesarios para la producción, suministro y tratamiento de agua.

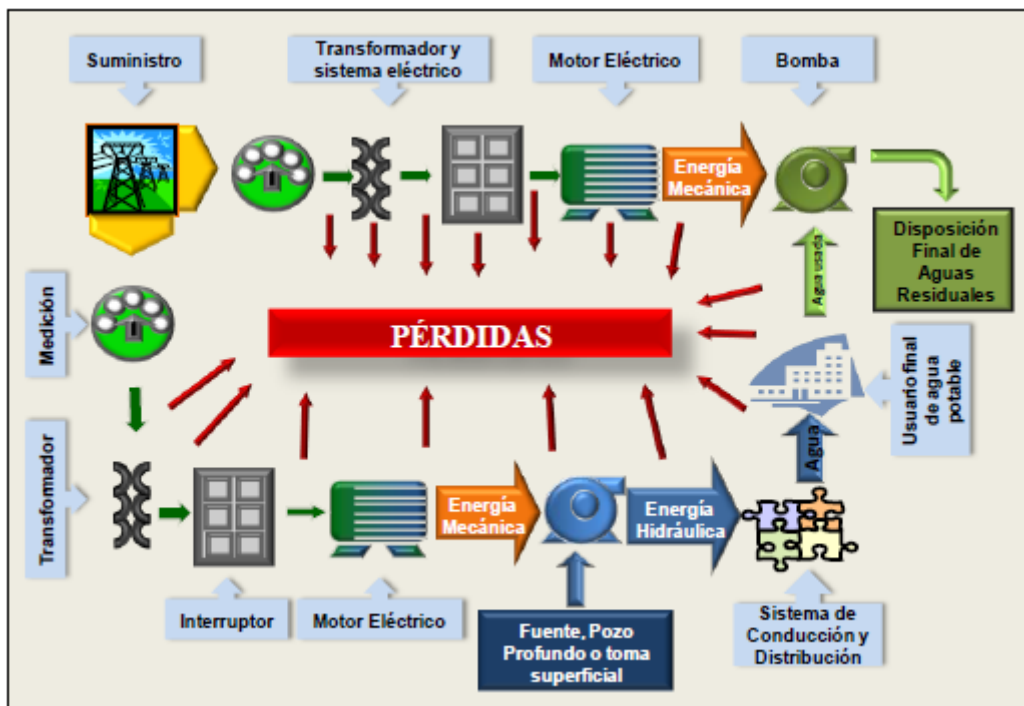


Figura 11. Esquema de un sistema típico de suministro y consumo energético en sistemas de agua potable y saneamiento
Extraído de (Watergy México A.C., 2012).

Las mayores pérdidas de energía se presentan durante la transformación de energía mecánica en hidráulica (bomba a red hidráulica), que en algunos casos alcanza valores de entre 40 y 45%. Aunque, una vez recibida la energía en el motor eléctrico, no es extraño encontrar sistemas de bombeo con pérdidas de hasta el 60%. En ese rango de 40 – 45% precisamente se encuentran las oportunidades importantes de ahorro (Watergy México A.C., 2012).

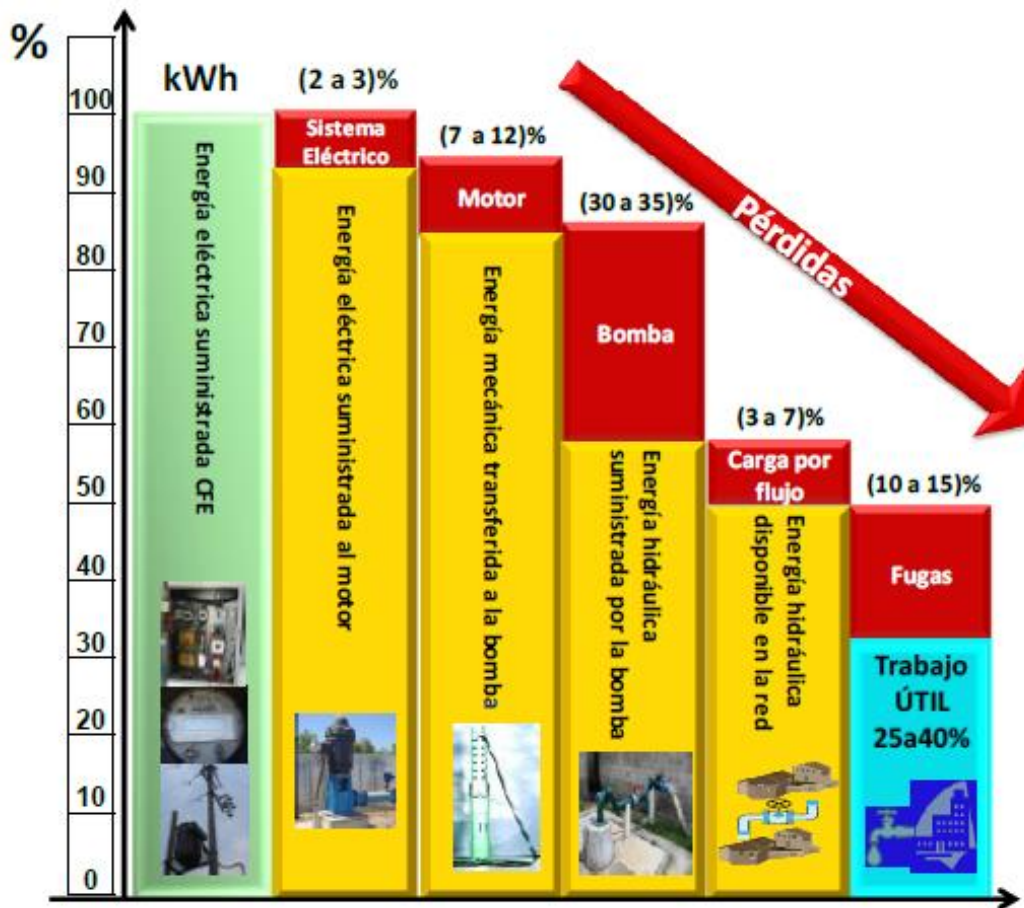


Figura 12. Flujo de pérdidas y consumo energético típico, en los componentes de un sistema de bombeo
 Extraído de (Watergy México A.C., 2012).

En la Figura 12 se puede observar el porcentaje de pérdidas que presentan habitualmente los componentes de un sistema de bombeo.

2.6.3.2. Diagnóstico Energético de la bomba

Es importante establecer los factores que causan un excesivo consumo energético en el equipo de bombeo, para así identificar las mejores opciones de ahorro de energía. Estos factores pueden ser principalmente la eficiencia actual del equipo de bombeo, condiciones de operación actuales y las pérdidas energéticas en el sistema de conducción.

Pérdidas Típicas en bombas

De acuerdo a Watergy México A.C. (2012) las bombas sufren pérdidas de energía como resultado de los mecanismos hidráulicos que suceden en el interior y exterior de sus componentes, por ello es lógico que no se pueda alcanzar una eficiencia del 100%. Para

entender el origen de las pérdidas en la operación de bombeo, que finalmente repercuten en el consumo energético, es importante repasar los diferentes tipos de pérdidas que se presentan en las bombas y que se clasifican de la siguiente forma:

a) Pérdidas Internas

Pérdidas de Carga: Resultan de la viscosidad y la turbulencia del agua. Ejemplo de pérdidas de carga son las pérdidas por choques en la entrada del difusor.

Pérdidas por Fugas: En una bomba, las pérdidas por fugas internas tienen como causa el juego que necesariamente ha de existir entre partes móviles como el impulsor y partes fijas.

Pérdidas por Rozamiento Interno: En una bomba centrífuga el impulsor tiene superficies inactivas desde el punto de vista de su función de comunicar energía al fluido. Estas superficies están sin embargo bañadas por el fluido más o menos en reposo, lo cual da lugar a frotamiento producto de la viscosidad del fluido, lo que genera pérdidas internas por rozamiento en el fluido.

b) Pérdidas Externas

Fugas Externas: Éstas se producen en los lugares donde el eje atraviesa la carcasa de la máquina. Una parte del caudal que entra a la bomba se deriva antes de entrar al impulsor y se pierde.

Pérdidas por Rozamiento Externo: Pueden ser por rozamiento mecánico en las empaquetaduras que existen en los ejes o por rozamiento mecánico en los cojinetes de la bomba.

Potencias y eficiencias de bombas en operación

Los motores asíncronos se caracterizan por tres parámetros íntimamente relacionados y que expresan directamente sus propiedades: la potencia consumida de la red de suministro eléctrico (Trujillo & Urbano, 2012). La relación entre estos tres parámetros se expresa por:

$$M \propto \frac{P1}{No} \Rightarrow M = K \times \frac{P1}{No} (N \cdot m)$$

Donde:

K: coeficiente de igualdad.

P_1 : potencia consumida de la línea de suministro eléctrico, (W).

N_o : frecuencia de rotación, (r.p.m.).

La potencia en el eje del motor se determina en función del par motor por la expresión:

$$P_2 = M \times \omega = 2 \times \pi \times M \times \frac{N}{60} = 0.1047 \times M \times N_o \text{ (W)}$$

Donde:

P_2 : potencia en el eje del motor (W)

ω : velocidad angular (rad/s). $\omega = 2\pi n_o$

n_o : revoluciones por segundo (rps). $n_o = N_o/60$

M : momento en el árbol del motor, (N · m)

Y sustituyendo el momento:

$$P_2 = 0.1047 \times K \times P_1$$

Como Coeficiente de Proporcionalidad de Potencia-Rendimiento “ C_{P-R} ” se ha denominado al producto:

$$C_{P-R} = 0.1047 \times K$$

$$P_2 = C_{P-R} \times P_1$$

Para una red de suministro trifásica (3 ϕ):

$$P_1 = \sqrt{3} \times V \times I \times FP$$

Donde:

V : voltaje en la línea, en volt (V).

I : intensidad de corriente que consume el motor, en amperios (A).

FP : factor de potencia del motor (depende de la intensidad consumida).

Los coeficientes de proporcionalidad “ C_{P-R} ” fueron determinados por Trujillo & Urbano (2012) empleando métodos estadísticos a partir de una muestra aleatoria de 100 ensayos de banco de motores asincrónicos trifásicos para bombas rotodinámicas, seleccionada de una población de 383 ensayos.

Para acople directo del motor y la bomba, la eficiencia del motor se determina por la expresión:

$$\eta_{motor} = \frac{P_2}{P_1} * 100(\%)$$

La eficiencia hidráulica de la bomba se determina por la expresión:

$$\eta_{bomba} = \frac{PH}{P_2} * 100(\%)$$

$$PH = \delta \times Hb \times \frac{Qb}{1000} (kW)$$

Donde:

PH : potencia hidráulica útil, (kW).

δ : peso específico del fluido a la temperatura de bombeo “ T ” (°C), (N/m³).

Hb : carga manométrica de bombeo, (m) de columna de agua.

Qb : caudal de bombeo, (m³/s).

Condiciones de operación de la bomba

Es muy común encontrar que los sistemas de bombeo operan en condiciones diferentes para las que fueron originalmente diseñados. Las posibles causas son las siguientes (Watergy México A.C., 2012):

- Funcionamiento discontinuo del sistema de agua potable (tandeos): Debido a los cambios de zonas de abastecimiento ocasionados por el tandeo, los equipos de bombeo operan en distintas condiciones de carga hidráulica para diferentes volúmenes de suministro.
- Reparaciones urgentes ocasionadas por la falta de mantenimiento preventivo: Es común atender reparaciones urgentes y carecer de componentes disponibles en inventario para realizar las reparaciones necesarias o la sustitución por los equipos apropiados a cada aplicación, por lo que generalmente se instalan los equipos disponibles, que en la mayoría de los casos están diseñados para otras condiciones de operación de carga y gasto.

De acuerdo con su diseño, todos los equipos de bombeo tienen un punto de operación óptimo “Carga hidráulica – Caudal”, donde todas las pérdidas descritas anteriormente se minimizan. En la Figura 13 se puede observar los problemas típicos que se presentan al operar un equipo de bombeo fuera de la zona óptima de operación.

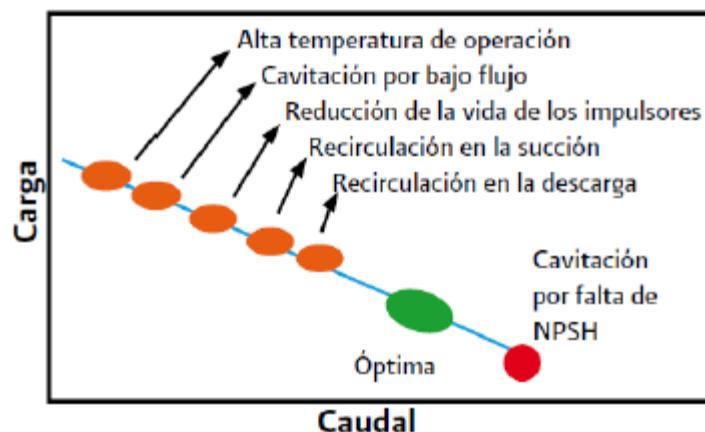


Figura 13. Problemas típicos de un equipo de bombeo trabajando fuera de su zona óptima
 Extraído de (Watergy México A.C., 2012)

Problemas en la conducción

Un problema importante que afecta la operación de los sistemas de bombeo es la escasa capacidad de los sistemas de conducción. Los principales inconvenientes que indica Watergy México A.C. (2012) son los siguientes:

- a) Excesivas pérdidas energéticas: Es muy común encontrar escasa capacidad de los sistemas de conducción en la descarga de los sistemas de bombeo.
- b) Reducción en la capacidad de conducción en los múltiples de descarga: Este problema se presenta frecuentemente en sistemas de rebombeo compuestos por equipos múltiples trabajando en paralelo, donde se ha aumentado el número de equipos pretendiendo entregar más caudal a la red sin revisar la capacidad de la conducción. Esto ocasiona que, los equipos trabajando en conjunto no suministren mayor caudal para el que son capaces de manera individual. Debido al aumento en la carga, y se reduzca significativamente su eficiencia.

2.6.4. Indicadores de eficiencia

El término indicador hace referencia a calificaciones cuantitativas y con magnitud (involucra sucesos o percepciones), que permiten conocer el estado de las cosas, procedimientos o variables comparadas con aspectos reales que nos interesa conocer o mejorar (Benavides, 2010).

En los abastecimientos de agua potable, la Comisión Nacional del Agua (2012) afirma que la evaluación y uso de indicadores de eficiencia implica las ventajas siguientes:

- Permiten tener una respuesta más rápida y de mayor calidad de la operación del sistema de abastecimiento; al mismo tiempo, los indicadores permiten una monitorización más fácil de los resultados del funcionamiento;
- Facilitan información clave al abastecimiento, permitiendo un fortalecimiento del enfoque pro-activo de la gestión, en contra del enfoque reactivo más tradicional, que normalmente confía en funcionamientos aparentes erróneos del sistema;
- Crean un incentivo para adoptar medidas correctivas, como la reubicación de recursos humanos para mejorar la productividad y modernizar las rutinas y procedimientos tradicionales;
- Cuando los abastecimientos están interesados en implantar una Gestión Total de la Calidad, los indicadores pueden tener un papel relevante, como una manera de enfatizar calidad y eficiencia globales en la organización;
- Permiten a los abastecimientos implementar rutinas de medida de la eficiencia, ya sea internas para comparar diversas regiones geográficas, o externas para compararse con otros abastecimientos; este tipo de prácticas crea una competición saludable que de manera natural promueve la mejora de las actuaciones;
- Facilitan las auditorías, ya que constituyen un buen *lenguaje* técnico para que un equipo de auditores comprenda los trabajos del organismo operador y por tanto ellos puedan expresar sus recomendaciones financieras, administrativas y operativas.

Se identificó estudios de varios modelos de indicadores de gestión que han sido estructurados e implantados con diferentes fines. Se puede mencionar experiencias de la Oficina de los Servicios de Agua (OFWAT) en Inglaterra y Gales, las iniciativas de la American Water Works Association (AWWA), las del Banco Mundial, las del Banco de Desarrollo Asiático, las de la Comisión Nacional del Agua en México, las de Eletrobrás en Brasil, las de Holanda y el esquema de Portugal. Con lo mencionado anteriormente, para nuestro caso de estudio se han determinado los siguientes indicadores de gestión para evaluar los ahorros de agua y energía en el sistema Quinindé.

- Índice Energético, IE [kWh/m³]

Representa la relación exacta entre la energía utilizada por los equipos de bombeo en un sistema de agua potable para producir el volumen total del agua suministrada a la red de distribución (Comisión Nacional del Agua, 2012):

$$IE = \frac{\text{Energía total consumida por equipos (kWh por año)}}{\text{Volúmen Total producido en captaciones (m}^3 \text{ por año)}}$$

- Costo Promedio de Energía, CPE [USD/kWh]

Representa el costo específico por unidad de energía consumida:

$$CPE = \frac{\text{Importe de facturación eléctrica al año (USD por año)}}{\text{Energía total consumida por equipos (kWh por año)}}$$

- Índice de Eficiencia Física, IEF [%]

Este indicador permite identificar las pérdidas de agua en la red de distribución de un sistema de agua potable:

$$\text{Eficiencia física}(\%) = \frac{\text{Volumen de agua consumida (m}^3 \text{/tiempo)}}{\text{Volumen de agua suministrada(m}^3 \text{/tiempo)}}$$

- Dotación Promedio por Habitante [l/hab/día]

Indica el nivel de dotación comparativa respecto a los estándares de consumo por parte de los usuarios finales:

$$\text{Dotación promedio} = \frac{\text{Volumen de agua suministrada(m}^3 \text{/año)}}{\text{N}^\circ \text{ habitantes servidos} \times 365} \times 1000$$

En sistemas con desnivel geométrico significativo, el cálculo del índice energético pasa a incorporar una importante parcela referente a ese parámetro. Esta parcela aumenta el consumo de energía por unidad de volumen, pero no es susceptible de ser eliminada o minimizada, pues se trata de una especificidad del sistema. Por este motivo, puede considerarse que este índice tiene limitaciones en el análisis comparativo de diferentes estaciones elevadoras, aunque tiene ventajas en el análisis de varias soluciones de optimización para el mismo sistema elevador (Vivas et al., 2012). Considerando que, en nuestro caso de estudio los desniveles geométricos son significativos, es necesario aumentar un indicador que involucre la altura manométrica para poder uniformizar el desnivel en comparación con otras estaciones de bombeo, para esto, vamos a agregar al análisis el Indicador ERSAR.

- Indicador ERSAR [kWh/(m³*100m)]

Constituye una versión uniforme del índice energético, permitiendo una mejor comparación entre sistemas elevadores distintos e incorporando esencialmente el rendimiento del sistema.

Indicador ERSAR

$$= \frac{\text{Energía total consumida por equipos (kWh por año)}}{\text{Volúmen bombeado} \times \text{Altura manométrica (m}^3 \times 100\text{m)}} \times 100$$

En un ámbito de evaluación ligeramente distinto, aparece el índice Green Pump Index-GPX (adimensional) que toma en cuenta todos los parámetros clave y factores que afectan el rendimiento energético de la bomba. Como el índice GPX es una medida real de la eficiencia energética de la unidad, la bomba y el sistema, se puede aplicar a cualquier bomba independientemente de la operación, parámetros o el sistema (RIVENTA, DERITREND IND, 2011).

- Indicador GPX [Adimensional]

Corresponde a la estimación de un rendimiento equivalente del sistema, considerando una eficiencia del mismo en la satisfacción de las necesidades del sistema (la elevación de un caudal para vencer un desnivel geométrico).

$$\text{Indicador GPX} = \frac{\text{Caudal bombeado} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{hora}}\right) * \text{Desnivel geométrico(m)}}{3.67 \times \text{Potencia Consumida(kW)}}$$

2.6.5. Análisis económico

El consumo de energía debido al funcionamiento de las estaciones de bombeo en los sistemas de abastecimiento son elevados y abarcan una gran parte de la producción nacional de energía eléctrica, el estudio integral de eficiencia energética para los sistemas de abastecimiento por bombeo se convierte en una herramienta útil para reducir los costos de operación de las empresas suministradoras de agua potable. Realizado el estudio en relación a la eficiencia energética de un sistema de abastecimiento por bombeo, e identificadas las ineficiencias del mismo, la fase siguiente consiste en plantear propuestas para el mejoramiento de la eficiencia energética y posteriormente dar prioridad a las inversiones de forma más racional con la ayuda de herramientas financieras.

Gomez (2011) afirma que la viabilidad económica de un proyecto de inversión debe ser estudiada mediante el análisis de varias alternativas de solución, comparando el Valor Presente Neto (VPN) y Tasa Interna de retorno (TIR) de cada una de estas soluciones. De

modo que será posible identificar cuál de las soluciones propuestas presenta mayor retorno del capital invertido y así decidir cuál de las soluciones se debe adoptar.

Por otra parte, el costo inicial de un sistema de bombeo es una pequeña parte del costo a lo largo de su vida útil para sistemas de alto uso, por esto, es necesario también determinar el Costo de Ciclo de vida (en inglés, LCC - Life cycle cost), ya que al utilizarla como herramienta comparativa entre el posible diseño o alternativas examinadas, este método hará que sea posible obtener la solución más rentable dentro de los límites de los parámetros disponibles.

2.6.5.1. Valor presente neto

El Valor Presente Neto (VPN) de un proyecto es el valor actual/presente de los flujos de efectivo netos de una propuesta, entendiéndose por flujos de efectivo netos la diferencia entre los ingresos periódicos y los egresos periódicos. Para actualizar esos flujos netos se utiliza una tasa de descuento denominada tasa de expectativa o alternativa/oportunidad, que es una medida de la rentabilidad mínima exigida por el proyecto que permite recuperar la inversión, cubrir los costos y obtener beneficios (Mete, 2014).

Es importante tener en cuenta que el valor del Valor Presente Neto depende de las siguientes variables: La inversión inicial previa, las inversiones durante la operación, los flujos netos de efectivo, la tasa de descuento y el número de periodos que dure el proyecto (Vaquiro, 2013).

$$VPN = \frac{BN_1}{(1+i)^1} + \frac{BN_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{BN_n}{(1+i)^n} - I$$

Donde:

BN_i: beneficio neto (ingresos menos egresos) del periodo i (USD)

I: inversión inicial (USD)

i: tasa de descuento o costo de oportunidad del capital (%)

2.6.5.2. Tasa interna de retorno

Es la tasa de descuento por la cual el VPN es igual a cero. Es la tasa que iguala la suma de los flujos descontados a la inversión inicial (Baca, 2001).

La evaluación de los proyectos de inversión cuando se hace con base en la Tasa Interna de Retorno (TIR), toman como referencia la tasa de descuento. Si la Tasa Interna de Retorno es mayor que la tasa de descuento, el proyecto se debe aceptar pues estima un rendimiento mayor al mínimo requerido, siempre y cuando se reinviertan los flujos netos de efectivo. Por el contrario, si la Tasa Interna de Retorno es menor que la tasa de descuento, el proyecto se debe rechazar pues estima un rendimiento menor al mínimo requerido (Vaquiro, 2013).

$$VPN = \frac{BN_1}{(1 + TIR)^1} + \frac{BN_2}{(1 + TIR)^2} + \dots + \frac{BN_n}{(1 + TIR)^n} - I = 0$$

Por lo tanto:

$$\frac{BN_1}{(1 + TIR)^1} + \frac{BN_2}{(1 + TIR)^2} + \dots + \frac{BN_n}{(1 + TIR)^n} = I$$

Donde:

BN_i: beneficio neto (ingresos menos egresos) del periodo i (USD)

I: inversión inicial (USD)

TIR: Tasa Interna de Retorno (%)

2.6.5.3. Costo de ciclo de vida

El costo del ciclo de vida (en inglés, LCC - Life cycle cost) de cualquier equipo es el costo total de "vida útil" para comprar, instalar, operar, mantener y desechar ese equipo. La determinación de LCC implica seguir una metodología para identificar y cuantificar todos los componentes de la ecuación de LCC. Los componentes de un análisis de costo del ciclo de vida generalmente incluyen costos iniciales, instalación y costos de puesta en marcha, costos de energía, costos de operación, costos de mantenimiento y reparación, costos de tiempo de inactividad, costos ambientales y costos de desmantelamiento y eliminación (EUROPUMP, 2001).

$$LCC = Ci + Cin + Ce + Co + Cm + Cs + Cenv + Cd$$

Donde:

LCC: Costo de ciclo de vida (USD)

C_i : coste inicial, coste de compra (USD)

C_{in} : instalación y puesta en marcha (USD)

C_e : costos energéticos (USD)

$$C_e = \frac{\delta \times Hb \times Qb \times hdb \times \text{precio kWh}}{1000 \times \eta_{bomba} \times \eta_{motor}}$$

δ : peso específico del fluido a la temperatura de bombeo “ T ” (°C), (N/m³).

Hb : carga manométrica de bombeo, (m)

Qb : caudal de bombeo, (m³/s).

hdb : horas de bombeo (horas)

precio kWh: Precio en dólares del kWh (USD/ kWh)

η_{bomba} : eficiencia bomba (%)

η_{motor} : eficiencia motor (%)

C_o : coste de operación (USD)

C_m : coste de mantenimiento (USD)

C_s : tiempo de avería, pérdida de producción (USD)

C_{env} : costes medioambientales (USD)

C_d : retirada/cierre definitivo (USD)

***Eficiencia energética en el sistema de
abastecimiento de agua de la ciudad de
Quinindé, Ecuador***

CASO DE ESTUDIO

Capítulo 3

3. Sistema de abastecimiento público de agua potable de la ciudad de Quinindé, Ecuador

3.1. Metodología

La metodología del presente estudio involucra esencialmente el funcionamiento hidráulico y energético del sistema de abastecimiento público de agua potable de la ciudad de Quinindé, Ecuador. La metodología propuesta se divide en 5 etapas: i) caracterización del sistema de abastecimiento; ii) diagnóstico de la eficiencia (física, hidráulica y energética); iii) indicadores de eficiencia; iv) propuestas para el mejoramiento de la eficiencia energética y; v) el análisis económico de las propuestas.

3.2. Localización y caracterización geográfica

La República del Ecuador se halla situada en la costa Nor-Occidental de América del Sur, en la zona tórrida del continente americano. Está ubicada entre los paralelos 1°30.0'N y 03°23.5'S, y los meridianos 75°12.0'W y 81°00.0'W, sin incluir el Archipiélago de Galápagos (ver Figura 14). Al territorio le atraviesa la línea ecuatorial, precisamente 22 km al Norte de la ciudad de Quito, que es su capital. Es un país continental con preponderancia marítima, pero con un desarrollo de más de 1200 km de costas, sin contar con el archipiélago de Galápagos e islas continentales. Cuenta con las siguientes extensiones: continental 262826 km² y región insular 7844 km², totalizando una extensión territorial de 270670 km² (Instituto Oceanográfico de la Armada, 2005).

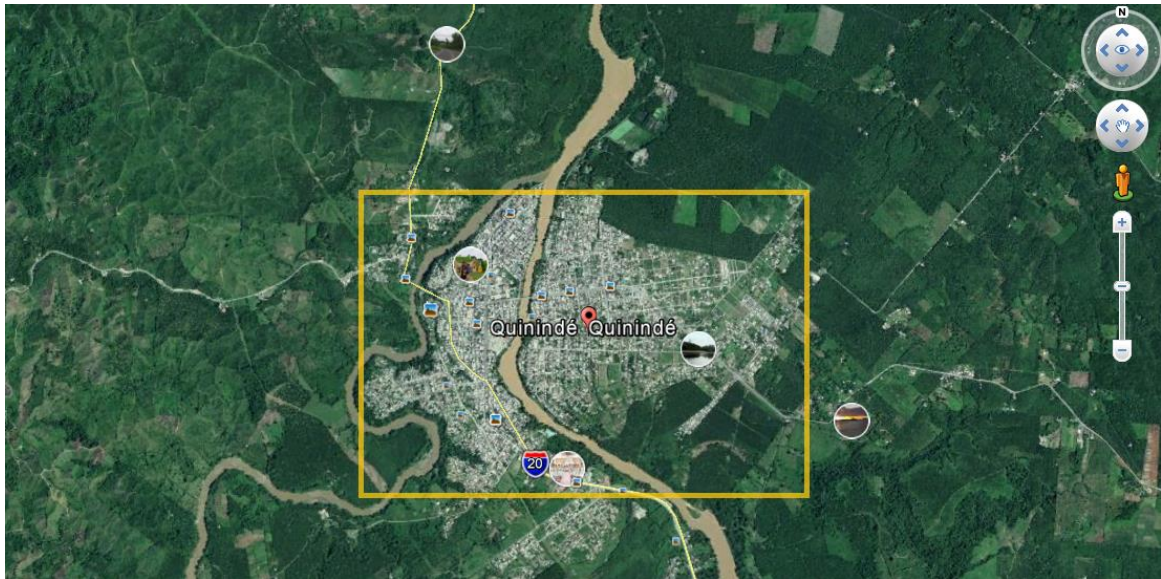
A pesar de ser considerado un país pequeño por sus dimensiones, Ecuador es uno de los países con mayor diversidad geográfica del mundo. Posee cuatro regiones geográficas principales: el Oriente al este, la Sierra en el centro, la Costa al oeste, y las majestuosas Islas Galápagos al oeste de la línea costera.



Figura 14. Localización geográfica del Ecuador.
Extraído de (<http://www.ecuadorexplorer.com/es/html/ubicacion-geografia-y-clima.html>)

El Ecuador por su posición geográfica se encuentra exclusivamente en la zona ecuatorial-tropical, pero debido a factores como son la influencia del mar, con la presencia de la corriente fría de Humboldt y de la corriente cálida de “El Niño” que combinado con la orientación perpendicular de los Andes a los vientos alisios, dan como resultado una climatología muy variada que contiene una verdadera gama de subclimas, microclimas y topoclimas. Las cuatro estaciones propias de las regiones templadas, no tienen significación en nuestro país. Llamándose invierno a la estación lluviosa y verano a la estación seca. En un invierno normal las lluvias se presentan en el mes de diciembre y se prolongan hasta el mes de mayo y el verano los seis meses restantes (Instituto Oceanográfico de la Armada, 2005).

El presente caso de estudio se refiere al sistema de abastecimiento público de agua potable por bombeo de la ciudad de Quinindé (Rosa Zárate) en la provincia de Esmeraldas (ver Figura 15). La ciudad se localiza al norte de la región litoral del Ecuador, asentada sobre una extensa llanura, en la confluencia de los ríos Blanco y Quinindé, a una altitud de aproximadamente 90 msnm entre la latitud $0^{\circ}19'31.00''N$ y longitud $79^{\circ}27'54.65''O$. Limita al Norte: con los cantones Esmeraldas y Río Verde; al Sur con el cantón La Concordia; al Este con los cantones Eloy Alfaro (Provincia de Esmeraldas) y Puerto Quito (Provincia de Pichincha); y, al Oeste con los cantones Muisne (Provincia de Esmeraldas) y Pedernales (Provincia de Manabí).



*Figura 15. Localización ciudad de Quinindé, Ecuador.
Extraído de Google Earth.*

3.3. Caracterización del sistema de abastecimiento público de agua potable de Quinindé, Ecuador

En la ciudad de Quinindé la producción de agua potable y posterior distribución es asegurada por la Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado, Saneamiento Ambiental, Obras y Servicios para el cantón Quinindé (EMAPASOSQ-EP). Actualmente el sistema de agua potable posee 7408 clientes conectados a la red pública. El sistema consta de captación sobre el río Blanco, dos estaciones de bombeo, planta de tratamiento, reservorios de almacenamiento y distribución final (ver Figura 16 y Figura 17).

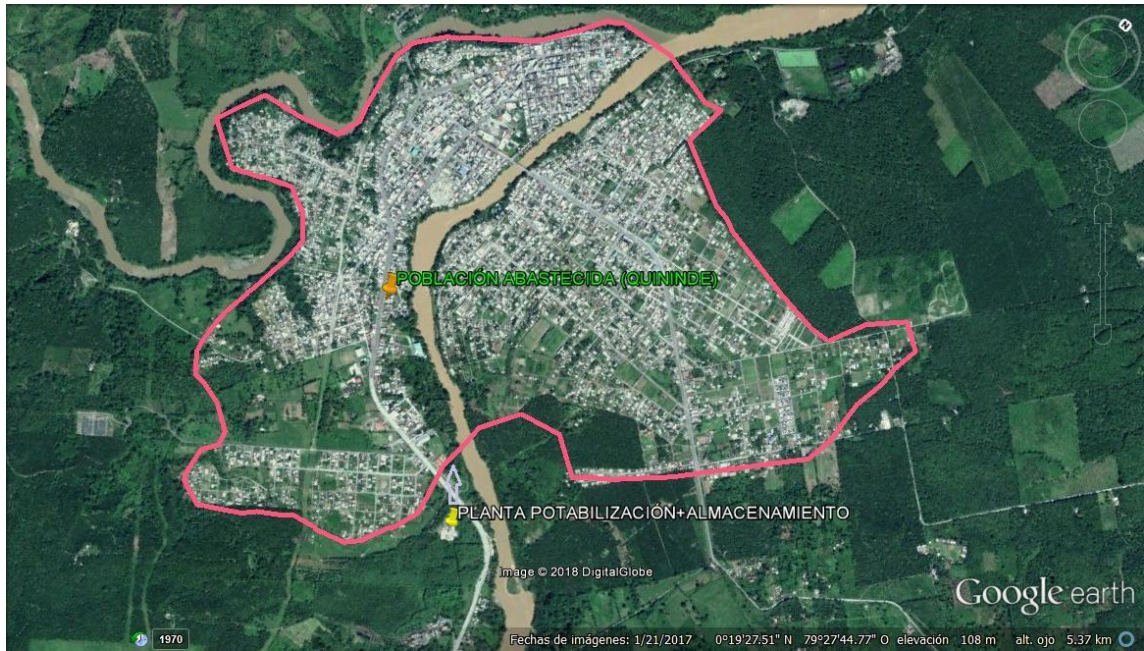


Figura 16. Esquema Planta de Potabilización, Almacenamiento y Distribución final.
Extraído de Google Earth.

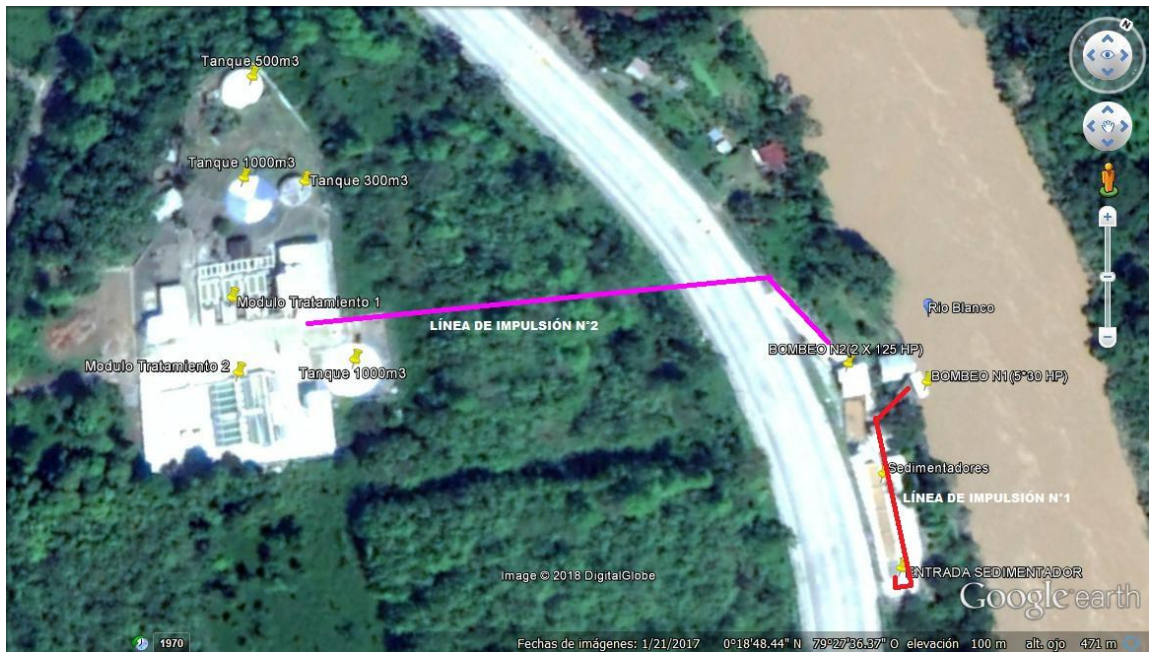


Figura 17. Esquema de Estaciones de Bombeo, Planta de Potabilización y Almacenamiento.
Extraído de Google Earth.

Para una mejor concepción de los componentes del sistema de abastecimiento en estudio en la Figura 18 se presenta un esquema general.

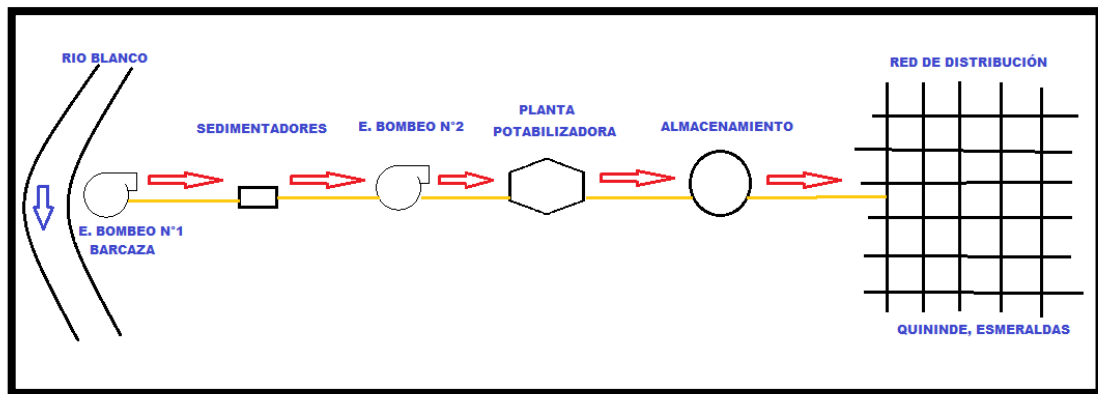


Figura 18. Esquema General del Sistema de Abastecimiento Quinindé.
Fuente: Autor

3.3.1. Población servida

En el censo realizado en el año 2010 se registró una población de 28928 habitantes, lo que la convierte en la cuadragésima sexta ciudad más poblada del país.

La tasa de crecimiento poblacional anual registrada en Quinindé es igual a 2.3%, ligeramente superior a la tasa nacional que se ubica en 1.9% como resultado del aumento natural de la población y de la migración neta, por lo que podría asegurarse que el ritmo de crecimiento del cantón es superior al nacional (GAD-Quinindé, 2015).

La población actual se determina con la finalidad de conocer cuál es la población abastecida en el año en curso. Para ello se considera un índice de crecimiento del 2.3% y se escoge el método geométrico de proyección considerando la evolución poblacional en años anteriores. La población actual la determinamos de la siguiente manera:

$$Pa_{2018} = P_{2010} * (1 + r)^n$$

Dónde:

Pa_{2018} = población actual

P_{2010} = Población año 2010 = 28928 habitantes

r = índice de crecimiento = 2,3 %

n = lapso 2010-2018 = 8 años

$$Pa_{2018} = 28928 * (1 + 0,023)^8$$

$$Pa_{2018} = 34699 \text{ habitantes}$$

Mediante la proyección, utilizando una tasa de crecimiento del cantón Quinindé, para el año 2018 se obtiene una población de 34699 habitantes servidos por el sistema de abastecimiento de agua potable.

3.3.2. Captación

La captación de las aguas del Río Blanco se efectúa mediante una barcaza flotante de 10.0 m de eslora y 3.5 m de manga, está ubicada al margen izquierdo del río (ver Figura 19). La barcaza posee 4 anclas y está fijada a la orilla por medio de cuerdas, además, se encuentra en un estado físico y operativo bueno, ya que no tiene mucho tiempo funcionando.



*Figura 19. Captación mediante barcaza flotante sobre el río Blanco
Fuente: Autor*

3.3.3. Estación de bombeo N°1 (Captación)

La barcaza flotante está provista con cinco equipos bombeo de similares características que constituyen la estación de impulsión N°1 (ver Figura 20). La barcaza se ubica usualmente en los 56 msnm, a continuación en la Tabla 7 se describen las características de los equipos de bombeo.

*Tabla 7. Características equipos de bombeo (5) de la estación de bombeo N°1.
Fuente: Catálogos de fabricantes. Elaboración Propia*

Fabricante:	GOULDS PUMPS
Tamaño de la bomba:	4 x 6 -13
Material:	BF - Hierro con accesorios de bronce
Díámetro del rotor:	11.375"
Elemento motor:	60 Hz - 1750 RPM
Potencia nominal:	30 HP



Figura 20. Equipos de bombeo-Estación N°1
Fuente: Autor

Actualmente de las cinco bombas existentes una se encuentra averiada. El tiempo de operación es de 24 h/día, es decir, que funcionan al mismo tiempo las cuatro bombas ininterrumpidamente durante todo el año. Al succionar agua superficial del río Blanco se necesita remover los residuos frecuentemente de la rejilla de ingreso a la succión, en época de invierno se necesita realizar este procedimiento algunas veces durante el día (ver Figura 21). Por otra parte, no se dispone de dispositivos o mecanismos de medición de caudales de bombeo, además, para el control de presión de bombeo cada bomba cuenta con un manómetro pero solo dos se encuentran en buenas condiciones de funcionamiento.



Figura 21. Remoción de residuos en la succión
Fuente: Autor

3.3.4. Sedimentadores primarios

El agua bombeada de la Estación N°1 llega a la sección de sedimentación que está ubicada en la misma plataforma que la Estación de Bombeo N°2 y cuenta con dos sedimentadores dispuestos en serie como se indica en la Figura 22 y Figura 23.



*Figura 22. Tubería de Llegada y Sedimentador N°1
Fuente: Autor*



*Figura 23. Sedimentador N°2 (izquierda) y tubería de salida a estación de bombeo N°2 (derecha)
Fuente: Autor*

3.3.5. Estación de bombeo N°2 (a la salida de los sedimentadores primarios)

La Estación de Bombeo N°2 dispone de tres equipos de 125 HP (ver Tabla 8). En la actualidad solo dos equipos de bombeo están aptos para operar, los cuales trabajan las 24 horas del día durante todo el año. Los conjuntos motor-bomba están ubicados bajo una

cubierta de eternit sin paredes como se observa en la Figura 24, aproximadamente en la cota 72 msnm.

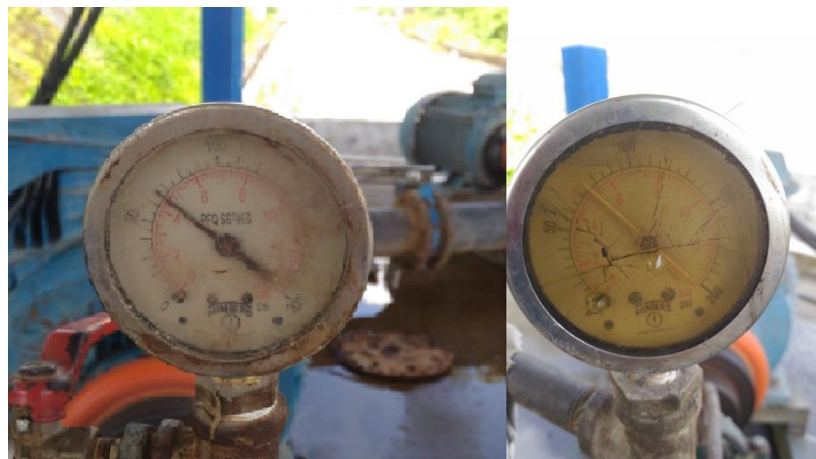
*Tabla 8. Características equipos de bombeo (3) de la Estación de Bombeo N°2
Fuente: Catálogos de fabricantes. Elaboración Propia*

BOMBA MARK GOULDS 125 HP	
Fabricante:	GOULDS PUMPS
Tamaño de la bomba:	6 x 8 *10.75
Material:	BF - Hierro con accesorios de bronce
Diámetro del rotor:	425 mm.
Elemento motor:	60 Hz - 1750 RPM
Potencia nominal:	125 HP



*Figura 24. Estación de Bombeo N°2 (izquierda) y conjunto bomba-motor en funcionamiento (derecha)
Fuente: Autor*

Al igual que en la Estación de Bombeo N°1, no existen dispositivos o mecanismos para el control de caudales de bombeo, existen manómetros de control de presión en los dos equipos de bombeo que se encuentran funcionales como se puede ver en la Figura 25.



*Figura 25. Manómetros de los equipos de bombeo-Estación N°2
Fuente: Autor*

3.3.6. Planta de tratamiento

La planta de tratamiento consta de dos módulos, cada uno con una capacidad de producción de 100 l/s. Los dos módulos procesan el agua previamente bombeada con tratamiento de floculación, sedimentación, filtración y cloración. El módulo N°1 procesa dos tercios del total del caudal bombeado (ver Figura 26) y el módulo N°2 el restante tercio (ver Figura 27). En la planta de tratamiento existe personal de la empresa pública laborando las 24 horas del día durante todo el año debido al funcionamiento ininterrumpido de la planta de tratamiento.



*Figura 26. Módulo N°1 de tratamiento
Fuente: Autor*



*Figura 27. Módulo N°2 de tratamiento
Fuente: Autor*

3.3.7. Almacenamiento

El sistema de agua potable posee una capacidad de almacenamiento de 2800m³, divididos en cuatro tanques superficiales de hormigón situados en la misma plataforma que se encuentran los módulos de potabilización. Existen dos tanques de 1000 m³, uno de 500

m³ y uno de 300 m³ Figura 28 y Figura 29. El agua potabilizada en el módulo de tratamiento N°2 es dirigida para un tanque de 1000 m³, el agua tratada por el módulo N°1 se almacena en los tres tanques restantes.



*Figura 28. Tanques de 1000 m³
Fuente: Autor*



*Figura 29. Tanques de 500 m³ (izquierda) y 300 m³ (derecha)
Fuente: Autor*

3.3.8. Distribución

La distribución se la realiza desde los tanques de almacenamiento a gravedad hacia toda la ciudad de Quindé (ver Figura 30) por medio de tuberías de PVC. La red primaria, que permite el transporte del agua por medio de líneas troncales o principales, se compone de tuberías de 500 mm, 400 mm y 315 mm de diámetro; la red secundaria, que se encarga de llevar el agua hacia la toma domiciliaria, posee diámetros de 250 mm, 200 mm, 160 mm, 110 mm, 90 mm y 63 mm.



*Figura 30. Zonas abastecidas por el sistema de abastecimiento público de agua potable Quindío
Fuente: Autor*

3.4. Balance hídrico

Con el objetivo de cuantificar las pérdidas en relación al caudal registrado a la entrada del sistema, se realizó el Balance Hídrico Anual para el año 2017 utilizando la metodología recomendada por la IWA y descrita en la sección 2.6.1 (Lambert & Hirner, W, 2000).

Se recurrió a los registros y datos que dispone la Empresa pública de agua EMAPASOS-Q para obtener la información de las componentes del Balance Hídrico. Como se mencionó anteriormente no existe un registro de la cantidad de agua que ingresa al sistema, por tal motivo, se realizó la medición de caudales utilizando vertederos existentes y a la llegada a los módulos de tratamiento en las instalaciones.

Tabla 9. Balance Hídrico Anual del sistema de abastecimiento Quindé, para el año 2017.

A	B	C	D	E
VOLÚMEN DISTRIBUIDO AL SISTEMA	CONSUMOS AUTORIZADOS	CONSUMOS AUTORIZADOS FACTURADOS	CONSUMOS FACTURADOS MEDIDOS	AGUA FACTURADA
			46.91 %	
		2006088 m3/año	CONSUMOS FACTURADOS NO MEDIDOS	
		61.96 %	15.05 %	
	2649780 m3/año	643692 m3/año	2649780 m3/año	AGUA NO FACTURADA
	61.96 %	CONSUMOS AUTORIZADOS NO FACTURADOS	CONSUMOS NO FACTURADOS MEDIDOS	
			-	
	2649780 m3/año	-	CONSUMOS NO FACTURADOS NO MEDIDOS	
			(m3/año)	
	-	-	CONSUMOS NO AUTORIZADOS	
-				
PÉRDIDAS DE AGUA	PÉRDIDAS APARENTES	ERRORES DE MEDICIÓN EN MICROMEDIDORES		
		-		
	-	FUGAS EN LÍNEAS DE TRANSMISIÓN O LÍNEAS	-	
			-	
100.00 %	38.04 %	PERDIDAS REALES	FUGAS Y DESBORDE EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO	
			-	
4276282 m3/año	1626502 m3/año	-	PÉRDIDAS EN CONEXIONES ANTES DEL MICROMEDIDOR	
			(m3/año)	
-	-	-	1626502 m3/año	
-	-	-	-	

Realizado el balance hídrico se puede identificar que el porcentaje de agua no facturada alcanza un valor de 38%, siendo un porcentaje elevado y que nos indica la necesidad de reducir el volumen global de pérdidas, ya que este volumen es el componente principal del agua no facturada. Además, es importante indicar que al tener un bombeo ininterrumpido (24 horas al día) durante todo el año, en ocasiones los tanques de almacenamiento se llenan, el agua se desborda y la evacuación se la realiza por medio de un canal hacia terrenos aledaños.

3.5. Eficiencia Hidráulica

3.5.1. Por medio de indicadores generales

Dotación (l/hab/día)

A falta de datos se puede utilizar las dotaciones indicadas por las normas ecuatorianas, en la Tabla 10 se puede observar las dotaciones recomendadas que son dependientes de la población a abastecer y el clima.

Tabla 10. Dotaciones recomendadas
Fuente: (EX-IEOS, 1992).Elaboración propia

POBLACIÓN (Habitantes)	CLIMA	DOTACIÓN MEDIA FUTURA(l/hab/día)
Hasta 5000	Frío	120-150
	Templado	130-160
	Cálido	170-200
5000 a 50000	Frío	180-200
	Templado	190-220
	Cálido	200-230
Más de 50000	Frío	> 200
	Templado	> 220
	Cálido	> 230

Para el caso del sistema de abastecimiento de Quinindé se adoptó una dotación de 220 l/hab/día, como se identificó anteriormente la población actual (34699 habitantes) está en el rango de 5000 a 50000 y es una ciudad costera con un clima cálido.

Estimación del consumo unitario de los usuarios (l/hab/día)

$$Cu = \frac{Vol_{sc}}{np \times 365}$$

$$Cu = \frac{4276282.00 \text{ m}^3}{34699 \text{ hab} \times 365}$$

$$Cu = 337.64 \text{ l/hab/día}$$

Por lo tanto, el valor del consumo unitario de los usuarios del sistema se estima en 337 l/hab/día. Este valor es superior a la dotación contemplada por la normativa nacional y está influenciado por las características del sistema, en particular, por el valor de las pérdidas de agua a lo largo de la red, por el resultado de la proyección poblacional y de la estimación del caudal de entrada al sistema.

Continuidad del servicio de agua (horas/día)

En la ciudad de Quinindé el servicio de agua potable es ininterrumpido en toda la red de distribución, es decir se tiene 24 horas de servicio al día.

Eficiencia de Potabilización de agua cruda (%)

$$EPAC = \frac{3784320.00 \text{ m}^3}{4276282.00 \text{ m}^3} \times 100$$

$$EPAC = 88.50\%$$

Este indicador muestra que sólo el 88.50% del total de agua captada es tratada en la planta potabilizadora, debido a las pérdidas que se producen principalmente por el desborde de agua en los sedimentadores primarios.

Agua potable no contabilizada en la red (%)

$$ANC = \frac{(3784320.00 \text{ m}^3 - 2649780.00 \text{ m}^3)}{3784320.00 \text{ m}^3} \times 100$$

$$ANC = 30.00\%$$

El indicador ANC muestra que solo el 30% del agua tratada logra ser facturada.

Eficiencia de la capacidad de almacenamiento de agua potable según la norma vigente (%)

$$ECA = \frac{2800.00 \text{ m}^3}{2974.61 \text{ m}^3} \times 100$$

$$ECA = 94.13\%$$

La capacidad de almacenamiento logra cubrir solo el 94.13% del volumen requerido de acuerdo a la normativa EX-IEOS (1992)

Volumen de agua potabilizada por conexión

$$VAPC = \frac{3784320.00 \text{ m}^3}{7408}$$

$$VAPC = 510.84 \text{ m}^3/\text{conexion}$$

Este indicador nos muestra que se potabiliza un volumen de 510.84 m³ por cada conexión en el periodo de un año.

3.5.2. Balance Volumétrico

El caudal medio anual diario requerido se lo determina identificando la dotación (220 l/hab/día) que debería existir en el sistema de abastecimiento en condiciones de plena satisfacción de los usuarios y aplicando la ecuación correspondiente. El caudal medio anual diario requerido en la ciudad de Quinindé es de 88.35 l/s.

$$Q_{medreq} = \frac{Dot\ req \times n_{serv}}{86400}$$
$$Q_{medreq} = \frac{220\ l/hab/día \times 34699}{86400}$$
$$Q_{medreq} = 88.35\ l/s$$

El gasto máximo diario requerido en el sistema en estudio se lo va a calcular mediante la ecuación correspondiente a sistemas con tanques de regulación, multiplicando el caudal medio diario por el coeficiente de variación máxima diaria (CVMD) que tiene un valor de 1.4, indicado en la normativa ecuatoriana (EX-IEOS, 1992).

$$Q_{md} = Q_{med} \times CVMD$$
$$Q_{md} = 88.35\ l/s \times 1.40$$
$$Q_{md} = 123.70\ l/s$$

Cuando el sistema de abastecimiento de agua incluye reservorio de almacenamiento posterior a la estación de bombeo el caudal de bombeo es igual a:

$$Q_b = Q_{md} * \frac{24}{N}$$

Donde:

Q_b = Caudal de bombeo, l/s.

Q_{md} = Caudal máximo diario, l/s.

N = Número de horas de bombeo.

En nuestro caso de estudio se bombea 24 horas al día, por lo tanto el gasto máximo requerido es igual al gasto de bombeo.

$$Q_b = Q_{md} * \frac{24}{N}$$

$$Q_b = 123.70 \text{ l/s} \cong 125 \text{ l/s}$$

Actualmente se presenta un superávit de 11.90 l/s como se puede identificar en la Tabla 11. El gasto disponible de 135.60 l/s es el resultado de la suma de los caudales bombeados por las 4 bombas de la estación N°1(ver Tabla 18, Tabla 19, Tabla 20 y Tabla 21).

Tabla 11. Balance Volumétrico Sistema Quinindé

SISTEMA DE ABAST.	FUENTE	GASTO DISPONIBLE (l/s)	DISTRIBUCIÓN	GASTO REQUERIDO (l/s)	DIFERENCIA (l/s)
Quinindé	Rio Blanco	135.60	Regulada	123.70	11.90

3.5.3. Revisión de la capacidad de regularización

Los tanques para regularización tienen como fin cambiar el régimen de suministro constante a un régimen de demandas que es cómo en realidad se comporta el consumo de agua potable a lo largo del día. El tanque de regularización debe proporcionar un servicio eficiente bajo normas estrictas de higiene y seguridad, procurando que su costo de inversión y mantenimiento sea mínimo.

De acuerdo al EX-IEOS (1992) se indica que para poblaciones mayores de 5000 habitantes, se tomará para el volumen de regulación el 25% del volumen consumido en un día, considerando la demanda media diaria al final:

$$V_{reg_1} = n_{serv} * Dotación * 0.25$$

$$V_{reg_1} = 34699 * 220 * 0.25$$

$$V_{reg_1} = 1908445 \text{ l} = 1908.45 \text{ m}^3$$

Para poblaciones de más de 20000 habitantes futuros se aplicará la fórmula:

$$V_i = 100\sqrt{n_{serv}}$$

En estas fórmulas: n_{serv} = población en miles de habitantes; V_i = volumen para protección contra incendios, en m^3 (EX-IEOS, 1992).

$$V_i = 100\sqrt{34.699}$$

$$V_i = 589.06 \text{ m}^3$$

Para poblaciones mayores de 5000 habitantes, se tomará el 25% del volumen de regulación como volumen para cubrir situaciones de emergencia. Para comunidades con menos de 5000 habitantes no se calculará ningún volumen para emergencias (EX-IEOS, 1992).

$$V_e = 0.25 \times V_{reg}$$

$$V_e = 0.25 \times 1908.45$$

$$V_e = 477.11 \text{ m}^3$$

El volumen total de almacenamiento se obtendrá sumando los volúmenes de regulación, incendios y emergencia:

$$V_1 \text{ total} = V_{reg} + V_e + V_i$$

$$V_1 \text{ total} = 1908.45 + 477.11 + 589.06$$

$$V_1 \text{ total} = 2974.62 \text{ m}^3$$

Si se dispone de información sobre la demanda horaria en el sistema en estudio se puede obtener el volumen de regulación utilizando el coeficiente de regulación.

El coeficiente de regularización (C_R), está en función del tiempo (número de horas de suministro por día) y de las variaciones de caudal máximas y mínimas de la demanda, requiriéndose almacenar el agua en las horas de baja demanda para distribuirlas en las de alta demanda (Comisión Nacional del Agua, 2007).

Se asume para la localidad en estudio una curva de demanda diaria que se tiene generalmente en la zona costera del país debido a que no se cuenta con información propia de Quinindé (ver en Anexos, sección 6.3).

Tabla 12. Volumen de regularización del tanque para 24 horas/día de bombeo.

Horario	Suministro (Entradas)Q Bombeo en %	Demandas (Salidas)		
		Demanda Horaria en %	Diferencias	Diferencias Acumuladas
0 a 1	100	50.4	49.6	49.6
1 a 2	100	50.4	49.6	99.2
2 a 3	100	52.8	47.2	146.4
3 a 4	100	57.6	42.4	188.8
4 a 5	100	60	40	228.8
5 a 6	100	81.6	18.4	247.2
6 a 7	100	100.8	-0.8	246.4
7 a 8	100	160.8	-60.8	185.6
8 a 9	100	141.6	-41.6	144
9 a 10	100	127.2	-27.2	116.8
10 a 11	100	117.6	-17.6	99.2
11 a 12	100	115.2	-15.2	84
12 a 13	100	110.4	-10.4	73.6
13 a 14	100	110.4	-10.4	63.2
14 a 15	100	110.4	-10.4	52.8
15 a 16	100	115.2	-15.2	37.6
16 a 17	100	117.6	-17.6	20
17 a 18	100	124.8	-24.8	-4.8
18 a 19	100	134.4	-34.4	-39.2
19 a 20	100	144	-44	-83.2
20 a 21	100	110.4	-10.4	-93.6
21 a 22	100	86.4	13.6	-80
22 a 23	100	67.2	32.8	-47.2
23 a 24	100	52.8	47.2	0
	2400	2400		

De los valores de la columna de diferencias acumuladas, se deduce el máximo porcentaje excedente y el máximo porcentaje faltante (ver Tabla 12), por lo que:

$$R = 3.6 \times \frac{\text{Máx. \% Excede} - \text{Máx. \% Faltante}}{100}$$

Donde:

R = coeficiente de regulación

Máx. % Excedente = valor máximo positivo de las diferencias acumuladas

Máx. % Faltante = valor máximo negativo de las diferencias acumuladas

$$R = 3.60 \times \frac{247.20 + 93.60}{100}$$

$$R = 12.27$$

Para determinar la capacidad del tanque de regulación se utiliza la siguiente ecuación:

$$V_{reg2} = R \times Q_{md}$$

Donde:

C = capacidad del tanque, en m³

R = coeficiente de regulación

Q_{md} = gasto máximo diario, en l/s

$$V_{reg_2} = R \times Q_{md}$$

$$V_{reg_2} = 12.27 \times 123.70 \text{ l/s}$$

$$V_{reg_2} = 1517.80 \text{ m}^3$$

El volumen total utilizando el volumen de regulación obtenido por medio del coeficiente de regulación es igual a:

$$V_{2total} = V_{reg_2} + V_i + V_e$$

$$V_{2total} = 1517.80 + 477.11 + 589.06$$

$$V_{2total} = 2583.97 \text{ m}^3$$

Tabla 13. Volumen requerido y disponible de almacenamiento en el sistema Quinindé.

SISTEMA	VOLUMEN REQUERIDO 1	VOLUMEN REQUERIDO 2	VOLUMEN DISPONIBLE
	m ³	m ³	m ³
QUININDÉ	2974.61	2583.77	2800

El volumen disponible existente respecto a los volúmenes pre-dimensionados de acuerdo a las condiciones actuales se muestran en la Tabla 13, en el primer caso (Normativa) existe un déficit de almacenamiento de 174.61 m³ y en el segundo caso (Coeficiente de Regulación) existe un superávit de 216.23 m³, en términos generales existe capacidad de almacenamiento aceptable a las exigencias actuales de operación.

3.6. Eficiencia Energética en el Sistema de Bombeo

3.6.1. Descripción de equipos e instalaciones de bombeo del sistema Quinindé

En estudio se encuentran dos estaciones de bombeo, la primera consta de 5 conjuntos motor-bomba y la segunda 3 conjuntos motor bomba, en la Tabla 14 y Tabla 15 se describen las características de los equipos.

*Tabla 14. Características de Bomba y Motor de la Estación N°1.
Fuente: Catálogos Equipos. Elaboración propia*

ESTACIÓN DE BOMBEO N°1						
Equipo de Bombeo	Tipo de Bomba	Velocidad RPM	Diámetro Impulsor(in)	Potencia nominal del motor(HP)	Nivel de Eficiencia Motor	Estado
E1 N° 1	Centrífuga	1750	11 3/8	30	IE1-Rendimiento Estándar	Funcional
E1 N° 2	Centrífuga	1750	11 3/8	30	IE1-Rendimiento Estándar	Funcional
E1 N° 3	Centrífuga	1750	11 3/8	30	IE1-Rendimiento Estándar	Funcional
E1 N° 4	Centrífuga	1750	11 3/8	30	IE1-Rendimiento Estándar	Funcional
E1 N° 5	Centrífuga	1750	11 3/8	30	IE1-Rendimiento Estándar	Averiada

*Tabla 15. Características de Bomba y Motor de la Estación N°2
Fuente: Catálogos equipos. Elaboración propia*

ESTACIÓN DE BOMBEO N°2						
Equipo de Bombeo	Tipo de Bomba	Velocidad RPM	Diámetro Impulsor(in)	Potencia nominal del motor(HP)	Nivel de Eficiencia Motor	Estado
E2 N°1	Centrífuga	1750	16.75	125	IE1-Rendimiento Estándar	Funcional
E2 N°2	Centrífuga	1750	16.75	125	IE1-Rendimiento Estándar	Funcional
E2 N°3	Centrífuga	1750	16.75	125	IE1-Rendimiento Estándar	Averiada

3.6.2. Consumo de energía eléctrica

El servicio de suministro de energía eléctrica está contratado con la Empresa Eléctrica Pública Estratégica Corporación Nacional de Electricidad (CNEL EP), con los números de servicio indicados en la Tabla 16.

*Tabla 16. Información suministro energía eléctrica del consumidor
Fuente: CNEL EP. Elaboración propia*

NOMBRE DEL SISTEMA	CÓDIGO UNICO ELÉCTRICO NACIONAL	DIRECCIÓN SERVICIO	PROVINCIA-CANTÓN	TARIFA
Sistema de Bombeo Quinindé	800054344	Via a Sto. Domingo M698 SL 16 Av. Quinindé	Esmeraldas-Quinindé	Bombeo de Agua con Demanda Horaria Diferenciada

Los consumos de energía eléctrica de los equipos se muestran en la Tabla 17.

Tabla 17. Consumo eléctrico anual en Estaciones de Bombeo

EQUIPO DE BOMBEO	CONSUMO ANUAL	COSTO UNITARIO	IMPORTE DE LA FACTURACIÓN
	kWh	USD/kWh	USD/año
Estación N°1(4 X 30 HP)	770693.963	0.063	48870.957
Estación N°2(2 X 125 HP)	1445051.180	0.063	91633.043
		TOTAL	140504.000

3.6.3. Altura manométrica de Bombeo

Estación de Bombeo N°1

Las alturas manométricas fueron calculadas respecto a los caudales reales actuales de descarga a sedimentador de las 4 bombas que se encuentran en funcionamiento (ver Tabla 18, Tabla 19, Tabla 20 y Tabla 21). Al no disponer de información topográfica que permita determinar la altura manométrica total se realizó el levantamiento de la línea de impulsión mediante estación total.

Tabla 18. Altura manométrica Bomba N°1, Estación N°1

BOMBA N°1-BARCAZA			
IMPULSIÓN DEL RÍO BLANCO A SEDIMENTADORES			
CONCEPTO	VALOR	UNIDAD	OBSERVACIONES
Caudal de bombeo (Qb)	33.300	l/s	Caudal Aforado
Horas de bombeo	24.000	horas	Bombeo ininterrumpido
DIÁMETROS			
Diámetro de impulsión	Pe-110 mm . Pvc 160 mm.	mm	PE, Diámetro Interior 103.2 mm. PVC, Diámetro interior 150mm
Diámetro succión	160.00	mm	PVC, Diametro interior 150mm
ALTURA ESTÁTICA			
Cota de nivel de bombeo	56.42	msnm	Nivel de bomba
Cota de llegada	74.60	msnm	Nivel descarga sedimentador
Altura estática de succión (hs)	1.75	m	
Altura estática de impulsión (hi)	18.18	m	
PÉRDIDAS EN LA SUCCIÓN			
Longitud de tubería de succión	3.50		
Pérdidas de carga en conducto recto	0.06	m	Por Darcy-Weissbach
Pérdidas Localizadas	0.16	m	Mediante longitud equivalente
Pérdidas de carga en la succión(Δhs)	0.22	m	
PÉRDIDAS EN LA IMPULSIÓN			
Longitud de tubería de impulsión	87.31	m	
Pérdidas de carga en conducto recto	2.55	m	Por Darcy-Weissbach
Pérdidas Localizadas	2.66	m	Mediante longitud equivalente
Velocidad del flujo	1.88	m / s	
Pérdidas de carga en la impulsión(Δhi)	5.21	m	
ALTURA MANOMÉTRICA TOTAL			
Altura manométrica total (Hb)	25.36	m	Carga dinámica total

Tabla 19. Altura manométrica Bomba N°2, Estación N°1

BOMBA N°2-BARCAZA			
IMPULSIÓN DEL RÍO BLANCO A SEDIMENTADORES			
CONCEPTO	VALOR	UNIDAD	OBSERVACIONES
Caudal de bombeo (Qb)	34.400	l/s	Caudal Aforado
Horas de bombeo	24.000	horas	Bombeo ininterrumpido
DIÁMETROS			
Diámetro de impulsión	Pe-110 mm . Pvc 160 mm.	mm	PE, Diámetro Interior 103.2 mm. PVC, Diámetro interior 150mm
Diámetro succión	160.00	mm	PVC, Diametro interior 150mm
ALTURA ESTÁTICA			
Cota de nivel de bombeo	56.42	msnm	Nivel de bomba
Cota de llegada	74.60	msnm	Nivel descarga sedimentador
Altura estática de succión (hs)	1.75	m	
Altura estática de impulsión (hi)	18.18	m	
PÉRDIDAS EN LA SUCCIÓN			
Longitud de tubería de succión	3.50		
Pérdidas de carga en conducto recto	0.06	m	Por Darcy-Weissbach
Pérdidas Localizadas	0.17	m	Mediante longitud equivalente
Pérdidas de carga en la succión(Δ hs)	0.23	m	
PÉRDIDAS EN LA IMPULSIÓN			
Longitud de tubería de impulsión	87.31	m	
Pérdidas de carga en conducto recto	2.70	m	Por Darcy-Weissbach
Pérdidas Localizadas	2.80	m	Mediante longitud equivalente
Velocidad del flujo	1.95	m / s	
Pérdidas de carga en la impulsión(Δ hi)	5.50	m	
ALTURA MANOMÉTRICA TOTAL			
Altura manométrica total (Hb)	25.66	m	Carga dinámica total

Tabla 20. Altura manométrica Bomba N°3, Estación N°1

BOMBA N°3-BARCAZA			
IMPULSIÓN DEL RÍO BLANCO A SEDIMENTADORES			
CONCEPTO	VALOR	UNIDAD	OBSERVACIONES
Caudal de bombeo (Qb)	34.100	l/s	Caudal Aforado
Horas de bombeo	24.000	horas	Bombeo ininterrumpido
DIÁMETROS			
Diámetro de impulsión	Pe-110 mm . Pvc 160 mm.	mm	PE, Diámetro Interior 103.2 mm. PVC, Diámetro interior 150mm
Diámetro succión	160.00	mm	PVC, Diametro interior 150mm
ALTURA ESTÁTICA			
Cota de nivel de bombeo	56.42	msnm	Nivel de bomba
Cota de llegada	74.60	msnm	Nivel descarga sedimentador
Altura estática de succión (hs)	1.75	m	
Altura estática de impulsión (hi)	18.18	m	
PÉRDIDAS EN LA SUCCIÓN			
Longitud de tubería de succión	3.50		
Pérdidas de carga en conducto recto	0.06	m	Por Darcy-Weissbach
Pérdidas Localizadas	0.17	m	Mediante longitud equivalente
Pérdidas de carga en la succión(Δ hs)	0.23	m	
PÉRDIDAS EN LA IMPULSIÓN			
Longitud de tubería de impulsión	87.31	m	
Pérdidas de carga en conducto recto	2.66	m	Por Darcy-Weissbach
Pérdidas Localizadas	2.79	m	Mediante longitud equivalente
Velocidad del flujo	1.93	m / s	
Pérdidas de carga en la impulsión(Δ hi)	5.45	m	
ALTURA MANOMÉTRICA TOTAL			
Altura manométrica total (Hb)	25.61	m	Carga dinámica total

Tabla 21. Altura manométrica Bomba N°4, Estación N°1

BOMBA N°4-BARCAZA			
IMPULSIÓN DEL RÍO BLANCO A SEDIMENTADOR			
CONCEPTO	VALOR	UNIDAD	OBSERVACIONES
Caudal de bombeo (Qb)	33.800	l/s	Caudal Aforado
Horas de bombeo	24.000	horas	Bombeo ininterrumpido
DIÁMETROS			
Diámetro de impulsión	Pe-110 mm . Pvc 160 mm.	mm	PE, Diámetro Interior 103.2 mm. PVC, Diámetro interior 150mm
Diámetro succión	160.00	mm	PVC, Diámetro interior 150mm
ALTURA ESTÁTICA			
Cota de nivel de bombeo	56.42	msnm	Nivel de bomba
Cota de llegada	74.60	msnm	Nivel descarga sedimentador
Altura estática de succión (hs)	1.75	m	
Altura estática de impulsión (hi)	18.18	m	
PÉRDIDAS EN LA SUCCIÓN			
Longitud de tubería de succión	3.50		
Pérdidas de carga en conducto recto	0.06	m	Por Darcy-Weissbach
Pérdidas Localizadas	0.17	m	Mediante longitud equivalente
Pérdidas de carga en la succión(Δhs)	0.23	m	
PÉRDIDAS EN LA IMPULSIÓN			
Longitud de tubería de impulsión	87.31	m	
Pérdidas de carga en conducto recto	2.62	m	Por Darcy-Weissbach
Pérdidas Localizadas	2.74	m	Mediante longitud equivalente
Velocidad del flujo	1.91	m / s	
Pérdidas de carga en la impulsión(Δhi)	5.36	m	
ALTURA MANOMÉTRICA TOTAL			
Altura manométrica total (Hb)	25.52	m	Carga dinámica total

Estación de Bombeo N°2

La estación N°2 corresponde a un rebombeo desde el sedimentador N°2 hacia la planta de tratamiento, por lo tanto, el cálculo de la altura manométrica se efectuará como se indica en la Figura 31.

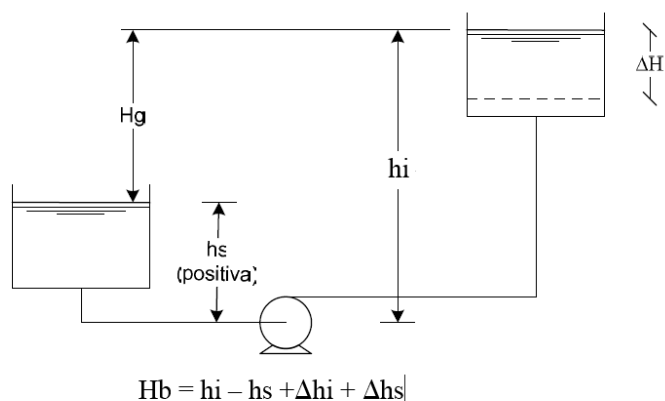


Figura 31. Cálculo altura manométrica desde depósito hacia depósito

Al igual que para la estación de bombeo N°1 la altura manométrica de bombeo, alturas estáticas y pérdidas de carga fueron calculadas respecto al caudal real actual de

descarga a planta de tratamiento de las 2 bombas acopladas en paralelo que se encuentran operando (ver Tabla 22).

Tabla 22. Altura manométrica Bomba N°1 y 2, Estación N°2

BOMBA N°1 Y N°2 EN PARALELO-ESTACIÓN DE BOMBEO°2			
IMPULSIÓN DESDE SEDIMENTADOR A TRATAMIENTO			
CONCEPTO	VALOR	UNIDAD	OBSERVACIONES
Caudal de bombeo (Qb)	120.000	l/s	Caudal Aforado
Horas de bombeo	24.000	horas	Bombeo ininterrumpido
DIÁMETROS			
Diámetro de impulsión	8"-12"	Pulgadas	Hg, Diámetro Interior 202.74 mm Hg, Diámetro Interior 303.18 mm
Diámetro succión	8"-12"	Pulgadas	Hg, Diámetro Interior 202.74 mm Hg, Diámetro Interior 303.18 mm
ALTURA ESTÁTICA			
Cota de nivel de bombeo	72.50	msnm	Nivel de bombas
Cota de llegada	124.50	msnm	Nivel descarga Planta Tratamiento
Altura estática de succión (hs)	-1.00	m	
Altura estática de impulsión (hi)	52.00	m	
PÉRDIDAS EN LA SUCCIÓN			
Longitud de tubería de succión	8.00		
Pérdidas de carga en conducto recto	0.14	m	Por Darcy-Weissbach
Pérdidas Localizadas	1.90	m	Mediante longitud equivalente
Pérdida de carga en la succión (Δh_s)	2.04	m	
PÉRDIDAS EN LA IMPULSIÓN			
Longitud de tubería de impulsión	244.00	m	
Pérdidas de carga en conducto recto	2.60	m	Por Darcy-Weissbach
Pérdidas Localizadas	4.01	m	Mediante longitud equivalente
Velocidad del flujo	1.87	m / s	
Pérdidas de carga en la impulsión (Δh_i)	6.61	m	
ALTURA MANOMÉTRICA TOTAL			
Altura manométrica total (Hb)	59.65	m	Carga dinámica total

3.6.4. Potencia y eficiencias de unidades de bombeo en operación

En la Tabla 23 se muestran los valores de potencias y eficiencias de los equipos de la Estación de Bombeo N°1, que fueron calculados por medio de la medición de parámetros eléctricos (pinzas amperimétricas), aforo de caudales y cálculo de altura manométrica.

Tabla 23. Potencia y eficiencias de los equipos de bombeo de la Estación N°1

Motor	Fase	Amperios	Voltaje	Factor de Potencia	Potencia Nominal (P2n)	Potencia de entrada al motor		Coeficiente de Proporcionalidad (Cp-r)	Potencia Hidráulica de Salida (PH)	Potencia en el eje del motor (P2)	Eficiencia del Motor	Eficiencia Hidráulica de la Bomba	Eficiencia Electromecánica
						kW	HP						
	n	A	V	-	HP	kW	HP	-	kW	kW	%	%	%
Bomba 1	A	27	440	0.98	30	20.91	28.04	0.90	8.28	18.82	90.00	44.02	39.62
	B	29	440	0.98									
	C	28	440	0.98									
Bomba 2	A	28	440	0.98	30	21.16	28.38	0.90	8.28	19.04	90.00	43.50	39.15
	B	29	440	0.98									
	C	28	440	0.98									
Bomba 3	A	28	440	0.98	30	21.16	28.38	0.90	8.28	19.04	90.00	43.50	39.15
	B	28	440	0.98									
	C	29	440	0.98									
Bomba 4	A	28	440	0.98	30	20.91	28.04	0.90	8.28	18.82	90.00	44.02	39.62
	B	28	440	0.98									
	C	28	440	0.98									

Para el cálculo de la potencia Hidráulica de salida se utilizó el valor de la altura manométrica requerida y el caudal bombeado (ver Tabla 18, Tabla 19, Tabla 20 y Tabla 21). Los valores de eficiencia Hidráulica de la bomba y electromecánica presentan valores bajos, dando indicios de importantes oportunidades de ahorro que se analizarán más adelante con detenimiento. Los estados de carga de los motores presentan valores cercanos al 78% ($P2 \cdot 100 / P2n$), por tal motivo, se utilizó el coeficiente de proporcionalidad de 0.90 (ver en Anexos, sección 6.6).

La Tabla 24 muestra los valores de Potencia y eficiencia para los equipos de bombeo de la Estación N°2.

Tabla 24. Potencia y eficiencias de los equipos de bombeo de la Estación N°2

Motor	Fase	Amperios	Voltaje	Factor de Potencia	Potencia Nominal (P2n)	Potencia de entrada al motor (P1)	Potencia de entrada al motor (P1)	Coefficiente de Proporcionalidad (Cp-r)	Potencia Hidráulica de Salida (PH)	Potencia en el eje del motor (P2)	Eficiencia del Motor	Eficiencia Hidráulica de la Bomba	Eficiencia Electromecánica
	n	A	V	-	HP	kW	HP	-	kW	kW	%	%	%
Bomba 1	A	101	440	0.98	125	75.68	101.49	0.90	33.35	68.11	90.00	48.97	44.07
	B	101	440	0.98									
	C	102	440	0.98									
Bomba 2	A	108	440	0.98	125	80.91	108.50	0.90	36.28	72.82	90.00	49.82	44.84
	B	109	440	0.98									
	C	108	440	0.98									

Al igual que para la Estación de Bombeo N°1, en el cálculo de potencia hidráulica de salida se utilizó la altura manométrica requerida y caudal bombeado (ver Tabla 22). Los valores de eficiencia hidráulica y eficiencia electromecánica presentan valores bajos, además, la información obtenida nos indica un sobredimensionamiento de los equipos de 125 HP, sugiriendo acciones para evitar el derroche de energía que se estudiarán más adelante. Por otro lado, los estados de carga de los motores presentan valores de aproximadamente 70% ($P2*100/P2n$). En la Tabla 25 se puede observar las posibles causas y consecuencias del bajo factor de carga en motores.

Tabla 25. Causas y consecuencias bajo factor de carga de los motores.
 Extraído de (Trujillo & Urbano, 2012)

Consecuencia	Causas Posibles
<p>La frecuencia de rotación (rpm.) del motor de la unidad de bombeo son altas en comparación con las de chapilla, o se acerca al valor de las rpm. de sincronismo.</p> <p>Bajo consumo de corriente. Bajo factor de potencia.</p> <p>Bajo consumo energético (P_1).</p> <p>Estos valores indican que el motor entrega baja potencia (P_2).</p>	<p>El motor está entregando una baja potencia. debido a:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Motor sobredimensionado. • Alta tensión de la energía eléctrica. • Problemas de acople motor-bomba. • La bomba entrega un bajo caudal o ninguno, que puede ser consecuencia de: <ul style="list-style-type: none"> ✓ Sentido incorrecto de rotación. ✓ Presencia de aire en la tubería de succión por cebado incorrecto, falta de hermeticidad en la tubería de succión o en la entrada de la bomba, o sumergencia insuficiente. ✓ Obstrucción en tubería y accesorios de la succión. ✓ Impelentes dañados u obstruidos. ✓ Obstrucción o presencia de aire en la tubería de impulsión. ✓ Válvulas de regulación o de check de la impulsión cerrada, obstruida o dañada. ✓ La carga que entrega la bomba es menor que la de otra unidad de bombeo en operación simultánea. ✓ Sobrepresión en la descarga.

3.6.5. Punto de operación

Como se mencionó anteriormente, el punto de operación de una bomba centrífuga se define como el flujo volumétrico de fluido que esta envía cuando el sistema está ya instalado. Para nuestro caso de estudio con dos estaciones de bombeo se utilizó la información de las placas de los conjuntos motor-bomba (Ver en Anexos, sección 6.2) para recurrir a catálogos de fabricantes que proporcionen las características técnicas (curvas) de los equipos que permitan encontrar el punto de funcionamiento. Los caudales a la descarga fueron obtenidos en la etapa de levantamiento de datos, la altura manométrica requerida por el sistema fue calculada en el apartado 3.6.3. Los datos indicados en la sección en desarrollo son obtenidos únicamente por la lectura en catálogos de fabricantes.

3.6.5.1. Estación de Bombeo N°1

En la Figura 32 se encuentra identificado el punto de operación de las 4 bombas, al impulsar caudales similares los puntos de operación se encuentran muy cercanos, se los puede identificar por colores que se asignaron a cada bomba.

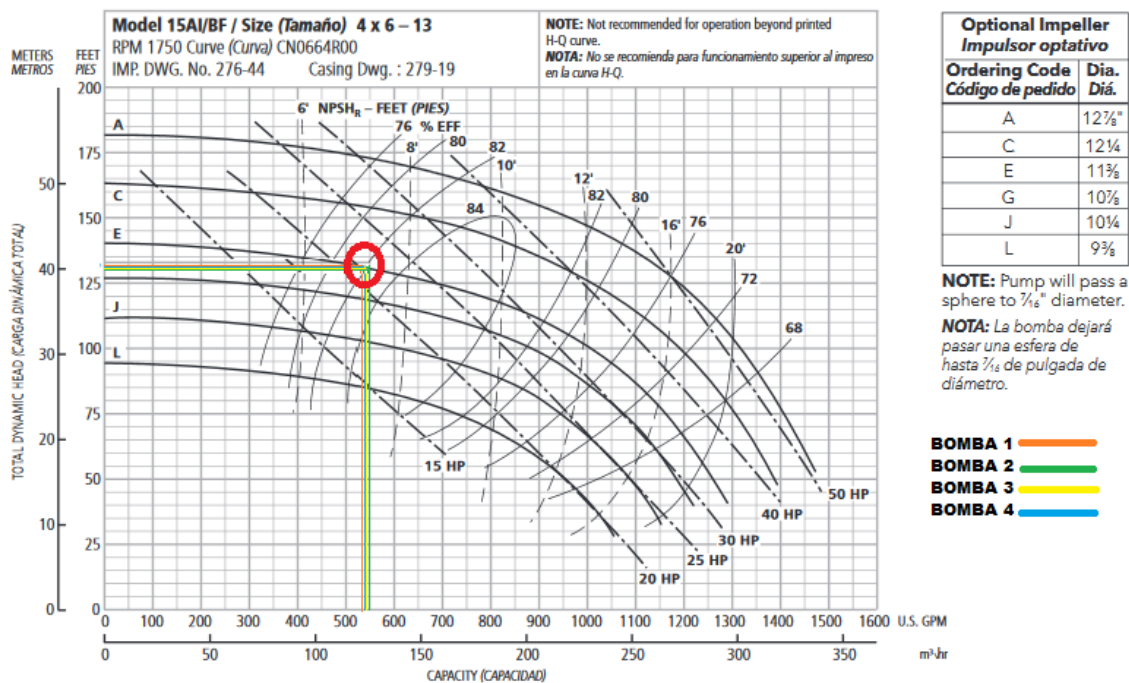


Figura 32. Punto de operación real de las 4 bombas de 30 HP
 Fuente: Autor

Los datos leídos en las curvas características de la bomba Goulds de 30 HP se muestran en la Tabla 26.

Tabla 26. Características de operación bombas 30 HP.

BOMBA	Caudal Bombeado (Aforado)		Carga Dinámica (Lectura Catálogo Bomba)	Eficiencia (Lectura Catálogo Bomba)	Impulsor
	Qb	Qb	Hb	n	
	l/s	GPM	m	%	
N°1	33.30	527.82	39.47	82	11 3/8
N°2	34.40	545.25	39.93	82	11 3/8
N°3	34.10	540.50	39.78	82	11 3/8
N°4	33.80	535.74	39.62	82	11 3/8

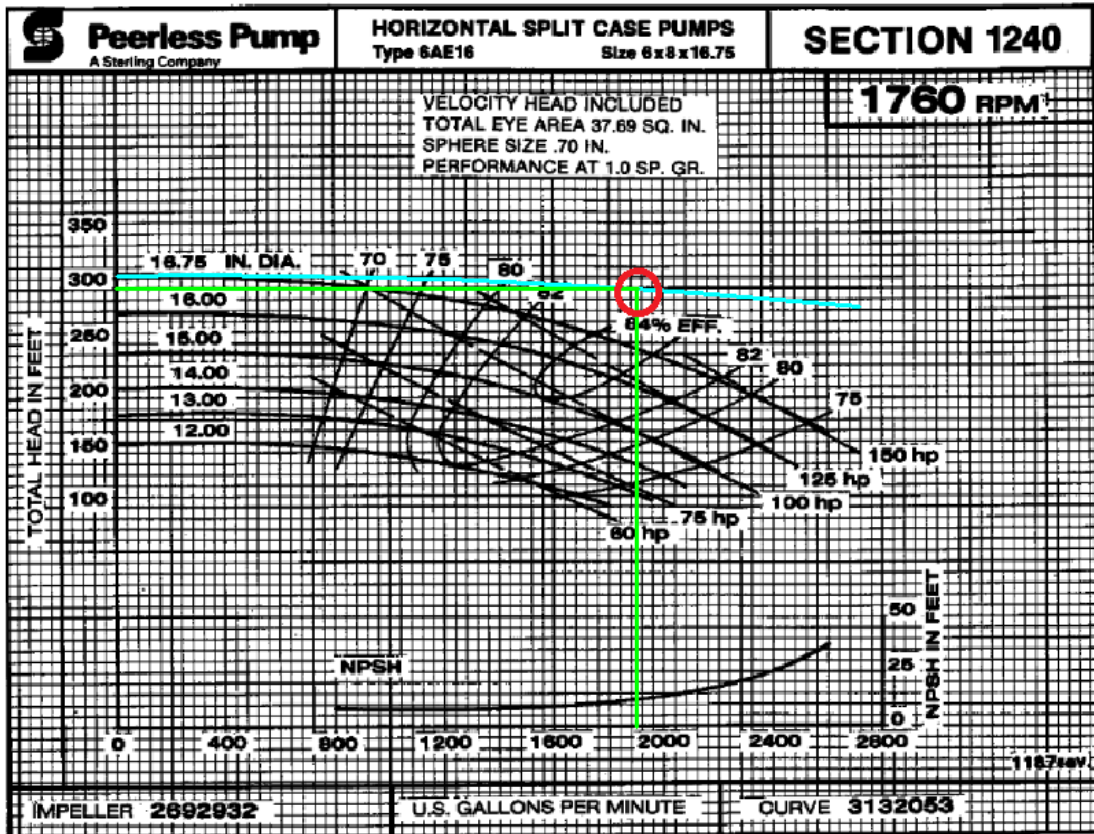
Identificadas las características de operación se puede establecer que los equipos se encuentran funcionando con un caudal reducido en relación al que podrían bombear, además, se identificó una excesiva carga dinámica respecto a la requerida como se puede observar en la Tabla 27, en la inspección de la estación de bombeo se confirmó que el caudal se lo regula mediante estrangulación en la descarga.

Tabla 27. Exceso carga de Impulsión en Estación de Bombeo N°1.

BOMBA	Caudal Bombeado (Aforado)		Carga Dinámica (Lectura Catálogo Bomba)	Altura manométrica/Carga Dinámica(Calculada)	Exceso Carga
	Qb	Qb	Hb_lect	Hb_calc	$\chi_{carga1} = Hb_lect - Hb_calc$
	l/s	GPM	m	m	m
N°1	33.30	527.82	39.47	25.36	14.11
N°2	34.40	545.25	39.93	25.66	14.27
N°3	34.10	540.50	39.78	25.61	14.17
N°4	33.80	535.74	39.62	25.52	14.10

3.6.5.2. Estación de Bombeo N°2

En la Estación de Bombeo N°2 se encuentran funcionando dos bombas de 125 HP, en la Figura 33 se encuentra graficada la curva para dos bombas dispuestas en paralelo sobre la original obtenida de catálogos, además, se puede observar el punto de funcionamiento actual del sistema.



CURVA 2 BOMBAS EN PARALELO —————
 PUNTO DE OPERACIÓN ○

Figura 33. Punto de operación real de las 2 bombas de 125 HP.

Las características de operación de la configuración en paralelo de las dos bombas en paralelo se las muestra en la Tabla 28.

Tabla 28. Características de operación bombas 125 HP

BOMBA	Caudal Bombeado (Aforado)		Carga Dinámica (Lectura Catálogo Bomba)	Eficiencia (Lectura Catálogo Bomba)	Impulsor
	Qb	Qb	Hb	n	
	l/s	GPM	m	%	
N°1-N°2	120.00	1902	86.26	72	16 3/4

Al igual que en la Estación N°1 se identificó un exceso de carga aplicada al líquido respecto a la altura manométrica requerida (ver Tabla 29), en la fase de inspección de la estación de bombeo se verificó que el caudal lo regulan mediante estrangulación en la succión y en la descarga.

Tabla 29. Exceso carga de Impulsión en Estación de Bombeo N°2

BOMBA	Caudal Bombeado (Aforado)		Carga Dinámica (Lectura Catálogo Bomba)	Altura manométrica/Carga Dinámica(Calculada)	Exceso Carga
	Qb	Qb	Hb_lect	Hb_calc	$\chi_{carga1} = Hb_lect - Hb_calc$
	l/s	GPM	m	m	m
N°1-N°2	120.00	1902	86.26	59.65	26.61

3.7. Indicadores de eficiencia

De los resultados del estudio de eficiencia, descritos en los capítulos anteriores, los indicadores obtenidos se muestran en la Tabla 30.

Tabla 30. Indicadores de eficiencia energética del Sistema Quinindé.

INDICADOR	UNIDAD	VALOR ACTUAL
Índice energético IE-ESTACIÓN N°1	kWh/m ³	0.180
Índice energético IE-ESTACIÓN N°2	kWh/m ³	0.382
Indicador ERSAR ESTACIÓN N°1	kWh/(m ³ x 100m)	0.711
Indicador ERSAR ESTACIÓN N°2	kWh/(m ³ x 100m)	0.640
Indicador GPX ESTACIÓN N°1	Adimensional	31.507
Indicador GPX ESTACIÓN N°2	Adimensional	75.652
Costo promedio de Energía CPE	\$/kWh	0.063
Índice de Eficiencia Física IEF	%	61.960
Dotación promedio por habitante	l/hab/día	323.000

Los indicadores obtenidos nos señalan que existen importantes oportunidades de ahorro de energía que permitirán disminuir los costos de operación del sistema de abastecimiento Quinindé. Una vez establecidas las posibles alternativas para el mejoramiento de eficiencia energética se realizará una comparación entre valores actuales de los indicadores con los que se obtendrían con la implementación de las alternativas.

3.8. Alternativas para el mejoramiento de la eficiencia energética del sistema de abastecimiento Quinindé

Identificadas las ineficiencias del sistema de abastecimiento y determinados los indicadores se plantearán alternativas que pretendan mejorar la eficiencia energética del sistema y por consiguiente reducir los costos operacionales.

3.8.1. Alternativas de mejoría para la Estación de Bombeo N°1

Alternativa N°1

Como se indicó anteriormente, en los cuatro equipos de bombeo se encuentra regulado el caudal mediante estrangulación. Como alternativa para mejorar la eficiencia energética se propone desplazar el punto de funcionamiento de las bombas, abrir un poco más la válvula de regulación para permitir bombear más agua (42 l/s por cada bomba), para que solo funcionen tres equipos al mismo tiempo. El caudal de bombeo calculado en el apartado 3.5.2 es de 125 l/s, con tres bombas en funcionamiento se consigue elevar el caudal señalado (Q_b). Cabe mencionar que esta actividad no implicaría riesgo de sobrecarga al motor instalado en la actualidad de 30 HP, pero se tendría que sustituir el tramo de tubería de $\phi 110$ mm (18 m) por una de $\phi 160$ mm (incluyendo accesorios y válvulas) por tener una velocidad de flujo excesivo con el nuevo caudal de bombeo. A continuación se puede observar el nuevo punto de funcionamiento para las tres bombas en la Figura 34. No existe un registro exacto del tiempo en operación de las bombas, pero en indagaciones informales se pudo conocer que las bombas tienen una edad de cinco años y no presentan problemas frecuentes en su operación, por tal motivo, la presente alternativa intenta aprovechar al máximo los equipos e infraestructura existente.

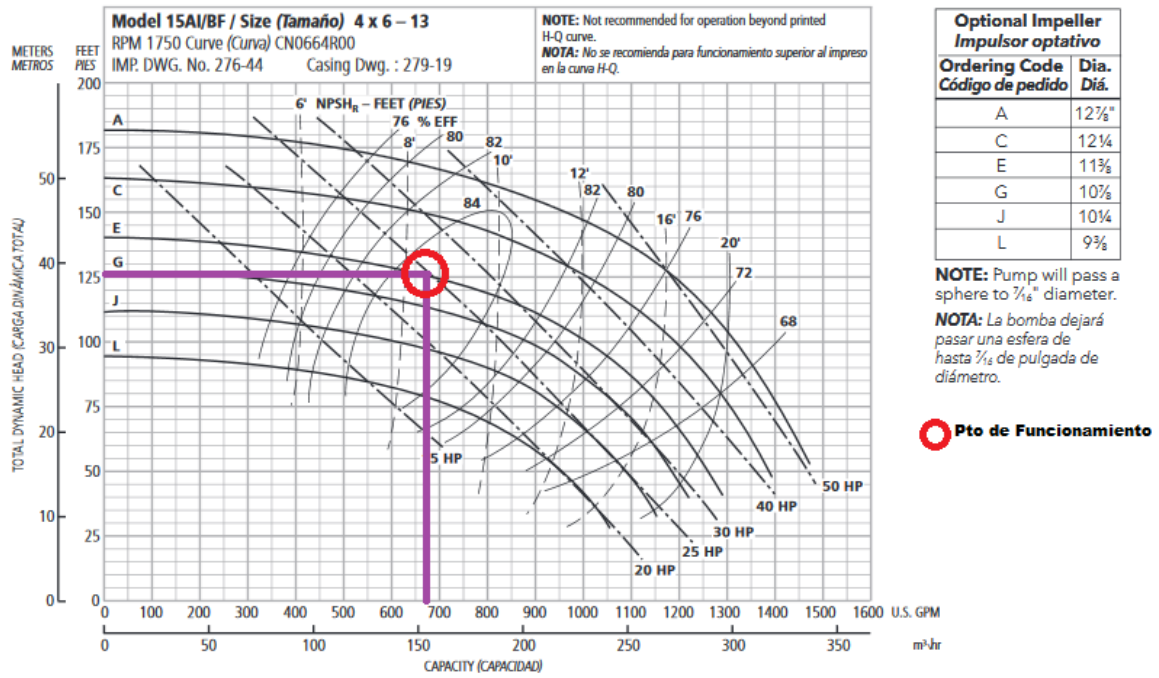


Figura 34. Punto de operación de las 3 bombas de 30 HP (Alternativa A).

En la Tabla 31 se puede observar las características del nuevo punto de operación de las tres bombas de 30 HP.

Tabla 31. Características de operación bombas de 30 HP (Alternativa A)

BOMBA	Caudal Bombeado (Aforado)		Carga Dinámica (Lectura Catálogo Bomba)	Eficiencia (Lectura Catálogo Bomba)	Impulsor
	Qb	Qb	Hb	n	
	l/s	GPM	m	%	
N°1	42.00	665.72	38.10	84	11 3/8
N°2	42.00	665.72	38.10	84	11 3/8
N°3	42.00	665.72	38.10	84	11 3/8

Alternativa N°2

Como segunda alternativa para reducir el consumo energético en la Estación N°1 de bombeo se propone efectuar el recorte del impulsor a un diámetro 10.60 pulgadas, con el objetivo de aumentar el caudal de bombeo a 63.0 l/s. Este procedimiento permitiría el funcionamiento de solo dos bombas al mismo tiempo sin necesidad de sustituir los motores de 30 HP, asegurando una carga dinámica adecuada que permita la llegada del líquido al sedimentador. Además del recorte del impulsor se necesitaría sustituir completamente la tubería instalada de ϕ 160 mm y ϕ 110 mm por una de ϕ 200 mm (incluyendo accesorios y válvulas), ya que con el nuevo caudal de bombeo y las tuberías instaladas en la actualidad se tendrían velocidades de flujo no recomendadas. En la Figura 35 se puede observar el punto de funcionamiento de las 2 bombas con recorte de impulsor.

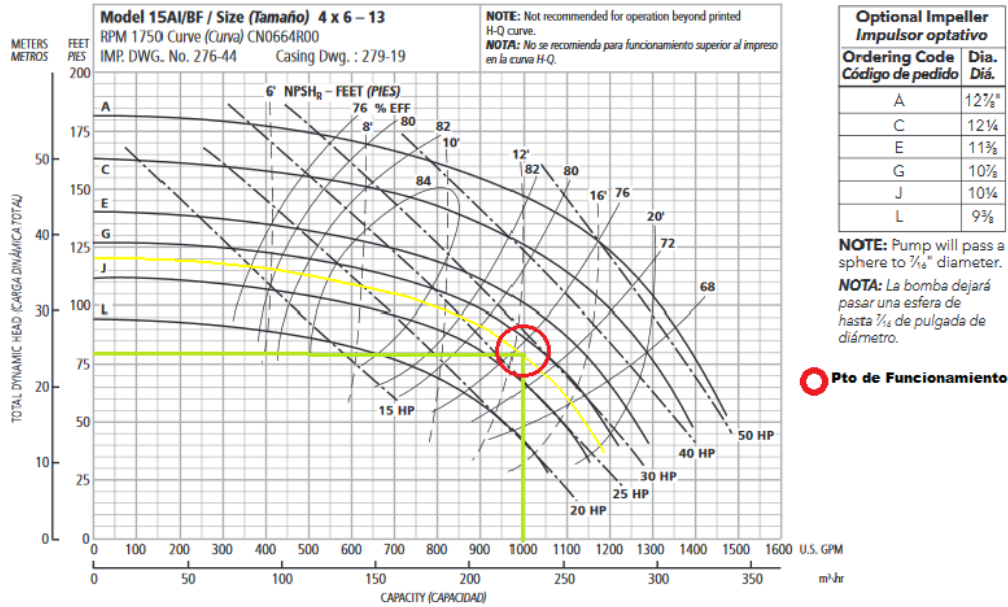


Figura 35. Punto de operación de las 2 bombas de 30 HP (Alternativa B).

Las características de operación con la implementación de la alternativa 2 se indican en la Tabla 32.

Tabla 32. Características de operación bombas de 30 HP (Alternativa B)

BOMBA	Caudal Bombeado (Aforado)		Carga Dinámica (Lectura Catálogo Bomba)	Eficiencia (Lectura Catálogo Bomba)	Impulsor
	Qb	Qb	Hb	n	
	l/s	GPM	m	%	
N°1	63.00	998.57	24.40	76	10 3/5
N°2	63.00	998.57	24.40	76	10 3/5

Es importante mencionar que con la sustitución de la tubería de $\phi 110$ mm por la de $\phi 200$ mm, las pérdidas de carga disminuyen y por consiguiente la altura manométrica. El nuevo valor de Hb es de 23.50 m.

Alternativa C

La tercera alternativa está basada en la implementación de un mecanismo eléctrico que logre modificar la velocidad de rotación del impulsor con el objetivo de modificar la curva original caudal vs altura de las bombas instaladas. Lo mencionado anteriormente permitiría disminuir el consumo energético tomando en cuenta que actualmente la regulación de caudal se efectúa por estrangulación que se traduce a un exceso de carga dinámica a la llegada de sedimentadores. Se propone la instalación en los 4 equipos de bombeo de Variadores de velocidad, con una potencia asignada de 30 HP integrado por módulo de poder, unidad de control y panel operador. Por otro lado, se necesitaría cambiar la totalidad de tubería de $\phi 110$

mm (18 m) por una de $\phi 160$ mm (Incluyendo accesorios y válvulas). Es importante indicar que esta opción establece un funcionamiento hipotético de 3 bombas al mismo tiempo, se decidió esto por tener una eficiencia del 84% en el nuevo punto de operación como se indica en la Figura 36. El variador de velocidad modificará la velocidad de 1750 RPM a 1450 RPM, en la Figura 36 se puede observar la curva Q vs H a la nueva velocidad.

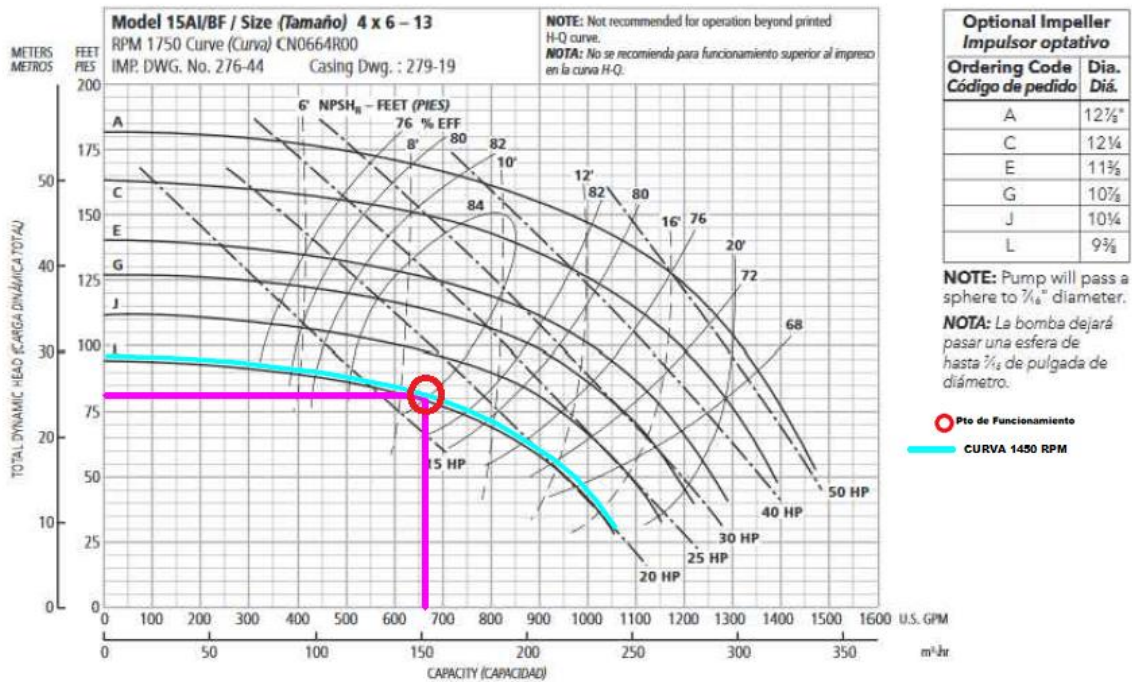


Figura 36. Punto de operación de las 3 bombas de 30 HP (Alternativa C).

En la Tabla 33 se muestran las características de operación de las 3 bombas con variación en la velocidad.

Tabla 33. Características de operación bombas de 30 HP (Alternativa C)

BOMBA	Caudal Bombeado (Aforado)		Carga Dinámica (Lectura Catálogo Bomba)	Eficiencia (Lectura Catálogo Bomba)	VELOCIDAD RPM
	Qb	Qb	Hb	n	
	l/s	GPM	m	%	
N°1	42.00	665.72	24.50	84	1450
N°2	42.00	665.72	24.50	84	1450
N°3	42.00	665.72	24.50	84	1450

Cabe mencionar que con la sustitución de tubería de $\phi 110$ mm por la de $\phi 160$ mm, las pérdidas de carga disminuyen y por consiguiente la altura manométrica. El nuevo valor de Hb es de 24.10 m.

3.8.2. Alternativa de mejoría para la Estación de Bombeo N°2

Alternativa A

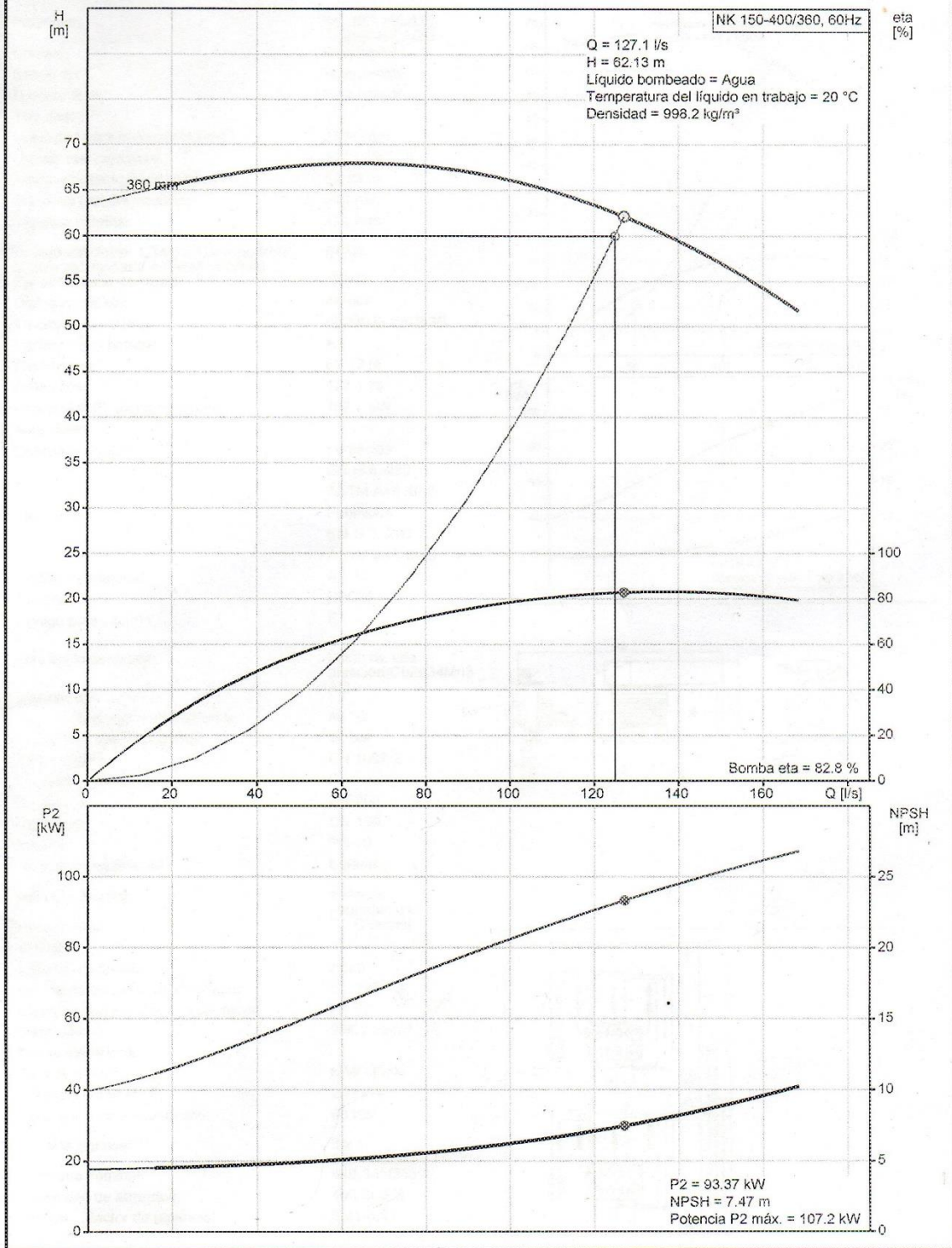
En la estación de bombeo N°2 se identificaron valores muy bajos de eficiencia hidráulica y electromecánica, además, operan motores sobredimensionados. En cuanto al tiempo de funcionamiento de las bombas no existe información validada, pero en la inspección y entrevistas a operadores se tiene un indicio de un tiempo de 12-14 años de edad de los equipos, por otra parte, se pudo indagar que las bombas presentan constantes problemas en su operación que se traducen en interrupción del servicio de agua potable a la ciudad. Por todo lo antes mencionado, la presente alternativa propone una sustitución de los equipos por un solo conjunto Bomba-Motor de una potencia de 150 HP, a continuación en la Tabla 34 se indica las características del equipo nuevo.

Tabla 34. Características Equipos de Bombeo 150 HP

BOMBA GRUNDFOS	
Fabricante:	GRUNDFOS
Producto:	NK 150-400/438 A1-F-A-E-BQE
Material:	BF - Hierro con accesorios de bronce
Diámetro Nominal del rotor:	400 mm.
Diámetro del rotor:	360 mm.
Elemento motor:	60 Hz - 1785
Potencia nominal:	150 HP
MOTOR SIMOTIC	
Fabricante:	SIMOTIC
Producto:	1LE0142-2DB83-3AA4-Z
Potencia nominal:	150 HP
Nivel de Eficiencia:	IE2-Alta eficiencia

En la Figura 37 que se muestra a continuación se puede identificar el punto de operación y las curva características del equipo de bombeo de 150 HP para un caudal de 125 l/s.

NK 150-400/438 A1-F-A-E-BAQE 60 Hz



Impresión del WinCAPS Grundfos [2018.04.045]

4/8

Figura 37. Punto de operación y curvas características Bomba GRUNDFOS 150 HP
Fuente: Catálogos GRUNDFOS

3.9. Análisis económico de las alternativas

3.9.1. Estimación de Ahorros

Los posibles ahorros de facturación de energía eléctrica fueron calculados en función de la disminución del consumo de energía a partir de la disminución de la potencia consumida en el hipotético caso de implementación de las alternativas de mejoría explicados en el apartado 3.8.

Estación de Bombeo N°1

- **Alternativa A**

En esta alternativa se determinó el ahorro (ver Tabla 35) en relación a la disminución de potencia consumida al proponer un funcionamiento de solo tres conjuntos Bomba-Motor de 30 HP (Potencia Nominal). La potencia eléctrica que se consumiría con esta alternativa sería de 60.0 kW.

Tabla 35. Estimación de ahorro de la Estación N°1-Alternativa A

	ESTACIÓN N°1-ALTERNATIVA A			
	Unidad	Condición esperada	Condición actual	
Índice energético	kWh/m3	0.147	0.180	
Volúmen anual de bombeo	m3	3942000.000	4276281.600	Ahorro
Energía consumida anualmente	kWh	578020.472	770693.963	192673.491
Costo promedio energía	USD	0.063	0.063	Ahorro
COSTOS	USD	36653.217	48870.957	12217.739

- **Alternativa B**

El ahorro para esta alternativa se muestra en la Tabla 36 y su estimación está basada en la disminución de potencia al proponer un funcionamiento de solo dos conjuntos Bomba-Motor de 30 HP (Potencia Nominal). La potencia eléctrica que se consumiría con la implementación de esta alternativa sería de 45.5 kW.

Tabla 36. Estimación de ahorro de la Estación N°1-Alternativa B

	ESTACIÓN N°1-ALTERNATIVA B			
	Unidad	Condición esperada	Condición actual	
Índice energético	kWh/m3	0.101	0.180	
Volúmen anual de bombeo	m3	3942000.000	4276281.600	Ahorro
Energía consumida anualmente	kWh	398323.119	770693.963	372370.844
Costo promedio energía	USD	0.063	0.063	Ahorro
COSTOS	USD	25258.316	48870.957	23612.640

- **Alternativa C**

Para esta alternativa se consideró la estimación de ahorro (ver Tabla 37) basados el funcionamiento de solo tres conjuntos Bomba-Motor de 30 HP en conjunto con un variador de velocidad. La potencia eléctrica que se consumiría con esta alternativa sería de 40.6 kW.

Tabla 37. Estimación de ahorro de la Estación N°1-Alternativa C

	ESTACIÓN N°1-ALTERNATIVA C			
	Unidad	Condición esperada	Condición actual	
Índice energético	kWh/m3	0.090	0.180	
Volúmen anual de bombeo	m3	3942000.000	4276281.600	Ahorro
Energía consumida anualmente	kWh	355226.056	770693.963	415467.907
Costo promedio energía	USD	0.063	0.063	Ahorro
COSTOS	USD	22525.461	48870.957	26345.495

Estación de Bombeo N°2

- **Alternativa A**

El ahorro para la propuesta de la estación de bombeo N°2 (ver Tabla 38) se determinó mediante la diferencia entre la predicción del consumo energético del conjunto Bomba-Motor de 150 HP (Potencia Nominal) y el consumo energético actual de los dos conjuntos Bomba-Motor de 125 HP (Potencia Nominal). La hipotética potencia eléctrica de consumo sería de 99.7 kW.

Tabla 38. Estimación de ahorro de la Estación N°2-Alternativa A

	ESTACIÓN N°2-ALTERNATIVA A			
	Unidad	Condición esperada	Condición actual	
Índice energético	kWh/m3	0.222	0.382	
Volúmen anual de bombeo	m3	3942000.000	3784320.000	Ahorro
Energía consumida anualmente	kWh	873329.268	1445051.180	571721.912
Costo promedio energía	USD	0.063	0.063	Ahorro
COSTOS	USD	55379.228	91633.043	36253.815

3.9.2. Valor presente neto (VPN) y Tasa interna de retorno (TIR) de las alternativas de mejoría

Para el cálculo del VPN se utilizó una tasa de interés del 10% y un tiempo de tres años, considerando los ahorros anuales calculados en la sección 3.9.1 como los ingresos del proyecto y los egresos corresponden al valor de la inversión cotizada.

Estación de Bombeo N°1

- **Alternativa A**

En la inversión cotizada para esta alternativa se incluye el costo del suministro e instalación de tubería de 160 mm, válvulas y accesorios por un valor de USD 1035.520 para una bomba, y USD 4142.080 para cuatro bombas.

Tabla 39. VPN y TIR de la Estación N°1-Alternativa A.

		Año 0	Año 1	Año 2	Año 3
Ingresos	USD	0.000	12217.739	12217.739	12217.739
Egresos	USD	4142.080	0.000	0.000	0.000
Flujo Neto	USD	-4142.080	12217.739	12217.739	12217.739
VPN	USD	26241.629			
TIR	%	290%			

Se utilizó herramientas financieras y se obtuvo un VPN de USD 26241.629 con una TIR del 290% (ver Tabla 39).

- **Alternativa B**

En la segunda alternativa se incluye en la inversión el costo del recorte del impulsor, suministro e instalación de tubería de 200 mm en toda la longitud de succión e impulsión (91m), válvulas y accesorios por un valor de USD 2646.740 para una bomba, y USD 10586.960 para cuatro bombas.

Tabla 40. VPN y TIR de la Estación N°1-Alternativa B.

		Año 0	Año 1	Año 2	Año 3
Ingresos	USD	0.000	23612.640	23612.640	23612.640
Egresos	USD	10586.960	0.000	0.000	0.000
Flujo Neto	USD	-10586.960	23612.640	23612.640	23612.640
VPN	USD	48134.182			
TIR	%	216%			

En la Tabla 40 se muestran los valores del VPN de USD 48134.182 y una TIR de 216% para la segunda alternativa.

- **Alternativa C**

En la inversión cotizada para esta alternativa se incluye el costo del suministro e instalación de tubería de 160 mm (incluido válvulas y accesorios) y los variadores de velocidad en las cuatro bombas por un valor de USD 30428.080.

Tabla 41. VPN y TIR de la Estación N°1-Alternativa C.

		Año 0	Año 1	Año 2	Año 3
Ingresos	USD	0.000	26345.495	26345.495	26345.495
Egresos	USD	30428.080	0.000	0.000	0.000
Flujo Neto	USD	-30428.080	26345.495	26345.495	26345.495
VPN	USD	35089.267			
TIR	%	68%			

Esta alternativa presenta un VPN de USD 35089.267 y TIR de 68% como se muestra en la Tabla 41.

Estación de Bombeo N°2

- **Alternativa A**

En la alternativa de mejoría A, el importe correspondiente a la inversión está compuesto por el suministro e instalación del Conjunto Motor-Bomba de 150 HP, válvulas y accesorios por un valor de USD 18851.890

Tabla 42. VPN y TIR de la Estación N°2-Alternativa A.

		Año 0	Año 1	Año 2	Año 3
Ingresos	USD	0.000	36253.815	36253.815	36253.815
Egresos	USD	18851.890	0.000	0.000	0.000
Flujo Neto	USD	-18851.890	36253.815	36253.815	36253.815
VPN	USD	71305.983			
TIR	%	184%			

Para esta alternativa se calculó un VPN de USD 71305.983 y una TIR de 184%.(ver Tabla 42).

3.9.3. Costo de ciclo de vida de las alternativas de mejoría

Estación de Bombeo N°1

Para la estimación del costo de ciclo de vida (ver Tabla 43) de las alternativas de mejoría en la Estación N°1 se asume que el proyecto consiste en una optimización de los equipos en funcionamiento, por tal motivo, se le asigna un tiempo de vida de 10 años para el cálculo. Además, no se contemplan los costos de desmantelamiento y disposición ambiental. Los costos de operación, mantenimiento y reparación fueron asumidos en función del tamaño de las bombas y complejidad de su operación.

Tabla 43. Costo del ciclo de vida de las alternativas de la Estación de bombeo N°1

COSTOS	ALTERNATIVA A	ALTERNATIVA B	ALTERNATIVA C
COSTO INICIAL Y COSTO DE INSTALACIÓN (USD)	4142.080	10586.960	30428.080
COSTO ENERGÉTICO (USD)	36653.217	25258.316	22525.461
COSTO DE OPERACIÓN (USD)	4200.000	4200.000	4200.000
COSTO ANUAL DE MANTENIMIENTO DE RUTINA (USD)	1200.000	1200.000	2000.000
COSTO DE REPARACIÓN CADA SEGUNDO AÑO (USD)	4000.000	4000.000	6000.000
TIEMPO DE VIDA (AÑOS)	10	10	10
COSTO DEL CICLO DE VIDA-LCC (USD)	440674.254	333170.122	341682.694

Estación de Bombeo N°2

La alternativa de mejoría para esta estación corresponde a una sustitución de equipos, por lo tanto, se adopta un tiempo de vida de 15 años para la estimación del costo de ciclo de vida (ver Tabla 44). No se contemplan los costos de desmantelamiento y disposición ambiental.

Tabla 44. Costo del ciclo de vida de la alternativa de la Estación de bombeo N°2

COSTOS	ALTERNATIVA A
COSTO INICIAL Y COSTO DE INSTALACIÓN (USD)	18851.890
COSTO ENERGÉTICO (USD)	55379.228
COSTO DE OPERACIÓN (USD)	4200.000
COSTO ANUAL DE MANTENIMIENTO DE RUTINA (USD)	800.000
COSTO DE REPARACIÓN CADA SEGUNDO AÑO (USD)	3000.000
TIEMPO DE VIDA (AÑOS)	15
COSTO DEL CICLO DE VIDA-LCC (USD)	936540.310

3.10. Alternativas adoptadas

El objetivo de implementar alternativas de mejoría para las estaciones es de disminuir el consumo de energía eléctrica que se traduce en un menor pago de valores por este servicio. A partir de esto, las alternativas a seleccionar serán las que nos presenten una mayor rentabilidad por la inversión y un menor coste de ciclo de vida, en la Tabla 45 y Tabla 46 se muestran los valores de VPN, TIR Y LCC de las alternativas de mejoría de las dos estaciones de bombeo.

Tabla 45. VPN, TIR y LCC de las alternativas de la Estación de bombeo N°1

HERRAMIENTA	ALTERNATIVA A	ALTERNATIVA B	ALTERNATIVA C
Valor presente neto-VPN (USD)	26241.629	48134.182	35089.267
Tasa interna de retorno-TIR (%)	290%	216%	68%
Coste de ciclo de vida-LCC (USD)	440674.254	333170.122	341682.694

Tabla 46. VPN, TIR y LCC de la alternativa de la Estación de bombeo N°2

ESTACIÓN DE BOMBEO N°2	
HERRAMIENTA	ALTERNATIVA A
Valor presente neto-VPN (USD)	71305.983
Tasa interna de retorno-TIR (%)	184%
Coste de ciclo de vida-LCC (USD)	936540.310

De acuerdo con los datos mostrados anteriormente, para la Estación N°1 se adopta la alternativa B, que tiene un valor presente neto (VPN) de USD 48134.182 mayor que las otras alternativas, por otro lado, el costo de ciclo de vida de la alternativa B presenta un valor inferior a las otras opciones de mejoría. El análisis económico de la alternativa de mejoría A para la estación N°2 muestra valores altos de VPN (USD 71305.983) y TIR (184%), sugiriendo una alta rentabilidad por el dinero invertido. En definitiva, las alternativas de mejoría adoptadas son viables y rentables para implementar en las estaciones de bombeo.

Los valores globales de consumo de energía eléctrica y ahorro que se obtendrían con la implementación de las alternativas elegidas en las dos estaciones de bombeo se muestran en la Tabla 47.

Tabla 47. Ahorro total anual con la implementación de alternativas.

	Unidad	Condición esperada	Condición actual	
Potencia anual consumida	kWh	1271652.387	2215745.143	
Costo promedio energía	USD	0.063	0.063	Ahorro Total
COSTOS	USD	80637.544	140504.000	59866.456

La condición esperada presenta un consumo de energía eléctrica de 1271652.387 kWh al año y un ahorro anual total de USD 59866.456, cubriendo sobradamente al primer año el valor de la inversión inicial que asciende a USD 29438.850.

Las nuevas condiciones de funcionamiento generan una variación en los indicadores de eficiencia, en la Tabla 48 se muestra esta variación.

Tabla 48. Variación indicadores de eficiencia.

INDICADOR	UNIDAD	VALOR ACTUAL	VALOR ESPERADO
Índice energético IE-ESTACIÓN 1	kWh/m ³	0.180	0.101
Índice energético IE-ESTACIÓN 2	kWh/m ³	0.382	0.222
Indicador ERSAR ESTACIÓN N°1	kWh/(m ³ x 100m)	0.711	0.412
Indicador ERSAR ESTACIÓN N°2	kWh/(m ³ x 100m)	0.640	0.369
Indicador GPX ESTACIÓN N°1	Adimensional	31.507	53.743
Indicador GPX ESTACIÓN N°2	Adimensional	39.089	63.955
Costo promedio de Energía CPE	\$/kWh	0.063	0.063
Índice de Eficiencia Física IEF	%	61.960	61.960
Dotación promedio por habitante	l/hab/día	323.000	323.000

Los valores del índice energético, indicador ERSAR e indicador GPX variaron sustancialmente para las dos estaciones, esta información indica una mejoría en la eficiencia energética, la condición esperada permite satisfacer la demanda actual de agua potable de la ciudad de Quinindé utilizando menor cantidad de recursos.

***Eficiencia energética en el sistema de
abastecimiento de agua de la ciudad de
Quinindé, Ecuador***

CONCLUSIONES

Capítulo 4

4. Conclusiones

El presente estudio de eficiencia energética del sistema de agua potable de la ciudad de Quindé ha cumplido con los objetivos trazados. La correcta metodología desarrollada fue fundamental y la evaluación de eficiencia física, hidráulica y energética fueron determinantes en la propuesta y posterior elección de las alternativas de mejoría de eficiencia. Estratégicamente, el procedimiento realizado en el presente trabajo puede ser fácilmente aplicado a otros sistemas de abastecimientos del país con miras a obtener ahorros en la operación de los sistemas.

En el sistema de abastecimiento Quindé existen síntomas que indican deficiencias en la prestación del servicio, que ante la falta de información, proponer opciones de mejoría se vuelve complicado. De acuerdo a lo anteriormente mencionado, es necesario desarrollar un programa de generación y procesamiento de datos que permitan la evaluación de un amplio conjunto de indicadores gestión. Entre los indicadores de eficiencia analizados, se determinó que el porcentaje de agua no facturada (Índice de eficiencia física -IEF) presenta valores no aceptables (62%), que deberán abordarse con más detenimiento en estudios posteriores. Además, en relación a los resultados de eficiencia física, con una acertada gestión de la presión de servicio, y delimitación de zonas de medición y control (ZMC), se obtendrían resultados satisfactorios.

Se identificó que en las cuatro bombas de la Estación de Bombeo N°1 se regula el caudal por medio de estrangulación en la descarga, en la Estación de Bombeo N°2 se regula el caudal en las dos bombas por estrangulación en la succión y en la descarga. Dicho lo anterior, se determinó que el procedimiento de estrangular el paso del agua no produce ahorro energético, las bombas no trabajan en la zona de eficiencia óptima, se disminuye el rendimiento del conjunto bomba-motor y la bomba trabaja siempre a su máxima velocidad, además, la modificación del caudal ocasiona un aumento de carga dinámica a la descarga de las bombas, superior por tanto a la necesaria. En consecuencia, el método de regulación por estrangulación implica que la cantidad de energía usada de forma útil es menor y se derrocha energía, que otro método permitiría usar de forma más racional. En definitiva, queda en evidencia que en las dos estaciones de bombeo los equipos se encuentran sobredimensionados y consumen más energía de la que deberían.

Utilizando herramientas financieras se realizó el análisis económico a las alternativas de mejoría explicadas en la sección 3.8. En la Estación N°1 se adoptó la alternativa B, que consiste en el recorte del impulsor de las bombas y cambio de tuberías (incluyendo válvulas y accesorios), esta opción muestra un valor presente neto (USD 48134.182) mayor que las otras alternativas y un costo de ciclo de vida (USD 333170.122) inferior a las otras alternativas de mejoría. En la Estación N°2, la única alternativa consiste en la sustitución del conjunto bomba-motor (incluyendo válvulas y accesorios), esta opción muestra un valor presente neto de USD 71305.983, una tasa interna de retorno de 184% y un costo de ciclo de vida de USD 936540.310. Es así que, el análisis económico sugiere que la inversión resulta muy oportuna y viable para la EMAPASOSQ-EP, además, es necesario resaltar la rentabilidad del proyecto por la baja inversión y los grandes beneficios.

El modelo de bombeo optimizado y renovado con la implementación de las alternativas seleccionadas, resulta en un importe de USD 80637.544 y ahorro de USD 59866.456 al año. Simultáneamente, se identifica una variación representativa del índice energético (IE), indicador ERSAR e indicador GPX en las dos estaciones de bombeo (ver Tabla 48), que indican una notable mejoría de la eficiencia energética en el sistema de abastecimiento público de la ciudad de Quinindé.

***Eficiencia energética en el sistema de
abastecimiento de agua de la ciudad de
Quinindé, Ecuador***

BIBLIOGRAFÍA

Capítulo 5

5. Bibliografía

- Acosta, A. (2006). *Breve historia económica del Ecuador*. Quito.
- Agrovision. (2018). *AgrovisionPRO*. Obtenido de <http://agrovision.pro/objetivo-6-garantizar-la-disponibilidad-agua-gestion-sostenible-saneamiento-todos/>
- Arocha, S. (1977). *Abastecimientos de Agua. Teoría y diseño*. Caracas: Ediciones Vega.
- Baca, G. (2001). *Evaluación de Proyectos*. Mexico, D.F: McGRAW-HILL.
- Benavides, H. (2010). *Diagnóstico de la sostenibilidad de un abastecimiento de agua e identificación de las propuestas que la mejoren*. Universidad Politécnica de Valencia.
- BOMBAS IDEAL. (2014). *Datos técnicos de Hidráulica.Bombas*. Valencia.
- Castro, M. (2011). *Hacia una matriz energética diversificada en Ecuador*. Quito, Pichincha, Ecuador: CEDA.
- Comisión Nacional del Agua. (2007). *Manual de agua potable,Alcantarillado y Saneamiento.Diseño de Redes de Distribución de Agua Potable*. México: CNA.
- Comisión Nacional del Agua. (2007}). *Manual de agua potable,Alcantarillado y Saneamiento.Diseño, construcción y operación de tanques de regulación para abastecimiento de agua potable*. México: CNA.
- Comisión Nacional del Agua. (2012). *Manual de Incremento de Eficiencia Física, Hidráulica y Energética en Sistemas de Agua Potable*. Mexico, D.F: CNA.
- Consejo Nacional de Electricidad. (2013). *Plan Maestro de Electrificación 2013-2022*. Quito: CONELEC.
- Constante, J. (10 de septiembre de 2016). Importancia de la energía eléctrica en el cambio de la matriz energética en Ecuador. *El telégrafo*, pág. 5.
- De Waziers, B., & Tejeda, J. (2017). Como limpiar la matriz energética de Ecuador. *Infraestructura para el desarrollo*, 2-8.

- ELETROBRÁS. (2005). *Eficiência energética em sistemas de bombeamento. Eficiência energética em sistemas de bombeo*. Rio de Janeiro.
- EUROPUMP. (2001). *Pump Life Cycle Costs: A Guide to LCC Analysis for Pumping System*.
- EX-IEOS. (1992). *Normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes*. Quito.
- GAD-Quinindé. (2015). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial*. Quinindé.
- Gomez, R. d. (2011). *Modelação matemática como ferramenta de gestão e exploração de sistemas de distribuição de água. Modelación matemática como herramienta de gestión y exploración de sistemas de abastecimiento de agua*. Universidad de Coimbra.
- INDUSTRY, G. (2013). Manual de Bombeo. *Grundfos Ind Solut*, 151.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2018). *INEC*. Obtenido de <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/>
- Instituto Oceanográfico de la Armada. (2005). *Derrotero de la costa continental e insular del Ecuador*. Guayaquil: INOCAR.
- Lambert, A., & Hirner, W. (2000). The Blue Pages. Losses from water supply systems: A standard Terminology and Recommended Performance Measures. *IWA*, 1-13.
- Martinez Alzamora, F., Ferrer Polo, José, Bou Soler, Vicente, & Cortés Mahecha, Jorge. (2007). *Sistema de Indicadores para la Gestión de Redes*. Valencia.
- Mayoral, F., & Acosta, A. (2015). *Situación económica y ambiental del Ecuador en un entorno de crisis internacional*. Quito: FLACSO.
- Mayorga, G. (2015). *Estudio de factibilidad de la producción energética en el Ecuador y sus proyecciones con la matriz productiva*. Universidad de Guayaquil.
- Mete, M. R. (2014). Valor actual neto y tasa de retorno: su utilidad como herramientas para el análisis y evaluación de proyectos de inversión. *Fides et Ratio-Revista de Difusión cultural y científica de la Universidad La Salle en Bolivia*, 67-85.
- Olivarez, J. (2013). *Abastecimiento de agua. Problemas Resueltos*. Lima.
- OPS-COSUDE. (2005). *Guías para el diseño de estaciones de bombeo*. Lima.

- Pedraza, A., & Rosas, R. (2011). *Evaluación para Sistemas de Bombeo de Agua* (Primera ed.). Washington, D.C.
- Peñas, A. (11 de noviembre de 2009). Crisis energética en Ecuador por sequía y reducción de venta de Colombia. *Vanguardia.com*, págs. 7-8.
- Redacción El Telégrafo Quito. (2016). *El Telégrafo*. Obtenido de <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/quito/11/el-desperdicio-de-agua-potable-le-cuesta-al-pais-usd-100-millones-al-ano>
- RIVENTA, DERITREND IND. (2011). *Green Pump Index – A methodology to benchmark in situ pump performance (Whitepaper)*. Riventa, Deritrend Industries.
- Rodríguez, P. (2001). *Abastecimiento de Agua*. Civil Geeks.
- Salvador, I., Realp, E., Basteiro, L., Oliete, S., & Pérez-Foguet, A. (2005). *Abastecimiento de Agua y Saneamiento*. Catalunya.
- SENAGUA. (2016). *REGULACIÓN DIR-ARCA-RG-003-2016. Parámetros e indicadores para la evaluación de desempeño y el diagnóstico de la prestación de los servicios públicos de agua potable y/o saneamiento*. Quito.
- SIAPA. (2014). *Criterios y lineamientos técnicos para factibilidades*. Guadalajara.
- Solórzano, R. (2018). *Hydraulics & Pneumatics*. Recuperado el 26 de Marzo de 2018, de <http://www.hydraulicspneumatics.com/blog/principios-ingenieriles-b-sicos-bombas-hidr-ulicas>
- Taípe, F. P. (2011). *El sector eléctrico ecuatoriano en los últimos 20 años*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Quito.
- Trujillo, B., & Urbano, Á. (2012). Método práctico de obtención de potencia y eficiencias de unidades de bombeo en operación. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 33(3), 86-97.
- Vaquiro, J. D. (2013). *Pymes Futuro*. Obtenido de <https://www.pymesfuturo.com/vpneto.htm>.
- Villavicencio, G. (2010). Crisis energética, vida cotidiana y gobernabilidad democrática. *La Tendencia*, 78-81.

- Vinueza, A. (2015). *Análisis económico del cambio de la matriz energética y su incidencia en la economía ecuatoriana, enfocada en la matriz productiva y en plan nacional del buen vivir 2009-2013*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Vivas, E., Leite, P., Valente, L., Tentúgal-Valente, J., Pacheco-Figueiredo, M., Aguilar, N., & Ferreira, R. (2012). *Estudos de otimização energética em estações elevatórias. Uma metodologia para sua seleção*.
- Watergy México A.C. (2012). *Manual para un proyecto de eficiencia energética e hidráulica integral en un sistema de agua y saneamiento*. Mexico,D.F.

***Eficiencia energética en el sistema de
abastecimiento de agua de la ciudad de
Quinindé, Ecuador.***

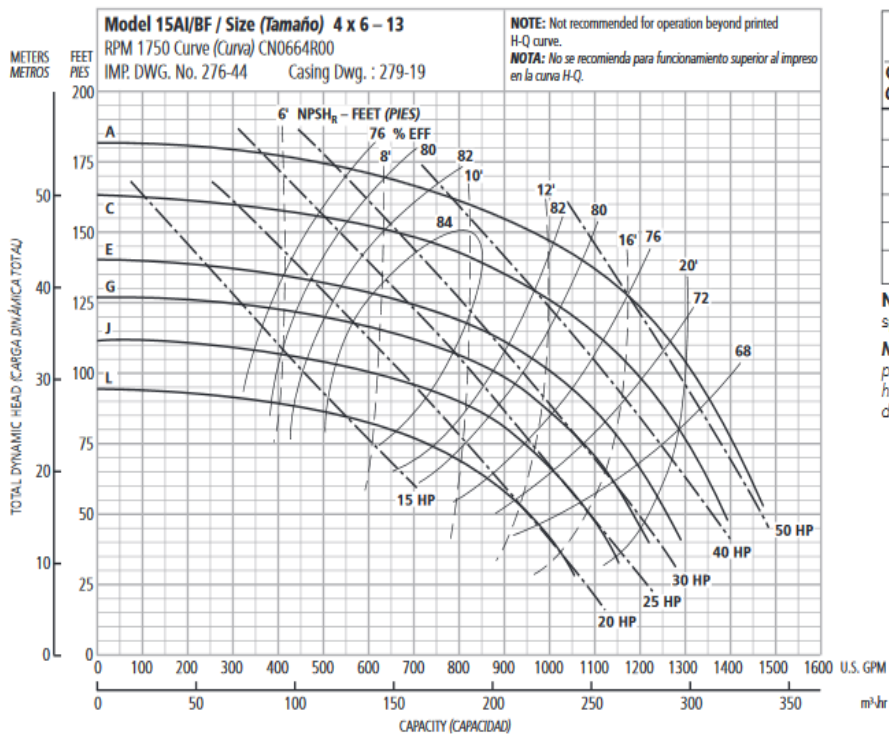
ANEXOS

Capítulo 6

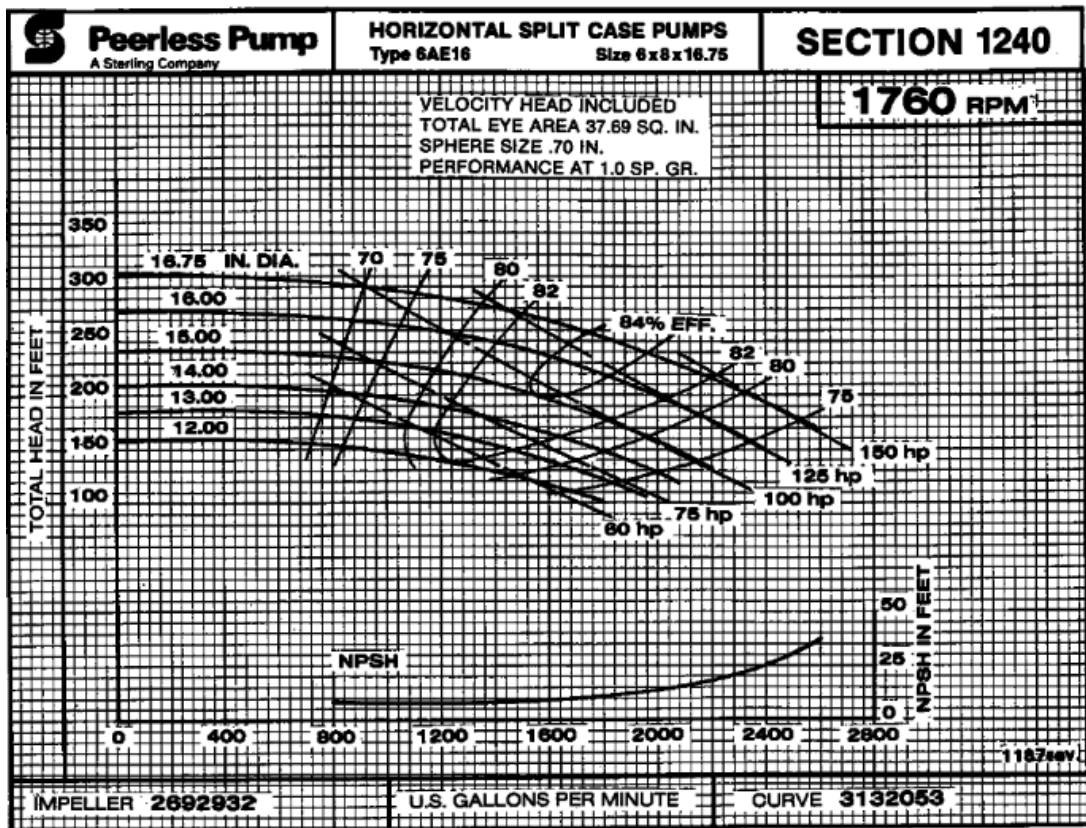
6. Anexos

6.1. Curvas características de las bombas obtenidas de catálogos de fabricantes

- Bombas Estación N°1- Goulds 30 HP- Rotor 11 3/8"

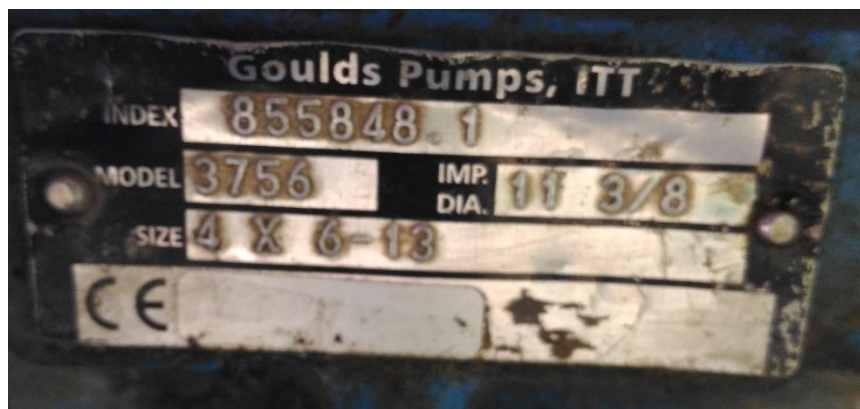


- Bombas Estación N°2- Mark Goulds 125 HP- Rotor 16.75"

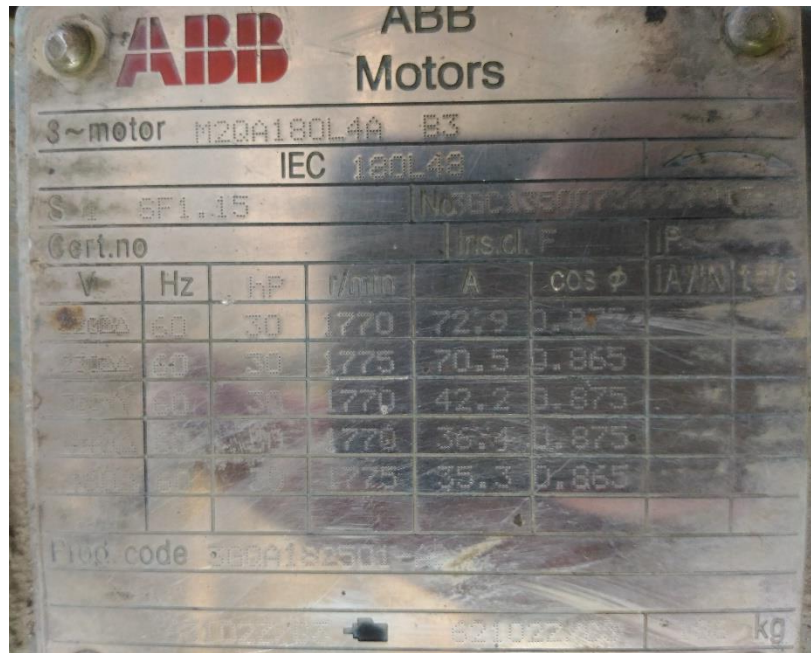


6.2. Placas Motor-Bomba

- Bomba- Estación N°1- Goulds 30 HP



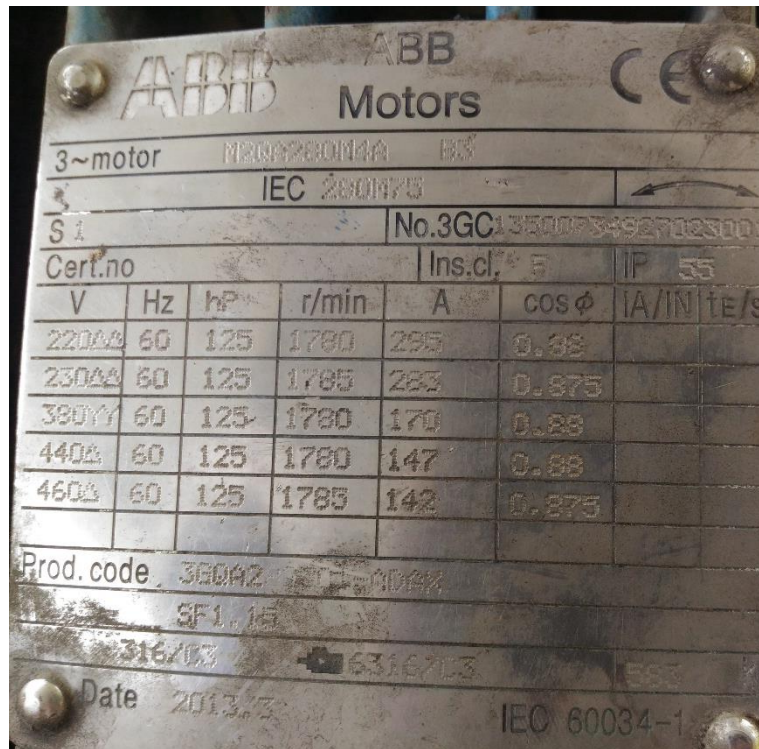
- Motor- Estación N°1- Goulds 30 HP



- Bomba- Estación N°1- Mark Goulds 125 HP

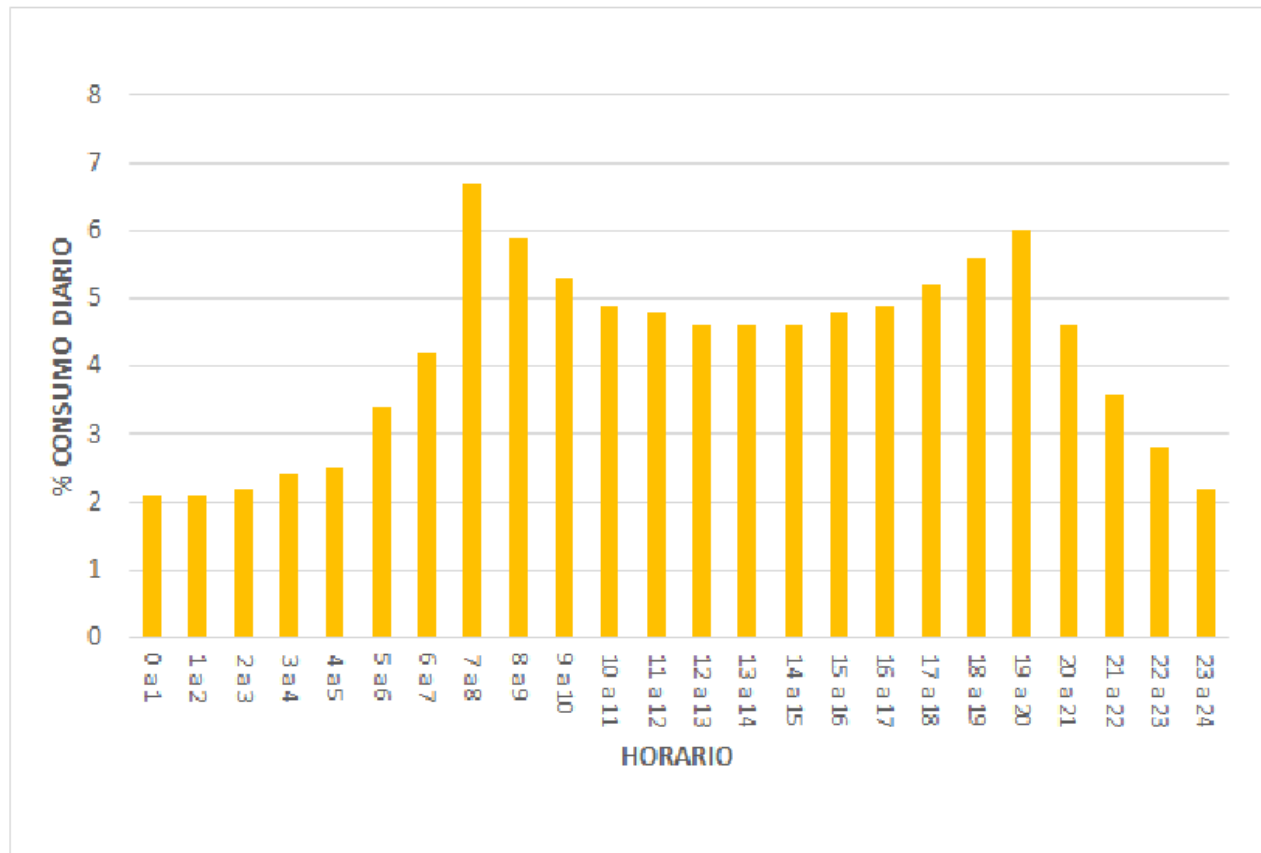


- Motor- Estación N°1- Mark Goulds 125 HP




6.3. Variación horaria de la demanda en ciudades de la costa ecuatoriana.

Horario(hrs)	% Consumo diario
0 a 1	2.1
1 a 2	2.1
2 a 3	2.2
3 a 4	2.4
4 a 5	2.5
5 a 6	3.4
6 a 7	4.2
7 a 8	6.7
8 a 9	5.9
9 a 10	5.3
10 a 11	4.9
11 a 12	4.8
12 a 13	4.6
13 a 14	4.6
14 a 15	4.6
15 a 16	4.8
16 a 17	4.9
17 a 18	5.2
18 a 19	5.6
19 a 20	6
20 a 21	4.6
21 a 22	3.6
22 a 23	2.8
23 a 24	2.2
	100




6.4. Planilla del servicio eléctrico de las Estaciones de bombeo

- Mes: Febrero 2018



Métrica: Km. 5 1/2 Vía a la Costa,
Edificio GRACE Celoso, piso 3
Guayaquil - Ecuador
Telf: (04) 3927 319

Factura No. 092-999-000173888
No Autorización 0603201801096859902000120929990001738880017928413
Ambiente PRODUCCION
Emisión NORMAL
Fecha de autorización 2018/MAR/06



No. de Control: 5434416-32
Valor a pagar: 28.852,02

INFORMACIÓN DEL CONSUMIDOR Fecha de Emisión: 2018/MAR/06 Fecha de Vencimiento: 2018/MAR/22

SUMINISTRO: 54344-6 EMAPASOSQ-EP
Código Único Eléctrico Nacional: 0800054344 Cédula / R.U.C.: 0860049080001

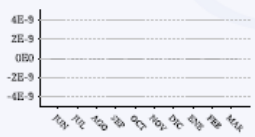
Dirección servicio: AV QUININDE STO DO M898 SL16 AV QUININDE STO DO BARRIO
Plan/Geocódigo: 98-10-599-0035 Tarifa: BOM.AGUA DEM.REG.HORARIO*
Provincia - Cantón - Parroquia: ESMERALDAS - QUININDE - ROSA ZARATE
Dirección notificación: DOMICILIO

1. FACTURACIÓN SERVICIO ELÉCTRICO Y ALUMBRADO PÚBLICO

Medidor: 35925444-GEN-TA Desde: 2018/ENE/31 Hasta: 2018/FEB/28 Días Facturados: 31 Tipo Consumo: TOMADA
Factor de multiplicación: 1 Factor Corrección: 0,980 Factor Potencia: 0,900 Penalización FP: 0,022 Constante: 1

Descripción	LECTURAS			Unid.	Valores
	Actual	Anterior	Consumo		
Eng. Activa	0.00	0.00	0	kWh	33.985.29
08h-18h L-V	83326.00	782.00	82544	kWh	0.00
18h-22h L-V	169874.00	143138.00	26736	kWh	0.00
22h-08h L-V	462079.00	398067.00	64012	kWh	0.00
E. Reactiva	519192.00	437431.00	81761	kWh	0.00
Demanda 18h - 22h (S-D-F)	2799.00	2799.00	280	kWh	0.00
Demanda 22h - 08h (L-V)*	2803.00	2803.00	280	kWh	0.00

Consumos



Demanda facturada



2. VALORES PENDIENTES

CONCEPTO	VALOR
TOTAL VALORES PENDIENTES (2):	0.00

3. RECAUDACIÓN TERCEROS SECTOR ELÉCTRICO (SE)-PLANES FINANCIAMIENTO

ESTOS VALORES NO FORMAN PARTE DE LOS INGRESOS DE LA EMPRESA ELÉCTRICA


CONCEPTO	VALOR
RECAUDACIÓN TERCEROS SECTOR ELÉCTRICO (3):	0.00

1.1 SERVICIO ELÉCTRICO Y SAPG

DEMANDA	1,278.08
PENALBAJO FACT.POTE	246.27
COMERCIALIZACION	1.41
CONSUMO A	5,035.18
CONSUMO B	1,630.90
CONSUMO C	3,136.59
SUBTOTAL SERVICIO ELÉCTRICO (SE):	11328.43
SERV. ALUM. PUB.	1,585.98
SUBTOTAL ALUMBRADO PÚBLICO (AP):	1,585.98
1.2 OTROS PAGOS SERVICIO ELÉCTRICO Y SAPG	
INTERES MORA	40.14
INTERESES ACUMULADOS	6.12
SALDO ANTERIOR	14,758.51
SUBTOTAL OTROS:	14,804.77
TOTAL SERVICIO ELÉCTRICO, SERVICIO ALUMBRADO PÚBLICO Y OTROS (1):	27,719.18

SUBSIDIOS DEL GOBIERNO


Cocoon y calentamiento	0.00
Tarifa de dignidad	0.00
Total	0.00





TOTAL

Servicio Eléctrico-Alumbrado Público (1)	27,719.18
Valores Pendientes (2)	0.00
Recaudación Terceros SE (3)	0.00
TOTAL SECTOR ELÉCTRICO (A) (1+2+3)	27,719.18

Clave acceso



• Mes: Junio 2018

 Matriz: Km. 6 1/2 Vía a la Costa, Edificio GRACE Cajas, piso 3 Guayaquil - Ecuador Telf: 048 3777 319	Factura No.	092-999-000226431	 No. de Control: 5434420-17 Valor a pagar: 14.728,61
	No Autorización	0407201801096859902000120929990002264310023413811	
	Ambiente	PRODUCCION	
	Emisión	NORMAL	
Fecha de autorización	2018/JUL/04	Fecha de Emisión:	2018/JUL/04
Fecha de Vencimiento:	2018/JUL/23		

INFORMACIÓN DEL CONSUMIDOR

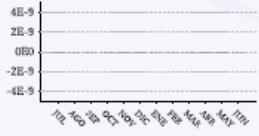
SUMINISTRO: 54344-6 EMAPASOSQ-EP
 Código Único Eléctrico Nacional: 0800054344 Cédula / R.U.C.: 0860049090001

Dirección servicio: AV QUININDE STO DO M098 SL16 AV QUININDE STO DO BARRIO
 Plan/Geocódigo: 98-10-599-0035 Tarifa: BOM.AGUA DEM.REG.HORARIO*
 Provincia - Cantón - Parroquia: ESMERALDAS - QUININDE - ROSA ZARATE
 Dirección notificación: DOMICILIO

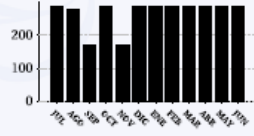
1. FACTURACIÓN SERVICIO ELÉCTRICO Y ALUMBRADO PÚBLICO
 Medidor: 35925444-GEN-TA Desde: 2018/MAY/31 Hasta: 2018/JUN/30 Dias Facturados: 31 Tipo Consumo: TOMADA
 Factor de multiplicación: 1 Factor Corrección: 0,980 Factor Potencia: 0,980 Penalización FP: 0,000 Constante: 1

Descripción	LECTURAS				Unid.	Valores
	Actual	Anterior	Consumo			
Eng. Activa	0.00	0.00	0		kWh	35,533.73
08h-18h L-V	419461.00	834360.00	85081		kWh	0.00
18h-22h L-V	293262.00	261706.00	31556		kWh	0.00
22h-08h L-V	745259.00	674166.00	71093		kWh	0.00
E. Reactiva	688211.00	647251.00	40960		kWh	0.00
Demanda 18h - 22h (S-D-F)	2799.00	2799.00	280		kWh	0.00
Demanda 22h - 08h (L-V)*	2803.00	2803.00	280		kWh	0.00

Consumos



Demanda facturada



1.1 SERVICIO ELÉCTRICO Y SAPG	
DEMANDA	1,278.08
COMERCIALIZACION	1.41
CONSUMO A	5,189.94
CONSUMO B	1,924.92
CONSUMO C	3,483.56
SUBTOTAL SERVICIO ELÉCTRICO (SE):	11,877.91
SERV. ALUM. PUB.	1,662.91
SUBTOTAL ALUMBRADO PÚBLICO (AP):	1,662.91
1.2 OTROS PAGOS SERVICIO ELÉCTRICO Y SAPG	
SUBTOTAL OTROS:	0.00
TOTAL SERVICIO ELÉCTRICO, SERVICIO ALUMBRADO PÚBLICO Y OTROS (1):	13,540.82


2. VALORES PENDIENTES

CONCEPTO	VALOR
TOTAL VALORES PENDIENTES (2):	0.00

3. RECAUDACIÓN TERCEROS SECTOR ELÉCTRICO (SE)-PLANES FINANCIAMIENTO
 ESTOS VALORES NO FORMAN PARTE DE LOS INGRESOS DE LA EMPRESA ELÉCTRICA


CONCEPTO	VALOR
RECAUDACIÓN TERCEROS SECTOR ELÉCTRICO (3):	0.00

lave acceso



SUBSIDIOS DEL GOBIERNO

Coccolón y calentamiento	0.00
Tarifa de dignidad	0.00
Total	0.00



TOTAL	
Servicio Eléctrico-Alumbrado Público (1)	13,540.82
Valores Pendientes (2)	0.00
Recaudación Terceros SE (3)	0.00
TOTAL SECTOR ELÉCTRICO (A) (1+2+3)	13,540.82

6.5. Cálculo de pérdidas lineales y locales en tuberías

- **Pérdidas lineales**

Las pérdidas lineales son debidas a las tensiones cortantes de origen viscoso que aparecen entre el fluido y las paredes de la tubería. Las características de los esfuerzos cortantes son muy distintas en función de que el flujo sea laminar o turbulento.

El tipo de flujo, laminar o turbulento, depende del valor de la relación entre las fuerzas de inercia y las fuerzas viscosas, es decir del número de Reynolds **Re**, cuya expresión se muestra a continuación de forma general y particularizada para tuberías de sección transversal circular:

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} = \frac{V D}{\mu/\rho} = \frac{(4Q/(\pi D^2))D}{v} = \frac{4Q}{\pi D v}$$

Donde:

ρ : La densidad del fluido,

V : La velocidad media,

D : El diámetro de la tubería,

μ : La viscosidad dinámica o absoluta del fluido,

v : La viscosidad cinemática del fluido y

Q : El caudal circulante por la tubería.

Cuando $Re < 2000$ el flujo es laminar. Si $Re > 4000$ el flujo se considera turbulento. Entre $2000 < Re < 4000$ existe una zona de transición.

En régimen laminar, los esfuerzos cortantes se pueden calcular de forma analítica en función de la distribución de velocidad en cada sección (que se puede obtener a partir de las ecuaciones de Navier-Stokes), y las pérdidas de carga lineales h_{pL} se pueden obtener con la llamada ecuación de Hagen-Poiseuille, en donde se tiene una dependencia lineal entre la pérdida de carga y el caudal:

$$h_{pl \text{ laminar}} = \frac{32 \mu L V}{\rho g D^2} = \frac{128 \mu L}{\rho g \pi D^4}$$

En régimen turbulento, no es posible resolver analíticamente las ecuaciones de Navier-Stokes. No obstante, experimentalmente se puede comprobar que la relación entre los esfuerzos cortantes y la velocidad es aproximadamente cuadrática, lo que lleva a la ecuación de Darcy-Weisbach:

$$h_{pl} \text{ laminar} = f \frac{L V^2}{D 2 g} = \frac{8 f L}{g \pi^2 D^5} Q^2$$

Siendo f un parámetro adimensional, denominado **coeficiente de fricción o coeficiente de Darcy**, que en general es función del número de Reynolds y de la rugosidad relativa de la tubería: $f = f(\text{Re}, \varepsilon_r)$.

En **régimen laminar** también es válida la ecuación de Darcy-Weisbach, en donde el coeficiente de fricción depende exclusivamente del número de Reynolds, y se puede obtener su valor:

$$f = \frac{64}{\text{Re}}$$

En régimen turbulento el coeficiente de fricción depende, además de Re , de la rugosidad relativa $\varepsilon_r = \varepsilon/D$; donde ε es la rugosidad de la tubería, que representa la altura promedio de las irregularidades de la superficie interior de la tubería. Colebrook y White (1939) combinaron diversas expresiones y propusieron una única expresión para el coeficiente de fricción que puede aplicarse en cualquier régimen turbulento:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{\varepsilon_r}{3.7} + \frac{2.51}{\text{Re} \sqrt{f}} \right)$$

- **Pérdidas singulares**

Las pérdidas singulares son las producidas por cualquier obstáculo colocado en la tubería que suponga una mayor o menor obstrucción al paso del flujo: entradas y salidas de las tuberías, codos, válvulas, cambios de sección, etc. Normalmente son pequeñas comparadas con las pérdidas lineales, salvo que se trate de válvulas casi completamente cerradas. Para su estimación se suele emplear la siguiente expresión:

$$h_{ps} = \xi \frac{V^2}{2 g} = \frac{8 \xi}{g \pi^2 D^4} Q^2$$

Donde h_{ps} es la pérdida de carga en la singularidad, que se considera proporcional a la energía cinética promedio del flujo; la constante de proporcionalidad, ξ es el denominado coeficiente de pérdidas singulares.

6.6. Coeficientes de proporcionalidad para motores asincrónicos

Rango de P2n(kW)	Rendimiento < 80%		80 % ≥ Rendimiento < 90%		90 % ≥ Rendimiento	
	Estado de Carga del Motor en %					
	25 ≤ > 50	50 - 120	25 ≤ > 50	50 - 120	25 ≤ > 50	50 - 120
P2n < 5	0.60	0.7	0.7	0.8		
5 ≥ P2n < 30	0.65	0.75	0.76	0.84	0.84	0.90
30 ≥ P2n < 100			0.84	0.9	0.84	0.9
100 ≥ P2n < 250					0.87	0.9
250 ≥ P2n ≤ 500					0.9	0.95
500 > P2n					0.95	0.95

P2n : Potencia nominal del motor

6.7. Libreta de campo del Levantamiento Topográfico de la línea de impulsión de la estación de bombeo N°1

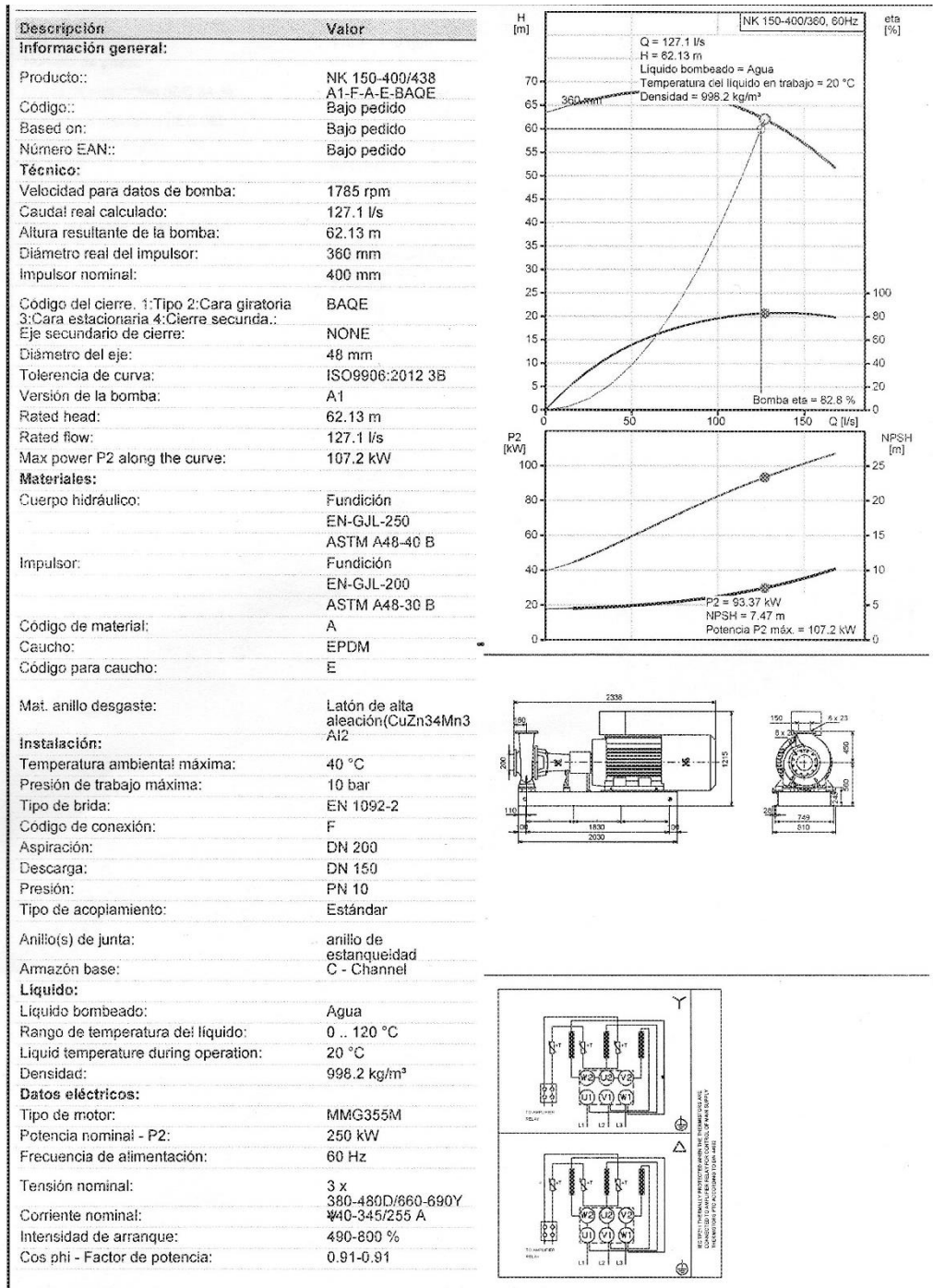
LIBRETA DE CAMPO				
Pto	ESTE	NORTE	ELEVACIÓN	DESCRIPCIÓN
2	671517.731m	10034663.958m	72.014m	BM01
3	671502.662m	10034709.130m	56.629m	TUB
4	671493.511m	10034715.957m	56.664m	TUB
5	671498.696m	10034707.675m	58.901m	TUB
6	671497.590m	10034701.193m	62.563m	TUB
7	671493.079m	10034689.524m	70.524m	TUB
8	671489.598m	10034683.158m	71.650m	TUB
9	671495.027m	10034677.981m	71.820m	TUB
10	671492.823m	10034688.638m	71.334m	BM02
11	671523.124m	10034649.282m	72.594m	TUB
12	671519.466m	10034647.649m	74.600m	TUB
13	671518.097m	10034646.257m	74.790m	TUB
14	671520.920m	10034649.054m	74.800m	TUB
15	671490.678m	10034673.817m	74.761m	DET
16	671493.565m	10034676.598m	74.762m	DET
17	671485.938m	10034682.178m	72.883m	DET
18	671471.695m	10034690.972m	72.946m	DET
19	671470.695m	10034693.330m	71.848m	DET
20	671492.829m	10034688.655m	71.373m	DET
21	671492.829m	10034688.655m	71.373m	DET
22	671506.395m	10034684.802m	71.373m	DET

*Solo se efectuó el levantamiento de la línea impulsión de la estación de bombeo N°1, para la línea de impulsión de la estación de bombeo N° 2 sí se disponía de información topográfica.

6.8. Medición de parámetros eléctricos en Equipos de Bombeo



6.9. Descripción y curvas características de la Bomba GRUNDFOS NK150-400/360, 60Hz



Impresión del WinCAPS Grundfos [2018.04.045]

5/8

FIN