

**UNIVERSIDAD CENTRAL
VICERRECTORÍA ACADÉMICA**

ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTROMECHANICA

**PROPUESTA DE IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA
REDUNDANTE DE BOMBAS MULTITETAPA VERTICALES,
PARA LA MEJORA DE CAUDAL, POTENCIA Y COSTOS DE
OPERACIÓN, EN FUTUROS DISEÑOS DE ESTACIONES DE
BOMBEO Y REBOMBEO, AYA, 2023.**

**TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN MODALIDAD DE TESIS PARA OPTAR POR EL GRADO
ACADÉMICO DE LICENCIATURA EN INGENIERÍA INDUSTRIAL**

ESTUDIANTE: MALAQUIAS SANTIAGO RAMIREZ LIZANO

TUTOR: M.ING. OMAR SABORIO ALPIZAR

**SEDE METROPOLITANA, COSTA RICA
JULIO, 2024**

CÉDULA DE IDENTIDAD

CERTIFICADO DEL FILÓLOGO

CARTA DE ENTENDIMIENTO

CONTENIDO

CÉDULA DE IDENTIDAD	I
CERTIFICADO DEL FILÓLOGO.....	II
CARTA DE ENTENDIMIENTO	III
CONTENIDO	IV
TABLAS	VII
FIGURAS.....	VIII
DEDICATORIA.....	X
AGRADECIMIENTOS	XI
EPÍGRAFE.....	XII
RESUMEN	XIII
CAPÍTULO I. PROBLEMA	1
1.1 EL PROBLEMA Y SU IMPORTANCIA.....	2
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.3 OBJETIVOS.....	3
1.3.1 <i>Objetivo general</i>	3
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i>	4
1.4 JUSTIFICACIÓN.....	4
1.5 ANTECEDENTES.....	6
1.5.1 <i>Antecedentes nacionales</i>	6
1.5.2 <i>Antecedentes internacionales</i>	11
1.6 PROYECCIONES.....	14
1.6.1 <i>Alcances</i>	15
1.6.2 <i>Limitaciones</i>	16
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	17
2.1 HERRAMIENTAS INGENIERILES.....	18
2.1.1 <i>Lluvia de Ideas</i>	18
2.1.2 <i>Multivotación</i>	19
2.1.3 <i>Diagrama de Ishikawa</i>	19
2.1.4 <i>Diagrama de Pareto</i>	20

2.1.5 Histograma de cuentas.....	21
2.1.6 Entrevistas.....	21
2.1.7 Gráficos de Pastel.....	22
2.1.8 SIPOC.....	23
2.1.9 Diagrama de Flujo.....	23
2.1.10. Cuadros Comparativos.....	24
2.1.11. Gráficos de Barras.....	24
2.1.12. Hojas de Control.....	25
2.1.13. Bitácora de Operación y Mantenimiento.....	25
2.1.14. Historial de Mantenimiento Predictivo.....	26
2.1.15. Historial de Mantenimiento Preventivo.....	26
2.1.16. Historial de Mantenimiento Correctivo.....	26
2.1.17. Diagrama Gantt.....	26
2.1.18. Hojas de Cálculo.....	27
2.1.19 Calculadora para la gestión de repuestos.....	27
2.1.20. Cálculo de la tasa interna de retorno.....	28
2.2 IDENTIFICACIÓN DE LA EMPRESA.....	29
2.2.1 Visión / Misión.....	29
2.2.2 Antecedentes históricos.....	29
2.2.3 Ubicación geográfica.....	31
2.2.4 Estructura organizacional.....	32
2.2.5 Cantidad de empleados.....	33
2.2.6 Tipos de productos.....	34
2.2.7 Mercado de exportación.....	34
2.2.8 Descripción general del proceso productivo.....	34
2.3 CONCEPTOS.....	36
2.3.1 Estación de Bombeo.....	36
2.3.2 Bomba Vertical Multietapa.....	37
2.3.3 Panel de Control.....	38
2.3.4 Contactor de bobina.....	39
2.3.5 Caudal.....	39
CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO.....	41
3.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN.....	42
3.2 MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN.....	42
3.3 FUENTES DE INFORMACIÓN.....	43
3.3.1 Fuentes Primarias.....	43

3.3.2 Fuentes Secundarias	44
3.3.3 Sujetos de información.....	44
3.4 VARIABLES DE ANÁLISIS	45
3.5 INSTRUMENTOS	46
3.5.1 Lluvia de Ideas.....	46
3.5.2 Multivotación.....	47
3.5.3 Diagrama de Ishikawa	48
3.5.4 Diagrama de Pareto.....	49
3.5.5 Histograma de cuentas.....	51
3.5.6 Entrevistas.....	52
3.5.7 Grafico de pastel.....	52
3.5.8 SIPOC	53
3.5.9 Diagrama de flujo.....	54
3.5.10 Cuadros comparativos	56
3.5.11 Gráficos de barras	56
3.5.12 Hojas de control	57
3.5.13 Bitácoras de operación	59
3.5.14 Historial de mantenimiento predictivo	59
3.5.15 Historial de mantenimiento preventivo	60
3.5.16 Historial de mantenimiento correctivo	61
3.5.17 Diagrama Gantt.....	61
3.5.18 Hojas de Cálculo.....	62
3.5.19 Calculadora para la gestión de repuestos.....	63
3.5.20 Calculo de la tasa interna de retorno	65
3.6 PROCESO PARA LA RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS	65
CAPÍTULO IV. ANALISIS DE RESULTADOS	68
4.1 INVESTIGACIÓN DE CAMPO	69
4.2 ANÁLISIS DEL SISTEMA ACTUAL.....	71
4.3 SELECCIÓN DE BOMBA Y MOTOR.....	73
4.7 ACCESORIOS DE ARRANQUE Y CONTROL.....	75
4.8 DISEÑO DE TUBERÍAS DE SUCCIÓN Y DESCARGA	77
4.9 DATOS TECNICOS Y OPERATIVOS	80
4.10 COSTO DE LA IMPLEMENTACIÓN	81
4.11 BENEFICIOS	82
4.11.1 Disponibilidad de equipos.....	82
4.11.2 Caudal aportado.....	84

4.11.3 Consumo eléctrico	86
4.11.4 Repuestos	90
4.12 RETORNO DE LA INVERSIÓN.....	91
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	92
CONCLUSIONES.....	93
RECOMENDACIONES	94
REFERENCIAS	95
APÉNDICES Y ANEXOS.....	100
APÉNDICE 1	101
APÉNDICE 2	102
ANEXO 1: CURVA DE RENDIMIENTO MOTOBOMBA VERTICAL 15HP	103
ANEXO 2: CURVA DE POTENCIA MOTOBOMBA VERTICAL 15HP.....	104
ANEXO 3: PROFORMA KIT DE REPARACIÓN MOTOBOMBA VERTICAL 7.5HP.....	105
ANEXO 3: PROFORMA MOTOBOMBA VERTICAL 7.5HP.....	106

TABLAS

Tabla 2.1: Cantidad de empleados por área.....	33
Tabla 3.1: Variables de la investigación por objetivo específico	45
Tabla 5.1: Parámetros del sistema de bombeo	70
Tabla 4.2: Accesorios del panel de control	75
Tabla 4.3: Accesorios diseño hidráulico.....	78
Tabla 4.4: Comparativa entre equipos	80
Tabla 4.5: Costos del sistema propuesto	81
Tabla 4.6: Costos del sistema propuesto	85
Tabla 4.7: Consumo eléctrico de equipos.....	88
Tabla 4.8: Costo del kWh para el bombeo de agua potable.....	89
Tabla 4.9: Costo de repuestos por equipo.....	90

FIGURAS

Figura 2.1: Ejemplo de Lluvia de Ideas.....	18
Figura 2.2: Ejemplo de Diagrama de Ishikawa.....	19
Figura 2.3: Ejemplo Diagrama de Pareto.....	20
Figura 2.4: Ejemplo Histograma de Cuentas	21
Figura 2.5: Ejemplo de Grafico de Pastel	22
Figura 2.6: Ejemplo de Herramienta SIPOC.....	23
Figura 2.7: Ejemplo de Grafico de Pastel	24
Figura 2.8: Ejemplo Calculadora para la gestión de repuestos.....	28
Figura 2.9: Mapa satelital Booster Los Angeles.....	31
Figura 2.10: Organigrama Dirección de Sistemas Bombeo AYA.....	32
Figura 2.11: Diagrama de flujo del proceso productivo Sistemas de Bombeo AYA.....	35
Figura 2.12: Entrada Booster Los Angeles	36
Figura 2.13: Bomba Multietapa Vertical	37
Figura 2.14: Panel de Control	38
Figura 2.15: Panel de Control	39
Figura 2.16: Caudalímetro por ultrasonidos	40
Figura 3.1: Formato de lluvia de Ideas.....	46
Figura 3.2: Formato de proceso de Multivotación	47
.....	47
Figura 3.3: Formato diagrama de Ishikawa.....	49
Figura 3.4: Formato diagrama de Pareto.....	50
Figura 3.5: Formato Histograma semanal del nivel del tanque Los Angeles.....	51
Figura 3.6: Formato Grafica de pastel	53
Figura 3.7: Formato SIPOC.....	54
Figura 3.8: Formato Diagrama de Flujo	55
Figura 3.9: Formato Cuadro Comparativo.....	56
Figura 3.10: Formato Grafico de Barras	57
Figura 3.11: Formato Hojas de Control.....	58
Figura 3.12: Formato Bitácoras Operativas.....	59
Figura 3.13 Formato Historial Mantenimiento Predictivo	60
Figura 3.14: Formato Historial Mantenimiento Preventivo y Correctivo	61
Figura 3.15: Formato GANTT.....	62
Figura 3.16: Formato Hojas de Calculo	63
Figura 3.17: Formato Calculadora para la gestión de repuestos	64
Figura 3.18: Diagrama del proceso del trabajo a realizar	67
Figura 4.1: Bomba 15VR09.....	71
Figura 4.2: Curva Característica Bomba 15VR09.....	72
Figura 4.3: Curva Característica Bomba CR5 - 20 A-FGJ-A-E-HQQE	73

Figura 4.4: Curva de potencia Bomba CR5 – 20 A-FGJ-A-E-HQQE	74
Figura 4.5: Curva de potencia dos Bombas CR5 – 20 A-FGJ-A-E-HQQE en paralelo	74
Figura 4.6: Placa de la bomba y motor propuestos.....	75
Figura 4.7: Dispositivos propuestos para el panel de control	77
Figura 4.8: Diagrama de la instalación hidráulica actual.....	77
Figura 4.9: Diagrama de la instalación hidráulica propuesta	78
Figura 4.10: Configuración actual de equipos.....	82
Figura 4.11: Configuración propuesta de equipos	83
Figura 4.12: Caudal un equipo de 15Hp	84
Figura 4.13: Caudal un equipo de 7.5 Hp.....	85
Figura 4.14: Caudal dos equipos de 7.5 Hp	85
Figura 4.15: Amperios consumidos por un equipo de 15 Hp.....	87
Figura 4.16: Amperios consumidos por un equipo de 7.5 Hp.....	87

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi madre, Hilda Ramirez Lizano quien falleciera el 05/01/24, y quien me apoyara desde los primeros pasos de mi vida, quien fuera mi sostén, mi apoyo, el hombro donde llorar, la mano amiga que nunca abandona, que nunca falta, que nunca falla, fue mi mayor tesoro, mi más grande ejemplo, y más grande amor.

Te amo Mamá.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco primeramente al señor todo poderoso que me permitió llegar a esta etapa de mi vida y mi carrera profesional, también agradezco a mi familia que me ha acompañado durante todos estos años de esfuerzo y han sido mi inspiración y mi bastión, para afrontar todo este proceso.

Además, agradezco al AYA, específicamente al personal de la dependencia de sistemas de bombeo, por su colaboración para llevar a cabo este trabajo, por la información suministrada y su valiosa ayuda.

EPÍGRAFE

“La vida es aquello que te va sucediendo mientras tú te empeñas en hacer otros planes”.

John Lennon

RESUMEN

El siguiente trabajo se llevó a cabo en el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, en la dependencia de Sistemas de Bombeo, específicamente en el booster Los Angeles, ubicado en la provincia de San Jose, en el cantón de desamparados, en el distrito de Patarra, calle Mesas. El trabajo consiste en la propuesta para el reemplazo de dos motobombas verticales de 15 Hp de potencia, por cuatro equipos tipo motobomba vertical de 7.5 Hp de potencia, con lo cual se pretendió, la disminución del consumo eléctrico, mantener u aumentar el caudal requerido por la población, mejorar la disponibilidad de equipos operativos, y disminuir los costos de operación de la estación de rebombeo, al disminuir el desgaste de los mismos debido al aumento en su cantidad y en la rotación operativa de estos.

Después de un análisis de los resultados se llevó a cabo la elección de los equipos de bombeo que mejor se adaptaban a los requerimientos de la estación de rebombeo, tanto en las variables eléctricas como hidráulicas, seguidamente se realizaron los cálculos de los costos de llevar a cabo el reemplazo de estos equipos y las proyecciones económicas, con el fin de calcular el retorno de dicha inversión.

Por último, se concluyó que realmente el factible esta propuesta, ya que se lograron alcanzar todos los objetivos propuestos y garantizar la entrega del líquido vital a los abonados del AYA, quienes fueron los mayores beneficiados con la propuesta, al elevar el caudal recibido y aumentar la confiabilidad del sistema de bombeo.

Palabras clave: Caudal, consumo, ahorro, costos.

CAPÍTULO I. PROBLEMA

1.1 EL PROBLEMA Y SU IMPORTANCIA

En Centro América, Costa Rica, el instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, en adelante (AYA), es el ente rector de origen público encargado del suministro de los servicios de agua potable en la gran área metropolitana, comprendida por las provincias de San Jose, Cartago, Alajuela y Heredia, además de sectores rurales a lo largo de todo el país. El suministro del servicio se da en muchas ocasiones por gravedad, donde el agua potable es suministrada desde plantas de tratamiento, no obstante no en todas la ocasiones es posible que el líquido llegue a los abonados de forma tan simple, ya que existen sectores ubicados a alturas mayores a las cotas de las plantas de tratamiento o tanques de almacenamiento, para lo que se deben de integrar a la red sistemas de bombeo o rebombeo, que brinden el impulso hidráulico necesario al líquido, para que el mismo alcance estos puntos en la cantidad requerida.

Durante la planeación y elaboración de estaciones de bombeo y rebombeo normalmente se trata de elegir los equipos de bombeo de la forma más adecuada, por medio de la utilización de curvas de desempeño de los equipos a utilizar, por lo general se escoge un equipo de bombeo que cumpla con los parámetros de operación requeridos, para lo cual dicho equipo deberá tener una potencia máxima requerida para cumplir con estos parámetros. Además de lo anterior se debe garantizar la continuidad del servicio, para lo cual se suelen instalar no solo un equipo, si no dos equipos gemelos, de modo que se cuente con un respaldo en caso de algún daño en el equipo de turno.

En el mercado existe gran cantidad de oferta en equipos de bombeo, que cumplen con las especificaciones y requerimientos para lograr los objetivos de los sistemas de bombeo, no obstante, en muchas ocasiones los equipos adquiridos son tan nuevos que las empresas que los suministran no cuentan con el stock de repuestos de estos de forma inmediata, por lo que, en caso de un daño grave de los equipos se dificulta en forma sustancial o total su reparación.

Para evitar estas situaciones, ¿Se pueden plantear nuevas formas o configuraciones de diseño de las estaciones de bombeo, que contemplen un aumento en la confiabilidad de las estaciones, por medio del aumento de la cantidad de equipos, pero disminuyendo su potencia?; esta opción puede ser vista como contraproducente, ya que, si se aplican las

ideas convencionales de diseño, esto involucraría un mayor gasto en presupuesto, debido a la compra de equipos y su instalación.

Con base a lo anterior este trabajo propone una solución alternativa para evitar o disminuir esta situación, mediante un sistema redundante de bombeo de cuatro motobombas multietapas, con el fin de la mejora de las variables mecánicas, eléctricas y operativas de las estaciones de bombeo. Esta propuesta pretende que con la utilización de equipos de bombeo de menor potencia que trabajen simultáneamente de forma paralela, se pueda suministrar el caudal requerido, a la altura requerida, pero con un consumo de energía menor, y por ende con un aumento de la confiabilidad del sistema, al contar con un sistema redundante con más equipos disponibles.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

¿Cómo por medio de la correcta selección de equipos, se pueden sustituir sistemas de bombeo de potencias elevadas, por sistemas de menor potencia, aumentando su eficiencia, su disponibilidad y disminuyendo el consumo?

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general

- Proponer un sistema redundante de bombeo de cuatro motobombas multietapas, con el fin de la mejora de las variables mecánicas, eléctricas y operativas de las estaciones de bombeo.

1.3.2 Objetivos específicos

- Demostrar la factibilidad energética de la implementación propuesta, mediante el análisis de los consumos eléctricos de los equipos instalados vs los equipos a instalar.
- Evidenciar el aumento en la confiabilidad del sistema de bombeo, mediante el aumento en la cantidad de equipos disponibles y la alternancia de estos.
- Exponer la viabilidad económica del sistema propuesto, mediante el análisis de los costos de implementación de este y los costos de mantenimiento de los equipos a instalar vs. los equipos actuales y los consumos energéticos.

1.4 JUSTIFICACIÓN

Para las industrias relacionadas con el tratamiento del agua es sumamente importante el correcto trabajo de los equipos encargados de trasladar el agua potable de un lugar a otro, ya sea de puntos bajos hacia puntos más elevados donde el líquido no se encuentre de forma natural, o de extraerlo de fuentes subterráneas, ya que esto garantiza un mejor aprovechamiento de los recursos, tanto empresariales como naturales, menores costos de operación, y un mayor aprovechamiento del recurso humano el cual puede atender otras necesidades del sistema y por ende todo conlleva a un mejor servicio al abonado.

Es por esta razón, que día a día las empresas e ingenieros, buscan implementar nuevas tecnologías y mejores métodos de selección que ayuden en el mejoramiento de los factores mecánicos, como los humanos de la industria y en la operación.

Existe una gran variedad de ofertas en cuanto a equipos de bombeo capaces de realizar estas tareas de forma eficiente, pero en la mayoría de las ocasiones tiene costos elevados. A continuación, se expondrá una propuesta de mejora en cuanto a la selección de los equipos utilizados para la operación de estaciones de bombeo y rebombeo, con el

fin de optimizar el trabajo de esta en sus diferentes variables como lo son, caudal, corriente, potencia, costos de operación, repuestos y mantenimiento.

La comunidad de Los Ángeles se encuentra ubicada en la provincia de San José, distrito de Desamparados, en un sector montañoso colindante con la comunidad de Altos de Coris, por su ubicación el servicio de agua potable debe ser abastecido por medio de sistemas de bombeo, o en este caso por un booster de rebombeo, el cual es un sistema que toma el agua potable que trasiega por la línea de abastecimiento y la impulsa para que la misma llegue a lugares de mayor elevación.

Este sistema está integrado actualmente por dos motos bombas verticales multietapa de 15Hp, dichos equipos trabajan uno por vez, alternándose semanalmente de forma manual por medio de un operador técnico.

En caso de dañarse alguno de los equipos de bombeo, toda la operación y el suministro de agua de la comunidad recae en el equipo que este operativo, esto el tiempo que se tarde en adquirir los repuestos necesarios para reparar el equipo dañado, tiempo que dependerá de la accesibilidad a dichos repuestos, el presupuesto, tiempos de exportación y el tiempo necesario para realizar los trabajos.

Este proyecto pretende brindar una opción más versátil, económica y ágil para una mejora del sistema de bombeo tanto en su operación, reparación, mantenimiento, como en su vida útil, por medio del reemplazo de los equipos de bombeo existentes, por dos equipos de menor potencia, por cada equipo de los instalado actualmente, con el propósito de aumentar la redundancia del sistema y alcanzar las mejoras planteadas anteriormente, y brindar una opción de selección de equipos a los futuros ingenieros y diseñadores de estaciones de bombeo.

1.5 ANTECEDENTES

1.5.1 Antecedentes nacionales

Alfaro, S., & Gerardo, G. (2019). En su tesis de maestría titulada; Propuesta y especificación del equipo adecuado para un sistema de turbo bombeo para el PTB Venado del embalse Arenal en Costa Rica. El documento detalla la caracterización técnica del sistema de turbo bombeo adecuado para utilizar en el Proyecto Turbo bombeo Venado (PTB Venado) y define las características básicas, a nivel de prefactibilidad, de los equipos mecánicos que requiere el sistema elegido. El objetivo del sistema a utilizar en este proyecto es permitir tanto la generación, cuando así la demanda y el Centro de Control Nacional de Energía lo requiera, como que sea capaz de bombear agua a un embalse en un nivel superior durante la etapa de baja demanda y tarifas con costo reducido. Para establecer las bases conceptuales necesarias para este trabajo se realizó una revisión bibliográfica. Se describieron distintas tecnologías de almacenamiento de energía y se realizó una comparación entre un sistema de almacenamiento de energía por bombeo y un sistema de almacenamiento de energía con baterías. Seguidamente se eligió el sistema que se adecue a las premisas de diseño dadas, ya sea utilizando una turbina reversible o una turbina y bomba por separado, en función de cual configuración se adapte mejor a las condiciones del PTB Venado. Una vez seleccionado el sistema idóneo, se procedió a especificar las características básicas del equipo que mejor se desempeñe según la expectativa de apoyo de servicios auxiliares para el PTB Venado. Por último, se incorporó a este trabajo final una estimación de costos del equipo elegido para este proyecto.

Blanco, J. (2015). En su proyecto de graduación titulado, Diseño de un sistema automatizado para el monitoreo y control de la estación principal de bombeo del acueducto de San Ramón, Alajuela. El presente informe da cuenta del desarrollo del proyecto que consiste en diseñar un sistema automatizado de control y monitoreo para una estación de bombeo de agua en la zona de San Ramón de Alajuela, Costa Rica. Este

documento abarca todos los aspectos de importancia que se tratan a la hora del diseño del sistema solicitado por la empresa Soluciones en Automatización Industrial, en adelante mencionada como SOATI, en la que se hizo el proyecto y de la que posteriormente se conocerá más a fondo. En el caso particular del presente proyecto, la empresa encargada de brindar el servicio de agua potable a las regiones de San Ramón y Palmares de Alajuela decide realizar una automatización de la estación principal de bombeo de dicho sector, para obtener así un sistema que permita saber, con gran precisión, con datos veraces y de la forma más rápida posible, cada una de los parámetros que intervienen a la hora de manejar y hacer llegar el líquido a cada uno de los lugares que lo necesitan. Se presentan también los resultados obtenidos al finalizar el proyecto en cuanto al diseño del sistema, los equipos utilizados, aspectos financieros involucrados en el desarrollo del proyecto, así como los beneficios que se espera tener una vez que sea implementado lo que se diseñó y finalmente se muestran las conclusiones que evidencian el cumplimiento de los diferentes objetivos propuestos al inicio del proyecto de modo que puedan servir como una referencia a la hora de determinar el éxito del proyecto.

Dorado, L. (2020). En la tesis de nombre Propuesta de diseño de una estrategia de Mantenimiento Predictivo Inteligente en la Dirección de Sistemas de Bombeo del AyA, realizada en la gran área metropolitana costarricense donde el departamento encargado de la gestión y mantenimiento de las 138 estaciones de bombeo con sus respectivos equipos es la Dirección de Sistemas de Bombeo, adscrita al Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA), fundado en 1961. Ante la necesidad de abastecer de manera continua del preciado líquido a más de 3 millones de usuarios, así como el establecimiento de nuevos puntos de abastecimiento para una población en crecimiento, la Dirección de Bombeo actualmente tiene instaurado un modelo de gestión basado en el conocimiento, el cual aprovecha la gran cantidad de información con la que cuenta la intendencia. Sin embargo, es tanta la información generada de mantenimiento y el movimiento de activos, que para el ingeniero encargado del sistema de gestión se ha vuelto una tarea laboriosa el hecho de gestionar el control de los índices instaurados en dicho sistema, lo que afecta la disponibilidad de los equipos causando tareas de

mantenimiento crítico que podrían llegar a costar 257 496 960,00 CRC anuales, tomando en cuenta un evento anual en cada una de las estaciones y con un monto promedio de 2 011 695,00 CRC. Se aplicó una evaluación del sistema de gestión donde se definió especial problema en el proceso de medición y gestión de índices, por lo que se evaluó los procesos utilizados para la obtención de información Utilizando un análisis FODA se establecieron los tipos de tareas que podrían beneficiar en buena manera al sistema actual. Utilizando la norma VDI 2893:2006, se realizó un cuadro de mando integral para presentar el manejo de los índices actuales y las mejoras planteadas, los cuales serían utilizadas las estrategias planteadas. Reconociendo las necesidades del departamento, se establece una reunión con el área encargada de sistemas de información de la compañía donde se establece la mejor opción para plantear la estrategia. Dicha estrategia de mantenimiento se basa en el predictivo inteligente basado en el monitoreo de variables, así como la medición y control de índices que lleva la estación. Utilizando las herramientas posibles dentro de la organización, se establece una relación de la información de los equipos y las plataformas PowerApps, SharePoint, y Microsoft Access, colaborando a la disminución de tiempo invertido en varios puestos que intervienen el proceso total de manipulación de índices, así como la formalización de los equipos y variables necesarias para llevar el control predictivo de las estaciones de bombeo. Tomando en cuenta que, de aplicarse correctamente, el departamento experimentaría un ahorro corporativo y operacional de alrededor 50 706 662,30 CRC anuales, la necesidad de adquisición de equipo de medición predictiva por un monto aproximado de 16 919 931,17 CRC y con los gastos que representaría una plaza extra para el control del sistema de 374 987,14 CRC mensuales, se obtiene un VAN privado de 364 736 938,54 CRC considerando una tasa de descuento del 8,3% establecida por la entidad gubernamental pertinente en un plazo de 10 años.

El proyecto de graduación de Ramirez, F. (2020). Trata sobre el diseño e instalación de un sistema de bombeo en un sitio que no cuenta con acueducto ni asada, por lo que se hace uso de un pozo artesanal el cual se estudió para asegurar que abastezca el caudal de la nueva bomba. El mismo se utiliza para suplir de agua a la propiedad mediante el

uso de una bomba de gasolina que se acopla al sistema de forma manual y se desacopla cuando se carga el tanque por completo. Esta actividad se realizaba aproximadamente cada dos o tres días. Al encontrarse tan alejada la propiedad del sitio de residencia, se hace complicado el traslado y debido a las condiciones laborales algunas veces es imposible movilizarse al lugar por lo que se debe pagar una persona para realizar la labor y existe la probabilidad que en algún momento esa persona no se encuentre disponible, no se abastezca de agua el tanque y los animales (ganado bovino) queden sin el recurso podrían tener problemas de salud. Además, el sistema actual era deficiente y no estaba adaptado a las normas del Código hidráulico por lo que se sustituirá por completo.

El sistema sugerido trabaja de forma automática mediante el uso de un interruptor de nivel. Este interruptor será la parte principal para que el proceso de llenado se dé automáticamente. Se hará uso de una bomba eléctrica sumergible, la cual se colocará al fondo de la fuente de alimentación de agua, con tal de evitar pérdidas por succión. Se tomaron en cuenta la colocación de accesorios necesarios para su correcto funcionamiento y respectivo mantenimiento. Lo anteriormente como se mencionó se llevó a cabo en una finca que cuenta con una vivienda pequeña utilizada para vacacionar, además de la presencia de animales de pastoreo, que mediante la realización del proyecto gozarán del recurso hídrico. El trabajo se realizó basado en el Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias y el Código Eléctrico tal y como lo recomienda el Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica. Se confeccionará un plano, en donde se aprovecharán puntos estratégicos como diferencias de altura en el terreno para el diseño, y se verán dos escenarios distintos en el mismo dibujo, el primero abarco el sistema de bombeo desde el pozo hasta el tanque, el segundo punto en donde el tanque por gravedad abastecerá la vivienda y el bebedero de los animales.

En la tesis de Mata, A. (2021). Se procura prestar conocimiento ingenieril para el análisis de alternativas para la reubicación y propuesta de diseño preliminar de la estación de bombeo de Heredia N.º26 del Proyecto de Saneamiento Ambiental de Heredia, ubicada en el distrito de Ulloa en el cantón de Heredia. El diseño mecánico y civil se rige a partir de la Norma Técnica para Diseño y Construcción de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable, de Saneamiento y Pluvial (AyA), tomando en cuenta las normas del American

Society of Mechanical Engineers (ASME) para el diseño de bombas sumergibles y su análisis respectivo. La selección de la bomba sumergible Flygt NP 3127 SH 3 se realiza por medio de las curvas de rendimiento y cuadro de especificaciones que brinda la compañía Flygt, la cual fabrica y ofrece este tipo de productos. Es importante recalcar que, para este diseño, se cuenta con un caudal (Q) de 11.7 L/s brindado por la ESPH S.A. y los cálculos realizados son revisados por un ingeniero mecánico. Implementando la Norma 318-19 del ACI, el Código de Cimentaciones de Costa Rica y el Código de Sísmico de Costa Rica 2010, entre otras fuentes de información, como libros de texto, se pretende efectuar una propuesta de los principales componentes estructurales con base en la carga estimada para la estación de bombeo de Heredia N.º26. El estudio de suelos fue realizado por la empresa GEOM SA y brindado por la ESPH S.A., y se utiliza como base para el diseño. Para el desarrollo del proyecto, se cuenta con 4 alternativas de reubicación dentro de la misma Urbanización Inmaculada Concepción, donde la alternativa 2 es el terreno que la ESPH S.A. disponía para el desarrollo del proyecto. Sin embargo, se evalúa como una de las alternativas para así compararla con el resto de las opciones por medio de la matriz multicriterios, la cual valora aspectos técnicos, legales, sociales y ambientales; dicha matriz se justifica por medio de una matriz de puntaje para la evaluación de criterios de la estación de bombeo N.º26. Posteriormente, las alternativas se ubican dentro de un cuadro de priorización de alternativas con su respectivo puntaje. Por último, una vez culminados los diseños, éstos se entregan los planos respectivos a los ingenieros de DAID (Dirección de Apoyo de Investigación y Desarrollo) de la ESPH S.A, para que éstos sean evaluados con criterios profesionales y se puedan considerar para el desarrollo final del Proyecto de Saneamiento Ambiental de Heredia.

1.5.2 Antecedentes internacionales

Adrianzen, H. (2019). En el trabajo titulado, Rediseño del sistema eléctrico de la estación de bombeo Etab-01 para optimizar el consumo energético en la empresa Epsel S.A. Se concentro en realizar el rediseño del sistema eléctrico de la estación de bombeo Etab-01 para optimizar el consumo energético en la empresa Epsel S.A, para lo cual primero se realizado el análisis para determinar el estado situacional de la estación, determinando que los motores eléctricos con una potencia de 200 hp y las bombas tenían un estado de conservación malo, debido a su antigüedad y operación permanente. En ese momento la potencia instalada era de 746 kW y una máxima demanda de 373 kW. Luego se realizó el cálculo para determinar las potencias de los motores a utilizar determinando que el motor a utilizar es un motor de 175 hp, 1780 rpm, 460v, us motor, 444vp, ac vertical pump motor solid with ratchet shaft, así como una bomba de 5547,60 gpm (350 lps), marca hidrostal. Después se hizo la optimización del consumo energético en la mencionada estación logrando un ahorro económico anual: s/.57 610,008 /año, así como producto de un cambio de pliego tarifario de mt-3 a mt-2, se tendría un ahorro anual de s/. 71 755,716. La inversión por realizar es de s/. 276 844,60, con un mantenimiento anual de s/. 9 500, obteniendo un vna de s/. 92 448,035 y una tir de 31%, un tiempo de recuperación de 03 años.

Según Falcon, F. (2022). En su Tesis de maestría en Ingeniería Civil de la Escuela Superior Politécnica del Litoral titulado, Optimización de la eficiencia física, hidráulica, y energética en el sistema de agua potable del proyecto parque logístico gd, el cual fue efectuado en el proyecto Parque Logístico GD en su primera fase, y que pretendía la optimización física, hidráulica y energética en el sistema de agua potable del parque logístico, el cual está compuesto por bodegas de almacenamiento de productos farmacéuticos y de consumo masivo, en un área de terreno de 22 Has, área de construcción de la primera fase 55.500m², y área de construcción final de proyecto 85.500 m², ubicado en el km 19 vía a Daule. Para el desarrollo del proyecto, se realizó una campaña de medición que involucró la obtención de registros de presiones en la red, caudales suministrados, verificación de exactitud de medidores, muestreo de fugas,

levantamiento de la infraestructura existente, levantamiento topográfico, identificación de guías y medición de parámetros eléctricos e hidráulicos de equipos de bombeo. Como resultados principales se destaca la modelación hidráulica del sistema de agua potable que permite simular las condiciones antes y después de la implementación de las soluciones al sistema, y la reparación de fugas visibles y no visibles tuvo un impacto importante en disminuir los altos consumos registrados. Finalmente, se concluyó que, con la Implementación de la Estación Reguladora de Presión, se eliminaron las variaciones internas de presión y se optimizó la eficiencia física, hidráulica y energética del sistema.

Montesinos, E., & Waswaldo, A. (2022). En su trabajo titulado, *Diseño de una estación de bombeo automatizada para mejorar la disponibilidad de agua del Distrito de Caracoto–Puno*. [Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Mecánico Electricista]. Repositorio Universidad Cesar Vallejo. El objetivo principal de este proyecto fue el diseño de una estación de bombeo automatizada de agua que ayudará a mejorar la disponibilidad de agua y la calidad de vida de la gente del distrito de Caracoto en Juliaca, departamento de Puno. Para lograr el objetivo planteado, se buscó desarrollar métodos adecuados de diseño que desempeñe un sistema que logre captar fluidos o como también se le conoce como pozo profundo y así conseguir un sistema hidráulico eléctrico, que funcione como un control automatizado en el sistema de bombeo, cuyo fin es un diseño de explotación continua de agua subterránea que no afecte el equilibrio del acuífero, y por tanto se prolongue la vida útil de la estación. Las revisiones del presente proyecto servirán de sustento para el de diseño y ejecución de futuras estaciones de bombeo en otros poblados de la comunidad de Caracoto - Juliaca.

Pallarés, A. (2018). Escuela técnica superior de ingeniería (icai) grado en ingeniería electromecánica, en su trabajo titulado, *Diseño y optimización de estación de bombeo*. El proyecto consistió en realizar la optimización de la instalación de riego existente del Parque de la Polvoranca. El Parque de la Polvoranca forma parte de Bosque Sur, un parque forestal periurbano en el sur de Madrid, y está situado en el municipio de Leganés. El parque tiene una superficie de 150 hectáreas de las cuales se han de regar una superficie de 100 hectáreas. El parque cuenta con cuatro pozos de los que se extrae toda

el agua de riego y con tres grupos de presión que son los encargados de distribuir el agua por toda la red de riego. El objetivo de este proyecto consistirá en diseñar las instalaciones de los pozos de bombeo 1 y 2, que impulsan el agua hacia el depósito 1 (laguna de Mari Pasquala). Además del diseño de la instalación de los dos primeros pozos, también se realizó la optimización de las bombas del grupo de presión principal. Este grupo de presión bombea el agua de la laguna de Mari Pasquala. La red de riego de todo el parque se mantendrá. Diseño y cálculos: Para el diseño de la instalación primero se eligieron las bombas a usar. Para los pozos se ha elegido la misma bomba para los dos para poder simplificar cálculos y costes. Ambos pozos bombean un caudal de 35m³/h y bombean una altura de 60.26m y 57.89m respectivamente. Estos datos se han introducido en el software de cálculo ABSEL Pump Selection y se han seleccionado las bombas que se adaptaban mejor a la instalación. Para ambos pozos la opción seleccionada ha sido el modelo XFP101G CB1. Esta bomba sumergible aporta las características que reclama la instalación. De esta bomba se han adquirida tres unidades para mantener una de repuesto en caso de avería. Después se ha calculado la bomba necesaria para el grupo de presión del lago a partir de un caudal de 120m³/h y de una altura de 130.2 metros. Con el mismo programa ABSEL Pump Selection se han realizado varias interacciones hasta obtener que la mejor bomba era el modelo NB 125/100-32C. Se ha adquirido una unidad de este modelo. Presupuesto: Por último, se realizado un presupuesto detallado de todos los factores que influyen en el proyecto. Se han presupuestado todos los elementos utilizados en la instalación, así como la mano de obra y los costes energéticos. El proyecto se ha realizado buscando reducir los costes económicos, pero siempre eligiendo por encima aquellos elementos que la dotaran de mejor funcionamiento, rendimiento y fiabilidad. Esta tabla expone todos los gastos del proyecto. El gasto total de todo el proyecto sería de 485469€.

Valderrama, m (2022). Trabajo de grado para optar al título de Magister en Ingeniería, de la Universidad EAFIT. El principal objetivo de este documento es presentar un análisis de la optimización energética que podría realizarse en una estación de bombeo que incluya bombas centrífugas. Se incluye un marco teórico con las definiciones más relevantes desde la clasificación de las bombas y conceptos normalmente utilizados en el diseño y

operación de un sistema de bombeo. Se presentan también las curvas características con las que se representa el comportamiento de las bombas centrífugas y las causas que más influyen en las pérdidas de eficiencia de este tipo de bombas. Finalmente, se desarrolla un caso práctico donde se analiza una estación de bombeo con bombas centrífugas; para este análisis fueron realizadas algunas pruebas operando el sistema con las bombas de manera individual y en paralelo. En el desarrollo de este caso práctico se analizan las condiciones actuales de operación de las bombas y con los resultados obtenidos mediante la ejecución de algunas pruebas de desempeño, se identifican mejoras para operar este sistema con criterios de optimización energética, basados en las normas aplicables.

1.6 PROYECCIONES

En este se señalan de manera numerada y se justifica los logros que se esperan obtener como resultado del proceso investigativo. Son metas propuestas que se realizan considerando el tema, la respuesta a la pregunta, los objetivos, el enfoque y el diseño de la investigación.

1. Ofrecer una opción de diseño para la elaboración de las estaciones de bombeo del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados.
2. Reducir los gastos de operación de la estación de bombeo, disminuyendo los costos de operación y mantenimiento.
3. Fundamentar la factibilidad del uso de este diseño, mediante herramientas de comparación de los costos en las estaciones de bombeo y rebombeo.
4. Aumentar la redundancia de los equipos del sistema de bombeo, al aumentar la cantidad de equipos.

5. Aumentar la confiabilidad del sistema de bombeo, al disminuir las fallas en los equipos y el desgaste de estos.
6. Aumentar el caudal de agua potable brindado a los clientes del sistema, al operar dos equipos de forma paralela.

1.6.1 Alcances

El trabajo se llevará a cabo en la empresa Acueductos y Alcantarillados, en el departamento de Sistemas de Bombeo de la gran área metropolitana, concretamente en el Booster Los Ángeles, ubicado en la ciudad de San Jose, Cantón Desamparados, Distrito Patarra, en la comunidad de Los Ángeles.

Este Booster Los Angeles es un sistema de rebombeo de agua potable, el cual da el impulso hidráulico necesario al líquido para que este llegue al tanque de la comunidad de Los Angeles, y de ahí sea distribuida por gravedad a los habitantes.

Este trabajo abarcará propiamente una propuesta de reemplazo de los dos equipos actualmente instalados con potencias de 15hp, por equipos de menor potencia 7.5hp, pero en mayor cantidad, específicamente dos equipos de 7,5hp por cada equipo de 15hp, Esto con el fin de brindar una opción de diseño a los futuros ingenieros que conlleve a un menor costo de los equipos a instalar, menos costos de operación y mantenimiento, un aumento de la redundancia y confiabilidad del sistema, y un aumento en el caudal de agua rebombeado para la población beneficiada.

1.6.2 Limitaciones

Durante el presente trabajo se presentaron las siguientes limitaciones, más aún al tratarse de una propuesta de remodelación del sistema hidráulico, al reemplazar los equipos de bombeo actuales.

- 1) Los sistemas de control y accionamiento de los nuevos equipos deberán realizarse utilizando el panel de control actual, y deberán integrarse a los sistemas de operación actuales.
- 2) Durante la realización de los trabajos de instalación de los equipos y de los trabajos de instalación de los sistemas de control y accionamiento, se debe garantizar la operación de al menos uno de los equipos actuales para garantizar el suministro de líquido a los abonados.
- 3) Se deberá mantener informado al personal del área respectiva, de cualquier trabajo a realizar en el sistema, con el fin de determinar si es factible la realización de este.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 HERRAMIENTAS INGENIERILES

Seguidamente se detallan las herramientas y conceptos ingenieriles que se tomaron en cuenta para el desarrollo del presente estudio.

2.1.1 Lluvia de Ideas.

La lluvia de ideas o «*brainstorming*» es una técnica no estructurada para grupos de trabajo, donde se buscan soluciones a diversas situaciones mediante la generación de ideas espontáneas, relajadas y horizontales. Existen varios tipos de lluvias de ideas, de las cuales se utilizará en este trabajo el tipo Gordon, que Inicia planteando a los participantes un caso muy parecido al que se quiere resolver. Sin embargo, el moderador no dará muchas pistas al respecto. Las personas deben pensar que esa situación es real, y tendrán que averiguar los detalles haciendo preguntas, compartiendo conclusiones o haciendo sugerencias. Esto permite que surjan ideas a medida que se reconstruye el problema.

Figura 2.1: Ejemplo de Lluvia de Ideas.



Fuente: QServus, Lluvia de Ideas 2022.

2.1.2 Multivotación

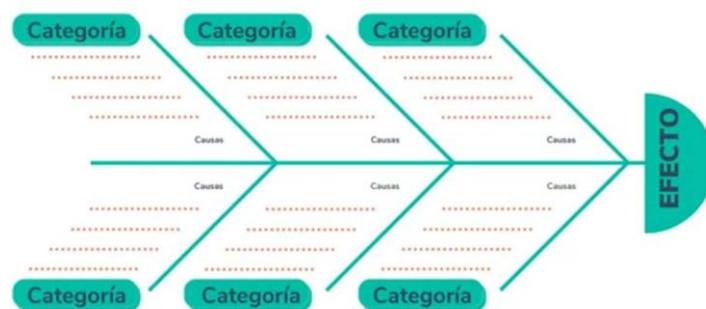
Es una técnica en grupo para reducir una larga lista de elementos a unos pocos manejables. Se utiliza cada vez que una técnica como la lluvia de ideas, o alguna otra similar ha producido una lista larga que requiere reducirse. También deberá utilizarse al final de un diagrama de causa y efecto para seleccionar las primaras tres o cinco causas a ser investigadas.

2.1.3 Diagrama de Ishikawa

El diagrama de Ishikawa, o diagrama de pescado, es una herramienta que identifica problemas de calidad y les da solución al representar de forma gráfica los factores que involucran la ejecución de un proceso. También es conocido como diagrama de causa-efecto o de las 6 M.

Para este trabajo se realizará un Diagrama de Ishikawa, con el fin de ordenar las razones que conllevan al planteamiento del problema.

Figura 2.2: Ejemplo de Diagrama de Ishikawa



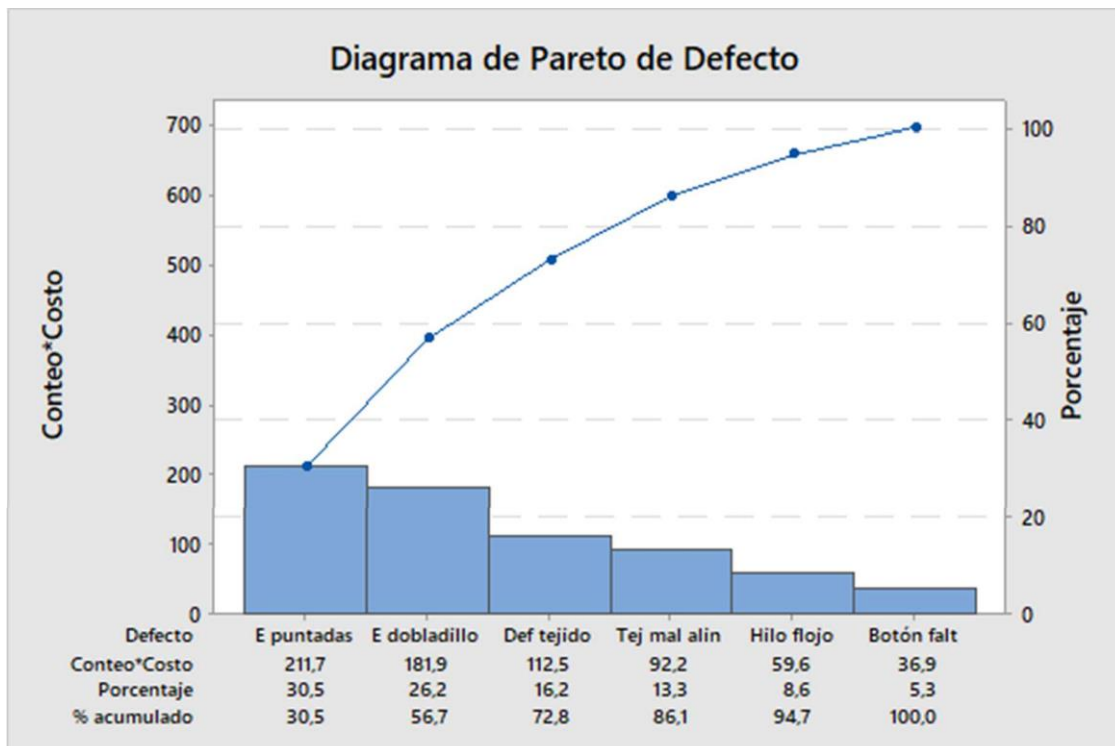
Fuente: HubSpot.com. Rodriguez, J. 2023

2.1.4 Diagrama de Pareto.

El diagrama de Pareto es una herramienta de gestión de calidad muy utilizada, la cual complementa muy bien al resto de las herramientas lean.

Este diagrama se basa en el principio del mismo nombre, el cual establece que el 20% de las causas generar el 80% de los efectos o resultados. Por ejemplo, de todos los problemas de una determinada empresa, el 20% de ellos genera el 80% de sobrecostos. Esto ayuda mucho a la hora de priorizar esfuerzos porque permite dedicar energía en las causas que tienen mayor influencia en el resultado.

Figura 2.3: Ejemplo Diagrama de Pareto.



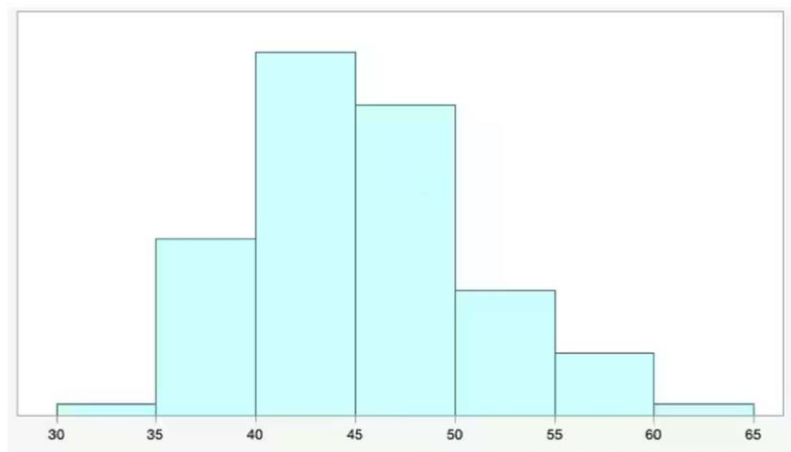
Fuente: Lean Tools, <https://www.herramientaslean.com/diagrama-pareto/>, 2021.

2.1.5 Histograma de cuentas.

Los histogramas ayudan a ver el centro, la extensión y la forma de un conjunto de datos. También se pueden usar como herramienta visual para comprobar la normalidad. Los histogramas son una de las siete herramientas básicas de control de calidad estadístico. Los histogramas muestran la forma de sus datos. El eje horizontal muestra sus valores de datos, con cada barra correspondiendo a un rango de valores. El eje vertical muestra cuántos puntos de datos tienen valores en el rango de cada barra.

Para este trabajo se utilizará un histograma de cuentas para determinar o medir la frecuencia de las fallas en el sistema del rebombeo Los Angeles.

Figura 2.4: Ejemplo Histograma de Cuentas.



Fuente: JPM, Introducción a la Estadística: Histograma, 2024.

2.1.6 Entrevistas.

La entrevista es una técnica de gran utilidad en la investigación cualitativa para recabar datos; se define como una conversación que se propone un fin determinado distinto al simple hecho de conversar. Es un instrumento técnico que adopta la forma de un diálogo coloquial. Canales la define como "la comunicación interpersonal establecida entre el

investigador y el sujeto de estudio, a fin de obtener respuestas verbales a las interrogantes planteadas sobre el problema propuesto".

En este trabajo se realizarán una serie de entrevistas a los ingenieros, técnicos y personal operativo del departamento de Sistemas de Bombeo del AYA, con el fin de obtener su opinión sobre los métodos de diseño de las estaciones de bombeo y su la propuesta planteada.

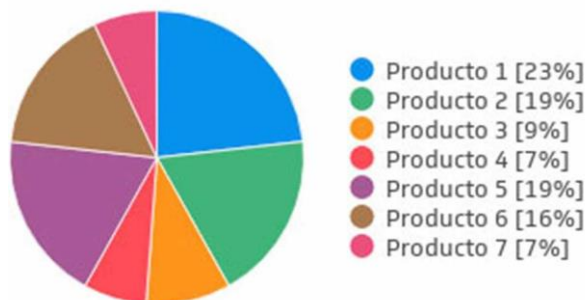
2.1.7 Gráficos de Pastel.

La gráfica de pastel es una de las formas más comunes de representar los datos, por ejemplo, para graficar datos cualitativos, donde la información describe un rasgo o atributo y no es en sí algo numérico.

Este es uno de los tipos de gráficas más utilizados en investigación, pues se utiliza para resumir los resultados de un sondeo o encuesta.

Es por esta característica de uso, que se hará utilización de gráficos de pastel para la mejor comprensión de los datos recopilados mediante cuestionarios o encuestas.

Figura 2.5: Ejemplo de Grafico de Pastel.



Fuente: tudashboard.com, Grafica de pastel. 2022.

2.1.8 SIPOC.

Es una herramienta que resume las entradas y salidas de uno o más procesos en forma de tabla. Es un acrónimo que significa Suministros, Entradas, Procesos, Productos y Clientes. Algunas organizaciones utilizan el acrónimo COPIS, que coloca al cliente en primer lugar e ilustra el valor del cliente para la organización.

En el desarrollo de este trabajo se utilizará para comprender el proceso del bombeo y rebombeo del agua potable, desde su obtención hasta su entrega al cliente final.

Figura 2.6: Ejemplo de Herramienta SIPOC.



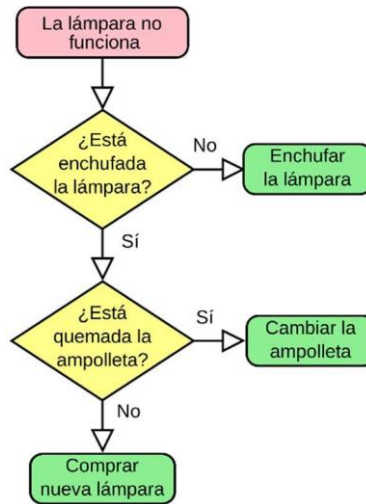
Fuente: LinkedIn.com, Que es un SIPOC y para qué sirve? .2021.

2.1.9 Diagrama de Flujo.

Un diagrama de flujo es un diagrama que describe un proceso, sistema o algoritmo informático. Se usan ampliamente en numerosos campos para documentar, estudiar, planificar, mejorar y comunicar procesos que suelen ser complejos en diagramas claros y fáciles de comprender.

Para ese fin se utilizarán diagramas de flujo para representar el proceso operativo de la estación de bombeo a intervenir, con el fin de facilitar su comprensión.

Figura 2.7: Ejemplo de Grafico de Pastel.



Fuente: lucidchart.com, Diagramas de Flujo. 2024.

2.1.10. Cuadros Comparativos.

Los cuadros comparativos están compuestos por columnas y filas, y su número varía según los elementos y variables a comparar. También dependerá de la cantidad de categorías. En las columnas se colocan los elementos a contrastar entre sí.

Para el análisis de resultados se llevarán a cabo una serie de comparativas entre los parámetros esperados de operación del equipo recomendado y los datos operativos recolectados en campo del equipo actualmente instalado, con el fin de establecer el estado técnico del proyecto.

2.1.11. Gráficos de Barras.

Un gráfico de barras es una forma de representar gráficamente datos numéricos mediante rectángulos verticales u horizontales, conocidos como barras. El tamaño de cada barra se ajusta proporcionalmente al valor que representa. Este tipo de gráficos proporcionan una comparación visual de cantidades o frecuencias, lo que facilita la

interpretación de los datos. Estos gráficos son comúnmente utilizados en diversas disciplinas, incluyendo ciencias sociales, economía, administración de empresas, ciencias de la salud, entre otras. Su popularidad se debe a la capacidad de presentar información de una manera sencilla y comprensible, haciendo más fácil la tarea de analizar y tomar decisiones basadas en los datos.

Por parte de este trabajo se utilizará para analizar y visualizar de forma más simple los resultados de las encuestas y cuadros comparativos.

2.1.12. Hojas de Control.

Esta herramienta de gestión de calidad permite recabar información de manera sencilla y precisa; se utiliza principalmente para identificar y analizar los problemas que evitan que un proceso tenga la calidad que se desea.

También puede adaptarse a diferentes propósitos, como la validación de un producto o servicio. Además, es fácil de utilizar, pues proporciona una tabla de conteo con preguntas o frases, con la cual es posible recolectar los datos necesarios para identificar el fallo.

Como parte de las propuestas de mejora se propondrá la creación de hojas de control, para llevar mediante de ellas un histórico del comportamiento de los equipos del sistema, a fin de controlar si se están alcanzando los resultados deseados.

2.1.13. Bitácora de Operación y Mantenimiento.

La bitácora es un cuaderno en el que se reportan los avances y resultados preliminares de un proyecto de investigación. En él, se incluyen con detalle, entre otras cosas, las observaciones, ideas, datos, de las acciones que se llevan a cabo para el desarrollo de un experimento o un trabajo de campo.

Para llevar un control en la nueva estación se recomendar la implementación del uso de dos bitácoras, una operativa y otra de mantenimiento, con el fin de llevar un correcto historial de los trabajos que se lleven a cabo en la estación.

2.1.14. Historial de Mantenimiento Predictivo.

El historial en el mantenimiento predictivo es el proceso de recopilación y registro de datos relevantes sobre el estado y el rendimiento de activos. Esta recopilación de datos se realiza de forma continua y sistemática utilizando diferentes tecnologías, sensores y dispositivos de monitoreo.

En este trabajo se utilizará como medio de recolecta de los datos operativos de los equipos de la estación de bombeo a intervenir.

2.1.15. Historial de Mantenimiento Preventivo.

Registro de Mantenimiento Preventivo es un compendio detallado y organizado que recopila toda la información relevante relacionada con las actividades de mantenimiento realizadas en cada equipo o maquinaria.

Los registros de Mantenimiento preventivo se utilizan para generar las órdenes de trabajo que especifican el trabajo de mantenimiento planificado. Los MP pueden contener la información de plan de trabajo y de plan de seguridad correspondiente que se copia en las órdenes de trabajo.

En este trabajo se utilizará como medio de recolecta de los datos atinentes al estado de los equipos de la estación de bombeo a intervenir.

2.1.16. Historial de Mantenimiento Correctivo.

El mantenimiento correctivo es un compendio detallado y organizado que recopila toda la información relevante relacionada con las acciones de manutención de equipos efectuada debido a una falla o deficiencias encontradas.

En este trabajo se utilizará como medio de recolecta de los datos atinentes a los fallos más frecuentes que presentan los equipos de la estación de bombeo a intervenir.

2.1.17. Diagrama Gantt.

El diagrama de Gantt, muy usado en la gestión de proyectos, es un gráfico de barras horizontales que se usa para ilustrar el cronograma de un proyecto, programa o trabajo. Es una forma de visualizar la programación de tu proyecto, de dar seguimiento a los

logros y de estar siempre familiarizado con el cronograma de tu trabajo. Cada barra de un diagrama de Gantt representa una etapa del proceso (o una tarea del proyecto) y su longitud, la duración de la tarea.

Se recomendará el uso de un diagrama Gantt, para la confección de un programa de actividades de mantenimientos predictivos y preventivos, con la finalidad de dar un puntual mantenimiento a los equipos de la estación de bombeo.

2.1.18. Hojas de Cálculo.

Las hojas electrónicas de cálculo son programas que permiten realizar cálculos matemáticos; ya sea operaciones sencillas hasta cálculos complejos, realizar gráficos y organizar datos. Para este trabajo se utilizarán para llevar a cabo los cálculos necesarios a lo largo del proyecto.

2.1.19 Calculadora para la gestión de repuestos.

Este es una herramienta que sirve para brindar un sustento cuantitativo para la toma de decisiones en cuanto a la compra de repuestos, ya sea de almacenes o bodegas de las empresas. Es una herramienta fácil de usar, ya que solo se venen llenar los espacios de entrada de datos (Inputs), con la información solicitada y la calculadora nos arrojará una respuesta sobre la conveniencia económica de la compra.

Figura 2.8: Ejemplo Calculadora para la gestión de repuestos.

Optimización del inventario de mantenimiento de planta basada en riesgo

Acerca del modelo:

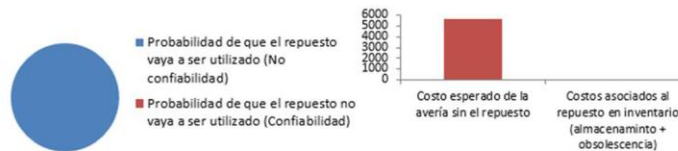
Este es un modelo de confiabilidad con una distribución de probabilidad exponencial. Los sistemas complejos con muchos componentes y múltiples modos de falla tendrán tiempos de falla que tiendan a la distribución exponencial.

Inputs		
Unidad monetaria	Dólares	
Nombre del repuesto	impulsor	
Costo por hora del tiempo de inactividad si el repuesto no está disponible	600	Dólares / me
Tiempo de inactividad si el repuesto está disponible en inventario	0.5	meses
Tiempo de inactividad si el repuesto no está disponible en inventario	10	meses
Tiempo de vida restante esperado para la máquina	10	años
Frecuencia de fallo estimada	1	veces / año
Tasa de mantenimiento sobre inventario: incluyendo costos de almacenamiento, depreciación y demás...	2%	anual
Costo del repuesto	500	Dólares

Outputs		
Tiempo de consecución del repuesto	9.5	meses
Costo extra por avería sin el repuesto en inventario	5700	Dólares
Probabilidad de que el repuesto vaya a ser utilizado (No confiabilidad)	100%	Probabilidad de que una unidad falle antes del tiempo restante de vida de la máquina
Probabilidad de que el repuesto no vaya a ser utilizado (Confiabilidad)	0%	Probabilidad de que el sistema ejecute su función de intención sin fallar para un intervalo específico, bajo condiciones establecidas.
Costo esperado de la avería sin el repuesto	5700	Dólares
Costo esperado de almacenamiento del repuesto	10	Dólares
Costo de obsolescencia esperado si el repuesto no es utilizado	0	Dólares
Costos asociados al repuesto en inventario (almacenamiento + obsolescencia)	10	Dólares

Sugerencia

Desde el punto de vista financiero, **PROBABLEMENTE DEBA COMPRAR EL REPUESTO**. Los costos del tiempo de avería (5699) son más altos que los costos asociados a la compra de los repuestos (10)



Fuente: JPM, Introducción a la estadística, www.jpm.com, 2024.

2.1.20. Cálculo de la tasa interna de retorno

La tasa interna de retorno, conocida también como TIR, es un indicador que permite conocer la rentabilidad de un proyecto, mediante el cálculo de la diferencia entre los

gastos actuales y los ingresos proyectados en el futuro, con el fin de estimar las ganancias esperadas de una inversión.

2.2 IDENTIFICACIÓN DE LA EMPRESA

A continuación, se verá los detalles más importantes del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, donde se realizará el estudio.

2.2.1 Visión / Misión

La visión y misión de la empresa se muestran seguidamente.

Visión

“Ser la empresa pública líder en agua potable y saneamiento comprometida con la excelencia en el servicio al cliente, para brindar calidad de vida a la sociedad costarricense en armonía con el ambiente” (AYA, 2023).

Misión

“Normar y garantizar los servicios de agua potable, alcantarillado sanitario y tratamiento, según los requerimientos de la sociedad y de nuestros clientes, contribuyendo al desarrollo económico y social del país” (AYA, 2023).

2.2.2 Antecedentes históricos

La Asamblea Legislativa integra una comisión especial para estudiar el proyecto de ley y la vasta documentación que generó. El asunto se hizo de conocimiento público y los costarricenses se enteraron por medio de artículos periodísticos, de que nacía una esperanza para solucionar el problema del agua.

La Asamblea Legislativa consultó también, durante el proceso de elaboración de la ley, con experimentados salubristas e ingenieros civiles, como Edison Rivera Castaing, Renán Méndez, Guillermo Roviralta, Fernando Chavarría Loaiza y Eduardo Jenkins, quienes avalaron el proyecto, conjuntamente con el entonces ministro de Salud, Dr. José Manuel Quirce Morales, gran impulsor de la creación del Servicio Nacional de Acueductos y Alcantarillados.

El órgano legislativo venía, desde mucho tiempo atrás, tratando de buscarle una respuesta al asunto del agua. Primero lo hizo mediante la Ley de Aguas emitida en 1942, que disponía en su artículo 41 que todos los acueductos del país eran patrimonio del Estado, que las nuevas obras de este tipo las operaría el Ministerio de Salubridad Pública y que los acueductos administrados por las municipalidades continuarán así hasta que se decretara su nacionalización.

En vista de que el Estado no pudo asumir directamente la operación que se preveía, y que el problema continuaba agravándose, se emitió en 1953 la Ley General de Agua Potable, imponiendo regulaciones a los organismos administradores, para que estos fijaran tarifas adecuadas, que permitieran la correcta operación de los sistemas, con el fin de garantizar la potabilidad del agua en resguardo de la salud pública. Además, los obligaba a llevar contabilidad separada, para garantizar que los fondos se dedicaran a su cometido.

Los diputados tenían razones suficientes para aprobar la Ley Constitutiva de un organismo descentralizado, provisto legal y financieramente, para hacerse cargo de resolver la crisis del agua potable.

El esfuerzo nacional y el interés por dotar al país de agua de buena calidad para consumo humano, servida a domicilio, culminó con la emisión de la Ley N° 2726 del 14 de abril de 1961, que creó el Servicio Nacional de Acueductos y Alcantarillados, calificado por su gestor, el presidente en ejercicio en aquel entonces, Lic. Mario Echandi Jiménez, como

"la medida de mayor trascendencia nacional" en favor de la salud pública durante los últimos cincuenta años.

2.2.3 Ubicación geográfica

La estación propiedad del AyA que se desea intervenir se ubica en la provincia de San Jose, en el cantón de Desamparados, en el distrito de patarra, 100 m al norte de la escuela Juan Monge Guillen.

Figura 2.9: Mapa satelital Booster Los Angeles.

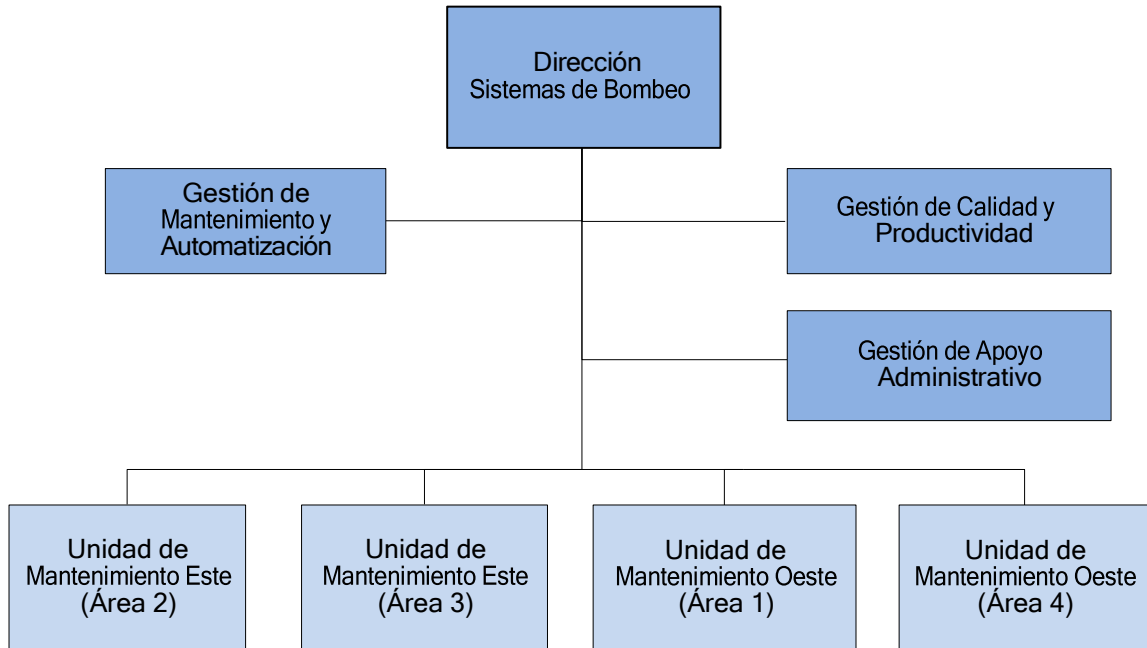


Fuente: Google Maps, 2024.

2.2.4 Estructura organizacional

El organigrama de la empresa se muestra a continuación:

Figura 2.10: Organigrama Dirección de Sistemas Bombeo AYA.



Fuente: Dirección de Sistemas de Bombeo, AYA, 2024.

2.2.5 Cantidad de empleados

La cantidad de empleados por área se muestra en el siguiente cuadro.

Tabla 2.1: Cantidad de empleados por área

Personal Dirección Sistemas de Bombeo GAM

	Descripcion del Puesto	Nombre Funcionario
1	Tecnico Sistemas Agua. Elec. Bombeo	Aguirre Aguilar Marcos
2	Tecnico Sistemas Agua. Elec. Bombeo	Diaz Avila Jose Raul
3	Tecnico Sistemas Agua. Elec. Bombeo	Sanchez Vega Gerardo
4	Tecnico Sistemas Agua. Elec. Bombeo	Gutierrez Umaña Jefry
5	Tecnico Sistemas Agua. Elec. Bombeo	Granados Valerin Manuel
6	Tecnico Sistemas Agua. Elec. Bombeo	Corrales Vargas Berny
7	Tecnico Sistemas Agua. Elec. Bombeo	Chacon Prado Greivin
8	Tecnico Especialista Sist. Agua. Elec. Bombeo	Arias Vargas Wilfredo
9	Tecnico Especialista Sist. Agua. Elec. Bombeo	Jose David Fernandez Cubillo
10	Tecnico Especialista Sist. Agua. Elec. Bombeo	Cuarezma Selva Melvin
11	Tecnico Especialista Sist. Agua. Elec. Bombeo	Picado Leon Esteban
12	Tecnico Especialista Sist. Agua. Elec. Bombeo	Salas Campos Javier
13	Tecnico Especialista Sist. Agua. Elec. Bombeo	Robles Vasquez Victor Adrian
14	Tecnico Especialista Sist. Agua. Elec. Bombeo	Molina Mora Keylor
15	Tecnico Especialista Sist. Agua. Elec. Bombeo	Rodriguez Salazar Freddy
16	Tecnico Especialista Sist. Agua. Elec. Bombeo	Martinica Navarra Gabriel
17	Tecnico Especialista Sist. Agua. Elec. Bombeo	Quiros Quesada Oscar
18	Tecnico Especialista Sist. Agua. Elec. Bombeo	Castro Mora Dagoberto
19	Tecnico Especialista Sist. Agua. Elec. Bombeo	Mora Brenes Jose Daniel
20	Tecnico Especialista Sist. Agua. Elec. Bombeo	Artavia Herrera Cesar Daniel
21	Jefe Tecnico Sist. Agua. Elec. Bombeo	Gomez Cortes Dimas
22	Jefe Tecnico Sist. Agua. Elec. Bombeo	Castro Mora Marco
23	Jefe Tecnico Sist. Agua. Elec. Bombeo	Cespedes Miranda Ronald
24	Jefe Tecnico Sist. Agua. Elec. Bombeo	Guzman Aguilar Marvin
25	Jefe Tecnico Sist. Agua. Elec. Bombeo	Marin Corrales Cristian
26	Jefe Tecnico Sist. Agua. Elec. Bombeo	Ortega Salazar Jorge Alberto
27	Jefe Tecnico Sist. Agua. Elec. Bombeo	Chavarria Arias Oscar
28	Gestor General Gestion de Apoyo	Solano Sanchez Miguel Angel
29	Ejecutivo General A Sistemas de Agua	Garcia Rodriguez Ariel
30	Ejecutivo Geneal B Sist. Agua. Elec. Bombeo	Ramirez Lizano Malaquias
31	Ejecutivo Experto Gestion de Apoyo	Mora Hernandez Victor
32	Ejecutivo Avanzado Sist. Agua. Elec. Bombeo	Rojas Tenorio Alexander
33	Director General de Sist. Agua Potable	Solis Solis Luis Roberto

Fuente: Dirección de Sistemas de Bombeo, AYA, 2024.

2.2.6 Tipos de productos

Agua potable y servicios de alcantarillado sanitario.

2.2.7 Mercado de exportación

La empresa solo ofrece servicio a nivel nacional.

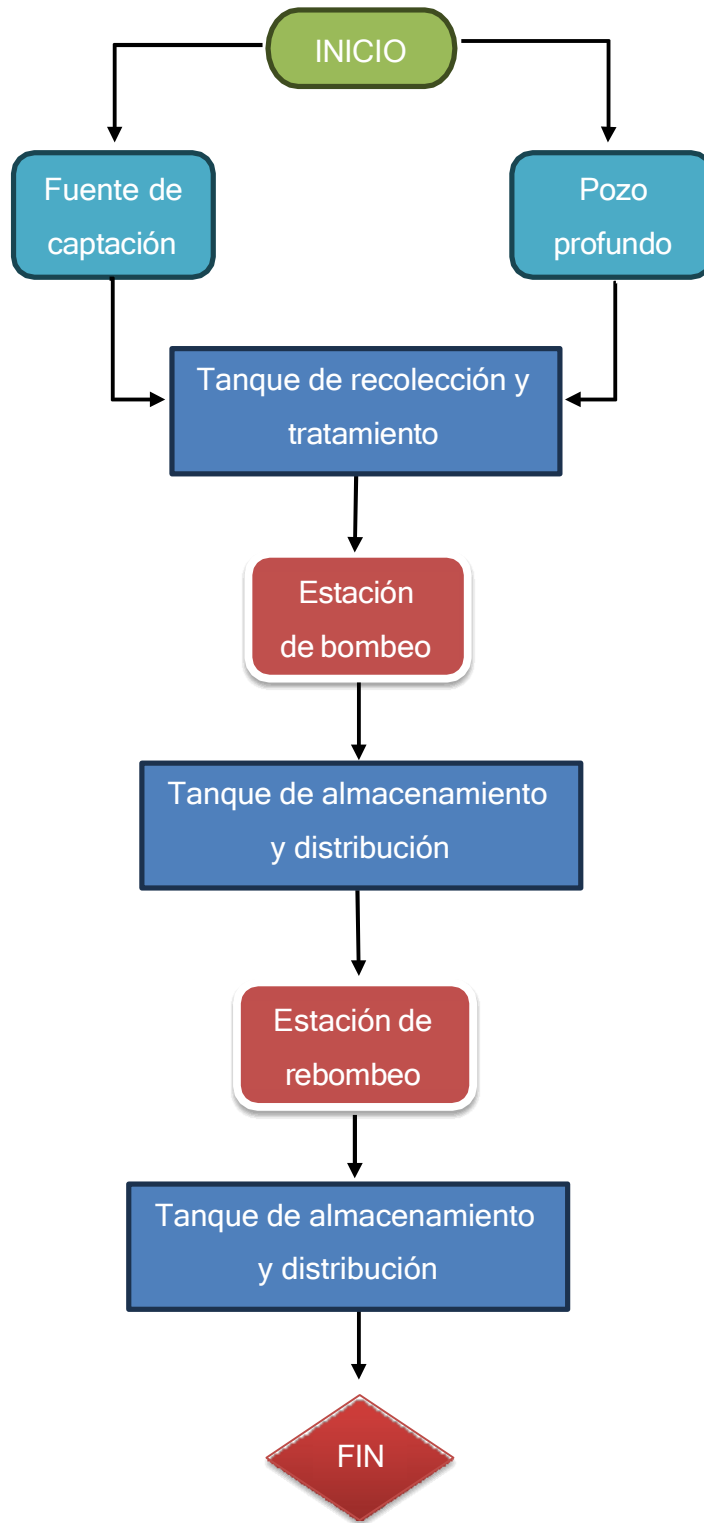
2.2.8 Descripción general del proceso productivo

El proceso productivo del departamento comienza en las fuentes de agua, las cuales pueden ser de dos tipos, de nacientes, plantas de tratamiento y mantos acuíferos subterráneos.

El líquido de las nacientes y plantas de tratamiento es recolectado en tanques de gran tamaño y luego es bombeado a otros tanques donde una parte de este es distribuida a la población y el resto es rebombeado a otros tanques de otras localidades, para ser distribuido en ellas; por su parte el líquido de los mantos acuíferos subterráneos es extraído de los mismos, por medio de equipos de bombeo sumergible, los cuales envían el líquido a tanques ubicados en la superficie, para desde estos distribuir el líquido o se rebombeado a otros tanques de otros sectores para su distribución.

Esta distribución se da por impulsión o bombeo. La Gran Área Metropolitana (GAM) se divide en cuatro sectores los cuales cuentan con un aproximado de 306 equipos de bombeo, entre los que destacan bombas centrífugas de 300 HP de bombeo; motores sumergibles, variadores de frecuencia, entre otra gran variedad de equipos. Están registrados 306 equipos entre las cuatro áreas, según la demanda por cada sector.

Figura 2.11: Diagrama de flujo del proceso productivo Sistemas de Bombeo AYA.



Fuente: Dirección de Sistemas de Bombeo, AYA, 2024.

2.3 CONCEPTOS

En esta sección, se presentan los conceptos necesarios para la comprensión de la intención del proyecto propuesto.

Al tratarse de un proyecto que pretende el aumento de la potencia instalada en una estación de bombeo, es necesario conocer los elementos que componen el sistema de bombeo que se desea controlar, tanto sus características físicas como operativas.

2.3.1 Estación de Bombeo.

“Conocemos como estación de bombeo, el lugar donde se ubican una serie de componentes eléctricos y mecánicos indispensables para trasladar un líquido de un sitio a otro” (AyA, 1990, p. 1).

Una estación de bombeo está compuesta por varios o un solo conjunto de equipo, motor bomba, que se encarga de hacer la conversión de la potencia eléctrica a potencia hidráulica, los cuales están conectados con un sistema de tuberías para la conducción del líquido que se desea bombear.

Además del conjunto bomba motor, es una estación de bombeo podemos encontrar otros elementos tales como, la acometida eléctrica, paneles de control, paneles eléctricos y tanques de captación, los cuales pueden estar alojados en una misma obra civil.

En la figura se puede apreciar la estación booster Los Ángeles, del Área 2, del Departamento de Sistemas de Bombeo, del AyA.

Figura 2.12: Entrada Booster Los Angeles.



Fuente: Dirección de Sistemas de Bombeo, AYA, 2024.

2.3.2 Bomba Vertical Multietapa.

Las bombas verticales multietapa son bombas de alto rendimiento sin cebado automático con diseño en línea, brida o con acoplamiento Victaulic con puertos de succión y descarga de igual tamaño para asegurar presión de agua en la red.

Construcción con impulsores, c ámara y carcasa en acero inoxidable. Todas las bombas están equipadas con un sello mecánico tipo cartucho para un fácil mantenimiento.

Aplicaciones:

- Sistemas de presión constante
- Sistemas de osmosis inversa
- Sistemas de destilación
- Sistemas de riego
- Sistemas contra incendio
- Sistemas de aire acondicionado
- Sistemas de condensación
- Sistemas de lavado de alta presión
- Sistemas de suministro de agua limpia
- Sistemas de alimentación a calderas

Figura 2.13: Bomba Multietapa Vertical.



Fuente: Dirección de Sistemas de Bombeo, AYA, 2024.

2.3.3 Panel de Control.

“Los tableros de control tienen como función principal el poner en marcha y detener los motores, controlando a su vez la calidad de la energía suministrada, así como el funcionamiento correcto del motor dentro de límites preestablecidos” (AyA, 1990, p. 4). Los paneles de control están constituidos por una serie de componentes electrónicos que conforman un circuito, de manera tal que se suministre la potencia eléctrica al motor y la bomba. El circuito total que se encuentra dentro del panel de control, está constituido por dos partes. La primera se conoce como circuito de potencia y se encarga de la carga eléctrica del conjunto bomba motor, cada circuito de potencia se diseña según las cargas del conjunto bomba motor al que deba suministrar potencia. La segunda parte se conoce como circuito de control y se encarga de la supervisión de las variables del sistema que se deseen controlar, por medio de una serie de Relays y sensores interconectados, de manera que formen un sistema de control de lazo cerrado, que actúa conmutando el circuito de potencia. Kosow (2006): “Los circuitos de potencia son aquellos que suministran energía directamente a los terminales de los motores de c.c. y de c.a. (. . .). Los circuitos de control son aquellos circuitos que controlan el flujo de potencia de la fuente a la carga (. . .)” (p. 36).

Figura 2.14: Panel de Control.



Fuente: Dirección de Sistemas de Bombeo, AYA, 2024.

2.3.4 Contactor de bobina.

El contactor es un aparato eléctrico de mando a distancia, que puede cerrar o abrir circuitos, ya sea en vacío o en carga. Es la pieza clave del automatismo en el motor eléctrico, según explica la página www.areatecnologia.com/electricidad/contactor.html.

Su principal aplicación es la de efectuar maniobras de apertura y cierre de circuitos relacionados con instalaciones de motores, están formados por una bobina y contactos, que pueden estar abiertos o cerrados, y que hacen de interruptores de apertura y cierre de la corriente en el circuito.

La bobina es un electroimán que acciona los contactos, abriendo los cerrados y cerrando los contactos abiertos. Cuando le deja de llegar corriente a la bobina los contactos vuelven a su estado de reposo.

Figura 2.15: Panel de Control.



Fuente: Dirección de Sistemas de Bombeo, AYA, 2024.

2.3.5 Caudal.

En dinámica de fluidos, caudal es la cantidad de fluido que circula a través de una sección del ducto por unidad de tiempo. Normalmente se identifica con el flujo volumétrico o volumen que pasa por un área dada en la unidad de tiempo. Un caudal se calcula

mediante la siguiente fórmula: $Q=V/t$, siendo Q (caudal), V (volumen) y t (tiempo). Normalmente se mide el volumen en litros y el tiempo en segundos. Existen aparatos especializados en la medición de caudales llamados caudalímetros, uno de los cuales se utiliza en este trabajo para realizar las mediciones de caudal necesarias.

Figura 2.16: Caudalímetro por ultrasonidos.



Fuente: <https://www.directindustry.es/>.

CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO

3.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

El enfoque de este trabajo es del modo mixto, ya que incluye tanto el enfoque cualitativo mediante el análisis de los distintos instrumentos de recolección de información utilizados como lo son: Diagrama de Ishikawa, Diagrama de Pareto, cuestionarios, registros históricos e histograma de cuentas. Así como también su lado cuantitativo ya que se recopilan los datos de operación de la estación de bombeo, datos de producción y trasiego de líquido, así como horas de operación de los equipos, además del análisis de los datos económicos, tanto los costó de instalación y de operación, con el fin de determinar la factibilidad de la propuesta.

3.2 MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN

Para el lograr los objetivos propuestos en primer lugar se realizara un trabajo de investigación de campo, con el cual se recopilara toda la información necesaria para poder plantear un diagrama de Ishikawa y con este determinar la causa efecto del problema en cuestión, seguidamente se realizara una recaudación de los datos históricos, para comprender las necesidades del sistema, esta información estará compuesta de todas la variables que involucra el sistema tales como frecuencia, tensión de alimentación, calibre de líneas de alimentación, protecciones del sistema de alimentación, frecuencia, amperaje y tensión nominal de motores, factores de servicio y demás datos que se recolectaran por medio de los registros históricos y además con estos parte de estos datos se creara un histograma para determinar la frecuencia de las fallas del sistema. Paso seguido se llevarán a cabo una entrevista con los ingenieros y técnicos de la dirección de sistemas de bombeo, para recaudar información sobre el tema de diseño de estaciones de bombeo y los criterios de cada uno en este aspecto, con el fin mediante una lluvia de ideas, creada a base de estas entrevistas determinar cuál es la tendencia de diseño de las estaciones. Estos resultados se representarán para una mejor comprensión mediante gráficos de pastel, representando los porcentajes de las tendencias para el reemplazo de los equipos instalados actualmente.

Seguidamente con la información recolectada, se realizará un sipoc con el cual se procederá a plantear los elementos mecánicos, hidráulicos y eléctricos que requerirían alguna modificación u reemplazo, en el sistema existente.

A continuación, se realizará un diagrama de flujo para visualizar el esquema de operación del sistema propuesto y resaltar sus diferencias con el sistema existente.

Como paso a seguir, se hará un levantamiento de los costos en los que se debe incurrir para llevar a cabo el proyecto mediante la calculadora de gestión de repuestos, y demás cálculos necesarios para determinar estos costos.

Seguidamente se realizará una proyección de los ahorros que se esperan obtener, tanto energicamente como en mantenimiento del sistema,

Como penúltimo paso se llevará a cabo un cortejo entre la información de los dos pasos anteriores, para establecer la factibilidad económica del sistema propuesto.

Con los pasos anteriores cumplidos se podrán establecer los resultados, las conclusiones y de ser necesarias algunas recomendaciones.

Todo lo anterior se apoyará y expondrá mediante cuadros comparativos y gráficos de barras, para lograr una mejor apreciación de los resultados.

Por último, se darán las conclusiones obtenidas de los datos analizados y de ser necesario se harán una serie de recomendaciones.

3.3 FUENTES DE INFORMACIÓN

Son todos aquellos medios de los cuales procede la información, que satisfacen las necesidades de conocimiento de una situación o problema presentado y, que posteriormente será utilizado para lograr los objetivos esperados.

3.3.1 Fuentes Primarias

Son todos aquellos usuarios y acompañantes a quienes se les aplicó un instrumento de investigación. En este caso, los datos provienen directamente de la población o una muestra de esta. Estas fuentes contienen información original, que ha sido publicada por

primera vez y que no ha sido filtrada, interpretada o evaluada por nadie más. Son producto de una investigación o de una actividad eminentemente creativa.

Para este trabajo se utilizarán fuentes de información primarias, como libros de electromecánica, Tesis y trabajos de investigación sobre el tema en cuestión, manuales de descripción, instalación y operación de motores y equipos de bombeo, las bitácoras de operación de la estación de bombeo booster Los Angeles, y entrevistas con los ingenieros, técnicos y operadores de la dependencia de sistemas de bombeo del AyA.

3.3.2 Fuentes Secundarias

Son las que contienen información primaria, sintetizada y reorganizada. Están especialmente diseñadas para facilitar y maximizar el acceso a las fuentes primarias o a sus contenidos. Parten de datos pre-elaborados, como pueden ser datos obtenidos de anuarios estadísticos, de Internet, de medios de comunicación, de bases de datos procesadas con otros fines, artículos y documentos relacionados con la enfermedad, libros, tesis, informes oficiales, etc.

Para la realización de este proyecto se utilizarán fuentes secundarias como revistas de ingeniería, artículos de internet, y sitios web.

3.3.3 Sujetos de información

La población o universo del presente proyecto son los miembros del personal de la dependencia de sistemas de bombeo del AyA, entre los cuales se elegirá al azar a un grupo de cuatro miembros de los distintos puestos de trabajo, entre ingenieros, jefes técnicos y técnicos especialistas, los cuales se consideran como expertos en la instalación, operación y mantenimiento de estaciones de bombeo y paneles de control.

En el caso del presente proyecto, y como posteriormente se indica, la información proveniente de recolecta por medio de instrumentos diseñados cada para los tres subgrupos definidos.

3.4 VARIABLES DE ANÁLISIS

Tabla 3.1: Variables de la investigación por objetivo específico

Objetivo específico	Variable	Definición conceptual	Operacionalización	Instrumentalización
Demostrar la factibilidad energética de la implementación propuesta, mediante el análisis de los consumos eléctricos de los equipos instalados vs. los equipos a instalar.	Análisis de consumo	Levantamiento del historial de consumo energético de la estación de bombeo.	Se revisarán los datos históricos de operación de la estación de bombeo, junto con los datos de placa de los equipos	Registros Históricos Tablas Diagrama de pastel Diagramas de Pareto
Evidenciar el aumento en la confiabilidad del sistema de bombeo, mediante el aumento en la cantidad de equipos disponibles y la alternancia de estos.	Mejora de proceso	Analizar el sistema actual para la mejora de la redundancia de este.	Se evaluará la cantidad de equipos existentes la probabilidad de falla de estos y su alternancia	Análisis de riesgo Diagrama de flujo Herramienta de Probabilidad de falla AyA
Exponer la factibilidad económica del sistema propuesto, mediante el análisis de los costos de implementación de este y los costos de mantenimiento de los equipos a instalar vrs los equipos actuales y los consumos energéticos.	Economía	Analizar el sistema actual para el cálculo de los costos de operación del sistema actual vrs el proyecto propuesto	Se recolectarán los datos históricos del costo del consumo energético de la estación y se comparará con el consumo energético proyectado para el sistema propuesto, así como los costos de implementación y mantenimiento	Calculadora para la gestión de repuestos Histograma de cuentas SIPOC

Fuente: Elaboración propia

3.5 INSTRUMENTOS

3.5.1 Lluvia de Ideas

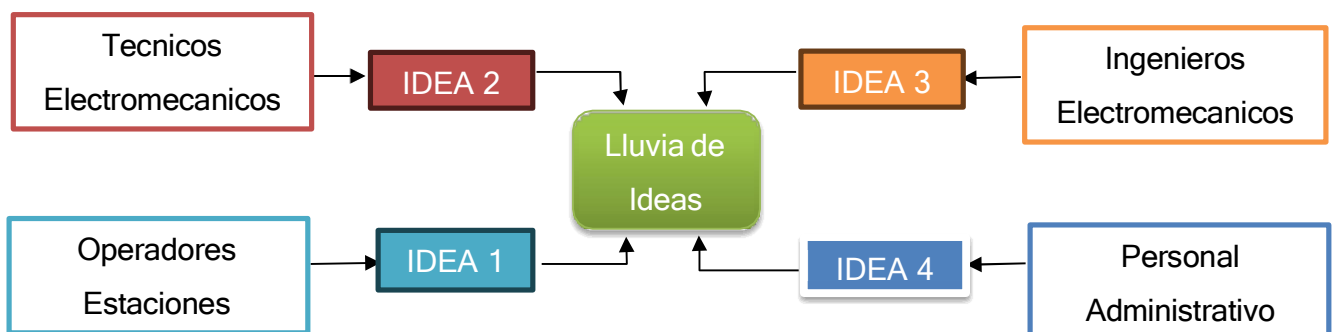
La lluvia de ideas, también llamada tormenta de ideas o brainstorming, es una técnica para generar ideas nuevas, espontáneas y creativas, con el fin de solucionar un problema.

El concepto clásico de “técnica de lluvia de ideas” fue desarrollado en 1939 por el ejecutivo de publicidad Alex Osborn. En su búsqueda de una forma de mejorar la calidad y la cantidad de ideas para las campañas publicitarias de su equipo, Osborn comenzó a organizar sesiones de colaboración grupales. Descubrió que, cuando los miembros de su equipo se reunían, eran mucho más eficientes a la hora de aportar ideas originales y creativas.

Para realizar este trabajo se llevará a cabo una lluvia de ideas del tipo Round Robin, ya que es la que mejor se adapta a grupos pequeños de trabajo de menos de diez personas, los cuales son más fáciles de manejar para un moderador, en esta se trata de asignar turnos para que cada quien presente una idea y la ponga a discusión del resto.

Es decir, hay que considerar el tiempo asignado para que cada uno anote lo más importante de sus propuestas; luego se decidirá el límite de rondas por persona y de minutos para hablar de cada idea. También se recomienda limitar la discusión a ciertos puntos básicos, para evitar que los turnos se alarguen más de lo necesario.

Figura 3.1: Formato de Lluvia de Ideas.



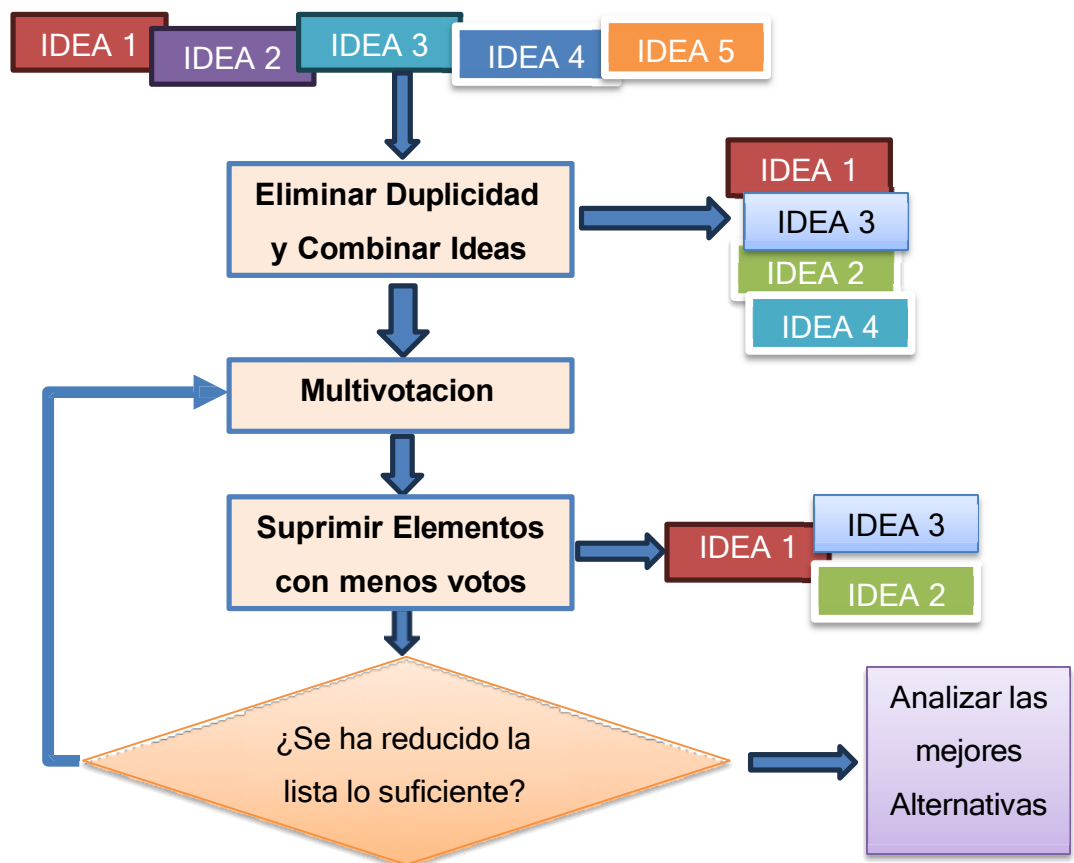
Fuente: Elaboración propia

3.5.2 Multivotación

La multivotación es un procedimiento sencillo y estructurado que se aplica para seleccionar, de entre una amplia lista de elementos, aquellos que son más significativos y merecen mayor consideración. Cuando disponemos de una gran cantidad de ideas u opciones la dificultad estriba en trabajar con ese alto número. Con la multivotación, esa amplia gama de elementos se reduce, lo que permite al equipo centrarse en unas pocas, más apropiadas e importantes.

Esta información será recopilada para luego ser sintetizada por medio de diagramas de Ishikawa y diagramas de Pareto, para lograr sintetizar las causas y efectos del problema en cuestión y así conseguir una mejor comprensión de este y brindar una posible solución.

Figura 3.2: Formato de proceso de Multivotación.



Fuente: Elaboración propia

3.5.3 Diagrama de Ishikawa

El diagrama de Ishikawa es una herramienta utilizada para visualizar las causas potenciales de un problema con el fin de descubrir las causas raíz.

El diagrama se estructura como una espina de pescado, con el enunciado del problema o efecto en la cabeza del pez y las causas potenciales representadas por ramas o espinas.

Las espinas se dividen a su vez en subcausas, lo que permite a los equipos explorar múltiples niveles de causalidad e identificar las causas más probables del problema.

Un diagrama de Ishikawa ayuda a los miembros de un equipo de trabajo a diagramar visualmente las causas profundas de un problema, en lugar de centrarse en síntomas más superficiales.

En el extremo derecho del diagrama se representa el efecto o el problema que se está analizando. Este es el punto de partida para identificar las posibles causas.

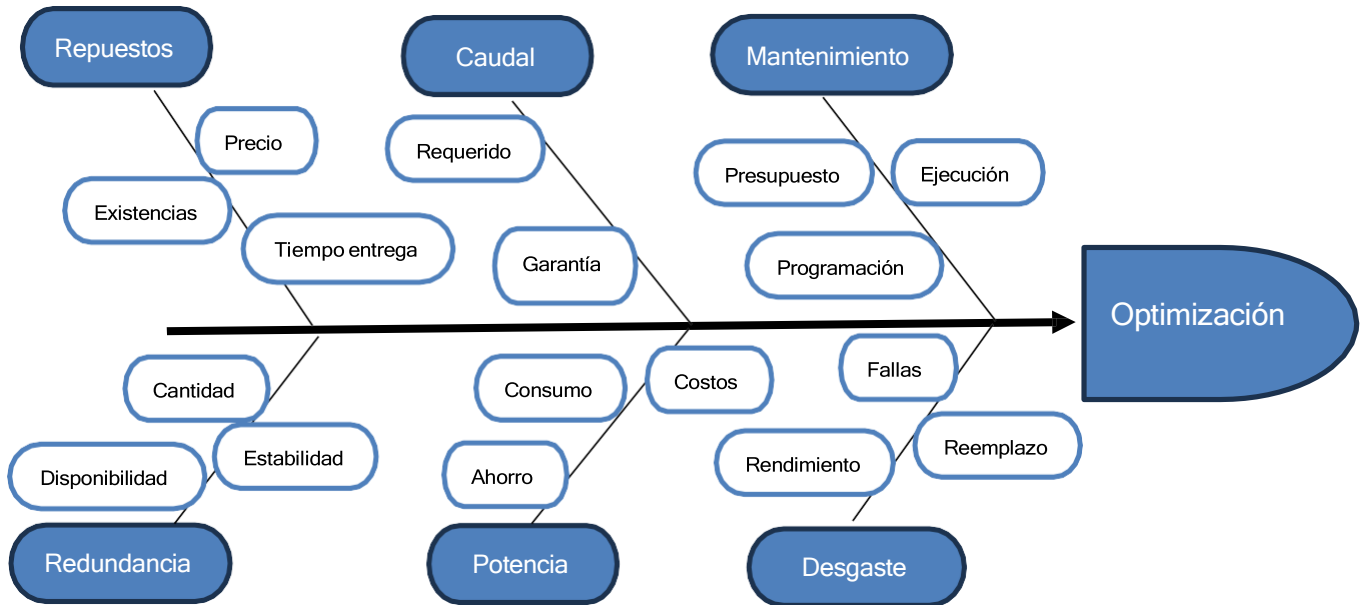
Es la línea central que se extiende desde el efecto o problema. Se asemeja a la espina de un pez (de ahí el nombre «espina de pescado»).

Las categorías o causas por lo general se representan como líneas perpendiculares a la espina principal. Entre las más comunes se destacan personas, procesos, maquinas, materiales, métodos, medio ambiente, medición.

Las causas potenciales son las subcategorías o factores específicos que se desglosan dentro de cada categoría. Se representan como líneas secundarias que se ramifican desde las categorías, se conectan con esta por medio de líneas de flecha, de igual manera las causas se conectan al problema.

Para identificar las causas se debe identificar las causas, proporcionando una breve descripción de que explique cómo podría contribuir al efecto o problema.

Figura 3.3: Formato diagrama de Ishikawa.



Fuente: Elaboración propia

3.5.4 Diagrama de Pareto

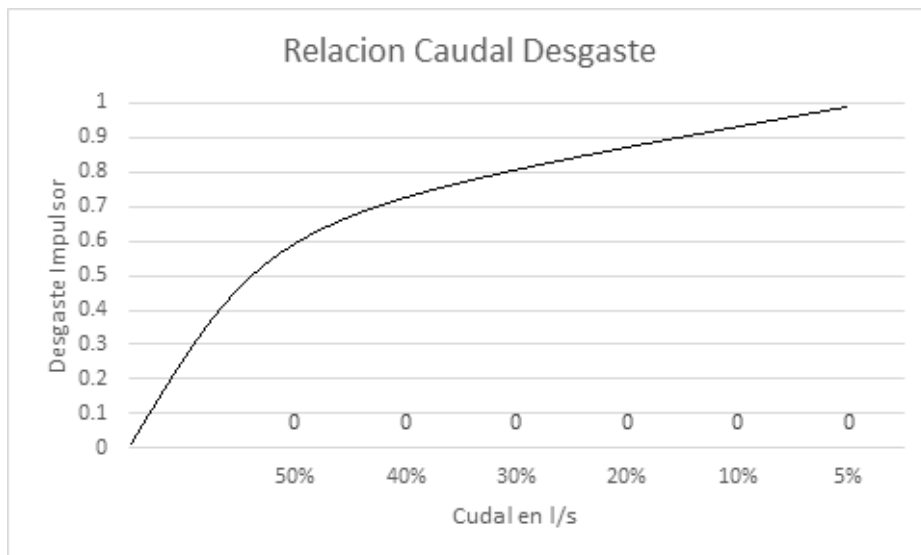
El diagrama de Pareto, también conocido como curva de distribución ABC, consiste en una gráfica que clasifica los aspectos relacionados con una problemática y los ordena de mayor a menor frecuencia, con lo que permite visualizar de forma clara cuál es la causa principal de una consecuencia. La función del diagrama de Pareto es poder reconocer cuáles son las necesidades más importantes a las que debería dirigir sus esfuerzos y no malgastar recursos en asuntos poco relevantes.

Para la elaboración del diagrama de Pareto de este proyecto se abordará de la siguiente manera:

1. Investigar cuál es el problema, recolectando los datos y seleccionando los que se analizarán.
2. Se clasifica la información por orden de prioridad, desde la mayor hasta la menor.
3. Estructuración de los datos en una tabla de mayor a menor y cálculo del porcentaje de cada uno.

4. Se traza la gráfica. Primero los ejes verticales y horizontales, posteriormente, traza la línea vertical izquierda para la frecuencia.
5. Se traza una por cada grupo de mayor a menor.
6. Se traza la línea derecha que representa el porcentaje acumulado.
7. Se traza una curva que una los puntos con el fin de representar el total de cada grupo.
8. Se colocará en cada diagrama los datos correspondientes: título, fecha, período que abarca, la fuente de información, etc.
9. Se analizará la gráfica y establecerá cuáles son los puntos vitales y que necesitan ser atendidos con prioridad.

Figura 3.4: Formato diagrama de Pareto.



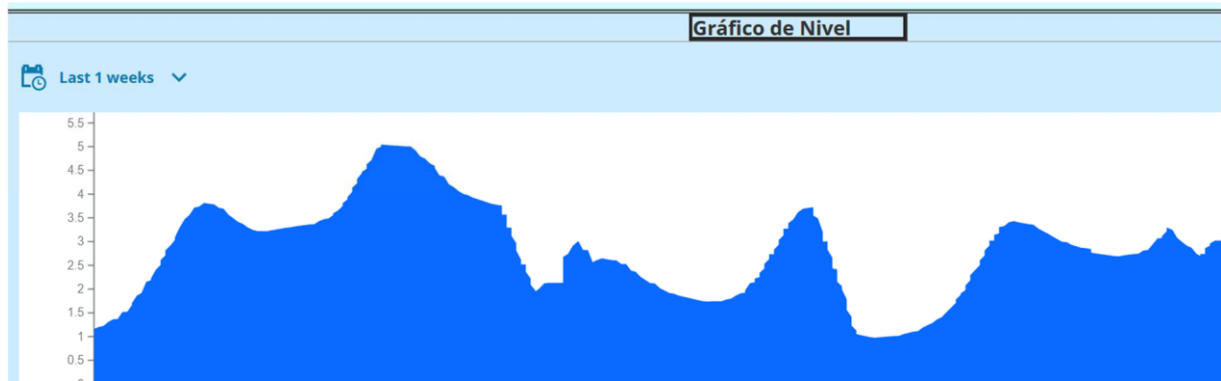
Fuente: Elaboración propia

3.5.5 Histograma de cuentas

Un histograma muestra la forma de los valores, o la distribución, de una variable continua. Los histogramas ofrecen una buena forma de evaluar los datos. Se pueden usar para comprobar valores extremos o atípicos y ayudar a comprender la distribución de sus datos. Es importante comprender la distribución de una variable a la hora de escoger herramientas de análisis estadístico adecuadas.

Para generar el histograma de este proyecto, se debe determinar el rango de valores de datos de cada barra. Los rangos de las barras se conocen como clases o intervalos. A clases iguales, la altura de las barras muestra la frecuencia de los valores de datos en cada una. Por ejemplo, al crear un histograma del nivel de un tanque, podríamos decidir clasificar por semana, con lo que la altura de las barras nos mostraría la altura del líquido en el tanque a distintos momentos y días de la semana.

Figura 3.5: Formato Histograma semanal del nivel del tanque Los Angeles.



Fuente: Sistema SCADA AyA

3.5.6 Entrevistas

Una entrevista es una reunión fijada de antemano entre dos personas, en la cual ocurre un intercambio de información. A diferencia del diálogo o la simple conversación, la entrevista persigue un propósito determinado, que puede apuntar a la evaluación, la divulgación o el diagnóstico del entrevistado.

Con el fin de llevar a cabo una serie de entrevistas en este proyecto se definirá el objetivo de la misma, el cual es recabar información de los métodos de diseño y optimización de sistemas de bombeo, para seguidamente enfocarse en el tema con una serie de preguntas elaboradas sobre el mismo, lo cual se conseguirá por medio de la investigación previa del problema en cuestión, con el fin de obtener respuestas de parte de los entrevistados que colaboren a plantear posibles soluciones al problema.

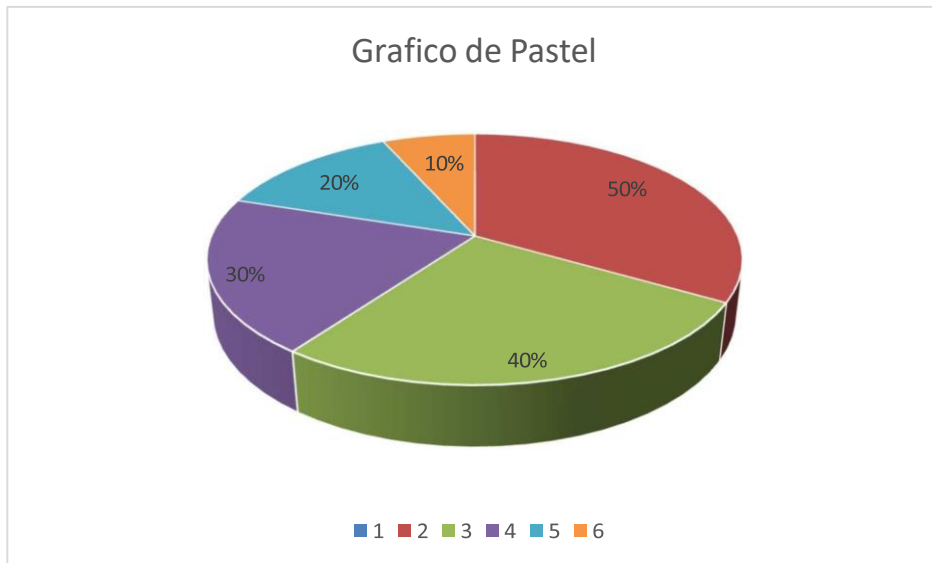
El formato en que se basara la entrevista se puede encontrar en el anexo1 de este trabajo.

3.5.7 Grafico de pastel

Un gráfico circular, diagrama sectorial, gráfica circular o gráfica de pastel es un recurso estadístico que se utiliza para representar porcentajes y proporciones. El número de elementos comparados dentro de una gráfica circular suele ser de más de cuatro. La gráfica de pastel se usa para representar porcentajes, aunque no todos los porcentajes que hay se van a visualizar mejor con una gráfica de pastel. Sin embargo, el uso básico de una gráfica de pastel sigue siendo visualizar un porcentaje o las partes de un todo.

Para este trabajo el grafico de pastel ayudara a visualizar los porcentajes de fallas, mantenimientos, costos y demás variables que requieran este tipo de tratamiento.

Figura 3.6: Formato Grafica de pastel



Fuente: Elaboración propia

3.5.8 SIPOC

Un diagrama SIPOC es una herramienta de calidad utilizada en la gestión de procesos que se utiliza para identificar y visualizar los elementos clave de un proceso. El acrónimo SIPOC significa Suppliers (proveedores), Inputs (entradas), Process (proceso), Outputs (salidas) y Customers (clientes).

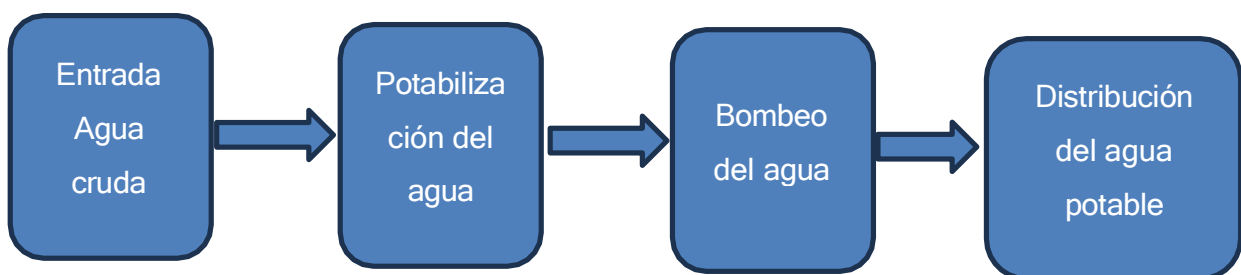
En general, el diagrama SIPOC es una herramienta útil para mejorar la eficiencia y la calidad de los procesos al proporcionar una visión clara y detallada de cómo se realiza un proceso.

Para este proyecto se planea realizar un diagrama SIPOC, con el fin de comprender mejor el proceso del sistema de bombeo a intervenir, recopilando la información pertinente sobre Suppliers (Proveedores): Que son las personas o empresas que proporcionan los materiales, herramientas, información o cualquier otro elemento que se necesite para llevar a cabo el proceso. Inputs (Entradas): Que son los insumos o recursos que se necesitan para iniciar el proceso. Pueden ser datos, materiales, información, tiempo,

entre otros. Process (Proceso): Es el conjunto de actividades que se realizan para transformar las entradas en salidas. Outputs (Salidas): Son los resultados o productos que se obtienen después de completar el proceso. Estos pueden ser productos físicos, servicios, informes, entre otros. Y los Customers (Clientes): Que son las personas o entidades que reciben los productos o servicios resultantes del proceso. Pueden ser internos o externos a la organización.

Los pasos por seguir serán la identificación del proceso, la identificación de los elementos clave, con lo cual se creará un esquema con el detalle de cada elemento, Identificando las medidas clave y los indicadores de rendimiento.

Figura 3.7: Formato SIPOC



Fuente: Elaboración propia

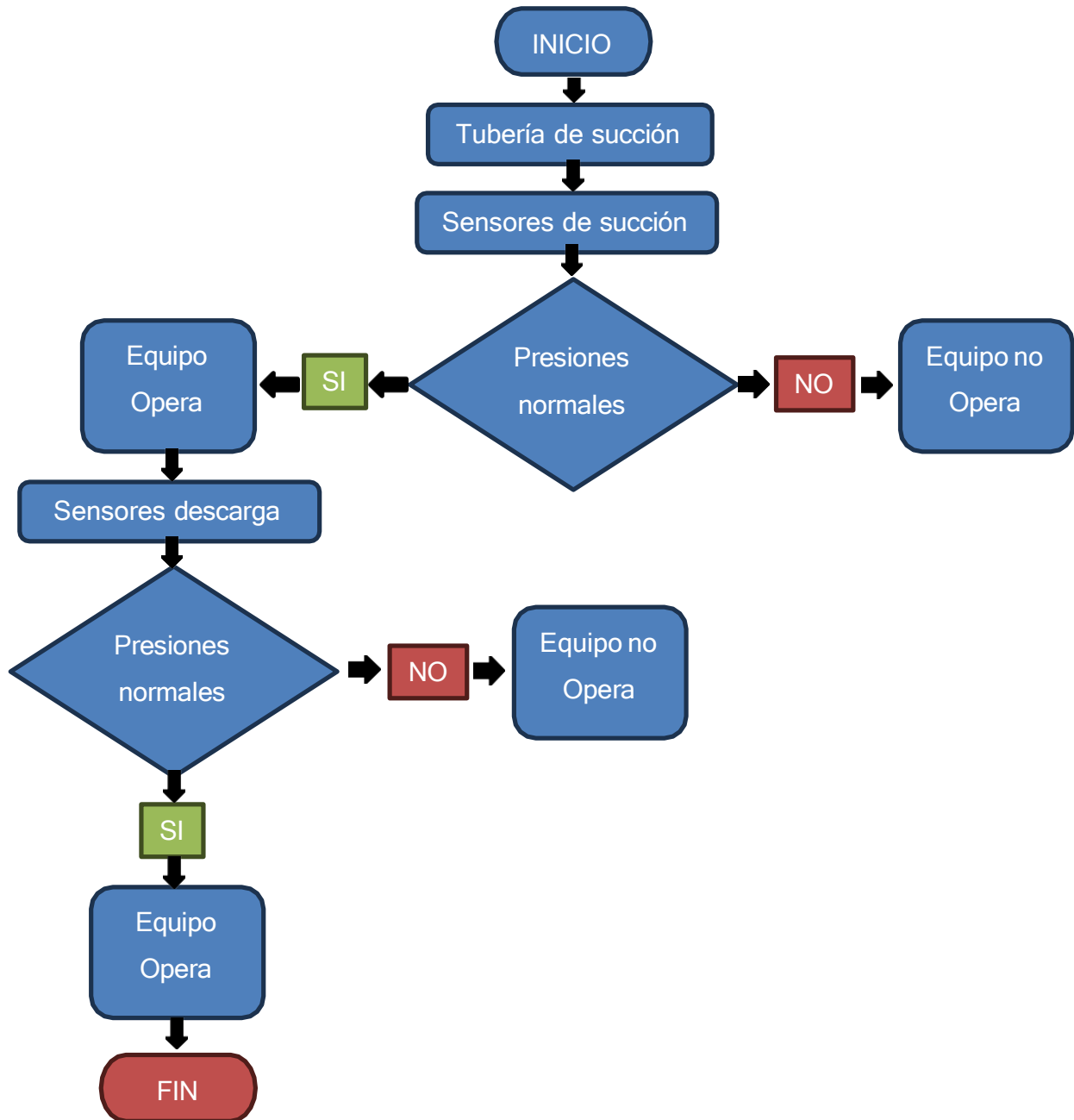
3.5.9 Diagrama de flujo

Un diagrama de flujo de proceso es una representación gráfica que muestra las variaciones y relaciones de una serie de acciones con un objetivo en común. Visualmente se puede apreciar la relación secuencial con la ayuda de descripciones, rectángulos, rombos, círculos, flechas, prismas circulares, entre otros símbolos.

Como primer paso para la realización del diagrama de flujo del proyecto se debe definir el mismo, para ello es importante fijar dónde empieza y dónde termina, para este trabajo se define el inicio del sistema en la tubería de succión del booster Los Angeles, en sus dispositivos de censo de presiones de entrada y salida de agua, como su final el tanque

de distribución el cual se conecta con el sistema por medio de tuberías de descarga y se censa su estado por medio de transductores y switch de presión. Seguidamente se determinarán el número de las etapas que van a considerarse para crear el diagrama de flujo de proceso, con el fin de evitar que este se torne confuso.

Figura 3.8: Formato Diagrama de Flujo



Fuente: Elaboración propia

3.5.10 Cuadros comparativos

Un cuadro comparativo es una herramienta de estudio y exposición de ideas, que se utiliza para comparar dos o más elementos teniendo en cuenta sus semejanzas, diferencias o características distintivas.

Es una herramienta que usa filas y columnas en las que dispone de manera lógica, breve y visualmente ordenada determinados contenidos, lo que facilita la lectura y comprensión de la información.

Para la confección de cuadro comparativo se hará una elección de las opciones a comparar, creando después una tabla según el número de opciones que se adapte a mis necesidades, la información de cada opción provendrá de las ideas aportadas en la entrevista y la información recolectada mediante las herramientas de ingeniería utilizadas para este medio. Por último, se procederá a la comparación de las mismas para llegar al fin requerido.

Figura 3.9: Formato Cuadro Comparativo

CUADRO COMPARATIVO			
	CONCEPTO	VENTAJA	DESVENTAJA
ELEMENTO A			
ELEMENTO B			
ELEMENTO C			
ELEMENTO D			
ELEMENTO E			
ELEMENTO F			

Fuente: Elaboración propia

3.5.11 Gráficos de barras

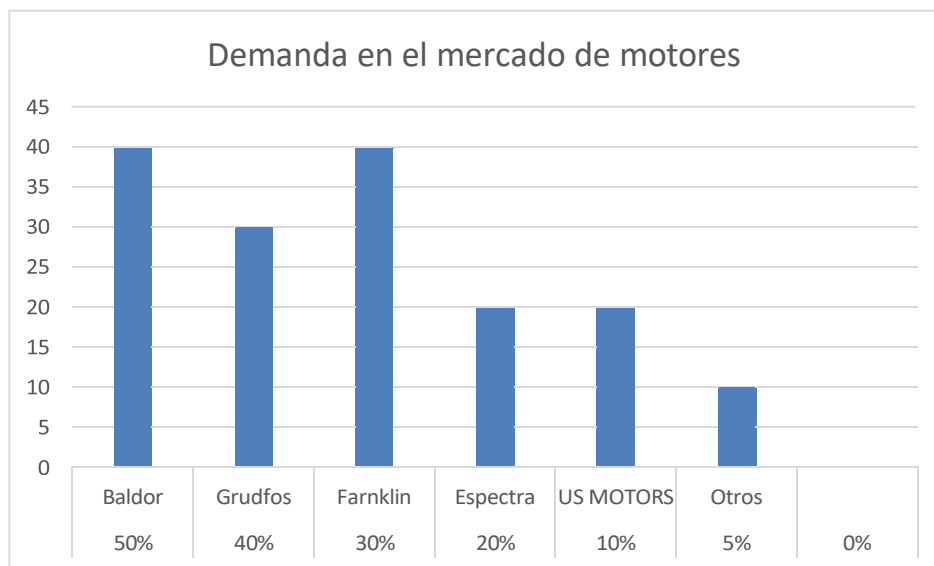
Un gráfico de barras es una forma de representar gráficamente datos numéricos mediante rectángulos verticales u horizontales, conocidos como barras. El tamaño de cada barra se ajusta proporcionalmente al valor que representa. Este tipo de gráficos

proporcionan una comparación visual de cantidades o frecuencias, lo que facilita la interpretación de los datos.

Para este trabajo se utilizará gráficos de barra para presentar información arrojada por los cuadros comparativos de una manera sencilla y comprensible, haciendo más fácil la tarea de analizar y tomar decisiones basadas en los datos.

Para su confección se identificarán los datos arrojados por los cuadros comparativos, para luego ingresar los mismos a la gráfica utilizando una herramienta de generación de gráficos.

Figura 3.10: Formato Grafico de Barras




Fuente: Elaboración propia

3.5.12 Hojas de control

Hoja recogida de datos o bien llamada hoja de control, son formas estructuradas que facilitan la recopilación de información, previamente diseñadas con base en las necesidades y características de los datos que se requieren para medir y evaluar uno o varios procesos.

Para su utilización en este trabajo se definirá primero que nada el periodo de tiempo en el que se recolectarán los datos, información con la cual se podrán crear histogramas sobre los procesos controlados en los equipos a intervenir.

Figura 3.11: Formato Hojas de Control

BOLETA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO Código: GMA-121-01-121-F01 Versión: 01		 Teléfono: 2242-5853 email: vimora@aya.go.cr	
N° A1			
Fecha: / /	Estación de Bombeo:	N° de equipo:	Área:
Hora de entrada: :	Hora de salida: :		

CASETA	CCM																																																																																																																	
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20%;"></td> <td style="text-align: center;"><input checked="" type="checkbox"/> Limpieza general</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/> Pintura</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;"><input checked="" type="checkbox"/> bueno <input type="checkbox"/> malo Luminarias</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/> Otro</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Exterior</td> <td>Indique:</td> </tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">Temperatura percibida</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Alta</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/> Normal</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">Sistema de ventilación y extracción</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/> bueno <input type="checkbox"/> malo</td> <td style="text-align: center;">Abanicos</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;"><input type="checkbox"/> Limpieza general</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;"><input type="checkbox"/> Pintura</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;"><input type="checkbox"/> Otro</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Interior</td> <td>Indique:</td> </tr> </table>		<input checked="" type="checkbox"/> Limpieza general		<input type="checkbox"/> Pintura		<input checked="" type="checkbox"/> bueno <input type="checkbox"/> malo Luminarias		<input type="checkbox"/> Otro	Exterior	Indique:	Temperatura percibida		Alta	<input type="checkbox"/> Normal	Sistema de ventilación y extracción		<input type="checkbox"/> bueno <input type="checkbox"/> malo	Abanicos	<input type="checkbox"/> Limpieza general		<input type="checkbox"/> Pintura		<input type="checkbox"/> Otro		Interior	Indique:	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="3" style="text-align: center;">1. CCM ENERGIZADO</th> </tr> <tr> <td style="width: 15%;"></td> <td style="width: 30%;">V1</td> <td style="width: 30%;">V2</td> <td style="width: 25%;">V3</td> </tr> <tr> <td rowspan="5" style="text-align: center; vertical-align: middle;">Valores de Inicio</td> <td>I1</td> <td>I2</td> <td>I3</td> </tr> <tr> <td colspan="3">Velocidad (RPM)</td> </tr> <tr> <td colspan="3">Frecuencia (Hz) 57.00</td> </tr> <tr> <td colspan="3">Temperatura (°C) 66</td> </tr> <tr> <td colspan="3">Horímetro (horas) 41081</td> </tr> <tr> <td rowspan="3" style="text-align: center; vertical-align: middle;">Tipo de Arranque</td> <td colspan="3"><input type="checkbox"/> Variador</td> </tr> <tr> <td colspan="3"><input type="checkbox"/> Autotrafo</td> </tr> <tr> <td colspan="3"><input type="checkbox"/> Caja de arranque</td> </tr> <tr> <td rowspan="2" style="text-align: center; vertical-align: middle;">Fallas</td> <td colspan="3"><input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO</td> </tr> <tr> <td colspan="3">Indique:</td> </tr> <tr> <th colspan="3" style="text-align: center;">2. CCM DESENERGIZADO</th> </tr> <tr> <td colspan="3">Limpieza de polvo <input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td colspan="3">Rezoque de terminales <input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td colspan="3">Desarmado y limpieza de componentes <input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td colspan="3">Rezoque de conductores de tierra <input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td colspan="3">Limpieza de entradas de ventilación <input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td colspan="3">Ventiladores malo <input type="checkbox"/> bueno <input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td colspan="3">Limpieza con dieléctricos <input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td colspan="3">Limpieza externa del gabinete <input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <th colspan="3" style="text-align: center;">3. RECONEXIÓN DEL CCM</th> </tr> <tr> <td style="width: 15%;"></td> <td style="width: 30%;">V1</td> <td style="width: 30%;">V2</td> <td style="width: 25%;">V3</td> </tr> <tr> <td rowspan="3" style="text-align: center; vertical-align: middle;">Valores de Salida</td> <td>I1</td> <td>I2</td> <td>I3</td> </tr> <tr> <td colspan="3">Velocidad (RPM)</td> </tr> <tr> <td colspan="3">Frecuencia (Hz)</td> </tr> <tr> <td colspan="3">Observaciones:</td> </tr> </table>	1. CCM ENERGIZADO				V1	V2	V3	Valores de Inicio	I1	I2	I3	Velocidad (RPM)			Frecuencia (Hz) 57.00			Temperatura (°C) 66			Horímetro (horas) 41081			Tipo de Arranque	<input type="checkbox"/> Variador			<input type="checkbox"/> Autotrafo			<input type="checkbox"/> Caja de arranque			Fallas	<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO			Indique:			2. CCM DESENERGIZADO			Limpieza de polvo <input type="checkbox"/>			Rezoque de terminales <input type="checkbox"/>			Desarmado y limpieza de componentes <input type="checkbox"/>			Rezoque de conductores de tierra <input type="checkbox"/>			Limpieza de entradas de ventilación <input type="checkbox"/>			Ventiladores malo <input type="checkbox"/> bueno <input type="checkbox"/>			Limpieza con dieléctricos <input type="checkbox"/>			Limpieza externa del gabinete <input type="checkbox"/>			3. RECONEXIÓN DEL CCM				V1	V2	V3	Valores de Salida	I1	I2	I3	Velocidad (RPM)			Frecuencia (Hz)			Observaciones:		
	<input checked="" type="checkbox"/> Limpieza general																																																																																																																	
	<input type="checkbox"/> Pintura																																																																																																																	
	<input checked="" type="checkbox"/> bueno <input type="checkbox"/> malo Luminarias																																																																																																																	
	<input type="checkbox"/> Otro																																																																																																																	
Exterior	Indique:																																																																																																																	
Temperatura percibida																																																																																																																		
Alta	<input type="checkbox"/> Normal																																																																																																																	
Sistema de ventilación y extracción																																																																																																																		
<input type="checkbox"/> bueno <input type="checkbox"/> malo	Abanicos																																																																																																																	
<input type="checkbox"/> Limpieza general																																																																																																																		
<input type="checkbox"/> Pintura																																																																																																																		
<input type="checkbox"/> Otro																																																																																																																		
Interior	Indique:																																																																																																																	
1. CCM ENERGIZADO																																																																																																																		
	V1	V2	V3																																																																																																															
Valores de Inicio	I1	I2	I3																																																																																																															
	Velocidad (RPM)																																																																																																																	
	Frecuencia (Hz) 57.00																																																																																																																	
	Temperatura (°C) 66																																																																																																																	
	Horímetro (horas) 41081																																																																																																																	
Tipo de Arranque	<input type="checkbox"/> Variador																																																																																																																	
	<input type="checkbox"/> Autotrafo																																																																																																																	
	<input type="checkbox"/> Caja de arranque																																																																																																																	
Fallas	<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO																																																																																																																	
	Indique:																																																																																																																	
2. CCM DESENERGIZADO																																																																																																																		
Limpieza de polvo <input type="checkbox"/>																																																																																																																		
Rezoque de terminales <input type="checkbox"/>																																																																																																																		
Desarmado y limpieza de componentes <input type="checkbox"/>																																																																																																																		
Rezoque de conductores de tierra <input type="checkbox"/>																																																																																																																		
Limpieza de entradas de ventilación <input type="checkbox"/>																																																																																																																		
Ventiladores malo <input type="checkbox"/> bueno <input type="checkbox"/>																																																																																																																		
Limpieza con dieléctricos <input type="checkbox"/>																																																																																																																		
Limpieza externa del gabinete <input type="checkbox"/>																																																																																																																		
3. RECONEXIÓN DEL CCM																																																																																																																		
	V1	V2	V3																																																																																																															
Valores de Salida	I1	I2	I3																																																																																																															
	Velocidad (RPM)																																																																																																																	
	Frecuencia (Hz)																																																																																																																	
Observaciones:																																																																																																																		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="2" style="text-align: center;">SISTEMA HIDRÁULICO</th> </tr> <tr> <td>Estado de las tuberías</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/> bueno <input type="checkbox"/> malo</td> </tr> <tr> <td>Estado de las válvulas</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/> bueno <input type="checkbox"/> malo</td> </tr> <tr> <td>Estado de los manómetros</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/> bueno <input type="checkbox"/> malo</td> </tr> <tr> <td>Pintura</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/> bueno <input type="checkbox"/> malo</td> </tr> <tr> <td>Aplicación de pintura</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO</td> </tr> <tr> <td>Existencia de fugas</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO</td> </tr> <tr> <td>Presión de descarga (PSI)</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2">Observaciones:</td> </tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="2" style="text-align: center;">OTROS</th> </tr> <tr> <td>Estado de cercamientos</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/> bueno <input type="checkbox"/> malo</td> </tr> <tr> <td>Acceso</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/> bueno <input type="checkbox"/> malo</td> </tr> <tr> <td>Zonas verdes</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/> bueno <input type="checkbox"/> malo</td> </tr> <tr> <td>Rotulación</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/> bueno <input type="checkbox"/> malo</td> </tr> <tr> <td>Limpieza general</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/> bueno <input type="checkbox"/> malo</td> </tr> <tr> <td>Pintura general</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/> bueno <input type="checkbox"/> malo</td> </tr> <tr> <td>Luminarias externas</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/> bueno <input type="checkbox"/> malo</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Observaciones:</td> </tr> </table>		SISTEMA HIDRÁULICO		Estado de las tuberías	<input type="checkbox"/> bueno <input type="checkbox"/> malo	Estado de las válvulas	<input type="checkbox"/> bueno <input type="checkbox"/> malo	Estado de los manómetros	<input type="checkbox"/> bueno <input type="checkbox"/> malo	Pintura	<input type="checkbox"/> bueno <input type="checkbox"/> malo	Aplicación de pintura	<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO	Existencia de fugas	<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO	Presión de descarga (PSI)		Observaciones:		OTROS		Estado de cercamientos	<input type="checkbox"/> bueno <input type="checkbox"/> malo	Acceso	<input type="checkbox"/> bueno <input type="checkbox"/> malo	Zonas verdes	<input type="checkbox"/> bueno <input type="checkbox"/> malo	Rotulación	<input type="checkbox"/> bueno <input type="checkbox"/> malo	Limpieza general	<input type="checkbox"/> bueno <input type="checkbox"/> malo	Pintura general	<input type="checkbox"/> bueno <input type="checkbox"/> malo	Luminarias externas	<input type="checkbox"/> bueno <input type="checkbox"/> malo	Observaciones:		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="text-align: center;">RESPONSABLES</th> </tr> <tr> <td>Personal técnico involucrado:</td> </tr> <tr> <td style="height: 100px;"></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"> <div style="border: 1px solid black; width: 200px; height: 30px; margin: 0 auto;"></div> Firma del técnico responsable </td> </tr> </table>	RESPONSABLES	Personal técnico involucrado:		<div style="border: 1px solid black; width: 200px; height: 30px; margin: 0 auto;"></div> Firma del técnico responsable																																																																								
SISTEMA HIDRÁULICO																																																																																																																		
Estado de las tuberías	<input type="checkbox"/> bueno <input type="checkbox"/> malo																																																																																																																	
Estado de las válvulas	<input type="checkbox"/> bueno <input type="checkbox"/> malo																																																																																																																	
Estado de los manómetros	<input type="checkbox"/> bueno <input type="checkbox"/> malo																																																																																																																	
Pintura	<input type="checkbox"/> bueno <input type="checkbox"/> malo																																																																																																																	
Aplicación de pintura	<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO																																																																																																																	
Existencia de fugas	<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO																																																																																																																	
Presión de descarga (PSI)																																																																																																																		
Observaciones:																																																																																																																		
OTROS																																																																																																																		
Estado de cercamientos	<input type="checkbox"/> bueno <input type="checkbox"/> malo																																																																																																																	
Acceso	<input type="checkbox"/> bueno <input type="checkbox"/> malo																																																																																																																	
Zonas verdes	<input type="checkbox"/> bueno <input type="checkbox"/> malo																																																																																																																	
Rotulación	<input type="checkbox"/> bueno <input type="checkbox"/> malo																																																																																																																	
Limpieza general	<input type="checkbox"/> bueno <input type="checkbox"/> malo																																																																																																																	
Pintura general	<input type="checkbox"/> bueno <input type="checkbox"/> malo																																																																																																																	
Luminarias externas	<input type="checkbox"/> bueno <input type="checkbox"/> malo																																																																																																																	
Observaciones:																																																																																																																		
RESPONSABLES																																																																																																																		
Personal técnico involucrado:																																																																																																																		
<div style="border: 1px solid black; width: 200px; height: 30px; margin: 0 auto;"></div> Firma del técnico responsable																																																																																																																		

Fuente: Dirección Sistemas de Bombeo AyA

3.5.13 Bitácoras de operación

La bitácora de Operación tiene la función de mostrar una descripción detallada de cada una de las acciones y procesos que se han realizado a partir de que inicio la puesta en marcha del sistema de bombeo.

En este trabajo se pretende consultar las bitácoras operativas, con el propósito de recopilar información valiosa sobre los datos operativos de los equipos de la estación de bombeo, tal como horarios de operación, presiones de operación y estáticas, y demás apuntes que se consideren de relevancia para el avance de este proyecto.

Figura 3.12: Formato Bitácoras Operativas

10-10-23		Pozo W2	
Inicio: 9:05		Final: 11:20	ms
V 474-436-477		V 474-436-477	
A 260-260-260		A 264-247-263	
Hz 4819.58		Hz 4819.80	
Psi 120		Psi 120	
Hz 58		Hz 58	
RPM 3700		RPM 3700	
C° Motor 39°		C° 38	
<ul style="list-style-type: none">• Mantenimiento de panel y variador• Limpieza de extractores y tubería• Limpieza de ventilación y filtros• Recorrido de control y potencia			
Marco / Morán			

Fuente: Dirección Sistemas de Bombeo AyA

3.5.14 Historial de mantenimiento predictivo

El mantenimiento predictivo es una técnica que utiliza herramientas y técnicas de análisis de datos para detectar anomalías en el funcionamiento y posibles defectos en los equipos y procesos, de modo que puedan solucionarse antes de que sobrevenga el fallo. Motivo

por el cual se consultará el historial de mantenimiento predictivo de los equipos de la estación a intervenir con el fin de establecer si se dieron anomalías, defectos de equipos, o del proceso productivo.

Figura 3.13 Formato Historial Mantenimiento Predictivo

Medición	Fecha de medición	Horimetro	Voltaje (L1-L2)	Voltaje (L1-L3)	Voltaje (L2-L3)	Desviación de voltaje	Corriente (L1)	Corriente (L2)	Corriente (L3)
Bombeo El Curio #1	23/10/2023	3,426.00	475.00	480.00	476.00	0.42%	153.00	152.00	153.00
Bombeo El Curio #2	23/10/2023	12,221.00	473.00	477.00	472.00	0.42%	148.00	162.00	157.00
Bombeo Planta El Llano #1	23/10/2023	8,315.00	240.00			0.00%	13.00	13.00	
Bombeo Planta El Llano #2	23/10/2023	19,049.00	241.00			0.00%	7.00	7.00	
Reb. Alajuelita #1	23/10/2023	1,866.00	247.00			0.00%	62.00	52.00	18.00
Reb. Alajuelita #2	23/10/2023	874.00	247.00			0.00%	60.00	51.00	17.00
Rebombeo Pico Blanco #1	23/10/2023	23,673.00	242.00			0.00%	13.00	13.00	14.00
Booster Los Angeles #1	24/10/2023	6,453.00	459.00	462.00	461.00	0.36%	16.00	15.00	16.00
Booster Los Angeles #2	24/10/2023	679.00	460.00	464.00	462.00	0.43%	7.00	8.00	8.00
Booster Los Angeles #3	24/10/2023	4,391.00	460.00	464.00	462.00	0.43%	7.00	7.00	7.00
Booster Los Angeles #4	24/10/2023	4,518.00	461.00	464.00	463.00	0.36%	7.00	7.00	7.00
Booster Los Angeles #2,3	24/10/2023								
Booster Los Angeles #2,4	24/10/2023								
Booster Los Angeles #3,4	24/10/2023								
Pozo Vesco	24/10/2023	13,819.00	480.00	486.00	484.00	0.69%	21.00	21.00	21.00
Reb. Calle Lizanias #1	24/10/2023	24,820.00	242.00			0.00%	23.00	19.00	8.00
Reb. Calle Lizanias #2	24/10/2023	86,414.00	241.00			0.00%	21.00	17.00	8.00
Reb. La Colina #1	24/10/2023	15,631.00	234.00	234.00	232.00	0.57%	39.00	41.00	40.00
Reb. La Colina #2	24/10/2023	68,107.00	234.00	233.00	231.00	0.72%	239.00	241.00	241.00
Reb. Linda Vista #1	24/10/2023	53,648.00	243.00			0.00%	71.00	62.00	18.00
Reb. Linda Vista #2	24/10/2023	55,087.00	243.00			0.00%	54.00	45.00	18.00

Fuente: Dirección Sistemas de Bombeo AyA

3.5.15 Historial de mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo consiste en la realización de labores de mantenimiento programadas periódicamente con el fin de evitar futuras anomalías e imprevistos. Se trata, en resumen, de arreglar los dispositivos antes de que fallen. El Registro de Mantenimiento Preventivo de Equipos es un compendio detallado y organizado que recopila toda la información relevante relacionada con las actividades de mantenimiento realizadas en cada equipo o maquinaria.

Se hará consulta de las bitácoras del personal técnico, con el fin de establecer si existe un historial de mantenimiento predictivo, para con ello determinar la periodicidad de este y si es el adecuado o mínimo requerido por los equipos de la estación de bombeo.

Figura 3.14: Formato Historial Mantenimiento Preventivo y Correctivo

HISTORIAL DE MANTENIMIENTO		
Fecha	TIPO MANTENIMIENTO	Descripción
26/03/2021	GMA-123: MANTENIMIENTO PREDICTIVO	MEDICIONES DE VARIABLES ELECTRICAS E HIDRAULICAS
20/04/2021	GMA-122: MANTENIMIENTO CORRECTIVO	REVISION DE EQUIPOS POR FALLA DE ARRANQUE, SE DETECTA DISPARO MOTOR SABER BAJA CARGA
29/04/2021	GMA-123: MANTENIMIENTO PREDICTIVO	MEDICIONES DE VARIABLES ELÉCTRICAS E HIDRAULICAS
07/05/2021	GMA-121: MANTENIMIENTO PREVENTIVO	LIMPIEZA Y MANTENIMIENTO DE CONTACTORES Y PANEL DE CONTROL
07/06/2021	GMA-123: MANTENIMIENTO PREDICTIVO	MEDICIONES DE VARIABLES ELÉCTRICAS E HIDRAULICAS
10/06/2021	GMA-121: MANTENIMIENTO PREVENTIVO	LIMPIEZA Y MANTENIMIENTO DE VALVULAS CHECK Y VALVULA DE ALVIO
23/07/2021	GMA-123: MANTENIMIENTO PREDICTIVO	MEDICIONES DE VARIABLES ELÉCTRICAS E HIDRAULICAS
03/09/2021	GMA-122: MANTENIMIENTO CORRECTIVO	INSTALACION DE EQUIPO DE 7.5 HP REEMPLAZA EQUIPO 2.
03/09/2021	GMA-123: MANTENIMIENTO PREDICTIVO	MEDICIONES DE VARIABLES ELÉCTRICAS E HIDRAULICAS
06/10/2021	GMA-123: MANTENIMIENTO PREDICTIVO	MEDICIONES DE VARIABLES ELÉCTRICAS E HIDRAULICAS
06/11/2021	GMA-123: MANTENIMIENTO PREDICTIVO	MEDICIONES DE VARIABLES ELÉCTRICAS E HIDRAULICAS
07/12/2021	GMA-123: MANTENIMIENTO PREDICTIVO	MEDICIONES DE VARIABLES ELÉCTRICAS E HIDRAULICAS
16/08/2022	GMA-121: MANTENIMIENTO PREVENTIVO	LIMPIEZA Y MANTENIMIENTO DE VALVULAS CHECK EQUIPOS 2 Y 3
19/08/2022	GMA-121: MANTENIMIENTO PREVENTIVO	LIMPIEZA Y MANTENIMIENTO DE VALVULAS CHECK EQUIPO 1 Y 4
02/11/2022	GMA-121: MANTENIMIENTO PREVENTIVO	LIMPIEZA Y MANTENIMIENTO DE PANELES Y ESTACION
10/11/2022	GMA-122: MANTENIMIENTO CORRECTIVO	REPARACION DE VALVULA DE ALVIO
14/12/2022	GMA-122: MANTENIMIENTO CORRECTIVO	REEMPLAZO DE RELE AUXILIAR EQUIPO 1
11/04/2023	GMA-121: MANTENIMIENTO PREVENTIVO	LIMPIEZA Y MANTENIMIENTO DE VALVULAS CHECK EQUIPO 1, 2, 3, 4 Y VALVULAS PRINCIPALES
07/06/2023	GMA-121: MANTENIMIENTO PREVENTIVO	MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE EQUIPOS Y PANEL ELECTRICO
21/06/2023	GMA-122: MANTENIMIENTO CORRECTIVO	REEMPLAZO DE HORIMETRO EQUIPO #2
25/07/2023	GMA-122: MANTENIMIENTO CORRECTIVO	REVISION DE EQUIPO POR BAJA DESCARGA
26/07/2023	GMA-122: MANTENIMIENTO CORRECTIVO	REVISION Y AJUSTE DE VALVULA DE ALVIO
16/08/2023	GMA-121: MANTENIMIENTO PREVENTIVO	MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE EQUIPOS Y PANEL ELECTRICO
03/10/2023	GMA-122: MANTENIMIENTO CORRECTIVO	REVISION DE VALVULA DE ALVIO POR OBSTRUCCION
11/11/2023	GMA-122: MANTENIMIENTO CORRECTIVO	DESARME Y REVISION DE VALVULA DE ALVIO POR OBSTRUCCION

Fuente: Dirección Sistemas de Bombeo AyA

3.5.16 Historial de mantenimiento correctivo

Según STEL Order, en su página stelorder.com “El mantenimiento correctivo consiste en las actuaciones del servicio técnico en respuesta a avisos sobre el mal funcionamiento de algún equipo, activo o proceso. Comprende un grupo de tareas de índole técnica cuyo propósito es corregir los fallos que sobrevienen en el funcionamiento de la maquinaria.”

Para este trabajo se hará consulta de las bitácoras del personal técnico, para recopilar el historial de trabajos de mantenimiento correctivo realizado a los equipos de bombeo de la estación a intervenir, con el fin de determinar su periodicidad, cuáles son las fallas más comunes, y sus posibles causas.

El formato de este historial se puede apreciar en la figura 2.22.

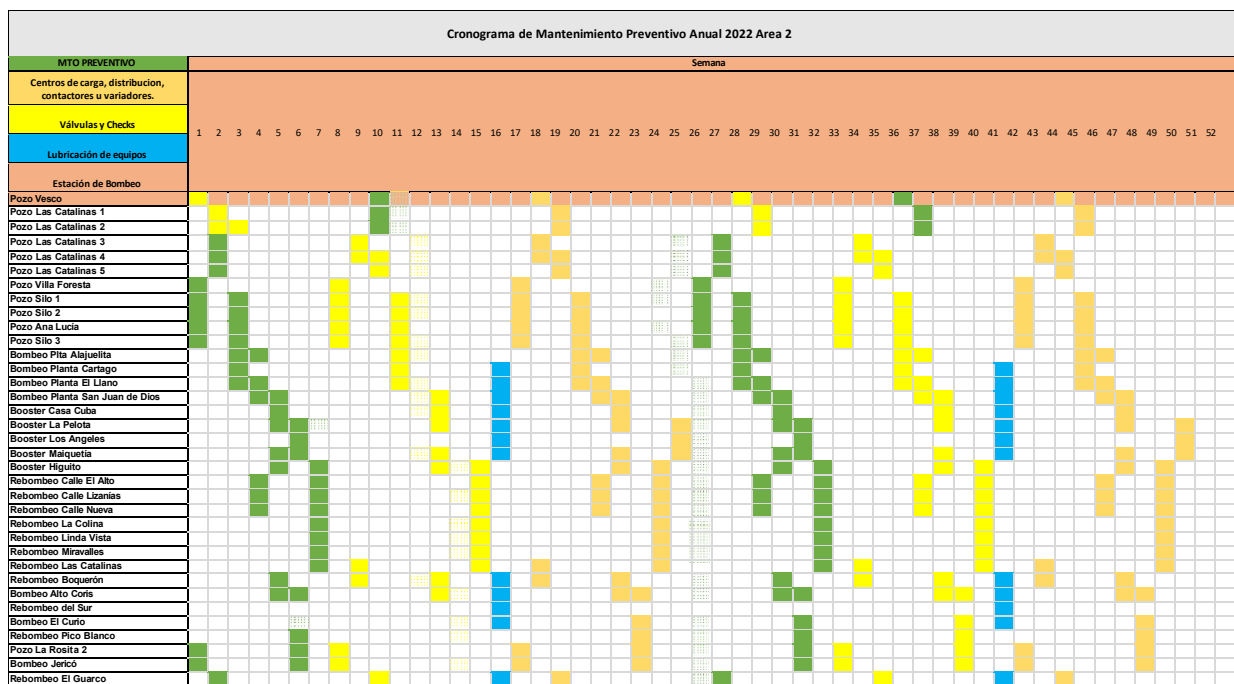
3.5.17 Diagrama Gantt

Un diagrama de Gantt es una herramienta de gestión de proyectos que se emplea para visualizar todas las tareas desde el inicio de un proyecto hasta su finalización. Ya que

tiene la estructura similar a una línea de tiempo, el diagrama de Gantt presenta cada tarea y sus dependencias, la titularidad por las tareas, la duración de la tarea y la duración prevista para todo el proyecto.

Los diagramas Gantt serán de mucha utilidad en este proyecto ya que los mismos podrán dar una proyección de tiempo al mismo, además se utilizarán como una forma de visualización de los eventos de mantenimiento que se han dado a lo largo un lapso establecido, con el fin de establecer la periodicidad de estos.

Figura 3.15: Formato GANTT



Fuente: Dirección Sistemas de Bombeo AyA

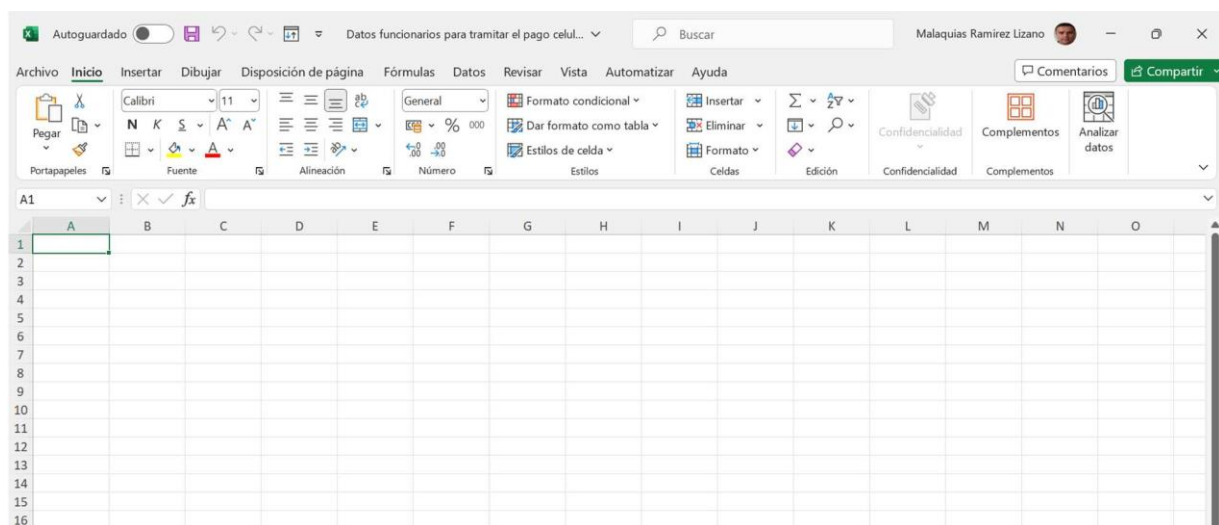
3.5.18 Hojas de Cálculo.

Una **hoja de cálculo** es un tipo de documento que permite manipular datos numéricos y alfanuméricos dispuestos en forma de tablas compuestas por celdas, las cuales se suelen organizar en una matriz de filas y columnas.

La celda es la unidad básica de información en la hoja de cálculo, donde se insertan los valores y las fórmulas que realizan los cálculos. Habitualmente es posible realizar cálculos complejos con fórmulas y/o funciones y dibujar diferentes tipos de gráficas.

En este trabajo se realizarán hojas de cálculo, las cuales servirán para determinar los costos de operación de la estación de bombeo a intervenir, los gastos energéticos, los costos de mantenimiento, y los costos por concepto de repuestos.

Figura 3.16: Formato Hojas de Calculo



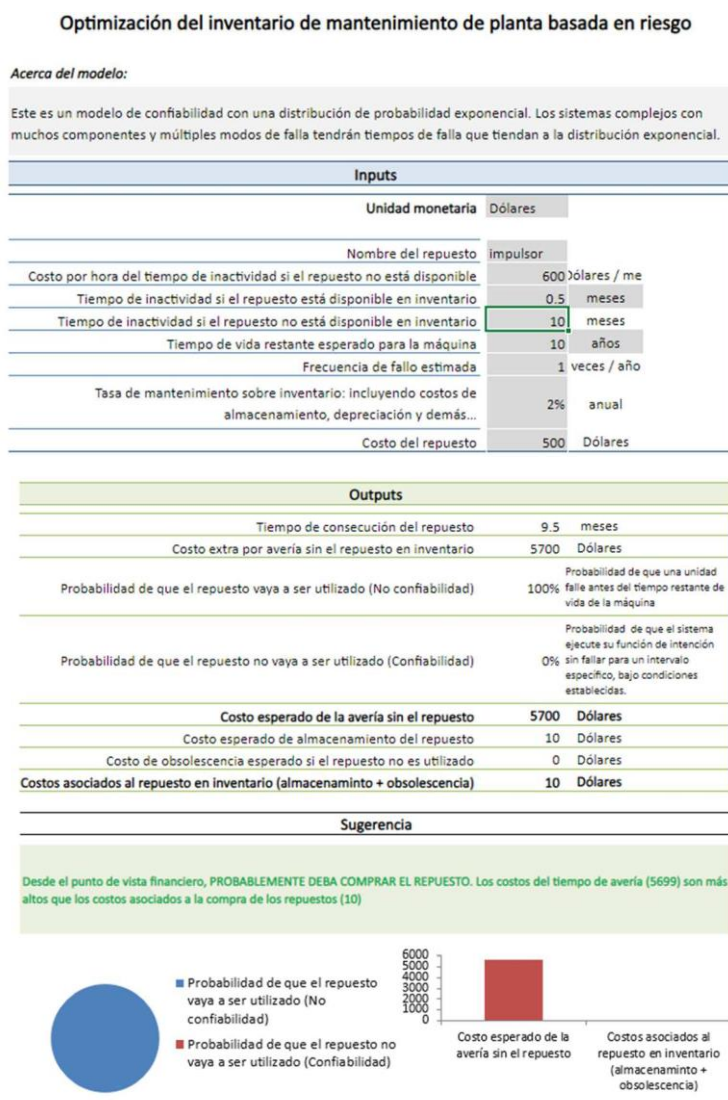
Fuente: Elaboración Propia

3.5.19 Calculadora para la gestión de repuestos.

La calculadora para la Gestión de Repuestos, una herramienta que puede servir como sustento cuantitativo para la toma de decisiones en la compra de repuestos, puede arrojar de un punto de vista económico la viabilidad de la compra, tomando en cuenta factores como el nombre del repuesto, el costo por hora del tiempo de inactividad si el repuesto no está disponible, tiempo de inactividad si el repuesto está disponible, tiempo de inactividad si el repuesto no está disponible en inventario, tiempo de vida útil restante esperado para la máquina, la frecuencia de fallo estimada, la tasa de mantenimiento sobre inventario y el costo del repuesto.

Después de introducir los datos solicitados, la calculadora nos brindara la siguiente información, tiempo de consecución del repuesto, costo extra por avería sin el repuesto en inventario, probabilidad de que el repuesto sea utilizado, probabilidad de que el repuesto no se utilice, costo esperado de la avería si el repuesto, costo de la obsolescencia esperado so el repuesto no es utilizado y los costos asociados al repuesto en inventario.

Figura 3.17: Formato Calculadora para la gestión de repuestos.



Fuente: JPM, Introducción a la estadística, www.jpm.com, 2024.

3.5.20 Cálculo de la tasa interna de retorno

La tasa interna de retorno, conocida también como TIR, es un indicador que permite conocer la rentabilidad de un proyecto, mediante el cálculo de la diferencia entre los gastos actuales y los ingresos proyectados en el futuro, con el fin de estimar las ganancias esperadas de una inversión.

Se realizará un cálculo de dicha tasa de retorno, para estimar el tiempo que tardará la empresa en recuperar la inversión hecha para llevar a cabo el proyecto propuesto. Todo mediante el análisis de los datos de costos vs ahorros obtenidos gracias a la implementación del proyecto.

Para conocer la tasa interna de retorno de un proyecto es necesario restar al valor final esperado de ventas (B) el valor inicial (A) o costos de la operación. Después, el resultado de esta diferencia se divide entre el valor inicial y se multiplica por 100 para obtener la tasa en medida porcentual.

$$B - A = X / A (100)$$

Para ellos se procederá a calcular el valor inicial, luego se estimará el valor final, del proyecto, para seguidamente restarlos entre sí y obtener un indicador de cuánto dinero se ha percibido por unidad de inversión, dividiendo la ganancia neta proyectada entre el valor inicial y el resultado se multiplica por cien para obtener el porcentaje.

3.6 PROCESO PARA LA RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS

Para el lograr los objetivos propuestos en primer lugar se realizara un trabajo de investigación de campo y por medio de una lluvia de ideas, con lo cual se realizara un proceso de multivotación, con el fin de depurar la información recopilada y obtener toda la información necesaria para poder plantear un diagrama de Ishikawa y con este determinar la causa efecto del problema en cuestión, seguidamente se realizara un

diagrama de Pareto, para comprender las necesidades del sistema, esta información estará compuesta de todas las variables que involucra el sistema tales como frecuencia, tensión de alimentación, calibre de líneas de alimentación, protecciones del sistema de alimentación, frecuencia, amperaje y tensión nominal de motores, factores de servicio y demás datos que se recolectaran por medio de los registros históricos, de estos datos se creará un histograma para determinar la frecuencia de las fallas del sistema, paso seguido se llevarán a cabo una entrevista con los ingenieros y técnicos de la dirección de sistemas de bombeo, para recaudar información sobre el tema de diseño de estaciones de bombeo y los criterios de cada uno en este aspecto, con el fin mediante una lluvia de ideas y una multivotación, para determinar cuál es la tendencia de diseño de las estaciones. Estos resultados se representarán para una mejor comprensión mediante gráficos de pastel, representando los porcentajes de las tendencias para el reemplazo de los equipos instalados actualmente.

Seguidamente con la información recolectada, se realizará un SIPOC con el cual se procederá a plantear los elementos mecánicos, hidráulicos y eléctricos que requerirían alguna modificación u reemplazo, en el sistema existente.

A continuación, se realizará un diagrama de flujo para visualizar el esquema de operación del sistema propuesto y resaltar sus diferencias con el sistema existente.

Como paso a seguir, se hará un levantamiento de los costos en los que se debe incurrir para llevar a cabo el proyecto mediante la calculadora de gestión de repuestos, y demás cálculos necesarios para determinar estos costos.

Seguidamente se realizará una proyección de los ahorros que se esperan obtener, tanto energicamente como en mantenimiento del sistema,

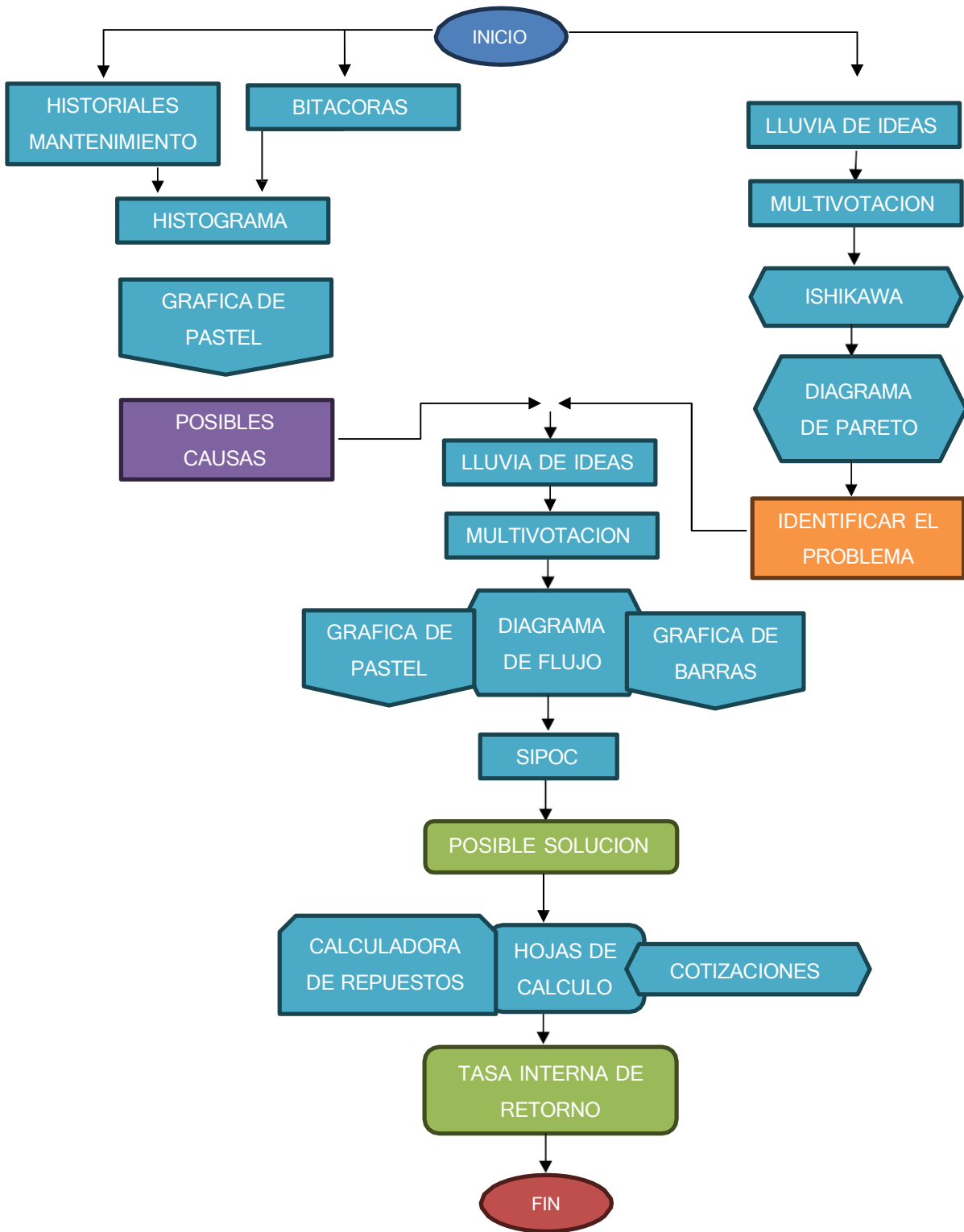
Como penúltimo paso se llevará a cabo un cortejo entre la información de los dos pasos anteriores, para establecer la factibilidad económica del sistema propuesto.

Con los pasos anteriores cumplidos se podrán establecer los resultados, las conclusiones y de ser necesarias algunas recomendaciones.

Todo lo anterior se apoyará y expondrá mediante cuadros comparativos y gráficos de barras, para lograr una mejor apreciación de los resultados.

Por último, se darán las conclusiones obtenidas de los datos analizados y de ser necesario se harán una serie de recomendaciones.

Figura 3.18: Diagrama del proceso del trabajo a realizar.



Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO IV. ANALISIS DE RESULTADOS

4.1 Investigación de campo

Como primer paso se realizó una visita de campo a la estación de bombeo Booster Los Angeles, para recopilar los parámetros medidos por el panel de control, a fin de identificar que sensores u componentes de este deberían ser reemplazados para la implementación de la propuesta. Dentro de tales parámetros medidos por los sensores instalados en el panel se encuentran los siguientes:

- Voltaje de alimentación: Permite determinar si existe un diferencial de voltaje adecuado para la operación de los equipos de bombeo.
- Nivel de agua: Permite determinar si hay suficiente agua en el tanque para realizar el bombeo, garantizando el correcto funcionamiento de los equipos, sin vaciar el nivel del contenedor a niveles críticos.
- Presión de agua: Permite determinar si existe presión excesiva de agua en la columna lo que determina si el tanque de captación está lleno o no y si se debe apagar el equipo que se encuentre en operación.

Adicionalmente se valida un parámetro específico de cada una de las bombas para comprobar su adecuado funcionamiento.

- Disparo térmico: Determina si ha ocurrido un sobrecalentamiento del equipo, ocasionado por una sobrecarga en un lapso de tiempo.

A continuación, se realiza una tabla resumen de los parámetros del sistema de bombeo actual y del equipo de bombeo utilizado.

Tabla 5.1: Parámetros del sistema de bombeo

DATOS DEL SISTEMA ACTUAL	
Caseta	De hormigón con techo de loza
Dimensiones	7.5m x 4.3m x 3.4m
Base para Medidor	Clase 200
Cable de acometida	# 1/0
Temperatura	24°C
Potencia	2 x 15Hp
Voltaje	460V
Amperaje	18AMP
Frecuencia de red	60HZ
Frecuencia de operación	60HZ
Velocidad de operación	3480 RPM
Casa Fabricante	FSP
Modelo Bomba	15VR09
Presión de Succión	60PSI
Presión de operación descarga	240PSI
Caudal	5.0 L/s
Diámetro tubería succión	100 mm
Diámetro tubería descarga	100 mm
Válvulas tubería succión	100 mm clase 125
Válvulas tubería succión	100 mm clase 300
Check tubería de descarga	100 mm clase 300

Fuente: Elaboración propia.

Según los datos recopilados en campo la presión de descarga del equipo instalado actualmente es de 240 psi, dato que debe ser transformado a metros columna de agua (mca), lo que nos diría la altura a la que se encuentra la boca de descarga de la tubería

del sistema, información que será utilizada en la subsección siguiente, lo que se hará mediante la siguiente fórmula:

$$240\text{psi} \times (0,704 \div 1\text{psi}) = 169\text{mca}$$

4.2 Análisis del sistema actual

Como segundo paso para alcanzar los objetivos planteados se debe analizar el estado de operación del equipo de bombeo actual.

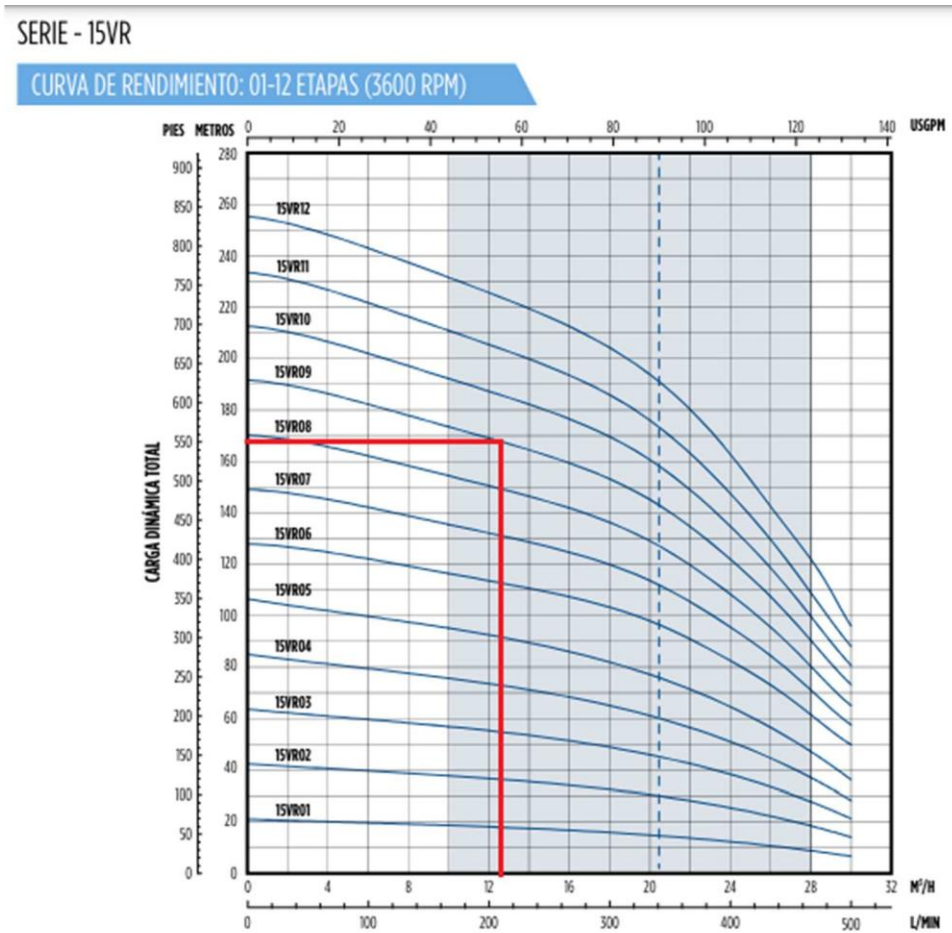
Figura 4.1: Bomba 15VR09.



Fuente: AYA Booster Los Angeles.

Para ello se examina la curva de operación de este, la cual se puede obtener en la página oficial del fabricante, disponible en el siguiente enlace '<https://franklinagua.com/>'.

Figura 4.2: Curva Característica Bomba 15VR09.



Fuente: FPS Catalogo de producto

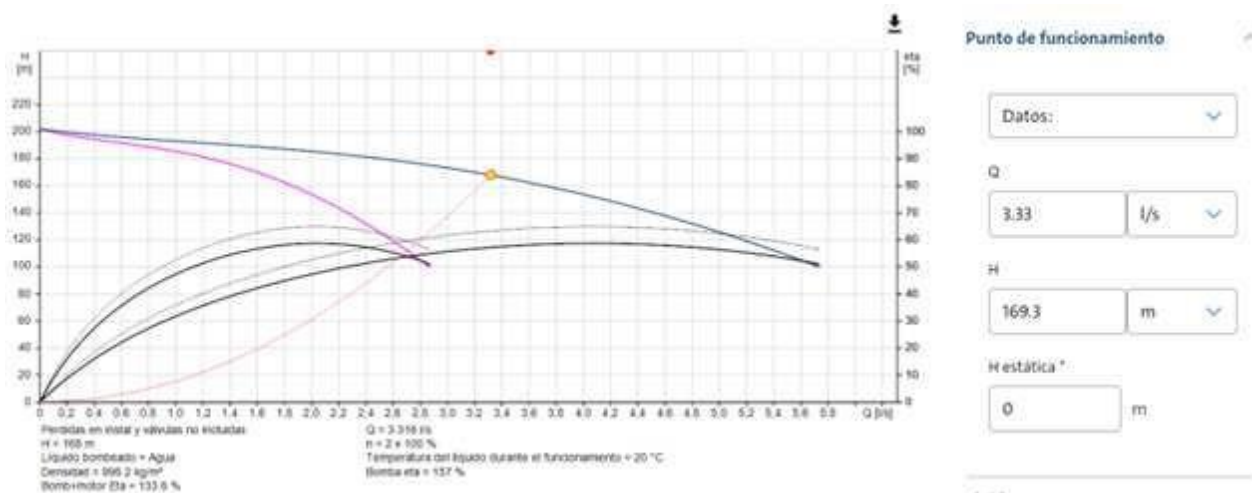
Como lo deja ver la figura anterior, el equipo de bombeo actual se encuentra trabajando en un punto un poco elevado de su curva característica, por lo que esta no opera con la eficiencia deseada, aportando un caudal de 3.8 L/s al sistema, sumado a esto el equipo opera a su máxima velocidad de 3480 rpm, por lo que está aprovechando al máximo la potencia instalada de 15 Hp.

Por esta razón para lograr el objetivo planteado de sustitución de los equipos, se hace necesario la selección de un nuevo conjunto de motor y bomba, capaces de satisfacer la necesidad del caudal actual y adaptándose a las características físicas, hidráulicas y eléctricas del sistema.

4.3 Selección de Bomba y Motor

Para la selección del nuevo conjunto de bombeo es importante tomar en cuenta el estado de la instalación eléctrica actual, ya que la misma es de suma importancia, en cuanto a la posibilidad de instalación del sistema de bombeo propuesto, con este punto claro, se procede a la selección de la bomba para lo que se utilizara el software gratuito de la empresa GRUNDFOS, el cual se puede encontrar en el siguiente link <https://product-selection.grundfos.com/>, donde se introducirán los datos necesarios para el cálculo del equipo, que mejor se adapte a las condiciones hidráulicas y eléctricas del sistema actual, y que cumpla los requerimientos de caudal deseados.

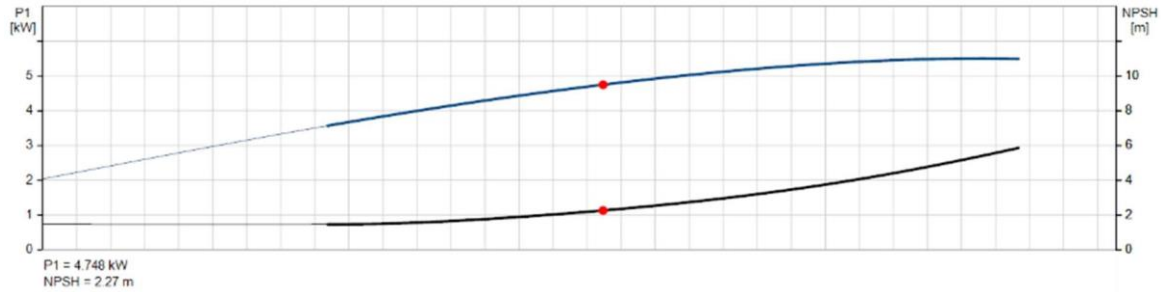
Figura 4.3: Curva Característica Bomba CR5 - 20 A-FGJ-A-E-HQQE.



Fuente: <https://product-selection.grundfos.com>

Como lo deja ver la figura anterior, el equipo de bombeo propuesto es una bomba multietapa marca GRUNDFOS, Type CR 5-20 A-FGJ-A-E-HQQE, la cual trabajaría en un punto poco elevado de su curva característica, por lo que esta operara de forma aceptable, aportando un caudal de 3.3 L/s al sistema.

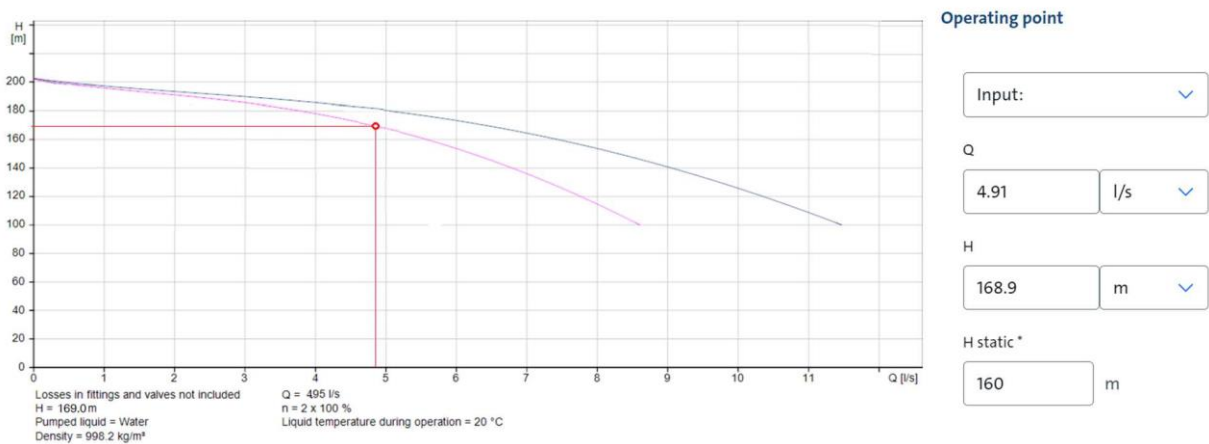
Figura 4.4: Curva de potencia Bomba CR5 – 20 A-FGJ-A-E-HQQE.



Fuente: <https://product-selection.grundfos.com>

Además, según la curva de potencia del equipo propuesto, este requerirá de una potencia de 7.5 Hp, la cual se consumirá en su totalidad ya que el sistema de arranque utilizado en sitio es directo, por lo que trabajara al máximo de sus rpm, es por esto por lo que se propone la instalación de dos equipos con iguales características los cuales operaran simultáneamente, con lo que se lograría igualar o hasta superar el caudal de bombeo del existente.

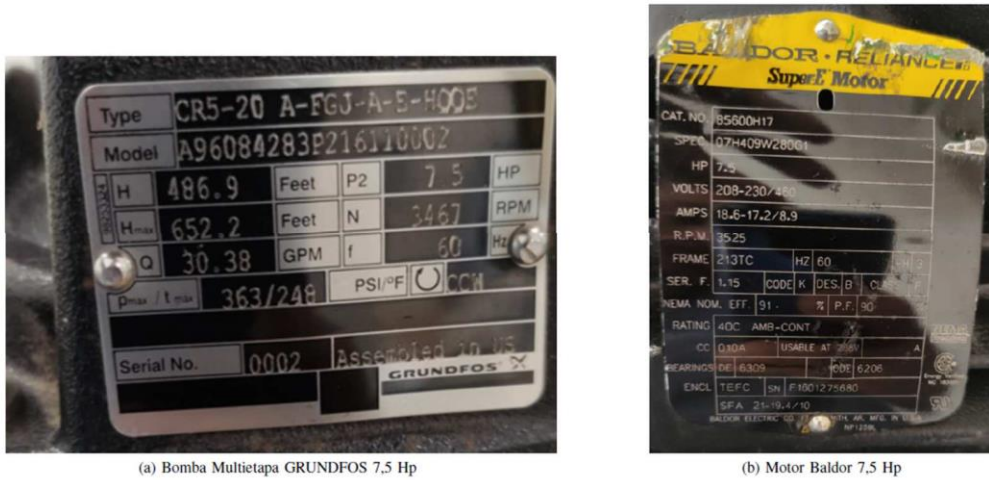
Figura 4.5: Curva de potencia dos Bombas CR5 – 20 A-FGJ-A-E-HQQE en paralelo.



Fuente: <https://product-selection.grundfos.com>

A continuación, se presentan las placas de motor y bomba del equipo propuesto.

Figura 4.6: Placa de la bomba y motor propuestos.



(a) Bomba Multietapa GRUNDFOS 7.5 Hp

(b) Motor Baldor 7.5 Hp

Fuente: AyA, sistemas de bombeo

4.7 Accesorios de arranque y control

Actualmente la estación de rebombeo Booster Los Angeles cuenta con un panel de control capacitado para la operación de dos equipos de 15Hp, a pesar de que se opera un equipo a la vez, el sistema eléctrico está diseñado para soportar la operación simultanea de los dos equipos. Con base a esto al sustituir los equipos existentes por equipos de menor potencia, los cambios que se deben hacer para la operación de los equipos propuestos son mínimos y solo abarcan algunos de los accesorios tanto del panel de control como del sistema hidráulico.

En la tabla siguiente se establecen que accesorios del panel de control que deben ser reemplazados u agregados.

Tabla 4.2: Accesorios del panel de control

Accesorios del panel de control
--

Accesorio	Propuesto	Cantidad
Contactador	3RT2017 - 1AP01	2
Relé Térmico	3RU2116 - 1KB0	2
Maneta de control	Tres posiciones	2
Cable de alimentación	TPG 4x12	20m
Cable de control	#16	30m
Luz de control	220V roja	6
Luz de control	220v verde	2
Luz de control	220v amarilla	2
Módulo de expansión LOGO	8 entradas digitales y 8 salidas de relé	1
Switch de presión	Rango de 0 a 300 psi	2
Switch de presión	Rango de 0 a 60 psi	2

Fuente: Elaboración propia.

Actualmente se encuentran instalados en el panel de control dos contactores para equipos de 15Hp, los cuales no necesariamente deben ser reemplazados ya que la potencia de los equipos propuestos es menor a la capacidad de dichos implementos, por lo que estos no presentaran problema en ser utilizados.

No obstante, al hablar de una disminución en la potencia de los equipos a instalar, se deben reemplazar los relés térmicos conectados a los contactores actualmente instalados para garantizar la protección térmica de los nuevos equipos, además del reemplazo de los cables de alimentación eléctrica de los motores, ya que el cable actual estaría sobredimensionado y conviene su reemplazo para aprovechar la canalización existente, ya que al disminuir el calibre del cable de alimentación estos pueden ser canalizados por la tubería existente.

Adicional a esto la propuesta comprende un aumento en la cantidad de equipos instalados, pasando de dos equipos de 15Hp actualmente a cuatro equipos de 7.5Hp, por lo que se deben de instalar además dos juegos de contactores y relés térmicos

adecuados a la potencia de los nuevos equipos, además de dos manetas de control de tres posiciones, las cuales se utilizarán para separar las señales de arranque de cada equipo.

Como se mencionó en la tabla 4.2, parte de los dispositivos propuestos son los siguientes:

Figura 4.7: Dispositivos propuestos para el panel de control.

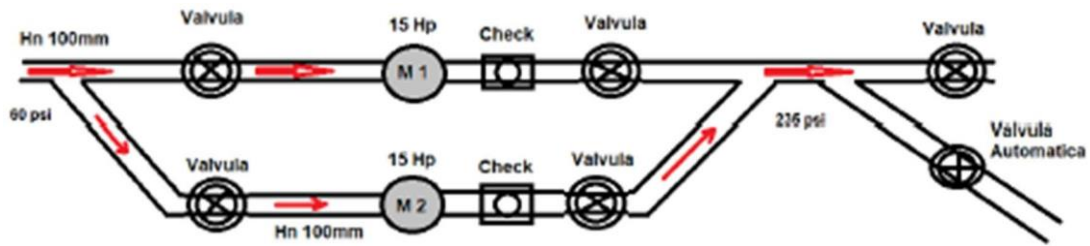


Fuente: Elaboración propia.

4.8 Diseño de tuberías de succión y descarga

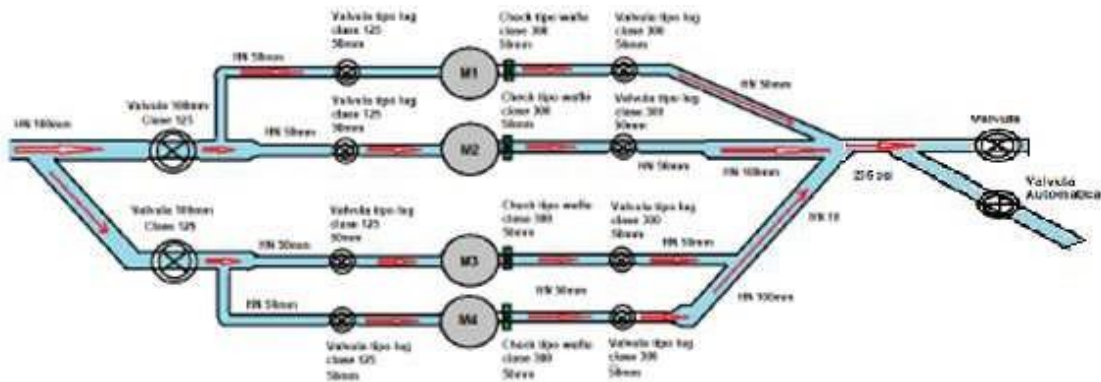
A continuación, se presenta un diagrama de la distribución hidráulica de los equipos de bombeo, válvulas y demás accesorios instalados en el Booster Los Angeles actualmente.

Figura 4.8: Diagrama de la instalación hidráulica actual.



Seguidamente se presenta un diagrama de la distribución hidráulica propuesta para los equipos de bombeo, válvulas y demás accesorios.

Figura 4.9: Diagrama de la instalación hidráulica propuesta.



Fuente: Elaboración propia.

Para realizar estas variaciones en el diseño de las tuberías y la instalación de los equipos de bombeo, es necesario realizar varios cambios en los diámetros de las tuberías de succión y descarga, para lo cual se deben instalar nuevos accesorios, de los cuales se detalla un listado a continuación.

Tabla 4.3: Accesorios diseño hidráulico

ACCESORIO	DIAMETRO	CLASE	CEDULA	CANTIDAD
-----------	----------	-------	--------	----------

Válvula tipo lug	2"	125		4
Válvula check tipo waffle	2"	300		4
Válvula tipo lug	2"	300		4
Bridas soldables HN	2"	125		16
Bridas soldables HN	2"	300		12
Reducción tipo campana HN	4" a 2"		40	4
Tubería HN	2"		40	24m

Fuente: Elaboración propia.

4.9 Datos Tecnicos y Operativos

Para el análisis de resultados se llevarán a cabo una serie de comparativas entre los parámetros esperados de operación del equipo recomendado y los datos operativos recolectados en campo del equipo actualmente instalado, con el fin de establecer el estado técnico del proyecto. La tabla VI muestra los datos de operación recolectados y los datos nominales o de placa de los motores y bombas a instar.

La Tabla IV, deja ver que efectivamente el equipo de bombeo recomendado trabajara de forma satisfactoria bajo los parámetros establecidos por los fabricantes, tanto de la bomba y el motor.

Tabla 4.4: Comparativa entre equipos

Datos del sistema	Operativos	Nominal
Temperatura	24°C	24°C
Potencia	15 hp	2 x 7.5 hp
Voltaje	460 V	460 V
Amperaje por línea	18.5 amp	17.8 amp
Velocidad de operación	3480 rpm	3525 rpm
Frecuencia de operación	60 Hz	60 Hz
Presión de descarga	240 psi	250 psi
Caudal	5.0 L/s	5.6 L/s

Fuente: Elaboración propia.

La información de la tabla IV, nos deja ver que a pesar del decremento de la potencia del sistema de bombeo de 15Hp a 2 equipos de 7.5Hp, se ha logrado alcanzar la meta del mantener el caudal de agua potable aportado, incluso aumentarlo pasando de 5.0 L/S a 5.6 L/s. Lo anterior se logró sin la necesidad de efectuar cambios significativos en la acometida eléctrica de la estación de bombeo, lo que habría significado un gasto elevado para el ente encargado.

4.10 Costo de la implementación

A continuación, se realizará una comparación entre los costos del sistema y los beneficios y ahorros percibidos por dicha implementación, con el fin de establecer la viabilidad económica del proyecto.

Para tener un panorama de la rentabilidad del sistema propuesto, se detallarán a continuación los costos de cada elemento utilizado en la instalación de este, para con ello comparar los costos de este, con los ahorros proyectados gracias a la disminución de consumo eléctrico, costo de repuestos y al aumento de la confiabilidad del sistema.

Tabla 4.5: Costos del sistema propuesto

Costos de los Elementos del Sistema Propuesto	
Cuatro Moto Bomba Multietapa 7,5Hp	\$ 12482.68
Cuatro Contactor 7,5Hp	\$ 287,55
Cuatro relé térmico 7,5Hp	\$ 266,32
Cable Eléctrico #12	\$ 332.84
Cable de Control #16	\$ 48.60
Relé Térmico 25A	\$ 260
Maneta tres posiciones	\$ 75.68
Luz piloto 220V verde	\$ 43
Luz piloto 220V roja	\$ 43
Luz piloto 220V amarilla	\$ 43
SentronPac SIEMENS	\$ 739.47
Horimetro 220V	\$ 533.61
Botón pulsador verde	\$ 64.73
Botón pulsador rojo	\$ 64.73
Riel Din	\$ 81.68
Tubo HN 2ÇSH 40	\$ 255.09
BRIDA 2ÇLASE 125	\$50,35
BRIDA 2ÇLASE 300	\$ 51,84
REDUCCIÓN HN DE 4.ª 2"	\$42,42
VÁLVULA TIPO LUG 2"	\$700
VÁLVULA CHECK TIPO WAFLE 2"	\$430
Horas técnico	\$600
Horas Ingeniero	\$ 1000
Total	\$ 18420,42

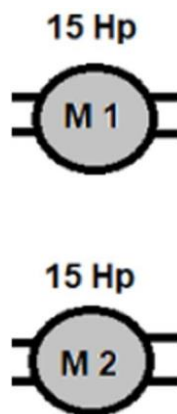
Fuente: Elaboración propia, con base en cotizaciones en el mercado nacional.

4.11 Beneficios

4.11.1 Disponibilidad de equipos

Como se mencionó en capítulos anteriores, en la actualmente en la estación de rebombeo Booster Los Angeles, operan dos equipos de 15 Hp como se aprecia en la figura a continuación.

Figura 4.10: Configuración actual de equipos.



Fuente: Elaboración propia

para la configuración actual de dos equipos, solo existe dos posibilidades de combinación para trabajar los equipos de bombeo, las cuales serían:

1. Operar solamente el equipo 1
2. Operar solamente el equipo 2

Esto se da ya que la estación fue diseñada para operar un equipo de 15 hp por vez y que el segundo equipo sirviera como equipo de respaldo, en caso de darse una avería en el equipo de turno.

A continuación, se presenta la figura 4.11, que representa la configuración propuesta para los equipos de bombeo a instalar.

Figura 4.11: Configuración propuesta de equipos.



Fuente: Elaboración propia

La figura 4.11 deja ver que, para la configuración propuesta de cuatro equipos, existen seis posibilidades de combinación para trabajar los equipos de bombeo, las cuales serían:

1. Operar los equipos 1 y 2
2. Operar los equipos 1 y 3
3. Operar los equipos 1 y 4
4. Operar los equipos 2 y 3
5. Operar los equipos 2 y 4
6. Operar los equipos 3 y 4

Como se deja ver el número de combinaciones posibles aumenta considerablemente y con ello un aumento en la confiabilidad de la estación de rebombeo, ya que aumenta la disponibilidad de equipos pasando de 2 a 6 posibles combinaciones, representando un aumento porcentual del 300 %.

Además de lo anterior se disminuyen los tiempos de operación de estos, lo que también atenúa la necesidad de mantenimiento de estos al haber un menor desgaste de sus piezas mecánicas, lo que garantiza una disminución en posibles daños a los equipos.

Paralelamente a esto se aumenta también la disponibilidad de la estación de rebombeo, al haber un mayor número de equipos, lo que a su vez aumenta el tiempo disponible para reparaciones u mantenimientos de alguno de estos, sin interrumpir el suministro de agua potable a la población.

4.11.2 Caudal aportado

Como es sabido en los sistemas de bombeo y rebombeo, el caudal es uno de los factores más importantes a tomar en cuenta durante el diseño de un sistema, sobre todo cuando el fin de este es el suministro de agua potable a un sector de población. Seguidamente se presentan imágenes de las mediciones de caudal realizadas en el Booster Los ángeles, tanto a los equipos actuales, como a los equipos propuestos.

Figura 4.12: Caudal un equipo de 15Hp.



Fuente: Cuadrilla mantenimiento predictivo AYA.

Figura 4.13: Caudal un equipo de 7.5 Hp.



Fuente: Cuadrilla mantenimiento predictivo AYA.

Figura 4.14: Caudal dos equipos de 7.5 Hp.



Fuente: Cuadrilla mantenimiento predictivo AYA.

Como se aprecia en las figuras anteriores, los caudales aportados por los equipos son los siguientes:

Tabla 4.6: Costos del sistema propuesto

Caudal aportado por los equipos de bombeo	
Una motobomba multietapa de 15 Hp	5.0 L/s
Una motobomba multietapa de 7.5 Hp	3.2 L/s
Dos motobombas multietapa de 7.5 Hp	5.6 L/s

Fuente: Cuadrilla mantenimiento predictivo AYA.

Como lo evidencia la tabla 4.6, el caudal aportado por solo un equipo de bombeo de 7.5Hp, equivale al 64% del aportado por un equipo del doble de su potencia como lo son los instalados actualmente de 15Hp. Es por esta razón que se propone la operación

simultanea de dos equipos de 7.5Hp, con el fin de alcanzar y hasta superar, el caudal aportado por los equipos actuales.

Con el punto anterior establecido, se aprecia en la tabla 5.6 que el caudal aportado por la operación de dos equipos de 7.5Hp es de 5.6 L/s, el cual equivale a un 112% del caudal original de 5.0 L/s, por lo que es incluso superior al caudal aportado por los equipos actualmente instalados, lo que da por sentado una mejora en el caudal que percibirán los abonados que se benefician del servicio de un 12 %.

Sumado a esto como se aclaró en secciones anteriores de este documento, se propone la operación de dos equipos de 7.5 Hp simultáneamente para garantizar un caudal y presión iguales o superiores a los actuales, no obstante, si por algún evento se diera la salida de operación de alguno de los equipos que estén operando, continuaría aun en operación el equipo hermano que operaba con él en ese momento, por lo que el suministro de agua no sería completamente nulo, si no que pasaría a ser el aportado por el equipo que aun funciona, según información de la cuadrilla de medición en la tabla VI Des de 3,2 L/s.

El caudal del punto anterior será el caudal aportado mientras se presenta el técnico especializado y pone en operación alguno de los otros equipos u simplemente se programa en el relé automático que controla los equipos, una relevación automática al darse una falla.

4.11.3 Consumo eléctrico

En esta sección se analizarán los consumos eléctricos de los equipos instalados actualmente y de los equipos propuestos, con el fin de establecer cuál de los dos sistemas brinda mayor economía en cuanto a este rubro.

Figura 4.15: Amperios consumidos por un equipo de 15 Hp.



(a) Amp un equipo 15Hp.

Fuente: Cuadrilla mantenimiento predictivo AYA.

Figura 4.16: Amperios consumidos por un equipo de 7.5 Hp.



(b) Amp un equipo 7.5Hp.

Fuente: Cuadrilla mantenimiento predictivo AYA.

Como lo demuestran las imágenes anteriores, el consumo de dos equipos de bombeo de 7.5Hp en operación simultanea es inferior al consumo eléctrico de un solo equipo de 15Hp, equivalente al 94% del mismo.

Tabla 4.7: Consumo eléctrico de equipos

Amperios consumidos por equipo			
Línea	Un equipo 15 Hp	Un equipo de 7.5 Hp	Dos equipos de 7.5 Hp
L1	16 AMP	7AMP	15 AMP
L2	16 AMP	7AMP	15 AMP
L3	17 AMP	8AMP	16 AMP

Fuente: Cuadrilla mantenimiento predictivo AYA.

Con los datos de la tabla 4.7 y aplicando la fórmula para el cálculo del consumo energético en redes trifásicas, se obtienen los siguientes resultados del consumo de los equipos:

$$\sqrt{3} * (VL - VL) Iac * F.P = W(3 \text{ 9})$$

Consumo equipo 15Hp:

$$\sqrt{3} * (460V) * 17 A * 0.82 = 11.106 kW$$

KWh diarios consumidos por el equipo:

$$11.106 kW * 18h = 199.908 kW/dia$$

Consumo energético anual:

$$119.908 kW /dia * 365/año = 72966.42 kW/ año$$

Consumo dos equipos 7.5Hp:

$$\sqrt{3} * (460V) * 16 A * 0.82 = 10.453 kW$$

KWh diarios consumidos por el aparato:

$$10.453 kW * 18h = 188.154 kW/dia$$

Consumo energético anual:

$$188.154 kW /dia * 365/año = 68676.21 kW/año$$

Ahorro anual = Consumo equipo 15Hp - Consumo dos equipos 7.5Hp

$$72966.42 kW /año - 68676.21 kW/año = 4290.21 kW/año$$

Según la página oficial de la ICE, el costo por kW/h para las industrias que se dedican al bombeo de agua potable es de:

Tabla 4.8: Costo del kWh para el bombeo de agua potable

Para consumos menores o iguales a 3000 kWh	
Po cada kWh	¢ 83.29
Para consumos mayores a 3000 kWh	
Cargo por energía por cada kWh	¢ 49.58
Cargo por potencia por cada kW	¢ 7964.48

Fuente: <http://www.grupoice.com/>

Al multiplicar los kW no consumidos anualmente por el costo del kW/h se obtiene el ahorro anual en colones.

$$4290.21 \text{ kW} * (\text{¢} 83.29 + \text{¢} 49.58 / 1\text{kW}) = \text{¢} 570040.20$$
$$\text{¢} 570040.20 * \$1 / \text{¢} 524.02 = \$ 1087.9$$

Los cálculos arrojan un ahorro anual de ¢ 570040.20 o \$ 1087.9, en facturación energética.

4.11.4 Repuestos

En esta subsección se comparan los precios de los repuestos para los equipos instalados actualmente y los equipos propuestos para esta implementación.

Tabla 4.9: Costo de repuestos por equipo

Costo de los kits de reparación para los modelos de bombas utilizados	
Motobomba Vertical Multietapa FPS 15VR09	\$3122.42
Motobomba Vertical Multietapa GRUDFOS	\$2132.31

Fuente: <https://franklinagua.com/>, <https://www.corporacionfont.com/producto/bombas-cr/>

Al comparar los precios de los kits de reparación y realizar una resta en el precio de estos, con el fin de averiguar si hay ahorro en temas de repuestos.

$$\$3122.42 - \$2132 = \$990.42$$

Como lo arroja ecuación anterior, por concepto de repuestos se daría un ahorro de \$990.42, en dado caso de ser necesaria la adquisición de un Kit de reparación para las bombas propuestas.

4.12 Retorno de la inversión

Seguidamente se realizará una comparación entre los costos de la implementación y los ahorros percibidos por concepto de ahorro energético y en la compra de repuestos. Con el fin de determinar la factibilidad económica del proyecto y proyectar el tiempo que se tardara en recuperar la inversión.

Como se determinó en las subsecciones previas, que se dará un ahorro anual por concepto de consumo eléctrico de \$1087.9, además, que también se percibirá un ahorro por concepto de repuestos de reparación de \$990.42, asumiendo que esta compra se realice una vez por año, se procede a calcular el tiempo que llevaría el retorno de la inversión.

Ahorro anual

$$\$1087.9 + \$990.42 = \$2078.32$$

Costos de implementación entre el ahorro anual

$$\$18420.42 \div \$2078.32 = 8.8 \text{ años}$$

Según la ecuación anterior, el tiempo que tomaría retornar la inversión sería de 8.8 años, lapso que puede disminuir ya que no se ha tomado en cuenta el ahorro por concepto de un menor costo en el metro cubico de agua potable bombeado.

Además, se han de tomar en cuenta los beneficios adicionales establecidos en anteriores subsecciones, en las cuales se remarcan aumentos considerables en la disponibilidad de equipos de bombeo y en la confiabilidad de la estación, sumado a un aumento en el caudal aportado, que beneficiara directamente a los abonados.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A continuación, se detallan las principales conclusiones y recomendaciones obtenidas en el desarrollo del presente estudio.

Conclusiones

- El equipo instalado originalmente en la estación de rebombeo Booster Los Angeles, contaba con una potencia instalada de 30 Hp, conformada por dos motobombas verticales de 15Hp cada una.
- Dicho equipo aportaba en el momento de la intervención, un caudal de 5,0 L/s.
- Se establece que al darse un daño en uno de los equipos de bombeo instalados y no contar con repuestos para el mismo, se hace necesario el reemplazo de este con algún equipo semejante u que cumpla los requisitos de caudal de la población.
- Se concluye que el equipo a elegir debe adaptarse a las características mecánicas, hidráulicas y eléctricas de la estación de rebombeo Los Angeles.
- Se estudia la posibilidad de instalar dos motobombas verticales de 7,5Hp de potencia, para sustituir el equipo dañado.
- Se analizan las curvas de los equipos recomendados y se observa que cada equipo aportaría 3,6 L/s.
- Se establece según mediciones que en conjunto los dos equipos de 7,5Hp aportan un caudal aproximado de 5.6 L/S, y se concluye que el nuevo conjunto brinda un aumento al caudal aportado de 0,6 L/s, pasando de 5,0 L/s originalmente a 5.6 L/s en la actualidad.
- Se lleva a cabo un análisis de costos y se establece que los equipos instalados generan un ahorro anual de \$ 2078.32, por concepto de consumo eléctrico y repuestos, al tipo de cambio actual.
- Se determina que el retorno de la inversión efectuada al final de la implementación total del proyecto se dará en un tiempo aproximado de 8.8 años.
- Se dará un beneficio adicional con aumento de la disponibilidad de equipos.
- Los abonados dispondrán de un mayor caudal bombeado hacia su tanque de captación y para el disfrute de estos.

- Se dará además una reducción en las horas trabajadas por los equipos de bombeo, lo que repercutirá en un aumento en el ciclo de vida de estos y menores gastos en mantenimiento.
- Se concluye que, con el alcance de los puntos anteriores, se lograron obtener tanto el objetivo general como los objetivos específicos establecidos.

Recomendaciones

- Realizar un chequeo mensual de los parámetros de operación, con el fin de realizar un mantenimiento predictivo del sistema de bombeo.
- Establecer un mantenimiento preventivo con una frecuencia adecuada de los equipos instalados, con el fin de evitar daños prematuros en los mismos.
- A pesar del aumento de la confiabilidad de los equipos, se recomienda contar al menos con un kit de reparación de los equipos instalados.
- Se recomienda la utilización de este método de diseño en futuras estaciones para la optimización de estas.

REFERENCIAS

Libros

Canales Cerón M. (2006). Metodologías de la investigación social. Santiago: LOM Ediciones; p. 163-165.

Díaz, L. (2013). *Metodología de investigación en educación médica. La entrevista, recurso flexible y dinámico*. Departamento de Investigación en Educación Médica, Facultad de Medicina, UNAM. Investigación educ. médica vol.2 no.7 Ciudad de México.

Proyectos de investigación

Adrianzen, H. (2019). *Rediseño del sistema eléctrico de la estación de bombeo Etab-01 para optimizar el consumo energético en la empresa Epsel S.A.* (Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Mecánico Electricista). Universidad Cesar Vallejo.

Alfaro, S., & Gerardo, G. (2019). *Propuesta y especificación del equipo adecuado para un sistema de turbo bombeo para el PTB Venado del embalse Arenal en Costa Rica*. [Tesis de Maestría, Universidad de Costa Rica]. Repositorio Institucional de la Universidad de Costa Rica.

Blanco, J. (2015). *Diseño de un sistema automatizado para el monitoreo y control de la estación principal de bombeo del acueducto de San Ramón, Alajuela*. [Proyecto final de graduación para optar por el grado de Licenciado en Ingeniería Mecatrónica]. Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Dorado, L. (2020). *Propuesta de diseño de una estrategia de Mantenimiento Predictivo Inteligente en la Dirección de Sistemas de Bombeo del AyA*. [Tesis de graduación

para optar por el título de Licenciatura en Ingeniería Industrial]. Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Falcon, F. (2022). *Optimización de la eficiencia física, hidráulica, y energética en el sistema de agua potable del proyecto parque logístico gd* (Tesis de maestría en Ingeniería Civil). Escuela Superior Politécnica del Litoral.

Mata, J. (2021). *Análisis de alternativas para la reubicación y propuestas de diseño preliminares para la estación de bombeo de Heredia N°26 del Proyecto de Saneamiento Ambiental de Heredia*. [Proyecto de Graduación de Licenciatura, Universidad Latina de Costa Rica]. Repositorio Institucional de la Universidad Latina de Costa Rica. <https://hdl.handle.net/20.500.12411/1421>.

Montesinos, E., & Waswaldo, A. (2022). *Diseño de una estación de bombeo automatizada para mejorar la disponibilidad de agua del Distrito de Caracoto–Puno*. [Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Mecánico Electricista]. Repositorio Universidad Cesar Vallejo.

Pallarés, A. (2018). *Optimización de la instalación de bombeo de parque de Polvoranca*. [Proyecto de Graduación para optar por el grado de Ingeniería Electromecánica], Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ICAI), Universidad Pontificia de Madrid.

Ramírez Alvarado, F. A. (2020). *Diseño e instalación de sistema de bombeo automatizado para el abastecimiento de agua en finca ganadera*. [Trabajo Final de Graduación para optar por el título de Licenciatura en Ingeniería Mecánica y Administración]. Universidad Latina de Costa Rica.

Valderrama, M. (2022). *Optimización energética en sistemas de bombeo, desarrollo de un caso práctico* [Trabajo de grado para optar al título de Magister en Ingeniería], Universidad EAFIT.

Fuentes de Internet

Alvares, D. (2023). *Que es un cuadro comparativo*. Recuperado de <https://www.significados.com/cuadro-comparativo/>

Fractal. (2023). *Mantenimiento predictivo: El arte de anticiparse a las fallas*. Recuperado de <https://www.fractal.com/es/guias-mantenimiento/mantenimiento-predictivo#:~:text=La%20data%20collection%20en%20el,sensores%20y%20dispositivos%20de%20monitoreo.>

Herramientaslean.com (2021). *Diagrama de Pareto – Herramientas Lean*. Recuperado de <https://www.herramientaslean.com/diagrama-pareto/>

IBM (2022). *Anotaciones Históricas*. Recuperado de <https://www.ibm.com/docs/es/i/7.5?topic=logs-history>

James, P. (2022). *Capacitación de personal: que es y cómo hacer que funcione en tu empresa*. Rescatado de <https://www.multiplicatalent.com/blog/gestion-talento/capacitacion-personal/>

JPM (2024). *Herramienta de Medición: Histograma*. Recuperado de https://www.jmp.com/es_es/statistics-knowledge-portal/exploratory-data-analysis/histogram.html

Licari, S. (2021). *¿Qué es una lluvia de ideas? Ejemplos y técnicas eficaces*. Recuperado de <https://blog.hubspot.es/marketing/tecnicas-lluvia-de-ideas-creativas#:~:text=La%20lluvia%20de%20ideas%20o,ideas%20espont%C3%A1neas%2C%20relajadas%20y%20horizontales.>

Lucidchart (2024). *Que es un diagrama de flujo*. Recuperado de <https://www.lucidchart.com/pages/es/que-es-un-diagrama-de-flujo#:~:text=Un%20diagrama%20de%20flujo%20es,claros%20y%20f%C3%A1cil%20de%20comprender.>

Miro. (2024). *Gráficos de Barras*. Rescatado de <https://miro.com/es/graficos/que-es-grafico-barras/>.

Niño, O. (2021). *¿Qué es el SIPOC y para qué sirve?* Recuperado de <https://es.linkedin.com/pulse/que-es-el-sipoc-y-para-sirve-oscar-ni%C3%B1o#:~:text=Que%20es%20el%20SIPOC%3F,%2C%20Procesos%2C%20Productos%20y%20Clientes.>

Obando, R. (2023). *Qué es el diagrama de Ishikawa, para qué sirve, cómo crearlo y ejemplos*. Recuperado de <https://blog.hubspot.es/sales/mejora-procesos>

Pérez, J, y Gardey, A. (2021). *Bitácora - Qué es, definición y concepto*. Recuperado de <https://definicion.de/bitacora/>

Rodriguez, J. (2023). *Qué es el diagrama de Ishikawa, para qué sirve, cómo crearlo y ejemplos*. Recuperado de <https://blog.hubspot.es/sales/diagrama-ishikawa.>

TuDashboard. (2020). *Gráficas de Pastel*. Recuperado de <https://tudashboard.com/grafica-de-pastel/>.

STEL Order. (2021). *Mantenimiento correctivo*. Recuperado de <https://www.stelorder.com/blog/mantenimiento-correctivo/>

APÉNDICES Y ANEXOS

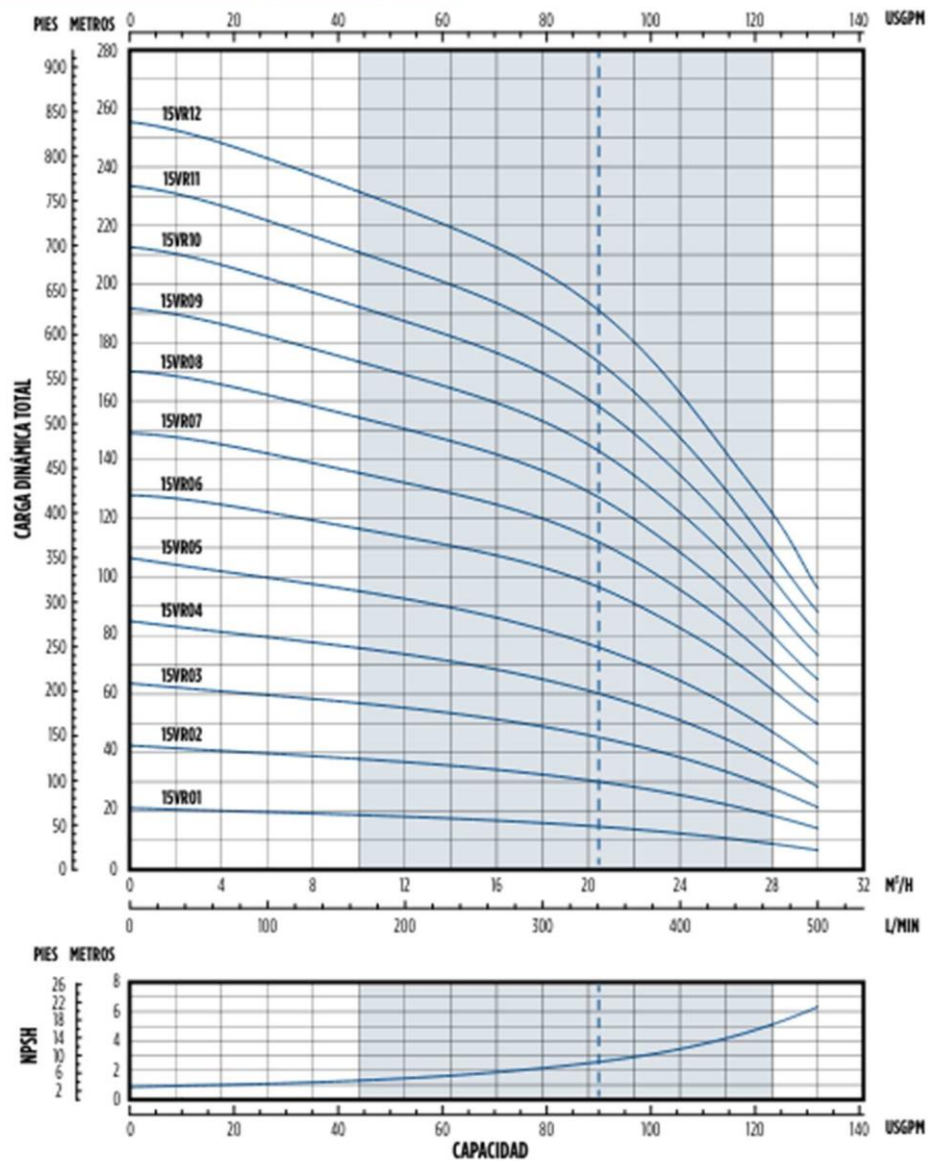
APÉNDICE 1:

APÉNDICE 2:

ANEXO 1: Curva de rendimiento motobomba vertical 15Hp

SERIE - 15VR

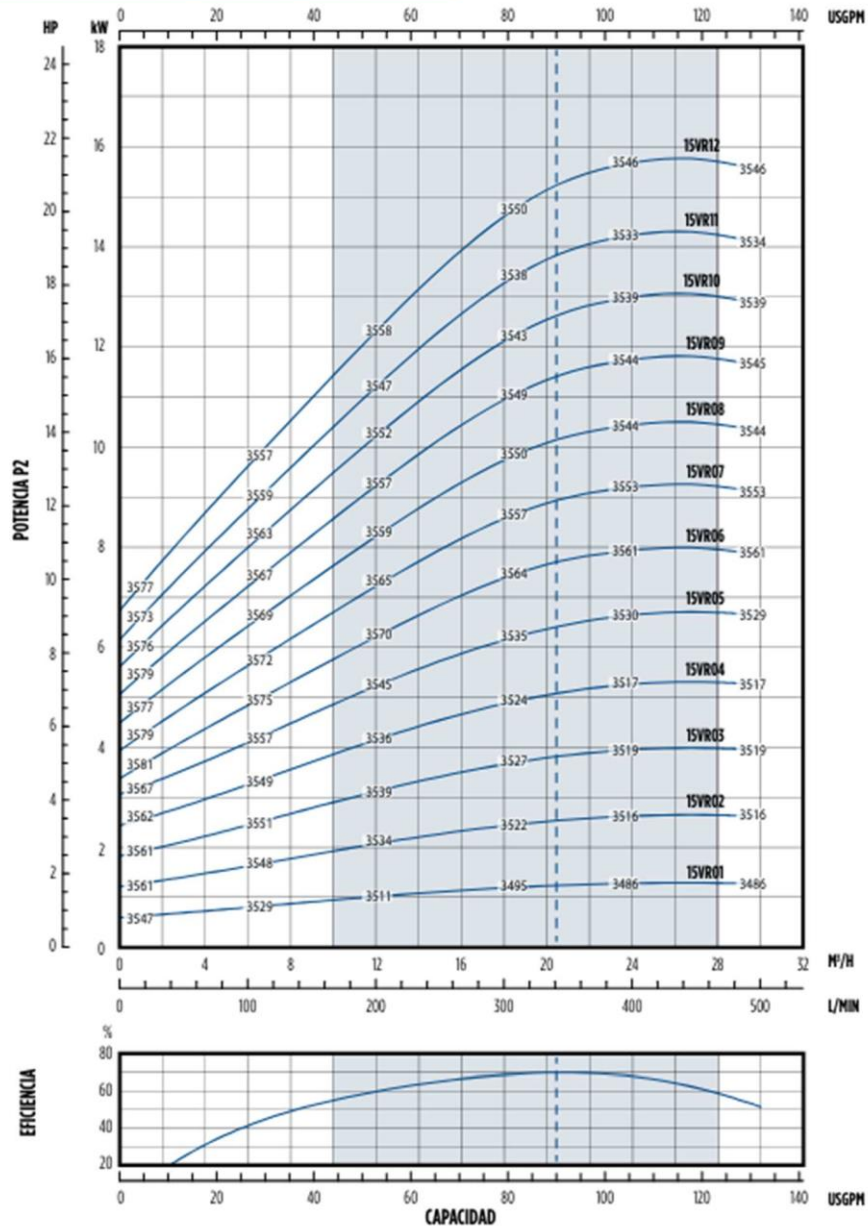
CURVA DE RENDIMIENTO: 01-12 ETAPAS (3600 RPM)



Nota: Especificaciones sujetas a cambio sin previo aviso. Las características hidráulicas están de acuerdo a la norma ISO 9906, Anexo A.

ANEXO 2: Curva de potencia motobomba vertical 15Hp

CURVA DE POTENCIA: 01-12 ETAPAS (3600 RPM)



ANEXO 3: Proforma kit de reparación motobomba vertical 7.5Hp



Impulsando el agua a otro nivel

ALROTEK DE CENTROAMERICA SOCIEDAD ANONIMA
3-101-346854
25 mtrs Norte del cruce San José - Palmares, Autopista Bernardo Soto
Palmares, 2, Costa Rica+506 2452 1046 info@alrotek.com <https://www.alrotek.com>

INSTITUTO COSTARRICENSE DE ACUEDUCTOS
Y ALCANTARILLADOS.
CALLE PRINCIPAL, ROHRMOSER, PAVAS, SAN
JOSE.
, 1, Costa Rica
Cédula: 4000042138

Número de factura proforma CT0624-792

Fecha de presupuesto:
10/06/2024

Vencimiento:
10/07/2024

Comercial:
JOSE PABLO VASQUEZ

STACK KIT DE BOMBA VERTICAL MULTITAPAS GRUNDFOS CR5-20	1.00 Servicios Técnicos	Precio U. 1,535.00	IVA 13%	Subtotal \$ 1,535.00
KIT DE SELLO MECANICO DE BOMBA CR5-20	1.00 Servicios Técnicos	Precio U. 352.00	IVA 13%	Subtotal \$ 352.00
Base imponible				\$ 1,887.00
IVA 13%				\$ 245.31
Total				\$ 2,132.31

TIEMPO DE ENTREGA 10-12 SEMANAS

Plazo de pago: 30 días

+506 2452 1046 info@alrotek.com <https://www.alrotek.com> 3101346854

ANEXO 3: Proforma motobomba vertical 7.5Hp



Zebol S. A.
Cedula Juridica: 3-101-064341
Phone Number: (506) 2437-7900
La Recta, 50 mts al norte del edificio de la Cruz Roja 20701 Palmares, Alajuela, Costa Rica

COTIZACION : 108165

FECHA : 07/06/2024

Datos del cliente:

Cliente : INSTITUTO COSTARRICENSE DE ACUEDUCTOS Y
ALCANTARILLADOS

Telefono:

Atencion:

Fax: 2666-3597

Referencia : Bomba Vertical Multietapas

Email:

Condiciones de venta:

Tiempo de entrega: 6 a 8 Semanas luego e OC y adelanto cuando apliqu

Forma de pago: Crédito

Termino de entrega : EN INSTALACIONES DEL CLIENTE

Validez de la oferta: 15 dias

Detalle de la cotizacion:

Estimado(a) Sr.(A); por este medio me permito presentarle oferta según sus necesidades:

CODIGO	DESCRIPCION	CANTIDAD	PRECIO UNI	DESC %	TOTAL
0009859	BOMBA MULTJETAPA GOULDS 5SV 20E 7.5HP 3600RPM 3F 230/480V TEFC6	1.00	\$3,122.42		\$3,122.42