

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA



**PROPUESTA DE MANTENIMIENTO Y GESTIÓN DEL
CATASTRO DE LOS
EQUIPOS DE BOMBEO DEL DEPARTAMENTO DE
MANTENIMIENTO
ELECTROMECAÁNICO DE UNA EMPRESA
ABASTECEDORA DE AGUA POTABLE**

PRESENTADO POR:

**CHRISTIAN SALVADOR BOGRÁN GUEVARA
EMERSON ARNOLDO FLORES OLIVARES
MARVIN ANTONIO LÓPEZ ANAYA**

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO MECÁNICO

CIUDAD UNIVERSITARIA, SEPTIEMBRE 2021

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR :

M.Sc. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO

SECRETARIA GENERAL :

M.Sc. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO :

PhD. EDGAR ARMANDO PEÑA

SECRETARIO :

Ing. JULIO ALBERTO PORTILLO

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

DIRECTOR INTERINO :

M.Sc. e Ing. FRANCISCO ALFREDO DE LEÓN TORRES

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

INGENIERO MECÁNICO

Título :

**PROPUESTA DE MANTENIMIENTO Y GESTIÓN DEL
CATASTRO DE LOS
EQUIPOS DE BOMBEO DEL DEPARTAMENTO DE
MANTENIMIENTO
ELECTROMECAÁNICO DE UNA EMPRESA
ABASTECEDORA DE AGUA POTABLE**

Presentado por :

**CHRISTIAN SALVADOR BOGRÁN GUEVARA
EMERSON ARNOLDO FLORES OLIVARES
MARVIN ANTONIO LÓPEZ ANAYA**

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor :

M.Sc. e Ing. LEYLA MARINA JIMÉNEZ MONROY

San Salvador, septiembre de 2021

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor :

M.Sc. e Ing. LEYLA MARINA JIMÉNEZ MONROY

AGRADECIMIENTOS

Agradezco en primer lugar a mi familia, a mi madre **Rosella Guevara** y a mi padre **Salvador Bográn**, quienes me mantuvieron firme y siempre con la frente en alto gracias a sus atenciones y apoyo incondicional, de quienes he aprendido muchísimas lecciones de vida que me servirán hasta el último de mis días, estoy muy orgulloso de ellos y por todos los sacrificios que tuvieron que hacer para llevarme hasta este punto en mi vida.

A mis hermanos **Melissa Bográn** y **Marco Bográn**; quienes me dieron su apoyo a lo largo de este viaje con sus ánimos, soporte y cuidados que me mantuvieron firme en mi carrera al recordarme cuál es mi verdadera capacidad y que para ellos yo soy su ejemplo.

A mi difunta abuela **Mamá Carmen**, quien estoy completamente seguro le hubiera dado el mayor de los placeres y felicidad verme a estas alturas de mi vida, su apoyo e influencia en mi vida me han acompañado desde siempre, este logro es para ella desde donde sea que este viendo, sé que estaría muy feliz de la misma forma en que lo estoy yo al recordarla.

También agradezco enormemente a mi abuelo **Papá Toño** quién aportó inmensamente a mi vida desde mis primeros años, sin su ayuda jamás hubiera logrado llegar hasta aquí ni tuviera la visión que tengo del mundo, estoy en infinita deuda con él y espero este logro sea algo que llene su corazón de orgullo y felicidad.

A los docentes de la Escuela de Ingeniería Mecánica, quienes aportaron y construyeron las bases del conocimiento y que me impulsaron a siempre dar la milla extra y ser mejor cada día. En particular, a la **Ing. Leyla Jiménez Monroy** mi docente asesor de tesis quién estuvo apoyándonos con su experiencia y conocimientos en cada etapa de la misma, y quién ha tenido un impacto beneficioso en mi pensamiento como futuro profesional.

Al **Ing. Valeriano Valdés** y al **Ing. Víctor García**, quienes aportaron en gran manera con su apoyo para la continuación del trabajo de graduación, además de proporcionar elementos clave en la realización del mismo que

resultaron de gran utilidad y aplicación de los conocimientos adquiridos en la carrera.

A mis compañeros de tesis **Marvin López** y **Emerson Flores**, con quienes compartí diferentes asignaturas en la carrera y logramos coincidir nuestro esfuerzo en este trabajo de graduación, les agradezco su apoyo y conocimientos en este proyecto y que hemos culminado exitosamente.

A la Asociación de Estudiantes de Ingeniería Mecánica **ASEIM**, donde pasé muchas tardes en compañía de grandes amigos que han influenciado en mi vida, el lugar donde realizaba jornadas maratónicas de estudio antes de los parciales, donde llegaba a trabajar en reportes de investigación, tareas y demás obligaciones de la carrera, siempre con el apoyo de mis compañeros, el lugar donde aprendí a convivir con personas de diferentes pensamientos.

Confío plenamente en que este es el primero de los pasos a una vida llena de superación y satisfacción personal, viviendo acompañado de una declaración que ha marcado mi vida desde el primer momento en que la leí.

“Juro por mi vida, y mi amor por ella, que jamás viviré para nadie; ni exigiré que nadie viva para mí”

CHRISTIAN SALVADOR BOGRÁN GUEVARA

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, agradecer a mi asesora de tesis por la ayuda que me brindo en toda mi formación y haber tenido al tener la oportunidad que además de enseñarme en todo el proceso de aprendizaje poder finalizar con su instrucción.

A mis compañeros de tesis, por ser una parte importante en la finalización de mi carrera ya que sin ellos no fuera posible este logro académico con el cual podremos dar el siguiente paso a una carrera profesional.

A mi abuela, en paz descanse en su gloria, gracias que ella fue un pilar importante en mi vida desde que tengo memoria quien siempre me apoyo y dio su amor incondicional, por ella siempre quise ser más en mi vida, es una de mis mayores inspiraciones.

Mi mamá, mi madre me ha enseñado en mi vida, su apoyo incondicional, la que soporto mis cambios de humor, mis ausencias en mi familia, y gracias a ella seré un profesional más de este país con las ganas de dar lo mejor de mí y seguir creciendo profesionalmente.

Mis amigos, que yo considero como mi familia que escogí, familia con la que compartí codo a codo cada situación cada malo y buen momento, me alegro haber conocido a esas personas que me dieron su apoyo en toda manera, en especial mencionar a Allan Montenegro y Dennys Pérez que fueron unos de mis grandes apoyos en esta carrera quien son colegas de diferentes áreas.

Por último, agradecer al Alma Máter, que me acogió y con grandes retos y esfuerzos gracias a ella poder culminar mi carrera profesional y poder sentirme agradecido de ser un profesional más que salió de ella. Mis docentes y personas que conocí en mi carrera.

EMERSON ARNOLDO FLORES OLIVARES

AGRADECIMIENTOS

A **DIOS** como el centro en toda mi vida y es que, es necesario señalar que cuando los caminos de bloquean y se tornan difíciles, solo la fe en él ha podido contribuir a mi fortalecimiento y reanudar mi camino para poder concretar mis proyectos y esta carrera satisfactoriamente. Mas a DIOS gracias, el cual nos lleva siempre en triunfo en Cristo Jesús y por medio de nosotros manifiesta en todo lugar el olor de su conocimiento. (2 Corintios 2:14)

A **Mis padres** por todo su apoyo incondicional durante toda esta carrera y es que dentro de un todo existe ese apoyo moral que da el ánimo y la vitalidad para seguir y mantener el vigor, por demostrar el interés y la alegría de ver mis metas alcanzadas y sin duda alguna por enseñarme el temor a Dios, que es la guía para poder andar en este camino que es la vida.

A **Mi hermano** por su amor, por su apoyo en todo tiempo, sus consejos, por estar siempre presente acompañándome y dándome su ayuda de todo corazón, por creer en mí durante todo este trayecto.

A **Mi asesora de Trabajo de grado**, M. Sc. E Ing. Leyla Jiménez por su motivación y paciencia, por su orientación, dedicación y criterio. Ha sido un privilegio poder contar con su guía y su ayuda no solo en sentido académico, sino humano y amigable.

A **Mis amigos y** a todos esos que de una u otra forma han sido clave en este proceso y en mi vida. A todos esos que me empujaron en la aventura de mi carrera y tesis, que con palabras de aliento y consejos siempre estuvieron allí quizá sacándome de desesperación y angustias con su tiempo dándome alegría y depositando confianza en mí para así encontrar la seguridad para avanzar con determinación.

MARVIN ANTONIO LÓPEZ ANAYA

PROPUESTA DE MANTENIMIENTO Y GESTIÓN DEL CATASTRO DE LOS EQUIPOS DE BOMBEO DEL DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO ELECTROMECAÁNICO DE UNA EMPRESA ABASTECEDORA DE AGUA POTABLE

Estudiantes: Christian Salvador Bográn Guevara, Emerson Arnoldo Flores
Olivares, Marvin Antonio López Anaya

Docente asesora:

Escuela de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería y Arquitectura

Universidad de El Salvador

RESUMEN

Se realizó una propuesta de mantenimiento y gestión del catastro para los equipos de bombeo, considerando los requisitos clave que las jefaturas del departamento electromecánico entregaron, la propuesta se desarrolla bajo un enfoque administrativo para mejorar el área de mantenimiento de la empresa abastecedora de agua potable.

Aplicando conceptos del Pensamiento Lean Manufacturing, particularmente la reducción del desperdicio, se ha compilado una propuesta que trabaja sobre la base de elementos existentes y que busca ampliar el rango de operación y control sobre los activos de la empresa, a la vez que resuelve con la ayuda de una guía de referencia de mantenimiento a resolver y eliminar prácticas empíricas de trabajo, finalmente se incluye la estimación de un indicador de eficiencia productiva el cual servirá como insumo para el departamento en la búsqueda de mejores prácticas de mantenimiento.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS	i
ÍNDICE DE FIGURAS	i
INTRODUCCIÓN.....	iv
OBJETIVOS.....	vi
Objetivo general	vi
Objetivos específicos	vi
1. MARCO TEÓRICO	1
1.1. FILOSOFÍA DEL MANTENIMIENTO	1
1.2. TIPOS DE MANTENIMIENTO.....	2
1.2.1. MANTENIMIENTO CORRECTIVO	4
1.2.2. MANTENIMIENTO PREVENTIVO	5
1.2.3. MANTENIMIENTO PREDICTIVO	7
1.2.4 MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL (TPM)	9
1.3. PENSAMIENTO LEAN MANUFACTURING	12
1.3.1. GENERALIDADES DE LEAN MANUFACTURING APLICADO A PROCESOS.....	15
1.3.2. TIPOS DE DESPERDICIO	18
1.3.2.1. CORRECCIÓN.....	19
1.3.2.2. INVENTARIO.....	21
1.3.2.3. TIEMPO DE ESPERA.....	22
1.3.3. TÉCNICAS ESPECÍFICAS DE LEAN MANUFACTURING EN MANTENIMIENTO	23
1.3.3.1. MODELO SMED	23
1.3.3.2. KANBAN.....	25
1.3.3.3. HEIJUNKA	27
1.3.4. BENEFICIOS DE LEAN MANUFACTURING EN MANTENIMIENTO	28
1.4. OPERACIONES DE EQUIPOS DE BOMBEO	30
1.4.1. SISTEMA DE BOMBEO.....	30
1.4.2. EQUIPO DE BOMBEO.....	32
1.4.2.1. BOMBAS	33
1.4.2.2. MOTORES.....	36
1.4.2.3. SISTEMA HIDRÁULICO COMPLEMENTARIO (RED DE DISTRIBUCIÓN).....	38

1.4.3. OPERACIÓN DE EQUIPO DE BOMBEO	41
1.4.4. OPERACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO.....	47
1.4.4.1. CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO	47
1.4.4.2. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL EQUIPO EN LA OPERACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO.....	50
1.4.4.3. EQUIPO DE BOMBEO PARA TIPO DE OPERACIÓN	55
1.5. CONSIDERACIONES PARTICULARES EN UN SISTEMA DE BOMBEO.....	56
1.5.1. PROPÓSITO DEL SISTEMA DE BOMBEO	56
1.5.2. OPERACIÓN COMO INDICADOR DE PRODUCCIÓN.....	58
1.5.3. GESTIÓN EN LA EFICIENCIA ENERGÉTICA	60
.....	66
1.5.4. CONFIABILIDAD COMO FACTOR E INDICADOR DE MANTENIMIENTO	66
1.6. MODELOS DE CATASTRO	70
1.6.1. FORMACIÓN DE UN MODELO DE CATASTRO.....	72
1.6.2. MANEJO DE DESPERDICIOS.....	76
2. FORMATO DE ACTUALIZACIÓN DEL CATASTRO ELECTROMECAÁNICO	78
2.1. ESTABLECIMIENTO DE PARÁMETROS.....	78
2.1.1. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA GEOGRÁFICA.....	79
2.1.2. PARÁMETROS ESPECÍFICOS DE SELECCIÓN DE DATOS	80
2.1.2.1. EQUIPO DE SUBESTACIÓN ELÉCTRICA.....	81
2.1.2.2. EQUIPO DE BOMBEO	84
2.1.2.3. TABLERO DE ENERGÍA Y CONTROL	88
2.2. ORGANIZACIÓN DE ÁREAS.....	90
2.2.1. ÁREA MECÁNICA	91
2.2.2. ÁREA ELÉCTRICA	92
2.2.3. ÁREA DE ARRANCADORES	93
2.2.4. ÁREA DE MEDICIONES.....	96
2.3. VISUALIZACIÓN DEL CONSOLIDADO DE FALLAS	97
2.4. PROPUESTA DE HOJA DE REGISTRO	101
3. GUÍA DE REFERENCIA PARA LOS EQUIPOS DE BOMBEO DEL DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO ELECTROMECAÁNICO DE UNA EMPRESA ABASTECEDORA DE AGUA POTABLE	110
3.1. CARACTERIZACIÓN DE LOS EQUIPOS DE BOMBEO	110
3.1.1. BOMBAS CENTRÍFUGAS VERTICALES.....	111
3.1.2. BOMBAS SUMERGIBLES	116

3.1.3. COMPARANDO VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS DOS TIPOS DE BOMBAS EN INTERÉS	119
3.2. PROCESOS Y REFERENCIAS TÉCNICAS EN LA INSTALACIÓN DE EQUIPOS DE BOMBEO	123
3.2.1. BOMBA SUMERGIBLE	123
3.2.1.1. PROCEDIMIENTO INSTALACIÓN MOTOR/BOMBA	126
3.2.1.2. PUESTA EN MARCHA	128
3.2.2. BOMBA VERTICAL TIPO TURBINA	130
3.2.2.1. PROCEDIMIENTO INSTALACIÓN MOTOR/BOMBA	131
3.3. PROCESO DE MANTENIMIENTO, DECISIONES Y REFERENCIAS.....	137
3.3.1. REFERENCIA DE MANTENIMIENTO.....	137
3.3.2. PROCEDIMIENTO Y DECISIONES EN LA REALIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO	138
3.3.3. NUEVO FORMATO DE ACTUALIZACIÓN Y RECOLECCIÓN DE DATOS	157
4. INDICADOR DE EFICIENCIA PRODUCTIVA	165
4.1. INDICADORES DE DESEMPEÑO EN EQUIPOS DE BOMBEO.....	165
4.1.1. SISTEMAS DE INDICADORES DE DESEMPEÑO.....	166
4.1.2. REQUISITOS GENERALES Y EVALUACIÓN DE LOS SISTEMAS DE INDICADORES DE DESEMPEÑO.....	168
4.2. MEDICIÓN DE LA PRODUCCIÓN EN EQUIPOS DE BOMBEO DE AGUA POTABLE	171
4.2.1. MEDICIÓN POR INDICADORES GENERALES	171
4.2.2. DETERMINACIÓN DEL BALANCE VOLUMÉTRICO	173
4.3. ESTIMACIÓN DEL INDICADOR DE LA EFICIENCIA PRODUCTIVA	175
4.3.1. BALANCE HÍDRICO.....	176
4.3.2. ESTIMACIÓN DE LA EFICIENCIA PRODUCTIVA	179
CONCLUSIONES.....	183
RECOMENDACIONES.....	185
REFERENCIAS	187
ANEXOS	191

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Delimitación de los tipos de mantenimiento.	3
Tabla 2. Impacto estimado de consumo global de energía en etapas de un Sistema de Abastecimiento y Saneamiento (Matteni, 2018).	64
Tabla 3. Municipios que conforman el AMSS según delimitación del GOES (Gobierno de El Salvador).	79
Tabla 4. Ejemplo de registro de datos en área eléctrica.	92
Tabla 5. Historial de fallas para el AMSS en el 2020.	100
Tabla 6. Ejemplo de historial de fallas para el municipio de San Salvador.	101
Tabla 7. Matriz del cálculo del balance hídrico.	178

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa conceptual de las estrategias de mantenimiento (García, 2009).	4
Figura 2. Relación de cada palabra en el TPM (García, 2009).	10
Figura 3. Pilares del TPM (García, 2009).	11
Figura 4. Fundamentos de Lean Manufacturing (Álvarez, 2018).	14
Figura 5. Objetivos de la metodología SMED (Cuatrasecas, 2017).	25
Figura 6. Gráfico de distribución de Kanban (Álvarez, 2018).	27
Figura 7. Representación básica de un sistema de bombeo (Blanco, Velarde y Fernández, 1994).	32
Figura 8. Bombas multietapas, mixtas y centrifugas (Blanco, Velarde y Fernández, 1994).	35
Figura 9. Tipos de impulsores y dirección de flujo en bombas Rotodinámicas (Radial, Mixto, Axial) (Blanco, Velarde y Fernández, 1994).	35
Figura 10. Esquema de un sistema de bombeo (Blanco, Velarde y Fernández, 1994).	40
Figura 11. Curva característica de una bomba (Blanco, Velarde y Fernández, 1994).	41
Figura 12. Curvas características para bombas centrifugas y de flujo axial (Blanco, Velarde y Fernández, 1994).	42
Figura 13. Conexión en serie de bombas (Blanco, Velarde y Fernández, 1994).	44

Figura 14. Curvas características mostrando el cambio para bombas en serie (Blanco, Velarde y Fernández, 1994).	44
Figura 15. Diagrama de conexión de bombas en paralelo (Blanco, Velarde y Fernández, 1994).	45
Figura 16. Curvas características mostrando el cambio para bombas en paralelo (Blanco, Velarde y Fernández, 1994).....	46
Figura 17. Problemas típicos de un equipo de bombeo trabajando fuera de su zona óptima (Matteni, 2018).....	59
Figura 18. Esquema de un sistema típico de suministro y consumo energético en sistemas de agua potable y saneamiento (Matteni, 2018).	65
Figura 19. Esquema simple del balance de energía (Matteni, 2018).....	66
Figura 20. Confiabilidad en función de la distancia respecto al punto de eficiencia óptima (Matteni, 2018).....	69
Figura 21. Consolidado general de fallas.	99
Figura 22. Menú principal del programa de registro de catastro.....	102
Figura 23. Página de selección de consulta y registro de catastro.	104
Figura 24. Página de selección de planta por municipio.	104
Figura 25. Página para "PLANTA 1" de San Salvador con registro y áreas.	105
Figura 26. Datos de motor y bomba de "PLANTA 1" de San Salvador.....	107
Figura 27. Datos de arrancadores y área eléctrica de "PLANTA 1" en San Salvador.	108
Figura 28. Área de mediciones para "PLANTA 1" en San Salvador.	109
Figura 29. Esquema de bomba centrífuga vertical (Kenneth, 1998).	112
Figura 30. Bomba vertical de multietapas del tipo turbina para altas cargas dinámicas (HIDROSTAL, 2004).....	115
Figura 31. Esquema de una bomba sumergible (HIDROSTAL, 2004).	118
Figura 32. Procedimiento de toma de decisiones inicial.....	140
Figura 33. Solicitud inicial de reparación.....	141
Figura 34. Punto de decisión en tipo de falla.	142
Figura 35. Determinación de acciones para reparación.	143
Figura 36. Ajustes y proceso de mantenimiento.....	145
Figura 37. Proceso de mantenimiento para falla con respaldo temporal.	147
Figura 38. Ruta de trabajo para falla de paro total.	148
Figura 39. Determinación de la criticidad para falla eléctrica.....	150

Figura 40. Ruta de trabajo para solución inmediata en falla eléctrica.....	151
Figura 41. Mecanismo de decisión en falta de repuestos de falla eléctrica.	152
Figura 42. Ruta de trabajo para sistema de respaldo en falla eléctrica.	153
Figura 43. Consideraciones para pérdida total sin sistema de respaldo.....	154
Figura 44. Ruta de trabajo en paro total de falla eléctrica.	155
Figura 45. Hoja de registro en mantenimiento para datos de bomba vertical.	157
Figura 46. Hoja de registro para conjunto eléctrico para bomba vertical.	159
Figura 47. Hoja de registro para conjunto ensamble para bomba vertical.....	160
Figura 48. Hoja de registro en mantenimiento para datos de bomba sumergible.	161
Figura 49. Hoja de registro para conjunto eléctrico para bomba sumergible.....	162
Figura 50. Hoja de registro para ensamble de bomba sumergible.	163
Figura 51. Esquema de detalle del proceso del benchmarking (Juiña, 2018).....	170

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de graduación contiene una propuesta de mantenimiento y gestión del catastro electromecánico de los equipos en una empresa abastecedora de agua potable. La propuesta está enfocada en tres ejes principales, los cuales se definieron a partir de la información aportada por las jefaturas de la empresa, en particular del departamento de mantenimiento electromecánico que brindó valiosos aportes en la construcción de formatos y fichas técnicas.

El primer eje está centrado en la construcción de un formato, basado en elementos del pensamiento Lean Manufacturing como la reducción del desperdicio en procesos, que asista en el registro de los activos del departamento y su actualización correspondiente en una hoja de cálculo.

El segundo eje cubre el aspecto del mantenimiento, proporcionando una guía de referencia basada en criterios técnicos y de ingeniería considerando los tipos de equipos que la empresa posee; además del esbozo de un procedimiento para la toma de decisiones para los mantenimientos preventivos y correctivos.

El último eje proporciona una descripción de un indicador de eficiencia productiva basado en normas internacionales para el abastecimiento de agua potable, considerando la cantidad de agua inyectada a una red, cantidad de consumidores y otros factores que culminan en una relación matemática que puede utilizarse en diferentes zonas o áreas de interés.

Es importante recalcar a este punto, que la propuesta de mantenimiento y gestión del catastro se desarrolla bajo un enfoque puramente administrativo, es

decir que proporciona herramientas e insumos de esta naturaleza que serán de gran utilidad para la empresa. Las labores de mantenimiento no son únicamente prácticas, poseen también una parte administrativa que es igual de importante en ejecución y evaluación de resultados. Dada la naturaleza del enfoque y a la disponibilidad de información, el ámbito financiero será abordado de manera general y superficial en aquellos puntos donde sea conveniente incluirlo.

Se incluyen al final los respectivos anexos y archivos complementarios que, a criterio del departamento de mantenimiento electromecánico, serán implementados de acuerdo a los objetivos y proyecciones del plan estratégico de la empresa abastecedora de agua potable.

OBJETIVOS

Objetivo general

- ❖ Elaborar una propuesta de mantenimiento y gestión del catastro para los equipos de bombeo del departamento de mantenimiento electromecánico de una empresa abastecedora de agua potable.

Objetivos específicos

- ❖ Identificar las áreas bajo las cuales el catastro electromecánico puede ser seccionado.
- ❖ Definir los parámetros bajo los cuales se llevará a cabo la actualización del catastro electromecánico.
- ❖ Incorporar las hojas técnicas de mediciones y mantenimiento con la base de datos para la generación de buenas prácticas de operación de equipos.
- ❖ Sintetizar una guía de referencia para la operación y mantenimiento de equipos de bombeo de agua potable.
- ❖ Describir un indicador de eficiencia productiva como herramienta de monitoreo para el departamento de mantenimiento electromecánico.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. FILOSOFÍA DEL MANTENIMIENTO

La labor del departamento de mantenimiento para una empresa cualquiera, está muy estrechamente relacionada con la prevención de accidentes y lesiones en los trabajadores, quienes tienen la responsabilidad de operar y mantener las máquinas y herramientas en las mejores condiciones, permitiendo un mejor desempeño de éstos y aumentando la seguridad durante las operaciones diarias.

Puede entonces añadirse a lo anterior que, dentro de las facultades del departamento de mantenimiento, están mediante su propia labor, prolongar la vida útil de los equipos que son su objetivo de trabajo. En este punto se encuentra un primer planteamiento, el cual tiene como objetivo determinar la mejor forma de realizar un mantenimiento a los equipos. Partiendo de una realidad que contempla la existencia de procesos y metodologías de mantenimiento, siendo propia invención o de común acuerdo del departamento, es posible identificar y analizar las áreas que suponen la mayor oportunidad para mejorar el sistema existente.

Al realizar un mantenimiento, independientemente de la industria en la que se ejecuta, siempre debe estar presente una metodología, una secuencia de procesos que lleven a la correcta ejecución de los planes de mantenimiento y a la atención de las emergencias (fallas) en los equipos. Muchas empresas confían en las filosofías tradicionales y que han ganado mucha popularidad en la

actualidad, sin embargo, no toman en cuenta el enfoque completo que representan, por lo tanto, nunca podrán llegar al objetivo principal que dicha filosofía persigue. (García, 2009)

En esta propuesta se busca mediante el uso de técnicas de mantenimiento utilizadas en la industria, información de los procesos actuales de la empresa y elementos de Lean Manufacturing, definir los procesos de mantenimiento y gestión del catastro para el departamento electromecánico de la empresa. En este primer capítulo se definen las herramientas y fundamentos teóricos a utilizar en las siguientes etapas, no solo para definir la propuesta en su totalidad sino también para asegurar su mejor integración con el departamento en virtud de los aportes proporcionados por los delegados de la empresa en esta propuesta.

1.2. TIPOS DE MANTENIMIENTO

Existen diferentes tipos de mantenimiento, siendo la comparación de logros o beneficios obtenidos de ellos el mejor camino para definir su aplicabilidad. Así, se hace una división de los diferentes tipos de mantenimiento, distintos en cuanto a forma, no así en sus fines: lograr resultados.

A groso modo y diferenciados por su concepción existen a día de hoy tres tipos de mantenimiento: correctivo, preventivo y predictivo. La utilización de uno de ellos no quitará que se puedan utilizar los demás en un mismo equipo. Lo más importante según García (2009), será saber en qué momento es más necesario la utilización de uno u otro. En la actualidad el mantenimiento se plantea a partir de su misma concepción, examinando los posibles fallos, sus consecuencias y previendo los dispositivos de diagnóstico, con la intención de estimar el coste

global del ciclo de vida; es decir, desde una óptica de coste global mínimo en cuanto a adquisición y a utilización.

Tabla 1. Delimitación de los tipos de mantenimiento.

Mantenimiento correctivo.	Una acción.
Mantenimiento progresivo.	Recomendación del fabricante.
Mantenimiento programado. ❖ Periódico. ❖ Sistemático.	Metodología.
Mantenimiento con proyecto.	Ingeniería de proyectos.
Mantenimiento preventivo.	Una filosofía.
Mantenimiento predictivo.	Una tecnología.
Mantenimiento productivo.	Una estrategia.
Mantenimiento productivo total.	Un ideal.

Una buena gestión del mantenimiento, según García (2009), representa un medio eficaz para reducir los costes e incrementa la competitividad de las empresas. La figura 1 muestra tres de los mantenimientos que se explorarán de forma breve, adicionalmente se describirá el Mantenimiento Productivo Total, con la finalidad de introducir un fundamento teórico sobre las filosofías del mantenimiento.



Figura 1. Mapa conceptual de las estrategias de mantenimiento (García, 2009).

1.2.1. MANTENIMIENTO CORRECTIVO

El mantenimiento correctivo se hace cuando ocurre una falla, se inspecciona y verifica el incidente reportado, se busca la falla y se rectifica. Se documenta y reporta que el trabajo ha sido terminado. Parece ser la técnica más económica en cuanto a mano de obra y materiales, pero puede ser la más cara bajo consideraciones como: seguridad industrial, costos de capital, confiabilidad del equipo, multas por discontinuar el servicio o la producción, costo de personal de reparación en espera e inventarios.

De acuerdo con Tavares (2000), este sistema resulta aplicable en sistemas complejos, normalmente componentes electrónicos o en los que es imposible predecir los fallos y en los procesos que admiten ser interrumpidos en cualquier momento y durante cualquier tiempo, sin afectar la seguridad. También para equipos que ya cuentan con cierta antigüedad.

Tiene como inconvenientes, que el fallo puede sobrevenir en cualquier momento, muchas veces, el menos oportuno, debido justamente a que en esos momentos se somete al bien a una mayor exigencia. Asimismo, fallos no detectados a tiempo, ocurridos en partes cuyo cambio hubiera resultado de escaso coste, pueden causar daños importantes en otros elementos o piezas conexos que se encontraban en buen estado de uso y conservación. Otro inconveniente de este sistema, es que se debe disponer de un capital importante invertido en piezas de repuesto.

1.2.2. MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Es el mantenimiento que tiene por misión mantener un nivel de servicio determinado en los equipos, programando las intervenciones de sus puntos vulnerables en el momento más oportuno. Suele tener un carácter sistemático, es decir, se interviene, aunque el equipo no haya dado ningún síntoma de tener un problema.

Entonces, el mantenimiento preventivo es la ejecución de un sistema de inspecciones periódicas programadas racionalmente sobre la planta y sus equipos con el fin de detectar las condiciones y estados inadecuados de esos elementos que pueden ocasionar circunstancialmente paros en la producción o

deterioro grave de máquinas, equipos o instalaciones, y realiza en forma permanente el cuidado de mantenimiento adecuado de la planta para evitar tales condiciones, mediante la ejecución de ajustes o reparaciones, mientras las fallas potenciales están en estado inicial de desarrollo.

El mantenimiento preventivo normalmente está asociado a un plan de mantenimiento que es generado con el conocimiento de los equipos a los cuales se les realiza la labor, su criticidad en el sistema y con una concreta interacción Producción-Mantenimiento para, en el momento más óptimo, realizarse. Para ello se requiere mucha experiencia previa de fallas para la búsqueda de síntomas, al igual que la información propia del fabricante en la cual se hacen unas recomendaciones; que deben ser ajustadas dependiendo del entorno en el cual se encuentra el equipo (Tavares, 2000).

El objetivo del mantenimiento preventivo es aumentar al máximo la disponibilidad y confiabilidad del equipo llevando a cabo un mantenimiento planeado, basado en las inspecciones planificadas y programadas de los posibles puntos de fallas. Por lo tanto, un sistema preventivo aplicando una buena organización de mantenimiento podría obtener beneficios tales como:

- **Seguridad.** Los procesos y las instalaciones que están sujetas a un plan u organización de sistema preventivo operan en mejores condiciones de seguridad puesto que se conoce mejor tanto el estado físico como las condiciones de funcionamiento u operación o eficiencia.

- **Vida útil.** Instalaciones como maquinaria o equipo que estén bajo un mantenimiento preventivo tendrán una vida útil mayor que la que se puede obtener al estar bajo un sistema de mantenimiento correctivo.
- **Inventarios.** Al determinar de forma más precisa los materiales o productos de mayor consumo y así poder prever su uso podría reducir los costos de inventarios.
- **Carga de trabajo.** La carga de trabajo para el personal de mantenimiento preventivo es más uniforme que en un sistema de mantenimiento correctivo, por lo que se puede reducir al minimizar las emergencias.
- **Aplicabilidad.** Mientras más complejas sean las instalaciones y más confiabilidad se requiera, mayor será la necesidad del mantenimiento preventivo.

En resumen y considerando los costos directos e indirectos a mediano y largo plazo, se estima que una sana combinación de mantenimientos correctivos y preventivos pueden reducir los costos en 40 % a 50 % (Tavares, 2000).

1.2.3. MANTENIMIENTO PREDICTIVO

El mantenimiento predictivo o basado en la condición evalúa el estado de la maquinaria y recomienda intervenir o no en función de su estado, lo cual produce grandes ahorros. Desde este punto de vista, el Mantenimiento Predictivo, es un tipo de mantenimiento que ayuda a disminuir el tiempo muerto; necesita de una inversión y un costo constante de mantenimiento pero que definitivamente rinde muy buenos beneficios.

De acuerdo con Tavares (2000), el mantenimiento predictivo, también denominado Monitoreo de Condición, es el proceso para determinar la condición de una máquina mientras está en operación “a plena carga”, para detectar fallas, analizar, encontrar su causa, y corregir el problema, programando una reparación eficiente y eficaz de los componentes con problemas “antes de que falle”. El mantenimiento predictivo, consta de tres etapas fundamentales:

- **Detección.** Esta es la etapa de recolección de datos en los equipos, que sirve para poder detectar problemas en algunos puntos de los equipos. Los datos tomados por lo general son utilizados en el análisis de la posible causa del problema.
- **Análisis.** Consiste en analizar el problema detectado en la primera fase. En este caso, hay que dirigirse a la máquina y tomar datos adicionales que ayuden a encontrar la causa del cambio de condición.
- **Corrección.** Eliminar el problema detectado y analizado, tomando acción adecuada y correcta.

El mantenimiento predictivo se basa en el hecho de que la mayoría de los fallos se producen lentamente y previamente, en algunos casos, arrojan indicios evidentes de un futuro fallo, bien a simple vista, o bien mediante la monitorización, es decir, mediante la elección, medición y de algunos parámetros relevantes que representen el buen funcionamiento del equipo analizado. Por ejemplo, estos parámetros pueden ser según López (2019): la temperatura, la presión, la velocidad lineal, la velocidad angular, la resistencia eléctrica, los ruidos y vibraciones, la rigidez dieléctrica, la viscosidad, el contenido de

humedad, de impurezas y de cenizas en aceites aislantes, el espesor de chapas, el nivel de un fluido, etc.

En otras palabras, con este método, se trata de seguir la evolución de los futuros fallos. Este sistema tiene la ventaja de que el seguimiento permite contar con un registro de la historia de la característica en análisis, sumamente útil ante fallos repetitivos; puede programarse la reparación en algunos casos, junto con la parada programada del equipo y existen menos intervenciones de la mano de obra en mantenimiento.

El mantenimiento predictivo debe verse complementado por la utilización de técnicas estadísticas. No es un tipo de mantenimiento que se base en la intuición y en la experiencia solamente del operador o del técnico. Es un mantenimiento que se apoya en mediciones rigurosas de variables y tratamiento de dichas medidas, experiencias concretas anteriores, en tendencias evolutivas de dichas variables, en curvas de regresión de fallos y, a la postre, en una rigurosa predicción de las condiciones futuras del equipo o sistema basándose en las condiciones presentes que estemos midiendo.

1.2.4 MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL (TPM)

Es un sistema desarrollado en Japón para eliminar pérdidas, reducir paradas, garantizar la calidad y disminuir costos en las empresas con procesos continuos. La sigla TPM fue registrada por el JIPM ("Instituto Japonés de Mantenimiento de Planta"), una descripción de cada parte del TPM se muestra en la figura 2. La T, de Total significa, la implicación de todos los empleados. El objetivo del TPM es lograr cero accidentes, cero defectos y cero averías. El TPM

es un enfoque de mejoramiento continuo que persigue al límite extremo la máxima eficiencia del sistema productivo, basándose en el mejoramiento del ambiente de trabajo y los activos que lo componen, previniendo cualquier tipo de pérdidas en todo el ciclo de vida del sistema, logrando la participación activa y entusiasta de todo el personal. Este enfoque combina las tradicionales prácticas del Mantenimiento Preventivo con Calidad Total (Total Quality Control) y el Compromiso Total de los Empleados (Total Employee Involvement), para crear una cultura donde los operadores desarrollan sentido de pertenencia por sus equipos, y se convierten en aliados del personal de Mantenimiento, para asegurar que los equipos operen apropiadamente todos los días. (Álvarez, 2018).

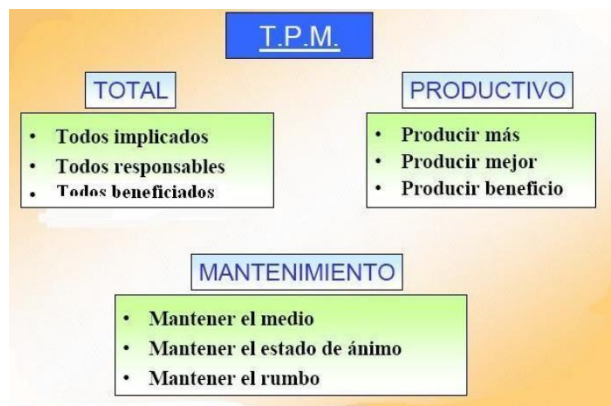


Figura 2. Relación de cada palabra en el TPM (García, 2009).

El método japonés TPM, que tiende a reducir al máximo los costes de producción gracias a la mejora de los equipos en servicio, apunta también a reducir los retrasos atribuibles a la puesta en marcha de equipos nuevos con el fin de optimizar el coste global de adquisición y de utilización e, incluso, al diseño de equipos de producción simples y funcionales, especialmente adaptados para las tareas previstas.

Pilares del TPM

Según Álvarez (2018), los pilares son las estrategias fundamentales para desarrollar el programa. Estos pilares sirven de apoyo para la construcción de un sistema de producción ordenado, un esquema de los pilares se encuentra en la figura 3. Se implantan siguiendo una metodología disciplinada, potente y efectiva.

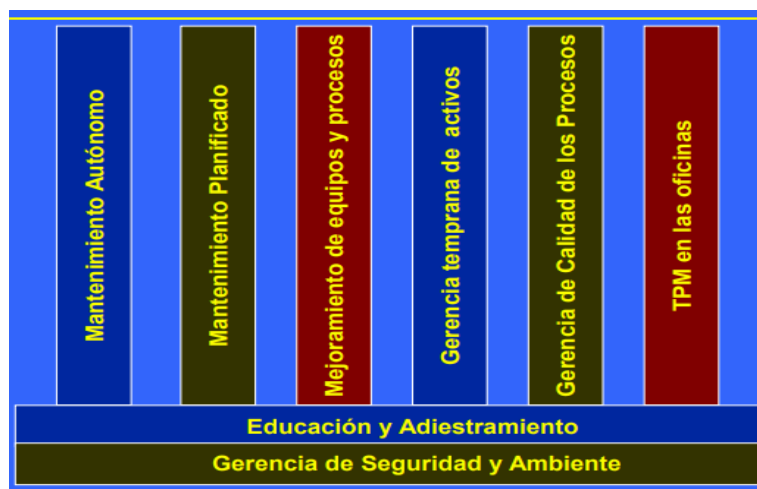


Figura 3. Pilares del TPM (García, 2009).

Mantenimiento autónomo: capacita a los operadores para cerrar las brechas entre ellos y el personal de mantenimiento, facilitando para ambos el trabajo en equipo.

Mejoramiento de Equipos y Procesos: para maximizar eficiencia eliminando desperdicios y pérdidas de producción.

Mantenimiento Planificado: aquí se debe establecer sistemas de Mantenimiento Preventivo y Predictivo.

Gerencia temprana de activos o área administrativos: su objetivo es establecer sistemas para reducir los tiempos de pre-arranque, arranque y estabilización de los equipos para lograr la calidad y eficiencia deseada.

Gerencia de Calidad de los Procesos o mantenimiento de calidad: es un proceso para controlar la condición de los componentes de los equipos que pueden afectar la calidad de los productos. Su objetivo es implantar y mantener condiciones para alcanzar la meta de “cero defectos”.

Educación y Adiestramiento:

- Destrezas básicas: como trabajo en equipo, técnicas de comunicación efectiva, etc.
- Destrezas técnicas: resolución de problemas típicos en las maquinarias, lubricación, etc.

Gerencia de Seguridad y Ambiente: se intenta garantizar la seguridad y prevenir impactos adversos al medio ambiente son prioridades importantes a considerar al momento de implantar un programa de Mantenimiento Productivo Total (TPM).

TPM en las oficinas: los departamentos administrativos y de apoyo técnico pueden ser vistos como plantas de procesos cuya función principal es recolectar, procesar y distribuir información.

1.3. PENSAMIENTO LEAN MANUFACTURING

En este apartado se definen de manera general algunos de los elementos del Pensamiento Lean Manufacturing. Habiendo considerado anteriormente los fundamentos de la filosofía del mantenimiento, es importante recordar que existen otras herramientas que, al ser utilizadas en beneficio de una estrategia o plan de mantenimiento, vuelven aún más simple la ejecución y revisión de

resultados, pero quizá más importante es la identificación de las áreas críticas de la estrategia aplicada. Es para esto que herramientas como las del Pensamiento Lean se vuelven de vital importancia al contar con métodos y herramientas que permitan identificar las áreas de importancia, oportunidades y amenazas a los procesos definidos por la gerencia de mantenimiento, permitiendo avanzar hacia una gerencia y ejecución de labores más productiva, ordenada y que genere los mejores resultados en beneficio de la empresa y sus clientes. (Álvarez, 2018).

En este nuevo siglo la ventaja competitiva proviene más en la inversión en conocimiento, las capacidades y las relaciones intangibles creadas por los empleados, que la inversión que proviene de los activos físicos. El desarrollo y aplicación de una nueva estrategia requiere que todos los colaboradores, unidades de negocio y de apoyo estén alineadas y vinculadas a la misma.

Lean toma de base las estrategias y la satisfacción de los empleados, para construir lo que se conoce como la casa Lean descrita en la figura 4, esta casa posee una ventana la cual es el objetivo de la filosofía Lean (Mejora Continua). Se apoya en los conceptos de TPM y la estandarización de los procesos, conservando el apoyo de la excelencia operacional como componente integrador.



Figura 4. Fundamentos de Lean Manufacturing (Álvarez, 2018).

Dentro de la organización de un departamento o área, se conocen de antemano los objetivos a llevar a cabo en todos los procesos involucrados, así como los encargados de cada uno. Esto se vuelve crucial en un departamento como el de mantenimiento, ya que el objetivo principal sin importar la división o experticia es la preservación adecuada de los equipos y maquinaria que llevan a cabo la producción de la empresa. Es decir, la mejora continua de estos procesos conlleva una labor de planeación, coordinación y ejecución que esté altamente integrada a los objetivos generales de la empresa generando así un mayor valor al producto o servicio generado por la misma. (Álvarez, 2018).

1.3.1. GENERALIDADES DE LEAN MANUFACTURING APLICADO A PROCESOS

Una forma de comenzar la implementación de Lean Manufacturing a un proceso, es precisamente definiendo qué es un proceso. De manera general, un proceso es un conjunto de operaciones al que se somete un objeto o materia con el objetivo de transformarla. Entonces puede inferirse de este concepto que, dentro de un proceso, todas las operaciones involucradas deben estar alineadas a la transformación del objeto o materia; en el contexto de una empresa se puede añadir la transformación para producir un servicio u objeto de valor a los clientes.

Partiendo de este enfoque se afirma entonces que toda actividad que no genere valor al cliente se cataloga como un desperdicio a erradicar, esto siempre dentro del proceso. Si una actividad dentro del proceso genera algún tipo de desperdicio, los cuales serán definidos más adelante, es una actividad que puede tomar dos caminos: eliminarse o replantearse.

Es importante hacer una delimitación precisa sobre los elementos dentro de un proceso que pueden ser sujetos inicialmente a una auditoría, de esta forma se puede obtener toda la información que caracteriza o define al proceso, esto con el fin de mejorar su secuencia en las áreas pertinentes. Muchas veces, esta tarea se encuentra bajo la administración o guía de la ingeniería de procesos, es decir aquel conjunto de conocimientos que se encarga del estudio, análisis y resolución de problemas en el diseño y/o desarrollo de procesos.

Como lo menciona Álvarez (2018), hay una diferencia sustancial entre el análisis del proceso y del producto (bien o servicio), pueden usarse las mismas

herramientas para la mejora de ambos, sin embargo, si se quiere mejorar el producto entonces es imperativo mejorar el proceso que lleva al producto.

Dentro de un proceso de mantenimiento, el producto puede ser desde la generación de una orden de trabajo, hasta la planeación de los mantenimientos mayores para una serie de equipos críticos. Son estos procesos los que una vez identificados en sus áreas de oportunidad, pueden ser mejorados en base a las necesidades del departamento alineadas con los objetivos de la empresa.

Para uno o más procesos de mantenimiento existen diversas limitantes, sin embargo, pueden identificarse aquellos límites concernientes a la funcionalidad. Un proceso, independientemente del tipo de producto que pueda generar, está sujeto a la funcionalidad de la secuencia de los subprocesos que lo definen y no solo a los recursos de los cuales dispone para ejecutarse, estas limitantes pueden clasificarse de la siguiente forma:

- 1) Económicas:** son todas aquellas relacionadas al impacto económico que dicho proceso significa para la empresa en un ámbito global. También está vinculado, dependiendo del proceso y producto generado, puede que ciertas etapas del proceso requieren de más recursos económicos que otras y esto puede generar un desequilibrio en la actividad global de la empresa.
- 2) Tecnológicas:** aquí se generan todas aquellas limitantes relacionadas a la producción y las tecnologías o herramientas disponibles, es decir todo aquello que la empresa puede utilizar para llevar a cabo el proceso como

herramientas físicas cómo maquinaria, equipos informáticos, formatos de papelería, etc.

3) Orgánicas: se refieren al entorno administrativo y legal en el cual la empresa se desarrolla en su actividad, esta limitante se vuelve aún más evidente cuando ciertos procesos están condicionados a leyes o códigos establecidos por gobiernos locales o centrales en algunos países.

4) Sociológicas: se relaciona directamente a la sociedad en que la empresa se desarrolla en su actividad económica, es decir las condiciones bajo las cuales la empresa debe llevar a cabo sus procesos y los obstáculos que pueden presentarse (condiciones climáticas, condicionantes étnicos, factores culturales, etc.).

Al trasladar estos factores a los procesos de mantenimiento de una empresa, puede llegarse a diferentes conclusiones o puntos de interés en los cuales se debe centrar la atención para mejorar el proceso actual. Sin embargo, antes de proceder a la implementación de Lean como herramienta es preciso identificar los diferentes desperdicios que pueden estar presentes en todo tipo de proceso. En lo concerniente a este trabajo, se hará énfasis en los desperdicios que representan el mayor impacto en la empresa, ya que la meta no es definir a Lean Manufacturing e implementarlo de manera completa en los procesos, más bien utilizarlo como un recurso adicional en la ejecución del trabajo. (Axsater, 2006).

1.3.2. TIPOS DE DESPERDICIO

Los desperdicios según Lean Manufacturing es todo aquello que cuesta dinero, trabajo o material para un proceso y que no agrega valor al cliente. En general, el desperdicio es algo que se usa en el proceso que no se requiere para un resultado satisfactorio. En algunos casos, el desperdicio crea un problema de satisfacción del cliente porque detiene el proceso o introduce elementos indeseables o defectos en el producto final. Un defecto no es igual a un desperdicio, ya que los defectos se encuentran en los productos finales o en partes específicas del proceso, los desperdicios se pueden acarrear en más de una etapa del proceso. (Institute N.B., 2018).

Un ejemplo de lo anterior puede ser la creación de una orden de trabajo considerando de manera general los siguientes pasos:

1. Notificación de la falla al departamento encargado.
2. Determinación de la criticidad de la falla y su afectación.
3. Generación de orden de trabajo.
4. Asignación de recursos necesarios.
5. Despacho de personal necesario.

A simple vista, podría inferirse que de estos pasos la orden de trabajo está completa y que no existen elementos que puedan causar retrasos o desperdicios. Sin embargo, ahora si se considera que el proceso de determinación de criticidad de falla tardó alrededor de dos horas y que la orden de trabajo no se generó hasta que hubo un reporte o notificación escrita aprobada por la jefatura del departamento, la perspectiva cambia en su totalidad. Se pasará a definir todos

aquellos desperdicios que representan el mayor impacto en este trabajo, y serán los cuales se buscará eliminar o reducir al máximo posible. (Álvarez, 2018).

1.3.2.1. CORRECCIÓN

Este es uno de los tipos de desperdicio que según Álvarez (2018), Lean identifica dentro de su marco de acción, también es conocido como el desperdicio del “re-trabajo”. Esta forma de desperdicio a menudo afecta a organizaciones interesadas en programas de calidad tradicionales. En un deseo de eliminar los defectos del producto final, las organizaciones instituyen controles de calidad en el proceso que enrutan el trabajo con defectos para corregirlos. Mientras que la corrección podría en algunos casos ser necesaria, especialmente si los materiales son particularmente valiosos y vale la pena ahorrar el trabajo en lugar de desecharlo, aún es un desperdicio en el proceso que debe identificarse y analizarse.

La corrección o re-trabajo, puede ocurrir en cualquier tipo de proceso. Los procesos de fabricación eliminan piezas y productos defectuosos; a veces, los materiales se vuelven a trabajar para obtener un mejor resultado, otros se desechan, pero esto también es una forma de desperdicio. En algunos casos, el reproceso ocurre no debido a la corrección, sino simplemente porque las responsabilidades departamentales o laborales se superponen.

Para eliminar el re trabajo o la corrección, las organizaciones deben utilizar un enfoque doble. Primero, debe abordarse la causa raíz de la reelaboración, es decir la que está causando los errores. ¿Se requiere más capacitación de los empleados? ¿Se podría cambiar un proceso para hacerlo más a prueba de

errores? Estas preguntas son fundamentales en el análisis del proceso de corrección y eliminación de los desperdicios. Además de abordar la causa raíz de los errores, las organizaciones deben crear pasos de calidad que reduzcan el desperdicio de reprocesamiento. (Institute N.B., 2018).

En el momento que se realiza cierto proceso como ya se ha definido previamente, en caso particular la toma de datos para una estación de bombeo o pozo de interés, puede ocurrir en ciertas ocasiones que el desperdicio se manifieste como una segunda, tercera o más veces de lectura de datos, esto puede originarse por muchas razones pero lo fundamental es reconocer que mientras más veces se requiera una lectura de datos para corroborar o verificar que sean fidedignos, esto inevitablemente representa un desperdicio en primera instancia de tiempo, más aún cuando los datos se registran con éxito pero luego se encuentran incongruencias en la veracidad o relevancia de éstos, lo cual implica una nueva revisión para realizar el mismo trabajo que debió haberse hecho con anterioridad. Las razones que llevan a este tipo de situaciones pueden ser muchas, entre ellas pueden mencionarse la poca claridad de la instrucción original, falta de equipos de medición apropiados para realizar la tarea, falta de herramientas e insumos necesarios, entre otras que pueden estar tanto del lado del empleado de nivel operativo cómo a nivel de gerencia. (Institute N.B., 2018).

Lo principal aquí es encontrar las causas del desperdicio y asociarlas a un comportamiento o situación bajo las cuales ocurren, esto permitirá clasificar las

causas de manera ordenada y así eliminarlas bajo un nuevo proceso basado en Lean.

1.3.2.2. INVENTARIO

El desperdicio de inventario puede ocurrir cuando los artículos se compran o crean antes de que se necesiten en un proceso de fabricación o servicio. El inventario también puede ocurrir en colas de trabajo, colas de datos digitales o incluso en bandejas de entrada de correo electrónico. Si recibe por ejemplo 300 correos electrónicos al día y solo maneja 30 de ellos de manera regular, tiene un problema de proceso en el tráfico de sus comunicaciones.

Se puede reducir el desperdicio de inventario al comprender un proceso y basar las decisiones de inventario en métricas históricas o tendencias de producción basadas en análisis estadísticos de los procesos.

Si el inventario que se maneja a nivel global de las estaciones de bombeo en el AMSS por parte de la empresa, adolece de la primera característica de no reflejar las necesidades de sus clientes, entonces puede haber dos casos de desperdicio. El primero sería que se tengan muchos equipos, materiales e insumos; que en última instancia vendrían a generar un lote de recursos y sobrecarga financiera en la empresa. El segundo, que no se conoce con certeza la ubicación de los recursos dentro del inventario, puede ser que el catastro ubique los equipos en ciertas áreas, pero al verificar esto con la realidad, se aprecia que la cantidad y el detalle de los equipos no corresponden con la información consultada generando así al mismo tiempo el desperdicio no solo de inventario sino también de re-trabajo o corrección. (Álvarez, 2018).

Un proceso sencillo como el de consultar sobre la ubicación de un equipo en particular, puede acarrear más de un desperdicio en un corto tiempo; este hecho se vuelve crítico a la hora de considerar la actualización del catastro, ya que es preciso contemplar en la solución que estos desperdicios deben eliminarse o al menos reducirse a su mínima expresión durante el proceso.

1.3.2.3. TIEMPO DE ESPERA

Esto se refiere a cualquier tiempo inactivo en un proceso, ya sea que ese tiempo inactivo sea para maquinaria o personas. En otras palabras, un empleado o máquina está trabajando por debajo de su capacidad o no está trabajando en absoluto debido a la espera en entradas de otra parte del proceso. La espera se produce cuando los pasos en el proceso no se coordinan adecuadamente, cuando los procesos no son confiables, cuando el trabajo es demasiado grande, durante el reproceso y durante largos cambios entre el personal o las máquinas. Es posible eliminar el desperdicio de espera en muchos procesos al equilibrar la maquinaria, las personas y la producción. El proceso solo funcionará tan rápido como el enlace más lento; reforzando la producción de un elemento único no hace nada para el todo, por lo que los equipos deben trabajar para equilibrar y mejorar todo el proceso. A veces, la programación es un componente clave para eliminar la espera. (Álvarez, 2018).

Hasta este punto se han detallado algunos de los desperdicios que el pensamiento Lean en su filosofía aborda, sin embargo, estos no son todos ellos. Existen más desperdicios relacionados al talento humano, producción de bienes y servicios, flujo de procesos, etc. Sin embargo, aquí se han cubierto aquellos

que se han considerado de relevancia para este proyecto, bajo el conocimiento previo de cómo se desenvuelve el departamento electromecánico dentro de la empresa.

1.3.3. TÉCNICAS ESPECÍFICAS DE LEAN MANUFACTURING EN MANTENIMIENTO

La implementación de Lean Manufacturing es muy versátil, en el sentido que puede ser utilizada en muchos tipos de procesos y en diferentes etapas. En este trabajo de graduación, se utilizarán ciertos elementos de esta herramienta para contribuir a la mejora del proceso de mantenimiento de equipos de bombeo, con este objetivo se pasa a definir algunas de las técnicas más utilizadas para la gestión del mantenimiento, estas técnicas serán de gran ayuda a la hora de comenzar a definir algunos de los procesos y aplicaciones de la propuesta general de mantenimiento y gestión del catastro, ambas áreas de vital importancia para el departamento electromecánico de la empresa. (Cuatrasecas, 2017).

1.3.3.1. MODELO SMED

El vehículo que es comúnmente utilizado para la implementación de Lean en diferentes procesos, independientemente de su naturaleza, es conocido como SMED (Single-Minute Exchange of Dies). Básicamente, según Cuatrasecas (2017) puede traducirse como Cambio de Matriz en Minuto, y busca precisamente la reducción de los tiempos de preparación para el inicio de un proceso o maquinaria en particular. Por lo general, el SMED requiere de tres fases de implementación en todas las empresas y en todos los procesos, estas

fases integradas a un proceso de mantenimiento pueden ser descritas de la siguiente manera:

1. Diferenciar o separar los procesos de preparación internos y externos.

La preparación interna es todo aquello que requiere que los procesos de mantenimiento se detengan, mientras que la preparación externa son procesos que no afectan al libre flujo de las tareas de mantenimiento. Cuando se hace la distinción entre qué acciones de los procesos de mantenimiento desde tareas simples como la asignación de una orden de trabajo, hasta tareas con mayor complejidad incluyendo procesos para la toma de decisiones en la asignación de mantenimientos a diferentes equipos.

2. Reducir el tiempo de preparación interna mediante la mejora de operaciones

Si existen preparaciones internas que no puedan ser llevadas a externas, entonces el enfoque a tomar es el de mejorar los procesos de preparación mediante el estudio de necesidades de personal y operaciones de los procesos. Al tener estas necesidades delimitadas es mucho más fácil introducir los parámetros de mejora y realizar su monitoreo correspondiente. Muchas veces de aquí se define otra fase que busca el mismo objetivo, pero mejorando los equipos a utilizar. Para el estudio de la propuesta se ha decidido omitir esta fase ya que no se busca centrar atención en los equipos, en su lugar se enfocará en la mejora de los procesos.

3. Preparación cero.

La meta a conseguir es que el tiempo de preparación sea igual o lo más cercano a cero, esto propicia que los cambios de demanda debido a emergencias u otros factores se realicen de una forma más rápida y efectiva, es decir logrando una mayor flexibilidad del proceso a la vez que se asegura la calidad del producto o servicio.

Un esquema general del modelo SMED se presenta en la figura 5, considerando los tres puntos o ejes bajo los cuales el modelo opera escritos en forma de resultados. (Cuatrasecas, 2017).



Figura 5. Objetivos de la metodología SMED (Cuatrasecas, 2017).

1.3.3.2. KANBAN

El Kanban es un sistema simple basado en tarjetas o señales que contienen una programación y sincronización con las actividades del departamento. Se basa en un sistema de tipo “pull” (tirar) de pequeños lotes con

actividades o productos en un flujo continuo o sincronizado donde predominan las necesidades críticas.

El uso de Kanban permite que sobre la producción predomine la alta calidad y la producción justa en el momento adecuado (JIT o Just In Time). Los Kanban al estar sincronizados dentro de un proceso pueden ser divididos según las etapas a fases de los mismos, esto implica que, si un proceso está sincronizado con un Kanban, el que le sigue empieza en el final del primer Kanban y así sucesivamente hasta terminar con la cadena de producción. Al ser tan simples en su comunicación, es de considerar que muchas actividades, materias o requerimientos pueden ser organizados y entendidos solo siguiendo el flujo de los Kanban sincronizados a ese proceso. (Álvarez, 2018).

En la figura 6, se ejemplifica cómo funciona un sistema tradicional de Kanban, lo beneficioso de esta herramienta es que puede ser ajustada a las necesidades específicas de un área o departamento.

Los pasos 1 a 2 representan las etapas desde la generación del Kanban (ya sea por necesidad emergente o planificada), hasta la asignación al área respectiva. El paso 5 refleja los buzones (boxes) donde los Kanban son recibidos y luego transportados a producción, cabe recordar que cada Kanban posee instrucciones diferentes y que gracias al sistema “pull” un Kanban le sigue a otro en materiales, procesos y actividades.

Los pasos 6, 7 y 8 hacen alusión al ingreso del Kanban al proceso, su ejecución y resultado para ser devueltos al buzón principal (2), donde luego es enviado ya sea de regreso a buzón de producción para otro proceso seguido o a transporte a otra área de la planta u otro proceso diferente (4).

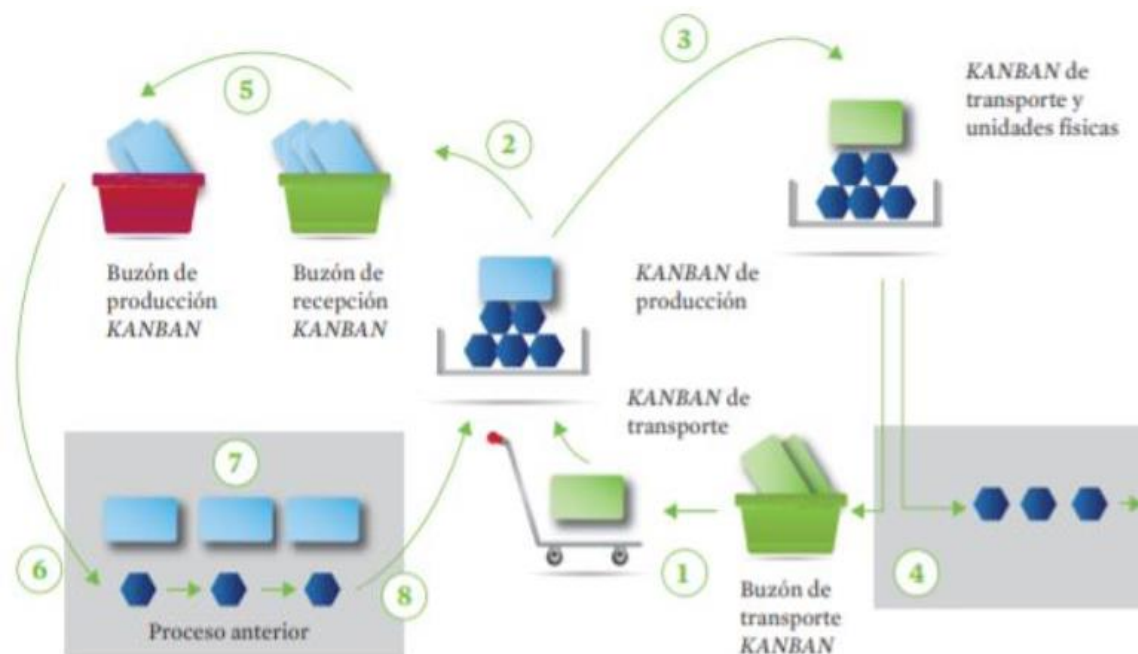


Figura 6. Gráfico de distribución de Kanban (Álvarez, 2018).

Es gracias a este tipo de herramienta que la secuencia de los procesos se vuelve mucho más fácil de atender y controlar, especialmente en etapas donde se deben monitorear los productos con extremo cuidado, sin mencionar que se genera automáticamente un registro de las actividades realizadas para los procesos. (Álvarez, 2018).

1.3.3.3. HEIJUNKA

Heijunka es una técnica que sirve para planificar y nivelar la demanda de clientes en volumen y variedad en un periodo de tiempo. Evidentemente, esta herramienta no es aplicable si hay nula o poca variación de tipos de producto. La

gestión práctica del Heijunka requiere un buen conocimiento de la demanda de clientes y los efectos de esta demanda en los procesos. Exige una atención a los principios de estandarización y estabilización. Los pedidos de los clientes son relativamente constantes si se consideran en un período grande de tiempo, pero impredecibles en un rango de tiempo pequeño. (Álvarez, 2018).

Para la aplicación del Heijunka existen una serie de técnicas que permiten obtener un sistema de producción de determinado ritmo, trabajo y flujo constante, lo que proporciona unas ventajas de la optimización de mano de obra, minimización de inventarios y tiempos de respuesta al cliente.

1.3.4. BENEFICIOS DE LEAN MANUFACTURING EN MANTENIMIENTO

La implementación de herramientas y metodologías contenidas en Lean Manufacturing es capaz de traer una nueva perspectiva a la empresa, sin embargo, para el enfoque y atención de la presente propuesta es necesario trasladar las ventajas al plano de un departamento de mantenimiento.

Al aplicar las estrategias de Lean contando con el compromiso personal de los empleados de la empresa, es posible lograr una mejora no solo a nivel de operaciones, sino también a nivel cultural. Es decir, se propician las condiciones necesarias para que la cultura de trabajo y la forma de hacer las cosas cambie de forma paulatina, asegurando su integración para con cada elemento del proceso y sus involucrados.

Uno de los beneficios más prominentes de Lean Manufacturing en los procesos de mantenimiento es el Jidoka, o automatización con un toque humano. De acuerdo con Álvarez (2018), cuando los procesos y sistemas de

mantenimiento se han transformado a tal punto que son capaces de seguir una secuencia definida y que su control de parámetros no solo es sencillo sino también intuitivo, se propician nuevas oportunidades y la mejora del proceso se vuelve aún más evidente.

El concepto de Jidoka bien implementado cede a la máquina o proceso el protagonismo que el pensamiento lean le otorga: eficiencia máxima y, por tanto, ausencia de desperdicios en forma de problemas que no controle por sí misma, que supondría vigilancia por parte del operador, pero, en cambio, cediendo a éste el control del ritmo del proceso. Así pues, el control autónomo o Jidoka puede llegar a dotar a las máquinas de sistemas para arrancar y parar e informar automáticamente de su situación, a fin de evitar tiempos improductivos. (Cuatrasecas, 2017).

Por ejemplo, bajo el control autónomo podemos suponer que una máquina debe parar por sí sola si se halla en una situación que le impida continuar la operación correctamente, incluidos muy especialmente los fallos de calidad. Ello se completa instalando luces de diferentes colores en las máquinas, en un lugar muy visible, de forma que, si está encendida la luz verde, la máquina no requiere ninguna atención, mientras que, si se enciende la roja, la máquina ha parado y la requiere.

Los procesos de producción que triunfan en la actualidad están constituidos, en general, por una inteligente combinación de pequeñas y sencillas máquinas y operadores polivalentes, en procesos que, de justificar cierto nivel de automatización, lo adoptan, según ha sido expuesto, ajustándose al concepto de

Jidoka, es decir, con inteligencia humana que permita que sea el operador el que fije el ritmo de producción de los procesos, pero de forma que las máquinas controlen su propia operativa, parando ante cualquier anomalía. En este sentido, la automatización de la tarea de la máquina y la descarga del producto procesado no presentan problemas para el control del ritmo de producción, pero la automatización de la alimentación de una máquina o de la transferencia del producto a otra puede suponer el final del control del ritmo de producción por parte del operador. (Cuatrecasas, 2017).

Habiendo considerado lo anterior, se pasa ahora a definir los elementos más importantes bajo los cuales la propuesta deberá trabajar, es decir aquellos procesos, máquinas y equipos que estarán sujetos a la nueva propuesta con el enfoque planteado anteriormente.

1.4. OPERACIONES DE EQUIPOS DE BOMBEO

1.4.1. SISTEMA DE BOMBEO

Un sistema de bombeo está definido como el conjunto de elementos mecánicos, como también eléctricos, que transforma la energía que puede proceder de un motor eléctrico, de combustión, etc., a energía que un fluido adquiere en forma de presión o de velocidad, y de esta forma cumplir especificaciones de caudal y presión que son necesarias en los distintos procesos o aplicaciones como permitir el transporte del fluido a través de tuberías y/o el almacenamiento temporal de este. (Blanco, Velarde y Fernández, 1994).

En este punto es importante aclarar que los sistemas de bombeo comprenden el conjunto de equipos físicos, tanto mecánicos como eléctricos, y

que más adelante al hacer referencia a una estación de bombeo se hace en términos del lugar físico donde los cuales operan.

Cualquier modificación en un componente va a impactar sobre los otros elementos del sistema, por lo que no se les puede tratar de manera individual, por lo tanto, es importante entender la interdependencia que existe entre las distintas partes y cada componente de un sistema de bombeo.

La especificación básica que debe satisfacer un sistema de bombeo es el transporte de un caudal de un determinado fluido de un lugar a otro. Además, suele ser necesario que el fluido llegue al lugar de destino con una cierta presión, y que el sistema permite un rango de variación tanto del caudal como de la presión.

En cuanto a la operación de un sistema de bombeo, hay que tener en cuenta los sistemas de regulación y control que permitan obtener el caudal y la presión deseados, así como los problemas de cavitación, inestabilidades y transitorios que se puedan producir. (Blanco, Velarde y Fernández, 1994).

La figura 7 presenta de manera general los componentes que se encuentran en un sistema de bombeo común. De manera simple representa la línea de seguimiento en el proceso en los elementos para un buen

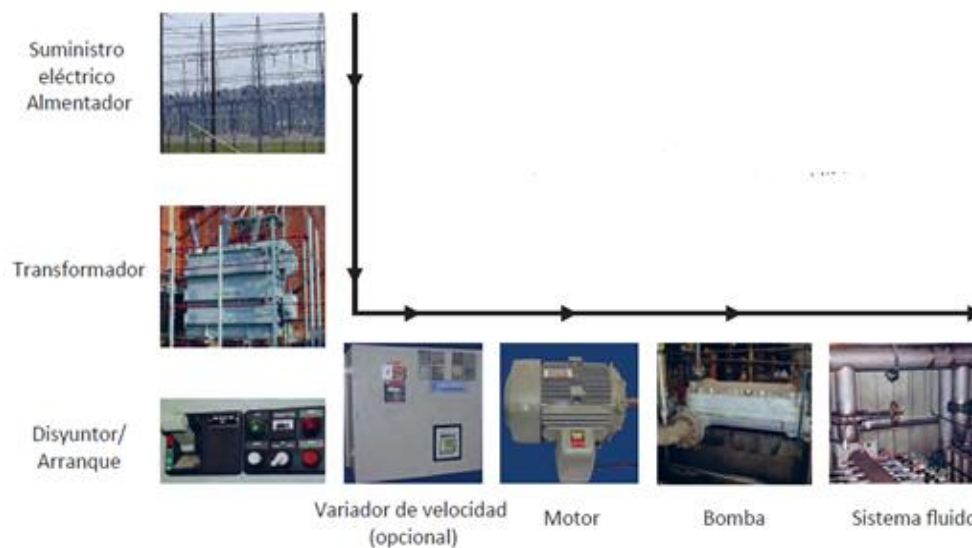


Figura 7. Representación básica de un sistema de bombeo (Blanco, Velarde y Fernández, 1994).

funcionamiento de un sistema de bombeo.

Al optimizar los sistemas de bombeo, será necesario entender cómo varían los requisitos y demandas de caudal a lo largo del tiempo. Y es que es muy común que estos sistemas se sobredimensionen, esto quiere decir, que sean capaces de entregar más caudal que lo que el proceso está requiriendo. Las razones por las que se realiza de esta manera son varias, pero por lo general, estos sistemas se han diseñado para “necesidades futuras”, pensando en que los requerimientos de los sistemas aumentarán.

1.4.2. EQUIPO DE BOMBEO

En un sistema típico, además de las tuberías que enlazan los puntos de origen y destino, son necesarios otros elementos. Algunos de ellos proporcionan

la energía necesaria para el transporte: bombas, lugares de almacenamiento y depósitos. Otros son elementos de regulación y control: válvulas y equipos de medida.

1.4.2.1. BOMBAS

Una bomba hidráulica es una máquina que sirve como medio para el transporte de un fluido al convertir energía mecánica en energía fluida o hidráulica, es decir las bombas agregan energía al fluido. Las bombas más frecuentemente usadas en el abastecimiento de agua son las bombas “centrífugas, horizontales y verticales, y las bombas sumergibles” (Kenneth, 1998).

La primera forma de clasificar las bombas es separarlas en el grupo de bombas de desplazamiento positivo y bombas rotodinámicas. Las primeras operan de forma volumétrica: desplazan un determinado volumen por unidad de tiempo, independientemente de la presión. Son bombas de émbolos, paletas, engranajes, etc., utilizadas en óleo hidráulica, donde se requieren unos caudales ínfimos con presiones muy elevadas.

Las bombas rotodinámicas, en cambio, consiguen incrementar la energía del fluido a base de aumentar la energía cinética -por medio de la deflexión y el efecto centrífugo que provocan los álabes del rodete- recuperando esta energía posteriormente en forma de presión.

La principal forma de clasificación de las bombas rotodinámicas es separarlas en bombas axiales, mixtas y radiales, según la dirección de salida del

flujo con respecto al eje. El nombre común para las radiales es bombas centrífugas, y así se denominará en adelante, a pesar de que algunos autores utilizan este término para referirse a todo el conjunto de bombas rotodinámicas.

La aplicación de las bombas axiales está indicada para cuando se necesitan grandes caudales con pequeñas alturas de elevación. Las centrífugas, cuando se necesitan grandes alturas y pequeños caudales. Las bombas mixtas constituyen un caso intermedio, un esquema de este tipo de bombas se puede apreciar en la figura 8. (Blanco, Velarde y Fernández, 1994).

Hay otras muchas características que hacen a las bombas susceptibles de clasificaciones distintas, y así se pueden tener bombas de una o varias etapas, bombas de cámara partida, bombas auto aspirantes, bombas sumergibles, bombas horizontales o verticales, etc.

La mayor parte de las bombas del mercado son radiales o mixtas. Muchas veces, se las controla con válvulas reguladoras, por lo que ofrecen muy buenas oportunidades para generar ahorros energéticos. En muchas oportunidades, es posible controlar la bomba con variadores de velocidad, en lugar de usar válvulas reguladoras.

Muchos sistemas de bombeo requieren alta presión, esta se aumenta por medio de bombas multietapas, que dirigen el flujo que sale de la descarga de un impulsor a la succión del siguiente impulsor, como se ilustra en la figura 9 (Blanco, Velarde y Fernández, 1994).

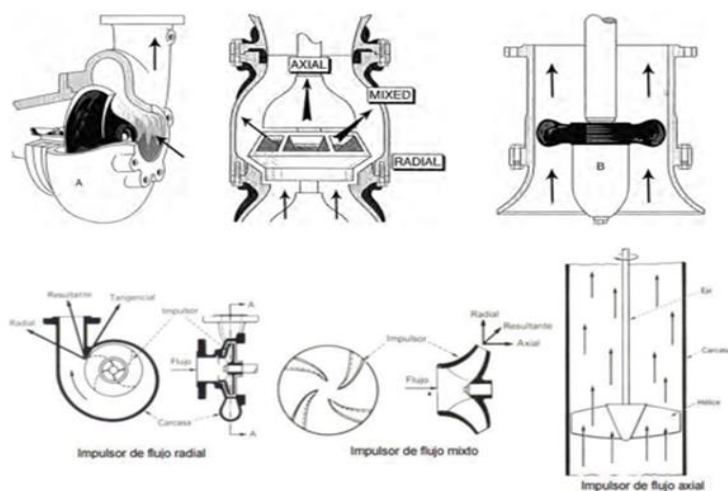


Figura 8. Bombas multietapas, mixtas y centrífugas (Blanco, Velarde y Fernández, 1994).

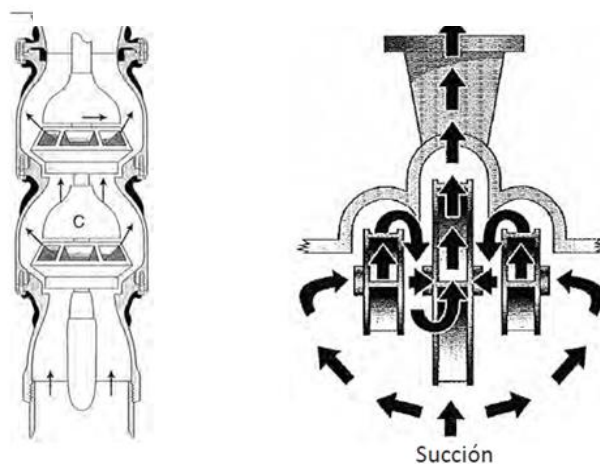


Figura 9. Tipos de impulsores y dirección de flujo en bombas Rotodinámicas (Radial, Mixto, Axial) (Blanco, Velarde y Fernández, 1994).

1.4.2.2. MOTORES

Los motores son la fuente o el elemento de accionamiento para la bomba, son los encargados de brindar la energía que la bomba convierte o transmite al fluido en operación. Los motores para bombas se clasifican en dos grupos principales: de combustión y eléctricos.

En los motores de combustión interna la potencia es desarrollada al quemar el combustible dentro de los cilindros del motor. Se pueden emplear los motores diésel o de encendido por bujías, alimentados por gas natural o propano. En algunos casos se han instalado motores a gasolina, pero su uso no es recomendable por los problemas derivados del almacenamiento del combustible. Estos equipos tienen una velocidad de giro menor que los motores eléctricos, generalmente se encuentran entre 1700 rpm a 2400 rpm.

El empleo de estos motores es recomendable para el accionamiento de bombas en lugares muy apartados en donde no se dispone de suministro eléctrico o este es muy poco fiable.

Ahora bien, los motores eléctricos son las máquinas motrices que más se emplean para propulsar de manera simple y eficiente las bombas utilizadas. Las ventajas de este tipo de motor es su reducido tamaño y peso en comparación a otros sistemas motrices; en su limpieza, no contamina el medio ambiente y producen menos ruido; en su facilidad de operación y finalmente en menor costo al ser comparado con sus similares de combustión interna.

Los más empleados en abastecimiento de agua son los de velocidad constante o los que tienen velocidad prácticamente constante. Es decir, se puede considerar únicamente los dos tipos siguientes:

a) Motor síncrono de velocidad rigurosamente constante, dependiente del número de polos y a la frecuencia de la línea de alimentación.

b) Motor de inducción, es decir, asíncrono con velocidad dependiente al valor de la carga.

Los motores sincrónicos pueden resultar más económicos para accionamientos de gran potencia y baja velocidad. En todo caso, la eficiencia del motor síncrono es ligeramente mayor que el motor de inducción. Las desventajas de estos motores están en que requieren una operación más cuidadosa y no soportan bien las caídas de tensión.

Los motores de inducción con rotor bobinado, particularmente los de tipo de rotor en jaula o cortocircuito, ya sea común o de alto par de arranque, constituyen en la actualidad las máquinas motrices más empleadas en la industria. La ventaja de estos motores está en su simplicidad, fiabilidad y economía. (Blanco, Velarde y Fernández, 1994).

Los motores eléctricos por su principio sencillo y construcción robusta, no exige grandes requisitos de mantenimiento, evitando costosas interrupciones en el servicio que prestan y los gastos consiguientes de reparación, si se tiene el cuidado de emplearlas correctamente, sobre todo en lo que se refiere las

siguientes características de placa: potencia, corriente, tensión, frecuencia, velocidad, número de fases, temperatura, lubricación y condición del medio ambiente donde opera.

1.4.2.3. SISTEMA HIDRÁULICO COMPLEMENTARIO (RED DE DISTRIBUCIÓN)

La conducción o el transporte de fluidos por medio de tuberías, ya sean fluidos como el agua, petróleo, gasolina, etc. O gaseosos como el aire, vapor, etc. Requieren del control del fluido, su regulación, o impedir que pueda retornar en contra de un determinado sentido de circulación y, muchas veces también, se requiere poder mantener el fluido a una determinada presión de servicio o liberar excesos de presión cuando ésta sobrepasa ciertos límites. Por lo tanto, en conjunto con las bombas y el equipo de accionamiento también existen accesorios necesarios para un óptimo funcionamiento del conjunto motor-bomba. (Mijares, 1980)

Estos accesorios se emplean para la debida protección del sistema además de obtener una buena eficacia del mismo. En principio, la elección de los accesorios es simple y para ello se debe tener en cuenta lo siguiente:

- su capacidad.
- la clase del fluido.
- su temperatura.
- la forma de realizar las conexiones.
- la manera en cómo se va a operar.

- las facilidades para su buena maniobra.

Según Mijares (1980), en una red de distribución se habla de tuberías principales, secundarias, terciarias, etc. en conjunto con las piezas especiales: unidades que posibilitan los empalmes, cambios de dirección (codos), derivaciones, variaciones de sección, etc. Y los dispositivos auxiliares: aparatos que protegen y facilitan el buen funcionamiento de la red. Los más importantes son las válvulas y las venteo. De lo anterior mencionado puede decirse que entre las principales agrupaciones de accesorios que se encuentran, se tienen las siguientes:

- ❖ Bridas.
- ❖ Accesorios para conexiones.
 - Codo.
 - T.
 - Reducción.
 - Cuello o acople.
- ❖ Empaquetadura.
- ❖ Válvulas.
- ❖ Tornillo y niple.

Adicionalmente, se incluye una esquematización de los elementos anteriores en la figura 10 para una mejor referencia y visualización de los mismos.

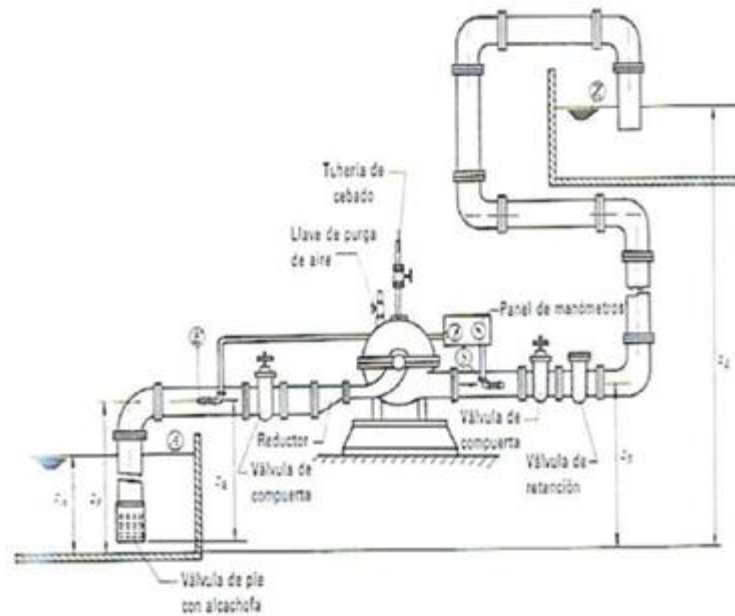


Figura 10. Esquema de un sistema de bombeo (Blanco, Velarde y Fernández, 1994).

De estos accesorios, también se pueden mencionar características físicas como las siguientes:

- **Diámetro:** es la medida de un accesorio o diámetro nominal mediante el cual se identifica al mismo y depende de las especificaciones técnicas exigidas.
- **Resistencia:** es la capacidad de tensión en libras o en kilómetros que puede soportar un determinado accesorio en plena operatividad.
- **Aleación:** es el material o conjunto de materiales del cual está hecho un accesorio que forma parte de un sistema de tuberías.

- Espesor: que es el grosor que tiene o posee la pared del accesorio a las normas y especificaciones establecidas.

1.4.3. OPERACIÓN DE EQUIPO DE BOMBEO

El comportamiento hidráulico de una bomba viene especificado en sus curvas características que representan una relación entre los distintos valores del caudal proporcionado por la misma con otros parámetros como la altura manométrica, el rendimiento hidráulico, la potencia requerida y la altura de aspiración, que están en función del tamaño, diseño y construcción de la bomba.

No son solo las curvas las que pueden proporcionar información sobre el comportamiento, también son los resultados de los mantenimientos y la medición directa de variables de interés las que pueden proveer insumos valiosos. Sin embargo, en este punto se procederá a definir los aspectos directamente relacionados a las curvas, ya que en general se requieren como un punto de partida para caracterizar los equipos.

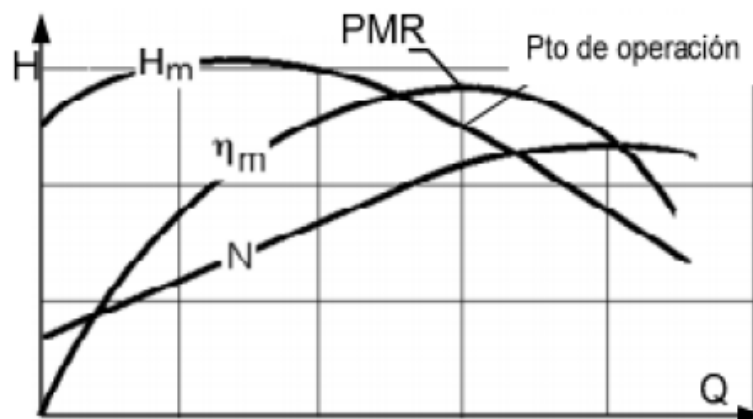


Figura 11. Curva característica de una bomba (Blanco, Velarde y Fernández, 1994).

Las curvas características definen las condiciones de operación de una bomba, se pueden obtener trabajando cerca del punto máximo de rendimiento, PMR, es decir, que donde la ordenada pasa por el PMR, corta la curva de carga de la bomba, como se observa en la figura 11. (Company N.P., 2020).

En lo que refiere a las condiciones de operación de la bomba, existe un punto de trabajo (Carga-Caudal) donde éstas se encuentran trabajando en su punto de mayor eficiencia. Fuera de este punto, se pueden originar muchos problemas, además de la pérdida innecesaria de energía debido al bajo rendimiento. Debido a tandeos excesivos cuando los equipos operan hacia diferentes puntos de la red, o por reparaciones urgentes sin material apropiado, los equipos se pueden encontrar en puntos de operación alejados del óptimo.

Por lo tanto, cada modelo tiene su propio comportamiento característico. La gráfica siguiente muestra las curvas características de dos tipos de bombas diferentes, la bomba centrífuga o radial y la de flujo axial. Un ejemplo de algunas discrepancias en las curvas de comportamiento se aprecia en la figura 12. (Company N.P., 2020).

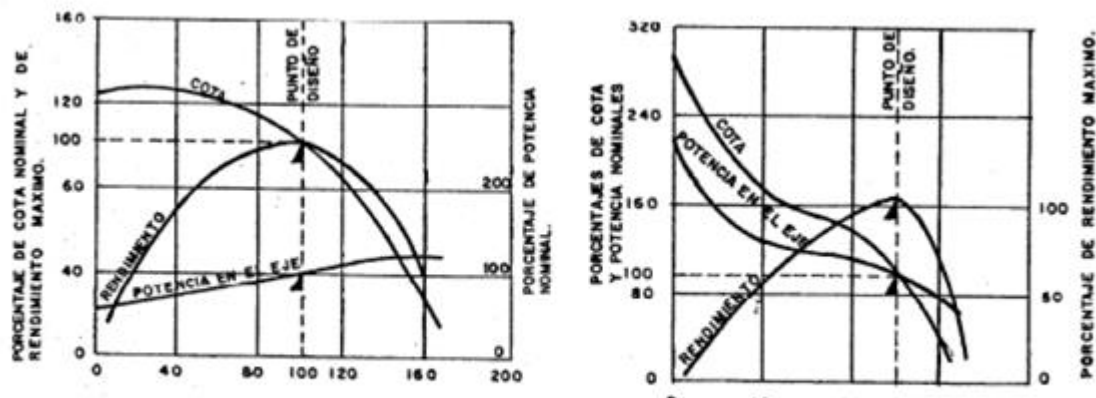


Figura 12. Curvas características para bombas centrífugas y de flujo axial (Blanco, Velarde y Fernández, 1994).

En situaciones donde se requiere solo un equipo de bombeo, es recomendable instalar uno idéntico de reserva, estableciendo un coeficiente de seguridad del 200% (es decir, se poseen dos equipos capaces de suplir demanda, uno en operación y otro de respaldo); pero si el tamaño de los equipos resulta muy grande, es recomendable incrementar el número de ellos, estableciendo coeficientes de seguridad menores, pero mayores alternativas y menores costos de operación. En tales casos puede admitirse hasta el 150% como coeficiente de seguridad de los equipos.

En ocasiones según la necesidad se utilizan varias bombas trabajando en un acoplamiento en serie o en paralelo sobre el mismo circuito. Esto puede resultar útil como sistema de regulación, o cuando se requieren características muy variables.

En el acoplamiento en serie, la tubería de impulsión de una bomba forma parte de la tubería de aspiración o succión de la siguiente bomba, consiguiendo de esta manera que el caudal bombeado sea el mismo para todas las unidades, y la altura de todo el sistema es la suma de todas las alturas individuales de cada bomba. Este tipo de acoplamiento no es el más común. Tiene su punto fuerte en instalaciones en las que se bombea fluido a distintas alturas. Entonces el motivo por el cual se utilizan bombas en serie es para conseguir una altura que no se alcanza con una sola bomba. Esto es en parte un sofisma, puesto que con bombas centrífugas multietapas también se puede obtener la presión que se

quiera y, normalmente con mejor rendimiento. Una representación de una conexión de bombas en serie se muestra en la figura 13. (Company N.P., 2020).

Para bombas idénticas, la H (altura) máxima se duplicará o triplicará, según el número de bombas iguales que se utilice y el Q (caudal) máximo se mantendrá, siguiendo con las ecuaciones 1 y 2 como siguen:

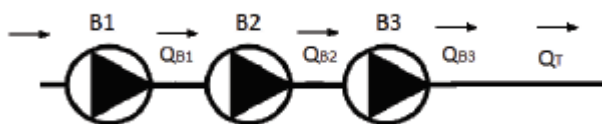


Figura 13. Conexión en serie de bombas (Blanco, Velarde y Fernández, 1994).

$$Q_{BT} = Q_{B1} = Q_{B2} = Q_{B3} \dots = Q_{Bn}$$

(Ecuación 1)

$$H_{BT} = H_{B1} + H_{B2} + H_{B3} \dots + H_{Bn}$$

(Ecuación 2)

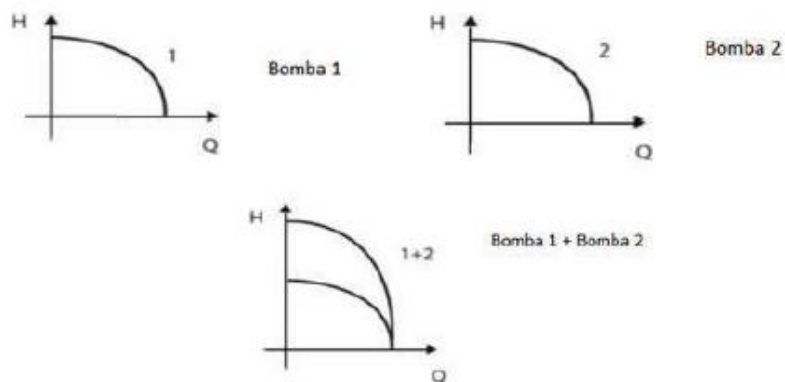


Figura 14. Curvas características mostrando el cambio para bombas en serie (Blanco, Velarde y Fernández, 1994).

La figura 14 muestra las curvas características de dos bombas individuales y su arreglo en serie cuando se colocan en secuencia. (Company N.P., 2020).

De la misma manera, al conectar varias bombas en paralelo darán una curva característica conjunta en la que se suman los caudales para cada altura. En un acoplamiento en paralelo, todas las impulsiones de las bombas se conectan a un mismo tubo conocido como múltiple de impulsión. En este caso se suman todos los caudales, y manteniendo o conservando las alturas de cada bomba. En este tipo de conexión se recomienda que las bombas utilizadas sean de las mismas características, puesto que una bomba de mayor potencia puede impedir el buen funcionamiento de bombas de menor potencia. (Blanco, Velarde y Fernández, 1994).

El acople en paralelo de bombas se usa generalmente en abastecimientos de agua cuando, el consumo o demanda del servicio oscila o varía mucho en el tiempo. Por lo tanto, la fiabilidad del servicio es una ventaja. Es frecuente encontrar tres bombas en paralelo cada una con una capacidad del 50%. Así se puede hacer trabajar una o dos bombas según el caudal requerido, y tener otra en previsión de averías y para mantenimiento. De esta forma aumenta mucho la

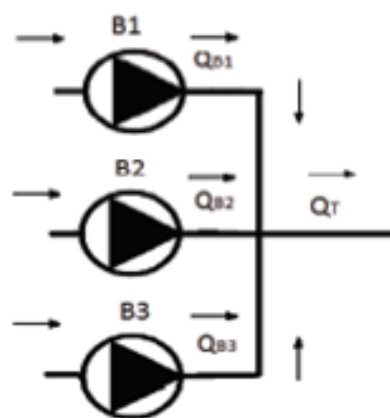


Figura 15. Diagrama de conexión de bombas en paralelo (Blanco, Velarde y Fernández, 1994).

seguridad sin elevar demasiado los costes de instalación. Un ejemplo de este tipo de conexión se muestra en la figura 15.

Para bombas idénticas, el Q (caudal) máximo se duplicará o triplicará, según el número de bombas iguales que se utilice y el H (altura) máxima se mantendrá, esto se muestra en las ecuaciones 3 y 4.

$$QB_T = QB_1 + QB_2 + QB_3 \dots + QB_n$$

(Ecuación 3)

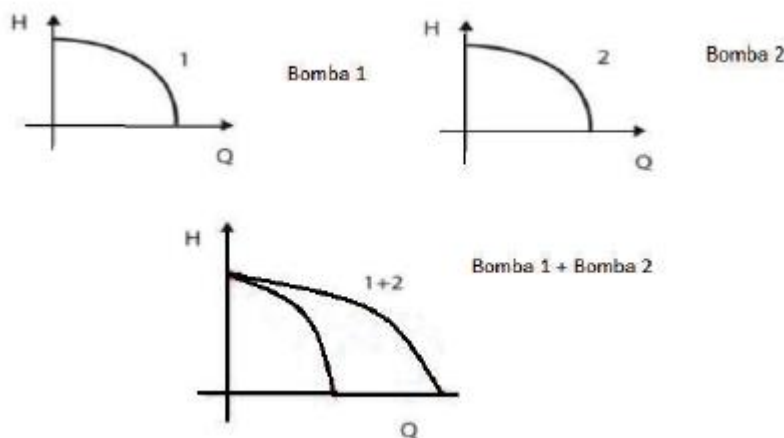


Figura 16. Curvas características mostrando el cambio para bombas en paralelo (Blanco, Velarde y Fernández, 1994).

$$HB_t = HB_1 = HB_2 = HB_3 \dots = HB_n$$

(Ecuación 4)

La figura 16 representa los cambios en las curvas características para un arreglo de bombas en paralelo y el cambio en su comportamiento al combinarlas. (Company N.P., 2020).

1.4.4. OPERACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO

1.4.4.1. CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO

En primer lugar, se conoce la fuente de donde se sacará el agua. Con esta información se obtienen mayores datos del tipo de líquido a bombear, las principales fuentes a mencionar podrían ser:

- De un río
- De un pozo (perforado a mano o mecánico)
- De un lago
- De una cisterna
- Del mar
- De un nacimiento.

Entonces al definir la fuente de energía con la que estará operando el sistema de bombeo:

- Directos.
- Por gravedad.
- Combinados.
- Presión o por bombeo.

Una línea de abastecimiento de agua a una población desde un embalse en las montañas es un ejemplo del tipo por gravedad, mientras que la extracción de agua de un pozo lo es de presión o por bombeo. En la mayoría de los sistemas se utilizarán ambas fuentes de energía. Un ejemplo puede ser: elevación con

bombas hasta un depósito intermedio, y distribución desde allí por gravedad. Por lo tanto, se deben considerar dos casos de tipos de abastecimiento:

- Cuando el sistema de abastecimiento de agua incluye reservorio de almacenamiento posterior a la estación de bombeo; la capacidad de la tubería de succión (si corresponde), equipo de bombeo y tubería de impulsión deberá tener en cuenta el caudal máximo diario y el número de horas de bombeo, esto descrito por la ecuación 5.

$$Q_b = Q_{max.d} * (24/N)$$

(Ecuación 5)

Donde:

Q_b = Caudal de bombeo, l/s.

$Q_{max.d}$ = Caudal máximo diario, l/s.

N = Número de horas de bombeo.

Cuando el sistema de abastecimiento de agua no incluye reservorio de almacenamiento posterior a la estación de bombeo, la capacidad del sistema de bombeo debe ser calculada en base al caudal máximo horario y las pérdidas en la red de distribución.

A veces se utilizan depósitos intermedios con el fin de garantizar la seguridad del suministro, y en esos casos los criterios a aplicar son más sociales que económicos. En otros casos la finalidad de los depósitos es reducir el

diámetro de las tuberías para que no tengan que suministrar los picos de caudal, y entonces se puede hacer un cálculo exclusivamente económico.

El almacenamiento intermedio permite grandes fluctuaciones de la demanda. Prácticamente no es necesario ajustar las válvulas de control, y las bombas trabajan siempre en el punto de máximo rendimiento gobernadas por controles de nivel: entran en funcionamiento cuando el nivel en el depósito baja hasta un valor determinado. (Blanco, Velarde y Fernández, 1994).

Cuando no hay almacenamiento el sistema debe ser capaz de ajustarse a la demanda en cada momento. Cuando el rango de variación es amplio, se trabaja con bajos rendimientos de las bombas (grandes pérdidas de energía), y hay más probabilidad de que aparezcan problemas de funcionamiento. Además, en este apartado se considera el sistema de regulación a emplear: control con válvulas en serie o en paralelo, regulación de la velocidad, arranque y parada de bombas (con depósitos intermedios), etc.

Ahora bien, además de saber la fuente de donde se sacará el agua y el tipo de abastecimiento también debe tenerse en cuenta a donde se llevará el agua.

- A un tanque al nivel del piso
- A un circuito de riego
- A un tanque elevado
- A una red residencial
- A una red industrial
- A una red comercial

- Recirculación (piscina, spa, fuente) etc.

Una vez conocido el tipo de abastecimiento dentro de la operación del sistema de bombeo debe verificarse el número de unidades de bombeo que requiere el sistema el cual dependerá del caudal de bombeo y de sus variaciones, y de la necesidad de contar con una unidad de reserva para atender situaciones de emergencia. Es recomendable adoptar el siguiente criterio de Blanco, Velarde y Fernández (1994):

- Para pequeñas estaciones (población de diseño menor a 2000 habitantes) se colocarán dos unidades, cada una con capacidad de bombear el caudal de bombeo calculado. Una de ellas será la unidad de reserva y funcionará alternadamente con la unidad principal.
- En estaciones mayores (población de diseño mayor a 2000 habitantes), el número mínimo será de dos unidades. Cuando se utilicen únicamente dos bombas, cada una de ellas debe tener una capacidad igual al caudal de diseño de la estación y una trabajará de reserva. Cuando se utilicen más de dos bombas; deberá ser prevista además de las unidades necesarias para el caudal máximo, por lo menos una bomba de reserva con capacidad igual a la mayor de las bombas instaladas.

1.4.4.2. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL EQUIPO EN LA OPERACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO

De acuerdo con Blanco, Velarde y Fernández (1994), para la operación de un sistema de bombeo y una vez considerado el tipo de abastecimiento, se hace una previsión del número de equipos para operar. Ahora bien, también se

caracteriza el tipo de equipo de bombeo que mejor puede operar, por lo tanto, se describen a continuación, las principales ventajas y desventajas de los tipos de bombas para el tipo de operación.

- Bomba de eje horizontal
 - Ventajas
 - Máquinas simples y versátiles.
 - Facilidad de instalación, operación y mantenimiento.
 - Economía en su adquisición y mantenimiento.
 - Pueden ubicarse en un área distante del punto de captación, favoreciendo su ubicación en lugares seguros y libres de inundación, aluviones, etc.
 - Pueden ser utilizadas para el bombeo de considerables caudales a elevadas alturas.
 - Desventajas
 - Presenta limitaciones en la altura de succión (máximo 7 metros), limitado por la presión atmosférica, la temperatura y la altitud del lugar de operación.
 - Para ser instaladas requiere mayor área superficial que la que demanda una bomba de eje vertical.
 - Necesitan de la instalación de accesorios en la tubería de succión para mantenerlas cebadas durante el arranque
 - Son sensibles a perder el cebado durante la operación afectando al servicio que presta.

- Bomba de eje vertical
 - Ventajas
 - Requieren espacios menores para ser instaladas, en comparación a las áreas de instalación que demandan las bombas de eje horizontal, con lo cual es posible reducir los costos de construcción de la estación de bombeo.
 - La bomba puede trabajar alejada del motor, por tanto, ser instalada en un lugar de condición adversa o sumergida en el líquido a bombear (pozo seco o húmedo).
 - Pueden ser instaladas en lugares en los que la gran altura de succión u otros factores impiden la instalación de una bomba de eje horizontal (alturas mayores a 7 m)
 - Pueden ser diseñadas para operar en serie mediante etapas superpuestas con un solo motor, para incrementar la presión que puede desarrollar la bomba.
 - Admite una diversidad de configuraciones para su accionamiento: directamente por un motor eléctrico, acoplados a un motor de combustión interna (gasolina o diésel) o tener un accionamiento mixto (eléctrico y combustión interna), asegurándose de esta manera su operación permanente.
 - Cuando son instaladas en pozos profundos, tienen gran flexibilidad para adaptar las condiciones de bombeo a las

características del pozo, ya que presentan muchos parámetros que son susceptibles a ser ajustados.

- Alta confiabilidad, su construcción robusta puede responder satisfactoriamente hasta en las condiciones más severas y prolongada vida útil.
- Si se compara su funcionamiento en un pozo hasta 20 metros de profundidad, su eficiencia es mayor que la que puede lograr una bomba sumergible.
- Desventajas
 - No son recomendables para grandes profundidades porque requieren de un eje de transmisión excesivamente largo, lo cual puede resultar muy costoso.
 - El alineamiento vertical es exigente.
 - Elevado ruido eléctrico de los motores.
 - Mayor dificultad para la operación y mantenimiento; se requiere mano de obra especializada.
- Bomba sumergible
 - Ventajas.
 - La bomba y el motor trabajan como un conjunto único sumergidos en el agua.
 - Económicamente ventajosa para pozos muy profundos.
 - Por debajo de 20 metros son más ventajosas que las bombas de eje vertical.

- Se prefiere su instalación en pequeños diámetros porque no exigen la condición de verticalidad perfecta del pozo.
 - Mínima frecuencia de mantenimiento, puede operar mucho tiempo antes de requerir reparaciones.
 - Motor y bomba trabajan sumergidos lo cual se consigue aislar el ruido durante la operación.
 - Motor acoplado directamente al eje de la bomba, velocidad bomba-motor muy compacta con lo que se evitan largos tramos de eje y numerosas bocinas para el acoplamiento de ambos elementos.
 - Pueden ser instalados en pozos relativamente curvos o desalineados.
- Desventajas
 - Gran dificultad en la instalación la bomba, debido al que motor va sumergido
 - Alto costo inicial del motor.
 - Requieren elevados costos en la operación y mantenimiento del equipo. Requieren de costosos y complicados elementos de control. Existe rápido desgaste de piezas de hierro expuestas a corrosión.
 - Se debe evitar el arranque de la bomba fuera del agua. Muy sensible al ingreso de arenas y agua al motor.

- Requiere mano de obra calificada para la operación y mantenimiento.
- Para el mantenimiento hay que extraer la bomba y el motor del pozo, debiéndose paralizar el servicio.
- Concebidas con velocidades de rotación elevadas que reducen la vida del motor.
- Están disponibles en pocas velocidades y sin opción de ser variadas.
- En comparación a las bombas de turbina vertical requiere un mayor consumo de energía por volumen de agua extraída.

1.4.4.3. EQUIPO DE BOMBEO PARA TIPO DE OPERACIÓN

Ya en el apartado 1.4.4.1 se entendió que existe más de un tipo de fuente de agua y de abastecimiento de esta, por lo tanto, el tipo de operación que se realiza para la distribución de agua no sería la misma para cada tipo, de esta manera se presenta parte de lo que podría ser equipo de bombeo funcionando en cada caso de fuente y abastecimiento de agua, tomando en cuenta las ventajas y desventajas del apartado anterior.

- Pozo profundo.
 - Bomba centrífuga vertical, sumergible (cilíndrica, angosta).
 - Bomba axial vertical sumergible (cilíndrica angosta)
- Pozo excavado para agua potable.
 - Bomba centrífuga vertical sumergible
 - Bomba axial vertical sumergible

- Sí la altura de succión es menor a 4 m:
 - Bomba centrífuga horizontal, no sumergible
 - Bomba centrífuga vertical, no sumergible
- Cuerpo de agua superficial
 - Bomba centrífuga vertical, sumergible (cuerpo chato)
 - Bomba centrífuga horizontal (sobre plataforma flotante o móvil).
 - Bomba axial horizontal (sobre plataforma flotante o móvil).

Para seleccionar equipos de bombeo de agua potable se debe considerar el número de horas al día que trabajará la bomba y en que periodos. Es recomendable por razones económicas y operativas que el periodo de bombeo en un día sea menor a 12 horas, que podrán ser distribuidas en una o más operaciones (arranques) de bombeos diarios. También tiene que ser considerado las recomendaciones del fabricante de los equipos de bombeo con respecto al número máximo de arranques por día de sus equipos. (Mijares, 1980).

1.5. CONSIDERACIONES PARTICULARES EN UN SISTEMA DE BOMBEO

1.5.1. PROPÓSITO DEL SISTEMA DE BOMBEO

Con anterioridad se describió como un sistema de abastecimiento de agua potable es aquel que facilita que el agua avance desde el punto de captación hasta los puntos de entrega a los usuarios en condiciones aptas para su consumo. Por aptas no solo se entiende en cuanto a condiciones sanitarias de calidad, sino también de cantidad. (Mijares, 1980).

Entonces podemos decir que el propósito de un sistema de abastecimiento de agua potable es proporcionar el servicio de agua potable al usuario, servicio que debe cumplir diferentes características, siendo las principales:

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

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

El agua obtenida de la fuente de abastecimiento debe pasar por alguna forma de tratamiento. El tratamiento es una serie de procedimientos para ajustar las características físicas y químicas del agua para que encajen dentro de los parámetros indicados en la legislación correspondiente. Por esto en las estaciones de tratamiento de agua se hace uso de técnicas variadas para obtener agua de calidad para el consumo. (Mijares, 1980).

1.5.2. OPERACIÓN COMO INDICADOR DE PRODUCCIÓN

Anteriormente se indicó que el objetivo de los sistemas de abastecimiento es proveer agua en adecuada cantidad y calidad, pero también es importante suministrar el líquido con una presión enmarcada dentro de la normativa de cada jurisdicción.

La producción del sistema de bombeo dependerá de la capacidad con la que cuenta cada estación de bombeo en este caso, por lo tanto, el caudal de bombeo debe efectuarse de acuerdo a las características sistema de abastecimiento y de las reglas de operación previstas para la estación de bombeo. El caudal de bombeo depende de dos factores: el tiempo de bombeo y el tipo de abastecimiento. (Matteni, 2018).

Recordando del punto 1.4 en los tipos de operación por equipos se mencionaba como recomendación el número de horas de bombeo y el número de arranques en un día, depende del rendimiento de la fuente, el consumo de agua, la disponibilidad de energía y el costo de operación (OPS-COSUDE, 2005). Por motivos económicos y operativos, es conveniente adoptar periodos no muy extensos de bombeo, adoptando las horas de bombeo más convenientes en

referencia al servicio de energía eléctrica. En cuanto a tipos de abastecimiento también se aclaró que se pueden considerar dos tipos.

Los sistemas de bombeo se diseñan para operar en determinados puntos de funcionamiento definidos por el proyectista, en base a los datos aportados por el fabricante. Sin embargo, la realidad hace que el sistema de bombeo tenga que funcionar adaptándose a los caudales y presiones demandados. En muchos casos, estos puntos de funcionamiento distan de los de diseño por cambio en la demanda, estrategia de regulación y control, adaptaciones y modificaciones en la estación de bombeo y en la red de abastecimiento, etc. (Matteni, 2018).

De acuerdo con su diseño, todos los equipos de bombeo tienen un punto de operación óptimo “Carga hidráulica – Caudal”, donde todas las pérdidas se minimizan. En la figura 17 se puede observar los problemas típicos que se presentan al operar un equipo de bombeo fuera de la zona óptima de operación.

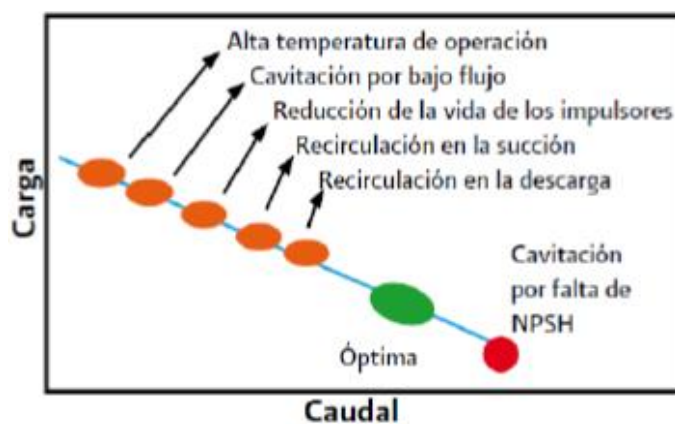


Figura 17. Problemas típicos de un equipo de bombeo trabajando fuera de su zona óptima (Matteni, 2018).

1.5.3. GESTIÓN EN LA EFICIENCIA ENERGÉTICA

Es muy importante poder hacer el seguimiento del desempeño del sistema para poder determinar su eficiencia con respecto a la eficiencia óptima y también para detectar cualquier desviación lo antes posible. Es conveniente que los sistemas de monitoreo puedan medir algunos parámetros que sirvan para evaluar el desempeño del sistema y cómo cambia este desempeño con el tiempo.

Los sistemas de bombeo industriales pueden conectarse a distintos tipos de sistemas de monitoreo y control. Por lo general, el monitoreo abarca el caudal, la presión y la potencia o corriente. Sin embargo, para tener una buena idea del desempeño del sistema, no alcanza con monitorear alguno o todos esos parámetros. No obstante, en muchos casos es posible aprovechar mejor esa información combinando distintos parámetros como indicadores clave del desempeño que pueden examinarse a lo largo del tiempo. Por ejemplo, con respecto al monitoreo de bombas, en lugar de limitarse a medir el caudal y la potencia, se puede recurrir a la energía específica que es el cociente entre el caudal y la potencia. (Matteni, 2018).

La energía específica es un indicador clave del desempeño que resulta muy útil para hacer el seguimiento y monitoreo de sistemas de bombeo.

Cuando se desea evaluar el rendimiento energético de un sistema de bombeo, es importante saber qué es lo que debe medirse. Es posible que una bomba esté operando con una eficiencia muy alta, mientras que la eficiencia del sistema en cuestión sea muy baja. Esto es bastante común en el caso de

sistemas controlados con válvulas reguladoras. En los sistemas regulados, es posible que una gran cantidad de energía simplemente se desperdicie.

Uno de los motivos más frecuentes del exceso de regulación son las bombas sobredimensionadas. En realidad, no es sorprendente que la mayoría de los sistemas de bombeo estén sobredimensionados. Es muy difícil calcular con precisión los requisitos de cabeza y caudal que debe tener una bomba. Por lo tanto, en la etapa de diseño se agregan márgenes de seguridad. Además, la resistencia sobre el flujo suele aumentar con el tiempo y puede ocurrir que se prevea un aumento de los requisitos del caudal, por lo que no es difícil entender que la mayoría de los sistemas están sobredimensionados en el sentido de que pueden entregar más caudal del que se necesita. Para corregir el sobredimensionamiento, se recurre a válvulas de regulación y a variadores de velocidad.

Es muy importante que el operador o el gerente de la planta sepan cuál es la eficiencia de sus sistemas de bombeo. A tal efecto, la práctica habitual consiste en evaluar el sistema comparando las demandas reales del proceso con el suministro disponible. Esa evaluación permite formular sugerencias para mejorar el sistema.

Luego de que se logra optimizar el sistema, hay que garantizar que las mejoras siguen siendo efectivas y que la eficiencia del sistema no decae. La energía específica puede usarse como un indicador clave del desempeño (KPI por su sigla en inglés). Este indicador sirve para investigar la eficiencia del

sistema, hacer su seguimiento y detectar las desviaciones eventuales lo antes posible. (Kenneth, 1998).

Es muy importante poder hacer el seguimiento del desempeño del sistema para poder determinar su eficiencia con respecto a la eficiencia óptima y también para detectar cualquier desviación lo antes posible. Actualmente podemos definir a la eficiencia energética como el consumo inteligente de la energía, es decir, atender una necesidad con la menor cantidad de energía. Las fuentes de energía son finitas y la demanda es creciente, por lo tanto, su correcta utilización se presenta como una necesidad vista hacia el futuro.

La eficiencia energética en los sistemas de abastecimiento de agua que poseen equipos de bombeo en El Salvador es un tema poco tratado. Existe muy poco monitoreo de consumos energéticos por m^3 de agua, pero todavía este indicador es insuficiente cuando se pretenden evaluar las eficiencias. La magnitud de las ineficiencias es en general desconocida por ausencia de una cultura de registro e interpretación de datos y por falta de instrumentación adecuada para medir los parámetros de funcionamiento del bombeo.

Para lograr una acertada gestión de un sistema de abastecimiento de agua es importante conocer su funcionamiento real y tener una idea lo más cercana a la realidad de lo eficiente que es el sistema desde el aspecto energético. La eficiencia desde el punto de vista energético de un sistema se concreta en el que utiliza la mínima energía necesaria para su funcionamiento dentro de los parámetros exigidos. La energía que no se convierte en trabajo útil

representa una pérdida y, por ende, áreas de oportunidad de ahorro. (Matteni, 2018).

Un sistema de abastecimiento de agua y saneamiento se compone de etapas que se resumen en: captación, acondicionamiento, conducción, distribución, y saneamiento y manejo de agua pluvial. Estas etapas se llevan a cabo mediante actividades que incluyen consumo de energía, dependiendo del tipo de acción que se realice.

En la tabla 2 se indica las etapas, el tipo de operación que se realiza, los elementos o sistemas de consumo de energía y el impacto típico que representa el consumo de energía de cada tipo de operación respecto al consumo total de energía del sistema de abastecimiento de agua potable. (Matteni, 2018).

Sin embargo, pueden existir diferencias entre sistemas, dadas las características específicas de cada sistema (especialmente en lo que se refiere al relieve).

Tabla 2. Impacto estimado de consumo global de energía en etapas de un Sistema de Abastecimiento y Saneamiento (Matteni, 2018).

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

Como se mencionó en apartados anteriores, usualmente los sistemas de bombeo son los que presentan un mayor consumo de energía. En la figura 18 se puede observar los principales elementos para el suministro y transformación energética en un sistema de bombeo, necesarios para la producción, suministro y tratamiento de agua.

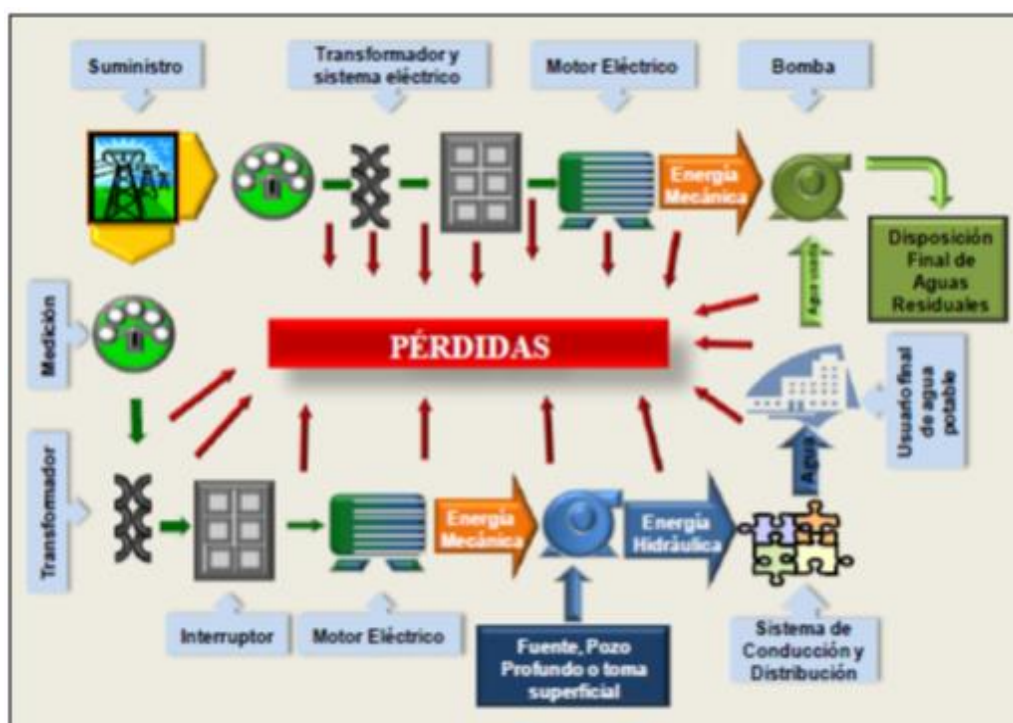


Figura 18. Esquema de un sistema típico de suministro y consumo energético en sistemas de agua potable y saneamiento (Matteni, 2018).

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

energía se pueden encontrar en la figura 19, lo que proporciona una idea de cuánto en realidad es el trabajo útil de la bomba en diferentes condiciones. (Matteni, 2018).

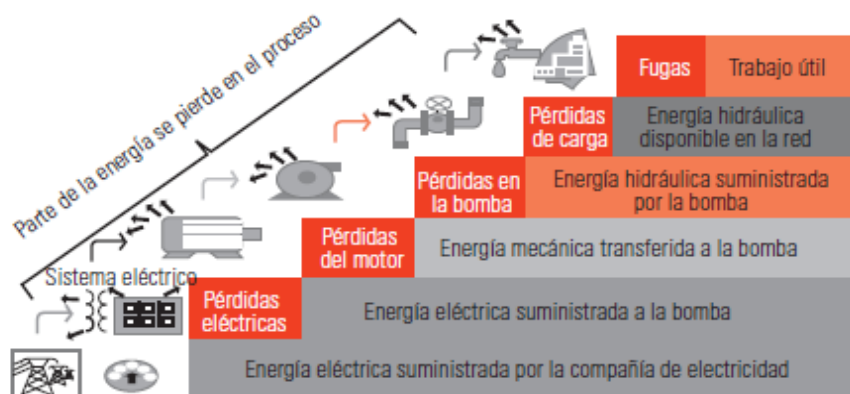


Figura 19. Esquema simple del balance de energía (Matteni, 2018).

1.5.4. CONFIABILIDAD COMO FACTOR E INDICADOR DE MANTENIMIENTO

La fiabilidad es un indicador que mide la capacidad de una planta para cumplir su plan de producción previsto. En una instalación industrial se refiere habitualmente al cumplimiento de la producción planificada, y comprometida en general con clientes internos o externos. El incumplimiento de este programa de carga puede llegar a acarrear penalizaciones económicas, y de ahí la importancia de medir este valor y tenerlo en cuenta a la hora de diseñar la gestión de mantenimiento de una instalación. (Matteni, 2018).

Los problemas de mantenimiento de los equipos de bombeo varían de sencillo a complicados. El tipo de servicio para el que estos equipos están destinados, la construcción general de ellos, la complejidad relativa de las

reparaciones requeridas, las facilidades disponibles en el lugar, y otros factores entran en la decisión de si las reparaciones necesarias se ejecutan en las instalaciones mismas de la estación o si por el contrario se recurre a reparaciones ajenos a la estación.

El diseño de un sistema de bombeo consiste en el cálculo y/o selección de las tuberías, bombas, etc., que permitan cumplir las especificaciones de la forma más económica posible. De todas formas, aunque el dinero suele ser una parte muy importante al final de un diseño, para que esté correctamente realizado es necesario contemplar otros aspectos como la seguridad, facilidad y fiabilidad del mantenimiento.

El costo de mantenimiento de un sistema de bombeo representa una gran parte del *costo del ciclo de vida* del mismo. A veces, es incluso el componente dominante. Existen varios estudios que probaron que es posible controlar esos gastos o, por lo menos, influir sobre ellos a través del diseño del sistema y el modo en que se opera la bomba. A continuación, se mencionan algunas conclusiones acerca de lo que puede hacerse para influir sobre estos costos y controlarlos. (Mijares, 1980).

Los costos de mantenimiento están en gran medida determinados por el diseño del sistema, es decir por las decisiones que tomaron los ingenieros cuando especificaron el sistema y sus componentes. El punto de servicio en el que opera la bomba y otras especificaciones determinan en gran medida la confiabilidad del sistema y, por lo tanto, los costos operativos y de mantenimiento.

Por lo general, el primer paso del proceso de diseño consiste en establecer la finalidad del sistema, es decir, qué se bombea, con qué caudal, a qué frecuencia, a qué distancia, etc. Las respuestas a estas preguntas influyen la elección del diámetro de las tuberías, el sistema de control, los materiales, el tipo de tuberías, etc.

Hay que tener en cuenta que todos los cálculos que pueden realizarse hasta este momento son teóricos y aproximados. Una vez que el sistema esté completo y se ponga en marcha, lo más probable es que haya desviaciones con respecto a los valores calculados. Asimismo, es posible que el punto de servicio sea distinto al que se había calculado inicialmente.

En muchas circunstancias, la demanda del proceso se modifica con el tiempo y, en consecuencia, los puntos de operación o servicio van cambiando. En esos casos, hay que volver a evaluar el sistema para garantizar que los cambios introducidos no hayan afectado adversamente a la confiabilidad del sistema y sus costos de mantenimiento.

La mejor manera de lograr alta confiabilidad y bajos costos de mantenimiento es asegurarse de que el sistema cuente con un diseño correcto acorde a su finalidad. Además, hay que operar el sistema de acuerdo con lo previsto. Las desviaciones respecto al punto de servicio previsto debidas a cambios en el proceso o el sobredimensionamiento de la bomba durante la etapa de diseño pueden provocar que la bomba no opere en su punto de eficiencia óptima, lo que tiene consecuencias negativas sobre la vida útil de los componentes del sistema. Existen sistemas de control y monitoreo modernos que

pueden usarse para evitar que las bombas operen en condiciones peligrosas. La confiabilidad y, en consecuencia, los costos de mantenimiento dependen del punto de la curva en el que se opere la bomba. En la figura 20, se ilustra cómo varía la confiabilidad en relación con la distancia al punto de eficiencia óptima. Como puede observarse, incluso las más pequeñas desviaciones respecto del punto de eficiencia óptima tienen una gran influencia sobre la confiabilidad. (Matteni, 2018).

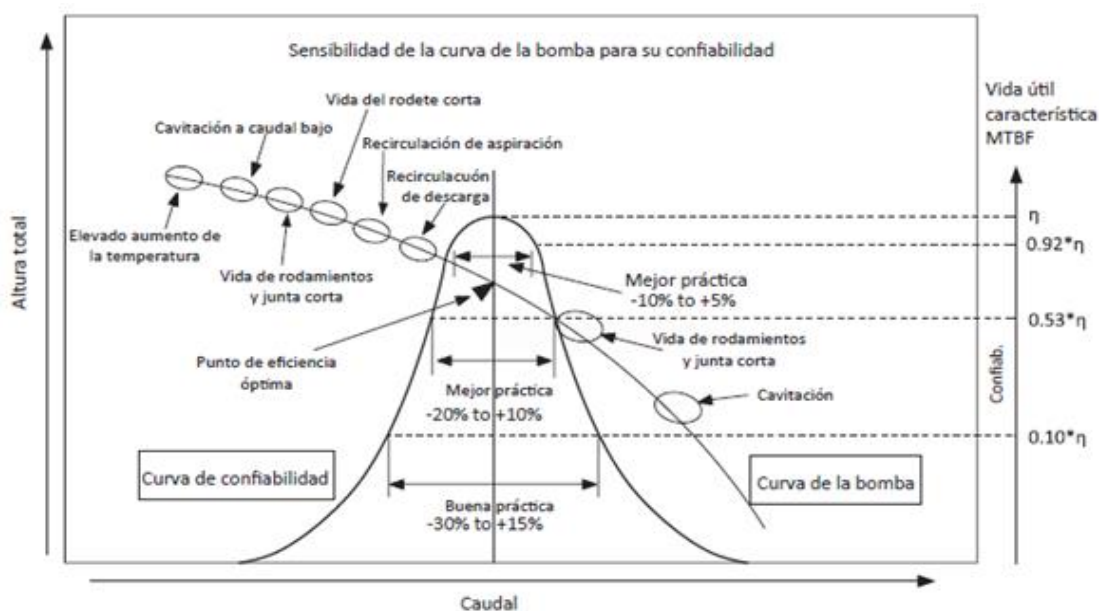


Figura 20. Confiabilidad en función de la distancia respecto al punto de eficiencia óptima (Matteni, 2018)

Cuando se opera la bomba fuera del punto de eficiencia óptima, la fuerza que ejerce el fluido sobre el impulsor de la bomba aumenta rápidamente. Dado que la vida útil de los rodamientos depende de las fuerzas que se ejercen sobre ellos, su vida útil también se verá afectada. Además, cuando las fuerzas aumentan, también aumenta la deflexión del eje, lo que tiene un impacto negativo

sobre la vida útil de las juntas. Si la desviación con respecto al punto de eficiencia óptima es grande, puede haber vibraciones causadas por cavitación o por recirculación en el impulsor. El fluido se vuelve más inestable aún, lo que puede dañar al impulsor y acortar su vida útil. (Matteni, 2018).

1.6. MODELOS DE CATASTRO

Primero debe empezarse por definir que es un catastro. De manera simple, un catastro es una herramienta de compilación de información ordenada utilizando uno o más criterios de utilidad o de calidad, con la finalidad de acceder a los datos relevantes en algún momento particular cuando sean requeridos.

Entonces aquí puede hacerse una primera distinción entre lo que es un catastro y lo que es un inventario, debido a que ambos términos suelen ser usados de manera igual sin anotar la diferencia principal, la cual radica simplemente en el criterio de ordenamiento de la información. Mientras que el catastro usa uno o más criterios, el inventario usa ninguno en particular y simplemente busca mantener la información de manera más simple posible, reduciendo los elementos a una cantidad, descripción y un total de unidades.

Para todas las organizaciones en cualquier sector de la economía, suministro, gestión de la cadena, es decir, el control del flujo de material de proveedores de materia prima para clientes finales, es un problema crucial. La importancia estratégica de esta área es hoy plenamente reconocida por la alta dirección de las empresas. Es crucial no solo saber cuánto se tiene sino también las especificaciones dadas para la materia prima, equipos, materiales y herramientas con los que se cuentan. (Axsater, 2006).

Hay dos razones principales por las cuales un sistema de control de inventario necesita ordenar artículos algún tiempo antes de que los clientes los demanden. Primero, casi siempre hay un tiempo de entrega entre el tiempo de pedido y el tiempo de entrega. En segundo lugar, debido a ciertos costos de pedido, a menudo es necesario ordenar en lotes en lugar de unidad por unidad. Esto significa que debemos mirar hacia el futuro y pronosticar la demanda futura. Un pronóstico de demanda es un promedio estimado del tamaño de la demanda en algún período futuro. Pero no es suficiente estimar la demanda promedio. También se debe determinar cuán incierto es el pronóstico. Si el pronóstico es más incierto, se requiere un stock de seguridad más grande.

Los modelos catastrales no se pueden desacoplar de otras funciones, por ejemplo, compras, producción, comercialización, etc. De hecho, el objetivo del control de inventario es a menudo equilibrar objetivos en conflicto. Un objetivo es, por supuesto, mantener bajos los niveles de existencias para que el efectivo esté disponible para otros fines. Es decir, si se mantiene el nivel requerido como se explicaba antes “producir solo lo que el cliente necesita”, se evita caer en acaparamiento innecesario en el almacén o bodega.

Otro beneficio que surge a partir de poseer un modelo catastral es el lograr ubicar con exactitud la ubicación de los elementos de la empresa. Es decir, no es igual saber que se tienen cierta cantidad de unidades de un producto, a conocer dónde están ubicadas esas unidades. Este punto se agrava aún más cuando la empresa cuenta con múltiples sedes, cuando sus productos o servicios están repartidos en diferentes ubicaciones, etc. (Axsater, 2006).

A partir de poseer un modelo catastral pueden reducirse significativamente muchos procesos en tiempo y costos cuando se incluyen las diferentes tecnologías de bases de datos. Ahora bien, para lograr concebir un modelo catastral que funcione y provea soluciones a la empresa y aumente su productividad, deben considerarse antes algunos factores entre los cuales pueden encontrarse los siguientes:

- Tamaño de la empresa.
- Rubro de la empresa.
- Número de sedes, bodegas o almacenes que puedan contener.
- Cantidad de materia prima utilizada en promedio.
- Herramientas, equipos y otros particulares de la empresa.

Considerando estos elementos es posible reunir la información de la empresa, procesar y actualizar los datos, para luego compilarlos y presentarlos en un modelo catastral que posea los criterios de mayor influencia en la empresa.

1.6.1. FORMACIÓN DE UN MODELO DE CATASTRO

Para comenzar a construir un modelo catastral, debe considerarse antes que para muchas empresas y organizaciones el caso ideal de la gestión de sus recursos cumple dos condiciones, que son:

1. Cada producto puede ser controlado de manera independiente.
2. Los productos se alojan en una sola ubicación, no en múltiples etapas de control.

De acuerdo con Axsater (2006), la primera condición se puede satisfacer de manera muy simple en muchos de los casos, ya que es precisamente en lo que en el proceso de producción se busca mantener constante, que los productos no tengan choques en el flujo del proceso. Es la segunda condición la que no puede ser satisfecha en la mayor parte de los casos, debido a que cuando una empresa crece se ve forzada a generar mayor infraestructura para acercarse a sus clientes y proveerles un mejor servicio.

La mejora proviene de la simplificación de procesos y procedimientos. Estos procesos deben alinearse y funcionar de manera óptima si queremos mejorar la eficiencia y, como resultado, reducir los costos dentro de la operación del almacén que viene originado por el catastro. Solo cuando el catastro ha sido completado puede entonces el almacén cumplir su función completa y a cabalidad. Es aquí donde se cubrirán los pasos fundamentales para generar la base bajo la cual se construirá el catastro. Es responsabilidad del o los encargados del área técnica o mantenimiento llevar a cabo los siguientes pasos, ya que el análisis posterior constituye la herramienta fundamental para llevar el catastro y el almacén a su unificación.

La recepción, entrada o entrega de mercancías es un proceso crucial dentro del almacén. Asegurar que se haya recibido el producto correcto en la cantidad correcta y en las condiciones correctas en el momento correcto es uno de los pilares de la operación del almacén. Estos elementos a menudo se denominan cumplimiento del proveedor. (Axsater, 2006).

Sin embargo, se considera que una vez que los productos han llegado al almacén, generalmente es demasiado tarde para rectificar la mayoría de los problemas de recepción. Hay muchos elementos que deben tomarse antes de que tenga lugar el acto real de recibir.

Un ejemplo de este caso puede ser el de la recepción de un repuesto para un equipo en particular. Si el repuesto ha llegado en un momento oportuno entonces la revisión y recepción puede llevarse a cabo de manera paralela, pero siempre de la mano con los criterios que la empresa ha designado para este proceso. Ahora, debe considerarse que, si el repuesto es urgente, la necesidad de revisar antes de recibir se vuelve aún más imperativa ya que un repuesto con esa característica suele ser más caro y el equipo al cual le pertenece puede ser de alta prioridad o criticidad en la empresa, cuidar los detalles de la recepción llevará a un buen sistema de control y a menos reclamos con los proveedores.

Es de recordar en este punto que los proveedores de un área de la empresa no necesariamente son externos, pueden ser también internos en el contexto que las áreas sean interdependientes y deben trabajar en conjunto para llegar a una meta.

Una vez que se descargan los productos, debe decidir si deben verificarse antes de guardarlos. El escenario ideal es mover las mercancías entrantes directamente desde el área de carga al área de almacenamiento o área de envío si las mercancías están en espera.

Otra decisión a tomar es si los registros de entrega se utilizan para marcar la entrega o si se realiza un recuento 'ciego' (en el que los operadores no están

informados de las cantidades esperadas hasta que se haya completado el recuento) y el cruce de entrega real comprobado contra el papeleo una vez que toda la carga ha sido recibida en el almacén.

Por recomendación, aunque es probable que tome más tiempo, es más preciso contar el producto y luego compararlo con el papeleo de entrega que usar el papeleo como una lista de verificación.

Se entiende que ciertos productos requerirán una verificación más estricta en el recibo. Estos incluyen artículos de alto valor, maquinaria sofisticada, productos peligrosos, productos sensibles a la temperatura, repuestos de alta gama y herramientas de excelente precisión. Los nuevos proveedores también entrarán en esta categoría. (Cuatrasecas, 2017).

Se debe reservar un área cercana a la de recepción para detectar los artículos a la llegada. Esto debe hacerse de la manera más rápida y eficiente posible para evitar la congestión y llevar los productos al sistema rápidamente. Si hay problemas, los artículos deben llevarse a un área de cuarentena específica o, si el espacio es un problema, al área de almacenamiento, pero deben identificarse como defectuosos o en espera de los resultados de las pruebas. La mayoría de los sistemas automatizados pueden bloquear el acceso a los productos en el sistema, lo que hace que no estén disponibles para su selección hasta que se autorice su uso. Un letrero físico en la ubicación es una prueba de fallas adicionales. El mantener un estricto régimen de calidad respecto a lo que se recibe permite garantizar que solo se cuentan con productos que son útiles a la empresa en sus funciones.

Trasladando esto anterior al caso particular del área de mantenimiento, es de vital importancia el análisis de los factores antes descritos dado que el comportamiento que tengan dentro del diario actuar del departamento define la eficacia del mismo. Una vez este comportamiento se ha delimitado, puede comenzarse a atacar las áreas más críticas del departamento, esto con la atención especial de este proyecto siendo la actualización del catastro.

1.6.2. MANEJO DE DESPERDICIOS

Una forma de superar algunos de los desafíos anteriores es la introducción de conceptos "Lean" en la operación del almacén. "Lean" ahora se está aplicando no solo en la fabricación sino también en el sector público y la cadena de suministro. La idea detrás de Lean es eliminar cualquier actividad que use recursos, pero no cree ningún valor adicional al cliente.

Los desechos se pueden encontrar en muchas áreas del almacén, ninguno más que en el uso del espacio. Muchas veces se puede afirmar que se está quedando sin espacio y se requieren instalaciones de almacenamiento adicionales, sin embargo, al caminar por el almacén se puede ver signos evidentes de desperdicio. En ciertos ambientes de trabajo puede asociarse el desorden del área como parte natural del departamento de mantenimiento, incluso justificándose este hecho con que nunca antes se ha visto la necesidad de establecer un orden a los equipos o herramientas, pero esto es totalmente pernicioso para el departamento y su objetivo. Cuando se tiene un orden bajo un parámetro en un catastro actualizado, el área de bodega o almacén se debe acoplar a este mismo orden, entonces las herramientas, equipos y otros

particulares adquieren valor referente al tiempo que se tarda en ubicarlos y en la utilidad que representan. (Álvarez, 2018).

El pensamiento Lean gira en torno a tener una operación limpia y simplificada y eliminar los procesos que no agregan valor. El tiempo de espera es uno de los desechos más grandes y caros.

El concepto 5S que sustenta el pensamiento Lean se puede aplicar fácilmente al almacén de la siguiente manera: La primera “S” (Seiri o Limpiar) se concentra en eliminar cualquier elemento innecesario del área de trabajo. Esto puede incluir existencias obsoletas y dañadas, existencias excesivas, equipos defectuosos, paletas rotas, envases de residuos, etc. También puede referirse a movimientos innecesarios dentro del almacén. Por ejemplo, la introducción de un pasillo transversal dentro del área de extracción reducirá la cantidad de viajes realizados por los operadores.

Cuando se contabilizan estos y otros desperdicios dentro de la empresa, es muy notable la diferencia que podría existir sin ellos. Ahora bien, el tiempo del flujo de un proceso particular es el máximo exponente de cómo un catastro funcional puede llegar a influir directamente en las actividades de la empresa, ya que entre menos tiempo se desperdicie en actividades sin valor, más tiempo habrá para generar rentabilidad y utilidades a la empresa. (Álvarez, 2018).

2. FORMATO DE ACTUALIZACIÓN DEL CATASTRO ELECTROMECAÁNICO

2.1. ESTABLECIMIENTO DE PARÁMETROS

Los parámetros de trabajo para la ejecución de la propuesta conciernen tanto a factores técnicos de los equipos como de ubicación geográfica. En este punto se estará definiendo el eje de la propuesta enfocado al registro del catastro electromecánico, en particular el diseño y construcción de los formatos que recolectarán la información de los equipos. Es preciso hacer esta aclaración ya que muchos de los elementos del capítulo anterior servirán para generar los campos necesarios de las hojas de registro, entre estos elementos está el Pensamiento Lean Manufacturing, como una filosofía de trabajo que ayudará a la elaboración de los formatos de registro.

Entre los requisitos consultados con la empresa, se encuentran el área de ejecución de la propuesta, este punto es particular de los más importantes, ya que mucha de la documentación otorgada para la realización de esta propuesta proviene del AMSS, es decir que los formatos de registro del catastro electromecánico se realizarán pensando que servirán a esta zona geográfica en particular. Esto podría suponer bajo un contexto de modelo de catastro, como un factor poco determinante para su registro, ya que su inclusión en un formato no requiere más de un par de campos de registro de ubicación, sin embargo, bajo las condiciones de ejecución de la propuesta consiste en una de las

características más importantes como podrá ser visualizado más adelante al describir la hoja de registro y su funcionalidad.

Por otra parte, se cuenta con la ventaja de la versatilidad de las hojas de cálculo, es decir de la practicidad de este tipo de programas que permiten visualizar y organizar la información de manera más rápida y eficiente, esto sin mencionar que el archivo de registro estará dispuesto de tal forma que agilice las consultas de la información.

2.1.1. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA GEOGRÁFICA

De manera concisa, el área de ejecución del proyecto es el Área Metropolitana de San Salvador AMSS. Para comprender la dimensión que esto representa es preciso conocer los datos geográficos de la misma. Según el Ministerio de Gobernación, el AMSS es una conurbación de Centroamérica ubicada en El Salvador, formada por 14 municipalidades, que conforman la unidad territorial de la capital salvadoreña y tiene una extensión de 652.31 km² (Diario Oficial, 14 de febrero de 2017), donde esta empresa debe de servir de agua potable a todos sus habitantes. Las municipalidades que conforman el AMSS son según delimitación oficial de gobierno de El Salvador:

Tabla 3. Municipios que conforman el AMSS según delimitación del GOES (Gobierno de El Salvador).

San Salvador	San Salvador
	Soyapango
	Mejicanos

	Apopa
	Ciudad Delgado
	Ilopango
	Tonacatepeque
	San Martín
	Cuscatancingo
	San Marcos
	Ayutuxtepeque
	Nejapa
	Antiguo Cuscatlán
La Libertad	Santa Tecla

Adicional a estas municipalidades se ha requerido añadir las siguientes siempre en el departamento de San Salvador: Panchimalco y Santiago Texacuangos.

2.1.2. PARÁMETROS ESPECÍFICOS DE SELECCIÓN DE DATOS

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

En este entendido es preciso descomponer las estaciones en sus elementos primordiales, entonces será posible determinar los parámetros relevantes de registro de datos para cada elemento y a partir de esto construir un formato de registro adecuado, que sirva a las necesidades de la empresa y que sea fácil de integrar a la red de trabajo. Los elementos para una estación de bombeo son:

- Equipo de subestación eléctrica.
- Equipo de bombeo.
- Tablero de energía y control.

A partir de esta división, es posible seleccionar los equipos dentro de la estación de bombeo dependiendo de la función que desempeñan, lo que permitirá centrar la atención en grupos específicos donde la información de un equipo esté disponible de manera inmediata ya sea por motivos de control o de mantenimiento. Se pasará a abordar entonces cada una de estas áreas junto con sus elementos y la selección de los parámetros por cada una, estos servirán para construir el formato de actualización del catastro, más adelante se hará una explicación de cada una de las áreas.

2.1.2.1. EQUIPO DE SUBESTACIÓN ELÉCTRICA

En el diseño de subestaciones eléctricas e instalaciones electromecánicas en plantas de bombeo se deben considerar los parámetros del servicio existente en la zona, con la finalidad de mejorar o en todo caso no deteriorar la calidad del mismo, de conformidad con las normas técnicas vigentes.

Las características de los equipos a instalar deben ser congruentes con las características del suministro de energía eléctrica. Esto es, la frecuencia, niveles de voltajes, distribución de energía en la planta, etc.

La alimentación desde las líneas de distribución primaria (en media tensión) hasta los centros de control de motores se debe hacer a través de subestaciones, localizado convenientemente los centros de carga (subestaciones) y centros de control de motores.

Se deben recopilar los siguientes datos del sistema eléctrico:

- **Suministro eléctrico.** Se refieren al prestador del servicio eléctrico y los datos correspondientes al contrato con esta compañía. Hay que tener especial cuidado en obtener lo siguiente:
 - Suministrador: Nombre de la empresa que presta el servicio eléctrico.
 - Número de servicio: El número de contrato del recibo o factura eléctrica para este equipo.
 - Tarifa contratada. La clave o nombre del esquema tarifario en el que se encuentra dicho contrato. Se debe indicar si la medición se realiza en baja o media tensión.
- **Transformador:** Recabar los datos más importantes de las características del transformador:
 - Tipo: el tipo de transformador que alimenta el equipo, o en caso de que la acometida sea a baja tensión, describir los elementos de la alimentación.

- Capacidad: la capacidad del transformador o de los transformadores, si el suministro se efectúa por medio de más de un transformador; hay que poner la capacidad de kVA de cada uno de ellos.
 - Relación de transformación: se debe registrar el voltaje de entrada y salida del transformador o la relación de voltaje de transformación en voltios separados por una diagonal. En caso de que el transformador tenga más de un voltaje de salida, se deberá registrar el voltaje real con el que funciona actualmente.
- **Sistema de tierra:** se deben analizar y registrar las condiciones del sistema de tierras, es decir: si existe o no el sistema de tierra física, si está separado del neutro, si el transformador, arrancador y motor están conectados a dicho sistema, y registrar el calibre del cable con el que se encuentra puesto a tierra el elemento descrito.
- **Conductores:** los datos necesarios se necesitan según el calibre y la longitud de los conductores en dos tramos. El primero es el que va desde el punto de alimentación del servicio, ya sea un transformador o una acometida de entrada, hasta el arrancador o interruptor del motor. El segundo tramo para el que se piden los datos de los conductores es el que va desde el arrancador o interruptor del motor hasta el motor. En ambos casos se debe recopilar lo siguiente:

- Calibre: es el calibre del conductor (mm²) o (AWG); este puede obtenerse en el forro del conductor
- Longitud: la longitud total de los conductores en el tramo descrito.
- Agrupamiento: es la descripción de cómo van agrupados dichos conductores y el medio de canalización utilizada. En particular, indicar cuántos conductores monopolares activos van en el ducto, si los ductos van enterrados o a la vista, y en caso de que vayan enterrados, verificar cuántos ductos de otros equipos acompañan al ducto del equipo en cuestión

2.1.2.2. EQUIPO DE BOMBEO

En este apartado se hace referencia a los puntos o datos que se consideran importantes o relevantes para caracterizar al equipo de bombeo en las estaciones y definir los aspectos relacionados principalmente a la operación de los equipos.

Según las Normas Técnicas de ANDA (2014), la determinación del caudal de bombeo debe realizarse sobre la base de la concepción básica del sistema de abastecimiento, de las etapas para la implementación de las obras y del régimen de operación previsto para la estación de bombeo. Entre estos factores se encuentran los siguientes:

- **Periodo de bombeo:** el número de horas de bombeo y el número de arranques en un día, depende del rendimiento de la fuente, el consumo

de agua, la disponibilidad de energía y el costo de operación. Por razones económicas y operativas, es conveniente adoptar un periodo de bombeo de ocho horas diarias, que serían distribuidas en el horario más ventajoso. En situaciones excepcionales se adoptará un periodo mayor, pero considerando un máximo de 12 horas.

- **Tipo de abastecimiento:** cuando el sistema de abastecimiento de agua incluye reservorio de almacenamiento posterior a la estación de bombeo; la capacidad de la tubería de succión (si corresponde), equipo de bombeo y tubería de impulsión se calculan con base en el caudal máximo diario y el número de horas de bombeo. Cuando el sistema de abastecimiento de agua no incluye reservorio de almacenamiento posterior a la estación de bombeo, la capacidad del sistema de bombeo se calcula en base al caudal máximo horario y las pérdidas en la red de distribución.

Una unidad de bombeo de un pozo consta de seis partes principales, que son: a) la máquina motriz, b) el cabezal de transmisión, c) eje de transmisión, d) la columna o tubería de impulsión, e) la bomba, y f) la tubería de succión.

Los datos requeridos para caracterizar a una bomba bajo un registro son los siguientes:

- **Cuerpo:** datos referentes al cuerpo de la bomba, entre ellos:
 - Marca: marca o fabricante de la bomba.
 - Tipo: tipo de bomba: sumergible, turbina vertical, horizontal, centrífuga, etc.
 - Modelo: el modelo de bomba de acuerdo con el fabricante.

- Antigüedad: la edad o el tiempo que el equipo ha estado en operación, desde su instalación, en años.
- **Impulsor:** los datos correspondientes al impulsor de la bomba y que deben obtenerse son:
- Tipo: el tipo de impulsor de la bomba.
 - Material: el material con el que está fabricado el impulsor
 - Diámetro: el diámetro nominal del impulsor (m).
 - Antigüedad: la edad del impulsor o el tiempo que el impulsor ha estado en operación (años). Cabe señalar que el impulsor podría tener una antigüedad diferente de la bomba, si este elemento ha sido cambiado durante la vida de la bomba.
- **Flecha:** Los datos de la flecha de transmisión entre el motor y la bomba incluyen:
- Diámetro: el diámetro de la flecha (pulgadas).
 - Longitud: la longitud de la flecha (m).
- **Datos de diseño:** Son las características hidráulicas de diseño del equipo de bombeo, y que de acuerdo con el modelo del fabricante se describe en el punto de operación óptimo de la bomba de la curva característica, con los siguientes datos:
- Carga: la carga de diseño en metros de columna de agua (m.c.a).
 - Gasto: el gasto de diseño en litros por segundo (L/s).

Siendo el motor otra parte vital de la bomba, puede mantenerse un registro del mismo mediante la siguiente forma:

- Marca: marca o fabricante del motor.
- Capacidad: la capacidad nominal del motor (HP).
- Velocidad: velocidad de giro del motor (RPM).
- Tensión: la tensión nominal del motor en voltios (V).
- Corriente: la corriente nominal del motor (A).
- Eficiencia: la eficiencia nominal especificada por el fabricante.
- Tipo: tipo de motor.
- Carcasa: es el tipo de armazón o número de armazón que tiene el motor.
- F. S.: es el factor de servicio que también se lee en la placa; cuando no se indica en la placa, el FS debe tener el valor de 1, y señala el porcentaje de sobrecarga de trabajo del motor; un factor mayor que 1 indica que el motor soporta dicha sobrecarga.
- Sistema de control: es el que activa la operación del motor, esto es: si el motor actúa por niveles discretos o continuos. Se deben indicar a qué proceso pertenece.

Para considerar las secciones de succión e impulsión se decidirá mediante un consenso considerando que la empresa utiliza bombas verticales y sumergibles, tal y como se ha recabado por la información obtenida de la empresa. Ahora bien, esto implica que la hoja contendrá ambos puntos o características de las bombas y solo se llenaran aquellos que correspondan al equipo en estudio, el diámetro de la entrada de la bomba no debe ser tomado como indicación para el diámetro de la tubería de succión. Para la tubería se

adoptan diámetros mayores con el objeto de reducir las pérdidas de carga.

OPAMSS (2005)

El análisis debe considerar que, si el diámetro adoptado es grande, la pérdida de carga en la tubería será pequeña y por tanto la potencia de la bomba será reducida; consecuentemente el costo de la bomba será reducido, pero el de la tubería de impulsión será elevado. El análisis inverso también es valedero, es decir, si adoptamos un diámetro pequeño, al final, el costo de la tubería de impulsión será reducido y el de la bomba será elevado. La tubería de impulsión no debe ser diseñada con cambios bruscos de dirección de flujo. Deben instalarse los dispositivos necesarios para evitar el contraflujo del agua, cuando la bomba deja de trabajar o en caso de que exista falla eléctrica.

2.1.2.3. TABLERO DE ENERGÍA Y CONTROL

Dentro del tablero de energía, es importante anotar y registrar todos los elementos que proveen del control de la estación, los equipos dependen enteramente del funcionamiento de los componentes eléctricos. En el nuevo formato, dentro del registro se debe manejar una visualización de los datos de estos componentes tal que permita una rápida interpretación y obtención de datos clave, para esto se hará una distinción entre la parte de la subestación eléctrica y los arrancadores de los equipos.

Al considerar los arrancadores electrónicos en su variedad de aplicación, así como el uso de las protecciones adecuadas aplicando la tecnología de punta para control de motores, para lo cual deberá considerar la calidad de energía

eléctrica servida por las distribuidoras en la zona, determinando la conveniencia de su aplicación.

La protección principal del alimentador de la planta de bombeo, para uno o varios motores. Tiene por objeto proteger al conductor contra sobrecargas, ya sea por medio de fusibles o interruptores automáticos. Se debe calcular para una corriente que tome en cuenta la corriente de arranque o la corriente nominal (de plena carga) del motor mayor más la suma de las corrientes nominales de los otros motores.

Entre las áreas que servirán para su correcto registro se encuentran:

- **Interruptor principal:** los datos del interruptor principal del equipo, es decir, el interruptor al que llega la energía proveniente del transformador o la alimentación principal del equipo, esto es igual para todas las protecciones con las cuales el tablero puede contar, más aún en equipos trifásicos.
 - Marca: la marca del interruptor o su fabricante.
 - Capacidad: la capacidad nominal del interruptor en amperios (A).
 - Ajuste: si el interruptor es de tipo ajustable, se debe registrar la capacidad nominal a la que está ajustado en amperios (A).
- **Arrancador:** si el equipo de bombeo cuenta con un arrancador, debe recopilar la siguiente información:

- Tipo: tipo de arrancador. En caso de que sea un dispositivo electrónico, habrá que indicar la marca, el modelo, y los elementos complementarios.
 - Capacidad: capacidad del arrancador (HP).
 - Protección: se trata de los datos de la protección de sobrecarga del motor que se encuentra en el arrancador.
 - Marca: fabricante o marca del elemento térmico de protección del motor.
 - Capacidad: registrar el rango de calibración del elemento térmico en amperios (A).
 - Ajuste: el punto en que se encuentra calibrado el elemento térmico.
- **Capacitores:** si el equipo cuenta con un banco de capacitores, anotar la capacidad total del banco en kVA. Se debe identificar el tipo de capacitores y si es propio del equipo o grupo de equipos.

2.2. ORGANIZACIÓN DE ÁREAS

Una vez se han definido los parámetros de relevancia en el registro del catastro, es necesario agrupar los mismos en áreas de trabajo, ya que como se ha visto en el punto anterior, las estaciones de bombeo poseen varios elementos, pero la organización y seccionamiento de estos elementos en la búsqueda de la reducción del desperdicio, debe incluir una organización más detallada de lo que se ha tratado anteriormente, se propone entonces las siguientes áreas de trabajo.

Adicionalmente, siguiendo con el pensamiento Lean, al mostrar y organizar los datos y parámetros de los equipos en una sola área, en contraste con el formato anterior que representaba un conglomerado entero de las áreas, se contribuye a la reducción de desperdicios en búsqueda e interpretación de la información que se presenta.

2.2.1. ÁREA MECÁNICA

El área mecánica de mantenimiento realiza el ajuste, instalación, revisión, acondicionamiento, maquinaria industrial y otros equipos mecánicos.

Considerando el área mecánica la hoja de registro deberá contener toda aquella información que nos de datos concretos sobre el estado del sistema mecánico de las bombas verticales tipo turbina y sumergibles, para que dicho mantenimiento sea realizado de manera más eficiente y eficaz, los datos mecánicos será una descripción cualitativa del equipo que, dependiendo del uso, mantenimiento, condiciones de operación, consideraciones de su instalación, etc. Esto arrojará la información necesaria para cualquier diagnóstico y reparación para poder escoger desde el tipo de material pertinente, repuestos, modificaciones o adaptaciones y poder llevar a cabo su puesta en marcha.

Cada uno de los parámetros mencionados forma parte vital del área mecánica, por ejemplo, el inventario es el documento más simple para contabilizar y consiste en una relación detallada, ordenada y valorada de todos los bienes de una empresa, al servir para comprobar cuáles son los elementos que componen el patrimonio de una empresa en un momento determinado.

2.2.2. ÁREA ELÉCTRICA

En el área eléctrica se consideran el conjunto de acciones oportunas, continuas y permanentes orientadas a anticipar y asegurar el normal funcionamiento, eficiencia y buen aspecto de los equipos eléctricos.

Un ejemplo de esta disposición en la hoja de registro se muestra en la tabla 4.

Tabla 4. Ejemplo de registro de datos en área eléctrica.

CUADRO DE ESTRUCTURAS Y EQUIPO								
Poste No.	Distancia adelantada	Tipo y altura del poste	Código de Estructuras				Cantidad y capacidad de transformador	Capacidad de cortocircuito y pararrayo
			Media Tensión	Baja Tensión	Neutro	Cantidad y tipo de retenida		

Dentro de las líneas eléctricas que están catalogadas en el área eléctrica podemos encontrar un cuadro de estructuras y equipos que nos ayudan a tipificar las características de la instalación, desde la numeración del poste, altura y tipo de poste, especificaciones de los transformadores y elementos de protección.

Entre los puntos de registro de esta área se encuentran:

- Total de kVA instalados: capacidad de la subestación
- Cantidad y capacidad de transformadores: especificación del arreglo de los transformadores
- Clase de transformadores: número de fases
- Voltaje primario

- Voltaje secundario
- Marca: Fabricante de los transformadores
- Tipo de conexión
- Tipo de montaje
- Ubicación: dentro de las instalaciones o fuera de ellas.
- Propietario: distribuidora de energía que proporciona la distribución de energía.

Estas selecciones de parámetros nos arrojan las condiciones de la sub estación, que serán necesarias para cualquier modificación o intervención en dicha sub estación, de dicha manera podrá acercarse al distribuidor indicado y adaptar el diseño a los equipos de bombeo.

2.2.3. ÁREA DE ARRANCADORES

El área de arrancadores es importante dado que un arrancador se define como un regulador cuya función principal es la de poner en marcha y acelerar un motor. Además, los arrancadores nos sirven para los sistemas que demandan una gran cantidad de potencia de arranque protegiendo el sistema de una carga excesiva, también baja los picos de consumo de energía previniendo caer en otra categoría de cobro de la distribuidora eléctrica regulando el consumo energético de la red.

Mientras que la mayoría de los motores de bajos HP son arrancados a voltaje pleno, los motores de altos HP pueden causar cargas inaceptables en algunos suministros cuando son arrancados de esta forma, por lo tanto, son regularmente arrancados a voltaje reducido utilizando controles de arranque

especiales. El arranque a voltaje pleno es típico en motores incluso de más de 100 HP en los Estados Unidos, mientras que el arranque a voltaje reducido es mucho más utilizado en otras partes del mundo.

Los motores sumergibles de tres hilos pueden ser arrancados a voltaje reducido utilizando arrancadores del tipo autotransformador o de resistencia. Estos arrancadores están disponibles en diseños de transición abierta y cerrada.

El tipo de transición abierta interrumpe completamente la energía al motor durante el periodo momentáneo de la transición entre el voltaje reducido de arranque y el voltaje pleno de trabajo. El tipo de transición cerrada incluye un circuito el cual mantiene algo de flujo de corriente en el motor durante la transición, además minimiza los pulsos de torque y corriente (golpes en el motor y la bomba) durante el arranque del motor.

Dado que los arrancadores constituyen una parte vital en el funcionamiento de los equipos, en lo concerniente a su registro será de vital importancia mantenerlos actualizados en el catastro mediante su completa caracterización en la hoja de registro según los parámetros siguientes:

- Capacidad: capacidad del arrancador (hp).
- Voltaje de operación: voltaje que utiliza el arrancador.
- Corriente: la corriente del arrancador en Amperios (A).
- Transformador Control kVA.
- Voltaje de control.
- Número de fases: monofásico o trifásico.
- Capacidad de auto transformar.

- Capacidad interruptor.
- hp del contactor.
- Voltaje de bobina.
- Tipo de arrancador.
- Protección: se trata de los datos de la protección de sobrecarga.
- Pararrayos kV
- Capacitor kVAR.
- Protección de capacitor.
- Contactor de capacitores.
- Rango voltímetro.
- Rango amperímetro.
- Número de inventario.
- Fecha de instalación.
- Marca: fabricante.
- Capacidad.
- Ajuste: el punto en que se encuentra calibrado el elemento térmico.

Y considerando las protecciones correspondientes en todo equipo:

- Fusible.
- Bimetálico.
- Guardamotor.
- Switch de Presión.
- Bajo nivel agua.

- SAMMS.
- Sub-control.
- Solenoide pre lubricación.

2.2.4. ÁREA DE MEDICIONES

El área de mediciones conlleva todo tipo de mediciones que nos arrojen datos necesarios para saber el estado de las bombas, lo que permite una alerta oportuna ayudando a tener una reacción rápida en los equipos o predecir algunos daños al equipo y así mejorar su rendimiento y eficiencia. La filosofía Lean se acopla perfectamente ya que se reducen desperdicios y se mejora el proceso.

Los parámetros a considerar serán físicos, mecánicos y eléctricos:

- Temperaturas
 - Balero superior
 - Balero inferior
 - Estator
- Mediciones eléctricas
 - Voltajes
 - Corrientes
- Mediciones auditivas
 - Mediciones de decibeles (dB)
- Mediciones de Vibraciones
 - Medición de vibración de la bomba

Por ejemplo, los parámetros seleccionados en el área de mediciones, ayudan a predecir comportamientos y a dar un diagnóstico en marcha plena,

como es el caso de la temperatura de los elementos como los baleros. Cuando un balero muestra una condición anormal, presentará un aumento en su temperatura pudiendo predecir un paro por el daño del activo, un daño al activo o una pérdida total y un caso extremo el daño al operador de dicho equipo. Otro ejemplo es la medición de decibeles, algo tan simple y en corto tiempo puede ayudar a dar un diagnóstico sobre si el equipo o sistema está en un pleno funcionamiento o se tendrá que intervenir.

2.3. VISUALIZACIÓN DEL CONSOLIDADO DE FALLAS

La representación gráfica de las estadísticas como pueden ser un análisis del historial de fallas o el registro de estas para una empresa o el departamento de mantenimiento de empresas puede ser la manera más fácil y práctica de la presentación resumen del historial. Al presentarse de forma gráfica, la lectura o comprensión de esa estadística se facilita de gran manera y agiliza el proceso del estudio de los registros de fallas los cuales son la pauta para el nacimiento y creación de nuevos planes de mantenimiento preventivos y hasta predictivos.

La creación de las representaciones gráficas requiere de los datos de registro, pero como estos datos van cambiando con el día a día, se necesita que las gráficas se actualicen junto con ellos. Por lo tanto, para que la actualización sea de manera automática, las tablas de estadísticas de registro de donde fueron creadas las gráficas deberán ser llenadas con los nuevos datos.

Ya que en esta ocasión se está representando un sistema de registros de fallas del AMSS se necesita que cada municipio bajo la cubierta del departamento electromecánico de la empresa abastecedora de agua potable

tenga su estadística con su tabla de datos y una tabla madre donde se encuentre el resumen de todas las tablas por municipios y así presentar no solo el registro de cada municipio por separado sino que también un historial general de todo el AMSS por lo que, para que la representación gráfica sea automática, cada tabla deberá estar enlazada con la tabla madre del general del AMSS.

La manera de representación en un departamento de mantenimiento electromecánico puede hacerse dando una comparación por tipo de fallas ya sean mecánicas como eléctricas y sus subtipos, de esta manera se obtiene un análisis gráfico de una estadística que como ya se mencionó anteriormente puede dar pauta a la creación de planes de mantenimiento tanto preventivo como predictivos por el historial que se maneja y se está representando en cada gráfica.

Contar con un registro de fallas y que a la vez pueda ser interpretado mediante tablas y gráficos provee al departamento de valiosos insumos, en lo concerniente a datos y su consolidado, con los cuales se podrán tomar decisiones informadas basadas en la realidad.

A continuación, se muestra en la figura 21 la representación general del registro de fallas adjunto al programa de archivo de catastro del AMSS¹ para el departamento de mantenimiento electromecánico de la empresa abastecedora de agua potable.

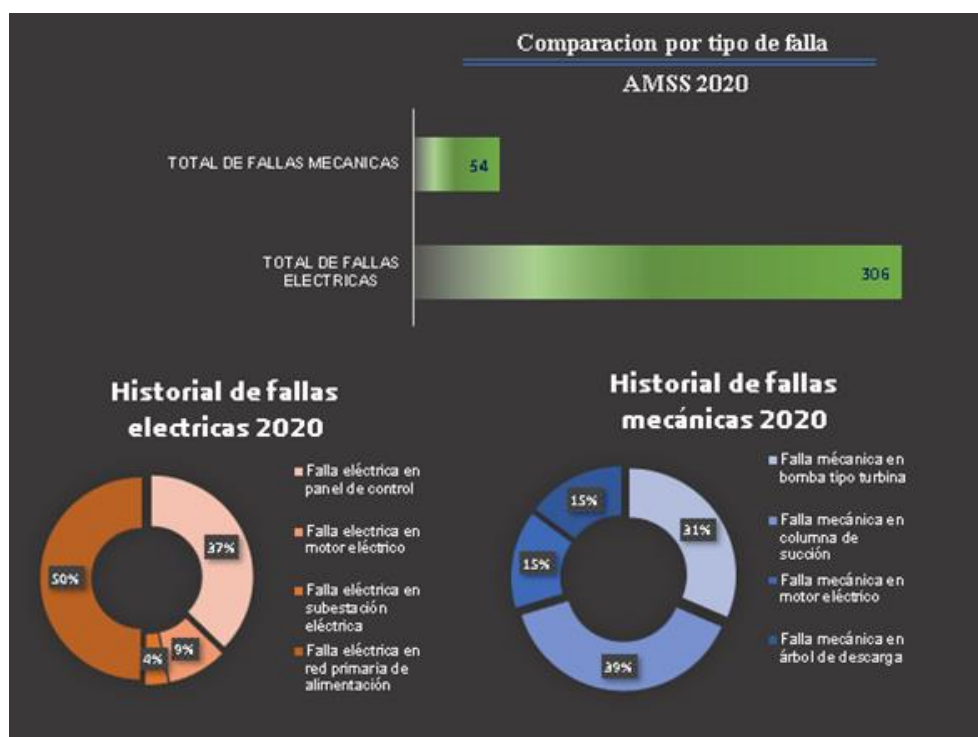


Figura 21. Consolidado general de fallas.

Las gráficas representadas en la imagen anterior son obtenidas por un historial que funciona como base de datos para la creación de cada gráfico, en este caso de todo el general AMSS del registro del departamento de mantenimiento electromecánico. Por lo tanto, se adoptó un formato de tabla para el ordenamiento de datos, obteniéndose una tabla por municipio y cada una de

¹ NOTA: todos los datos usados en gráficas y tablas son datos ejemplos y por lo tanto no constituyen situaciones reales.

estas tablas de manera automática llena la tabla madre o tabla general del AMSS. De este modo, se estarán actualizando los gráficos representativos no solo de cada municipio si no también los gráficos generales.

En la tabla 5 se muestran los datos (no reales) usados para la creación de los gráficos de la imagen anterior, se presentan la tabla de datos general del AMSS, el propósito de usar datos ficticios es mostrar una visualización de como los datos se reflejan y como a su vez generan las gráficas de consolidación de fallas en la figura 21.

Tabla 5. Historial de fallas para el AMSS en el 2020.

AMSS HISTORIAL DE FALLAS GENERAL														
TIPO DE FALLA PRESENTADA	2020												TOTAL	PROM
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC		
Falla eléctrica en panel de control	12	8	4	17	11	12	7	4	7	12	8	12	114	10
Falla eléctrica en motor eléctrico	2	3	3	3	6	4	3	0	1	2	0	2	29	2
Falla eléctrica en subestación eléctrica	1	1	0	0	2	3	0	0	0	0	1	3	11	1
Falla eléctrica en red primaria de alimentación	10	6	7	18	14	9	17	28	18	8	9	8	152	13
Falla mecánica en bomba tipo turbina	5	1	0	1	1	1	1	0	1	4	1	1	17	1
Falla mecánica en columna de succión	0	3	5	1	2	3	2	0	1	1	2	1	21	2
Falla mecánica en motor eléctrico	2	1	0	1	0	0	0	1	0	0	2	1	8	1
Falla mecánica en árbol de descarga	2	0	2	1	0	2	0	0	0	1	0	0	8	1
TOTAL DE FALLAS ELECTRICAS	25	18	14	38	33	28	27	32	26	22	18	25	306	26
TOTAL DE FALLAS MECANICAS	9	5	7	4	3	6	3	1	2	6	5	3	54	5
TOTAL DE FALLAS MENSUALES	34	23	21	42	36	34	30	33	28	28	23	28	360	30

De la misma manera también se presenta en la tabla 6 los valores para el municipio de San Salvador. Aquí debemos agregar que esta tabla también se

presentará para todos los municipios del AMSS que cubre el departamento de mantenimiento electromecánico de la empresa abastecedora de agua.

Tabla 6. Ejemplo de historial de fallas para el municipio de San Salvador.

		San Salvador											
		2019											
TIPO DE FALLA PRESENTADA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
Falla eléctrica en panel de control	1	1	2	0	1	0	0	1	2	0	0	0	8
Falla eléctrica en motor eléctrico	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
Falla eléctrica en subestación eléctrica	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
Falla eléctrica en red primaria de alimentación	1	0	0	0	2	0	0	0	1	0	1	1	6
Falla mecánica en bomba tipo turbina	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Falla mecánica en columna de succión	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Falla mecánica en motor eléctrico	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Falla mecánica en árbol de descarga	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
TOTAL DE FALLAS ELECTRICAS	2	1	2	0	4	1	0	1	3	0	1	1	16
TOTAL DE FALLAS MECANICAS	1	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	4
TOTAL DE FALLAS MENSUALES	3	1	4	0	4	2	0	1	3	0	1	1	20

Ahora bien, es importante recordar que solamente será necesario modificar las tablas por municipio y todo lo demás se actualizará de manera automática ya sean los gráficos por municipio individual como también la tabla y su representación general del AMSS.

2.4. PROPUESTA DE HOJA DE REGISTRO

Un programa o archivo para el manejo catastral de equipo del departamento de mantenimiento electromecánico para una empresa distribuidora de agua potable es parte esencial en los planes de mantenimiento en todo aspecto ya sean preventivos como correctivos ya que en este archivo como su base de datos les presentará un detalle de cada uno de los equipos

electromecánicos presentes en cada estación de bombeo, y así tener la idea de con que herramienta o repuesto acudir a la hora de realizar una operación mantenimiento de cualquier tipo o de saber el equipo a sustituir o reemplazar, por lo que tener un programa donde se pueda tener un archivo catastral ordenado, de fácil acceso y con un sistema o interfaz amigable con los usuarios sería lo más conveniente y hasta cierto punto aumentaría la eficiencia (respecto a tiempos de preparación) con el que se crean y ejecutan los planes de mantenimiento.

Por lo tanto, en este apartado se muestra una propuesta de un programa de la base de datos del archivo catastral donde se tendrá interacción total con la interfaz y el sistema del programa desde una búsqueda por la manita como un catastro total o una búsqueda por detalle ubicándose por el municipio en el cual se desea encontrar la estación de bombeo de interés.



Figura 22. Menú principal del programa de registro de catastro.

La figura 22 muestra la página principal con dos opciones: una para realizar la búsqueda en la manta del catastro total y la segunda, para ingresar al preliminar de fichas técnicas de estación por municipio.

En el preliminar mostrado en la figura 23, se accede a un mapa del AMSS y una serie de gráficas donde se aprecia una comparación del historial de fallas general de todo el AMSS. El mapa es interactivo puesto que al elegir un municipio cualquiera de interés éste lo enviará hacia una hoja donde se muestran los detalles de dicho municipio, lo cual puede visualizarse mejor en la figura 24. Dentro del listado general se encontrará una tabla con el listado total de todas las estaciones del AMSS con todos los equipos y datos de la manera en la que el departamento de mantenimiento la utilizaba anteriormente, sin embargo, por petición de la empresa se han conservado los detalles de cada municipio respecto a consolidado y tipos de fallas más comunes.

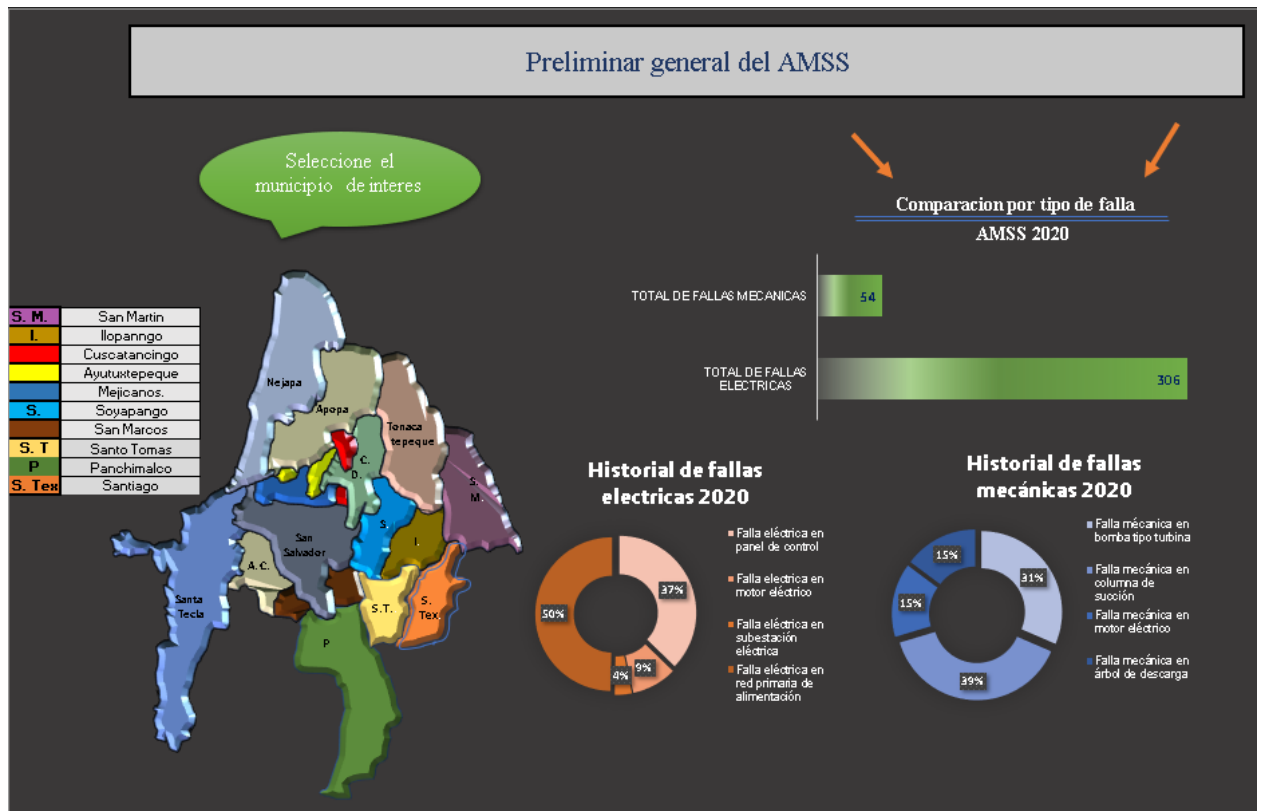


Figura 23. Página de selección de consulta y registro de catastro.

Se plantea como ejemplo que se desea saber los datos de placa de una bomba en la “PLANTA 1” de San Salvador entonces se dará clic en este municipio en el mapa. Los municipios que no cuentan con su nombre dentro del

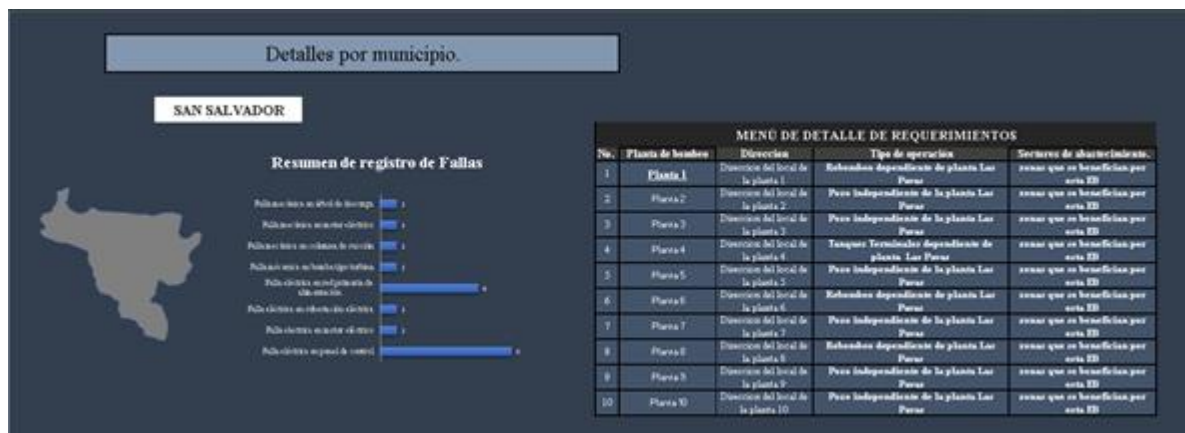


Figura 24. Página de selección de planta por municipio.

mapa se pueden tener como referencia la tabla del lado izquierdo que contiene el color del municipio y su nombre.

En la figura 24, se encuentra el mapa del municipio de San Salvador, un gráfico de descripción por los tipos de fallas ocurridas en las estaciones de bombeo en este municipio y al lado derecho tendremos una tabla en la cual se ordenarán las estaciones o plantas de manera alfabética para su fácil búsqueda y encuentro.

Siguiendo con el ejemplo, se necesitan los datos de placa de una de las bombas que están operando en la “PLANTA 1” del municipio de SS por lo que, al seleccionar “PLANTA 1” en la tabla, se despliega la hoja que se muestra en la figura 25.

The image shows a screenshot of a software interface with five data tables arranged horizontally. Each table has a title and contains multiple columns of data. The tables are:

- Bomba de Reserva Eléctrica:** Contains columns for equipment ID, name, status, and location.
- Bomba del Casapalo Verde:** Contains columns for equipment ID, name, status, and location.
- Bomba de Alcantaral:** Contains columns for equipment ID, name, status, and location.
- Bomba del casco urbano:** Contains columns for equipment ID, name, status, and location.
- Bomba de Managua:** Contains columns for equipment ID, name, status, and location.

 The data rows are color-coded, likely corresponding to different municipalities or regions.

Figura 25. Página para "PLANTA 1" de San Salvador con registro y áreas.

En la pantalla SAN SALVADOR, cada estación de bombeo como por ejemplo “PLANTA 1”, contiene las fichas técnicas de los equipos de bombeo requeridos por el departamento de mantenimiento electromecánico de la

empresa distribuidora de agua potable, las cuales están divididas en: motor eléctrico, conjunto de bomba, arrancadores, área eléctrica y mediciones. Cada una cuenta con un subtipo de datos específicos los cuales pueden apreciarse en las figuras 26 y 27.

La figura 26 muestra el segmento correspondiente a los datos de placa de una de las bombas de dicha estación bajo el cuadro “Datos del conjunto Bomba” en el apartado “Datos de Bomba”. Asimismo, se puede buscar cualquier dato de las áreas que antes se mencionaron y para cada equipo.

La imagen anterior se refiere a la primera parte de toda la hoja SAN SALVADOR de fichas técnicas de equipos en la parte de “PLANTA 1” del municipio de SS. Entonces podemos ver en esta pantalla que aquí encontramos de manera ordenada los datos que se necesitan conocer, los datos de placa de una de las bombas de dicha estación bajo el cuadro “Datos del conjunto Bomba” en el apartado “Datos de Bomba”. Asimismo, se puede buscar cualquier dato de las áreas que antes se mencionaron y para cada equipo.

Planta 1.			
Datos de Motor Electrico			
DATOS PRINCIPALES DE LA SUBESTACION ELECTRICA			
No. 1	No. 2	No. 3	
KVA	KVA	KVA	
No. Inventario	No. Inventario	No. Inventario	
Serie	Serie	Serie	
Instalacion en		Voltajes Prim/Seco	
Tipo de conexión		Longitud de línea Prim	
DATOS ELEMENTALES GENERALES POR EQUIPO (MÓDULOS)			
EQUIPO 1	EQUIPO 2	EQUIPO 3	
Datos de Motor Electrico			
Clase de motor	Clase de motor	Clase de motor	
Instalación	Instalación	Instalación	
Capacidad (HP)	Capacidad (HP)	Capacidad (HP)	
Marca	Marca	Marca	
Modelo	Modelo	Modelo	
No. Serie	No. Serie	No. Serie	
No. Inventario	No. Inventario	No. Inventario	
Tipo	Tipo	Tipo	
Velocidad (RPM)	Velocidad (RPM)	Velocidad (RPM)	
Voltaje	Voltaje	Voltaje	
Corriente	Corriente	Corriente	
Fases	Fases	Fases	
Frecuencia (HZ)	Frecuencia (HZ)	Frecuencia (HZ)	
FRAME	FRAME	FRAME	
Código	Código	Código	
Cubierta nema	Cubierta nema	Cubierta nema	
Aislamiento	Aislamiento	Aislamiento	
Factor de servicio	Factor de servicio	Factor de servicio	
Factor de potencia	Factor de potencia	Factor de potencia	
Eficiencia	Eficiencia	Eficiencia	
KVAR Max.	KVAR Max.	KVAR Max.	
No. B Superior	No. B Superior	No. B Superior	
No. B Intermedio	No. B Intermedio	No. B Intermedio	
No. B Inferior	No. B Inferior	No. B Inferior	
Cojinete	Cojinete	Cojinete	
País Fabricación	País Fabricación	País Fabricación	
Fecha Instalación	Fecha Instalación	Fecha Instalación	
Dator del conjunto Bomba			
Datos de Bomba			
EQUIPO 1	EQUIPO 2	EQUIPO 3	
No. Inventario	No. Inventario	No. Inventario	
MARCA	MARCA	MARCA	
Modelo	Modelo	Modelo	
No. Serie	No. Serie	No. Serie	
No. Etapas	No. Etapas	No. Etapas	
Tipo	Tipo	Tipo	
Caudal	Caudal	Caudal	
Carga	Carga	Carga	
No. De Tazon	No. De Tazon	No. De Tazon	
Ø de Tasa	Ø de Tasa	Ø de Tasa	
Lubricacion	Lubricacion	Lubricacion	
Ø de Impulsor	Ø de Impulsor	Ø de Impulsor	
Tipo de Impulsor	Tipo de Impulsor	Tipo de Impulsor	
Modelo de Impulsor	Modelo de Impulsor	Modelo de Impulsor	
Med. Perno Tazon	Med. Perno Tazon	Med. Perno Tazon	
Dator del Cabezal de Descarga			
Marca	Marca	Marca	
Modelo	Modelo	Modelo	
Ø de Brido	Ø de Brido	Ø de Brido	
No. De agujeros	No. De agujeros	No. De agujeros	
Ø de Succion	Ø de Succion	Ø de Succion	
Ø de Descarga	Ø de Descarga	Ø de Descarga	

Figura 26. Datos de motor y bomba de "PLANTA 1" de San Salvador.

En la figura 27 se muestra el segmento de la hoja correspondiente a los “datos de arrancadores” y “área eléctrica”

Datos de Arrancadores				Datos del área eléctrica			
Datos particulares de tablero de control (Desarrollado)				Compañía que suministra servicio eléctrico			
EQUIPO 1		EQUIPO 2		EQUIPO 3			
Capacidad	Capacidad	Capacidad		Descripción del servicio eléctrico	Medio Tension	Baja Tension	Fases
Voltaje operación	Voltaje operación	Voltaje operación		Tipo de servicio			Numero de Hilos
Contenido	Contenido	Contenido		Voltaje de servicio			
Trafo. Control KVA	Trafo. Control KVA	Trafo. Control KVA		Distancia a P.S.			
Voltaje de control	Voltaje de control	Voltaje de control		Calibre del conductor			
No. De Fases	No. De Fases	No. De Fases		Linea eléctrica			
Tipo de anaque	Tipo de anaque	Tipo de anaque		COORDINADOR DE ESTRUCTURAS Y EQUIPO			
Cap. De autoranfor	Cap. De autoranfor	Cap. De autoranfor		Poste No.	Distancia adelante	Tipo y altura del poste	Codigo de Estructuras
Capacidad interruptor	Capacidad interruptor	Capacidad interruptor		Medio Tension	Baja Tension	Numero	Cantidad y tipo de resonada
HP del Contactor	HP del Contactor	HP del Contactor		Subestacion electrica			
Voltaje bobina contactor	Voltaje bobina contactor	Voltaje bobina contactor		Descripcion		No. 1	No. 2
Tipo contactor	Tipo contactor	Tipo contactor		Total de KVA instalados			
Parámetros K.V	Parámetros K.V	Parámetros K.V		Cantidad y capacidad de transformadores			
Capacitor KVAR	Capacitor KVAR	Capacitor KVAR		Clase de transformadores (fase)			
Proteccion Capacitor	Proteccion Capacitor	Proteccion Capacitor		Voltaje Primario			
Contactor Capacitores	Contactor Capacitores	Contactor Capacitores		Voltaje Secundario			
Rango voltmetro	Rango voltmetro	Rango voltmetro		MAPSA			
Rango ampermetro	Rango ampermetro	Rango ampermetro		Tipo de conexión			
País Fabricación	País Fabricación	País Fabricación		Tipo de Montaje			
No. De Inventario	No. De Inventario	No. De Inventario		Ubicación (dentro o fuera del predio)			
Fecha de instalación	Fecha de instalación	Fecha de instalación		Propietario			
Selecciones Modelo y Marca				Acomoda y proteccion principal			
voltmetro	voltmetro	voltmetro		Descripcion		No. 1	No. 2
Ampermetro	Ampermetro	Ampermetro		Longitud de acomoda (Int. de traba a interruptor final)			
Dist. posiciones	Dist. posiciones	Dist. posiciones		Calibre del conductor			
Tres posiciones	Tres posiciones	Tres posiciones		Canalizacion			
Cuatro Posiciones	Cuatro Posiciones	Cuatro Posiciones		Capacidad de proteccion			
Selecciones Modelo y Marca				Tipo de proteccion			
Piso	Piso	Piso		Capacidad de barras colectoras			
Marcha	Marcha	Marcha		Transformadores			
Prelubricacion	Prelubricacion	Prelubricacion		Descripcion		No. 1	No. 2
Bajo nivel	Bajo nivel	Bajo nivel		Capacidad (KVA)			No. 3
Valvula de retencion	Valvula de retencion	Valvula de retencion		Clase de transformadores (FASCO)			
Dilatacion	Dilatacion	Dilatacion		Voltaje Primario			
Vibracion	Vibracion	Vibracion		Voltaje Secundario			
Selecciones Modelo y Marca				Impedancia			
Fusible	Fusible	Fusible		Polaridad			
Bimetalico	Bimetalico	Bimetalico		No. De Serie			
Guardamotor	Guardamotor	Guardamotor		No. De Inventario			
Switch de Phason	Switch de Phason	Switch de Phason		MAPSA			
Vibracion	Vibracion	Vibracion		Transformador seco			
Bajo nivel agua	Bajo nivel agua	Bajo nivel agua		Descripcion			
Mulin	Mulin	Mulin		Capacidad (KVA)			
SANBES	SANBES	SANBES		Voltaje Primario			
Subconrol	Subconrol	Subconrol		Voltaje Secundario			
Solenoide prelubricacion	Solenoide prelubricacion	Solenoide prelubricacion		Proteccion Primaria			
MAPSA	MAPSA	MAPSA		Proteccion Secundaria			
No. De Serie	No. De Serie	No. De Serie		MAPSA			
				Instalaciones electricas en casera			
				Descripcion			
				Caja Terminal (SPACOS)			
				Capacidad (Anas)			
				Numero de Circuitos			
				Instalaciones Termico			
				Cantidad de Tomas EDU			
				Cantidad de Tomas 220V			
				Cantidad de Luminarias			
				Medición			
No.	No. De Medidor	Multiplicador	Tipo	MAPSA	Modelo	Voltage	Fases
							Medidor
							Distric

Figura 27. Datos de arrancadores y área eléctrica de "PLANTA 1" en San Salvador.

Para terminar, la figura 28 muestra la tabla dedicada a las mediciones que se puedan hacer el día que se realice una operación de mantenimiento de cualquier tipo.

Datos de Mediciones					
Mediciones Electricas y Mecanicas					
EQUIPO 1		EQUIPO 2		EQUIPO 3	
TEMPERATURAS					
Balero superior		Balero superior		Balero superior	
Balero inferior		Balero inferior		Balero inferior	
Estator		Estator		Estator	
VOLTAJE					
Vac		Vac		Vac	
Vab		Vab		Vab	
Vbc		Vbc		Vbc	
CORRIENTE DE ENTRADA					
Ia		Ia		Ia	
Ib		Ib		Ib	
Ic		Ic		Ic	
CORRIENTE DE CAPACITOR					
Iac		Iac		Iac	
Ibc		Ibc		Ibc	
Icc		Icc		Icc	
CORRIENTE MOTOR					
Iam		Iam		Iam	
Ibm		Ibm		Ibm	
Icm		Icm		Icm	
Ruido escuchado db					
VIBRACIONES					

Figura 28. Área de mediciones para "PLANTA 1" en San Salvador.

3. GUÍA DE REFERENCIA PARA LOS EQUIPOS DE BOMBEO DEL DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO ELECTROMECAÁNICO DE UNA EMPRESA ABASTECEDORA DE AGUA POTABLE

3.1. CARACTERIZACIÓN DE LOS EQUIPOS DE BOMBEO

Existe una diversidad de equipo de bombeo, pero en este apartado se definirán el tipo de equipo que se tratará como fin uno de los ejes de esta propuesta, ya que la gran variedad que existen de bombas en la actualidad lleva a una extensa gama de aplicaciones.

Las bombas más frecuentemente usadas en el abastecimiento de agua son las bombas centrífugas, horizontales y verticales, y las bombas sumergibles. De manera rápida se describen las bombas centrífugas horizontales y es que son equipos que tienen el eje de transmisión de la bomba en forma horizontal. Una de sus ventajas es que pueden ser instaladas en un lugar distinto de la fuente de abastecimiento y así se permite ubicarlas en lugares secos, protegidos de inundaciones, ventilados, de fácil acceso, etc. (Kenneth, 1998).

Este tipo de bomba es de uso común en cisternas, fuentes superficiales y embalses. Puesto que cuentan con facilidad de operación y mantenimiento que también es apropiado para el medio rural. Su bajo costo de operación y mantenimiento es una ventaja adicional.

Se pueden clasificar, de acuerdo a la posición del eje de la bomba con respecto al nivel del agua en la cisterna de bombeo, en bombas de succión

positiva y bombas de succión negativa. Si la posición del eje está sobre la superficie del agua, la succión es positiva y en la situación inversa la succión es negativa.

La más grande desventaja que presentan estas bombas es que su carga de succión cuenta con un límite, ya que el valor máximo quizá de forma teórica que alcanza es el de la presión atmosférica del lugar (10.33 m. a la altura del mar), pero aun cuando la altura de succión es de 7 metros la bomba ya muestra deficiencias de funcionamiento.

Así que tomando en cuenta solamente las aplicaciones para la empresa abastecedora de agua potable, se reducen las opciones a considerar llegando a un punto en el que se analizarán solamente dos tipos de bombas en la aplicación de la empresa.

3.1.1. BOMBAS CENTRÍFUGAS VERTICALES

Son equipos en los que el eje de transmisión de la bomba se encuentra en forma vertical y sobre el cual se apoya un determinado número de impulsores que elevan el agua por etapas. Quizá como una desventaja es que deben ubicarse directamente sobre el punto de captación, por lo cual casi se limita su uso a pozos profundos. (Hidrostral, 2004).

Estas bombas se construyen de diámetros pequeños, a fin de poder introducirlas en las perforaciones de los pozos, los cuales exigen diámetros pequeños por razones de costo. Una unidad de bombeo de un pozo consta seis partes principales, que son: a) la máquina motriz, b) el cabezal de transmisión,

c) eje de transmisión, d) la columna o tubería de impulsión, e) la bomba, y f) la tubería de succión.

La figura 29 muestra un esquema general de las partes o componentes más importantes de una bomba centrífuga vertical, es importante notar que el cabezal de transmisión es la vía de comunicación para la parte inferior de la bomba que levanta la presión del agua en un pozo. La tubería de impulsión es la responsable en la bomba de transportar el agua recolectada para su captación. (Hidrostral, 2004).

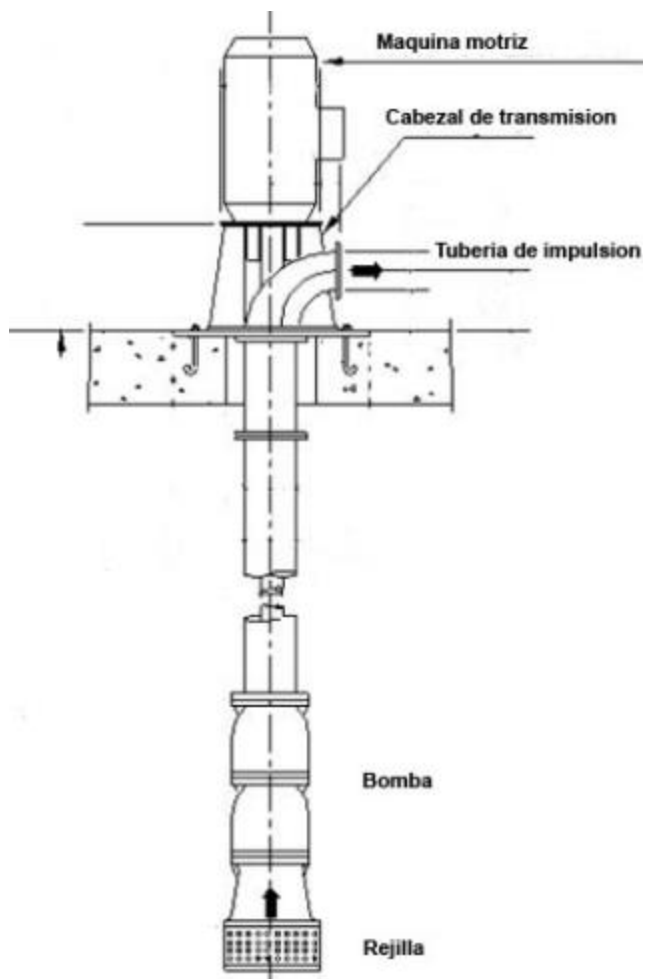


Figura 29. Esquema de bomba centrífuga vertical (Kenneth, 1998).

De acuerdo al tipo de lubricación del eje de transmisión de la bomba, pueden ser de dos tipos: lubricadas con el mismo líquido que se bombea y lubricadas con aceite.

Los motores eléctricos para montaje vertical y, sobre todo, los especiales llamados de eje hueco, son los más utilizados para accionar este tipo de bombas. La ventaja principal de estos equipos es su versatilidad y su capacidad para trabajar en un amplio rango de velocidades. Entre sus desventajas están los niveles de ruido y la estricta verticalidad que exige a los pozos para su instalación. Los costos de instalación de este tipo de bombas son menores a los demandados por la instalación de una bomba de eje horizontal; sin embargo, la operación y mantenimiento exige cuidado especial y mayores costos.

La construcción de estas bombas permite montar el número de etapas deseado, que puede llegar a veinte o más, añadiendo simplemente difusores e impulsores semejantes uno sobre otro, lo que dota de cierta elasticidad a las aplicaciones, con las consiguientes ventajas de estandarización, disponibilidad de repuestos, etc., no obstante, estas bombas participan de las desventajas mencionadas para las bombas verticales sumergidas, de ser caras y exigir costos de mantenimiento elevados. (Hidrostral, 2004).

Las bombas verticales tipo turbina han llegado a un grado de perfección notable con rendimientos altos y determinadas ventajas hidráulicas; aunque empezaron siendo empleadas exclusivamente para riego en pozos y perforaciones, sus aplicaciones industriales aumentan cada vez más, siendo en la actualidad más numerosas que las agrícolas, por lo que la denominación de

bombas de pozo profundo va desapareciendo para adaptarse a la de bombas vertical tipo turbina.

CARACTERÍSTICAS DE BOMBAS VERTICALES

- Bomba vertical de multietapas del tipo turbina para altas cargas dinámicas.

A. Rendimiento:

- a) Capacidad hasta: 8,500 l/s
- b) Potencia: 5 a 3,500 HP
- c) Velocidad: 1,800 rpm

B. Características:

a) Transmisión por motores eléctricos verticales de eje hueco y eje sólido o por cabezal de engranajes para acoplar a motores diésel.

- b) Lubricación por agua o aceite.
- c) Bombeo desde pozo profundo o fosa llena.
- d) Impulsor del tipo cerrado.
- e) Fabricación en materiales estándar y especiales.
- f) Empaque convencional o por sello mecánico.
- g) Diámetros desde 4 a 66 pulgadas.

- Bomba centrífuga vertical tipo turbina.

A. Rendimiento:

- a) Capacidad (gasto)= 370 l/s
- b) Altura por etapa: 38 m, 125 pies.
- c) Potencia: 5 a 1,000 hp
- d) Velocidad hasta: 3,600 rpm

B. Características:

- a) Impulsores con sistema de fijación positiva.
- b) Motor eléctrico vertical de eje sólido.
- c) Espesores y punto de apoyo. Bomba centrífuga vertical tipo turbina.

La figura 30 representa un modelo 3D de una bomba vertical de varias etapas, cada una de las etapas se representan debajo del cabezal de transmisión, esto sobre el eje, cada etapa aumenta la presión y eleva el agua hacia la superficie. (Hidrostral, 2004).



Figura 30. Bomba vertical de multietapas del tipo turbina para altas cargas dinámicas (HIDROSTAL, 2004).

3.1.2. BOMBAS SUMERGIBLES

Son equipos que tienen la bomba y motor acoplados como un solo cuerpo de forma compacta, de modo que ambos funcionan sumergidos en el punto de captación; se emplean casi exclusivamente en pozos muy profundos, donde tienen ventajas frente al uso de bombas de eje vertical. Como ventajas presentes en este tipo de bombas es la sencillez de montar sin transmisiones mecánicas permite su instalación prácticamente sin limitación a mayores profundidades, debido a que el motor está directamente acoplado a los impulsores por medio de una flecha que transmite la potencia de manera inmediata y sin tener tantas pérdidas por potencia a comparación de las bombas con eje vertical. (Company N.P., 1995).

Este ensamblaje compacto se suspende desde la superficie por medio de cualquier sistema de sujeción el cual está soportando todo el peso del sistema que sería el caso de la tubería de descarga, la bomba y el motor. El cable de suministro de energía cuenta con un aislamiento a prueba de agua tanto en el forro de los cables como a la entrada del motor para evitar filtraciones de agua y provocar cualquier avería.

En cuanto a la eficiencia, a través de la eliminación de la flecha de transmisión de potencia y los rodamientos por lo menos se está eliminando el 50 por ciento de partes móviles de la bomba se elimina la fricción que se genera en una flecha larga, además se elimina la obstrucción que se hace con el sistema de flecha larga para la entrega de agua o de cualquier líquido a través de la tubería, estas bombas tienen la desventaja de poseer eficiencia relativamente

bajas, por lo cual, aun cuando su costo puede ser relativamente bajo, el costo de operación es elevado por su alto consumo de energía.

Otra desventaja es que, al estar el motor y la bomba sumergidos, no existe forma de llegar a ellos cuando están instalados, en otras palabras, la unidad no es susceptible de recibir mantenimiento sin paralizar el bombeo. Los motores sumergibles están concebidos con velocidades de operación altas y son máquinas muy rígidas con respecto a la misma, no es factible hacer regulaciones durante la operación para variar la velocidad.

En la figura 31 se observa un esquema general sobre los componentes básicos de una bomba sumergible, la sección de los tazones cumple una función, muy similar a la bomba vertical, en el incremento gradual de la presión del agua. Contrario a las bombas verticales, en este esquema se puede apreciar que la ubicación del motor difiere, la concentración de la capacidad de succión cambia conforme a la capacidad que la bomba puede entregar en determinado momento. (Company N.P., 1995).

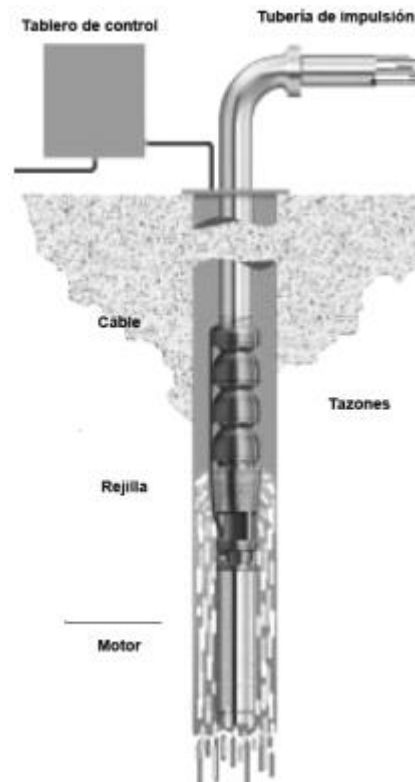


Figura 31. Esquema de una bomba sumergible (HIDROSTAL, 2004).

Existen dos tipos de diseño general para las bombas sumergibles:

- Radial
- Semiaxial

El diseño radial se caracteriza por una gran diferencia entre el diámetro de entrada del impulsor y el de salida. Resulta adecuado cuando se requiere una carga elevada.

El diseño semiaxial es más adecuado para las bombas de mayor caudal. El anillo de estanqueidad existente entre la entrada del impulsor y la cámara garantiza que cualquier reflujos sea limitado. La cámara incluye un distribuidor,

que dirige el agua a la siguiente fase. Asimismo, convierte la presión dinámica en presión estática. (Company N.P., 1995).

3.1.3. COMPARANDO VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS DOS TIPOS DE BOMBAS EN INTERÉS

Al analizar solo bombas verticales tipo turbina y de tipo motobombas sumergibles, también se retoman las ventajas y desventajas mencionadas anteriormente que en su momento se generalizó a más tipos de bomba, en este punto solo se toman estos dos tipos.

- Bomba de eje vertical
 - Ventajas
 - Requieren espacios menores para ser instaladas, en comparación a las áreas de instalación que demandan las bombas de eje horizontal, con lo cual es posible reducir los costos de construcción de la estación de bombeo.
 - La bomba puede trabajar alejada del motor, por tanto, ser instalada en un lugar de condición adversa o sumergida en el líquido a bombear (pozo seco o húmedo).
 - Pueden ser instaladas en lugares en los que la gran altura de succión u otros factores impiden la instalación de una bomba de eje horizontal (alturas mayores a 7 metros)

- Pueden ser diseñadas para operar en serie mediante etapas superpuestas con un solo motor, para incrementar la presión que puede desarrollar la bomba.
 - Admite una diversidad de configuraciones para su accionamiento: directamente por un motor eléctrico, acoplados a un motor de combustión interna (gasolina o diésel) o tener un accionamiento mixto (eléctrico y combustión interna), asegurándose de esta manera su operación permanente.
 - Cuando son instaladas en pozos profundos, tienen gran flexibilidad para adaptar las condiciones de bombeo a las características del pozo, ya que presentan muchos parámetros que son susceptibles a ser ajustados.
 - Alta confiabilidad, su construcción robusta puede responder satisfactoriamente hasta en las condiciones más severas y prolongada vida útil.
 - Si se compara su funcionamiento en un pozo hasta 20 metros de profundidad, su eficiencia es mayor que la que puede lograr una bomba sumergible.
- Desventajas
 - No son recomendables para grandes profundidades porque requieren de un eje de transmisión excesivamente largo, lo cual puede resultar muy costoso.

- El alineamiento vertical es exigente.
 - Elevado ruido eléctrico de los motores.
 - Mayor dificultad para la operación y mantenimiento; se requiere mano de obra especializada.
- Bomba sumergible
 - Ventajas
 - La bomba y el motor trabajan como un conjunto único sumergidos en el agua.
 - Económicamente ventajosa para pozos muy profundos.
 - Por debajo de 20 metros son más ventajosas que las bombas de eje vertical.
 - Se prefiere su instalación en pequeños diámetros porque no exigen la condición de verticalidad perfecta del pozo.
 - Mínima frecuencia de mantenimiento, puede operar mucho tiempo antes de requerir reparaciones.
 - Motor y bomba trabajan sumergidos lo cual se consigue aislar el ruido durante la operación.
 - Motor acoplado directamente al eje de la bomba, velocidad bomba-motor muy compacta con lo que se evitan largos tramos de eje y numerosas bocinas para el acoplamiento de ambos elementos.
 - Pueden ser instalados en pozos relativamente curvos o desalineados.

- Desventajas
 - Gran dificultad en la instalación la bomba, debido al que motor va sumergido
 - Alto costo inicial del motor.
 - Requieren elevados costos en la operación y mantenimiento del equipo. Requieren de costosos y complicados elementos de control. Existe rápido desgaste de piezas de hierro expuestas a corrosión.
 - Se debe evitar el arranque de la bomba fuera del agua. Muy sensible al ingreso de arenas y agua al motor.
 - Requiere mano de obra calificada para la operación y mantenimiento.
 - Para el mantenimiento hay que extraer la bomba y el motor del pozo, debiéndose paralizar el servicio.
 - Concebidas con velocidades de rotación elevadas que reducen la vida del motor.
 - Están disponibles en pocas velocidades y sin opción de ser variadas.
 - En comparación a las bombas de turbina vertical requiere un mayor consumo de energía por volumen de agua extraída.

3.2. PROCESOS Y REFERENCIAS TÉCNICAS EN LA INSTALACIÓN DE EQUIPOS DE BOMBEO

Las bombas o sistemas de bombeo son componentes esenciales y a la vez muy vulnerables en casi todos los sistemas de agua. En el campo, una instalación inadecuada de los sistemas de bombeo puede representar la pérdida completa del suministro de agua y la falla prematura del equipo. En este punto, se describirá cuál es el procedimiento general y los criterios que se debe tomar en cuenta durante la instalación de un equipo de bombeo en este caso con referencia a los dos tipos de bombas que se describieron en el apartado anterior.

3.2.1. BOMBA SUMERGIBLE

Según lo indicado por la Company N.P. (1995), antes de cualquier proceso de instalación o montaje para bombas sumergibles debe tenerse en cuenta algunas precauciones las cuales se presentan a continuación.

- Nunca poner en marcha el equipo fuera del agua.
- Nunca instalar la unidad con la parte inferior del motor más cerca de cinco pies del fondo del pozo.
- Evitar que el equipo funcione con agua barrosa o con arena.
- La bomba nunca debe funcionar más de 2 minutos con la válvula totalmente cerrada.
- Cerciorar que el equipo en su marcha normal, tenga un caudal tal que la velocidad del agua que baña al motor sea de 15 cm por segundo como mínimo para enfriar convenientemente al estator.

- No debe realizarse más de seis arranques por hora y estos deberán ser bien distribuidos.
- Debe colocarse el equipo por debajo del nivel dinámico y de acuerdo al NPSH característico del equipo.
- Si el agua viene de filtros que están colocados arriba de la boca de aspiración de la bomba, debe proveerse una camisa inductora para poder enfriar al motor.
- Si se bombea agua con temperaturas superiores a 25°C, habrá que colocar motores de mayor potencia para poder evitar el sobrecalentamiento del bobinado.
- La bomba no debe estar colocada a más de 100 m por debajo del nivel del agua, salvo equipo de gran altura manométrica.
- El agua no deberá contener más de 30/40 g de arena por m³, evitando así prematuros desgastes.
- Si el agua bombeada tiene oscilaciones de caudal, se debe alargar la cañería de suspensión (si es posible) o reducir el agua extraída, estrangulando la válvula de salida. Si hay un sistema de guardanivel, controlar la colocación de los electrodos de las electrosondas.
- Todas las electrobombas deben trabajar dentro de su curva de diseño. Cuando se extrae agua a boca de pozo, muchas veces en una puesta en marcha, se da el caso de que la bomba está con muy poca contrapresión. En este caso las partes rotantes como el rotor del motor y el paquete hidráulico de la bomba se elevan por la fuerza centrípeta y se asientan

sobre zonas en las que no deben permanecer mucho tiempo (máximo 2 minutos). La forma de corregir este problema es regular el caudal con una llave a la salida de la perforación, para que la bomba opere en la zona de trabajo.

- **ADVERTENCIA:** puede ocurrir una descarga eléctrica seria o fatal, debido a una conexión errónea del motor, de los tableros eléctricos, de la tubería, de cualquier parte metálica que está cerca del motor si no se utiliza un cable para tierra de sección igual o mayor al de la alimentación. Para reducir el riesgo de descarga eléctrica, desconectar la alimentación eléctrica antes de poner en funcionamiento el sistema hidráulico.

Una vez teniendo y conociendo las precauciones pertinentes se procede a hacer la instalación del equipo de bombeo.

En la instalación de la bomba: todos los pernos se aprietan al torque en fábrica y se fijan. Se reconoce que el transporte y la manipulación pueden resultar en la relajación de los pernos; por lo tanto, verificar que todos los sujetadores en la bomba estén apretados antes de la instalación.

Preparación para la instalación: disponer el tubo de la columna y el ensamblaje del motor en maderos adecuados. Mantener todos los materiales fuera de la suciedad. Los extremos de acoplamiento de los tubos deben estar ubicados hacia el pozo. Limpiar muy bien todas las roscas y recubrir con compuesto para uniones en la instalación. Todas las demás piezas deben disponerse en el orden en que se usarán.

3.2.1.1. PROCEDIMIENTO INSTALACIÓN MOTOR/BOMBA

1. Elevar el motor a posición vertical, asegurando que esté debidamente apoyado. La bomba y el motor nunca deberán armarse en posición horizontal ya que podría dañarse el eje de la bomba.
2. Elevar la bomba a la posición vertical sobre el motor, inspeccionar las bridas de la bomba y del motor cerciorándose de eliminar todo el polvo, pintura, grasa y óxido de las caras de las bridas. Asegurar de que no haya ninguna obstrucción en el acople del motor. Verificar que el eje de la bomba y el eje del motor giren libremente.
3. Hacer descender lentamente la bomba hacia el motor. Guiar la bomba para lograr una correcta alineación (nunca apoyar la bomba sobre el eje del motor). Alinear la hendidura de cable de la bomba, asegurando de no pinzar los cables del motor. El acople deberá deslizarse libremente a su posición para unirse con la bomba y el motor. La bomba deberá bajarse hasta quedar al ras de la brida del motor. Empernar el extremo de la bomba al motor con los sujetadores inoxidable provistos.
4. Unir las líneas del motor al cable del suministro usando soldadura eléctrica graduada o conectores de compresión, y aislar cuidadosamente cada unión con cinta impermeable o tubería adhesiva termocontraible, como se muestran en los datos de instalación de la bomba o el motor.
5. Apoyar el cable en la tubería de descarga cada 10 pies (3 m) con tirantes o cinta lo suficientemente fuerte para prevenir hundimiento. Usar relleno entre el cable y cualquier tirante de metal.

- a. No raspar ni apretar el cable contra la caja del pozo.
 - b. Mantener el cable flojo cuando use un tubo de plástico para permitir que se estire cuando se instale en el pozo.
6. Se recomienda una válvula de retención en la tubería de descarga. Es posible que se requiera más de una válvula de retención, dependiendo de la capacidad de la válvula y ajuste de la bomba. **IMPORTANTE:** instalar sólo válvulas retención con sello positivo. Nunca usar válvulas de tipo columpio.
7. Ensamblar todas las juntas de la tubería de descarga tan apretado como sea posible para prevenir el desenroscamiento del motor. El par de torsión debe ser de 10 libras pies por HP (2 m.kg. kW). Nunca llevar la tubería de descarga al cabezal de descarga con los tornillos de cabeza hexagonal o los pernos. Instalar la línea de tubería de manera de usar los sujetadores únicamente para evitar pérdidas. No se recomienda colgar el peso de la línea de descarga y accesorio del codo. Sostener la línea colocando bloques o utilizando soportes de concreto. Usar un acople tipo dresser siempre que sea posible, si bien en este caso deberán proveerse barras de unión adecuadas a través del acople. El codo deberá estar anclado firmemente en el cimiento.
8. Colocar la bomba lo más alejada posible por debajo del nivel inferior de bombeo para asegurar que la succión de la bomba siempre tenga la Carga de Succión Positiva Neta (NPSH) especificado por el fabricante de la bomba.

9. Instalar un mecanismo antitorsión justo arriba de la bomba.
10. Bajar la bomba por lo menos a 5 pies (1.5 m) del fondo del pozo y sobre el filtro del mismo o en las perforaciones de la caja para permitir la acumulación de sedimentos. Descender con suavidad y de manera pareja sin sobresaltos ni impactos. Insertar los pernos de brida, si se usan, y apretarlos de manera pareja. Es posible desensamblar en el futuro al invertir el procedimiento.
11. Conectar un cable de seguridad de acero trenzado de 3/16 plg a 1/4 plg de diámetro en la bomba. **IMPORTANTE:** si se usa otro tipo de cable, confirmar que el peso del sistema no excede el límite
12. Revisar la resistencia de aislamiento a medida que el ensamblaje de la bomba/motor es introducido al pozo. La resistencia puede disminuir gradualmente a medida que más cable entre en el agua, sin embargo, cualquier disminución repentina indica un posible daño en el cable, en la unión o en la línea del motor. Usar un óhmetro para revisar la continuidad y el aislamiento en el cable.
13. Revisar todas las conexiones eléctricas, las hidráulicas y las piezas antes de arrancar la bomba.

3.2.1.2. PUESTA EN MARCHA

A) Monofásicas.

En el tablero de comando de cada electrobomba se indica la forma de conexionado del mismo. Es importante respetar los colores indicados de los

conductores del cable de alimentación. En estas bombas no puede producirse giro inverso.

B) Trifásicas.

Una vez instalado el equipo en el pozo deberá hacerse el control del correcto sentido de giro procediendo de la siguiente manera:

1. Cerrar 3/4 partes de la válvula de descarga a la salida.
2. Arrancar la bomba y realizar el registro de presión y caudal.
3. Parar el equipo y realizar el cambio de 2 conductores eléctricos que alimentan al equipo.
4. Arrancar nuevamente al equipo y testear presión y caudal.
5. Parar al equipo.

De la confrontación de los resultados entre los puntos 2 y 4 la conexión que ha dado mayor presión o mayor caudal es la correcta. El control del sentido de rotación deberá durar el mínimo tiempo posible.

Cuando el equipo esté conectado en forma correcta, se deberá arrancar el equipo con la válvula esclusa parcialmente cerrada hasta que el caudal extraído sea aproximadamente un tercio del caudal normal. Si hay impurezas en el agua, arcilla o arena, la válvula deberá abrirse gradualmente hasta que el agua salga limpia.

La bomba además no deberá pararse hasta que el agua no esté completamente limpia. Hay que controlar también que a medida que se abra la válvula, el agua salga limpia y el caudal se mantenga uniforme, no fluctuante.

El nivel del agua deberá estar siempre arriba del filtro de aspiración de la bomba y de acuerdo al NPSH característico del equipo.

3.2.2. BOMBA VERTICAL TIPO TURBINA

Al igual que con las bombas sumergibles para las bombas verticales de tipo turbina es necesario tener conocimiento sobre criterios básicos los cuales se mencionan a continuación según Franklin (2011):

- La bomba nunca debe funcionar en seco (sin líquido adentro).
- La bomba nunca debe funcionar con la válvula de entrega cerrada por más de 10 segundos.
- El funcionamiento de la bomba a un nivel inferior que la capacidad nominal mínima permitida puede ocasionar un sobrecalentamiento excesivo y perjudicial a la bomba. Para temperatura de líquido mayores a 40 °C, debe aumentarse la capacidad mínima en relación a la temperatura del líquido
- Se deben revisar las curvas de rendimiento de la bomba al evaluar el factor NPSH y evitar problemas de cavitación en caso de un gran espacio excesivo entre la bomba y el nivel del líquido a extraerse o debido a una temperatura excesivamente alta.
- Una cimentación masiva no es necesaria. Sin embargo, una base de concreto o acero prefabricado debe de ser prevista para soportar el peso de la bomba (el empuje hidráulico de los impulsores no es transmitido a la cimentación). Asegurar de que el espacio libre en la cimentación sea de mayor diámetro que el del cuerpo de la bomba o de la columna de descarga.

- La bomba está diseñada para operar exclusivamente en posición vertical con todas sus piezas alineadas correctamente. Por esa razón es imprescindible que el pozo sea totalmente recto y vertical. La bomba debe estar suspendida libremente desde la cimentación y no debe ser forzada ni al introducirla en el pozo ni al nivelarla con la cimentación. Su mala alineación causará vibraciones y un pronunciado desgaste en la bomba.

En la instalación de la bomba, la cimentación debe poseer la capacidad de absorber todas las vibraciones y constituir un soporte rígido y permanente para la unidad de bombeo y además debe tener la fuerza adecuada para soportar el peso completo de la bomba y el motor más el peso del líquido que la atraviesa. El sentido de giro de la bomba es antihorario visto desde arriba. (Pumps, 2001).

3.2.2.1. PROCEDIMIENTO INSTALACIÓN MOTOR/BOMBA

- Colador/canastilla y tubería de succión.
 - Enroscar la canastilla al tubo de succión aplicando la mezcla para rosca (el tubo de succión se identifica por no tener uniones simples en ninguno de sus extremos).
 - Colocar un juego de abrazaderas aproximadamente a 10 pulgadas de la extremidad libre del tubo de succión y levantar el conjunto cuidadosamente por medio del estrobo.
 - Depositar el conjunto en el pozo hasta hacer descansar las abrazaderas sobre la cimentación.

- Cuerpo de la bomba.
 - No levantar el cuerpo de tazones mediante la flecha. Girar la flecha manualmente y verificar que gira libremente. Eliminar el polvo, aceite, etc., de la superficie.
 - Fijar el segundo juego de abrazaderas debajo de la brida del primer tazón intermedio superior. Para los cuerpos de las bombas de más de 2 m de largo es recomendable levantar el conjunto en su posición vertical sin sacarlo de la base de madera que le sirvió de embalaje.
 - Levantar cuidadosamente el cuerpo de la bomba y conéctelo al tubo de succión (el cual descansa sobre la cimentación con el primer juego de abrazaderas).
 - Elevar el conjunto (tubo de succión y cuerpo de la bomba), retirar las abrazaderas del tubo de succión y descender el conjunto hasta que las abrazaderas del cuerpo de la bomba descansen sobre la cimentación.
- Columna de descarga.
 - Antes de instalar la columna se debe verificar la proyección de la flecha del cuerpo de tazones. Esta es la distancia del asiento de la columna al extremo superior de la flecha de la bomba. Anotar esta dimensión para referencia. Deberá verificarse después de cada tramo que se ensamble.
 - Limpiar todas las roscas de todos los componentes.

- Sujetar con un cable o cuerda la sección inferior de la columna, aproximadamente 30 cm arriba de las roscas del tubo de columna dar una vuelta alrededor del tubo y otra vuelta alrededor de la cubierta y de la flecha.
- Levantar la columna completa a una posición vertical, directamente sobre el cuerpo de tazones. Se debe tener cuidado de prevenir deslizamiento de la flecha al levantarse.
- Bajar la columna para acoplar la flecha de la columna a la flecha del cuerpo de tazones por medio del cople para flecha. Se deben sujetar firmemente las flechas teniendo cuidado de no dañarlas con las llaves de sujeción. Las flechas tienen rosca izquierda. Verificar que el cople para flecha haya sido instalado correctamente antes de aplicar fuerza con la llave. Si hay un trasroscado, separar y reparar las roscas. Si estas no se pueden reparar, se debe reemplazar la parte dañada.
- Verificar que la flecha se encuentre centrada en el tubo de columna, en caso contrario, debe corregirse inmediatamente, ya que la flecha pudo haberse flexionado.
- Instalar el tubo de cubierta unido por la chumacera para las bombas lubricadas por aceite, o coloque la portachumacera con su chumacera de hule y su seguro para el caso de bombas lubricadas por agua. Retire la chumacera, vierta aceite dentro del tubo de cubierta y después coloque otra vez la chumacera

- Instalar el siguiente tramo de columna.
- Instalar una guía de hule cada tres tramos de columna para darle estabilidad a la transmisión interior dentro del tubo.
- Cabezal de descarga.
 - Limpiar la superficie de la brida de columna que estará en contacto con el cabezal de descarga.
 - Aplicar una capa de silicón o una junta entre la brida de columna y el cabezal de descarga de la bomba.
 - Levantar el cabezal de descarga sobre la brida de columna.
 - Bajar el cabezal y atornillar con la brida de columna.
 - Bajar el cabezal de descarga hasta que se apoye sobre la cimentación.
 - Instalar las tuercas de fijación del cabezal de descarga a la base de cimentación sin apretar.
 - Nivelar el cabezal de tal modo que la flecha superior quede en posición vertical. La superficie que estará sobre la cimentación debe apoyarse sobre calzas de metal o cuñas de metal. Las piezas de soporte deben colocarse cerca de los pernos de cimentación.
- Estopero.
 - Lubricación aceite
 - Colocar el tensor.
 - Colocar el contratensor.

- Colocar el tubo de cobre junto con el gotero.
- Colocar la aceitera.
- Lubricación agua
 - Bajar el estopero sobre la flecha.
 - Insertar los empaques grafitados dentro del estopero, colocar la mitad en el fondo, después el carrete y por último los empaques restantes.
 - Instalar la glándula prensaestopas y apriete firmemente las tuercas de la misma.
 - Aflojar las tuercas de la glándula de prensaestopas, únicamente apretar con las manos, sólo después del primer apriete.
- Motor
 - Revisar que las superficies del cabezal de descarga, la base de instalación del motor esté completamente limpias y libres de objetos extraños.
 - Remover la cubierta o tapa del motor
 - Levantar y colocar el motor en su base insertando la flecha motriz en la flecha hueca del motor, verifique que no haya desalineamientos. Además, orientar el motor en la posición deseada sobre el cabezal.
 - Atornillar el motor al cabezal de descarga (Asegurar de retirar los trinquetes del motor antes de revisar la rotación)

- Colocar la cuña dentro del cuñero de la flecha de ajuste y el plato de acoplamiento, permitiendo que entre libremente.

AJUSTE DEL IMPULSOR

- Con los impulsores totalmente abajo, descansando sobre el asiento de los tazones, colocar la tuerca de ajuste, gire la tuerca de ajuste en dirección de las agujas del reloj, levantando así las flechas y los impulsores, permitiendo que la flecha gire libremente, ya que esta operación permite que los impulsores estén suspendidos en la bomba.
- Colocar el tornillo para sujetar la tuerca de ajuste a la flecha de ajuste y evitar así que se pierda el ajuste.
- El número de vueltas que girará la tuerca de ajuste, dependerá del modelo de la bomba, diámetro de flechas, material de las flechas, carga dinámica total y longitud de la columna.

CONEXIÓN DEL MOTOR

- Conectar las terminales eléctricas al motor.
- Verificar la rotación del motor. El motor debe girar a la izquierda visto desde arriba. Si el motor gira en sentido opuesto cambie de posición las conexiones según las instrucciones del fabricante del motor.
- Verificar nuevamente el sentido de la rotación del motor.

3.3. PROCESO DE MANTENIMIENTO, DECISIONES Y REFERENCIAS

3.3.1. REFERENCIA DE MANTENIMIENTO

Los equipos que han recibido un mantenimiento adecuado duran más y precisan menos reparaciones. Es aconsejable llevar un registro de los procesos de mantenimiento; de esta manera resultará más sencillo identificar las causas de una avería.

Actualmente dentro del departamento de mantenimiento electromecánico de la empresa no se cuenta con un programa de mantenimiento preventivo totalmente definido o bien organizado que se lleve a cabo en los equipos, se realiza todo de modo correctivo, se planifican muy pocas reparaciones o servicios, excepto los que se realizan durante la reparación.

La mayoría de las fallas se ocasionan por la falta de supervisión, no hay existencia de datos de mantenimiento correctivo o preventivo para cada equipo, no hay programación que indique fechas específicas de cambios de piezas, o historial de los equipos para determinar posibles problemas que se pueden prever o programar reparaciones, no se tiene información certera de los repuestos que se cambian, los datos obtenidos son del personal de mantenimiento, cada mecánico tiene un apunte de algunos repuestos que cambia en la estación.

Los datos que se obtienen en el almacén sobre los repuestos que se utilizan en las reparaciones, no son exactos, a veces por falta de conocimiento se cargan a otras áreas, sólo para mantener el almacén con el inventario en orden, por lo que la información del almacén no es confiable. De eso por qué un

subsistema de catastro que es el que puede garantizar que todas las instalaciones y equipos de la empresa estén permanentemente registrados, además de suministrar todos los datos técnicos necesarios para la permanente actualización del Patrimonio de la Empresa y así mantener actualizado el archivo técnico de la Empresa, utilizando prioritariamente procesos sistematizados.

En base a lo anteriormente expresado se recomienda tener un manual específico para cada infraestructura y equipo, el cual deberá ser utilizado por todo el personal involucrado en la actividad de operación de instalaciones y equipos, y que tendrá la flexibilidad de someterse a modificaciones, efectuar actualizaciones técnicas o presentar sugerencias para optimizar su contenido.

3.3.2. PROCEDIMIENTO Y DECISIONES EN LA REALIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO

El procedimiento y toma de decisiones se presenta de manera visual en un diagrama de flujo de mantenimiento. Debido a que el flujograma aquí propuesto cuenta con varios puntos y procesos importantes que deben ser explicados, se optará por presentarlo en segmentos con sus respectivos conectores para conservar la secuencia y orden de éste. Se busca no solo describir el flujograma y sus pasos, sino también acoplarse a la realidad de la empresa a manera de facilitar su implementación. El flujograma completo puede encontrarse en el Anexo 1 dividido en dos partes.

El primer segmento se muestra en la figura 32. Para realizar un mantenimiento, el reporte de la falla es crítico cuando se presenta en el sistema de bombeo, después de presenciar la falla y el reporte de ésta, se debe realizar

una orden de trabajo para poder conseguir información sobre los antecedentes del lugar, naturaleza de la zona, tipo de equipo u otra información necesaria para poder acceder al sitio. Si la orden de trabajo es ambigua o no cumple los criterios necesarios para poder realizar el mantenimiento esta orden será denegada, en tal caso se tendrá que realizar otro reporte de falla y por consiguiente una nueva orden de trabajo con la cual se pueda seguir el proceso para dar el mantenimiento adecuado y reestablecer el servicio.

Al solicitar el transporte, deberá hacerse tomando en cuenta la cantidad de técnicos disponibles, herramientas a utilizar, repuestos (si existen en bodega), el lugar de la falla, entre otros factores que pueden condicionar el tipo de vehículo a utilizar para realizar el viaje de una manera segura.



Figura 32. Procedimiento de toma de decisiones inicial.

Siguiendo con la figura 33, en los pasos previos para el tratamiento de la falla, esto sin considerar aún el tipo o naturaleza de la misma; al reunir las condiciones necesarias para efectuar el mantenimiento, se tienen que considerar las herramientas y repuestos que se puedan necesitar para realizar la normalización del sistema. Este paso es una medida de precaución, dado que el

acceso puede o no ser limitado, o el sitio muy lejano y el fin es tener una reacción rápida y eficaz.

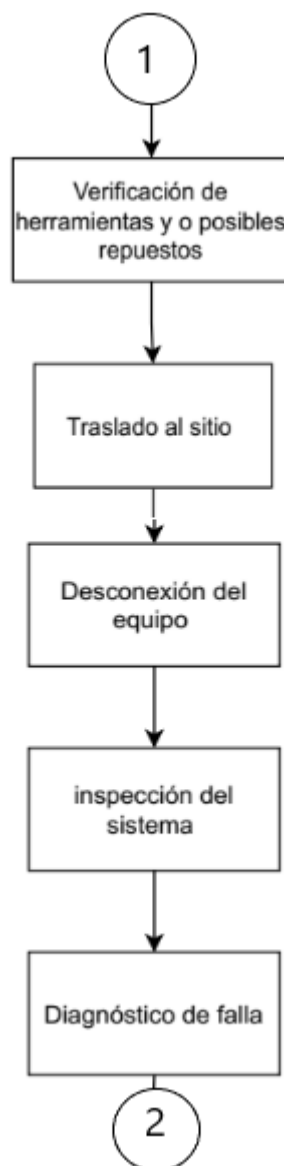


Figura 33. Solicitud inicial de reparación.

Una vez en el lugar, lo primero a realizar es la desconexión del equipo para asegurar la integridad física del personal técnico que realizará el mantenimiento. La tarea de la inspección es la parte más crítica dado que de

aquí se parte para definir la naturaleza de la falla, con esto se puede llegar a la siguiente etapa que se define como diagnóstico de la falla, lo que consiste en el siguiente punto a seguir en el flujograma.

La falla puede clasificarse como falla mecánica o eléctrica, además cada falla tiene su grado de criticidad, es aquí donde ya reportada la falla e inspeccionado el evento, se llega a una bifurcación en la figura 34. El proceso concerniente a falla eléctrica será analizado más adelante.

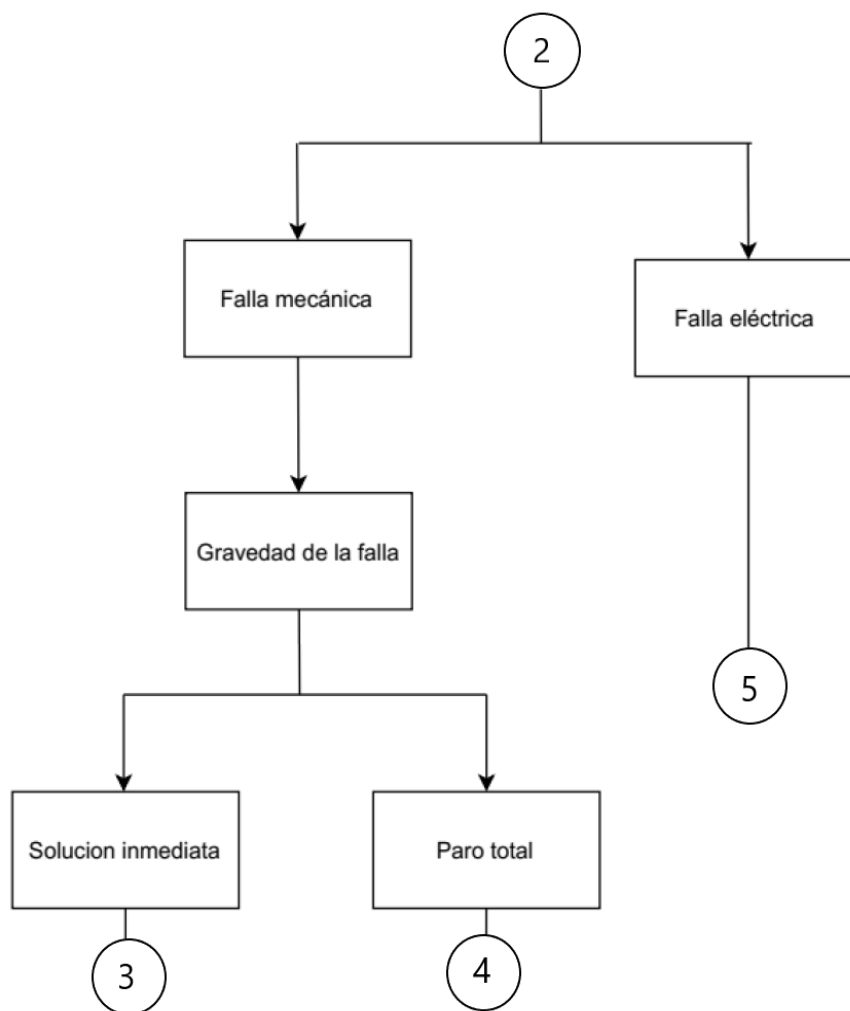


Figura 34. Punto de decisión en tipo de falla.

La falla mecánica puede tener dos condiciones, una solución inmediata o un paro total dependiendo de la criticidad de la falla podemos tener diferentes caminos en el flujograma de mantenimiento. La figura 35 en la parte izquierda muestra la ruta para la solución inmediata de la falla.

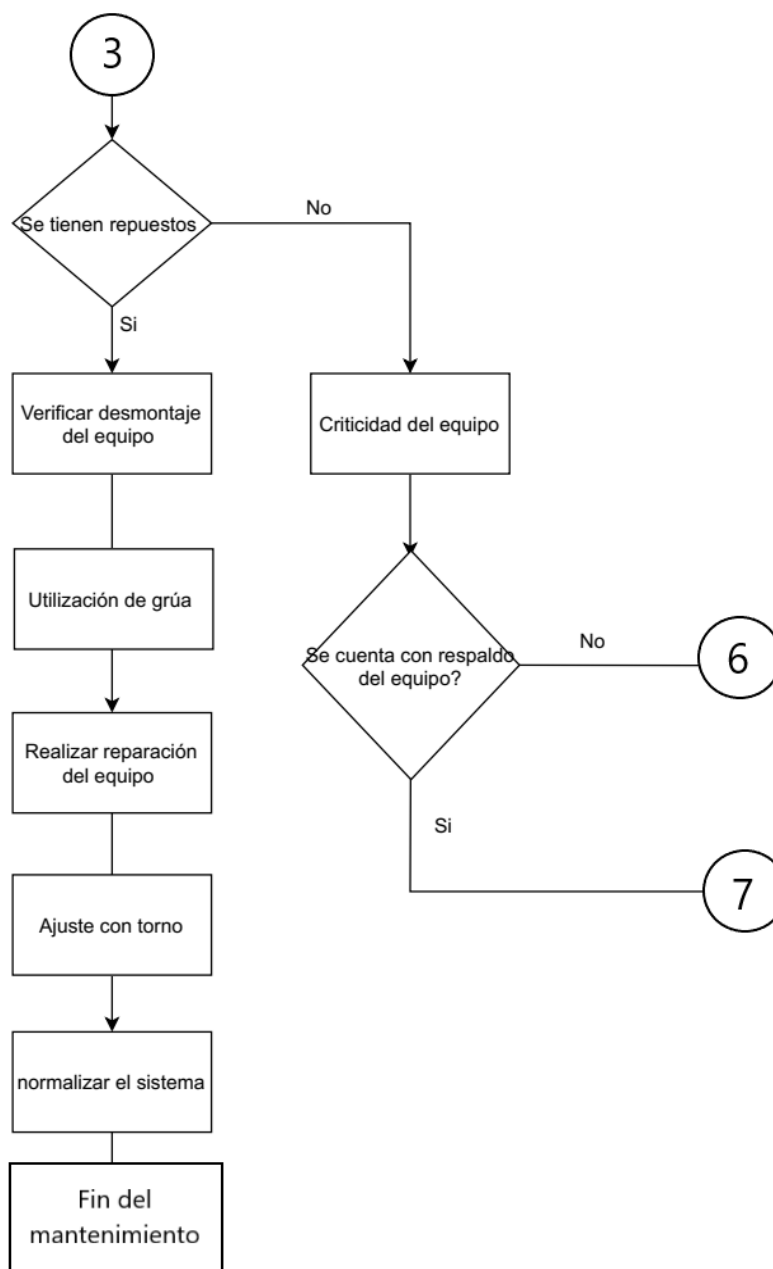


Figura 35. Determinación de acciones para reparación.

Si la solución determina que la falla presentada puede ser atendida sin repuestos especiales o maquinaria especial, se procede a verificar si las herramientas o repuestos con los que se cuentan pueden suplir las necesidades. Para el desmontaje del equipo o de las piezas que necesitan ser reemplazadas, de ser necesario para el cambio de los componentes se deberá utilizar una grúa de las que se encuentren disponibles. Cuando la situación lo requiera, se cuenta con un equipo de torno para realizar los ajustes necesarios a los elementos que se utilizan en la solución del problema, la mayoría de las veces este paso es necesario.

Si no se tienen los repuestos o equipos para realizar el mantenimiento correctivo, se evalúa la criticidad del equipo, es decir la importancia del funcionamiento del equipo en términos de suministro y servicio, y se verifica si cuenta con un respaldo, para no tener que cortar el servicio.

Si existe un respaldo se conecta con la grúa para la manipulación segura del equipo o pieza de reemplazo, estos pasos y la ruta a seguir se detallan en la figura 36. Un factor importante a notar es que en este segmento de trabajo es que después de realizar el ajuste con el torno debe programarse el cambio del equipo, siguiendo con el orden y recomendaciones del apartado anterior concerniente al catastro electromecánico. Si solo se realiza el cambio a un equipo de respaldo, ya sea total o parcial, sin programar o registrar un cambio de lo realizado, se compromete la actualización y veracidad de los datos del catastro de equipos para esa ubicación, dejando sin efecto la organización propuesta en

los formatos anteriores, este paso de programación sirve precisamente para evitar condiciones como esas.

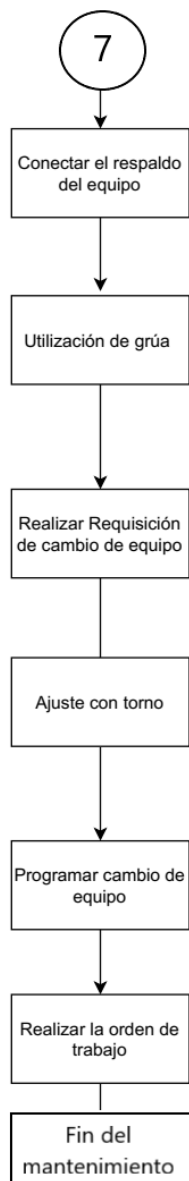


Figura 36. Ajustes y proceso de mantenimiento.

Está el escenario en que el equipo no cuente con un sistema de respaldo (ver figura 37), esto significa que la gravedad de la falla representa implica un corte en el servicio a los clientes. Para poder instalar el respaldo temporal, debe utilizarse la grúa, así como también realizar los ajustes necesarios en el torno para que los cambios puedan ser compatibles y así normalizar el sistema. Esto implica las labores de reparación y ajuste ya conocidas, pero además deben de incluirse las pruebas de funcionamiento pertinentes para asegurar que el sistema de respaldo temporal podrá suplir la demanda requerida. Una vez tales pruebas pasan la verificación final se considera terminado el mantenimiento.

Esto es una criticidad de alto grado dado que no se puede dejar pasar y se necesita de una solución, es decir que se debe buscar una solución temporal que logre suplir las necesidades de los usuarios, y que en algunos casos pueda soslayar algunos parámetros funcionales o de calidad, con el fin de lograr normalizar el servicio a niveles aceptables o permisibles respecto a suministro de agua.

Es importante acotar en este punto que las incidencias de este tipo deben irse reduciendo conforme se avanza y se continúa implementando la propuesta de procesos y decisiones para mantenimiento aquí descrita. Los eventos de paros totales pueden ocurrir en algún momento del tiempo, dado que son eventos difíciles de predecir o estimar, sin embargo, el contar con el diagrama de procesos contribuirá no solo a reducir estos eventos, sino también a manejarlos de la mejor forma.



Figura 37. Proceso de mantenimiento para falla con respaldo temporal.

Luego se pasa al punto en que la falla no posee solución inmediata (es decir paro total), esto implica un cambio total del sistema (ver Figura 38).

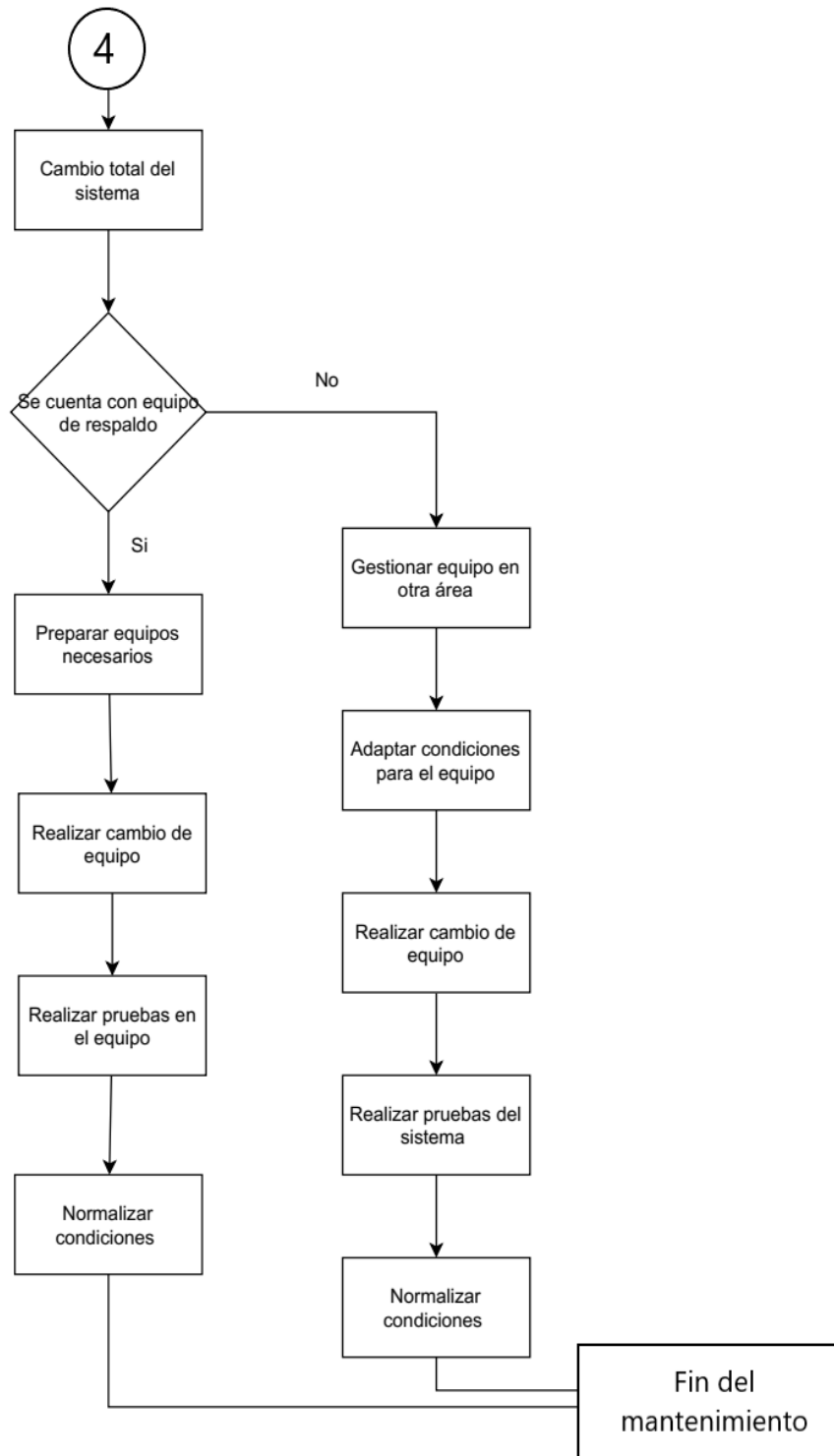


Figura 38. Ruta de trabajo para falla de paro total.

En esta situación, si se cuenta con respaldo del equipo, se utiliza la grúa, se preparan los equipos y herramientas necesarias y se realiza el cambio del equipo. A continuación, se llevan a cabo las pruebas necesarias para normalizar las condiciones y se da por finalizada la orden de trabajo. Caso contrario, se gestionan los equipos de respaldo en otras áreas ya sean aledañas o que cuenten con disponibilidad en calidad de préstamo, se adaptan las condiciones para la operación y se realizan las pruebas pertinentes, dando por finalizado el mantenimiento.

Al igual que la falla mecánica, la falla del sistema eléctrico se divide según su criticidad inmediata o paro total, lo cual define cómo tratar la emergencia: solución inmediata o paro total (ver Figura 39). Dependiendo de la criticidad se tomarán las medidas necesarias para que el sistema de distribución se mantenga de manera constante.

La falla eléctrica en estos sistemas implica el malfuncionamiento de cualquier elemento eléctrico, desde su arrancador, protección, cable, tablero o algún proceso que conlleve a la distribución del suministro eléctrico y componentes necesarios para dar marcha al sistema.

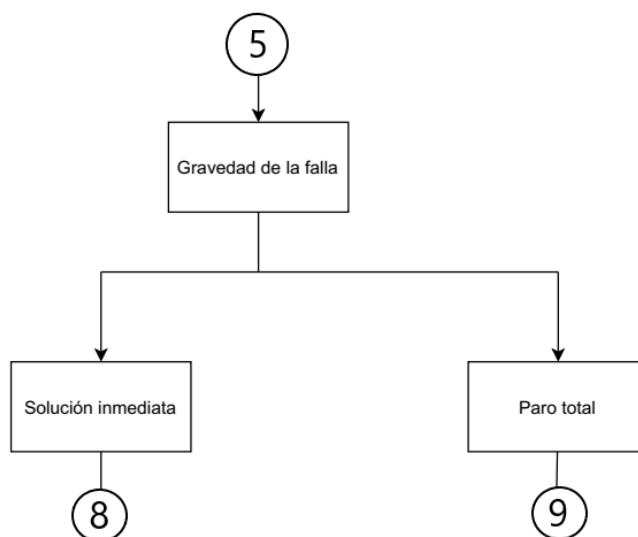


Figura 39. Determinación de la criticidad para falla eléctrica.

Siguiendo la ruta de solución inmediata (ver Figura 40), se determina si se tienen los repuestos eléctricos, en caso afirmativo, debe consultarse la disponibilidad de la grúa para el desmontaje del equipo, así como del equipo que sea necesario para desmontar los elementos eléctricos (si en caso así lo requiriera el cambio u operación). Al confirmar la disponibilidad, se procede al desmontaje del equipo eléctrico para poder realizar el cambio de los componentes eléctricos, tras lo cual se realizan las pruebas necesarias para normalizar el sistema. Cuando no se cuenta con la grúa debe realizarse la requisición de alquiler del equipo o préstamo a otra ubicación, y volver al inicio. Después de realizar las pruebas se normaliza el sistema eléctrico y se empieza la distribución del suministro al cliente dando por finalizado el proceso de mantenimiento eléctrico.

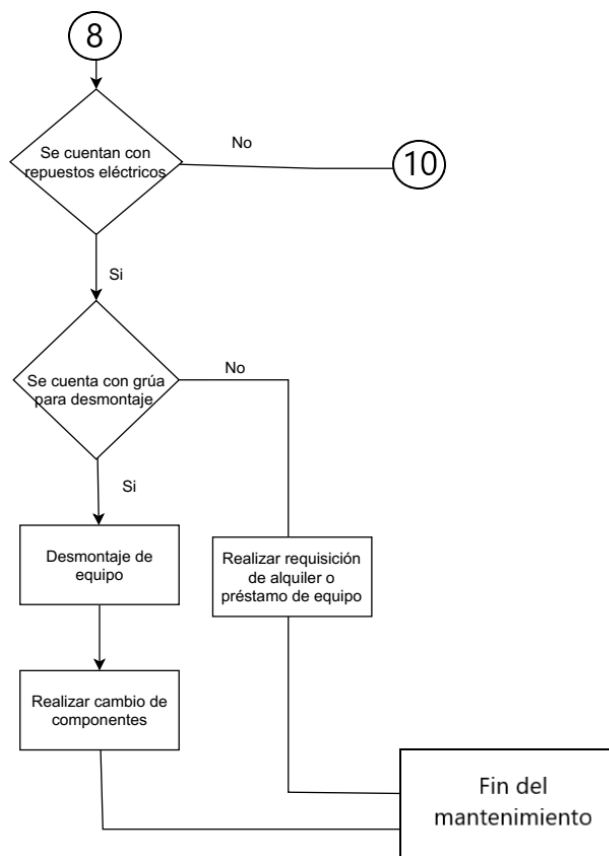


Figura 40. Ruta de trabajo para solución inmediata en falla eléctrica.

Cuando no se cuenta con los repuestos para realizar el mantenimiento (ver figura 41), el camino a seguir será verificar si para las condiciones de operación del sistema pueden obviarse los elementos dañados y dejar el sistema sin dichos elementos, esto no es recomendable porque se le podría estar quitando protecciones y dejando directo el equipo, pero puede hacerse en casos muy especiales y dejando siempre a la espera el cambio del componente para normalizar las condiciones de funcionamiento. Si el sistema no puede cumplir la condición anterior se deberá realizar una requisición de compra del componente eléctrico para dar solución a la falla. Luego se revisa la criticidad del equipo dado que el equipo estará en un paro mientras se obtienen los componentes.

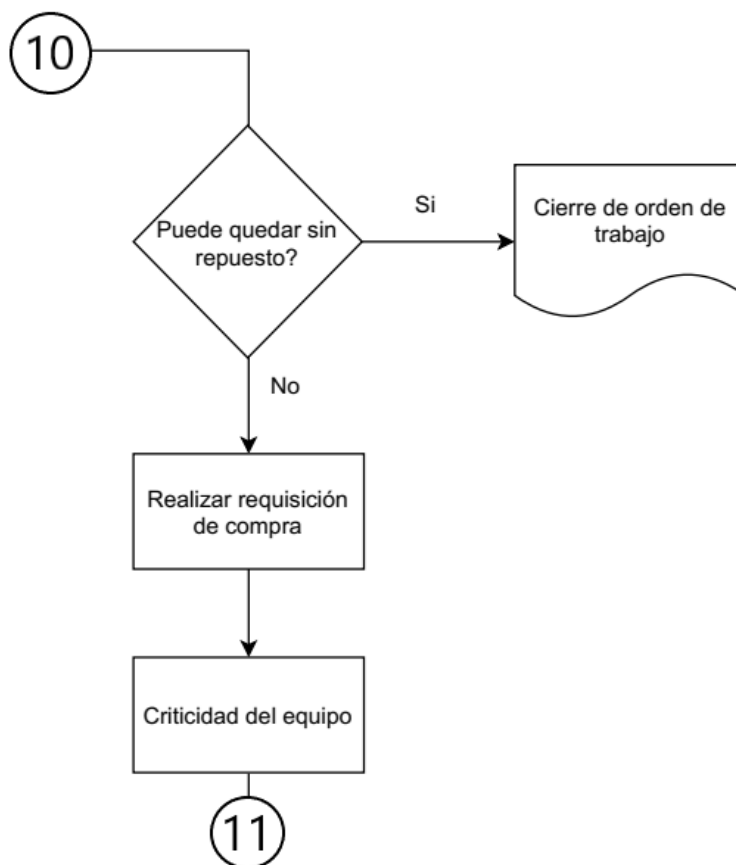


Figura 41. Mecanismo de decisión en falta de repuestos de falla eléctrica.

Al continuar en el diagrama, la figura 42 muestra que se debe corroborar si se cuenta con un respaldo del sistema, si la respuesta es afirmativa, se procede a preparar las condiciones para cambiar el componente de respaldo, se realiza el cambio y para confirmar que el componente funciona se realizan las pruebas correspondientes, finalmente se pasa a la normalización del sistema.

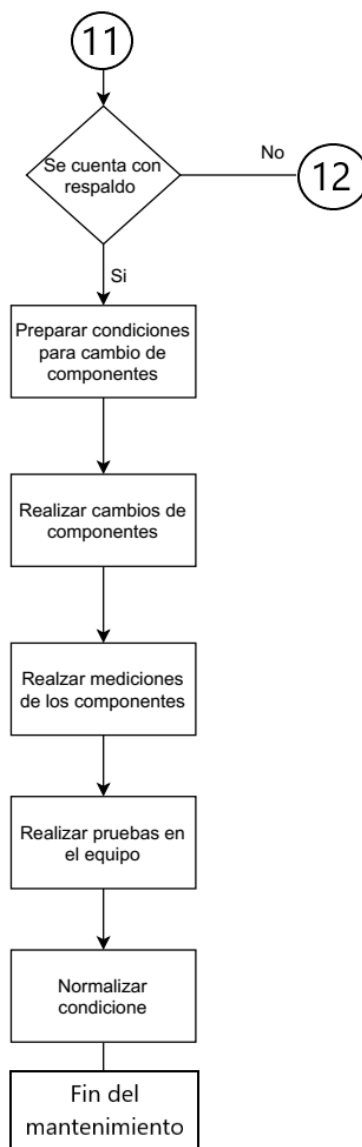


Figura 42. Ruta de trabajo para sistema de respaldo en falla eléctrica.

Cuando no se cuenta con algún respaldo (ver figura 43), se considera una pérdida total del equipo o sistema, esto significa una condición en que si el equipo presenta una pérdida total deberá realizarse una requisición de cambio de equipo, y proseguir cuando se tenga el reemplazo de éste. Cuando no es una pérdida total, se deberá modificar o adaptar algunos elementos para poder cambiar o solucionar el problema de manera temporal, se sigue verificando las

modificaciones de manera que funcionen de manera más cercana a lo normal, y solo queda revisar que las condiciones del sistema sean normales y dar por finalizado el trabajo de mantenimiento.

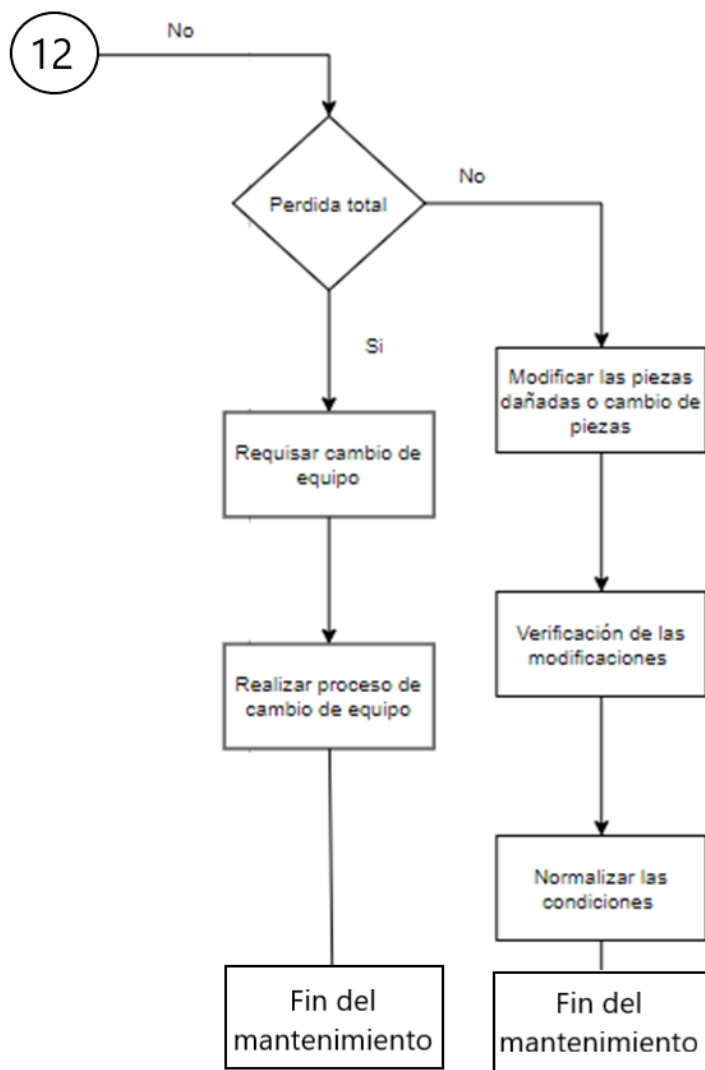


Figura 43. Consideraciones para pérdida total sin sistema de respaldo.

Cuando la gravedad de la falla del sistema eléctrico conduce a un paro total, como muestra la figura 44, se efectúa un cambio total del sistema. En esta situación, si se cuenta con respaldo del equipo, se utiliza la grúa, se preparan los

equipos y herramientas necesarias y se realiza el cambio del equipo, caso contrario se gestiona el equipo en otra área. Luego, se llevan a cabo las pruebas necesarias para normalizar las condiciones y se da por finalizada la orden de trabajo.

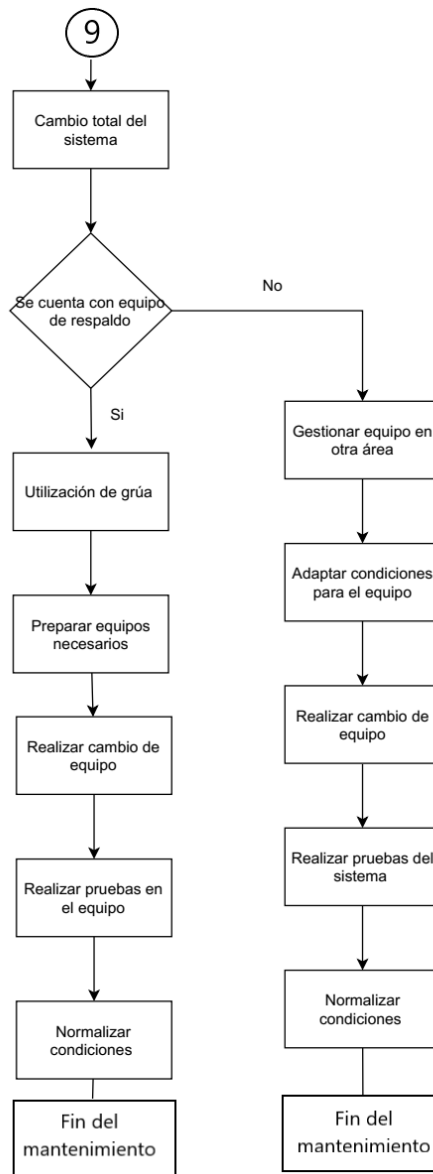


Figura 44. Ruta de trabajo en paro total de falla eléctrica.

La implementación del flujograma de procesos supone muchas ventajas, no solo a nivel de procedimientos, sino también en el sentido que otorga un mecanismo de control para la realización de las labores de mantenimiento. Existen también beneficios financieros relacionados a su implementación, por ejemplo puede cuantificarse en cuánto en términos de ahorro podrá generarse por el hecho de realizar una toma de decisiones estructurada en una ruta de mantenimiento a seguir, sea de solución inmediata o de paro total, el beneficio que se puede obtener puede ser ahorro de activos o de tiempo, que traducidos en costos pueden ser estimados por las jefaturas del departamento y presentados como una mayor eficiencia en el uso de los recursos de los cuales se disponen.

Los recursos necesarios para su implementación no son solo de naturaleza de personal capacitado, también incluyen materiales, capital, entre otros. Al contar con un proceso de toma de decisiones debidamente estructurado, los puntos de obtención de beneficios se vuelven más evidentes en la práctica.

Considerar datos de índole financiera a manera de ejemplificación, no forma parte del enfoque de este trabajo, debido a la disponibilidad de estos datos para realizar una estimación confiable y a que en general solo se ha contemplado el ámbito administrativo de la propuesta. La inclusión de un factor tan importante como el financiero utilizará este enfoque propuesto como fundamento para dar lugar a un nuevo estudio posterior.

3.3.3. NUEVO FORMATO DE ACTUALIZACIÓN Y RECOLECCIÓN DE DATOS

Se presenta una propuesta de actualización del formato utilizado para el registro de datos de mantenimiento, esta nueva propuesta se debe a la necesidad de encontrar una manera más versátil y útil a la hora de realizar un mantenimiento, dado que el recurso utilizado con anterioridad no ha sido actualizado a las necesidades e implica un retraso en los trabajos de mantenimiento. Para corregir esta situación, el nuevo formato se divide en tres hojas, la primera correspondiente a bombas verticales se muestra a continuación.

	Equipo de bombeo		Hoja 1/3	
	Bomba tipo vertical		CONJUNTO MECANICO	
	Municipio			
	Estación B			
Fecha				
CONDICIONES DE OPERACIÓN				
Fuente	Pozo <input type="radio"/>	Cisterna <input type="radio"/>	Captación <input type="radio"/>	
Tipo	Bombeo <input type="radio"/>	Rebombeo <input type="radio"/>	Barril <input type="radio"/>	
BOMBA			Equipo No.	
No. Inventario		Carga		
MARCA		No. De Tazon		
Modelo		Ø de Tazon		
No. Serie		Lubricacion		
No. Etapas		Ø de Impulsor		
Tipo		Tipo de Impulsor		
Caudal		Modelo de Impulsor		
Eficiencia		Med. Perno Tazon		
CABEZAL DE DESCARGA				
Marca		No. Y Ø de agujeros		
Modelo		Ø de Succión		
Material		Ø de Descarga		
Tipo sello		Ø de Bridas		
Medida Trenza		Material de Trenza		
Observaciones:				

Figura 45. Hoja de registro en mantenimiento para datos de bomba vertical.

La primera parte es caracterizar la ubicación del sistema, el tipo de estación y la fecha en que se realiza dicho mantenimiento, como se muestra en la figura 45, corresponde para el conjunto de datos mecánicos. Luego siguen las condiciones de operación para ver qué tipo de fuente está suministrando el vital líquido, si es un pozo, cisterna o captación, también se pueden encontrar los datos de la bomba y visualmente se tiene una mejor percepción de los mismos disminuyendo la probabilidad de errores en el registro, además los datos podrían llenarse del mismo catastro electromecánico haciendo mucho más eficiente el llenado de dicho formato.

Esta selección se llena con un clic al igual que el tipo para distinguir si es de bombeo, rebombeo o barril; estos son elementos que se pueden llenar antes de realizar el mantenimiento.

En la siguiente sección, se encuentran los datos de la bomba y como se puede observar en la figura 44, se tiene una mejor percepción visual de los datos, disminuyendo la probabilidad de equivocarse en el llenado. Asimismo, los datos pueden tomarse del mismo catastro electromecánico haciendo mucho más eficiente el llenado de dicho formato.

Al igual que la información del cabezal de descarga, se muestra información relacionada a características físicas de la bomba que será útil al tener que cambiar algún componente del sistema, del mismo modo que la sección anterior, incluso hay información que puede obtenerse directamente del catastro electromecánico.

Equipo de bombeo Bomba tipo vertical		Hoja 2/3		Equipo No.	
		CONJUNTO ELECTRICO			
DATOS PRINCIPALES DE LA SUBESTACION ELECTRICA					
No. 1		No. 2		No. 3	
KVA		KVA		KVA	
No. Inventario		No. Inventario		No. Inventario	
Serie		Serie		Serie	
Instalacion en			Voltajes Prim/Sec		
Tipo de conexón			Longitud de línea Prim		
MOTOR					
Clase de motor		Fases			
Instalación		Frecuencia (HZ)			
Capacidad (HP)		FRAME			
Marca		Aislamiento			
Modelo		Factor de servicio			
No. Serie		Factor de potencia			
Tipo		Eficiencia			
Tipo de cubierta		KVAR Max.			
Velocidad (RPM)		No. B. Superior			
Voltaje		No. B. Intermedio			
Corriente		No. B. Inferior			
Numero de inventario de ANDA		Distancia Acomeida			
Calibre y ducto de la acometida					
ARRANCADOR					
Numero de inventario de ANDA		Voltaje de Operación			
Marca		Voltaje de Control			
Modelo		KVAR Instalados			
Potencia		Rele de Sobrecarga			
Breaker		Instrumento de medición			
Tipo de Arranque		Luces Pilotos			

Figura 46. Hoja de registro para conjunto eléctrico para bomba vertical.

En la figura 46, se pueden encontrar datos principales del conjunto eléctrico, esta información también podrá obtenerse del catastro electromecánico, y si hay algún cambio en la subestación podrá actualizarse luego de cada cambio.

Los datos del motor se muestran después en ello podemos encontrar todo lo necesario para poder darle un perfecto mantenimiento al sistema, igual algunos de los datos pueden ser llenados del catastro electromecánico así podemos ver que el tiempo para llenar el formulario se reduce y este tiempo es

ganado para el equipo de mantenimiento, haciéndolo más eficientes en la reacción de la emergencia.

El siguiente punto en el formato serían los datos del arrancador, algunos datos son los datos de fábrica y datos de funcionamiento del mismo arrancador.

En la última hoja (ver figura 47) del formato se encuentra el conjunto ensamble, se muestra un esquema de la tubería de la columna y el eje, en ella es posible digitar los datos de la estación con la que se está trabajando y así ser más legible la información, pudiendo utilizar estos datos para saber desde tipo de herramientas y repuestos posibles a utilizar.

Equipo de bombeo Bomba tipo vertical		Hoja 3/4		Equipo No.				
		CONJUNTO ESAMBLE						
TUBERIA DE COLUMNA Y EJES								
			Tubería (Ø y longitud)					
			Tubos (cantidad)					
			Tubo Proyeccion (L)					
			Tubo de cabezal (L)					
			Reductor de Bomba					
			Reductor de Cabezal					
			Eje (Ø y longitud)					
			Ejes (cantidad)					
			Centralizador (medida)					
			Centralizadores (cantidad)					
			Lubricacion					
			Material					
			Indicar las medidas del equipo de bombeo (en pies)					
			L1		Ls			
			P		Lx			
S		F						
Dp		Cámara Succ.						
Nivel Din.		Nivel Est.						
EJE	Diametro	Longitud	Long. Rosca	HPP	Cuña	Material		
Motor								
Cabezal								
Columna								
Turbina								

Figura 47. Hoja de registro para conjunto ensamble para bomba vertical.

Se pasa ahora al nuevo formato para equipos de bombeo tipo sumergible, aquí se muestra de una manera más organizada la información similar al de bombas verticales, lo primero como en el formato anterior hace una caracterización del municipio, el nombre de la estación de bombeo y la fecha en la que se realiza el mantenimiento (ver figura 48), esto para tener un control de los mantenimientos realizados contribuyendo a tener un mayor control de los estados de las estaciones de bombeo.


		Equipo de bombeo		Hoja 1/3	
		Bomba sumergible		CONJUNTO MECANICO	
		Municipio			
		Estación B			
		Fecha			
CONDICIONES DE OPERACIÓN					
Fuente	Pozo <input type="radio"/>	Cisterna <input type="radio"/>	Captación <input type="radio"/>		
Tipo	Bombeo <input type="radio"/>	Rebombeo <input type="radio"/>	Barril <input type="radio"/>		
BOMBA			Equipo No.		
No. Inventario			Carga		
MARCA			No. De Tazon		
Modelo			Ø de Tazon		
No. Serie			Lubricacion		
No. Etapas			Ø de Impulsor		
Caudal			Tipo de Impulsor		
Eficiencia			Modelo de Impulsor		
			Med. Perno Tazon		
CABEZAL DE DESCARGA					
Marca			No. Y Ø de agujeros		
Modelo			Ø de Succión		
Material			Ø de Descarga		
Ø de Bridas			Ø de Camisa Protección		
Observaciones:					

Figura 48. Hoja de registro en mantenimiento para datos de bomba sumergible.

Después se encuentra la selección del tipo de fuente de donde se suministra el agua, si es pozo, cisterna o captación, y se confirma si es de bombeo, rebombeo o barril.

Luego la información de la bomba características físicas, además el inventario, la carga y otra información que pueda servir para dar un adecuado mantenimiento, y siguiendo el formato se muestra los datos de cabezal de descarga estos datos son proporcionados por el fabricante y esta puede ya estar enlazada a dicho formato agilizando el llenado de este, también se cuenta con apartados para comentarios de ser necesario.

Equipo de bombeo Bomba tipo Sumergible		Hoja 2/3		Equipo No.	
		CONJUNTO ELECTRICO			
DATOS PRINCIPALES DE LA SUBESTACION ELECTRICA					
No. 1		No. 2		No. 3	
KVA		KVA		KVA	
No. Inventario		No. Inventario		No. Inventario	
Serie		Serie		Serie	
Instalacion en			Voltajes Prim/Sec		
Tipo de conexión			Longitud de línea Prim		
MOTOR					
Clase de motor		Voltaje			
Capacidad (HP)		Corriente			
Marca		Fases			
Modelo		Eficiencia			
No. Serie		KVAR Max.			
Velocidad (RPM)		Factor de Servicio			
Aislamiento		Frecuencia (HZ)			
Longitud cable sumergido				Tipo de cable	
Numero de inventario ANDA				Distacia acometida	
Calibre y ducto de la acometida					
ARRANCADOR					
Numero de inventario de ANDA				Voltaje de Operación	
Marca				Voltaje de Control	
Modelo				KVAR Instalados	
Potencia				Rele de Sobrecarga	
Breaker				Instrumento de medición	
Tipo de Arranque				Luces Pilotos	

Figura 49. Hoja de registro para conjunto eléctrico para bomba sumergible.

En la figura 49 del formato, se observa la información del conjunto eléctrico, en ella están los datos de la subestación estos datos son dados por cada transformador cuyos datos son herramientas a la hora de hacer un cambio o manipulación de la subestación eléctrica, luego encontramos la información del motor eléctrico en el cual podemos notar que se piden los datos de placa los cuales deben ser digitados solo una vez en el catastro electromecánico después enlazarlos a los formatos teniendo un buen control de ellos y solo modificándolos si se da algún cambio de equipo, esto nos hace más ágil el llenado de esta ficha.

Equipo de bombeo Bomba tipo Sumergible		Hoja 3/4 CONJUNTO ESAMBLE		Equipo No.		
TUBERIA DE COLUMNA Y EJES						
			Tubería (Ø y longitud)			
			Tubos (cantidad)			
			Tubo Proyección (L)			
			Tubo de cabezal (L)			
			Reductor de Bomba			
			Reductor de Cabezal			
			Valvula Check			
			Material			
Indicar las medidas del equipo de bombeo (en pies)						
L1			P			
L2			Dp			
S			Cámara Succ.			
Nivel Din.			Nivel Est.			
EJE	Diametro	Longitud	Long. Rosca	HPP	Cuña	Material
Motor						
Turbina						

Figura 50. Hoja de registro para ensamble de bomba sumergible.

La última hoja de registro (ver figura 50) del equipo de bombeo tipo sumergible, muestra los datos de la tubería y ejes del sistema, se puede encontrar un diagrama o esquema de la ubicación de los datos necesarios para minimizar los errores cuando se toman los datos estos si el sistema no se modifica entonces los datos obtenidos en el catastro electromecánico se pueden obtener y así agilizar el llenado de este registro, esto ayuda a minimizar la pérdida de tiempo para los técnicos de mantenimiento.

Finalmente, este nuevo formato para ambos tipos de bombas proporciona al departamento de mantenimiento de un insumo o recurso para sus labores mucho más organizado y ajustado a su realidad. Una diferencia a notar con el formato anterior es que toda la información estaba acumulada en una sola hoja, lo cual ocasionaba confusiones y dificultades en la toma de datos, al mantener la información condensada de esa forma las labores de mantenimiento tomaban mucho tiempo y podían extenderse más de lo normal generando desperdicios de tiempo y recursos. Este nuevo formato secciona los elementos en diferentes partes, así los técnicos pueden hacer uso de las que representan una utilidad en sus labores.

4. INDICADOR DE EFICIENCIA PRODUCTIVA

4.1. INDICADORES DE DESEMPEÑO EN EQUIPOS DE BOMBEO

Antes de pasar a estimar la eficiencia productiva para los equipos de bombeo es necesario hacer un recorrido breve sobre los indicadores de desempeño en este tipo de instalaciones. Esto es importante ya que permite conocer algunos aspectos sobre la motivación principal para considerar estos indicadores como parte del proceso de decisión en las labores de mantenimiento, no pueden asignarse recursos de mantenimiento como lo son materiales, herramientas y mano de obra a un equipo, sin antes conocer su estado. Si bien es cierto, las labores de mantenimiento de muchos equipos se realizan tradicionalmente mediante una programación establecida por un plan maestro de mantenimiento, pocas veces se hace alguna consulta o referencia a los indicadores de desempeño de los mismos, esto involucra una medición de datos de operación, luego una evaluación de los datos obtenidos para finalmente pasar a una interpretación de un resultado que por lo general es matemático (porcentajes, fracciones, enteros, etc.), cuando se realiza este proceso es posible generar una mejor idea del estado bajo el cual el equipo se encuentra, al considerar los indicadores de desempeño a lo largo del tiempo, es posible realizar un registro histórico y conocer de primera mano el comportamiento y evolución del equipo para un período de tiempo de análisis en particular, con lo cual se pueden designar las labores de mantenimiento pertinentes que ataquen al deterioro del equipo (si aplica) o a extender su vida útil.

4.1.1. SISTEMAS DE INDICADORES DE DESEMPEÑO

Un sistema de indicadores de desempeño es el resultado de considerar todas las áreas de interés, partes interesadas y factores que influyen en un determinado entorno. En el caso de los prestadores de servicios de agua, un sistema completo incluiría toda la empresa, los usuarios, el medio ambiente y todas las áreas relacionadas que merecen ser monitoreadas con fines de gestión o evaluación por las jefaturas de la empresa. (Juiña, 2018).

Como consecuencia, un sistema de indicadores de desempeño comprende un conjunto de indicadores de desempeño y datos relacionados que representan la realidad del contexto de los abastecimientos de agua. La clasificación de estos datos depende del papel activo que desempeñan.

En este contexto, se puede comenzar a plantear que un indicador de eficiencia productiva señala o refleja la realidad en el ámbito de la producción, sea para un equipo en individual como en un conglomerado cuando la información se compila para este fin. Los indicadores individuales deben ser únicos y apropiados para representar todos los aspectos relevantes del desempeño de un abastecimiento de una forma adecuada e imparcial. Cada indicador de desempeño debe contribuir a expresar el nivel actual de desempeño en una cierta área para un periodo de tiempo, permitiendo una clara comparación con los objetivos marcados y simplificando lo que, de otra forma, supondría un complejo análisis.

En el proceso de construcción de un indicador de desempeño que pueda resultar útil a la empresa, como lo es el de eficiencia productiva, es preciso hacer

un recorrido por los elementos que conforman la definición de este indicador. Estos elementos se fundamentan en un objetivo, para este caso, encontrar una relación que refleje la realidad del ámbito productivo en los equipos de los sistemas de bombeo. Bajo este entendido, se pasa a definir los elementos que definen a un indicador de desempeño de la siguiente forma según Juiña (2018):

1. **Datos:** Un dato básico del sistema es aquel valor que puede medirse en campo se puede obtener fácilmente. En función de su naturaleza y de su papel dentro del sistema, pueden considerarse variables, información de contexto o factores explicativos.
2. **Variables:** Una variable es un dato del sistema que se puede combinar mediante una fórmula para definir indicadores de desempeño. Una variable completa consiste en un valor (resultado de una medición o un registro) expresado en unas unidades específicas y un grado de confianza que indica la calidad del dato representado por la variable.
3. **Factores explicativos:** Un factor explicativo es cualquier elemento del sistema de indicadores del desempeño que pueda ser utilizado para explicar el valor de los indicadores, por ejemplo, el desempeño obtenido en la fase de análisis. Esto incluye indicadores, variables, información de contexto y otros datos que no juegan un papel activo antes de la fase de análisis.
4. **Información de contexto:** la información de contexto está formada por datos que proporcionan información sobre las características inherentes

del abastecimiento y que explican las diferencias con otros sistemas. Hay dos tipos posibles de información de contexto:

- Información que describe contexto puro y factores externos a la gestión del sistema. Estos elementos permanecen relativamente constantes en el tiempo (demografía, geografía, etc.) y en todo caso no están afectados por decisiones de gestión. En algunos países (p.ej. Alemania) esta información se conoce como “información estructural”.
- Algunos datos, por otro lado, no son modificables por las decisiones de gestión a corto y medio plazo, pero las políticas de gestión pueden influir en ellas a largo plazo (p.ej. el estado de las infraestructuras del abastecimiento).

Establecer los objetivos y las limitaciones del sistema es útil para elegir y definir los indicadores. Aunque la definición y selección de indicadores de desempeño se tratan en el capítulo de implementación, hay algunos principios que se deben tener en cuenta en la etapa de definición.

4.1.2. REQUISITOS GENERALES Y EVALUACIÓN DE LOS SISTEMAS DE INDICADORES DE DESEMPEÑO

Individualmente, un indicador de desempeño debe de cumplir con los siguientes requisitos:

- Estar claramente definido y tener un significado conciso.

- Ser razonablemente alcanzable (cualidad que depende principalmente de las variables relacionadas).
- Ser auditable.
- Ser tan universal como sea posible y proporcionar una medida independiente de las condiciones particulares del abastecimiento.
- Ser simple y fácil de entender.
- Ser cuantificable de forma que proporcione una medida objetiva del desempeño del servicio, evitando cualquier evaluación personal o subjetiva.
- Incluir información sobre la calidad de los datos de las variables.

Al evaluar los indicadores de desempeño es muy común ver o escuchar la referencia al “benchmarking”, en general, el benchmarking es una herramienta para mejorar el desempeño mediante la búsqueda sistemática y uso de prácticas pioneras. Dicho de otra forma, buscar la mejora continua de los procesos en estudio. (Juiña, 2018).

Los indicadores de desempeño pueden utilizarse de diferentes maneras, pero en esencia proporcionan una excelente herramienta para evaluar el estado actual de una organización, proporcionando una instantánea detallada de las áreas clave de rendimiento; entre los aspectos más prominentes está la generación del benchmarking, como se muestra en la figura 51, consiste en la evaluación de un indicador de desempeño atendiendo a diferentes niveles de detalle para tareas o procesos.

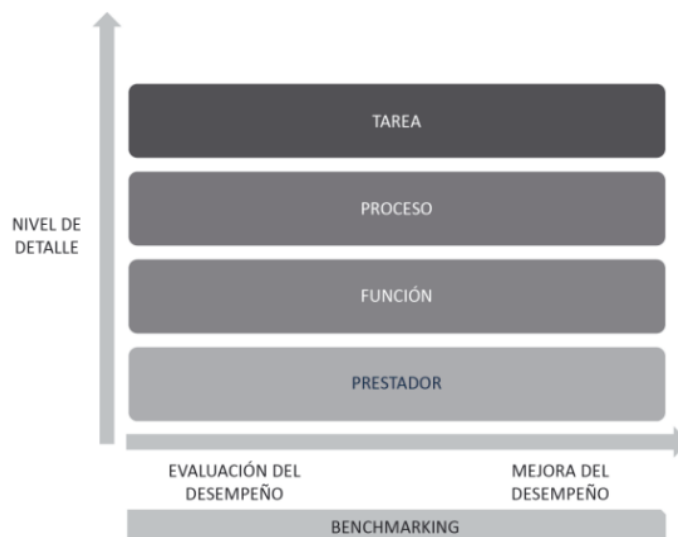


Figura 51. Esquema de detalle del proceso del benchmarking (Juiña, 2018).

De manera general, la evaluación de un indicador de desempeño puede realizarse según las recomendaciones de la IWA (International Water Association) de la siguiente forma:

1. **Evaluación del desempeño:** Uso de indicadores de desempeño para determinar el estado actual y la evolución del desempeño de un servicio de agua o saneamiento.
2. **Evaluación comparativa del desempeño:** Uso de indicadores de desempeño para determinar el desempeño relativo de un servicio de agua o de saneamiento con respecto a otros participantes (anteriormente denominado benchmarking métrico).
3. **Mejora del desempeño:** Segunda parte del proceso de benchmarking en el cual se identifican y adaptan las mejores prácticas para mejorar el desempeño de un servicio de agua o saneamiento.

Todas estas son herramientas que permiten mayor versatilidad en el proceso de evaluación de un indicador y extender las actividades de mejora en las áreas más importantes.

4.2. MEDICIÓN DE LA PRODUCCIÓN EN EQUIPOS DE BOMBEO DE AGUA POTABLE

Una herramienta importante para conocer la cantidad o volumen de agua que una estación con todos sus equipos es capaz de generar, es la producción de agua, sin embargo, esto debe considerarse en los términos de la capacidad que tienen los equipos de extraer agua de una ubicación particular, contrastando con la cantidad demandada en una zona de servicio.

Puede hablarse entonces en este punto de una “eficiencia hidráulica”, es decir, una medida de la capacidad de producción de un volumen de agua para una zona en particular, esto estará directamente relacionado a la estimación de la eficiencia productiva, ya que conocer la capacidad productiva permitirá obtener un parámetro para este proceso.

4.2.1. MEDICIÓN POR INDICADORES GENERALES

Esta medición se realiza conforme a indicadores de representación volumétrica o de abastecimiento, es decir son indicadores que reflejan una realidad conforme al enfoque que se utilice, algunos son relacionados al flujo de agua captada por una zona determinada de abastecimiento, otros son relacionados a conocer la demanda de agua mediante tablas de referencia

conforme a los tipos de abastecimientos. Se pasa entonces a definir algunos de ellos de manera general de acuerdo con Juiña (2018):

1. Dotación (habitante/día)

La dotación se refiere a la producción de agua para satisfacer las necesidades de la población y otros requerimientos, se fijará en base a estudios de las condiciones particulares de cada población, considerando:

- Condiciones climáticas de la zona en análisis.
- Las dotaciones fijadas para los distintos sectores de la ciudad, considerando las necesidades de los distintos servicios públicos.
- Necesidades de agua potable en industrias.
- Volúmenes para sistemas contra incendios.
- Dotaciones para lavado de calles, plazas, mercados, piletas públicas, etc.
- Limpieza del alcantarillado.
- Dotación para riego de jardines, parques, etc.

2. Consumo unitario de los habitantes

El consumo unitario es la cantidad de agua asignada a cada habitante, considerando todos los consumos de los servicios y las pérdidas en la red, en un día medio anual; sus unidades están dadas en l/hab/día. La dotación se obtiene a partir de un estudio de balance de agua, dividiendo la suma del consumo total, que incluye servicio doméstico, comercial, industrial y de servicios públicos, más las pérdidas de agua, entre el número de habitantes de la localidad.

3. Continuidad del servicio de agua (horas/día)

El valor representativo de continuidad del servicio de agua en una red de distribución de agua potable se determina mediante un promedio ponderado de las horas que se proporciona en las diversas zonas de servicio de la localidad.

Los anteriores indicadores son los más comunes y que resultan en la mejor fuente de información para conocer el funcionamiento de un sistema de distribución de agua potable en varias escalas, todo depende a qué extensión se miden los indicadores, sin embargo, estos por sí solos entregan datos o insumos para conocer el estado de la distribución de agua potable en una o más localidades, es muy diferente hablar de eficiencias con estos indicadores, es preciso utilizar una herramienta adicional para interpretar los resultados de estos indicadores de la mejor manera, dicha herramienta será definida más adelante.

4.2.2. DETERMINACIÓN DEL BALANCE VOLUMÉTRICO

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

El balance volumétrico es una herramienta que presenta las características de demanda, suministro y tipo de distribución de un sistema de

agua potable en un esquema numérico sencillo y que facilita su visualización. El principal objetivo de este balance volumétrico es evaluar el desequilibrio entre el gasto disponible y el consumo demandado por la población que existe en zonas de servicio bien delimitadas, tomando en cuenta características específicas de cada una como dotación, presencia de grandes consumidores, tipo de distribución, entre otras. (Juiña, 2018).

El balance volumétrico se evalúa en las condiciones más desfavorables de la operación normal, las cuales se presentan durante los días más calurosos del año en las horas de máxima demanda. El caudal medio anual diario requerido por los usuarios se determina fijando la dotación que debería existir en el sistema de abastecimiento en condiciones de plena satisfacción de los usuarios, por lo general esto se define como el consumo continuo durante 24 horas obtenido como promedio de los consumos diarios en un periodo de un año, expresado en litros por segundo. Se puede calcular de la siguiente forma:

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

(Ecuación 6)

Donde:

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

Dot_{req} = Dotación actual requerida para satisfacer adecuadamente a los usuarios (1/habitante/día).

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

4.3. ESTIMACIÓN DEL INDICADOR DE LA EFICIENCIA PRODUCTIVA

Hasta este punto, la estimación del cálculo de un indicador de eficiencia productiva ha avanzado en términos de la recolección de la información que describe el estado de distribución de agua potable, considerando la importancia de contar con este tipo de indicadores y la descripción de algunos de ellos a nivel general, sin embargo, para concretizar el objetivo de este indicador que es medir la productividad de los equipos de agua potable, se tendrá que hacer uso de ciertas herramientas que se describirán más adelante.

Previo a la estimación del indicador, es preciso definir un enfoque de trabajo, es decir una guía o eje principal bajo el cual este indicador estará sujeto a análisis. Si lo que se quiere medir es la productividad de cierto equipo de bombeo, entonces como una primera aproximación es preciso conocer cuánta agua potable se está entregando realmente a una zona de servicio de interés, además de cuánta agua se está perdiendo debido a factores externos. En términos generales, la diferencia entre el agua potable facturada por contadores y la suma de agua total que un equipo puede entregar, da paso a conocer las pérdidas en el sistema, es decir los desperdicios y todo aquel volumen o flujo que no se aprovecha. (IWA, 2018)

Si bien es cierto, los indicadores generales anteriores pueden otorgar información de gran valor para la empresa, es preciso encontrar un mecanismo o metodología que permita interpretar estos resultados en términos de producción de agua potable. Conocer la demanda de consumo de agua para una ciudad es importante, sin embargo, conocer cuánta agua en realidad se utiliza en

una zona y si los equipos que sirven agua a esta localidad entregan lo necesario es mucho más útil a la hora de diagnosticar los equipos y la calidad del servicio que pueden prestar, esto afectará en gran medida la toma de decisiones en la programación y ejecución de mantenimientos a futuro, así como los más inmediatos.

En este punto se puede entonces hablar que existen zonas, dependiendo de la cantidad de agua que se factura y la cantidad que se pierde, con un déficit y otras con un superávit de agua potable en su servicio. Esto genera la concepción global bajo la cual un sistema de bombeo opera, es decir si opera a una capacidad aceptable o no. Conocer el estado de las pérdidas de agua de una zona o sistema es el punto de partida para definir el indicador de eficiencia productiva, luego se pasará a estimar un cálculo basado en el servicio que los equipos prestan y los consumos de agua. (Juiña, 2018).

Con lo anterior ya establecido, se pasará a definir las herramientas que servirán como el fundamento para la estimación de un indicador de eficiencia productiva.

4.3.1. BALANCE HÍDRICO

Una herramienta importante para evaluar las pérdidas de agua en un sistema de abastecimiento es el balance hídrico. Los conceptos de gestión utilizados para evaluar las pérdidas de agua están basados en los términos impartidos por la IWA (International Water Association), en el que se contempla todos los elementos de un abastecimiento típico desde la captación de agua

hasta el consumo final por parte de los usuarios, la tabla 7 se completa con los siguientes pasos y en el mismo orden en que se describen:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Tabla 7. Matriz del cálculo del balance hídrico.

A	B	C	D	E	
Volumen distribuido al sistema	Consumos autorizados	Consumos autorizados facturados	Consumos facturados medidos	Agua facturada	
			Consumos facturados no medidos		
		Consumos autorizados no facturados	Consumos no facturados medidos	Agua no facturada	
			Consumos no facturados no medidos		
	Pérdidas de agua	Pérdidas aparentes	Consumos no autorizados		
			Errores de medición en contadores		
Pérdidas reales		Fugas en tubería de transmisión			

			Fugas y desborde en tanques de almacenamiento	
			Pérdidas en conexiones antes del contador	

El balance hídrico más sencillo puede ser definido por la tabla anterior, conociendo tan sólo los datos del volumen inyectado y del volumen registrado en los contadores de los clientes, lo cual permitiría conocer el porcentaje de agua registrada.

A medida que se cuenta con datos adicionales como el flujo volumétrico de servicio controlado utilizados en el riego de jardines o la limpieza de calles, o los volúmenes incontrolados debidos a tomas ilegales o a errores de medición, se puede llegar a definir un balance hídrico más completo.

4.3.2. ESTIMACIÓN DE LA EFICIENCIA PRODUCTIVA

Lograr definir un indicador de eficiencia productiva que responda a todas las necesidades de la empresa requiere de mucha más información, entrenamiento y conocimiento aplicado del quehacer del abastecimiento de agua potable, desde el punto de extracción hasta el punto de servicio existe un gran recorrido que involucra muchas disciplinas del conocimiento y diseño de ingeniería. Sin embargo, dada la información antes tratada y bajo el enfoque de que el indicador que aquí se busca definir es tal que otorgue una visión o

panorama general del estado del servicio de agua potable para una zona de análisis. Es decir, los elementos descritos tanto del balance hídrico y volumétrico, representan insumos en la construcción de un indicador de eficiencia, adicionalmente, la relación matemática que se describirá constituye una herramienta para el suministro de información valiosa dentro del contexto del monitoreo de la eficiencia productiva de los equipos. Se ha tratado de proveer los elementos que servirán para la construcción del indicador, así como un ejemplo general de su utilización.

Por diversas razones, tales como la ubicación de las captaciones del sistema de abastecimiento, la capacidad hidráulica de la infraestructura de conducción, distribución y regularización, la topografía de la localidad, el crecimiento de la mancha urbana, etc., la disponibilidad del agua potable ofertada por el sistema hidráulico es diferente al agua requerida por los usuarios. Este problema trae como consecuencia una incapacidad de servicio en la distribución en la red, lo cual se traduce en problemas de escasez, disminución de presiones y discontinuidad en el servicio de agua a los usuarios. Según la Watergy México A.C., el déficit entre el caudal disponible en la red y el caudal requerido por los usuarios es definido por la siguiente ecuación tomada de la IWA (2018):

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

(Ecuación 7)

Donde:

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

$Q_{s,i}$ = Caudal de agua suministrado a la red en una zona de servicio.

$Q_{req,i}$ = Caudal requerido por los usuarios en una zona de servicio.

Q_{ts} = Caudal total suministrado a toda la red de distribución.

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

Nzs = número de zonas de servicio.

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

Puede ser que este valor por sí solo no represente una fuente inmediata de información para estimar la producción de un equipo, sin embargo, visto desde un panorama global, es posible generar mapas de zonas cuyos valores de Def_{sar} estén por debajo de un límite específico, lo cual las coloque como zonas especiales de atención, es decir zonas que cuentan con equipos que deben ser intervenidos a la brevedad posible para mejorar el servicio a los usuarios. (IWA, 2018).

Este dato será de gran utilidad para el departamento de mantenimiento de la empresa, ya que con una labor de campo posterior será posible determinar un mapa de servicio en las zonas de interés y así lograr dirigir los recursos y personal a aquellas zonas de mayor atención.

Un ejemplo de la ecuación anterior a nivel general puede surgir como sigue, considerando los siguientes datos:

$$nzs = 5, \%z, i = 20\%, Q_{s,i} = \frac{250m^3}{mes}, Q_{req,i} = \frac{350m^3}{mes}, Q_{ts} = \frac{1000m^3}{mes}$$

$$Def_{sar} = \sum_{i=1}^5 20\% \left(\frac{250 - 350}{1000} \right) = -10\%$$

Este resultado se interpreta que para una zona de distribución que está dividida en 5 zonas más pequeñas, una zona de interés representa un 20%, considerando los datos de caudales de servicio calculados por mes (estos caudales pueden cambiarse a una unidad de medida según corresponda a los instrumentos y datos de la empresa), existe un déficit del 10% de servicio en la zona de análisis.

CONCLUSIONES

- ❖ El catastro electromecánico de manera general puede ser seccionado en cuatro grandes áreas: eléctrica, mecánica, arrancadores y mediciones. Cada una de estas áreas cuenta con parámetros de registro importantes para la empresa, desde nombres de marcas de componentes, hasta voltajes y corrientes de bombas. Conocer cada área y organizarla de manera que la información pueda ser recolectada y visualizada de manera rápida representa la meta final del formato de registro del catastro.
- ❖ La actualización del catastro contempla el registro de los datos de los activos de la empresa, que de manera general significa conocer de primera mano con trabajo de campo los parámetros de relevancia para caracterizar los equipos. Cada estación de bombeo, pozo o rebombeo poseen diferentes equipos, sin embargo, todos comparten el mismo atributo respecto a la información que contienen. Es decir, la naturaleza de la información a recolectar es la misma no importa el lugar. Cada área del catastro consta de una serie de parámetros que la describen en su totalidad. Como ejemplo, en el área mecánica se incluyen parámetros como: diámetros de tubería, cabezales de descarga, rpm de motor eléctrico, dimensiones, etc.
- ❖ Las hojas de mediciones para fines de catastro se incluyen en el formato de actualización. Las hojas destinadas para mantenimiento fueron seccionadas en tres áreas: conjunto mecánico, conjunto eléctrico y ensamble. Las hojas que la empresa utiliza actualmente no cuentan con

esta división de áreas, además mucha de la información se encuentra condensada en una sola página donde muchos de los datos no logran distinguirse de la mejor manera. Al seccionar y dividir la información en áreas se contribuye a mejorar los tiempos de recolección de datos, mejora en la visualización e interpretación de los datos recolectados, y de la generación de un nuevo formato estandarizado y compatible con la realidad de la empresa.

- ❖ Se elaboró el flujograma para el proceso de mantenimiento, incorporando puntos cruciales como las decisiones de criticidad, determinación de recursos, obras de mantenimiento en rutas de procesos, entre otras. Asimismo, se diseñó un nuevo formato de hojas de recolección de datos durante labores de mantenimiento.
- ❖ Se determinó un indicador de eficiencia productiva, con la definición del balance hídrico y la ecuación para el cálculo del abastecimiento del servicio de agua potable. Estas herramientas servirán como insumos del departamento, con el objetivo de relacionar ambos en una estructura que permita conocer los montos de producción (caudales) en los equipos de bombeo, dependiendo de las demandas para determinadas zonas de interés.

RECOMENDACIONES

- ❖ Tomando los formatos de actualización del catastro electromecánico, el siguiente paso en el proceso es el trabajo de campo en la recolección de los datos en cada una de las estaciones de bombeo, pozos o rebombes del AMSS. Una vez se cuente con los datos completos en los nuevos formatos, se puede trasladar el archivo digital a un disco duro compartido en forma digital, lo que permitirá acceso dentro de la red interna de la empresa, además deberán asignarse los permisos de acceso y edición correspondientes a cada área; de manera que solo los autorizados por la cadena de mando de la empresa puedan acceder y editar según sus roles en la planeación y ejecución de las labores.
- ❖ El flujograma para el proceso de mantenimiento deberá ser revisado en un tiempo adecuado o cuando se perciba que existen elementos nuevos en la empresa, es decir, cuando los puntos del flujograma dejen de reflejar la realidad cambiante de la empresa, éste deberá ser modificado y actualizado para seguir siendo utilizado como una herramienta del departamento electromecánico.
- ❖ El indicador de eficiencia productiva en lo concerniente a la estimación del abastecimiento de agua potable para una zona de análisis, puede servir como insumo en la construcción de un mapa de abastecimiento del AMSS. Generando los porcentajes de abastecimiento con la fórmula, luego asignando escalas de color según criticidad de abastecimiento reflejando si existe déficit o superávit, el mapa del AMSS mostrará panorama general

desde las áreas que se encuentran en condiciones críticas de abastecimiento como aquellas que poseen un exceso, por lo que será más simple diagnosticar y asignar criticidad de mantenimiento a las zonas que así lo requieran.

REFERENCIAS

- [1] Álvarez, E. F. (2018). *Gestión de Mantenimiento: Lean y TPM*. Oviedo: Universidad de Oviedo.
- [2] ALCANTARILLADOS, A. N. (2014). *NORMAS TECNICAS PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADOS DE AGUAS NEGRAS*. San Salvador.
- [3] Axsater, S. (2006). *Inventory Control* (págs. 43-50). Estocolmo: Springer.
- [4] Blanco, E., Velarde S., y Fernández J, (1994) *Sistemas de bombeo*. Tesis de ingeniería Industrial. Universidad de Oviedo.
- [5] Company, N. P. (03 de 2020). *Performance based on pumping clear. Efficiency Graphics*. Illinois, EE.UU.
- [6] Company, N. P. (1995). *Instrucciones de instalación, operación y mantenimiento y lista de piezas para bombas sumergibles*. Wichita: National Pump Company.
- [7] Cuatrasecas, L. (2017). *La ingeniería de procesos y la función productiva de la empresa*. En L. Cuatrasecas, *Ingeniería de Procesos y de Planta* (págs. 45-70). Barcelona: Profit Editorial.

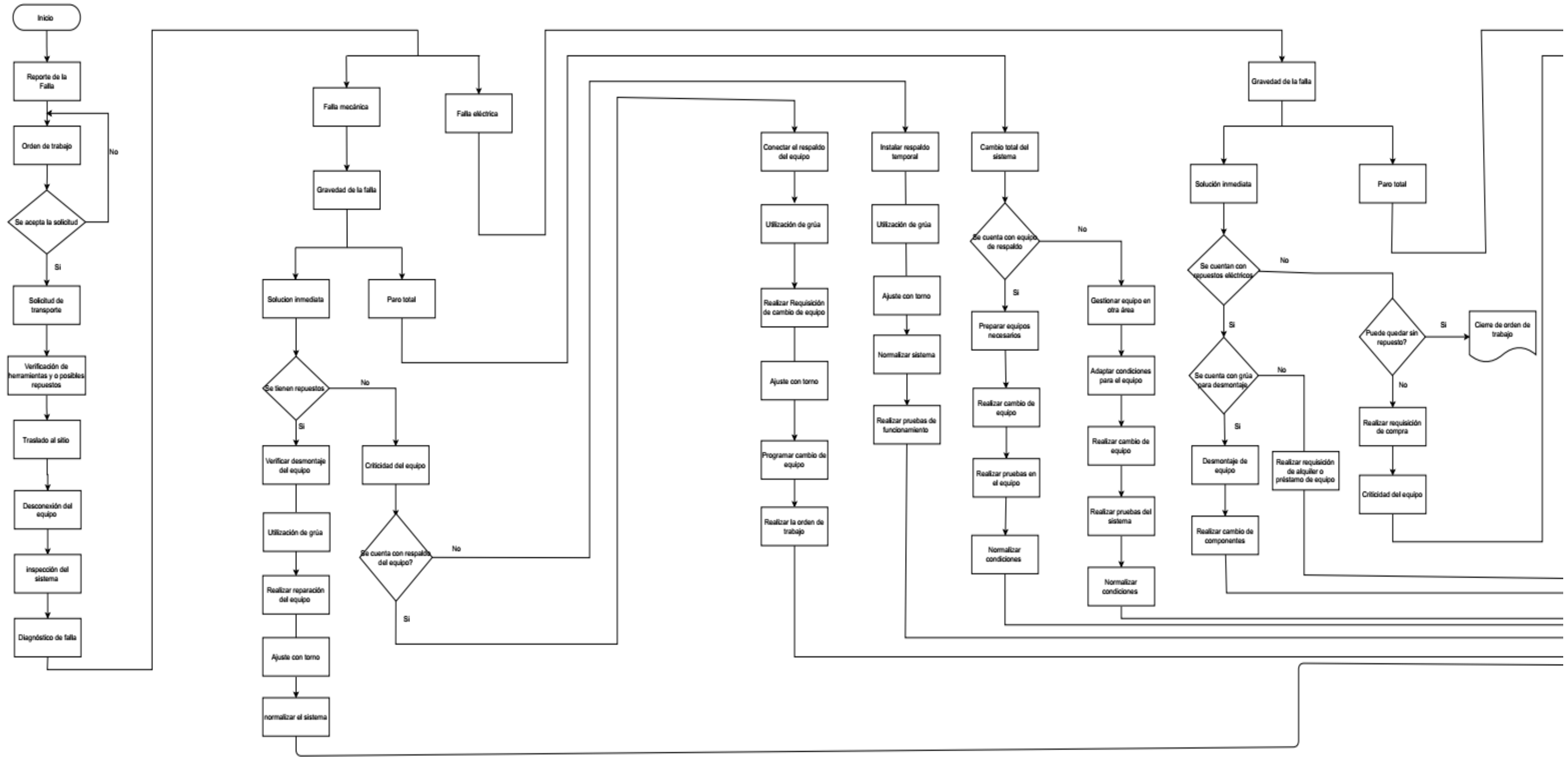
- [8] Electric, F. (2011). *Motores Sumergibles*. Austin: Franklin Electric.
- [9] García Garrido. (2009). *INGENIERÍA DEL MANTENIMIENTO - MANUAL PRÁCTICO PARA LA GESTIÓN EFICAZ DEL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL*. España: RENOVETEC.
- [10] Gobernación, M. d. (14 de febrero de 2017). Acuerdo de COAMSS Y Consejo de Alcaldes. *Diario Oficial*, págs. 19-21.
- [11] HIDROSTAL. (2004). *Bomba de turbina vertical - Manual de usuario*. Bogotá: Hidrostal.
- [12] INSTITUTE, N. B. (2018). *Lean Six Sigma Green Belt Certification Manual*. En N. B. INSTITUTE. Buffalo, WY: Harmony Living.
- [13] Juiña, O. H. (2018). Eficiencia energética en sistemas de abastecimiento de agua. En O. H. Juiña, *Eficiencia energética en el sistema de abastecimiento de agua de la ciudad de Quinindé, Ecuador* (págs. 30-39). Leiria: Universidad de Leiria.
- [14] Kenneth J. Mc Naughton, 1998. *Bombas, selección, uso y mantenimiento*. México: Mc Graw Hill.

- [15] López, B. S. (4 de Noviembre de 2019). *Ingeniería Industrial*. Obtenido de <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/gestion-de-mantenimiento/que-es-la-gestion-del-mantenimiento/>
- [16] Matteni M. (2018). *EFICIENCIA ENERGETICA INDUSTRIAN EN COLOMBIA- MANUAL DE OPTIMIZACIÓN DE SISTEMAS DE BOMBEO*. Colombia: EEI
- [17] Mijares G. (1980). *Abastecimientos de agua y alcantarillado*. Caracas, Venezuela: Vega s.r.l.
- [18] OPAMSS. (2005). *GUÍAS PARA EL DISEÑO DE ESTACIONES DE BOMBEO*. Lima.
- [19] Publishing, I. (2018). El Sistema IWA de Indicadores de Desempeño. En I. Publishing, *Indicadores de Desempeño Para Servicios de Abastecimiento de Agua* (págs. 37-42, 78-85). Valencia: Urban Water Commons.
- [20] PUMPS, G. (2001). *Instrucciones de instalación, operación y mantenimiento de bombas sumergibles*. Mexico, D.F.: ITT.
- [21] Tavares, Lourival. (2000). *Administración Moderna de Mantenimiento*. (edición español) Brasil: Grafica editorial NAT Ltda.

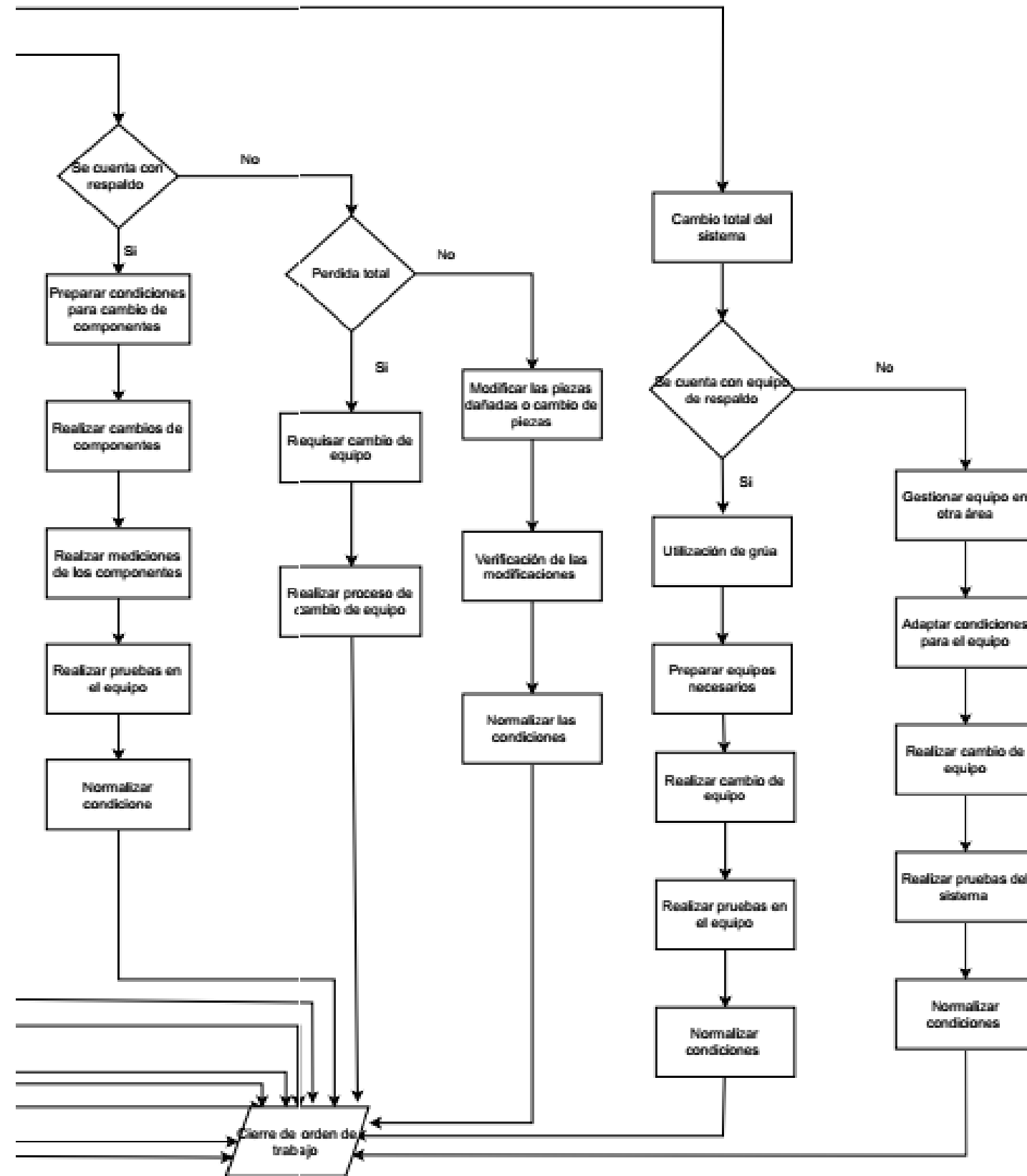
[22] VE, U. (Agosto de 2018). *Course Hero*. Obtenido de <https://www.coursehero.com/file/14365760/FILOSOFIA-DEL-MANTENIMIENTO/#:~:text=View%20full%20document-,FILOSOFIA%20DEL%20MANTENIMIENTO,MANTENIMIENTO,La%20labor%20del%20departamento%20de%20mantenimiento,lo%20cual%20permite%20un%20mejor>

ANEXOS

ANEXO A: FLUJOGRAMA DE PROCESOS DE MANTENIMIENTO



PARTE 1



PARTE 2