

Instituto Tecnológico de Costa Rica

Escuela de Ingeniería Electromecánica



TEC | Tecnológico
de Costa Rica

Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados - AyA

Propuesta de diseño de una estrategia de Mantenimiento Predictivo
Inteligente en la Dirección de Sistemas de Bombeo del AyA

Para optar por el título de

Ingeniería en Mantenimiento Industrial

Con el grado académico de

Licenciatura

Leonardo Francisco Dorado Alvarado

Cartago, julio 2020

Información del Estudiante

Nombre completo	Leonardo Francisco Dorado Alvarado.
Número de cédula	1-1454-0207
Número de carné	200948468
Números de teléfono	(+506) 8349-7269
Correo electrónico	leodorado91@gmail.com
Dirección exacta de domicilio	Costa Rica, Provincia de Heredia, Cantón San Pablo. Rincón de Sabanilla, Residencial Rincón Verde II. Casa 33-D.

Información del Proyecto

Nombre del Proyecto	Propuesta de diseño de una estrategia de Mantenimiento Predictivo Inteligente en la Dirección de Sistemas de Bombeo del AyA.
Profesor Asesor	Ing. Joshua Guzmán Conejo
Correo electrónico	joguzman@itcr.ac.cr
Horario de Trabajo	Lunes a viernes. De 7:30am a 5:00pm.

Información de la Empresa

Nombre:	Instituto de Acueductos y Alcantarillados (AyA). Dirección de Sistemas de Bombeo del Gran Área Metropolitana.
Actividad Principal	Mantenimiento y gestión de las Distintas Estaciones de Bombeo del Gran Área Metropolitana.
Dirección:	Costa Rica, Provincia de San José, Plantel De Rebombeo La Uruca. De la Plaza de Deportes de la Uruca, 300 metros al norte.
Contacto:	Ing. Emerson Campos Sandoval.
Correo electrónico	emcampos@aya.go.cr



Carta De Entendimiento

TEC | Tecnológico
de Costa Rica

SIBITEC

CARTA DE ENTENDIMIENTO

Fecha: 10 de Agosto del 2020

Señores
Instituto Tecnológico de Costa Rica
Sistema de Bibliotecas del Tecnológico

Yo Leonardo Francisco Dorado Alvarado

carné No. 200948468, sí autorizo no autorizo, al Sistema de Bibliotecas del Tecnológico (SIBITEC), disponer del Trabajo Final de graduación, del cual soy autor, para optar por el grado de Licenciatura en la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Industrial, presentado en la fecha 30 de julio del 2020, con el título Propuesta de diseño de una estrategia de Mantenimiento Predictivo Inteligente en la Dirección de Sistemas de Bombeo del AyA.

para ser ubicado en el Repositorio Institucional y Catálogo SIBITEC, con el objetivo de ser visualizado a través de la red Internet.

Firma de estudiante:



Correo electrónico:

leodorado91@gmail.com

Cédula No.:

1-1454-02-07

Dedicatoria

A mi madre, que con esfuerzo y dedicación luchó día a día para lograr que sus hijos fueran profesionales y humildes. Su ahínco y anhelos fueron parte del motor para culminar y lograr este sueño.

A mi hermana, quien siempre ha estado presente para apoyarme en mis locuras y deseos, mostrándome la pasión que se puede tener por una profesión.

A mi padre, quien siempre fue mi compañero, modelo a seguir y será por siempre mi anhelo y suspiro.

A mis grandes “Benavides”, quienes estuvieron en todo este trayecto, caminando conmigo y siendo apoyo incondicional.

Todas esas personas que sabiéndolo o no, han venido a sumar a este proceso tanto profesional como personal.

Agradecimiento

Mi completo agradecimiento al Ing. Emerson Campos Sandoval, por todo el apoyo y confianza brindada durante el proceso de práctica profesional.

Al ingeniero Ariel Rodríguez, que de manera siempre colaborativa brindó toda la asistencia necesaria.

Al técnico César Artavia Herrera, pues su experticia y dedicación fueron de bastante insumo para entender una solución que incluyera todas las necesidades y entender el total escenario de la Dirección.

A todo el personal de la Dirección de Sistemas de Bombeo del Instituto de Acueductos y Alcantarillados, pues siempre brindaron su ayuda y colaboración para conmigo.

Al profesor Ing. Joshua Guzmán Conejo, pues sus aportes e ideas fueron de gran ayuda para aterrizar las mil ideas que surgieron con este proyecto.

Agradezco por final, a toda persona que me brindara su ayuda y asistencia dentro de la institución para lograr la culminación de este proyecto.

Resumen

En la gran área metropolitana costarricense el departamento encargado de la gestión y mantenimiento de las 138 estaciones de bombeo con sus respectivos equipos es la Dirección de Sistemas de Bombeo, adscrita al Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA), fundado en 1961.

Ante la necesidad de abastecer de manera continua del preciado líquido a más de 3 millones de usuarios, así como el establecimiento de nuevos puntos de abastecimiento para una población en crecimiento, la Dirección de Bombeo actualmente tiene instaurado un modelo de gestión basado en el conocimiento, el cual aprovecha la gran cantidad de información con la que cuenta la intendencia. Sin embargo, es tanta la información generada de mantenimiento y el movimiento de activos, que para el ingeniero encargado del sistema de gestión se ha vuelto una tarea laboriosa el hecho de gestionar el control de los índices instaurados en dicho sistema, lo que afecta la disponibilidad de los equipos causando tareas de mantenimiento crítico que podrían llegar a costar 257 496 960,00 CRC anuales, tomando en cuenta un evento anual en cada una de las estaciones y con un monto promedio de 2 011 695,00 CRC.

Se aplicó una evaluación del sistema de gestión donde se definió especial problema en el proceso de medición y gestión de índices, por lo que se evaluó los procesos utilizados para la obtención de información

Utilizando un análisis FODA se establecieron los tipos de tareas que podrían beneficiar en buena manera al sistema actual.

Utilizando la norma VDI 2893:2006, se realizó un cuadro de mando integral para presentar el manejo de los índices actuales y las mejoras planteadas, los cuales serían utilizadas las estrategias planteada.

Reconociendo las necesidades del departamento, se establece una reunión con el área encargada de sistemas de información de la compañía donde se establece la mejor opción para plantear la estrategia.

Dicha estrategia de mantenimiento se basa en el predictivo inteligente basado en el monitoreo de variables, así como la medición y control de índices que lleva la estación. Utilizando las herramientas posibles dentro de la organización, se establece una relación de la información de los equipos y las plataformas *PowerApps*, *SharePoint*, y *Microsoft Access*, colaborando a la disminución de tiempo invertido en varios puestos que intervienen el proceso total de manipulación de índices, así como la formalización de los equipos y variables necesarias para llevar el control predictivo de las estaciones de bombeo.

Tomando en cuenta que, de aplicarse correctamente, el departamento experimentaría un ahorro corporativo y operacional de alrededor 50 706 662,30 CRC anuales, la necesidad de adquisición de equipo de medición predictiva por un monto aproximado de 16 919 931,17 CRC y con los gastos que representaría una plaza extra para el control del sistema de 374 987,14 CRC mensuales, se obtiene un VAN privado de 364 736 938,54 CRC considerando una tasa de descuento del 8,3% establecida por la entidad gubernamental pertinente en un plazo de 10 años.

Palabras Claves:

Análisis FODA, Bases de datos, Evaluación de Efectividad de mantenimiento, Mantenimiento Predictivo Inteligente, Sistemas de Bombeo, VDI 2893:2006. Selección y Formación de Indicadores de Mantenimiento

Abstract

In the large metropolitan area of Costa Rica, the department in charge of managing and maintaining the 138 pumping stations with their respective teams is the Directorate of Pumping Systems, attached to the Costa Rican Institute of Aqueducts and Sewers (AyA), founded in 1961.

Given the need to continuously supply the precious liquid to more than 3 million users, as well as the establishment of new supply points for a growing population, the Pumping Directorate currently has a knowledge-based management model in place, which takes advantage of the large amount of information that the mayor has. However, there is so much information generated from maintenance and the movement of assets that it has become a laborious task for the engineer in charge of the management system to manage the control of the indexes installed in said system, which affects availability. of equipment causing critical maintenance tasks that could cost 257 496 960,00 CRC per year, considering an annual event in each of the stations and with an average amount of 2 011 695,00 CRC.

An evaluation of the management system was applied where a problem was defined in the process of measurement and management of indexes, for which the processes used to obtain information and evaluated it.

Using a SWOT analysis, the types of tasks that could benefit the current system in a good way were established.

Using the VDI 2893: 2006 standard, a balanced scorecard was made to present the management of the current indexes and the improvements proposed, which would be used within proposed strategy.

Recognizing the needs of the department, a meeting was established with the area in charge of informational systems of the company where the best option was established to propose the strategy.

Said maintenance strategy is based on the intelligent predictive system based on the monitoring of variables, as well as the measurement and control of indices carried by the station. Using the possible tools within the organization, a relationship is established between the information of the process and the applications *PowerApps*, *SharePoint*, and *Microsoft Access* platforms, collaborating to reduce the time invested in various positions that intervene in the total process of index manipulation, as well as the formalization of the equipment and variables necessary to carry out the predictive control of the pumping stations.

Taking into account that, if applied correctly, the department would experience a corporate and operational savings of around 50 706 662.30 CRC per year, the need to acquire predictive measurement equipment for an approximate amount of 16 919 931.17 CRC and with the expenses that would represent an extra place for the control of the system of 374 987.14 CRC monthly, a private VAN of 364 736 938.54 CRC is obtained considering a discount rate of 8.3% established by the relevant government entity within a period of 10 years.

Key Words:

SWOT Analysis, Databases, Maintenance Effectiveness Assessment, Intelligent Predictive Maintenance, Pumping Systems, VDI 2893: 2006. Selección y Formación de Indicadores de Mantenimiento

Índice General

Información del Estudiante	i
Información del Proyecto.....	i
Información de la Empresa	i
Carta De Entendimiento	ii
Dedicatoria	iii
Agradecimiento	iv
Resumen.....	v
Abstract.....	viii
Índice General.....	xi
Índice de Tablas.....	xv
Índice de Figuras.....	xviii
Abreviaturas	xxi
Capítulo 1 Reseña de la Empresa	1
1.1. Visión y Misión de la empresa	3
1.2. Dirección de Sistemas de Bombeo del GAM.....	4
1.3. Descripción del Proceso Productivo	7
1.3.1. Estaciones y Equipos de Bombeo.....	7
1.3.2. Gestión Actual del mantenimiento.....	14
1.3.3. Medición de Variables e Indicadores de la Dirección de Sistemas de Bombeo del AyA.....	19
Capítulo 2 Marco Teórico	34
2.1. Evaluación de la Efectividad del departamento de Mantenimiento.....	35
2.2. Análisis FODA	35
2.3. Norma VDI 2893:2006. Selección y Formación de Indicadores de Mantenimiento	37
2.4. Trazabilidad	42

2.5. Mantenimiento Predictivo Inteligente en un Escenario de Industria 4.0.....	46
2.5.1. Mantenimiento Predictivo.....	46
2.5.2. Industria 4.0	48
2.5.3. Mantenimiento Predictivo Inteligente (IpdM)	50
2.6. Justificación y Análisis Privado-Social Para Proyectos de Mantenimiento Predictivo.....	53
Capítulo 3 Planteamiento del Problema.....	58
3.1. Descripción del Problema.....	59
3.2. Objetivos Generales	66
3.3. Objetivos Específicos	66
3.4. Justificación	67
3.5. Viabilidad	69
3.6. Alcance.....	70
3.7. Limitaciones.....	71
3.8. Metodología.....	72
Capítulo 4 Desarrollo.....	75
4.1. Análisis de Evaluación MES a la Dirección de Sistemas de Bombeo del GAM..	76
4.2. Procedimiento para la Toma de Datos en Estaciones de Bombeo.....	83
4.2.1. Procedimiento Actual	83
4.2.2. Opciones de Mejora al Proceso de Toma de Datos.....	88
4.2.3. Equipos más Comunes en Estaciones.....	91
4.3. Propuesta Esquemática para la Toma de Datos en Estaciones de Bombeo.....	93
4.4. Análisis FODA: Procedimiento para la toma de Datos en Estaciones de Bombeo	99
4.5. Cuadro de Mando Integral para los Índices de Mantenimiento de la Dirección de Sistemas de Bombeo.....	103
4.5.1. Indicadores dentro de la Dirección de Sistemas de Bombeo del GAM	103
4.5.2. Comparación de Índices contra VDI 2893:2006.....	104

4.5.3. Opciones de Mejoras	104
4.6. Preámbulo del Sistema de Mantenimiento Inteligente.....	110
4.6.1. Herramientas Digitales y de Comunicación Existentes	110
4.6.2. Plataforma Digital Por Utilizar	115
4.6.3. Necesidades Técnicas y Administrativas Previas Visibles	116
4.7. Sistema Propuesto	119
4.7.1. Etapas del Sistema IPdM.....	119
4.7.2. Prácticas Predictivas Por Implementar y Necesidades de Equipos	123
4.7.3. Modelo Descriptivo de Programación	126
4.7.4. Necesidades GUI	143
4.7.5. Interfaces de Uso	144
4.7.6. Enlace a Sistema Final.	147
4.7.7. Consideraciones Finales.....	148
4.8. Análisis Económico.....	148
4.8.1. Definición y Realidad de la Estrategia Planteada.....	148
4.8.2. Impacto Económico Social y Privado de la Estrategia Planteada.	149
4.8.3. Justificación de la Inversión en la Estrategia Planteada.	161
Capítulo 5 Conclusiones y Recomendaciones	166
Apéndices	171
Apéndice 1. Evaluación de la Efectividad de Mantenimiento. Encuesta Aplicada ...	171
Apéndice 2. Balance Scorecard	176
Apéndice 3. Codificación de las Estaciones de Bombeo de la Dirección de Sistemas de Bombeo del GAM.	177
Anexos	180
Anexo 1 ME-PR-07: Mediciones y Análisis de variables Eléctricas e Hidráulicas ...	180
Anexo 2 Proyección de Compras de Equipo de la Dirección de Bombeo del GAM para el año 2020.....	186

Anexo 3 Fichas Técnicas de Equipos más Comunes en las Estaciones de Bombeo	190
Bomba. Marca: Weir. Modelo: SDC 150/200	190
Motor. Marca: WEG. Modelo: HFG	192
Variador de Frecuencia. Marca: ABB. Modelo: ACS800.....	195
Bomba. Marca: Peerless Pumps. Modelo: F2-830AM-BF.....	196
Bomba. Marca: Goulds. Modelo: 9THC-4	198
Motor. Marca: SAER. Modelo: MS251-250	200
Variador de Frecuencia. Marca: WEG. Modelo: NACFW110312T4SZ	202
Bibliografía	204

Índice de Tablas

Tabla 1. Cantidad de Personal de la Dirección de Sistemas de Bombeo según su Área o Sector por Tipo de Puesto.....	6
Tabla 2. Cantidad de Estaciones según su tipo y Área.....	12
Tabla 3. Cuadro B.1 Frecuencia de muestreo y número de muestras a recolectar en las fuentes de abastecimiento y red de distribución para el control operativo (CO)	16
Tabla 4. Cuadro 1: Parámetros de Calidad del Agua. Control Operativo (CO)	17
Tabla 5. Criterios y Aportes Porcentuales para la Probabilidad de Falla.....	21
Tabla 6. Índices según el Rango de Medición de Aislamiento del Motor	23
Tabla 7. Índices según la Diferencia Porcentual existente entre Caudal Medido y el de Diseño	24
Tabla 8. Índices según la Diferencia Porcentual existente entre Caudal Medido y el de Diseño	25
Tabla 9. Aporte Individual según criterio a la Probabilidad de Falla de Equipos de la Dirección de Sistemas de Bombeo	26
Tabla 10. Índices según el valor Promedio de Frecuencias de Fallos en una Estación de Bombeo.....	28
Tabla 11. Índices según la Implicación para definir la Criticidad de la Estación de Bombeo.....	29
Tabla 12. Metodología Seguir para la Elaboración del Proyecto.....	72
Tabla 13. Resultados de la Aplicación de la Evaluación MES a la Dirección de Sistemas de Bombeo.....	76
Tabla 14. Puntaje por Pregunta (de menor a mayor) para Áreas con menor calificación en la evaluación MES	79
Tabla 15. Instrumentos de Medición utilizados durante la Toma de Mediciones	84
Tabla 16. Inversión Estimada dentro de la Dirección de Sistemas de Bombeo para el 2020	92
Tabla 17. Equipos más comunes según Tipo de Estación de Bombeo	92
Tabla 18. Matriz de Impacto FODA.....	100

Tabla 19. Características y comparativas de los Indicadores de la Dirección de Sistemas de Bombeo del GAM	104
Tabla 20. Números Básicos Propuestos.	107
Tabla 21. Comparativa de Plataformas para Seleccionar El motor y el alojamiento de datos.	115
Tabla 22. Ejemplos de la codificación propuesta ya aplicada a los equipos.	119
Tabla 23. Tareas Predictivas Propuestas a Implementar	124
Tabla 24. Variables para la Tabla Estación de Bombeo.....	126
Tabla 25. Variables para la Tabla Equipo	128
Tabla 26. Variables para la Tabla Medición.	129
Tabla 27. Nomenclaturas utilizadas para el Diseño UML y Descriptivo	133
Tabla 28. Paso a Paso para la generación de Registros en la Tabla Medición.	137
Tabla 29. Ejemplo de Registro de la Tabla %Falla	137
Tabla 30. Paso a Paso para la generación de Registros de la Tabla %Falla.....	138
Tabla 31. Ejemplo de Registro de la Tabla Criticidad	140
Tabla 32. Paso a Paso para la generación de Registros de la tabla Criticidad	141
Tabla 33. Ejemplo de Registro de la Tabla Trazabilidad.....	142
Tabla 34. Paso a Paso para la generación de Registros de la tabla Trazabilidad	142
Tabla 35. Impactos Económicos de la Estrategia Propuesta.	149
Tabla 36. Estimación de Gasto por Mano de Obra en el proceso de Medición y Gestión de Índices.....	150
Tabla 37. Cotización por el sistema de Etiquetas RFDI	151
Tabla 38. Inversión necesaria para la aplicación de Prácticas Predictivas	152
Tabla 39. Reducciones Esperadas	153
Tabla 40. Proyección de Flujo de Caja Privada para un periodo de 10 años (montos en CRC)	155
Tabla 41. Resultados del Flujo de caja de la Tabla 40.....	156
Tabla 42. Inversión Social	157
Tabla 43. Precios Sombras de Mano de Obra	158
Tabla 44. Proyección de Flujo de Caja Social para un periodo de 10 años (montos en CRC)	159

Tabla 45. Cálculo de Montos por Medición 162

Índice de Figuras

Figura 1 Esquema Organizacional y Sectorización por ubicación de la Dirección de Sistemas de Bombeo del GAM del AyA.	4
Figura 2. Diagrama mostrando la operación y captación de agua simplificado del AyA. (Caso A, Estaciones de Bombeo CNP, Caso B, Estación de Bombeo Pozo Zoológico)	7
Figura 3. Estación de Bombeo con Sistema Tipo Booster con equipo Sumergible (Estación de Bombeo San Antonio, Área 5).....	9
Figura 4. Diagrama de Instalación Estaciones Tipo Bombeo o Rebombeo con Equipo Exterior.....	10
Figura 5. Diagrama de Instalación Estaciones Tipo Pozo Profundo con Turbina.....	11
Figura 6. Diagrama de Instalación Estaciones Tipo Pozo Profundo con equipo Sumergible.....	11
Figura 7. Distribución Porcentual respecto a la Cantidad Total de Estaciones de Bombeo según su Tipo	13
Figura 8. Modelo de Gestión de Mantenimiento Basado en el Conocimiento para la Dirección de Sistemas de Bombeo del GAM del AyA.	18
Figura 9. Relación entre los medios de Recopilación de Información y la Toma de Decisiones de la Dirección de Sistemas de Bombeo del AyA.....	20
Figura 10. Matriz de Criticidad	30
Figura 11. Etiqueta de Trazabilidad utilizadas por la Dirección de Sistemas de Bombeo	30
Figura 12. Ejemplo de Registro de Trazabilidad para el Pozo CNP-01.....	32
Figura 13. Estrategias Derivadas del Análisis FODA	37
Figura 14. <i>Balanced Scorecard</i> para mantenimiento	38
Figura 15. Diagrama de Flujo para la formación de indicadores.	40
Figura 16. Niveles de Jerarquía dentro de la Pirámide de Indicadores.	41
Figura 17. Esquema del Mantenimiento Predictivo Inteligente -IpdM- en la industria 4.0.	50

Figura 18. Bitácora de Medición de uno de los Técnicos Electromecánicos de Medición para la estación Rebombeo la Uruca.	61
Figura 19. Extracto de Hoja de Cálculo de las mediciones de las distintas Estaciones de Bombeo.....	62
Figura 20. Extracto de Hoja de Cálculo ideada por el Ingeniero de Gestión de Mantenimiento para el Cálculo de la Probabilidad de Falla.....	62
Figura 21. Extracto de Hoja de cálculo utilizada para definir Criticidad a cada Estación de Bombeo.....	63
Figura 22. Ubicación de los Proyectos del Programa de Agua Potable y Saneamiento (PAPS) del AyA para el presente periodo.	67
Figura 23. Gráfico Radial para los datos de la Tabla 13.	77
Figura 24. Gráfico Radial para la Auditoría MES realizada en el 2018	78
Figura 25. Proceso de Ubicación de Transductores para la medición de variables en la estación de Rebombeo Uruca.....	85
Figura 26. Instrumentos de Medición de Caudal.....	86
Figura 27. Flujograma de la Adquisición de Variables y relación de Índices utilizado actualmente en la Dirección de Sistemas de Bombeo.	93
Figura 28. Diagrama de Flujo de los Participes dentro del Proceso de Medición actual de la Dirección de Sistemas de Bombeo.	94
Figura 29. Procedimiento Propuesto para la Adquisición de Datos y Relación con los índices del Sistema de Gestión Interno.....	96
Figura 30. FODA de Proceso de Medición de Variables.....	99
Figura 31. Valor Porcentual Total por Tipo de Estrategia según Análisis FODA.....	101
Figura 32. Aporte Individual Porcentual para cada apartado según análisis FODA. ...	102
Figura 33. Perspectivas y Meta Propuestos para la Definición del Sistema de Indicadores.....	105
Figura 34. Detalles Técnicos de la Computadora Tipo Netbook utilizada por Técnicos de Medición.....	110
Figura 35. Licencias de una cuenta de usuario en la plataforma Microsoft® en el dominio aya.go.cr.....	111
Figura 36. Propuesta de Codificación para las Estaciones de Bombeo.....	117

Figura 37. Propuesta de Codificación para los equipos.	118
Figura 38. Niveles de Comparación recomendados a la hora de aplicar prácticas predictivas	123
Figura 39. Modelación UML del Sistema de Bases de Datos y Control de Indicadores	132
Figura 40. Modelo Descriptivo del Sistema Propuesto.....	134
Figura 41. Ventana Principal de Aplicación Generada para los Técnicos de Medición.	145
Figura 42. Pantalla de ingreso de Datos de Medición.....	146

Abreviaturas

AyA	Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados.
CCO	Centro de Control Operacional del AyA.
CMI	Cuadro de Mando Integral. También conocido como <i>Balanced Scorecard</i> , BSC siendo su acrónimo en inglés.
CMMS	<i>Computerized Maintenance Management System</i> , por sus siglas en inglés. Sistema computarizado de gestión del mantenimiento.
COVENIN	Comisión Venezolana de Normas Industriales
CPS	<i>Cyber-physical Systems</i> , por sus siglas en inglés. Sistemas Ciberfísicos.
FODA	Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas
GAM	Gran Área Metropolitana de Costa Rica.
GMAO	Gestión del Mantenimiento Asistido por Ordenador.
GUI	<i>Graphical User Interface</i> , por sus siglas en inglés; Interfaz Gráfica de Usuario.
IIoT	Internet Industrial de las Cosas
IoS	<i>Internet of Services</i> , por sus siglas en inglés. Internet de Servicios
IpdM	<i>Intelligent Predictive Maintenance</i> , por sus siglas en inglés. Mantenimiento Predictivo Inteligente.
ISO	<i>International Organization for Standardization</i> , por sus siglas en inglés. Organización Internacional de Normalización.
IT	<i>Information Technologies</i> , por sus siglas en inglés; Tecnologías de la Información.
KPI	<i>Key Performance Indicators</i> , por sus siglas en inglés. Indicadores Claves de Rendimiento.

LOTTO	<i>Lock Out & Tag Out</i> , por sus siglas en inglés. Bloqueo y etiquetado para energías peligrosas.
MES	Maintenance Effectiveness Survey.
NA	No aplica.
NP	<i>Nondeterministic Polynomial Time</i> , por sus siglas en inglés. Tiempo polinomial no determinista.
pH	Potencial de Hidrógeno.
RUL	<i>Remaining Useful Time</i> , por sus siglas en inglés. Vida Útil Remanente.
SQL	<i>Structured Query Language</i> , por sus siglas en inglés. Lenguaje de consulta estructurada.
SysML	<i>System Modeling Language</i> , por sus siglas en inglés. Lenguaje de Modelación de Sistemas.
TB	Terabyte.
UML	<i>Unified Modeling Language</i> , por sus siglas en inglés. Lenguaje unificado de modelado.

Capítulo 1 Reseña de la Empresa

El Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados¹ surge a partir de la necesidad de una respuesta al asunto del agua, desde su distribución como el sistema de alcantarillado. Inicialmente, mediante la *Ley de Aguas* emitida en 1942, la Asamblea Legislativa disponía en su artículo 41 que todos los acueductos del país eran patrimonio del Estado, que las nuevas obras de este tipo las operaría el Ministerio de Salubridad Pública y que los acueductos administrados por las municipalidades continuarán así hasta que se decretara su nacionalización.

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

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

El Servicio Nacional de Acueductos y Alcantarillados fue creado mediante la Ley 2726 emitida por la Asamblea Legislativa el 14 de abril de 1961 bajo la administración de Mario Echandi Jiménez, con los años. Asumiría su nombre al actual.

¹ De ahora en adelante, AyA.

1.1. Visión y Misión de la empresa

Referente a la misión del AyA, se establece como tal:

“Asegurar el acceso universal al agua potable y al saneamiento de forma comprometida con la salud, la sostenibilidad del recurso hídrico y el desarrollo económico y social del país.”

Por su parte, la visión con la que cuenta la empresa, prosa:

“Ser la institución pública de excelencia en rectoría y gestión de los servicios de agua potable y saneamiento para toda la población del país.”

1.2. Dirección de Sistemas de Bombeo del GAM

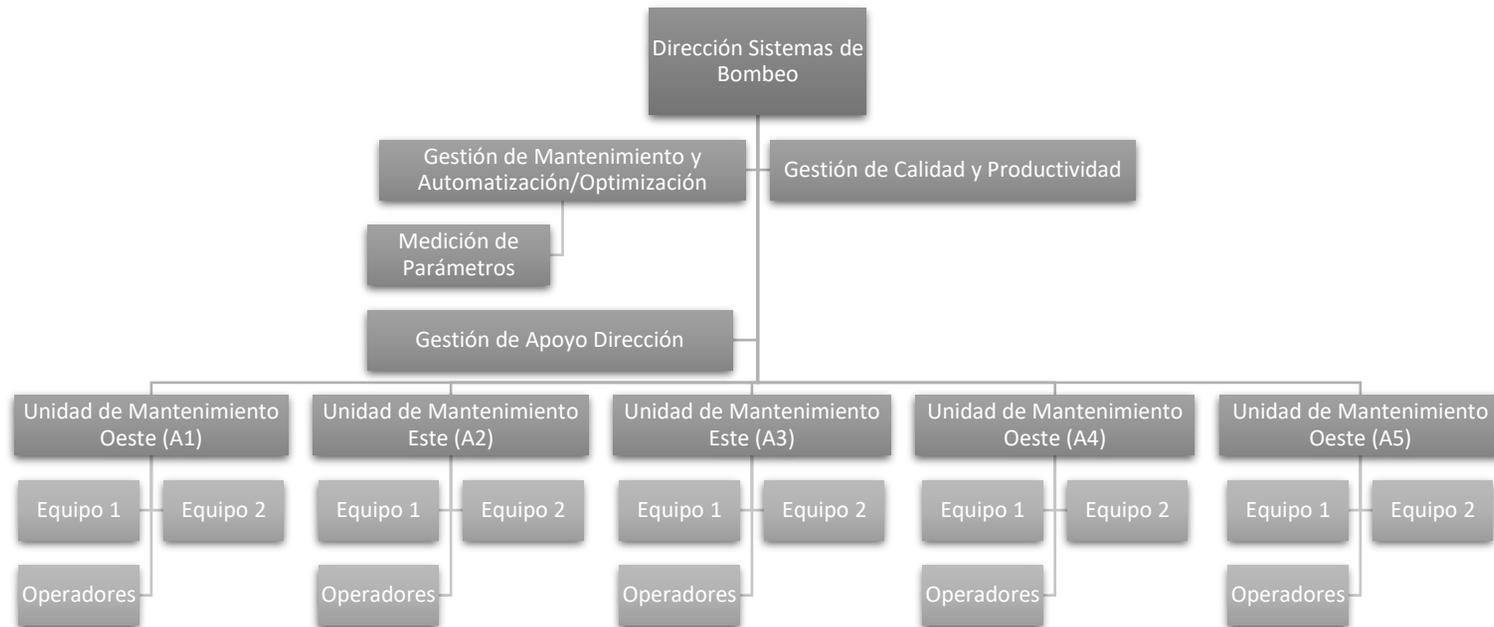


Figura 1 Esquema Organizacional y Sectorización por ubicación de la Dirección de Sistemas de Bombeo del GAM del AyA.

Fuente: (Rodríguez, 2020)

Dentro del esquema organizacional del AyA, existe una dirección encargada del mantenimiento, gestión, ejecución y manejo administrativo de las distintas estaciones de bombeo de la GAM. Para lograr sus objetivos diarios, la Dirección de Sistemas de Bombeo del GAM, sectoriza estratégicamente el área geográfica de trabajo en cinco áreas, tal cual muestra la Figura 1; donde cada una cuenta respectivamente con su jefatura, dos equipos de trabajo y un grupo de operadores.

Cabe mencionar que el área A5 es la más reciente y pequeña, con acaso 13 estaciones de medición, pero se encuentra en expansión, la misma abarca los poblados de la zona de Puriscal y sureste del valle central. El área A1 es la zona que alimenta a mayor cantidad demográfica y cuenta con al menos 36 puntos de medición, al igual que las zonas A2 y A4; en el área A3 se encuentran 17 estaciones de bombeo.

Semanalmente, se realiza una reunión donde intervienen el director del departamento, los ingenieros de área, calidad y productividad, así como el de gestión de mantenimiento. En dichas reuniones se abarcan desde comunicados institucionales, así como la planificación de actividades semanales, muestra de índices y avances de tareas para cada área en específico.

Tabla 1. Cantidad de Personal de la Dirección de Sistemas de Bombeo según su Área o Sector por Tipo de Puesto

Área o Sector	Administrativos	Equipo (Técnicos Electromecánicos)	Operadores
Dirección	1	NA	NA
Gestión de Mantenimiento y Automatización/Optimización	42	23	NA
Gestión de Calidad y Productividad	1	NA	NA
Gestión de Apoyo Dirección	3	NA	NA
Unidad de Mantenimiento Oeste (A1)	1	5	10
Unidad de Mantenimiento Este (A2)	1	3	3
Unidad de Mantenimiento Este (A3)	1	4	4
Unidad de Mantenimiento Oeste (A4)	1	4	13
Unidad de Mantenimiento Oeste (A5)	1	4	2

Fuente: (Rodríguez, 2020)

En total, a la fecha de realizado este documento, se contabilizan alrededor de 70 trabajadores dentro de la dirección; 14 administrativos, 22 técnicos y 32 operadores, distribuidos tal cual se observa en la Tabla 1.

² Ingeniero de Gestión de Mantenimiento se encuentra dentro de esta categoría.

³ Técnicos de Medición.

1.3. Descripción del Proceso Productivo

1.3.1. Estaciones y Equipos de Bombeo

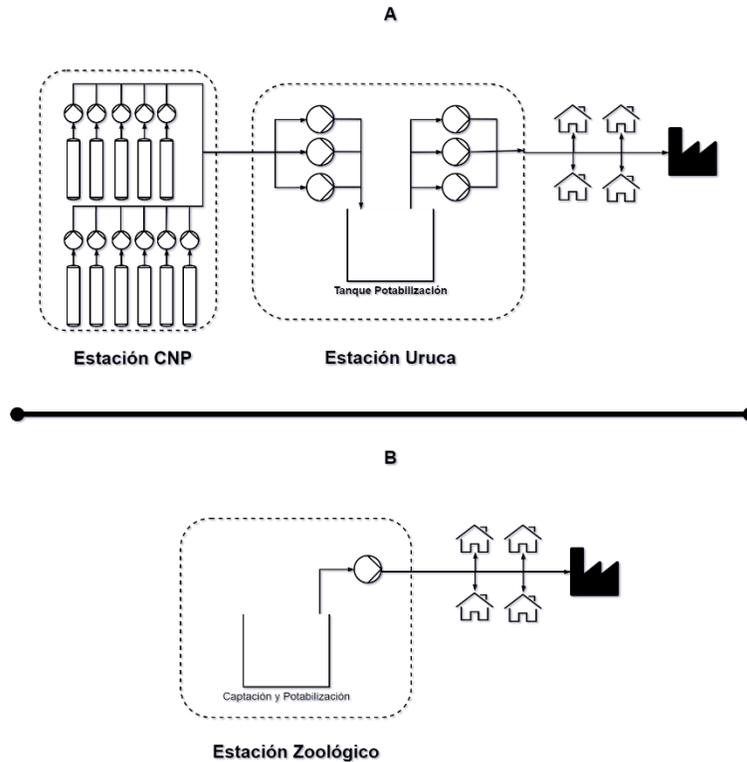


Figura 2. Diagrama mostrando la operación y captación de agua simplificado del AyA. (Caso A, Estaciones de Bombeo CNP, Caso B, Estación de Bombeo Pozo Zoológico)

Fuente: Elaboración Propia, diagrams.net

De acuerdo con la Figura 2, el agua es recolectada inicialmente en los distintos pozos perforados en el terreno costarricense; luego de ser captado, el líquido es direccionado a otras estaciones de bombeo, específicamente a tanques donde es potabilizada en las distintas plantas de tratamiento para luego ser distribuida al área interurbana. Existen ocasiones donde este orden varía, y el bombeo a otras

estaciones no es necesaria, pues en la misma estación se realiza el proceso de potabilización.

Igualmente, en la Figura 2 el caso A representa la situación de los pozos CNP, los cuales, cuando se capta el agua desde sus once puntos de captación, se redirige a la estación de Rebombeo Uruca, donde es tratada y luego se pasa a un tanque para que sea distribuido al público. El caso B, representa el Pozo Zoológico, ubicado en las inmediaciones de Lindora. Este pozo tiene la característica que es tratado directamente en su afluente, por lo que no existe la necesidad de bombearlo a otra estación.

Administrativamente, el GAM se segmenta en cinco zonas principales, contando en total con al menos 300 equipos para el bombeo del líquido, entre los que se incluyen motores de alta potencia, sistemas mecánicos y automáticos de válvulas, sensores y sistemas de control programable de potencia.

Las diferentes instalaciones que debe gestar la Dirección pueden fácilmente clasificarse según el tipo de la estación de bombeo. De esta manera, se pueden identificar las siguientes:

- *Sistema booster de bombeo con equipo sumergible o exterior.*



Figura 3. Estación de Bombeo con Sistema Tipo Booster con equipo Sumergible (Estación de Bombeo San Antonio, Área 5).

Fuente: Elaboración Propia

Utilizados cuando impera la necesidad de elevar la presión dentro de línea de distribución, por lo que su succión es precisamente el ducto de distribución. Las estaciones con sistema booster sumergible varían únicamente en la utilización de un pozo donde se alojaría el conjunto motor-bomba.

- *Estaciones de bombeo o rebombeo con equipos sumergible o exterior.*

Cuando el agua se capta desde un tanque de almacenamiento, y es necesario impulsarle hasta una planta potabilizadora o la línea de distribución, se utilizan las estaciones de bombeo o rebombeo⁴. Al igual que con los sistemas booster, los equipos sumergibles utilizan un pozo poco profundo donde se aloja el equipo electromecánico.

⁴ Esquema B de la Figura 2 sería de este tipo.

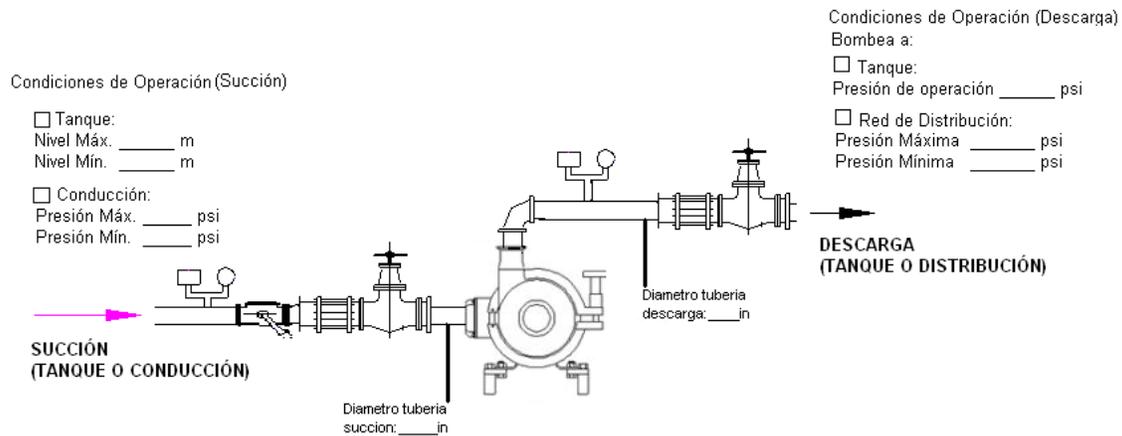


Figura 4. Diagrama de Instalación Estaciones Tipo Bombeo o Rebombeo con Equipo Exterior.

Fuente: (Rodriguez, 2020)

La Figura 4, muestra la conexión estándar para instalar equipos en las estaciones de bombeo o rebombeo. Se aprecia como la alimentación y descarga de la bomba es la misma tubería de distribución, cumpliendo la función de elevar la presión de línea.

- *Pozos profundos tipo turbina o con equipo sumergible.*

En estos sistemas el agua se capta directamente de los flujos subterráneos, donde se realiza una perforación encamisada en tubería especial donde se alojará el equipo a un nivel inferior a la del líquido⁵. La variancia en esta categoría radica en si el motor se encuentra fuera de la perforación (Tipo Turbina) o es un conjunto en unión con la bomba (equipo sumergible).

⁵ Esquema A de la Figura 2 sería de este tipo.

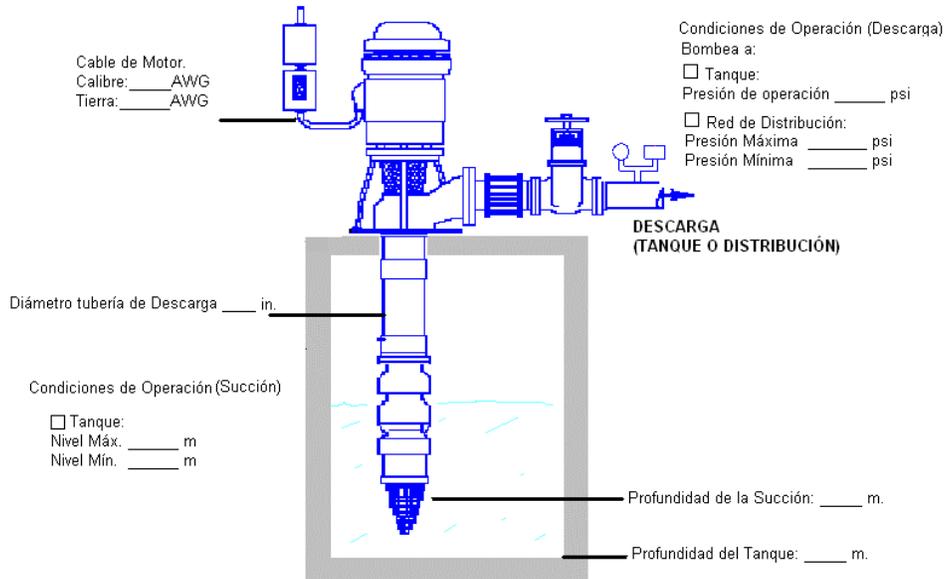


Figura 5. Diagrama de Instalación Estaciones Tipo Pozo Profundo con Turbina.

Fuente: (Rodriguez, 2020)

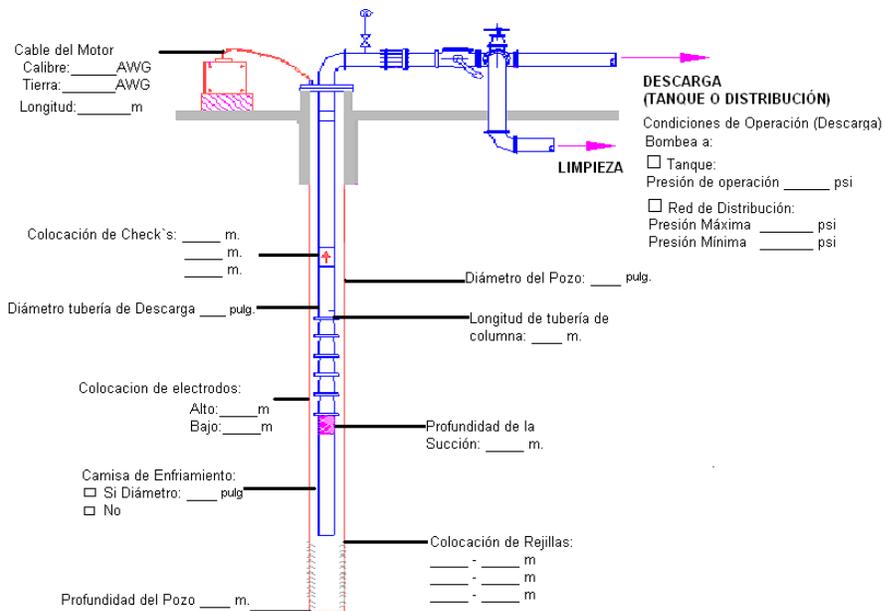


Figura 6. Diagrama de Instalación Estaciones Tipo Pozo Profundo con equipo Sumergible.

Fuente: (Rodriguez, 2020)

La Figura 5 y la Figura 6 representan instalaciones tipo pozo. Al ser estas estaciones de perforación, explica el uso de equipos sumergibles multietapas o turbinas con una columna de aspiración profunda. Aspectos como los niveles del pozo excavado son fundamentales para garantizar el bienestar del bien.

Tabla 2. Cantidad de Estaciones según su tipo y Área

Tipo de Estación de Bombeo	Área 1	Área 2	Área 3	Área 4	Área 5	Total
Booster con Equipo Exterior	1	2	1	3	1	8
Booster con Equipo Sumergible	0	2	1	2	0	5
Estación Rebombeo-Bombeo con equipo sumergible	1	10	2	9	6	28
Estación Rebombeo-Bombeo con equipo exterior	3	8	6	7	6	30
Pozo Profundo con equipo sumergible	31	14	7	14	0	66
Pozo Profundo Tipo Turbina	0	0	0	1	0	1
<i>Total</i>	36	36	17	36	13	138

Fuente: Elaboración Propia, Microsoft Excel 2019

La Tabla 2 contrasta la cantidad de estaciones según su tipo, distribuidos en las cinco áreas mencionadas anteriormente.

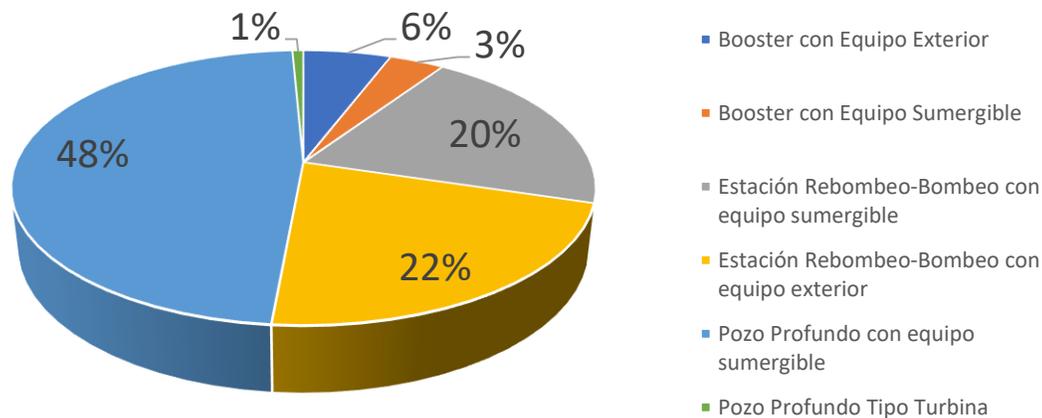


Figura 7. Distribución Porcentual respecto a la Cantidad Total de Estaciones de Bombeo según su Tipo

Fuente: Elaboración Propia, Microsoft Excel 2019

Siendo la Figura 7 un resumen de los datos de la Tabla 2, se puede evidenciar como casi la mitad de la totalidad de estaciones es de tipo pozo profundo, donde tan solo un 1% es de tipo turbina, predominando el pozo profundo. Seguidos de esta categoría se encuentran las estaciones de rebombero o bombeo con una totalidad del 42% y, por último, menos de un 10% del total son estaciones tipo booster.

Cada estación de bombeo cuenta con sus dispositivos de arranque de equipos, con predominancia de variadores de frecuencia trifásicos⁶ para suplir necesidades de flujos variables y ahorro económico de la estación, centros de carga trifásicos como barrajes superiores a los 300 A, elementos mecánicos como válvulas manuales tipo compuerta o válvulas antirretroceso para tuberías de hierro superiores a las 22 pulgadas y caudales de al menos 200 litros por segundo, junto con instrumentos de

⁶ Para ejemplos de modelo, referirse a los Anexos y la Tabla 17.

medición y control donde resalta dispositivos como el Siemens SENTRON PAC⁷, sensores hidráulicos, y los sensores de control, protección y alarma del sistema.

1.3.2. Gestión Actual del mantenimiento

La Dirección de Sistemas de Bombeo es la encargada de gestar el mantenimiento, control, diseño y construcción de las estaciones de bombeo dentro de los límites geográficos establecidos por el AyA.

Para su programación de actividades, se toman en cuenta aspectos tales como:

- Estación climática actual: durante la época seca, la demanda operativa a los equipos de bombeo es mayor en comparación con la estación lluviosa. Esto ocasiona que los mecanismos cuenten con menores y más distantes lapsos para intervenciones de mantenimiento y programación de actividades. Por tales motivos, se aprovecha la estación seca para realizar actividades infraestructurales y mantenimiento de facilidades.
- Tipo de equipos y de bombeo de la estación⁸.
- Presencia de equipos de respaldo.
- Presencia de sistemas de cloración: este aspecto es de fundamental importancia debido a su impacto al sistema y a la población. Al estar regulada y normada una estación bombeo como una fuente de abastecimiento y red de distribución según el artículo 12 de Reglamento para la Calidad del Agua

⁷ Multímetro digital instalado en campo con opción de evaluar, monitorizar y registrar variables eléctricas.

⁸ En la sección 4.2.3 Equipos más Comunes en Estaciones se pueden visualizar los equipos predominantes.

Potable; se hace necesario un control de calidad del agua y parámetros de análisis obligatorio, estableciéndose los siguientes niveles:

- Nivel Primero (N1): se regulan variables como color aparente, conductividad, coliforme fecal, cloro residual libre y combinado, turbiedad, ph y temperatura.
- Nivel Segundo (N2): cantidad de miligramos por litro de aluminio, calcio, cloruro, cobre, fluoruro y hierro, entre otras; son las variables consideradas a este nivel.
- Nivel Tercero (N3): concentraciones de amonio, antimonio, cadmio, níquel y otros elementos metales en valores de miligramos por litro se evalúan en esta categoría.

Tabla 3. Cuadro B.1 Frecuencia de muestreo y número de muestras a recolectar en las fuentes de abastecimiento y red de distribución para el control operativo (CO)

Población Abastecida [habitantes]	Fuentes de Abastecimiento		Red de Distribución	
	Frecuencia	N° Muestras	Frecuencia	N° Muestras
<2000	Mensual	1 en cada fuente o en la mezcla de todas las fuentes, que ingresa a la red de distribución.	Mensual	1
2001 a 20 000	Quincenal	en cada fuente o en la mezcla de todas las fuentes, que ingresa a la red de distribución.	Quincenal	1
20 001 a 200 000	Semanal	1 en cada fuente o en la mezcla de todas las fuentes, que ingresa a la red de distribución.	Semanal	1
>200 000	Diario	1 en cada fuente o en la mezcla de todas las fuentes, que ingresa a la red de distribución.	Diario	1

Fuente: (Sistema Costarricense de Información Jurídica, 2018)

- Control Operativo. La turbiedad, olor y cloro residual libre se consideran a este grado. La frecuencia de muestreo se puede visualizar en la Tabla 3, así como los valores de alerta y admisibles para este nivel en la Tabla 4, según el Reglamento para la Calidad del Agua Potable.

Tabla 4. Cuadro 1: Parámetros de Calidad del Agua. Control Operativo (CO)

Parámetros de aceptabilidad	Unidad	Valor de alerta (VA)	Valor Máximo Admisible (VMA)
Turbiedad	UNT	1,0	5,0
Olor	-	Aceptable	Aceptable
Cloro residual libre (a)	mg/L	0,3	0,6 (b) (c)

Fuente: (Sistema Costarricense de Información Jurídica, 2018)

- Operación de la estación: si la estación hace uso de un tanque de reserva, colabora para que, durante su tiempo de vaciado, el equipo pueda ser intervenido, caso contrario si se alimentara de la línea de distribución, pues se afecta tanto el caudal como la presión de distribución a los usuarios.
- Ubicación socioeconómica: algunas estaciones de bombeo se ubican en zonas de riesgo social, lo cual amerita la coordinación con cuerpo policial para poder llevar a cabo las labores de mantenimiento.

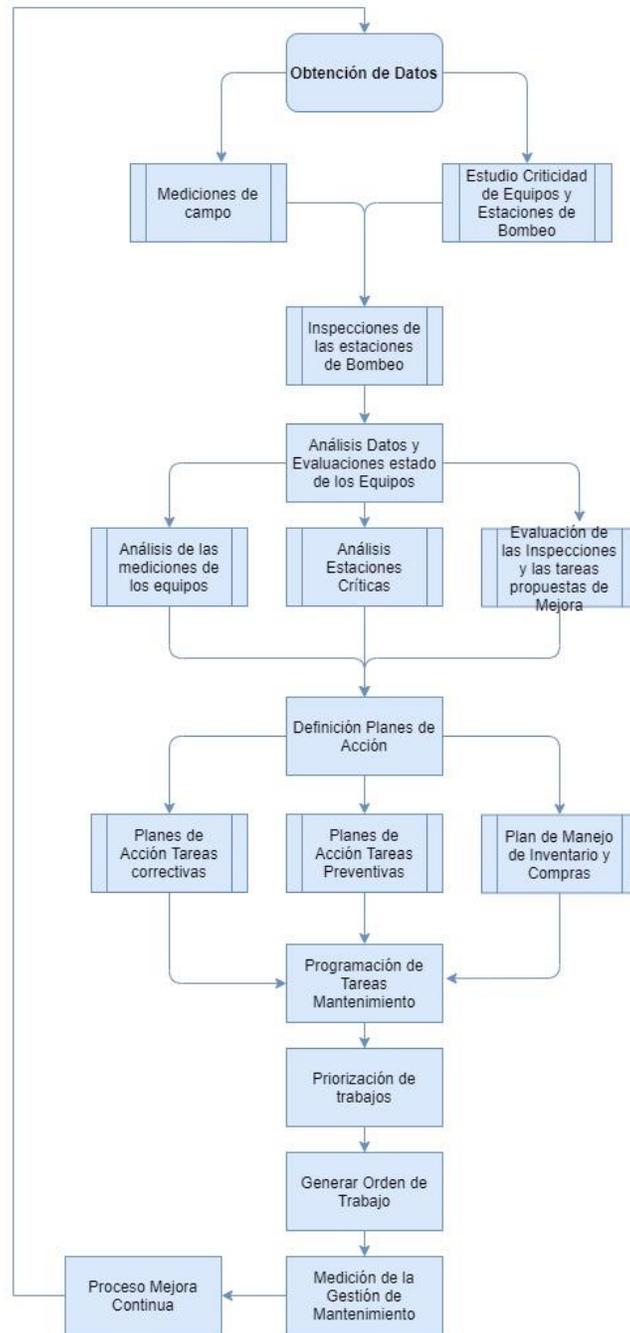


Figura 8. Modelo de Gestión de Mantenimiento Basado en el Conocimiento para la Dirección de Sistemas de Bombeo del GAM del AyA.

Fuente: (Garcia Rodriguez, 2018)

Recientemente, y debido a necesidades del departamento, se instauró un modelo de gestión del departamento basado en el conocimiento, tal cual se observa en la

Figura 8, esto a fin de lograr mejoras sustanciales en el departamento, abarcando temas como generación de órdenes de trabajo, almacenar la información recopilada a través de la experiencia, el conocimiento tácito y el explícito.

Sin embargo, hasta el momento, el manejo de datos, así como su interpretación e historial se lleva a cabo de hojas de cálculo, y al tratarse de varios equipos distintas ubicaciones y variables, se hace engorroso el proceso de manejo de información, registro de mediciones y datos para cada una de las estaciones de bombeo, dificultando así la toma de decisiones por parte de la dirección.

1.3.3. Medición de Variables e Indicadores de la Dirección de Sistemas de Bombeo del AyA

Para definir sus acciones de mejora continua, así como de mantenimiento, la Dirección de sistemas de Bombeo basan su modelo de gestión en el conocimiento, tal cual se muestra en la Figura 8. Para colaborar de lo anterior definen sus equipos y las acciones guiadas a ellos considerando el uso de dos principios: trazabilidad y medición en campo, siendo estas los orígenes de data que se utiliza para el cálculo de los índices.

La Dirección de Sistemas de Bombeo ha invertido capital humano y económico para definir las variables más trascendentales en los equipos para asegurar su operación y función óptima, sin embargo, reconocen no se está implementando la manera más idónea del manejo de datos que garantizarían una más pronta interpretación y respuesta, así como estadísticas casi inmediatas obtenidas de este manejo.

En la medición en campo, una cuadrilla especializada recopila información eléctrica y mecánica para cada estación de bombeo, de acuerdo con la sectorización pertinente y en el plazo de un mes. Esta información es recopilada por los encargados de ingeniería, quienes utilizan esta para establecer los índices del sistema de gestión: Probabilidad de Falla y Criticidad. Luego, con estos indicadores determinados y los registros de trazabilidad, se gesta la toma de decisiones y acciones dentro del esquema gerencial del Departamento.

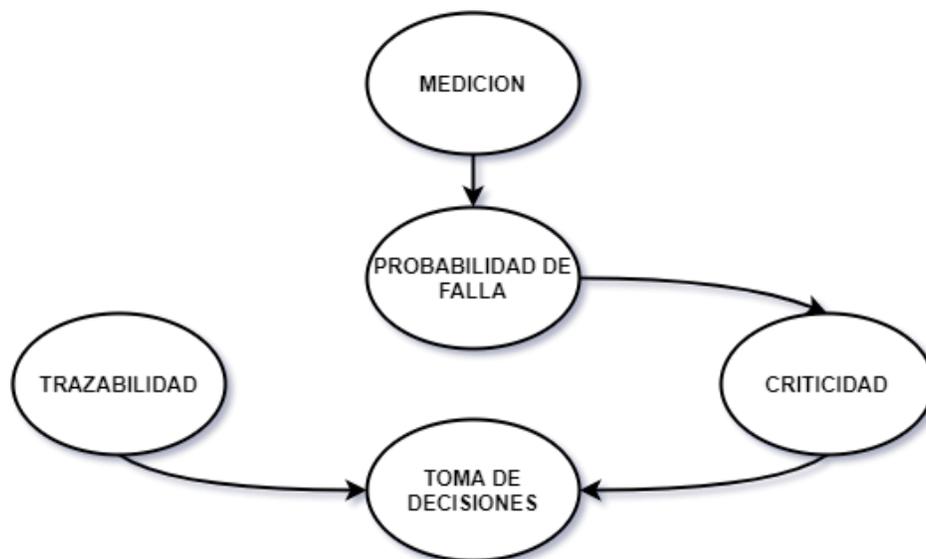


Figura 9. Relación entre los medios de Recopilación de Información y la Toma de Decisiones de la Dirección de Sistemas de Bombeo del AyA.

Fuente: Elaboración Propia, diagrams.net

- Probabilidad de Falla

Es una herramienta usada dentro de la Dirección de Sistemas de Bombeo para considerar aspectos técnicos, así como la utilización del conocimiento tácito generado por el personal.

La probabilidad de falla está establecida como la posibilidad existente para que un equipo se considere en estado de falla. Dicho estado se alcanza cuando el mismo no está cumpliendo su función principal en totalidad, establecida al comparar los resultados medibles del caudal de operación y el actual, la vida media promedio de cada equipo comparada con su tiempo de instalación, el aislamiento actual del motor, y factores varios que el área considere prudente establecer.

Dada su escala, establece un aporte a cada uno de los ámbitos anteriormente mencionados, como se observa en la Tabla 5.

Tabla 5. Criterios y Aportes Porcentuales para la Probabilidad de Falla

Criterio	Aporte Máximo a Probabilidad de Falla [%]
Aislamiento del Motor	40
Diferencia Porcentual de Caudal	20
Vida Media Restante del Equipo	30
Condiciones de Riesgo	10

Fuente: (Garcia Rodriguez, 2018)

Los porcentajes asignados a este indicador surgen de las vivencias y experiencias vividas a lo interno de la Dirección. Es evidente que la mayoría de los equipos presenten modos de falla que se originen desde un apartado eléctrico o mecánico,

lo que muestra el alto porcentaje de las categorías de aislamiento del motor y caudal de operación del equipo.

Las otras dos variables consumen el treinta por ciento restantes, siendo más impactante cuanto tiempo tiene el equipo instalado – y, por consiguiente, sin revisión o mantenimiento- que los riesgos no medibles. Estos representan el aporte más bajo y, por consiguiente, los menos comunes modos de falla a la función del bien.

Cada una de las categorías se amplía a continuación:

Aislamiento del Motor

Se refiere al nivel de aislamiento presente en los aislantes del motor, que evitan que se den corrientes de fuga dentro del mecanismo. Por tanto, a altos niveles de aislamiento, se garantiza que las corrientes circulan únicamente por los devanados y conductores diseñados para este fin.

Es una prueba no destructiva en las condiciones de prueba normales. Se lleva a cabo aplicando una tensión continua dando un resultado en el orden de kW, MW, GW incluso TW. Esta resistencia expresa la calidad del aislamiento entre dos elementos conductores. Su naturaleza no destructiva (puesto que la energía es limitada) hace que esta prueba sea especialmente interesante para el seguimiento del envejecimiento de los aislantes durante el período de explotación de un equipo o de una instalación eléctrica.

Según (García Rodríguez, 2018), se establecen cinco categorías de acuerdo con el nivel obtenido en la prueba de aislamiento de motor:

Tabla 6. Índices según el Rango de Medición de Aislamiento del Motor

Índice	Valor Aislamiento [MΩ]
1	Mayor o igual a 500
2	Entre 499 y 200
3	Entre 199 y 75
4	Entre 74 y 10
5	Menor a 10

Fuente: (Garcia Rodriguez, 2018)

Diferencia Porcentual del Caudal

El caudal es el primer indicador del estado de la bomba. Cuando una bomba disminuye el caudal comparado con el de diseño, puede indicar problemas mecánicos como ejes trabados o barridos, desgaste de los álabes, o daños en la carcasa.

Para establecer el parámetro inicial de comparación de este indicador, se toma la condición de diseño o inicial como la medición primera cuando el equipo se instala en la posición definida dentro de la estación de bombeo, las mediciones consecuentes son mediciones comparativas con dicha primera. Si dicho equipo es intervenido, y luego se vuelve a reacoplar en alguna otra estación o la misma, su registro inicial será de nuevo el recién medido, y no el de la instalación pasada. Dada la experiencia del departamento se establecen los siguientes parámetros:

Tabla 7. Índices según la Diferencia Porcentual existente entre Caudal Medido y el de Diseño

Índice	Caudal Medido / Caudal de Diseño [%]
1	100
2	Entre 100 y 95
3	Entre 95 y 90
4	Entre 90 y 85
5	Menor al 85

Fuente: (Garcia Rodriguez, 2018)

Nótese como la mayor variancia de caudal permisible es del 15%. Esto es importante mencionarlo, debido a que, según norma del departamento, una diferencia del 10% ya es motivo de inspección del equipo.

Vida Media Restante del Equipo

El rubro de vida media del equipo varía según el tipo de motor, dichos valores fueron estimados por la Dirección de Sistemas de Bombeo y establecidos en 3.5 años para motores sumergibles y para motores exteriores se estipulan ocho años.

Para su cálculo, se toma como fecha inicial cuando se instaló el equipo; considerando los límites mencionados en el párrafo anterior, se realiza un porcentual relacionando los años restantes de operación (vida media del motor menos el tiempo de instalación) y el límite de tiempo establecido. Al igual que los demás indicadores mencionados, se establecen cinco categorías según el tiempo instalado:

Tabla 8. Índices según la Diferencia Porcentual existente entre Caudal Medido y el de Diseño

Índice	Años Restantes Vida Util / Años Vida Util [%]
1	Entre 100 y 75
2	Entre 74 y 50
3	Entre 49 y 25
4	Entre 23 y 0
5	Menor a 0 ⁹

Fuente: (Garcia Rodriguez, 2018)

Condiciones de Riesgo

Es común que los equipos experimenten situaciones ajenas a su comportamiento y que no se pueden ver representada en las mediciones, entre estos se encuentran:

- Vibraciones Excesivas
- Sonidos Excesivos
- Temperaturas diferentes a las normales de operación en carga nominal.
- Pérdidas de flujo eléctrico por variaciones en la red eléctrica.

De presentarse una de las condiciones anteriores, se asigna el valor de 2, de no existir se asigna 1 en esta categoría.

⁹ Porcentual será negativo, pero al ser una diferencia, es evidenciable que el motor excedió el límite de vida meda establecida

Tabla 9. Aporte Individual según criterio a la Probabilidad de Falla de Equipos de la Dirección de Sistemas de Bombeo

Criterio	Índice	Aporte Parcial a Probabilidad de falla [%]
Aislamiento del Motor	1	8
	2	16
	3	24
	4	32
	5	40
Caudal	1	4
	2	8
	3	12
	4	16
	5	20
Tiempo Instalado	1	6
	2	12
	3	18
	4	24
	5	30
Riesgos no Medibles	1	5
	2	10

Fuente: (Garcia Rodriguez, 2018)

A manera resumen se presenta la Tabla 9 para evidenciar el aporte de cada criterio y cuanto implica su selección. Por ejemplo, para el Pozo Meseta se tiene una calificación de 5 para Aislamiento, 5 en Caudal, 2 en Tiempo de Instalación y 1 en Otros, consultado la tabla anterior se observa que la suma es de 77%; Pozo San

Pablo, con una calificación de 2,5,1, y 1, respectivamente, obtiene un 47%; y Pozo W-1 (5, 3, 5, 1, correspondientemente) logra un 87%. Para este caso, el Pozo W-1 es el más susceptible a falla¹⁰.

- Criticidad

Así como la Probabilidad de Falla está dada para un equipo en una estación de bombeo, la criticidad es el global que considera dichos porcentajes y otros aspectos para delimitar que tan crítico o urgente es necesaria la acción a una estación de bombeo en específico.

Para su cálculo, se aplican los siguientes apartados:

Factor de Riesgo

Es el promedio de los porcentajes de fallo de los distintos equipos que se presentan en una estación de bombeo. Según este promedio, de igual manera, se establece un índice según dicho porcentaje:

¹⁰ Observar Figura 20. Extracto de Hoja de Cálculo ideada por el Ingeniero de Gestión de Mantenimiento para el Cálculo de la Probabilidad de Falla. Los ejemplos mencionados se resaltan en negrita.

Tabla 10. Índices según el valor Promedio de Frecuencias de Fallos en una Estación de Bombeo

Índice	Valor Promedio [%]
1	Entre 0 y 20
2	Entre 21 y 40
3	Entre 41 y 60
4	Entre 61 y 80
5	Entre 81 y 100

Fuente: (García Rodríguez, 2020)

Seguridad Laboral

Compete principalmente a consideraciones técnicas de seguridad laboral en el apartado eléctrico.

Permisibilidad de Afectación

Relacionado con la impactación directa que tiene la estación de bombeo al sistema. Establecido por las semanas que dicha estación, dado caso de estar en falla, cuál sería el tiempo límite que dicho aposento puede estar en baja.

Respaldo y Diseño

Se refiere a la posibilidad y existencia de equipos en paralelo dentro de la estación de bombeo.

Tabla 11. Índices según la Implicación para definir la Criticidad de la Estación de Bombeo

Implicación	Índice	Detalle
Seguridad Laboral	1	Riesgo bajo de accidentes por factores eléctricos
	3	Riesgo medio de accidentes por factores eléctricos
	5	Riesgo alto de accidentes por factores eléctricos
Permisibilidad de Afectación	1	Permisibilidad de afectación de 1 hasta 4 semanas
	2	Permisibilidad de afectación de 1 semana
	3	Permisibilidad de afectación de 1 a 3 días
	4	Permisibilidad de afectación de 1 hora a 4 horas
	5	Permisibilidad de afectación de 1 hora o menos
Respaldo y Diseño	1	Se cuentan con unidades de reserva en sitio, en bodega y además posee opciones de reparación local
	2	Se cuentan con unidades de reserva en sitio, en bodega y no posee opciones de reparación local
	3	Cuenta con unidades de reserva en sitio, pero no hay en bodega
	4	No cuentan con unidades de reserva en sitio, pero hay en bodega
	5	No cuenta con unidades de reserva en sitio ni en bodega

Fuente: (García Rodríguez, 2020)

Considerando al *Factor de Riesgo* como la frecuencia en la que se dan los hechos y fallas, fácilmente se define los otros apartados como sus consecuencias. A partir de esta analogía, es que se realiza la consideración de criticidad, al aplicar una matriz de frecuencia, tomando como consecuencias el promedio de los índices seleccionados en la Tabla 11.

Frecuencia	5	A	MA	MA	MA	MA
	4	A	A	A	A	MA
	3	M	M	M	A	MA
	2	B	B	B	M	M
	1	B	B	B	M	M
		1	2	3	4	5
Consecuencias						

Figura 10. Matriz de Criticidad

Fuente: (García Rodríguez, 2020)

- Trazabilidad

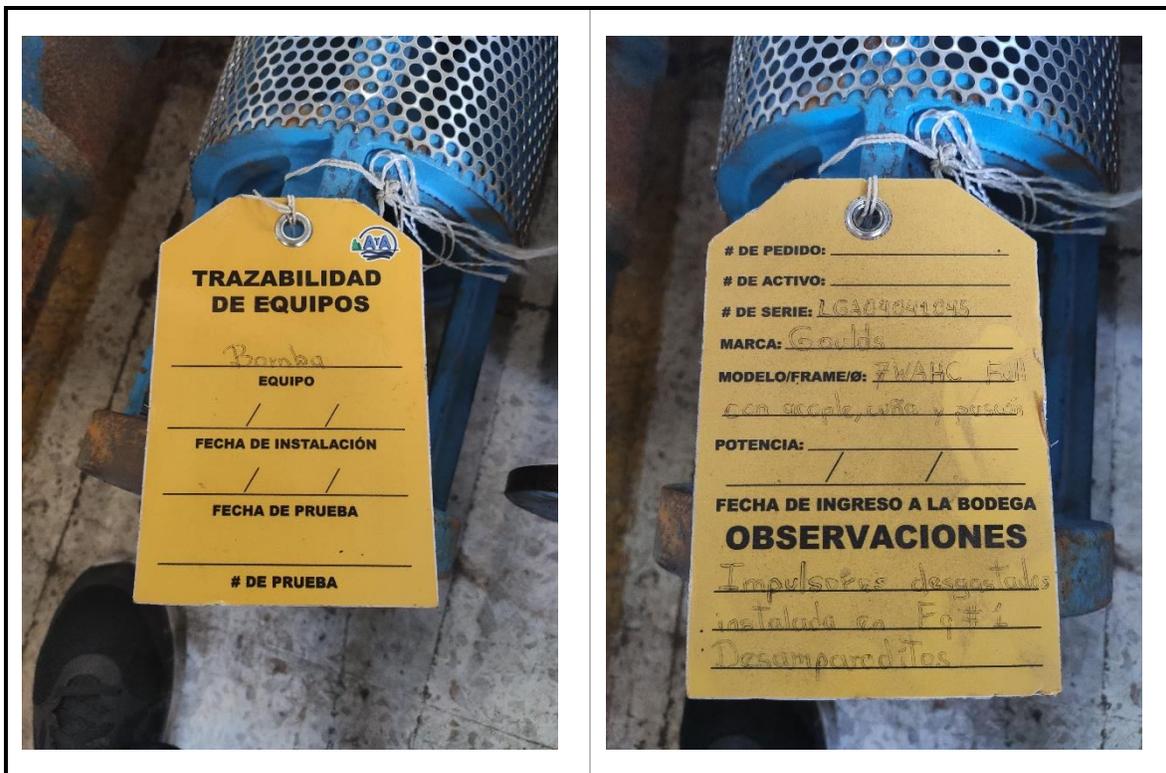


Figura 11. Etiqueta de Trazabilidad utilizadas por la Dirección de Sistemas de Bombeo

Fuente: Elaboración Propia

El procedimiento de trazabilidad dentro de la Dirección de Sistemas de Bombeo se lleva a cabo en dos etapas. La primera consiste en las etiquetas o marchamos de trazabilidad, mostrados en la Figura 11. Dicha etiqueta colabora al inspector a reconocer el último movimiento realizado del activo.

Para cada uno de estos activos, dicho movimiento, así como los predecesores, son registrados para llevar un historial del bien.

HISTORIAL DE ESTACIÓN DE BOMBEO					
TRABAJOS REALIZADOS					
FECHA	Descripción del Trabajo				
8/1/1999	Se instaló el equipo a una colocación de 97m. Bomba Goulds modelo 9THC-4, serie 394895-3, con motor Hitachi de 250HP, serie J98-G8976502H. NE: 77.8m, ND en prueba simultánea -con pozo de afuera- 80.6m. Presión descarga: 100psi, Q=100l/s Amps: 285/289/276 (se probó con la planta eléctrica de 500KW de Las Pilas, Limón)				
5/12/2000	Se puso en operación.				
1/26/2001	Se cambia equipo.				
2/22/2001	Goulds Pumps, Serie: 394895-3, Size: 9THC/4				
3/28/2001	Se traslada el equipo, además de tubería y herramientas.				
4/2/2001	Se instala equipo, Motor Nuevo, 250 HP, modelo G89355H, 295 Amps. Bomba con Modelo 9RCHC-4, manguera de protección por bajo nivel a 90m, colocada a 5m de la succión.				
5/6/2002	Reparación del sistema de telemetría que estaba fuera de operación.				
3/4/2003	Revisión y reparaciones en sistemas de automatización.				
3/27/2003	Cableado de alimentación y cambio de contactores auxiliares para control de PCC's				
5/8/2003	Reparación del sistema de telemetría, daño en radio y se reprograma PLC.				
11/17/2008	Se saca equipo, motor con bajo aislamiento se cambia motor se deja la misma bomba, 1 Bomba gould pump serie 131854, mod 10rjhc-4 reparado, 1 motor franklin de 250 hp, reparado no tiene datos de placa reparado				
6/11/2009	Se cambio equipo, se cambia la bomba por una GOULDS 9THC-4 ID: 298374 motor reparado HITACHI 250HP serie: C8975202, 50psi, 94,1 l/s				

MOTOR			Estación	POZO CNP-1	
NUMERO DE ACTIVO: 84838			# Equipo	1	
NUMERO DE SERIE:	13006751	TIPO DE MOTOR:	SUMERGIBLE	RESPONSABLE:	ROBERTO SOLIS S
MARCA:	SAER	CORRIENTE NOMINAL: In (A)	192	INGRESADO POR:	ARIEL GARCIA R
POTENCIA: (HP)	150	FACTOR DE SERVICIO: F.S. (%)	1.15	FECHA INGRESO:	
MODELO:	MS251-150-C	NUMERO DE FASES: (N° Φ)	3	LUGAR INGRESO:	BODEGA 0202
EFICIENCIA: (%)	88	VELOCIDAD DE GIRO: (RPM)	3500	NUEVO	
VOLTAJE: (V)	460	FRAME / DIAMETRO (In.): (ext/sum)	8	REPARADO	
OBSERVACIONES:					
TRAZABILIDAD DEL EQUIPO					
FECHA	LUGAR ORIGEN	LUGAR DESTINO	OBSERVACIONES	RESPONSABLE	INGRESADO POR
9/18/2019	POZO W5	BODEGA 0202	USADO	ROBERTO SOLIS S	ARIEL GARCIA R
9/20/2019	BODEGA 0202	TRANSITORIOS LA URUCA	ACOPLE CON BOMBA	ROBERTO SOLIS S	ARIEL GARCIA R
9/20/2019	TRANSITORIOS LA URUCA	POZO CNP-1	MONTAJE	ROBERTO SOLIS S	ARIEL GARCIA R

Figura 12. Ejemplo de Registro de Trazabilidad para el Pozo CNP-01.

Fuente: (García Rodríguez, 2020)

La Figura 12 muestra ese registro de movimientos, donde, además de mostrarse los eventos realizados, sirve como plantilla para reconocer el bien, así como las características técnicas del equipo. Se generan registros para los motores, bombas,

motobombas y variadores de frecuencia, al ser los tipos de equipos predominantes dentro de los activos a gestionar.

El párrafo anterior corresponde a la segunda etapa del proceso de trazabilidad. Su generación y digitalización corre a cargo del ingeniero de gestión, quien solicita la información pertinente a los ingenieros de área y bodegas. Contando con los registros, los actualiza y almacena.

Capítulo 2 Marco Teórico

2.1. Evaluación de la Efectividad del departamento de Mantenimiento

Uno de los mecanismos existentes para indagar el impacto e importancia que tendría un proyecto dentro de un área dedicada al mantenimiento es realizar una evaluación de cómo se gestan y organizan las actividades internamente.

Dichas evaluaciones tienen la finalidad de mostrar las carencias y fortalezas existentes desde la perspectiva de los colaboradores y como ellos interpretan y viven dichas actividades. Esto resulta ser un medio bastante efectivo, ya que representa una radiografía de donde sería más prudente enfocar acciones para lograr mejores prácticas de mantenimiento.

Opciones existen bastantes, desde la norma venezolana COVENIN 2500-93 y la realizada por el *Marshall Institute* denominada *Maintenance Effectiveness Survey*. Para fines de este proyecto, se utilizará la última.

Esta evaluación aglomera las actividades en cinco áreas principales: administración de los recursos, administración de la información, mantenimiento preventivo y tecnología de los equipos, planeamiento y calendarización, soporte al mantenimiento. De esta forma, se establecen 60 preguntas segmentadas en cada una de las áreas mencionadas, brindando a cada interrogación una calificación de bajo, medio o alto nivel de satisfacción según la percepción del encuestado. Al final, dichos datos son contabilizados y muestran una nivelación global de cómo se encuentra el departamento en estudio.

2.2. Análisis FODA

Trata de un análisis en una organización, proceso o procedimiento donde se analizan situaciones internas o externas (entorno) del evento mismo, colaborando a establecer

estrategias considerando dichas situaciones. Toma en consideración cuatro categorías: fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas, donde las primeras dos se asocian a las situaciones intrínsecas y las últimas al medio donde se encuentra el evento a evaluar.

Utilizando las cuatro ideas pasadas, se establecen cuatro tipos de estrategias. Las *estrategias ofensivas* (Maxi-Maxi o F-O) son las de mayor impacto. Apoyándose en las fortalezas, se debe lograr el máximo aprovechamiento de las oportunidades que se han identificado en el entorno. Las *estrategias defensivas* (Maxi-Mini o F-A) se diseñan para enfrentar los posibles impactos negativos que se pueden crear a partir de las amenazas, mediante el máximo aprovechamiento de las fortalezas. Las *estrategias adaptativas* (Mini-Maxi o D-O) se diseñan para reducir las limitaciones que puedan imponerse debido a las debilidades, en el máximo aprovechamiento de oportunidades. Por último, Las *estrategias de supervivencia* (Mini-Mini o D-A) son las más traumáticas. Se generan para reducir el efecto que pueden tener las debilidades, aumentando el impacto negativo de las amenazas identificadas (Codina Jimenez, 2011).



Figura 13. Estrategias Derivadas del Análisis FODA

Fuente: (Martinez Gutierrez, 2015)

La Figura 13 muestra el proceso de calificación de cada uno de los elementos a analizar y su impacto a las estrategias. La metodología de aplicación es la planteada por Bernal Martínez, quien incluye una matriz de impactos, identificando los aspectos más representativos.

2.3. Norma VDI 2893:2006. Selección y Formación de Indicadores de Mantenimiento

La definición de un sistema de indicadores está basada en seis pasos: representación de los procesos de negocio en mantenimiento, definir un sistema de metas, identificación de los factores medibles, establecimiento y colección de *números básicos*, formación de

indicadores y por último estructurar estos indicadores para que resulte un sistema de indicadores. (Verein Deutscher Ingenieure, 2006)

- Balanced Score Card y Representación de los Procesos de Negocio en Mantenimiento-

Una forma de representar estos procesos de negocio en mantenimiento es utilizando una esquematización llamada *Balanced Scorecard*¹¹ la cual se basa en la representación de indicadores según cuatro perspectivas definidas: finanzas, clientes, procesos y personal.

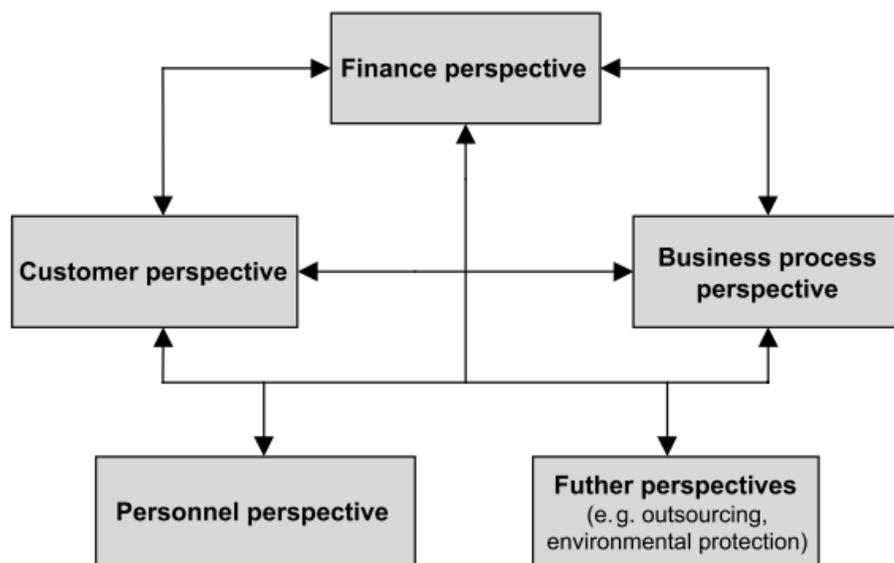


Figura 14. *Balanced Scorecard* para mantenimiento

Fuente: (Verein Deutscher Ingenieure, 2006)

La Figura 14 muestra esta representación, y como a su vez, variando de la naturaleza del entorno y el mismo departamento, se pueden considerar otras perspectivas

¹¹ Cuadro de Mando Integral, por su traducción al español.

asociadas al negocio, siendo de esta manera, un modelo orientado en las estrategias y visión del departamento.

La perspectiva de las finanzas agrupa aquellos indicadores que brindan información del éxito financiero y gasto de mantenimiento. Por su lado, la perspectiva del cliente muestra todo aquello asociado al usuario básico del sistema. La perspectiva empresarial se enfoca en esos procesos de mantenimiento que tienen una mayor influencia en los objetivos del departamento de mantenimiento, y, por tanto, en el de la corporación. La perspectiva del personal centra atención en el recurso más importante del mantenimiento: su personal, desde su motivación, entrenamiento, cualidades, y últimos días, su capacidad de innovación.

El *balance scorecard* representa primeramente el avance en el proceso de implementación de estrategias, al formar indicadores que cuantifican este progreso.

- Definición de Indicadores

Los indicadores pueden ser técnicos, administrativos o de costos, y para su definición se utilizan *números básicos*. Los números básicos nos números absolutos que son tomados desde distintas fuentes de información corporativa. Comúnmente, los indicadores son cocientes de dos números básicos o tienen una referencia al tiempo, por lo que todos los indicadores resultan ser ratios.

Las fuentes de información corporativa son bastantes variadas, y van desde los reportes de inspección y daños, así como los registros de sistemas de tecnologías de información.

Cada uno de los indicadores debe: representar la estrategia escogida; estar relacionado a un objetivo específico; ser comparable; estar actualizado; ser completo; ser cuantificable; ser transparente, claro y conciso; ser de fácil manipulación para procesos; y estar fácilmente disponible.

- Desarrollo de un sistema de Indicadores

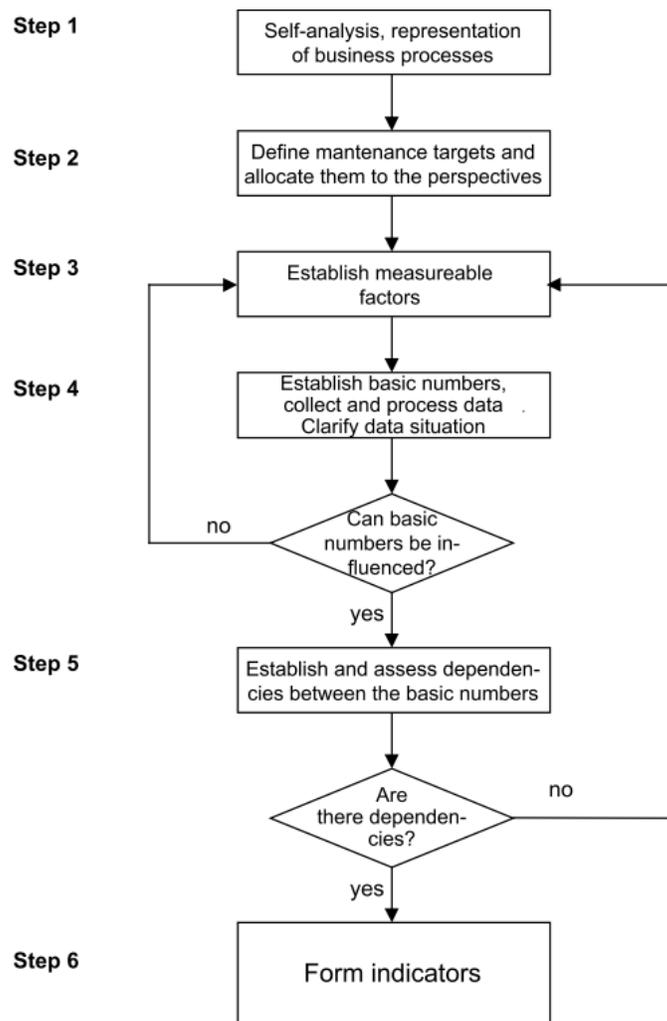


Figura 15. Diagrama de Flujo para la formación de indicadores.

Fuente: (Verein Deutscher Ingenieure, 2006)

La norma VDI 2839:2006, utiliza un diagrama de flujo de seis pasos para definir indicadores. Este flujograma se observa en la Figura 15.

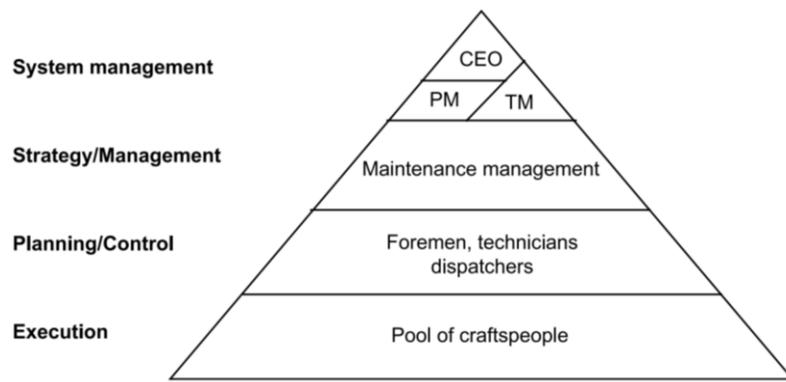


Figura 16. Niveles de Jerarquía dentro de la Pirámide de Indicadores.

Fuente: (Verein Deutscher Ingenieure, 2006)

Para tomar en consideración las variaciones en los requerimientos de la información de los niveles jerárquicos organizacionales dentro de mantenimiento, la norma utiliza la Figura 16. En el nivel *system management*¹², los indicadores son requeridos para la gestión técnica del sistema de producción. Con estos indicadores se puede evaluar los servicios y resultados del mantenimiento desde el punto de vista del cliente. Los indicadores para *Estrategy/Management*¹³ están direccionados a la gestión de mantenimiento o gestión corporativa como una asistencia en la planificación regular de actividades y delimitación de objetivos. El nivel *Planning/Control*¹⁴ requiere indicadores adecuados para la coordinación a corto plazo de las actividades de mantenimiento. En

¹² Gestión del sistema, de ahora en adelante.

¹³ Estrategia y gestión, de ahora en adelante.

¹⁴ Planificación y control, de ahora en adelante.

el nivel *Execution*¹⁵ se proporcionan indicadores que se utilizan principalmente para proporcionar *información en tiempo real para el personal y los equipos de mantenimiento*.

2.4. Trazabilidad

Según la definición de las normas ISO, trazabilidad es la habilidad de seguimiento en los registros por los procesos por lo que pasa determinado producto. Dentro del área de mantenimiento, dicho término se resume en la reconstrucción de la historia de los cuidados y averías que sufrió el bien.

Para asegurar una alta confiabilidad en mantenimiento se debe procurar los mínimos tiempos de tareas, así como su correcta planificación, controlando el suministro de insumos, materiales y equipos, logrado a través de controles de calidad y trazabilidad. Estos conceptos y en conjunto con el mantenimiento predictivo, permiten mejorar la gestión de activos, desde su adquisición hasta el control y administración de refacciones.

Debido a la anterior, se ha vuelto común aplicar normas a la gestión integral de activos físicos, cuyo objetivo es impactar significativamente el desempeño de la organización realizando registros de eventos y análisis estadísticos de alta precisión que permiten estimar las vidas útiles de los activos de modo que puedan ser remplazados en tiempos oportunos y antes del estado de falla (Chong, 2012).

Auditar los procesos de mantenimiento es una gran manera para mejorar los procesos, y la trazabilidad es una excelente manera para recopilar información para dichas evaluaciones. Malas aplicaciones de trazabilidad originan problemas como la imposibilidad de comprobar si quien realizó las tareas de mantenimiento lo hizo siguiendo

¹⁵ Ejecución, de ahora en adelante.

los procedimientos establecidos y en los tiempos adecuado. Otra posible situación sucede cuando se adjudican tareas tercerizadas dentro de un cartel de contratación y dichas intervenciones no suplen las necesidades de los registros del bien. La suma de estos casos con un alto volumen de trabajo, poco personal y bajo presupuesto, en ocasiones impide dedicar tiempo a las tareas administrativas de mantenimiento, afectando de manera directa a la asignación de tareas preventivas, afectando la vida de los bienes (Soto, 2011).

El término de trazabilidad es de igual manera ampliamente desarrollado en términos de creación de software. En esta área la trazabilidad se define como el grado en que una relación puede ser establecida entre dos o más productos de un proceso de desarrollo, especialmente en productos que tienen relaciones con un producto predecesor o sucesor; por ejemplo, el grado en que los requerimientos y el diseño de un software se relacionan. De esta manera, se usa la trazabilidad como un medio enfocado a reducir el costo de creación de una herramienta digital, así como mejorar su mantenimiento y su facilidad de uso (Mäder, 2010).

Existen varias formas de representar la trazabilidad, pero ejemplo de ello están las matrices de trazabilidad, modelos gráficos como el modelo relaciones de entidades (ERM) o el UML.

Existen varias razones para implementar la trazabilidad como un modelo de información, entre ellas se puede mencionar ser un medio facilitador para la validación de cambios, del mismo modo asegura resultados consistentes en proyectos donde intervienen varias partes interesadas.

En lo que respecta al estado del arte, (Mäder, 2010) establece que durante los últimos años se ha invertido esfuerzos en la investigación de la trazabilidad, su mantenimiento y como originar relaciones de manera automática. Luego de una mesa de trabajo, se definió que existen 13 categorías de problemas donde se debe mejorar la trazabilidad: conocimiento de la trazabilidad, entrenamientos y certificaciones, evolución de apoyo¹⁶, semántica común, escalabilidad, factores humanos, análisis costo-beneficio, métodos y herramientas¹⁷, seguimiento a través de límites organizacionales, procesos, conformidad, medidas y puntos de referencia y tecnología de transferencia.

En (Schwarz, 2011), la investigación del estado del arte de la trazabilidad se presenta estructurado en base a seis actividades:

- Definición: Abarca la determinación de los tipos de entidades y las posibles relaciones rastreables entre ellas que sean adecuadas a una aplicación o ambiente en específico. Es común utilizar metamodelos, sin embargo, resulta más práctico para la automatización de relaciones formalizar la semántica de estas relaciones, utilizando aspectos como predefinir o restringir atributos, uso de lógicas o expresiones matemáticas o simples reglas de relación. Esta concepción ve las relaciones de una manera binaria, conectando únicamente dos entidades o entre sí mismas. Las excepciones que soportan relaciones múltiples de *n grado* pueden ser visualizadas en diagramas UML o SysML.

¹⁶ Se refiere al mantenimiento y evolución de las relaciones de trazabilidad. Algunos problemas podrían ser el costo y esfuerzo por mantener las relaciones durante la evolución de los sistemas de información, o que los métodos para transformar y reusar relaciones en sincronía con el desarrollo del producto resultan en muchas veces inmaduros. (Mäder, 2010).

¹⁷ El norte para mejorar este punto sería idealizar métodos y herramientas con máximos niveles de automatización para soportar todo el seguimiento del ciclo de vida, incluyendo la construcción y generación de relaciones (Mäder, 2010).

- **Identificación:** Se refiere a la digitalización y reconocimiento automático o manual de relaciones previamente desconocidas para establecer tipos definidos de relaciones.
- **Registro:** Denota la representación física o materialización de la información rastreable dentro de una estructura de datos. Existen dos tipos: registro interno y externo, y varían si las relaciones rastreables se almacenan dentro o fuera de los espacios o dominios que almacenan las entidades enlazadas.
- **Recopilación:** localización y agrupamiento de información a rastrear respecto a un propósito en específico.
- **Utilización:** uso y procesamiento de información recopilada, incluyendo probablemente la visualización del modelo de trazabilidad.
- **Mantenimiento:** Trata la actualización, incluyendo su eliminación manual o automática de relaciones rastreables respecto a modificaciones de entidades u otras relaciones.

Encontrar semejanzas en el desarrollo de software como el mantenimiento industrial resulta de primera impresión algo difícil, sin embargo, en tiempos donde el principio del mantenimiento basado en la condición se basa ampliamente por el monitoreo en tiempo real así como la necesidad de tener información concisa y útil para la identificación de fallas, encontrar modelos que filtren la información e idealicen procedimientos ágiles de su interpretación, garantizaría mejores predicciones de la condición de la máquina. Así como los procesos de trazabilidad pueden lograr grandes beneficios para la compañía, del mismo modo generan un alto volumen de información en tiempos donde el manejo eficiente de información es el objetivo de las gestiones industriales de vanguardia.

2.5. Mantenimiento Predictivo Inteligente en un Escenario de Industria 4.0

2.5.1. Mantenimiento Predictivo

El principio básico del mantenimiento predictivo es relacionar una variable física con el estado actual de la máquina. Al delimitar estados base o permisibles para dicha máquina, el monitoreo constante de estas variables nos puede asegurar que el equipo opere de manera correcta, así como que su intervención y reparación se realice en el momento justo antes de ocasionar una falla que amerite una acción correctiva.

Para evaluar su posibilidad técnica, una labor predictiva debe cumplir lo siguiente.

- Es posible definir una condición potencial de falla.
- El intervalo entre la detección de una falla potencial y que esta se convierta en falla funcional, es razonablemente consistente.
- Se puede monitorear las variables en intervalos menores que el intervalo del punto anterior.

La información más importante de este tipo de mantenimiento es la tendencia, la cual denotará cuando un elemento esté empezando un modo de falla. Dada esta cualidad, el mantenimiento predictivo tiene la ventaja contra los mantenimientos por horas de trabajo, pues el bien es intervenido sin ni siquiera alterar la operación del equipo ni con la necesidad de realizar desmontajes excesivos.

El mantenimiento predictivo en un sistema de bombeo de agua está basado en el monitoreo, registro y análisis del comportamiento de las principales variables de operación del equipo y de las instalaciones, con la finalidad de verificar que su funcionamiento sea el correcto, y en caso de que se presente una desviación de las

condiciones de operación normales, se programen las actividades correctivas correspondientes (Hidráulica Tamaco S.A., 2017).

Por esto se debe definir parámetros de prealerta y de acción para todas aquellas variables que se necesiten monitorear, buscando el punto óptimo para la ejecución del mantenimiento preventivo en un equipo, o sea, el punto a partir del cual la probabilidad que el equipo falle asume valores indeseables.

Los estudios de determinación de ese punto, que es llamado “*Punto Predictivo*”, pueden ser realizados en función de las características de los equipos, para definirlos, se establecen dos tipos de análisis: Análisis Estadístico y Análisis de Síntomas (Tavares, 1999).

- *Análisis Estadístico*

El análisis estadístico, es aplicado cuando existe en la instalación, una cantidad apreciable de equipos o componentes con las mismas características, que puedan ser considerados como un "universo", para el desarrollo de los cálculos de probabilidades y que tienen características aleatorias de fallo, o sea, a los cuales no es posible hacer acompañamiento de sus variables.

- *Análisis De Síntomas (o Basado en la Condición)*

El análisis de síntomas es aplicado cuando es necesario el desarrollo de estudios para la determinación del punto predictivo, en equipos con características impares, con relación a los demás equipos instalados y en los cuales es posible hacer mediciones de sus variables. Depende de monitoreo continuo o periódico para detectar signos de falla.

Comúnmente, cuando se habla de mantenimiento predictivo, asociamos directamente a un análisis de vibraciones, termografías o análisis de aceites; sin embargo, existen otras técnicas que, al ser de más sencilla aplicación, suelen ser no tomadas como tal. Ejemplo de esto son las inspecciones visuales o lectura de indicadores.

2.5.2. Industria 4.0

El término industria 4.0 se refiere a la última revolución industrial, que utiliza la inteligencia artificial para cambiar duramente la manera en que las máquinas recopilan e interpretan los datos (Peycheva, 2018).

De acuerdo con (Wang, 2016), la industria 4.0 Se compone de cuatro componentes principales:

- **Sistemas Ciberfísicos o CPS:** se refiere a los sistemas que transfieren las variables, mediciones y aspectos del mundo real al virtual. Se puede visualizar como la unidad básica en el sistema.
- **Internet de las Cosas o IoT:** es lo que permite la interacción entre las *cosas u objetos* (CPS) entre sí y de manera cooperativa con los componentes *inteligentes* para lograr metas establecidas. Se puede ver el IoT como la red donde los CPS se relacionan entre sí a través de esquemas de direccionamiento únicos.
- **Big Data y Data Mining:** el *Data Mining* posibilita analizar y descubrir reglas y patrones desde la información recopilada en la *Big Data* (información generada desde orígenes múltiples) para que de esta manera se puedan tomar decisiones más acertadas y en tiempo menor.

- Internet de Servicios o IoS: Consiste en modelos de negocio que permiten a los vendedores o contratistas ofrecer sus servicios por medio de la internet. Estos servicios son comunicados a los usuarios y consumidores en diferentes vías, donde se ofrece una solución conjunta entre varios suplidores, agregando valor a la solución requerida.

Las máquinas están en el corazón de las fábricas modernas, y su buen funcionamiento requiere la adopción de programas de mantenimiento inteligentes. Una mano de obra bien formada permite establecer programas de mantenimiento predictivo y optimizar el ciclo de producción. De hecho, el objetivo del Internet Industrial de las Cosas (IIoT), que desempeña un papel crucial en este proceso, es conectar las máquinas entre sí y las máquinas con los seres humanos.

Una solución de mantenimiento de nueva generación permite provocar una transformación digital en la fábrica, y proporciona una interfaz fácil de usar para todos los miembros del equipo. Las GMAO de la Industria 4.0 pueden integrarse fácilmente en el contexto del Internet de las Cosas, la nube y del cognitive computing, para convertirse en un elemento indispensable de la fábrica inteligente. La solución de gestión de mantenimiento conecta y transmite informaciones entre los departamentos de la empresa, pero también entre sensores, dispositivos o sistemas. Gracias a los datos recogidos, algunas soluciones de mantenimiento de nueva generación pueden generar potentes análisis para apoyar a los profesionales en la toma de decisiones y la resolución de problemas.

2.5.3. Mantenimiento Predictivo Inteligente (IpdM)

El mantenimiento predictivo busca establecer la tarea de mantenimiento apropiada que maximice el servicio del equipo garantizando evadir los riesgos de falla, de acuerdo con el uso de información estadística o basada en la condición.

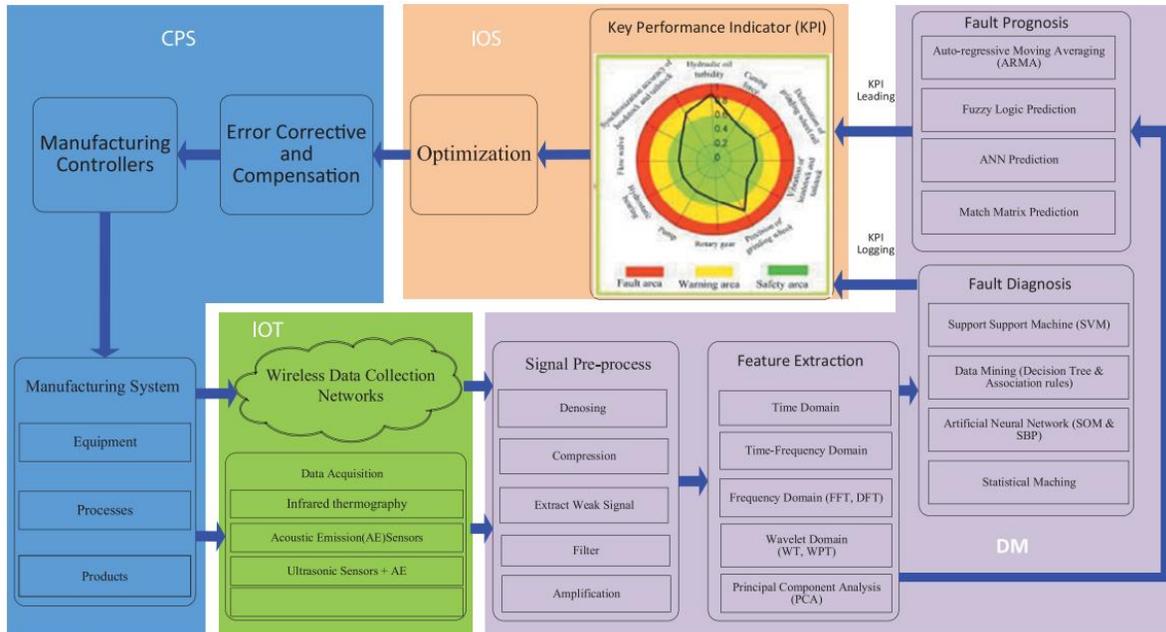


Figura 17. Esquema del Mantenimiento Predictivo Inteligente -IpdM- en la industria 4.0.

Fuente: (Wang, 2016)

(Wang, 2016) propone como modelo de mantenimiento predictivo el mostrado en la Figura 17, donde, utilizando la información generada por los CPS y transmitida por IoT, se monitoriza automáticamente la condición de la máquina buscando patrones que evidencien una posible falla a través del análisis de datos (*data mining*). Utilizando IoT, se reconoce previamente la posibilidad de falla y permite establecer medidas correctivas de una manera más efectiva en el tiempo, evitando los paros de máquina no planeados y una utilización de recursos más adecuada.

Wang menciona que para la debida aplicación de IpDM se debe contar con seis módulos:

- *Sensores y Adquisición de Datos*

Es la primera etapa en la implementación de la estrategia. Consiste en la selección de sensores y medios correctos, para luego transformar las señales y mediciones realizadas a dominios que tomarán estos datos para definir la condición del equipo. Sensores acústicos, ultrasónicos, de vibración, térmicos o microsensores son ejemplo de los utilizados para recopilar información.

- *Interpretación y extracción de señales*

Generalmente existen dos pasos para utilizar las señales generadas de los sensores. La primera es el procesamiento de señales. En esta etapa se mejora la calidad y características de las señales¹⁸. La segunda parte en este proceso es la extracción, donde se extraen las características de las señales que denoten un incipiente estado de falla. Estas características pueden presentarse comúnmente en tres dominios: del tiempo, la frecuencia o la unión de ambos.

- *Generación de Decisiones de Mantenimiento*

A este punto la información es suficiente y eficiente para que el personal de mantenimiento tome decisiones de acción.

Generalmente, las decisiones se toman de acuerdo con cuatro modelos: físico, estadístico, orientado por datos, y modelo híbrido. Como IPdM es una estrategia que

¹⁸ Filtración, amplificación, compresión y validación de datos son ejemplos de procedimientos utilizados para el procesamiento de señales.

primordialmente depende de señales, es fácil connotar que la orientación por datos es predominante. Si el histórico del bien se puede obtener con facilidad, este modelo es eficiente para identificar la falla y evaluar la condición. En casos ajenos, se utiliza el modelo híbrido, que sería la sumatoria del enlazar el modelo orientado por datos con cualquiera de las otras dos opciones (físico o estadístico).

Las decisiones de mantenimiento originadas de estos modelos se pueden categorizar en dos áreas: diagnóstico o pronóstico. Comparado con el diagnóstico, el pronóstico genera menor cantidad de documentos. La herramienta más común en el pronóstico es la llamada RUL¹⁹, lo cual delimita cuanto tiempo queda antes de que se presente una falla. IPdM busca enlazar este estado con la condición actual de la máquina.

- Indicadores Clave de Rendimiento (KPI)

Un diagrama KPI²⁰ o de telaraña puede dictaminar la condición de la falla, desde un estado cero o perfecto, a un estado uno, o de falla. Se pueden utilizar colores para definir estados seguros, de alarma o de falla y defecto. Esta herramienta es una colaboración para que la parte administrativa divulgue el estado del equipo a sus colaboradores.

- Optimización de la Planificación del Mantenimiento

La planificación de mantenimiento, así como la optimización es un tipo de problema NP²¹ según la complejidad computacional, y existen ciertos algoritmos que resultan ser una

¹⁹ Remaining Usefull Life.

²⁰ Key Performance Indicators.

²¹ Nondeterministic Polynomial Time.

buena técnica para resolverlos²², estableciendo la óptima calendarización de mantenimiento predictivo.

- Corrección de Errores y Retroalimentación

Utilizando los resultados del módulo de Generación de Decisiones de Mantenimiento, se debe generar una corrección de errores, compensación y retroalimentación, los cuales se deben desarrollar en este módulo.

2.6. Justificación y Análisis Privado-Social Para Proyectos de Mantenimiento Predictivo.

A fin de lograr el cumplimiento de los objetivos operacionales dentro de un departamento de mantenimiento se suele implementar el mantenimiento predictivo como uno de los medios para lograrlo, sin embargo, su implementación requerirá de la inversión que, a ojos de un departamento financiero pudiera verse como un gasto. Es por esto por lo que debe representarse el valor económico y retorno de la aplicación de dichas tecnologías. Por esto, se analizan los costos variables con la introducción de una estrategia de mantenimiento predictivo. (Arias Martos, 2020)

Se define el costo anual aproximado de intervenciones Preventivas (CAAJ) como sigue:

$$\text{CAAJ} = (\text{Número de Activos Críticos}) \times (\text{Coste medio de intervención}) \\ \times (\text{Promedio de Intervenciones/Año})$$

Definido el valor anterior, resta con indagar cuanto será el coste ya implantando el mantenimiento predictivo. Las intervenciones se programan en función de la vida

²² Ejemplo de estos algoritmos pueden ser los *Swarm Intelligence Algorithms (SI)*, *Genetic Algorithm (GA)*, *Particle Swarm Optimization (PSO)*, *Ant Colony Optimization (ACO)* y *Bee Colony Algorithm (BCA)*. (Wang, 2016)

esperada de los activos, la cual se define a partir de los datos brindados por el fabricante o experticia del departamento. Aplicando mantenimiento predictivo se puede alargar la vida de estos equipos hasta en un 500%, sin embargo, considerar un alargue del doble ya podría justificar la aplicación de la metodología.

Posterior, se hace necesario definir el coste anual del predictivo (CoPdM) como la suma de los costes de la tecnología anualizada (CT), mediciones (CM) y del diagnóstico (CD):

$$\text{CoPdM} = \text{CT} + \text{CM} + \text{CD}$$

Donde:

Coste de la tecnología Anualizado = CT = Tasa de Amortización × Coste del Equipo

Coste del diagnóstico = CD

$$= \left(\frac{\text{Coste medio de diagnostico}}{\text{Activo}} \right) \times \left(\frac{\text{Inspecciones}}{\text{Año}} \right) \times \text{Número Activos}$$

Coste de las Mediciones = CM = Tiempo de medición × $\left(\frac{\text{Coste}}{\text{Hora}} \right) \times \left(\frac{\text{Inspecciones}}{\text{Año}} \right)$

Con estos datos indagados, se puede establecer el coste anual aproximado por intervenciones incluyendo tareas predictivas (CAPdM) de la siguiente manera:

$$\text{CAPdM} = \frac{\text{CAAJ}}{\text{Aumento Porcentual de la Vida media por PdM}} + \text{CoPdM}$$

Con este último cálculo, se pueden establecer datos como ahorros anuales y tasa de retorno.

La evaluación social se basa en costos y beneficios que podrían ser muy diferentes a los costos y beneficios privados. Lo anterior se sustenta en el hecho de que el valor social de los bienes y servicios que genera el proyecto es distinto a los valores que paga o percibe el inversionista privado. (Sapag Chain & Sapag Chain, 2008).

Es importante mencionar que los proyectos del sector público deben no deben ser evaluados únicamente por el aspecto social, así como los proyectos privados no deben hacerlo sólo privadamente. Se debe obtener primeramente la información pertinente que permita modificar y complementar el flujo de caja privado para transformarlo en social y posteriormente proceder a su evaluación con las mismas metodologías privadas, pero con valores sociales como la tasa de descuento.

La evaluación social de un proyecto incorpora, además de los precios sociales de los factores y de las externalidades, los costos y beneficios intangibles que un determinado proyecto o acción de gobierno puede generar en la comunidad, la calidad de vida, el mejoramiento en la imagen de la autoridad, el orgullo nacional y otros.

Existen distintos tipos de precios sociales. Uno de ellos es el precio social del factor trabajo o de la mano de obra. Teóricamente se puede señalar que el costo social de la mano de obra coincide con el costo privado cuando en la sociedad existe una situación de pleno empleo, lo que evidentemente no resulta fácil que se dé en la realidad. Las distorsiones más frecuentes y claramente identificables que afectan el mercado laboral y que, por tanto, tienen influencia en la determinación de su precio social, están dadas por los subsidios a la contratación de mano de obra o los impuestos que podrían gravarla,

por la existencia de sindicatos fuertes, salarios mínimos, asimetría de información, subempleo, etcétera.

También deberá considerarse la existencia de impuestos, subsidios y cualquier otro factor incidental que el gobierno haya fijado y que impacten en la comercialización de los bienes transables.

La entidad estatal de planificación de los distintos países es la responsable de dar a conocer la información necesaria para el cálculo del precio social de la divisa y de la mano de obra. Cuando no exista una entidad que calcule previamente dichos parámetros, es el evaluador quien deberá hacerlo.

Los efectos indirectos son aquellos cambios que puede generar el proyecto con su implementación. Al ocasionarse cambios en la producción y consumo de los bienes relacionados con los que elaboraría el proyecto, puede resultar determinante la medición de los posibles beneficios o costos indirectos de su eventual puesta en marcha, ya sean beneficiosos o perjudiciales para la sociedad.

Los efectos intangibles constituyen probablemente los de mayor dificultad de cuantificar, por su carácter de inmedibles, por lo cual se convierten en un parámetro. Su cálculo puede mostrar distorsiones graves cuando la autoridad

intenta adoptar decisiones guiadas más por efectos políticos partidistas o personales que por el bienestar de la comunidad.

La tasa social de descuento resulta difícil de medir, por lo cual es frecuentemente calculada por una entidad estatal. En una economía sin distorsiones, se puede expresar

que la tasa de interés existente en el mercado debe ser la tasa de descuento que se aplique a los flujos para la evaluación social del proyecto. Por otra parte, es necesario destacar que cuando se evalúen proyectos sociales se deberá aplicar sólo la tasa vigente calculada por la autoridad.

En definitiva, lo que influye en la rentabilidad del proyecto son los precios sociales y los efectos directos e indirectos

Capítulo 3 Planteamiento del Problema

3.1. Descripción del Problema

Los equipos que se encargan de la extracción, distribución y estabilización de la presión de agua dentro de la red del AyA para el GAM son los tutelados por la Dirección de Sistemas de Bombeo. Una mala gestión de mantenimiento de estos equipos afectaría alrededor del 40% de la población nacional al 2020 (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2011), por lo que gestar buenos índices para monitorear la condición y estado de los equipos es trascendental. Para el 2020, durante la crisis ocasionada por la pandemia del virus CoVid-19, los razonamientos afectaron a más de 300 000 personas (Cordero Parra & Córdoba, Agua hay, pero ¿Por qué nos falta?, 2020), ocasionando disconformidad en la población contra el AyA y la intervención de instituciones gubernamentales para el control y aseguramiento del servicio para la población afectada, distribuida en sectores como Hatillos, Desamparados, Alajuelita, Tibás, Santa Ana, Goicoechea y otras comunidades más (Cordero Parra, Falta de Agua podría terminar en Sansiones y Baja en Tarifas para AyA, 2020).

A fin de subsanar las necesidades de la población, y acorde con el objetivo 6 “*Agua y Saneamiento*” de los *Objetivos de Desarrollo Sostenible* planteados por la Organización de las Naciones Unidas en el 2015, se espera que se el 2022 existe una cobertura nacional de recurso hídrico del 95%, 5 unidades porcentuales arriba de lo que se tenía en el 2015 (Mora Alvarado & Portuguez, 2017). Esto representa claramente un incremento dinámico en la cantidad de fuentes de insumo y captación de agua.

Considerando las implicaciones sociales de no brindar el servicio, así como las necesidades técnicas venideras y actuales, la Dirección de Sistemas de Bombeo

implementa índices de mantenimiento enfocados en el estado de los equipos, así como la condición de cada una de las estaciones de bombeo vistas como un conjunto. Utilizando estos índices, se debe asegurar una disponibilidad base definida en cada una de las estaciones, así como la posibilidad de intervenir la maquinaria sin generar mayores afectaciones. Para poder definir estos índices y mejorar su gestión, se instauró un sistema de gestión basado en el conocimiento, con el fin de mejorar la clasificación y toma de decisiones para la intervención y modernización en los distintos puntos de bombeo dentro del GAM.

Actualmente, la gestión y obtención de estos indicadores arranca en el momento en que los dos técnicos electromecánicos encargados de las evaluaciones visitan los equipos en cada sistema dentro de las 138 estaciones de bombeo, donde llevan a cabo el proceso de medición ME-PR-07: Mediciones y Análisis de variables Eléctricas e Hidráulicas, anexo a este documento.

Ambos técnicos, realizan las visitas técnicas con periodicidad mensual utilizando transporte institucional. Comúnmente viajan separados y sin acompañantes; además, portan equipos de medición móvil para recopilar las variables eléctricas e hidráulicas a obtener. Entre las zonas a inspeccionar se encuentran algunas en riesgo social, lo que somete a los técnicos y activos a situaciones de riesgo, debido a esto, en estas suelen ser acompañados por alguna tutela de seguridad.

Finalizada la ronda mensual, los técnicos copian los datos recopilados a un formato estándar de hoja de cálculo, mostrado en la Figura 19. Este es enviado por correo electrónico al ingeniero de gestión.

A continuación, el ingeniero copia y reacomoda de manera manual la información a otra hoja de datos, Figura 20, la cual realiza el cálculo de la probabilidad de falla a través de fórmulas matemáticas y asignando una calificación a cuatro categorías participantes en su definición.

	Factor de frecuencia de fallos	Impacto en seguridad ocupacional	Impacto en operación	Impacto por Respaldo y Diseño	Total de las consecuencias	Criticidad
Pozo CNP 9	5	5	5	5	5.00	25.00
Pozo Rincón Ricardo	5	5	5	5	5.00	25.00
Pozo CNP 1	5	5	4	5	4.67	23.33
Pozo W-1	5	3	4	5	4.00	20.00
Pozo W-10	5	3	3	5	3.67	18.33
Pozo W-14	3	3	4	4	3.67	11.00
Pozo San Pablo 1	3	3	3	4	3.33	10.00
Pozo W-2	2	5	4	4	4.33	8.67
Rebombero La Meseta	2	3	3	3	3.00	6.00
Pozo La Uruca	1	3	1	4	2.67	2.67
Pozo W-5	1	1	1	1	1.00	1.00

Figura 21. Extracto de Hoja de cálculo utilizada para definir Criticidad a cada Estación de Bombeo.

Fuente: (García Rodríguez, 2020)

De nuevo, de manera no automatizada, el ingeniero convierte los datos de probabilidad de falla a criticidad de las estaciones de bombeo (Figura 21).

Este procedimiento, desde la recopilación de la información hasta la estimación de las criticidades, consume al ingeniero alrededor de 8 horas semanales.

Calculados los índices, son presentados al director del departamento e ingenieros encargados de área, quienes, en conjunto, deciden y realizan las tomas de decisiones, que argumentan los trabajos de mantenimiento prioritarios a realizar en la semana o a programar para realizar intervenciones mayores.

Actualmente, dado el manejo, método y medios utilizados, el origen e interpretación de los datos no se realiza en el menor tiempo posible, de igual manera, se imposibilita la interpretación y cálculo en línea de los índices. Por otro lado, los equipos dentro de las estaciones de trabajo no se encuentran debidamente identificados.

A fin de dar un seguimiento más robusto a este aspecto, la administración instauró un control extra para su gestión, la trazabilidad de los equipos, sin embargo, actualizaciones a los registros como ubicación actual, intervenciones y refacciones, movimientos entre bodegas, estaciones y talleres de reparación deben ser digitados por el ingeniero de gestión, demandando al menos ocho horas laborales de su tiempo administrativo, sin contar eventos correctivos.

Debido a que los procesos de donde surgen los datos para el cálculo de estos tres índices deben desarrollarse de manera paralela y actualizados por la misma persona, puede presentarse la ocasión que un registro de medición no sea del todo certero, pues, a causa de una falla correctiva, se almacenen los datos de dos equipos con historial distinto en meses consecutivos y por tanto, que no corresponda la medición realizada, afectando que se establezca una tendencia como debería argumentar el mantenimiento predictivo y el sistema de gestión implementado.

Cabe mencionar que los datos son almacenados en una carpeta compartida dentro de una intranet de la Dirección de Sistemas de Bombeo. Este archivo y demás documentación de utilización diaria, tanto administrativa como ingenieril, se aloja en esta red utilizando un computador de uno de los miembros de la Dirección como servidor, implicando que el equipo no puede apagarse, pues si lo está, los demás participantes quienes cuentan con acceso a este alojamiento no pueden visualizar y o actualizar ningún archivo.

De igual manera, al tener todo el personal un acceso no restringido ni con seguimiento de modificaciones, puede dar cabida a la eliminación fortuita de elementos de manera no intencional, perjudicando el actuar de la Dirección.

Un procedimiento no óptimo para la recopilación de información, equipos sin una identificación visual en campo, latente oportunidad de pérdida de datos, aunado al hecho de generarse una cantidad elevada de data y poco factor humano, puede generar eventos tales como ingreso de información equivocada o tardía, afectando de manera negativa al sistema de gestión recién instaurado.

Lograr que los controles se actualicen en un tiempo menor y de manera automática, facilitaría y agilizaría tanto la programación como la toma de decisiones. Por lo anterior, se propone una estrategia de mantenimiento predictivo inteligente que consiga no sólo agilizar el ingreso de los datos, sino la administración, control y evaluación de variables ingresadas utilizando un sistema computacional, enlazado al modelo de gestión y sus índices instaurados dentro de la dirección.

3.2. Objetivos Generales

Proponer el diseño de una estrategia de Mantenimiento Predictivo Inteligente en la Dirección de Sistemas de Bombeo del AyA.

3.3. Objetivos Específicos

1. Identificar los procesos utilizados para la obtención y manejo de datos para el diagnóstico de estos, realizando visitas de campo, seguimiento del personal encargado y la aplicación de una evaluación MES.
2. Clasificar las necesidades en los procesos administrativos para la cuantificación del grado de afectación para los usuarios, mediante un análisis FODA.
3. Construir un Cuadro de Mando Integral desde las cuatro perspectivas que midan el desempeño de la gestión de mantenimiento, utilizando de la norma VDI 2893:2006. Selección y Formación de Indicadores de Mantenimiento
4. Diseñar un base computacional en una plataforma conjunta para la mejora de la interpretación y manejo de datos de mantenimiento, utilizando las herramientas Microsoft Sharepoint y Microsoft Power Apps, para su enlace con un sistema SQL.
5. Elaborar un análisis económico de la estrategia de mantenimiento predictivo inteligente para la valoración por parte de la Gerencia de la Dirección de Bombeo, utilizando un estudio de relación Costo-Beneficio.

La distribución hídrica en el GAM recae sobre el AyA. Dicha zona está habitada por casi tres millones de usuarios²⁵, por lo que es común el desarrollo de proyectos como el *Programa de Agua Potable y Saneamiento (PAPS)* con una inversión de 29 315 597 USD y mostrado en la Figura 22. Dicho monto incluye los sistemas de agua potable en La Carpio, Alajuelita, sectores marginales de los Guido, Patarra y zonas de Desamparados²⁶, y demuestra que la necesidad de agua dentro del territorio nacional va en aumento.

La zona y el crecimiento demográfico exige al AyA direccionar sus acciones a facilitar el servicio de agua potable a toda la población, e intrínsecamente a la Dirección de Sistemas de Bombeo, el deber de reducir su respuesta a la atención de incidentes de forma correctiva.

Utilizar herramientas tecnológicas que instauren una industria 4.0 desde la perspectiva de mantenimiento, garantizarían una interpretación en tiempo real de la información generada dentro del departamento.

Acercando esta idea a una realidad nacional, se puede mencionar dos líneas de acción dentro de la *Estrategia de Transformación Digital hacia la Costa Rica del Bicentenario 4.0 2018-2022*:

- Desarrollo de capacidades y cultura digital para la industria 4.0

Ubicada dentro del Eje de Transformación Empresarial 4.0, la solución planteada impulsaría el teletrabajo al poder visualizar los datos alojados en un servidor, de igual

²⁵ (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2011)

²⁶ (Acueductos y Alcantarillados, 2019)

manejar se potenciaría la mejora en la atención de emergencias, al atenderse de manera más expedita las fallas.

- Promover la ciencia de los datos para la toma de decisiones y gestión de riesgos.

La Buena Gobernanza encapsula todas las instituciones gubernamentales del país, por tanto, el AyA debe buscar la manera de cumplir dichos lineamientos y principios. Diseñar una herramienta que permita realizar consultas en tiempo real y facilite la toma de decisiones desde datos subidos a un servidor que pueden ser luego utilizados para otros fines, acercaría más a lograr este objetivo.

Garantizar un lapso menor para el manejo y cálculo de los datos, considerando un mantenimiento con vistas a la condición, influenciaría directamente al tiempo medio entre la consideración del estado de falla y el tiempo de atención y solución, disminuyendo el tiempo entre la generación de los datos necesarios y la toma de decisión.

3.5. Viabilidad

La Dirección de Sistemas de Bombeo ha instaurado los cimientos y principios del sistema de gestión centrado en la gestión del conocimiento, así como seguir un proceso de estandarización ISO 9001. Debido a estos dos elementos, se ha realizado y almacenado gran cantidad de información virtual, con la salvedad de que no existe orden en el manejo y almacenamiento de estos. Se dispone de dicha información gracias a la asistencia del administrativo y facilidad de otorgamiento de un equipo computacional para realizar las consultas pertinentes.

Se cuenta con libertad de entrevistar, visitar, y documentar visitas a los procesos de medición, utilizando los medios oficiales de transporte y acceso a plataformas del AyA,

previa aprobación de los departamentos pertinentes. Se puede utilizar las instalaciones para que realizador del proyecto realice sus tareas.

Se facilita la asistencia directa de un técnico del departamento, con conocimientos del orden e infraestructura administrativa interna, así como conocimiento de equipos y detalles de las estaciones de bombeo. Dicha persona será la encargada de brindar soporte en la recopilación y orden de datos para el estudiante. Dicho colaborador asistirá al realizados en aquellos momentos donde no se intervengan sus responsabilidades laborales.

Este proyecto es posible dada la necesidad explícita de la Dirección, al reconocer y solicitar ellos mismos la intervención dentro de este proceso en específico.

3.6. Alcance

Este proyecto abarcará la creación de una herramienta digital para el ingreso de datos por parte de los técnicos de medición, así como una plataforma donde los datos serán analizados y detallados para la interpretación de los índices establecidos por la Dirección.

Se realizará, además, una evaluación del Departamento desde el punto de vista de mantenimiento, así como de sus índices y proceso utilizado para el manejo de los datos.

Se promoverá un contacto con el departamento de IT a la vez como se facilitará una lógica programable para que sea la base de una herramienta más robusta y que cuente con los permisos de autorización y acceso de la institución.

Se diseñará y actualizará, con colaboración de un técnico, una base de datos, para que la misma pueda ser utilizada o recopilada en ocasiones futuras.

3.7. Limitaciones

Debe considerarse que, al tratarse de una empresa pública, los planes de licitación, contratación y adquisición de bienes es algo engorroso, esto dado que, considerar la utilización de licencias u otras herramientas fuera de las administradas es casi imposible. Considerar la opción de adquirir dispositivos sensores, así como plataformas como CMSS, pueden considerarse en la solución, más no implica que las mismas vayan a adquirirse.

Durante la realización de este trabajo, se presentó a nivel mundial la pandemia por el virus COVID-19, esto limitó el horario pactado de visita a la empresa (lunes a viernes de 7:00 a 16:00 horas) cambiando a una modalidad de teletrabajo. Este cambio afecta las visitas planificadas, así como la toma de tiempos para fundamentar mejor la solución.

3.8. Metodología

Tabla 12. Metodología Seguir para la Elaboración del Proyecto²⁷

Objetivo Planteado	Actividades	Entregables
1. Identificar los procesos utilizados para la obtención y manejo de datos para el diagnóstico de estos, realizando visitas de campo, seguimiento del personal encargado y la aplicación de una evaluación MES.	1.1. Reconocer las necesidades de mejora dentro del Departamento.	Análisis de Encuesta MES
	1.2. Aplicar encuesta MES a sector administrativo, operativo y de mantenimiento.	Análisis de Encuesta MES
	1.3. Programar al menos dos visitas de campo para registro de proceso de toma de datos.	Análisis y Observaciones de la Visita.
	1.4. Detallar las condiciones en las que se realiza la medición.	Procedimiento para la toma de Datos en Estaciones de Bombeo.
	1.5. Listar opciones de mejora encontrados durante las visitas de campo.	Procedimiento para la toma de Datos en Estaciones de Bombeo.
	1.6. Realizar una lista de equipos más comunes en las estaciones de bombeo, y recopilar fichas técnicas de estos.	Procedimiento para la toma de Datos en Estaciones de Bombeo.
	1.7. Relacionar las opciones de mejora con los resultados de la encuesta MES	Propuesta Esquemática para la Toma de Datos en Estaciones de Bombeo.
2. Clasificar las necesidades en los procesos administrativos para la cuantificación del grado de afectación, mediante un análisis FODA.	2.1. Definir las partes participes en el proceso de obtención y manejo de datos, así como sus obligaciones para con el proceso.	Propuesta Esquemática para la Toma de Datos en Estaciones de Bombeo.

²⁷ Cualquier apartado elaborado fuera de lo mencionado anteriormente, será considerado entre la Dirección y el autor de este escrito.

Objetivo Planteado	Actividades	Entregables
<p>3. Construir un Cuadro de Mando Integral desde las cuatro perspectivas que midan el desempeño de la gestión de mantenimiento, utilizando de la norma <i>VDI 2893:2006. Selección y Formación de Indicadores de Mantenimiento.</i></p>	<p>2.2. Realizar un análisis FODA del proceso de gestión y obtención de datos de acuerdo con cada puesto participante del proceso.</p>	<p>Análisis FODA: Procedimiento para la toma de Datos en Estaciones de Bombeo.</p>
	<p>3.1. Identificar los indicadores de Mantenimiento gestados por el Departamento, así como el porqué de su elección.</p>	<p>Cuadro de Mando Integral</p>
	<p>3.2. Comparar los indicadores utilizados en el Departamento con la norma <i>VDI 2893:2006.</i></p>	<p>Cuadro de Mando Integral</p>
	<p>3.3. Resumir los resultados de la comparación en un CMI.</p>	<p>Cuadro de Mando Integral</p>
<p>4. Diseñar un base computacional en una plataforma conjunta para la mejora de la interpretación y manejo de datos de mantenimiento, utilizando las herramientas Microsoft Sharepoint y Microsoft Power Apps, para su enlace con un sistema SQL.</p>	<p>3.4. Establecer, de haberlo, mejoras en la relación de índices de mantenimiento gestados y su relación con la gestión de datos.</p>	<p>Cuadro de Mando Integral</p>
	<p>4.1. Identificar las herramientas digitales y de comunicación existentes en las estaciones de trabajo, así como las utilizadas por los participantes de los procesos.</p>	<p>Preámbulo del Sistema de Mantenimiento Inteligente.</p>
	<p>4.2. Definir, en conjunto con los Departamentos pertinentes, una plataforma digital sostenible, económica y rentable para el manejo de datos.</p>	<p>Preámbulo del Sistema de Mantenimiento Inteligente.</p>
	<p>4.3. Establecer las relaciones entre los datos de medición y las tablas de datos necesarios.</p>	<p>Modelo Descriptivo de Programación de la herramienta.</p>
<p>4.4. Identificar las necesidades de los usuarios a la hora de mostrar e ingresar datos de acuerdo con los puestos establecidos en 2.1.</p>	<p>Listado de Necesidades para la GUI.</p>	

Objetivo Planteado	Actividades	Entregables
	4.5. Diseñar base de Datos para el manejo y operación de la información generada da de las mediciones.	Código Fuente.
	4.6. Diseñar interfaces gráficas de fácil uso para el manejo de los usuarios.	Formularios para el ingreso y consulta de Datos (GUI)
	4.7. Garantizar la continuidad y soporte del sistema generado en común acuerdo con el Departamento de Sistemas de Información del AyA.	Modelo Descriptivo y Relaciones entre Datos.
5. Elaborar un análisis económico de la estrategia de mantenimiento predictivo inteligente para la valoración por parte de la Gerencia de la Dirección de Bombeo, utilizando un estudio de relación Costo-Beneficio.	5.1. Definir las características y abarque del procedimiento de gestión de información bajo una estrategia de Mantenimiento Predictivo Inteligente en la Gestión de datos.	Análisis Económico de la Estrategia: Definición Económica de la Estrategia.
	5.2. Enlazar el análisis FODA y la estrategia de mantenimiento predictivo inteligente en la gestión de datos desde un aspecto económico.	Análisis Económico de la Estrategia: Justificación de la Inversión en la Estrategia
	5.3 Estimar el impacto de los tiempos esperados a reducir en el proceso y la inversión de equipos desde una perspectiva social y privada.	Análisis Económico de la Estrategia: Impacto Económico Social y Privado de la Estrategia
	5.4. Calcular el ahorro anual debido a la implementación de una estrategia de mantenimiento utilizando un análisis de justificación de la inversión de mantenimiento predictivo.	Análisis Económico de la Estrategia: Justificación de la Inversión en la Estrategia Planteada.

Fuente: Elaboración Propia, Microsoft Excel 2019

Capítulo 4 Desarrollo

4.1. Análisis de Evaluación MES a la Dirección de Sistemas de Bombeo del GAM

Como se mencionó en la sección 2.1 Evaluación de la Efectividad del departamento de Mantenimiento en la página 35, para fines de este proyecto se utilizó la evaluación propuesta por *Marshall Institute*.

A fin de lograr resultados más centrados al departamento, se realiza una tropicalización de esta, la cual puede ser consultada en el Apéndice 1. Se logra realizar la encuesta a un 25% del personal administrativo y 15% del personal técnico. Los resultados se resumen en la tabla siguiente:

Tabla 13. Resultados de la Aplicación de la Evaluación MES a la Dirección de Sistemas de Bombeo²⁸

Sector	Administración de Recursos	Administración de la Información	Mantenimiento Preventivo y Tecnología de los Equipos	Planeamiento y Calendarización	Soporte al Mantenimiento
Administrativo / Ingeniería	120	103	87	108	102
Mantenimiento/ Medición	132	100	110	138	128
<i>Variación</i>	0,297	0,601	0,737	0,579	0,593
<i>Desviación Estándar</i>	0,545	0,776	0,858	0,761	0,770

Fuente: Elaboración Propia, Microsoft Excel 2019

²⁸ El puntaje máximo para cada área de estudio es de 144 puntos. El mínimo es 48.

A manera de lograr un análisis más fácil de los datos mostrados en la Tabla 13, se presentan el gráfico asociado a los resultados recopilados:

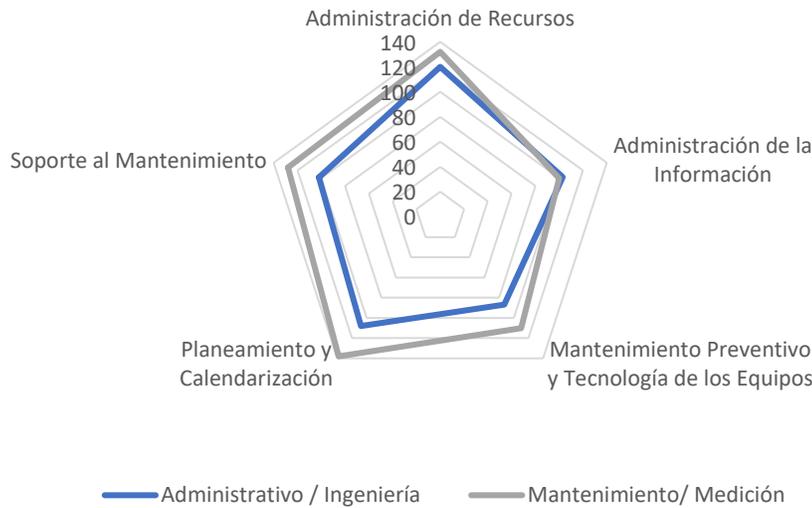


Figura 23. Gráfico Radial para los datos de la Tabla 13.

Fuente: Elaboración Propia, Microsoft Excel 2019

Según el sector administrativo, la carencia mayor se da en la administración de la información, pero los técnicos difieren al considerar que el área carente es el de Mantenimiento Preventivo y tecnología de los Equipos. Nótese, que, a pesar de su diferencia de criterio, comparten la idea de que las otras tres áreas se encuentran bien, logrando un consenso en ello.

A modo comparativo, se muestra la Figura 24, resultados de la evaluación MES realizada en el 2018. Comparados con la Figura 23, se nota una tendencia en la concepción de debilidad en los puntos mencionados en el párrafo anterior.

Por consiguiente, centrando atención a dichas áreas se muestran la suma para cada una de las preguntas de dichas áreas son las mostradas en la Tabla 14.

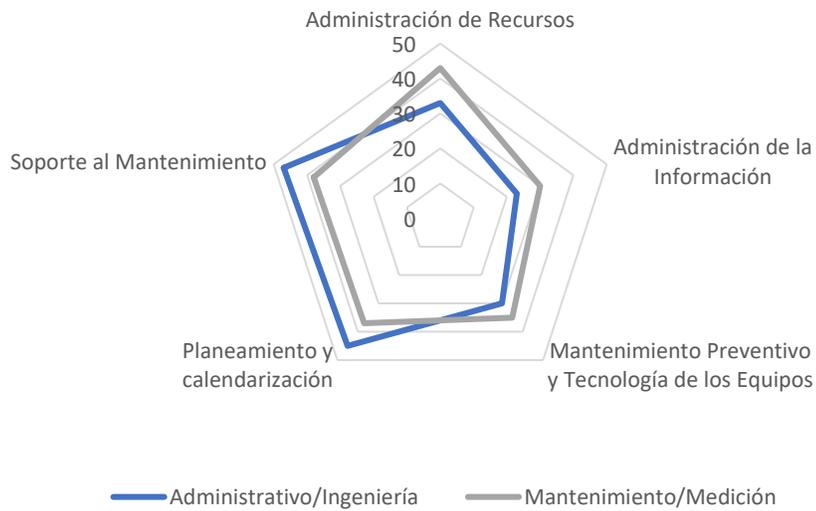


Figura 24. Gráfico Radial para la Auditoría MES realizada en el 2018

Fuente: (Garcia Rodriguez, 2018)

Tabla 14. Puntaje por Pregunta (de menor a mayor) para Áreas con menor calificación en la evaluación MES

Área de Análisis	ID Pregunta	Puntaje Sector Administrativo/ Ingeniería	Puntaje Sector Mantenimiento/ Medición	Suma Total ²⁹
Administración de la Información	24	4	2	6
	22	7	4	11
	16	6	6	12
	13	7	8	15
	14	8	8	16
	15	8	8	16
	18	10	10	20
	19	10	10	20
	23	8	12	20
	20	11	10	21
	21	12	10	22
	17	12	12	24
	Mantenimiento Preventivo y Tecnología de los Equipos	28	3	6
30		7	4	11
25		3	10	13
26		8	8	16
34		6	10	16
35		6	10	16
36		6	10	16
31		7	10	17
32		10	10	20
33		10	10	20
35	6	10	21	
36	6	10	22	

Fuente: Elaboración Propia, Microsoft Excel 2019

²⁹ Los datos se ordenan en orden descendente según su Suma Total. La finalidad es la de mostrar inicialmente las preguntas con menor calificación por parte de los entrevistados. La Suma Total máxima es 24 y por sector es de 12.

Según el puntaje obtenido por pregunta, se reconocen las siguientes necesidades de mejora y observaciones:

- Preguntas 24 y 22: La Dirección de Sistemas de Bombeo tiene labores muy diferentes respecto a demás departamentos internos del AyA. La comparación se daría a niveles administrativos y no operacionales; establecer índices comparativos con otros departamentos no generaría valor alguno para el alcance de este proyecto. De igual manera, existen rúbricas para la evaluación administrativa interna para cada departamento.
- Pregunta 16: Al no existir plataforma digital, es inherente que no exista una capacitación referente al uso de esta. Lo más cercano a una inducción sería un mostrario de llenado de datos de la hoja de cálculo enviada por los técnicos, mostrada en la Figura 19. Se evidencia el uso de distintos softwares para manipular el archivo, lo que ha provocado choques a la hora de visualizar la información y su manipulación.
- Preguntas 13 y 15: La Dirección de Sistemas de Bombeo no cuenta con una plataforma digital para el manejo de datos *per se*, pues se utiliza una carpeta compartida la cual tiene acceso sólo cierto sector del departamento. La modificación y manipulación de los datos está abierta a cualquiera de estos usuarios. Tampoco existe un respaldo automático de los datos, y estos se comparten y actualizan vía correo electrónico entre los técnicos de medición y el ingeniero de gestión. La actualización de las mediciones a la carpeta compartida se da cuando el ingeniero realiza el ingreso de los datos de la Figura 19 en la hoja de datos para el cálculo de la probabilidad de falla y la de criticidad, Figura

20 y Figura 21, respectivamente. Referente a la edición de nuevas variables relacionadas con los equipos (estación de bombeo actual, estado del equipo, encargado del equipo, entre otros) el ingeniero debe relacionar y actualizar manualmente todas las referencias emitidas por los demás colaboradores para cada una de las áreas del GAM.

- Pregunta 14: A pesar de existir una cartilla plástica para identificar la trazabilidad de los equipos, existen algunos donde no se encuentra identificado su ubicación actual, posición dentro de una estación de bombeo, o su número de serie es ilegible, incluso, no cuentan con esta identificación. Si se desea establecer un método para el control de activos y movimientos, dicha situación debe subsanarse.
- Pregunta 28: Este apartado hace referencia al mantenimiento autónomo a los activos. El puntaje tan bajo responde a decisiones tomadas por la dirección del departamento. Considerando que se quiere instaurar un mantenimiento basado en la condición, así como la existencia de una programación de limpieza y manteniendo, este punto no se considera crítico. La verificación de que dicho cronograma de actividades se esté llevando a cabo siguiendo normativas de seguridad laboral, orden y procedimientos debe ser imperativo.
- Pregunta 30: Debido a la lentitud reinante para mantener al día la información de los equipos, así como su identificación, mantener los registros de mantenimiento por equipo y su coste unitario se dificulta en gran medida, esto es evidente para las dos áreas del departamento.

- Pregunta 25: A pesar de haber una calendarización de los eventos, se evidencia que los trabajos correctivos se agendan de manera inmediata, afectando en veces a la programación planeada, esto con el fin de disminuir el impacto posible de la afectación. La asignación y cumplimiento asertivo de las tareas correctivas se logra gracias a la colaboración de los técnicos y buenas relaciones interpersonales dentro del departamento, sin embargo, no existe encargados delimitados para realizarlos. Las tareas de mantenimiento se programan semanalmente con relación a un grado de criticidad establecida en las reuniones semanales entre el director y los ingenieros encargados de área. La programación va de la mano de los índices de probabilidad de falla y criticidad de cada una de las estaciones. Se da un consecutivo de las tareas, pero tampoco se asignan encargados.
- Pregunta 26: dentro de la reunión semanal se analizan los procedimientos y se modifican para lograr mejoras al proceso, desde la selección y contratación de servicios y equipos, hasta procedimientos.
- Pregunta 34 y 35: Dichos ítems se refieren al entrenamiento brindado para el mantenimiento y operación de equipos nuevos. Cabe destacar que en ambas preguntas se logra una mejor calificación por parte de los técnicos que de la gerencial. Si se cuentan con técnicos especializados y capacitados para las labores normalizadas del departamento, no debería haber impedimento alguno para realizar las tareas de manera segura y efectiva. Se evidencia que muchos de los equipos son bastantes similares, debido a esto, lograr la estandarización de procesos es una idea fácil de lograr. Debido a la aplicación de la norma ISO

9001, el departamento cuenta con gran cantidad de procesos ya estandarizados y documentados. Definir la necesidad de entrenamiento de los técnicos en nuevas herramientas es imperativo.

En sumatoria, es evidente la necesidad de proyectos que mejoren el manejo y manipulación de la información del departamento, así como idear procedimientos estándares y entrenamientos que faciliten su entendimiento y alcance. Dichas herramientas deben brindar mejoras a la rutina laboral a ambos sectores de la dirección. Sin embargo, dichas herramientas deben ir acompañadas de prácticas que enmienden posibles fuentes de fallo para el sistema, como la no identificación de equipos y el registro de las actividades que se realizan a los activos.

Fuera del alcance de este proyecto, se recomienda que las tareas se asignen operadores y que las mismas tareas lleven un seguimiento escrito, lo cual sustentaría en gran manera las acciones tomadas a partir de los datos detallados por los índices del departamento. Otra posible solución a este último punto sería el indagar las observaciones concretas de dicho sector para reconocer los puntos de ataque, e idear métodos que se ajusten más a sus necesidades.

4.2. Procedimiento para la Toma de Datos en Estaciones de Bombeo

4.2.1. Procedimiento Actual

El proceso interno ME-PR-07³⁰ establece el procedimiento a seguir para realizar las mediciones de las variables en las estaciones de bombeo. Para evidenciar que se cumpla

³⁰ Anexo 1

dicho documento y sus apartados, se muestra el procedimiento realizado a la estación de rebombeo Uruca.

Los técnicos cuentan con los siguientes equipos para realizar las actividades de medición de variables:

Tabla 15. Instrumentos de Medición utilizados durante la Toma de Mediciones

Marca y Modelo	Tipo de Mediciones
General Electric. Modelo: Transport® PT878	Hidráulicas: Mediciones de Caudal
Hidreka. Modelo: ChronoFlo® Mini	Hidráulicas: Mediciones de Caudal
Siemens. Modelo: SITRANS FUS1010 (Standard) ³¹	Hidráulicas: Mediciones de Caudal
Fluke. Modelo: 1587 FC	Eléctricas: Multímetro de aislamiento
Fluke. Modelo: 1730	Eléctricas: Registrador Trifásico de Consumo Eléctrico

Fuente: Elaboración Propia, Microsoft Excel 2019

De la tabla anterior, el técnico en medición utiliza, dependiendo de la asignación de equipos y estación (observar nota al pie de página 31) un de las tres opciones de medición de caudal. Todos los dispositivos de medición de caudal aplican el mismo principio para su medición: ultrasonido. Durante la visita a la estación Uruca, se utilizó el Transport® PT878, el cual cuenta con una memoria interna que almacena el grosor y material de la tubería que se desea censar. A partir de estos datos, el equipo proporciona una distancia “x” en cuyos límites deben ubicarse los transductores acústicos. Debe prestarse fundamental atención a que los dispositivos ultrasónicos se conecten al

³¹ Ubicado únicamente en la estación Puente Mulas. Este cuenta con una pantalla gráfica que muestra el diagrama del sistema, así como las variables de las mediciones.

medidor respetando el color y orden de sus anillos, pues estos deben respetar la dirección del flujo contenido dentro de la tubería.



Figura 25. Proceso de Ubicación de Transductores para la medición de variables en la estación de Rebombeo Uruca.

Fuente: Elaboración Propia

Una vez ubicados los sensores, la información es enviada a la unidad de cálculo, y los datos son mostrados en la pantalla del dispositivo. Al tratarse de una medición analógica, los cables de transmisión de información son susceptibles a daños, que, de igual manera, por su función, son de un coste elevado y sólo pueden ser adquiridos por medio de la casa distribuidora local. Se connota la importancia de almacenar, disponer, y no manipular de mal manera dichos elementos. Muestra de ello es que, durante la medición

en una de las últimas unidades, se incurrió en mayor tiempo para realizar la lectura, pues el terminal que conectaba el dispositivo con el transductor no cerraba el circuito de comunicación. Gracias a la pericia del técnico, dicha situación pudo ser solventada, aun cuando el tiempo medio de medición fue alterado.



Figura 26. Instrumentos de Medición de Caudal.

Fuente: Elaboración Propia

En la estación Uruca, se cuentan con seis equipos de bombeo, por lo que, para medir el caudal de salida de cada uno amerita que los otros cinco estén desconectados. El punto de medición de caudal puede ser el mismo para este caso. Esta situación es reiterativa

en aquellas estaciones donde existan más de un subconjunto, por lo que debe ser fundamental para el personal de medición reconocer el diagrama de circulación del agua dentro de las tuberías. Esto garantiza acertar mejor la medición.

Gracias a este conocimiento, los mismos técnicos reconocen la ubicación de manómetros que sugieren la veracidad de los datos mostrados en el terminal al comparar los mostrados contra los proporcionados por los manómetros. Se menciona que, en ocasiones donde el equipo está desequilibrado, o simplemente para *sentirse seguros* de su medición, realizan estas comprobaciones.

Es evidente que deben realizarse mediciones con y sin energía. Dado que durante el proceso de medición el personal debe interactuar con energía contenida en las líneas hidráulicas, así como eléctrica de baja y media potencia, existe una alta posibilidad de riesgo laboral. Siendo la última en mención quien representa la mayor probabilidad, es de suma importancia realizar las actividades considerando factores de seguridad laboral que garanticen efectividad y veracidad en las mediciones.

Para realizar la obtención de las variables eléctricas, un técnico capacitado y con entendimiento de principios electromagnéticos tiene las facultades necesarias para llevar a cabo dicha labor; los encargados de tomar las mediciones cuentan con estos conocimientos, así como el saber utilizar e interpretar los datos brindados por los equipos Fluke utilizados. Aún con equipos relativamente modernos para cuantificar las variables eléctricas, es necesario abrir varios de los paneles eléctricos para realizar las mediciones, pues cada conjunto cuenta con su propio panel.

Al momento de recopilar el dato de aislamiento del motor, se comprueba la importancia de reconocer el circuito eléctrico y la ubicación y conexión de las donas de medición, pues de realizar dicho enlace de mal manera, afectaría los datos mostrados por el registrador trifásico.

Se pudo evidenciar que el técnico de operación es de gran ayuda para el especialista de medición, pues colabora en que la toma de datos se realice en el menor tiempo posible. De igual forma, colabora al técnico en la recopilación de datos, llenando la bitácora mostrada en la Figura 18.

4.2.2. Opciones de Mejora al Proceso de Toma de Datos

Luego de comprobar el procedimiento realizado a la estación de rebombeo Uruca, se enlistan algunas consideraciones prudentiales que podrían mejorar características funcionales del proceso:

- Consideraciones referentes a Seguridad Laboral:
 - Indumentaria de los técnicos: Durante las pruebas eléctricas, los técnicos utilizaron guantes anticorte, lo cual no ofrece ninguna barrera protectora ante posibles eventos de índole eléctrico. Debe considerarse calzado básico como zapatos de protección de protección dieléctrica para tomar las mediciones.
 - El procedimiento ME-PR-0 menciona en sus apartados 4.1.2.1.6, 4.1.2.2.7 y 4.1.2.3.7 así como los que estos incluyen, bajar el interruptor principal de los tableros correspondiente, anotar el orden de los cables de potencia que van hacia el motor y soltarlos del contactor principal, térmico o caja de

conexión. Se propone la verificación de “*Cero Energía*” previo a este paso y no soltar los terminales, pues el personal técnico no cuenta en su haber con un torquímetro que verifique las presiones necesarias de los terminales.

- El control de variables eléctricas con energía (voltajes, corrientes, entre otros) podría mitigarse la probabilidad de riesgo de utilizar visores de variables en la puerta de los paneles. Se connota que existen algunos cuentan con esta herramienta, pero debería verificarse su buena operación y entrenar al personal para su manipulación. Es importante considerar que, de no existir, este es un gasto ya que implica sistemas de control que podrían incluir hasta botones de paro y seguros tipo *LOTTO*.
- Consideraciones referentes a Temas Administrativos:
 - Una comunicación y planificación más directa entre la Dirección y el Centro de Control Operacional de AyA garantizaría el no incurrir en gastos innecesarios para la dirección, desde el coste del desplazamiento de los técnicos a las estaciones, así como el tiempo invertido para realizar y reagendar las visitas.
- Consideraciones referentes al Proceso:
 - El registro ME-PR-07 establece un orden de cómo realizar las tareas. Es importante refrescar dicho procedimiento a los técnicos para que tengan presentes acciones como la de informar al centro de control y la Dirección cuando las estaciones estén no operando.

- El dispositivo Transport® PT878 es una herramienta obsoleta. La Dirección cuenta con dos unidades de este modelo, sin embargo, una de ellas presenta una falla de *firmware*, pero la empresa distribuidora ya no realiza reparaciones a este modelo. De igual manera y como se menciona párrafos arriba, los cables para la conexión de los transductores y el mecanismo son muy sensibles y frágiles, a pesar de que se cuenta con una maleta para su transporte seguro, la opción de conseguir refacciones para el dispositivo se vuelve casi imposibles.
- En contra de lo considerado por el elaborador, el personal técnico prefiere utilizar el dispositivo Transport® PT878 sobre las otras herramientas. Se aducen situaciones desde manipulación de la herramienta (idioma, memorias almacenadas) así como operación de estos. Se recomienda brindar refrescamiento para el uso de las herramientas, así como establecer un bloqueo a la manipulación a la memoria interna de los dispositivos, así como su configuración.
- Dado que todas las mediciones de caudal se realizan de la misma manera, se recomienda realizar las mismas en un mismo punto de medición y que estos sean identificados de manera visual por parte de todo el personal. Dicho aposento debería contar con información a mano como:
 - Diámetro de la tubería.
 - Grosor de la tubería.
 - Puntos de Ubicación de los transductores.

- Es una buena práctica de mantenimiento que los técnicos lleven su propia bitácora de mediciones. Generaría mayor valor si estas estándar de dichas bitácoras por parte de ellos.
- Se comenta que, en algunas estaciones, los operarios no colaboran de manera activa al técnico de medición para realizar las labores. Debe considerarse dicha tarea como de asistencia, y mencionar al operario que sea simple colaborativo, no ejecutor de la tarea de medición. Dicha labor colabora en la medición y disminuye el tiempo de intervención a los equipos.
- Se debe prestar debida atención a la frecuencia de calibración de los equipos con las casas matrices y distribuidoras a nivel nacional. Gestar un control de activos que garantice la actualización de estos, así como la disponibilidad de dispositivos es de suma importancia.
- Las herramientas de medición cuentan con soluciones virtuales que no se están utilizando, y de las cuales se podría sacar partida y beneficio, por ejemplo: sistema *Fluke Connect*®.

4.2.3. Equipos más Comunes en Estaciones

Tal como muestra la Figura 7, dentro de la Dirección de Sistema de Bombeo predominan las estaciones de bombeo tipo pozo profundo con equipo sumergible. La Dirección de sistema de Bombeo del AyA estimó realizar una inversión aproximada de 1 244 888 USD.

Tabla 16. Inversión Estimada dentro de la Dirección de Sistemas de Bombeo para el 2020

Tipos de Equipos	Inversión Estimada [USD]	Cantidad de Equipos	P. Respecto al Total [%]
Motor Vertical	500,000.00	12	40.2
Bomba Sumergible tipo Turbina	201,500.00	10	16.2
Bomba Sumergible	187,888.00	33	15.1
Motor Sumergible	157,650.00	27	12.7
Bomba Tipo Carcaza Partida	115,000.00	2	9.2
Motobomba multietapa	82,850.00	16	6.7

Fuente: (Rodriguez, 2020)

La Tabla 17 muestra los elementos más comunes según su tipo de estación.

Tabla 17. Equipos más comunes según Tipo de Estación de Bombeo

Estación de Bombeo	Tipo de Equipo	Marca	Modelo
Bombeo/Rebombeo	Bomba	WEIR	SDC 150/200
Bombeo/Rebombeo	Motor	WEG	HGF
Bombeo/Rebombeo	Variador de Frecuencia	ABB	ACS800
Booster	Bomba	Peerless	F2-830AM-BF
Booster	Motobomba	Baldor	12T086X911G1
Booster	Motor	Lincoln	Lineguard Dripproof
Pozo Profundo	Bomba	Goulds	9THC-4
Pozo Profundo	Motor	Saer	MS251-250
Pozo Profundo	Variador de Frecuencia	WEG	NACFW110312T4SZ

Fuente: Elaboración Propia, Microsoft Excel 2019

En el Anexo 2 se pueden visualizar las fichas técnicas de estos equipos a manera de ampliar la documentación de este documento.

4.3. Propuesta Esquemática para la Toma de Datos en Estaciones de Bombeo.

Considerando los resultados obtenidos en las secciones 4.1 Análisis de Evaluación MES a la Dirección de Sistemas de Bombeo del GAM y 4.2.2 Opciones de Mejora, se establece un proceso nuevo para recopilar la información dentro de las estaciones de bombeo.

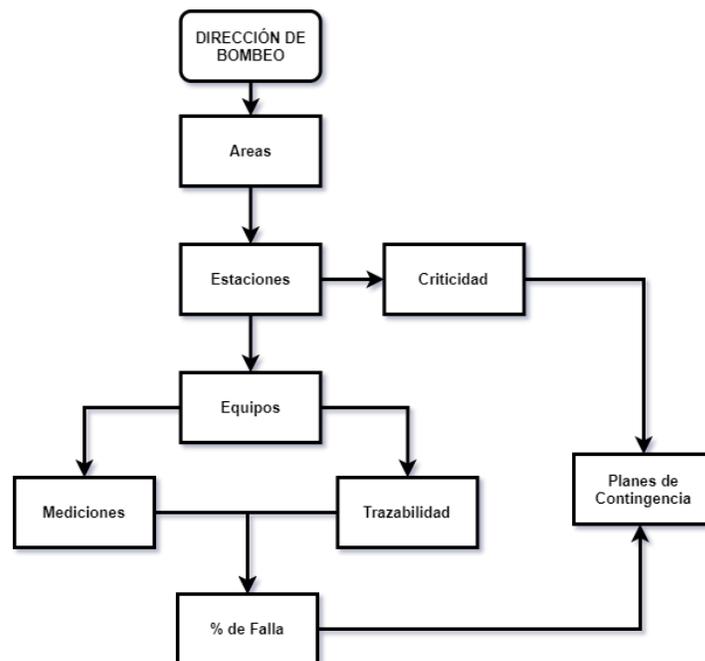


Figura 27. Flujograma de la Adquisición de Variables y relación de Índices utilizado actualmente en la Dirección de Sistemas de Bombeo.

Fuente: (Rodríguez, 2020)

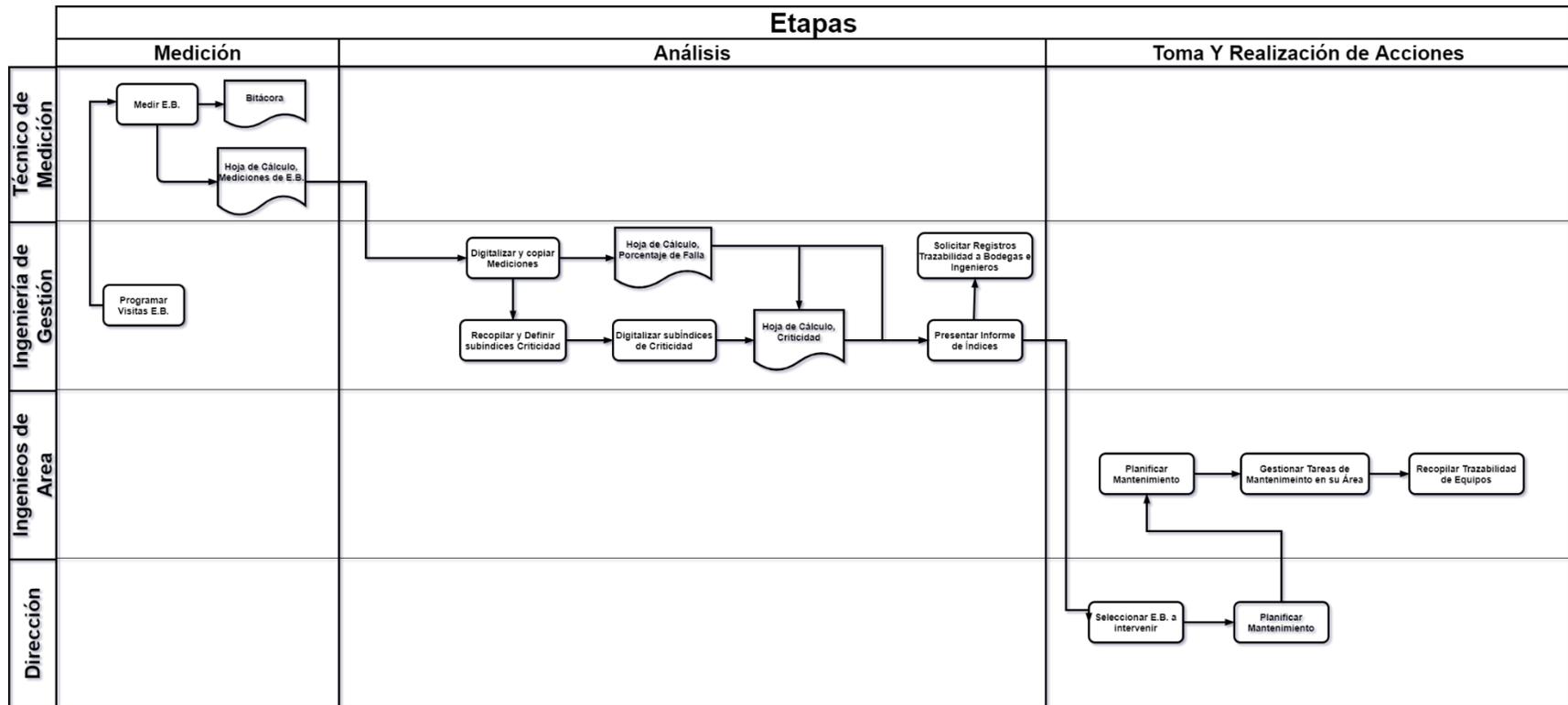


Figura 28. Diagrama de Flujo de los Participes dentro del Proceso de Medición actual de la Dirección de Sistemas de Bombeo.

Fuente: Elaboración Propia, diagrams.net

La Figura 27 es una simplificación gráfica de donde se ubica el proceso de medición y como se adquieren los datos para generar los índices. Nótese como los datos de porcentaje de falla y criticidad culminan en la determinación de los planes de contingencia, y a su vez, el porcentaje de falla depende directamente de la información emitida por las mediciones y la trazabilidad. Por su lado, la Figura 28 muestra el diagrama de flujo de cada uno de los partícipes dentro del proceso de medición de índices y escogencia de actividades de mantenimiento utilizado en la actualidad.

Como se ha mencionado, toda la documentación y cálculo se realiza de forma asistida con hojas de cálculo, correo electrónico, y almacenaje de datos dentro de una intranet susceptible a fatalidades como eliminación de datos, y a pesar de visualizarse como un proceso sencillo, al ser bastantes las áreas de bombeo y los equipos dentro de ellas, la probabilidad de confundir los datos entre tanta información o que esta no sea actualizada en el tiempo debido es una situación altamente probable.

A pesar de que se utilizan marchamos para marcar los equipos y así dar seguimiento a la trazabilidad de los equipos, esta información no se encuentra del todo completa o incluso, existen equipos que no cuentan con ella, afectando incluso la identificación del equipo intervenido durante el proceso de medición.

El hecho de que el proceso se realice de una manera no tan automática afecta de igual manera a la programación de mantenimiento, debido al largo tiempo existente entre el momento en que se evalúa la estación y los datos se interpretan.

Al considerar estas situaciones como posibles fuentes de errores, se replantea el proceso para seguir el propuesto a continuación.

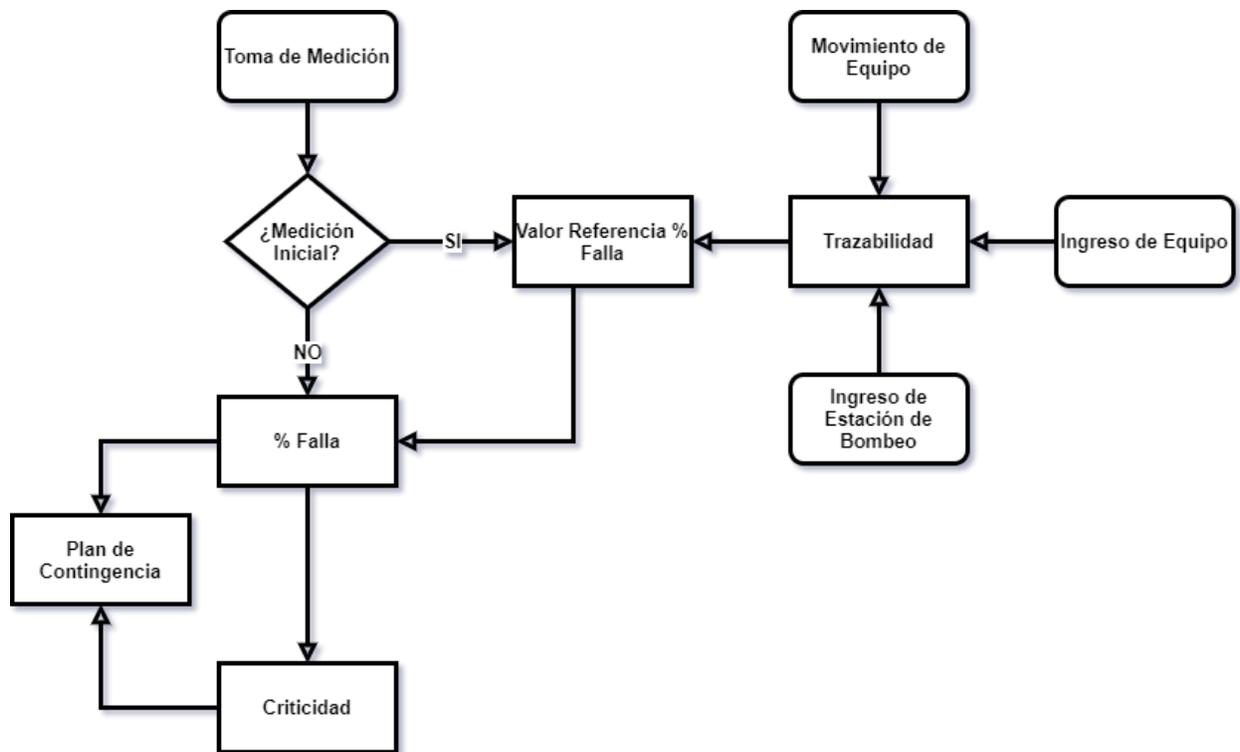


Figura 29. Procedimiento Propuesto para la Adquisición de Datos y Relación con los índices del Sistema de Gestión Interno.

Fuente: Elaboración Propia, diagrams.net

La propuesta de la Figura 29 muestra el flujo a seguir para la toma de decisiones, utilizando los sistemas computacionales y principios del mantenimiento predictivo inteligente como bases para lograr el cálculo y estimación de los índices.

La adquisición de información para alimentar el sistema se da en dos puntos: la trazabilidad y el proceso de medición. Por medio de trazabilidad, cuando se de ingreso de nuevos activos o estos se reubiquen, los datos se incorporarán a la base datos. De igual manera sucederá si se crean nuevas estaciones de bombeo.

Cuando se realice una visita de medición, se evaluará primeramente si dicha medición es una medición inicial o no. Establecer una medición inicial significa que el equipo a

censar en una posición dada dentro de una estación de bombeo no corresponde al último equipo medido en dicha posición, si el equipo en la medición anterior es el mismo que la a punto de censar, corresponde a una medición no inicial. El establecimiento de dicha condición se delimita con los datos obtenidos de la trazabilidad.

Si la condición de medición no inicial es verdadera, el módulo de porcentaje de falla procederá a comparar los datos de la última evaluación realizada contra los datos de la medición inicial establecida.

Por su lado, la criticidad calculará la cantidad de subconjuntos por estación de bombeo y establecerá el factor de frecuencia de fallos. El usuario ingresará los valores para los demás factores que definirán la criticidad de la estación.

Por último, los resultados de factor de falla por equipo y criticidad serán mostrados de manera visual o tabular para fundamentar la toma de decisiones.

Utilizando lo propuesto por (Wang, 2016) se plantea la utilización de sensores para la adquisición de datos eléctricos e hidráulicos en cada una de las estaciones, las cuales serán transmitidas vía internet a una plataforma de bases de datos en nube donde se gestionará la interpretación y extracción de señales, como se menciona en la segunda etapa de implementación. Para la herramienta propuesta, se procederá primeramente al cálculo de los KPI, que en este caso corresponden a la probabilidad de falla y criticidad, donde, seguidamente se realizará la generación de decisiones de mantenimiento, para proceder a su planificación. Al tratarse de un proceso digital, debe existir un proceso de retroalimentación, que tendrá como origen las definidas por los técnicos, así como los encargados de gestión del sistema.

Igualmente, se debe ingresar un módulo para que se realice el ingreso y actualización de variables, como la ubicación de la maquinaria, así como los subíndices de criticidad. De esta manera, se elimina la necesidad de comunicar los eventos de trazabilidad al ingeniero de gestión, pues los encargados de área actualizarán dicha información desde una plataforma que actualizará y alineará esta información con las mediciones realizadas. Los datos de trazabilidad podrán ser consultados en tiempo real en el momento en que sea necesario, y la información quedará respaldada ante cualquier eventualidad. Es necesario comentar que actualmente, las bases de datos cuentan con registros de usuarios cuando una modificación y actualización se realice, lo que gesta un seguimiento extra cuando suceda un evento fatal.

De lograr implementar, se reduciría en gran medida el tiempo de exposición de los técnicos a fuentes de energía peligrosas, así como obtener mediciones en tiempo real, lo que lograría mejoría en el monitoreo de los equipos al no realizarse de manera mensual, mejorando la calendarización de eventos al realizar monitoreos más continuos. Estos dos eventos colaborarían enormemente a mejorar las condiciones laborales de la parte técnica y la parte ingenieril.

En aquellas estaciones donde no pueda implementar la solución, se debe establecer puntos fijos de medición, lo que lograría una estandarización más profunda del proceso de medición. De igual manera, se debe definir procedimientos para que el envío de información se haga directo a la base datos, y de esta manera, el sistema cuente con datos en el menor tiempo posible.

Migrar estos datos a una plataforma digital, colabora a quienes necesiten visualizar la información lo realicen de manera remota, sin necesidad de ingresar a la intranet del AyA.

4.4. Análisis FODA: Procedimiento para la toma de Datos en Estaciones de Bombeo

Analizando el entorno del proceso, se establecen las siguientes características para cada categoría FODA.

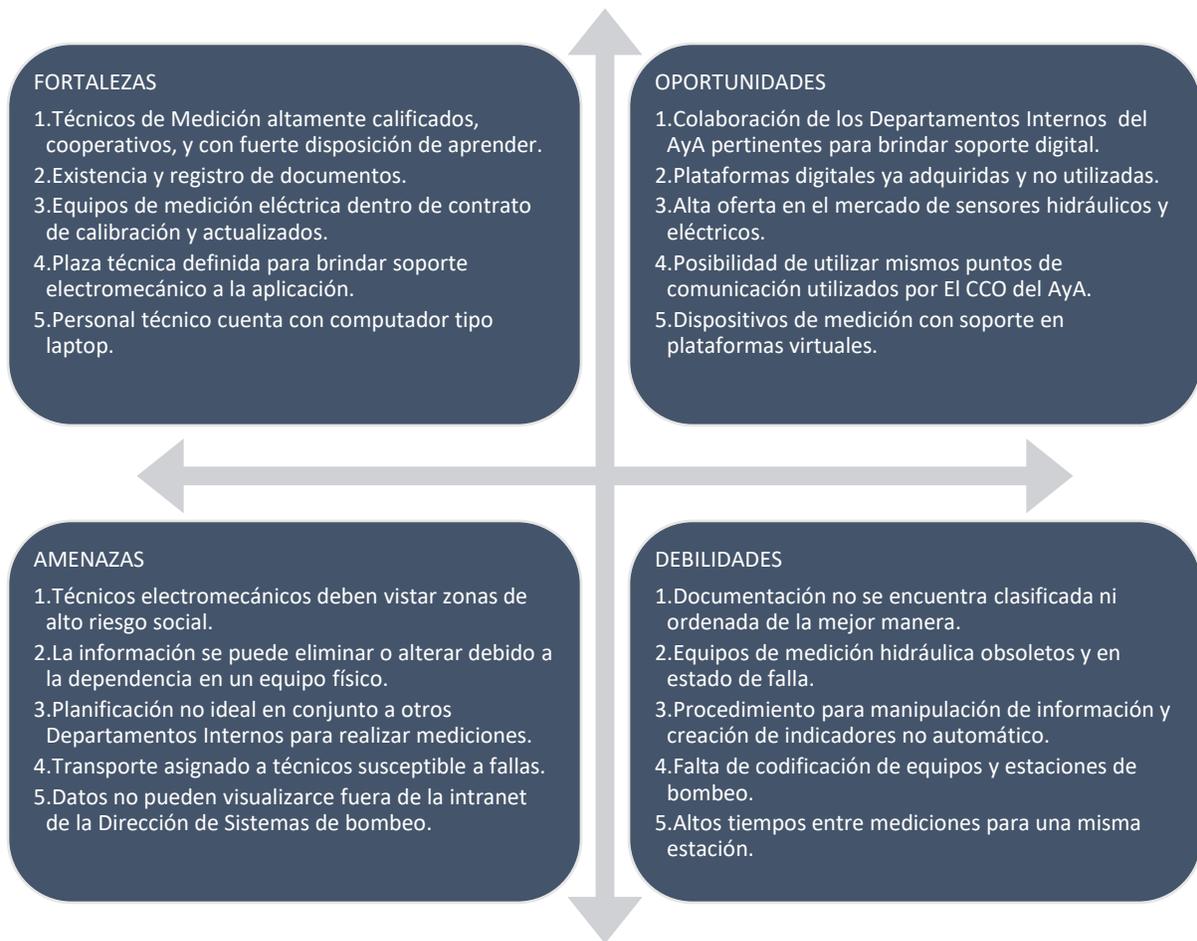


Figura 30. FODA de Proceso de Medición de Variables

Fuente: Elaboración Propia, Microsoft Word 2019

Tabla 18. Matriz de Impacto FODA

EXTERNO		OPORTUNIDADES						AMENAZAS						TOTALES	
INTERNO		1	2	3	4	5	SUBTOTALES	1	2	3	4	5	SUBTOTALES		
FORTALEZAS	1	3	3	1	0	0	7 47%	3	0	1	3	0	7 47%	14	47%
	2	3	3	3	3	0	12 80%	0	3	2	3	0	8 53%	20	67%
	3	0	0	0	0	3	3 20%	3	0	0	0	0	3 20%	6	20%
	4	3	3	3	3	3	15 100%	0	3	2	0	3	8 53%	23	77%
	5	3	3	0	3	3	12 80%	3	2	0	0	3	8 53%	20	67%
SUBTOTALES		12	12	7	9	9	49	9	8	5	6	6	34	83	
		80%	80%	47%	60%	60%	65%	60%	53%	33%	40%	40%	45%	55%	
DEBILIDADES	1	3	3	0	0	2	8 53%	0	3	0	0	1	4 27%	12	40%
	2	0	0	2	3	0	5 33%	0	0	0	0	0	0 0%	5	17%
	3	3	3	2	3	3	14 93%	3	3	2	3	3	14 93%	28	93%
	4	2	2	0	0	2	6 40%	1	3	3	0	3	10 67%	16	53%
	5	1	3	3	3	3	13 87%	1	3	3	3	1	11 73%	24	80%
SUBTOTALES		9	11	7	9	10	46	5	12	8	6	8	39	85	
		60%	73%	47%	60%	67%	61%	33%	80%	53%	40%	53%	52%	57%	
TOTALES		21	23	14	18	19	95	14	20	13	12	14	168	168	
		70%	77%	47%	60%	63%	63%	47%	67%	43%	40%	47%	56%	56%	

Fuente: Elaboración Propia, Microsoft Excel 2019

La Figura 30 muestra los cinco puntos más fundamentales seleccionados para definir el análisis. Siguiendo la metodología presentada en este documento, los resultados obtenidos se recopilan en la Tabla 18. Realizando las preguntas visualizadas en la Figura 13, se asigna un valor en cada relación de 0 a 3, siendo 0 un aporte nulo y 3 el valor máximo. Dictaminado un valor tope de 75 para cada categoría, se establece el aporte porcentual de cada elemento y categoría (subtotales). Estos son sumandos para definir el aporte total (totales, en la tabla).

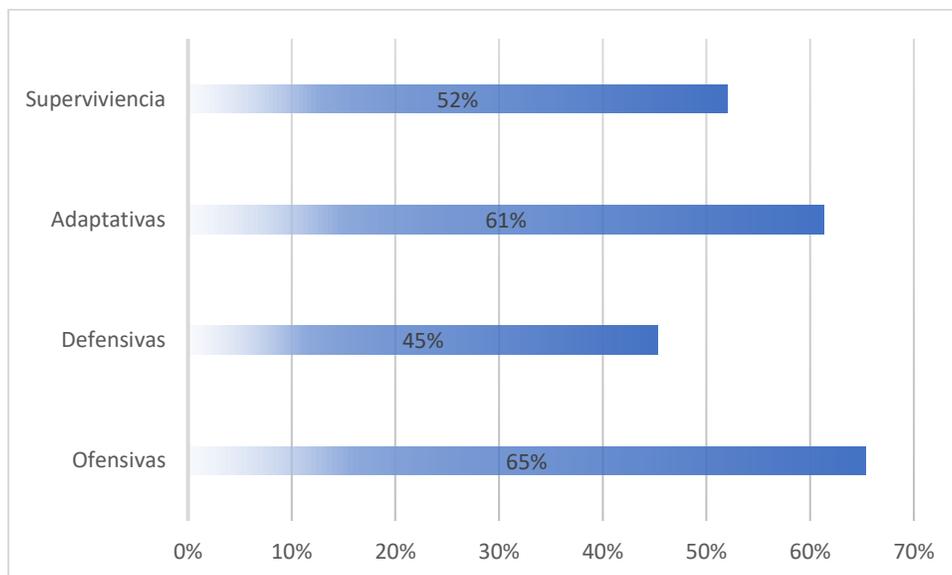


Figura 31. Valor Porcentual Total por Tipo de Estrategia según Análisis FODA

Fuente: Elaboración Propia, Microsoft Excel 2019

La Figura 31 muestra los valores porcentuales para cada uno de los tipos de estrategias, siendo un resumen de la tabla de análisis. Los valores más altos se logran para las estrategias ofensivas y adaptativas, por lo que, se debe buscar aprovechar las oportunidades para afianzar las fortalezas del proceso de medición, buscando a su vez, resolver las debilidades.

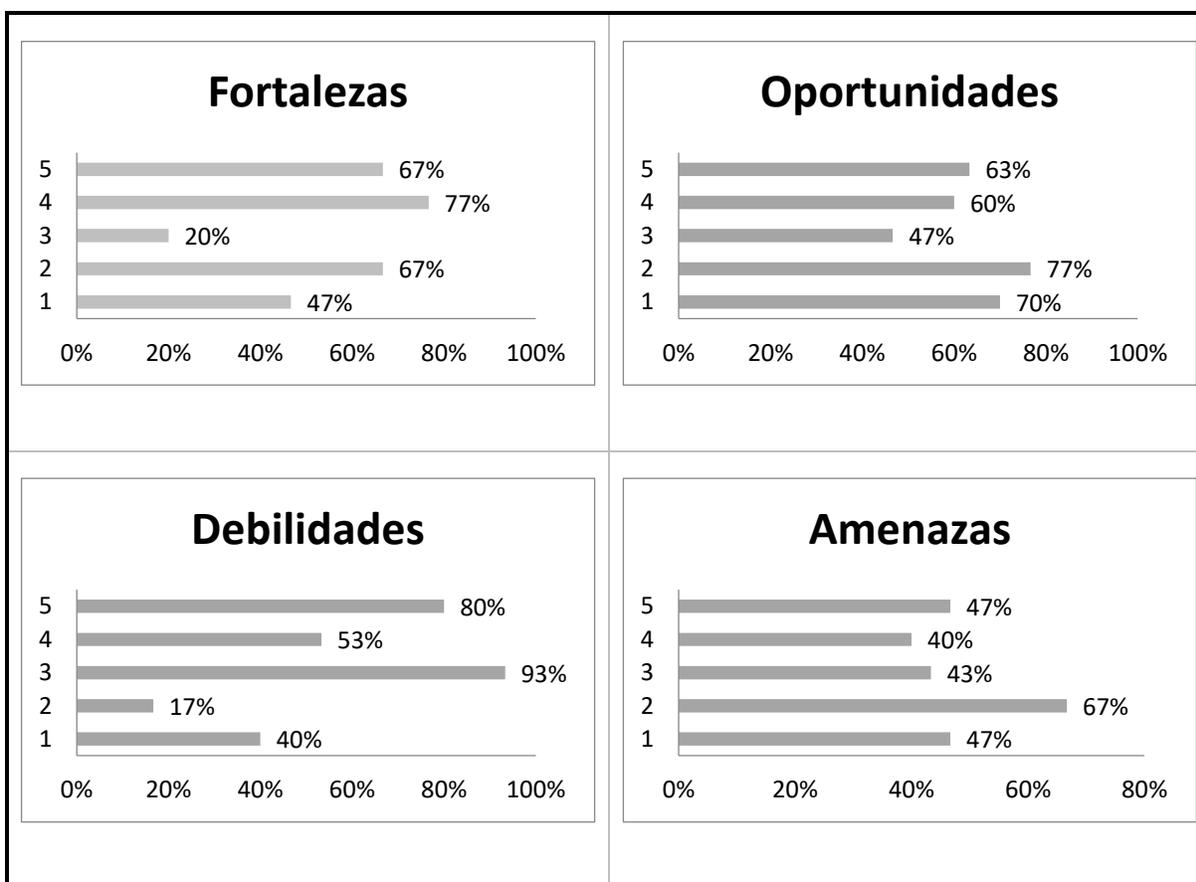


Figura 32. Aporte Individual Porcentual para cada apartado según análisis FODA.

Fuente: Elaboración Propia, Microsoft Excel 2019

Según lo mencionado en el párrafo anterior, y visualizando la información de la Figura 32, se evidencia que las oportunidades de mayor impacto son las siguientes: *Plataformas Digitales ya adquiridas y no utilizadas (77%)*, *Colaboración de los Departamentos Internos del AyA pertinentes para brindar soporte digital (70%)* y *Dispositivos de medición con soporte en plataformas virtuales (63%)*. Las fortalezas sobre el 50% serían la disponibilidad e importancia de que se recopile información (67%) sumado al hecho de que la dirección dispuso una plaza técnica para colaborar en el futuro de este proceso (77%), así como que el personal cuente con una laptop para trabajar (67%). Las mayores debilidades son: *Procedimiento para manipulación de información y creación de*

indicadores no automático (93%), Altos tiempos entre mediciones para una misma estación (80%), y Falta de codificación de equipos y estaciones de bombeo (53%).

En resumen, se debe aprovechar la plaza recién creada, así como las herramientas con las que cuentan los técnicos de medición, utilizando las relaciones recién creadas con los departamentos pertinentes para utilizar y mejorar las plataformas digitales con las que ya cuenta el AyA dentro de sus activos digitales, logrando un proceso más automático de medición y disminuyendo los tiempos mensuales entre mediciones. Otro punto trascendental es la identificación de equipos y posiciones, pues esto es fundamental para establecer la solución final.

4.5. Cuadro de Mando Integral para los Índices de Mantenimiento de la Dirección de Sistemas de Bombeo.

4.5.1. Indicadores dentro de la Dirección de Sistemas de Bombeo del GAM

Actualmente, la Dirección lleva a cabo dos indicadores gestados desde las bases de su sistema de gestión: la probabilidad de falla y la criticidad.

En el caso de la probabilidad de falla, se utilizan cuatro números básicos: el valor del aislamiento del motor, la diferencia porcentual de caudal, la vida media rescatante del equipo y condiciones de riesgos. La sección 1.3.3, a partir de la página 19 muestra cómo se realiza en cálculo específico de este índice.

Respecto a la criticidad, es el indicador más completo y representativo, pues toma en consideración varias áreas de implicación y visiones de la Dirección de sistemas de bombeo. Igualmente, la sección muestra el procedimiento para el establecimiento de este índice.

Para más detalles se puede ver la Tabla 19.

Tabla 19. Características y comparativas de los Indicadores de la Dirección de Sistemas de Bombeo del GAM

Criterio	Porcentaje de Falla	Criticidad
Fuente de Datos	Proceso de Medición y registros pasados	Porcentaje de Falla, consideraciones ingenieriles,
Área de Aplicación	Subsistemas electromecánicos	Estaciones de Bombeo
Consideraciones	Negocio	Negocio / Personal / Clientes
Valoración	Porcentual	Escalar
Condición Crítica	Valores mayores al	

Fuente: Elaboración Propia, Microsoft Excel 2019

4.5.2. Comparación de Índices contra VDI 2893:2006

Refiriéndose al anexo A2 de la norma VDI 2893:2006, se observa que el total de índices propuestos son ratios. Es entendible que la definición de los índices de la dirección sea más compleja al haber un sistema de gestión ya instaurado. Dado que estos índices son de utilidad amplia dentro de la dirección, se toman como fundamentales en la formación del cuadro de mando.

4.5.3. Opciones de Mejoras

Con todo lo anterior, se propone un sistema de indicadores, relacionados al proceso de medición y gestión. Para establecer el cuadro de mando se hará uso del procedimiento mostrado en la Figura 15, así como sus seis pasos, los cuales se detallan a continuación:

- Paso #1- Representación de los procesos de negocio en mantenimiento

La representación gráfica que se utiliza para la representación de los procesos de negocio de mantenimiento de la dirección es la Figura 8 de la página 18.

- Paso #2- Definir un Sistema de Metas

La norma VDI 2893 establece cuatro perspectivas básicas para definir los índices de mantenimiento. Ajustando estas cuatro visiones a los quehaceres e intereses del Departamento de Sistemas de Bombeo, se plantea la importancia para cada área.

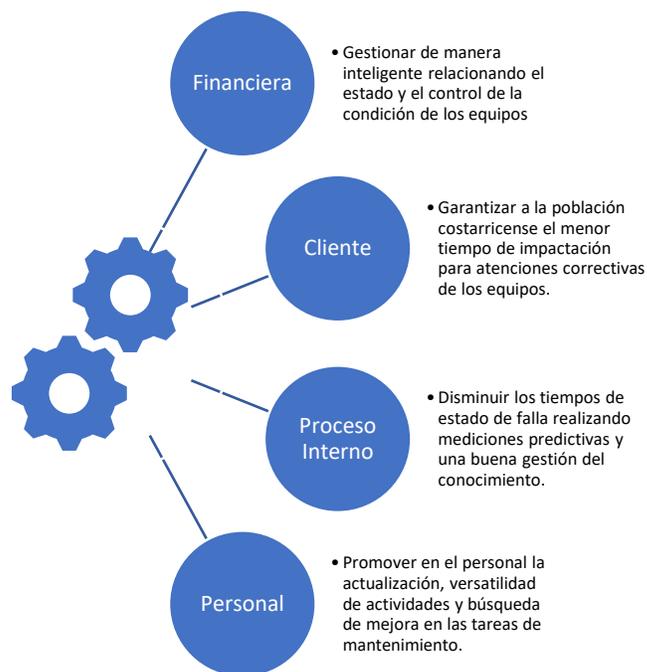


Figura 33. Perspectivas y Meta Propuestas para la Definición del Sistema de Indicadores.

Fuente: Elaboración Propia, Microsoft Word 2019

- Paso #3- Identificación de los Factores Medibles

Bajo una perspectiva financiera, todos los indicadores referentes al gasto, pagos, cobros, compras y demás valores contables son una buena fuente de insumo para establecer índices con dicho enfoque. Respecto al gasto, se puede visualizar la tendencia e impacto de compra de activos, por separado o individual.

El aspecto clientes, al tratarse de una empresa de servicio público, deben considerarse aspecto demográficos y poblacionales, así como valores permisibles que relacionen la percepción de la población con las tareas de la organización, y más específicamente, la Dirección.

El factor del personal se puede relacionar bastante bien con aspectos relacionados al tiempo: lapsos invertidos en su capacitación es un ejemplo.

Para la perspectiva de negocio, las rutinas de medición son la mayor fuente de información de factores medibles. Comúnmente, una medición recopila al menos 18 valores medibles: 1. Fecha de la Medición, 2. Lectura del Horómetro, 3. Voltajes de Fase, 4. Corrientes de Línea, 5. Potencia Eléctrica, 6. Factor de Potencia, 7. Frecuencia, 8. Aislamiento del Motor, 9. Temperatura Máxima en los terminales eléctricos, 10. Distorsión Armónica Total Porcentual de Voltaje, 11. Distorsión Armónica Total Porcentual de Corriente, 12. Nivel Estático, 13. Nivel Dinámico, 14. Colocación, 15. Presión de Succión, 16. Presión de Descarga, 17. Presión de Línea, 18. Caudal.

- Paso #4- Establecimiento y colección de números Básicos

Tabla 20. Números Básicos Propuestos.

Nombre	ID	Objetivo	Descripción	Formula	Unidades	Obtenido de
Permisibilidad de Afectación	PA	Establecer el tiempo máximo de inactividad de la Estación de Bombeo, en el cual se deben realizar las tareas de mantenimiento.	Escala del 1 al 5, siendo 5 el valor crítico, que representa el tiempo mínimo de afectación permisible ante una eventual falla de la Estación de Bombeo.	$PA \begin{cases} = 1 & 1 \text{ hasta } 4 \text{ semanas} \\ = 2 & 1 \text{ semana} \\ = 3 & 1 \text{ a } 3 \text{ días} \\ = 4 & 1 \text{ a } 4 \text{ horas} \\ = 5 & \text{Menos de } 1 \text{ hora} \end{cases}$	Escalar	Categorización brindada a cada Estación de Bombeo.
Tarifa mínima del metro cúbico de agua	€/m ³	Definir la tarifa mínima por metro cúbico según la entidad reguladora.	Tarifa mínima fijada por metro cúbico de agua.	€/m ³	€/m ³	(Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos, 2019)
Nivel de Riesgo Eléctrico	Ref	Establecer el nivel de riesgo eléctrico de una Estación de Bombeo en específico, tomando en consideración el nivel de voltaje de trabajo dentro de la instalación.	Escala del 1 al 3, siendo tres el caso crítico, del grado de riesgo eléctrico respecto al nivel de voltaje del sistema.	$RE \begin{cases} = 1 \Rightarrow & \text{Bajo Voltaje } (< 240 \text{ V}) \\ = 2 \Rightarrow & \text{Medio Voltaje } (240 - 1000 \text{ V}) \\ = 3 \Rightarrow & \text{Alto Voltaje } (> 1000\text{V}) \end{cases}$	Escalar	Categorización brindada a cada Estación de Bombeo.

Nombre	ID	Objetivo	Descripción	Formula	Unidades	Obtenido de	
Respaldo y Diseño	RD	Contabilizar y tomar en cuenta factores que facilitan el mantenimiento en sitio y disponibilidad de equipo de respaldo.	Escala del 1 al 5, que definir el grado de afectación debido a factores de diseño, duplicidad de equipos, facilidad para intervenciones y disponibilidad de refacciones.	=1 →	Unidades de Reserva en sitio y bodega. Sin opciones de reparación local	Escarlar	Categorización brindada a cada Estación de Bombeo.
				=2 →	Unidades de reserva en sitio y bodega. Sin opción de reparación local.		
				=3 →	Unidades de reserva en sitio, pero no en bodega.		
				=4 →	Sin unidades de reserva en sitio, pero sí en bodega.		
				=5 →	Sin unidades de reserva en sitio ni en bodegas		

Fuente: Elaboración Propia, Microsoft Word 2019

En adición a los datos medibles mencionados, se incorpora la Tabla 20, presentando números básicos seleccionados para llevar a cabo el sistema de indicadores. De igual manera, se menciona donde se puede recopilar la información para adquirir los números.

- Paso #5- Establecer y evaluar dependencias entre los números básicos.

Se mantiene la relación existente entre el porcentaje de falla y la criticidad. En busca de una representación más real de la perspectiva humana y de afectación, se plantean soluciones al respecto, así como índices que definan ventajas financieras e importancia de mantener al personal actualizado.

- Paso #6- Formación de indicadores y por último estructurar estos indicadores para que resulte un sistema de indicadores

Clasificando cada una de los indicadores definidos según la pirámide de jerarquía de los niveles de indicadores de mantenimiento (Figura 16, en la página 41), se definen indicadores, los cuales se muestran más adelante en el Apéndice Balance Scorecard. A final, se contabilizan 2 indicadores desde la perspectiva clientes, 3 financieros, 2 de personal y 3 de procesos internos.

4.6. Preámbulo del Sistema de Mantenimiento Inteligente.

4.6.1. Herramientas Digitales y de Comunicación Existentes

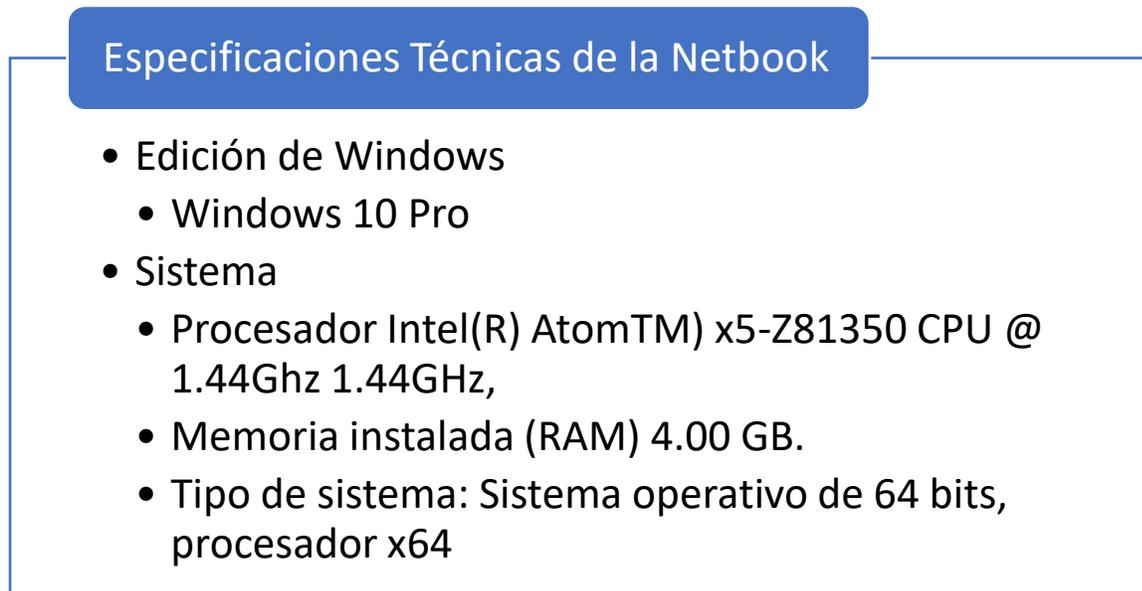


Figura 34. Detalles Técnicos de la Computadora Tipo Netbook utilizada por Técnicos de Medición.

Fuente: Elaboración Propia

Se cuenta con dos computadoras tipo Netbook. Sus detalles técnicos se pueden visualizar en la Figura 34.

En la totalidad de las estaciones de bombeo del GAM, sólo la estación de bombeo Puente Mulas cuenta con un sistema SITRANS FUS1010³², todas las demás no cuentan con ningún artefacto de medición remoto. Este dispositivo cuenta con módulos de

³² Para detalles técnicos y especificaciones, consultar enlace en Bibliografía. Este equipo se encuentra discontinuado (Siemens, s.f.).

comunicación donde resalta el Ethernet IP, ampliamente utilizado. Esta característica permite la transmisión de datos a un centro de control.

En conversaciones con personal técnico y administrativo del personal, se conoce que los procesos de mantenimiento deben concordarse con el CCO. Dicho centro manipula de manera remota muchas de las estaciones de bombeo; desde controlar el encendido y apagado de los equipos, alarmas remotas ante estado de falla, y controlar la operación de los centros de control con sensores apertura de puerta y sistemas de seguridad.

La anterior situación infiere que en la mayoría de los recintos se cuenta con al menos un punto de comunicación remoto, lo que permitiría el envío de información de manera lejana a través de una red segura de datos del AyA.

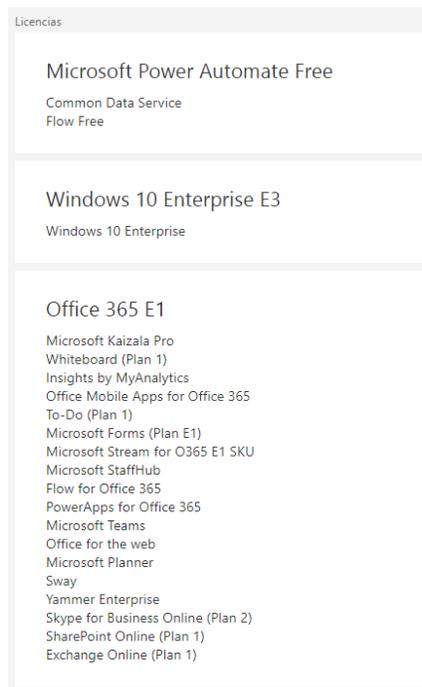


Figura 35. Licencias de una cuenta de usuario en la plataforma Microsoft® en el dominio aya.go.cr

Fuente: Elaboración Propia

Se sabe de igual manera, que el AyA cuenta con una licencia corporativa de Microsoft®, dicha cuenta facilita a cada uno de sus usuarios a través de su correo institucional, el acceso a ciertas licencias (Figura 35) propias de la marca, entre ellas se resalta PowerApps for Office 365® y SharePoint Online (Plan 1) ®.

PowerApps for Office 365 (Microsoft, 2020) es una plataforma tipo *frontend* que utiliza como insumo de datos diferentes fuentes para la creación de interfaces gráficas y aplicaciones de alta nivel de productividad. Sus cuatro mayores características consisten en:

- Aplicaciones tipo lienzo: son aquellas aplicaciones creadas con datos surgidos desde 200 fuentes distintas, en su mayoría, modelos de bases de datos de terceros, o incluso de la misma fuente de Microsoft®. Su modo de utilización y creación es bastante fácil, pues consiste en una modelación por bloques donde sólo se desplazan elementos dentro de la aplicación y se definen en el origen de datos y comportamiento según el valor de una variable asignada. Tiene la facilidad de que la aplicación puede ser compartida, para que de esta manera usuarios distintos al desarrollador puedan utilizarla.
- Aplicaciones basadas en modelos: son aplicaciones que son desarrolladas a partir de un enfoque basado en los componentes. Pueden ser bastante complejas o simples, y contrario a las aplicaciones tipo lienzo donde el desarrollador tiene total control sobre el aspecto visual, las aplicaciones basadas en modelos definen la interfaz de manera automática y en relación de los componentes que se agreguen a la aplicación. Entre sus beneficios se puede mencionar: la no existencia de ambientes para el diseño de código de operación, la creación de aplicaciones

receptivas complejas con una GUI similar a través de una alta variedad de dispositivos y que la aplicación se puede distribuir como una solución.

- Portales: esta funcionalidad permite la utilización de las aplicaciones desde ambientes externos al institucional, permitiendo el acceso a gran cantidad de usuarios.
- *Common Data Service*: es una plataforma de datos que incluye *PowerApps* y permite el almacenamiento y modelado de información institucional. Es la plataforma donde las aplicaciones.

SharePoint Online (Microsoft, 2020) no es ni más ni menos que una intranet que permite el uso compartido y comunicación de información dentro de la empresa. Para el AyA se tiene una licencia del Plan 1, que cuenta con estas características:

- 1 TB de almacenamiento de almacenamiento en nube para cada usuario.
- Posibilidad de compartir archivos de forma segura dentro o fuera de la organización.
- Sincroniza copias locales de archivos o carpetas para visualizarlas o editarlas sin conexión en un equipo Mac o PC.
- Informa a los usuarios y los conecta con intranets y portales.
- Usa los sitios de grupo para que los equipos intercambien contenido, conocimientos y procesos.
- Navegación por sitios de grupo e intranet con las aplicaciones móviles de SharePoint y OneDrive para Android™, iOS y Windows5

Otra herramienta con la que se cuenta es con *Microsoft Access*, incluida en la última versión de Office 365. Dicha herramienta es un sistema de gestión de bases d datos que utiliza los conceptos de bases de datos relacionales, manipulando la información y datos por medio de consultas e informes (Microsoft, 2020).

Por conversaciones con la Dirección de Sistemas de Información del AyA. Se conoce, que la institución cuenta con una licencia de *Oracle MySQL®*. Este es el sistema de base de datos más conocido dentro de la nube de Oracle dentro de la categoría de código abierto (Oracle, 2020). Cuenta con soporte directo de Oracle®, lo que garantiza reparaciones por brechas de seguridad al momento de ser encontradas, así como compatibilidad con todas las herramientas Oracle®. Esta herramienta también permite la plena compatibilidad y flujo de cargas de trabajo entre nubes, instalaciones o arquitecturas híbridas.

4.6.2. Plataforma Digital Por Utilizar

Tabla 21. Comparativa de Plataformas para Seleccionar El motor y el alojamiento de datos.

	Aplicación Frontend: Microsoft Access y PowerApps Almacenamiento de Datos: SharePoint	Aplicación Frontend: MySQL Oracle Almacenamiento de Datos: Servidor AyA
Características Principales	<p>Todas son aplicaciones Microsoft, incluidas dentro de la licencia corporativa para cada uno de los empleados de AyA. Access es uno de los programas manejadores de bases de datos más prácticos posibles. A pesar de existir opciones más complejas en el mercado, solventa bien necesidades rápidas y concisas.</p> <p>PowerApps permite la creación de aplicaciones para dispositivos móviles, colaborando la versatilidad en el ingreso y manejo de datos.</p>	<p>Sistema de manejo de base de datos de código abierto. Catalogado como uno de los mejores en su área. MySQL ha sido la más conocida por los últimos años.</p>
Ventajas	<p>Instalados en todas las computadoras debido a licencia institucional.</p> <p>Access resulta más útil para uso de escritorio y un número bajo de usuarios accediendo a la base simultáneamente. En aplicaciones de escritorio, Access sigue sin competencia como herramienta de desarrollo rápido de aplicaciones. Permite crear interfaces para el manejo de datos.</p> <p>SharePoint funciona como un almacenamiento en nube.</p> <p>PowerApps permite la conexión de la base de datos desde aplicaciones para dispositivos móviles.</p>	<p>Posibilidad de enlace con PowerApps y SharePoint.</p> <p>Mayor posibilidad de almacenamiento de registros.</p> <p>OpenSource, lo que la cataloga como software libre.</p> <p>Mucho más seguro en términos de usuarios y contraseñas.</p> <p>Soporte puede ser brindado por el Departamento de Tecnologías de Información del AyA.</p> <p>Incluye un módulo frontend, lo que permite generar interfaces para el ingreso y observación de datos.</p>
Desventajas	<p>Menor cantidad de registros comparada con la otra opción.</p> <p>Muy poco robusto a la hora de compartir datos con otras plataformas.</p> <p>Access trabaja única en plataformas Windows, lo que imposibilita su utilidad móvil.</p> <p>No es bueno para usos remotos. Almacenamiento en nube de Sharepoint permite pérdida de datos orquestados debido a la intervención de un usuario.</p>	<p>Uso de plataforma amerita un conocimiento aparte por parte del profesional encargado.</p>

Fuente: Elaboración Propia, Microsoft Word 2019

En la tabla anterior se presenta las opciones actuales de posibilidad de diseño de la plataforma de control de índices de la Dirección. La primera opción contempla la utilización de una plataforma digital con soporte interno dentro de la Dirección, esta utilizaría la plataforma *Sharepoint* para almacenar los registros y la previsualización y acceso de datos se daría utilizando *PowerApps* en el caso del personal técnico, y para el ingeniero de Gestión se utilizaría *Access*. La segunda opción, sería respaldada por el departamento de Tecnologías de la Información del AyA. Lo anterior brindaría mayor robustez al sistema, y bastaría con instalar un sistema computacional en el computador del ingeniero para que pueda manipular los datos. La recolección de información se puede seguir dando por *PowerApps*.

4.6.3. Necesidades Técnicas y Administrativas Previas Visibles

La trazabilidad consiste en la recopilación de información que genere valor para el sistema en el que se va a implementar. Dicha información debe ser referenciada a un punto único y básico dentro de un sistema, el cual cuenta con características singulares y otras compartidas con más elementos. Son estas identificaciones básicas las cuales se utilizan dentro de una base de datos o sistemas computacionales para crear relaciones entre la información. Por esta razón, antes de poder idealizar y escoger la herramienta digital a utilizar, se deben considerar soluciones para reconocer mejor cada uno de los registros generados y a su vez, definir la mejor manera a que equipo físico responde dicho informe o entrada de datos.

Se reconoce que la Dirección no cuenta con el mejor procedimiento de identificación de equipos, y a pesar de que tiene bien definido los procedimientos de trazabilidad y control,

utilizar los números de serial de los equipos no es la mejor manera de identificarlos. Por otro lado, una posición en específico dentro de una estación de bombeo puede estar ocupada esta semana por el equipo A, y al mes siguiente por un equipo completamente diferente, lo que genera sesgo en las mediciones, pues los valores medidos consecutivos no sean del mismo equipo. De esta forma, se reconoce la necesidad de codificar:

- Codificación de las Posiciones en cada una de las Estaciones de Bombeo.
- Codificación de los Equipos/Activos de la Dirección de Sistemas de Bombeo.
- Codificación de las Posiciones en cada una de las Estaciones de Bombeo.

Se cuenta con un número finito de estaciones de bombeo, distribuidos en cinco áreas del GAM. Cada estación de bombeo cuenta con una cantidad definida de posiciones de equipos de bombeo. Considerando lo anterior se propone la siguiente codificación:

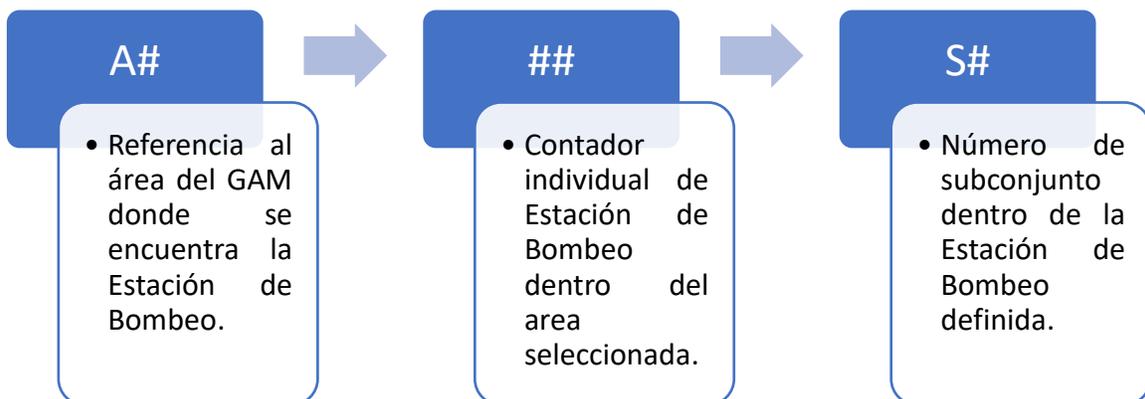


Figura 36. Propuesta de Codificación para las Estaciones de Bombeo.

Fuente: Elaboración Propia, Microsoft Word 2019

De esta manera, la estación A134S2 se refiere a la estación de Rebombeo la Meseta, ubicada en el área 1, y específicamente a la posición 2 dentro de la subestación; A432S7

sería la séptima posición de la estación de Rebomdeo Escazú, ubicado en el área 4; y A509S1 es la posición 1 de la estación San Antonio del área cinco³³.

- Codificación de los Equipos/Activos de la Dirección de Sistemas de Bombeo.

Lo primero que debe considerarse es que debido a que los equipos no son fijos en las posiciones internas de las estaciones de bombeo, se debe llevar una codificación aparte, para tratar a estos elementos como un grupo aparte.

Debido a los principales equipos dentro de las estaciones de bombeo, mencionados en la sección 4.2.3 Equipos más Comunes en Estaciones en la página 91, se consideran cuatro categorías principales de máquinas.

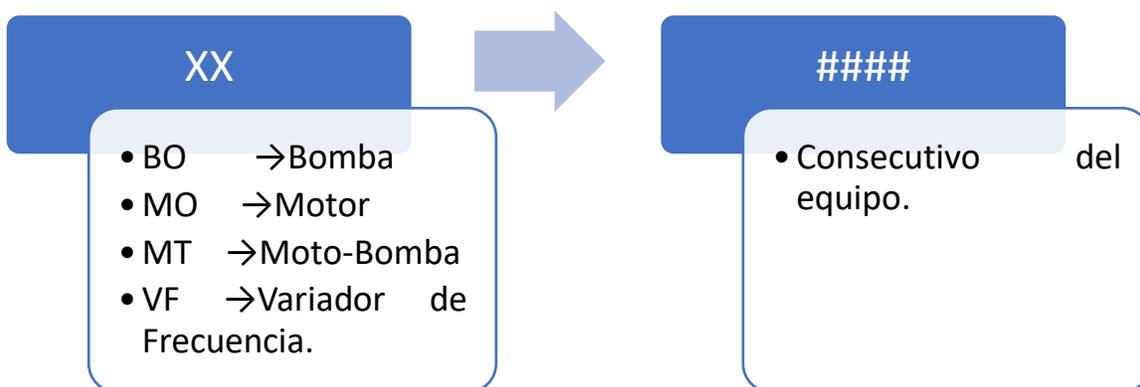


Figura 37. Propuesta de Codificación para los equipos.

Fuente: Elaboración Propia, Microsoft Word 2019

³³ Más ejemplos pueden ser visualizados en el Anexo Codificación de las Estaciones de Bombeo de la Dirección de Sistemas de Bombeo del GAM.

Similar a la codificación anterior, el objeto B43 se referirá al registro 43 de las bombas, VF7 el sétimo variador de frecuencia y MT5 el quinto subconjunto motobomba:

Tabla 22. Ejemplos de la codificación propuesta ya aplicada a los equipos.

Codificación Propuesta		Estación de Bombeo Actual	Tipo de Máquina	Subconjunto	# Activo	Marca	Modelo del Equipo
Estación de Bombeo	Máquina						
A234S1	MT5	Booster W6	Motobomba	1	106700	Baldor	12T086X911G1
A234S2	B43	Booster W6	Bomba	3	51685	Peerless	F2-830AM-BF
1501S3	MO1	Booster W6	Motor	3	80240	Lincoln	Lineguard Dripproof
A123S5	MO	Bombeo la Libertad	Motor	1	118692	US Motors	DT79
A123S3	VF7	Bombeo la Libertad	Variador de Frecuencia	4	109281	Siemens	
A103S1	MO3	CNP1	Motor	1	84838	Saer	MS251-150-C
A103S2	B43	CNP1	Bomba	1	100661	Goulds	8RJHC-5
A103S3	VF17	CNP1	Variador de Frecuencia	1	85911	Weg	NACFW110312T4SZ
A113S2	MO75	CNP2	Motor	1	110065	Saer	MS251-250-HT
A113S1	B12	CNP2	Bomba	1	110069	Goulds	9THC-4

Fuente: Elaboración Propia, Microsoft Excel 2019

4.7. Sistema Propuesto

4.7.1. Etapas del Sistema IPdM

Tomando en consideración la Figura 17. Esquema del Mantenimiento Predictivo Inteligente -IpDM- en la industria 4.0. se connota que un sistema de mantenimiento predictivo inteligente se toma en cuatro etapas. Como se plantea instaurar el sistema en cada una de estas etapas, se comenta a continuación:

- Sistemas Ciberfísicos (CPS): Sensores y Adquisición de Datos

Actualmente, la adquisición de datos se da a través de la visita a las estaciones de bombeo de la dirección. A pesar de que la implementación de IPdM propone que las variables se recopilen utilizando dispositivos electrónicos y sensores, debe considerarse que la instalación de estos depende de dos variables principales: que la estación cuente con el correcto sistema eléctrico para abastecer los equipos digitales³⁴ y segundo, que la estación cuente con conexión de datos, la cual será utilizada para remitir la información.

Actualmente, del total de 138 estaciones, menos del 40% cuentan con esta facilidad lo que haría necesaria la inversión de conexión en aquellas estaciones de bombeo para poder realizar el envío de variables de manera remota. Al considerarse lo anterior como una inversión de coste y logística mayor, que incluiría no sólo a la Dirección de Bombeo, sino otros departamentos, la utilización actual de realizar mediciones en campo se toma como una medida útil y práctica, para utilizar el sistema.

Por lo anterior, se recomienda la compra de equipos de medición que tengan la facilidad de remitir los datos medidos a una plataforma digital que pueda ser utilizada posteriormente para la toma de decisiones de mantenimiento.

Debido a la facilidad de suplidores y la herramienta *Fluke Connect2Assets* que tiene soporte con plataformas SQL, así como sistemas CMMS (FLUKE, 2019), se considera

³⁴ Esto no representa realmente un problema para la instalación, pues cada estación cuenta con un centro de control de potencia. Bastaría una fuente o un transformador para conseguir el sistema de voltaje esperado.

la marca como la seleccionada para la adquisición de equipos de medición de vibraciones, termografía y variables eléctricas³⁵.

En el caso de las variables hidráulicas se propone dos medidas: en aquellas estaciones donde el centro de control cuente con la plataforma para controlar la estación de bombeo, la misma puede utilizarse para su monitoreo, en aquellas que no exista tal posibilidad, la medición de campo es la única solución. Para las mediciones en campo, lo común ha sido la utilización de equipo de medición de caudal portátil, utilizando tecnologías como el ultrasonido para definir la variable; aquellas que tengan la posibilidad de conexión, la utilización de macromedidores³⁶ puede ser de gran colaboración línea *WaterMaster* de ABB cuenta con soporte en el territorio nacional, y es una buena opción para el tipo de condiciones que presenta la operación dentro de las estaciones de bombeo. De estos equipos, debido a la constancia del flujo, se recomienda utilizar la clase 2 de OIML R49 debido a que el nivel de precisión no debe ser tan alto (ABB). Al igual que la plataforma *Fluke Connect*, los macromedidores tienen también la posibilidad de conectarse a la red, y utilizando los módulos de comunicación presentes en los equipos, enlazados con los dispositivos de encendido y apagado con los que cuenta el centro de operaciones podrían aprovecharse de gran manera.

³⁵ Los equipos con los que cuenta la Dirección para la medición de variables son también de la marca FLUKE®, lo que también fundamenta la adquisición de dicha marca.

³⁶ En este trabajo se consideran los macromedidores *AquaMaster* como la solución, pues cuentan con una representación en territorio nacional y la empresa ya ha desarrollado proyectos con el AyA.

- Internet of Things (IoT): Interpretación y extracción de señales

Como se mencionó, los datos serán ingresados en una plataforma móvil, lo que garantiza que los datos se encuentren en una nube justo al momento de ser realizada la medición.

Esta plataforma se idealizará en *PowerApps*, y sólo tendrán uso de ellas los técnicos en medición. En esta plataforma, el técnico de medición genera un registro con los distintos datos de medición recopilados. Luego de creado el registro, el mismo se almacena inmediatamente en una plataforma digital, donde puede ser evaluado o consultado en el momento que sea pertinente.

- Data minning (DM): Generación de Decisiones de Mantenimiento

Una vez los datos sean guardados con la aplicación *PowerApps*, los datos son almacenados en una plataforma de *SharePoint* de donde se realizará el análisis de las variables para delimitar los valores de los índices internos del departamento, quienes colaborarán en la asignación y planificación del mantenimiento.

- Internet of System (IoS): Indicadores Clave de Rendimiento (KPI), Optimización de la Planificación del Mantenimiento Y Corrección de Errores y Retroalimentación

Es importante que el procedimiento sea debidamente evaluado, por lo tanto, se establece un índice para evaluar y mejorar el procedimiento y recopilación de datos. Dado que el sistema evalúa la condición de los equipos, los datos generados serán los propios KPI operativos, pero para evaluar la efectividad del sistema, se puede establecer un índice que mencione la cantidad de tiempo invertido semanalmente, esto con los datos evaluados de la Tabla 36. Estimación de Gasto por Mano de Obra en el proceso de

Medición y Gestión de Índices pueden marcar una tendencia en el tiempo original y el esperado, que sería el presentado en la Tabla 36. Estimación de Gasto por Mano de Obra en el proceso de Medición y Gestión de Índices.

4.7.2. Prácticas Predictivas Por Implementar y Necesidades de Equipos

A sabiendas de las variables que considera la Dirección de Sistemas de Bombeo captar, y tomando en consideración los detalles mencionados por Carolina Altmann en su documento “*Las Técnicas de Monitoreo de Condición, como herramienta del Mantenimiento Proactivo*”, se establece que el monitoreo de la condición del estado de los distintos equipos se realizará de manera relacionada con la medición anterior, debido a la alta movilidad de equipo experimentado entre estaciones.

De esta manera, cuando un equipo ha sido refaccionado y reinstalado, la primera corrida de medición se tomará como la medida base, y las consiguientes para dicho equipo en una posición definida dentro de una estación serán las mediciones para comparar.



Figura 38. Niveles de Comparación recomendados a la hora de aplicar prácticas predictivas

Fuente: (Sinais, Ingeniería de Mantenimiento, s.f.)

Esta consideración se considera la mejor según la figura anterior, pues brinda información real de la tendencia del comportamiento de los equipos.

Basados en las técnicas mencionadas por Altmann, se consideran las siguientes tareas predictivas a implementar:

Tabla 23. Tareas Predictivas Propuestas a Implementar

Tarea Predictiva	Fin de la tarea Predictiva	Frecuencia de Medición	¿Adquisición de Equipo Necesaria?	Equipo Recomendado	Cantidad Necesaria
Medición del desempeño del equipo por medio del Caudal.	Evaluar la variancia y tendencia del caudal ofrecido por una máquina mensualmente.	Mensual	Sí	Series AquaMaster ³⁷ de ABB o Panametrics TransPort PT900	Móviles: 1 Fijos: Variable ³⁸
Análisis de Vibraciones.	Establecer rangos anómalos de las vibraciones de los equipos.	Semestral	Sí	Medidor de vibraciones Fluke 805 FC	2
Inspección mediante Termografía Infrarroja.	Definir los posibles desbalances eléctricos en las fases de alimentación.	Mensual	Sí	Cámara termográfica Fluke TiS60+	2
Análisis de Corrientes en Máquinas eléctricas.	Medir el nivel de aislamiento del motor, así como las corrientes de línea y nivel de armónicos experimentados por la red.	Mensual	No	Fluke. Modelo: 1730	0

Fuente: Elaboración Propia, Microsoft Excel 2019

A sabiendas que una de las mejores prácticas predictivas es la del análisis de vibraciones capaz de detectar hasta un 80% del total de posibles modos de falla (Sinais, Ingeniería

³⁷ Cotización del monto se puede consultar en anexos.

³⁸ Existe la posibilidad de instalar macromedidores a la salida de los equipos, esto resultaría en la no necesidad del desplazamiento de los técnicos de medición, pero también en la necesidad de adecuar las instalaciones de varias estaciones de trabajo. Para fines del análisis económico se considera la compra de equipos móviles, únicamente.

de Mantenimiento, s.f.), debe considerarse la aplicación de esta metodología dentro del proceso.

Los equipos son principalmente hidráulicos, por lo que considerar una opción de monitoreo que evalúe el comportamiento de los equipos en esta área se hace necesaria. Dada la experticia del departamento, y la importancia del dato, se considera la medición de caudal como el medio para predecir este comportamiento.

El análisis eléctrico se puede realizar con las mismas herramientas que cuenta el departamento en este momento, y siguiendo los mismos procedimientos.

La selección de los equipos mencionados en la Tabla 23 se realiza considerando:

1. Disponibilidad en el mercado nacional y distribuidores autorizados: La licitación pública es un tema por considerar a la hora de adquirir activos. De igual manera, estos equipos, al ser de precisión, usualmente necesitan un servicio de calibración para su buen funcionamiento, la facilidad de que dicho servicio se brinde en territorio nacional es fundamental para argumentar la selección.
2. Marcas anteriormente utilizadas: al igual que el tema anterior, si la adjudicación de compra de equipo se da a una empresa, esta entra a la cartera de suplidores autorizados, quienes, comúnmente, distribuyen las mismas familias de equipos.
3. Cantidad necesaria de equipos: no debe olvidarse que las inspecciones de medición se realizan por medio de dos equipos de trabajo, por lo que en ciertas ocasiones se hace necesario adquirir el doble de equipos. En el caso del medidor del caudal, se plantea la adquisición de un sólo equipo, pues recientemente se compró el equipo Hidreka. Modelo: ChronoFlo® Mini.

4.7.3. Modelo Descriptivo de Programación

Tomando en cuenta todos los puntos analizados hasta el momento, se hace necesario establecer tres listas principales que serán las principales dentro de la base de datos: tabla equipos, tabla estaciones de bombeo y tabla medición.

Cada tabla debe analizar características que den valor al departamento, ser una fuente de información de trazabilidad o colaborar para que cálculo de índices.

Para el caso de las tablas de estación de bombeo y de equipo, predominan las características con fundamento para el proceso de trazabilidad, identificación interna y de codificación. La tabla medición presenta una tendencia más a variables de la gestión y cálculo de índices, como era de esperar.

Cada una de las variables a recopilar, su detalle y razón de importancia se muestran en la Tabla 24, Tabla 25, y Tabla 26.

Tabla 24. Variables para la Tabla Estación de Bombeo

Variable	Detalle	Razón de Importancia
Consecutivo Estación de Bombeo	Codificación de Estación de Bombeo ³⁹	Identificación
Consecutivo Tipo Estación de Bombeo	Consecutivo Tipo Estación de Bombeo	Identificación
Consecutivo Área de la Estación de Bombeo	Consecutivo Área de la Estación de Bombeo	Identificación
Consecutivo Empresa Servicios Eléctricos de la Estación de Bombeo	Empresa Eléctrica que supe eléctricamente a la estación de bombeo en específico.	Trazabilidad
Nombre de la Estación de Bombeo	Nombre común.	Trazabilidad

³⁹ Codificación sugerida en 4.6.3 Necesidades Técnicas y Administrativas Previas Visibles.

Variable	Detalle	Razón de Importancia
Cantidad de Subconjuntos	Cantidad de posiciones dentro de la estación de bombeo.	Trazabilidad
Código Postal	Codificación Provincia, cantón y distrito.	Trazabilidad
Geo posición de la Estación de Bombeo	Coordenadas geográficas de la Estación de Bombeo.	Trazabilidad
Sistema al que alimenta la Estación de Bombeo	Sistema de alimentación para el cual opera la estación de bombeo. Clasificación de los sistemas es ajeno a la Dirección de Sistemas de Bombeo.	Trazabilidad
Centro de Costo	Centro de costos financieros asociados a la estación de bombeo.	Trazabilidad
Potencia Instalada	Potencia Instalada de la estación de bombeo.	Trazabilidad
Potencia Máxima	Potencia Máxima de la estación de bombeo.	Trazabilidad
Voltaje del Sistema de Potencia	Voltaje del Sistema de Potencia de la estación de bombeo.	Trazabilidad
Voltaje del Sistema de Control	Voltaje del Sistema de Control de la estación de bombeo.	Trazabilidad
Número de Fases	Número de Fases de la estación de bombeo.	Trazabilidad
Revoluciones	Revoluciones de la estación de bombeo.	Trazabilidad
Caudal de Servicio	Caudal de Servicio de la estación de bombeo.	Trazabilidad
Caudal de Diseño	Caudal de Diseño de la estación de bombeo.	Trazabilidad
CDT de Diseño	CDT de Diseño de la estación de bombeo.	Trazabilidad
Fecha de Ingreso En Operación	Fecha en la que la estación de bombeo entra en operación.	Trazabilidad

Fuente: Elaboración Propia, Microsoft Word 2019

Tabla 25. Variables para la Tabla Equipo

Variable	Detalle	Razón de Importancia
Serial de la Máquina	Serial de la Máquina	Identificación
Consecutivo Estación de Bombeo	Ubicación actual de la máquina	Trazabilidad
Consecutivo Tipo de Equipo	Clasificación del tipo de máquina.	Identificación
Consecutivo Estado de Máquina	Nuevo, Usado, En Mantenimiento. Representa la situación actual del active.	Identificación
Consecutivo Primera Estación de Bombeo donde se Instaló el Equipo	Identificación de la primera Estación de Bombeo donde entró a operar el equipo.	Identificación
Encargado del Equipo	Laborador de la Dirección de Sistemas de Bombeo encargado del equipo.	Trazabilidad
Codificación Conjunto	Codificación propuesta para la posición de los equipos ⁴⁰ .	Trazabilidad
Número de Activo	Consecutivo de Activo del AyA de la máquina.	Trazabilidad
Fecha de Ingreso a la Estación	Fecha de Ingreso a la Estación	Trazabilidad
Proveedor del Equipo	Proveedor del Equipo	Trazabilidad
Marca del Equipo	Marca del Equipo	Trazabilidad
Modelo del Equipo	Modelo del Equipo	Trazabilidad
Voltaje Sistema	Voltaje del Sistema de alimentación del Equipo.	Identificación
Potencia del Equipo	Potencia del Equipo	Identificación
Eficiencia, Motor	Potencia del motor. Si Consecutivo Tipo de Equipo no es: Motor, valor nulo.	Identificación
C. Nominal, Motor	Corriente Nominal del motor. Si Consecutivo Tipo de Equipo no es: Motor, valor nulo.	Identificación
Factor de Servicio, Motor.	Si Consecutivo Tipo de Equipo no es: Motor, valor nulo.	Identificación
Fases, Motor.	Número de Fases del motor. Si Consecutivo Tipo de Equipo no es: Motor, valor nulo.	Identificación
Vel. Giro, Motor	Velocidad de giro del motor. Si Consecutivo Tipo de Equipo no es: Motor, valor nulo.	Identificación

⁴⁰Observar codificaciones proúestas a partir de la página 116.

Variable	Detalle	Razón de Importancia
Frame/Diámetro, Motor	Categoría de la carcasa del motor y tamaño. Si Consecutivo Tipo de Equipo no es: Motor, valor nulo.	Identificación
Caudal de Servicio, Bomba	Si Consecutivo Tipo de Equipo no es: Bomba, valor nulo.	Identificación
Carga Hidráulica, Bomba	Si Consecutivo Tipo de Equipo no es: Bomba, valor nulo.	Identificación
Eficiencia según la curva, Bomba	Si Consecutivo Tipo de Equipo no es: Bomba, valor nulo.	Identificación
Presión de Cierre, Bomba	Si Consecutivo Tipo de Equipo no es: Bomba, valor nulo.	Identificación
Cantidad de Impulsores, Bomba	Si Consecutivo Tipo de Equipo no es: Bomba, valor nulo.	Identificación
Diámetro, Bomba	Si Consecutivo Tipo de Equipo no es: Bomba, valor nulo.	Identificación
Material Impulsor, Bomba	Si Consecutivo Tipo de Equipo no es: Bomba, valor nulo.	Identificación
Desplazamiento del Eje, Bomba	Si Consecutivo Tipo de Equipo no es: Bomba, valor nulo.	Identificación

Fuente: Elaboración Propia, Microsoft Word 2019

Tabla 26. Variables para la Tabla Medición.

Variable	Detalle	Razón de Importancia
Consecutivo Medición	Consecutivo para identificar la medición.	Identificación
Serial Maquina	Codificación de la Máquina a la que se le está haciendo la medición.	Identificación
Consecutivo Estación de Bombeo	Codificación de la Posición en la Estación de Bombeo donde está el Equipo.	Identificación
Consecutivo Empleado	Persona encargada de la Medición.	Identificación
Fecha Medición	Fecha en la que se realiza la medición.	Indicadores
¿Es una Medición Inicial?	Esclarece si la medición se está realizando al mismo equipo de la última medición en la misma ubicación donde se está midiendo o no.	Indicadores

Variable	Detalle	Razón de Importancia
Codificación Conjunto	Codificación propuesta para la posición de los equipos ⁴¹ .	Trazabilidad
Horómetro	Horas de operación del equipo.	Indicadores
Voltaje entre líneas L1 y L2	Voltaje entre líneas L1 y L2	Indicadores
Voltaje entre líneas L1 y L3	Voltaje entre líneas L1 y L3	Indicadores
Voltaje entre líneas L2 y L3	Voltaje entre líneas L2 y L3	Indicadores
Desbalance de Voltaje %	Desbalance porcentual de voltaje.	Indicadores
Corriente Línea L1	Corriente Línea L1	Indicadores
Corriente Línea L2	Corriente Línea L2	Indicadores
Corriente Línea L3	Corriente Línea L3	Indicadores
Desbalance de Corriente %	Desbalance porcentual de corriente.	Indicadores
Potencia en kW	Potencia en kW	Indicadores
Potencia en HP	Potencia en HP	Indicadores
Factor de Potencia	Factor de Potencia	Indicadores
Aislamiento del Motor	Aislamiento del Motor	Indicadores
Frecuencia en Hz	Frecuencia en Hz	Indicadores
Frecuencia en rpm	Frecuencia en rpm	Indicadores
Temperatura Máxima Terminales	Temperatura máxima en los terminales eléctricos.	Indicadores
Armónicos en Voltaje %	Porcentaje de armónicos en el Voltaje.	Indicadores
Armónicos en Corriente %	Porcentaje de armónicos en la Corriente	Indicadores
Nivel Estático	Nivel Estático	Indicadores
Nivel Dinámico	Nivel Dinámico	Indicadores
Colocación	Colocación	Indicadores
Presión de Succión	Presión de Succión	Indicadores
Presión de Descarga	Presión de Descarga	Indicadores
Presión de Línea	Presión de Línea	Indicadores

⁴¹Observar codificaciones proúestas a partir de la página 116.

Variable	Detalle	Razón de Importancia
Caudal Medido	Caudal Medido	Indicadores
Observaciones	Acotaciones o notas importantes consideradas por el técnico de medición.	Trazabilidad

Fuente: Elaboración Propia, Microsoft Word 2019

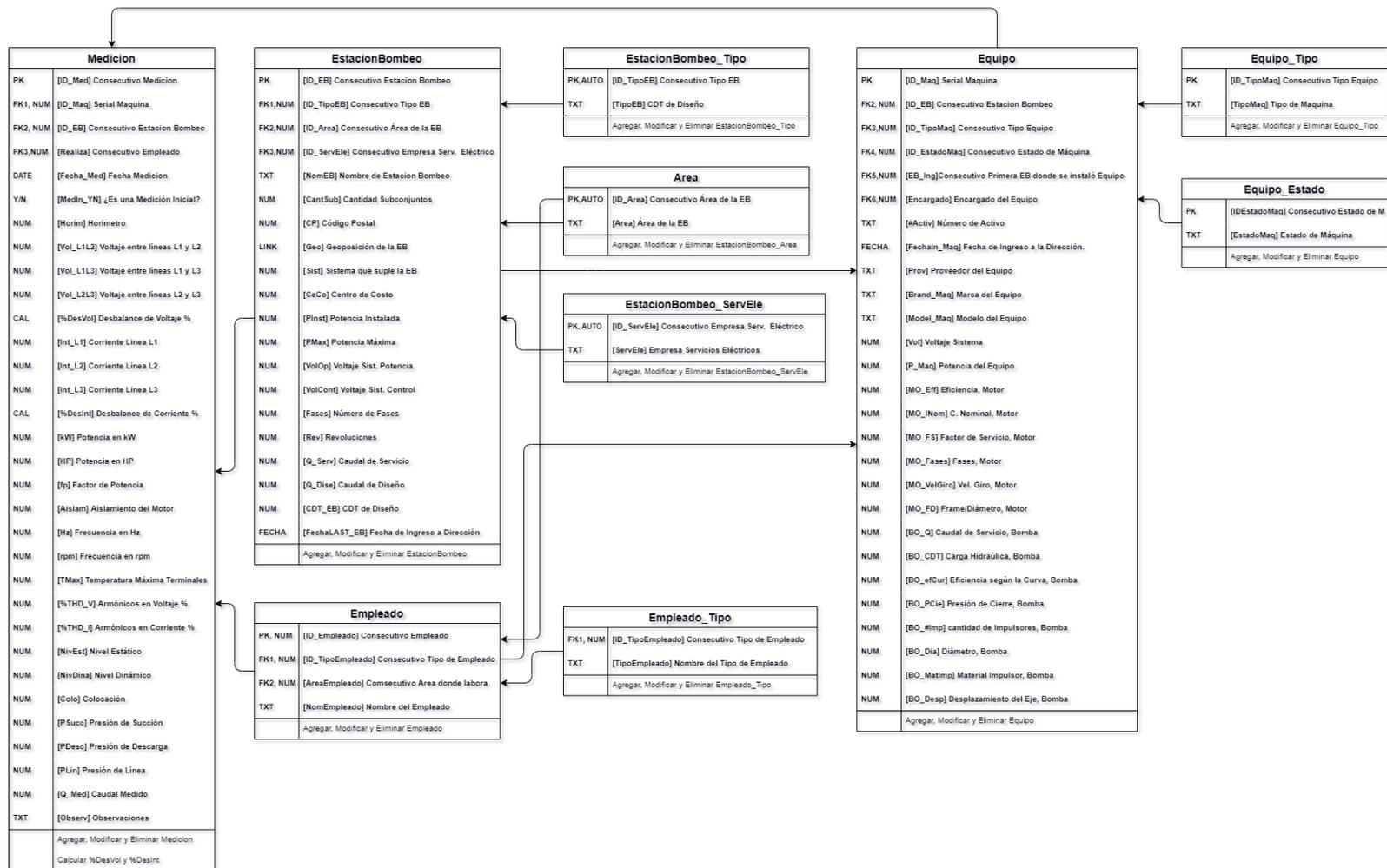


Figura 39. Modelación UML del Sistema de Bases de Datos y Control de Indicadores

Fuente: Elaboración Propia, diagrams.net

En la Figura 39 se muestran todas las variables la Tabla 24, Tabla 25, y Tabla 26, así como otras que colaboran de asistencia al manejo de los datos. Al lado de cada variable se encuentra información para categorizar por tipo de dato recopilado, así como la categorización de si es un dato llave y el tipo que es. Las nomenclaturas utilizadas se presentan en la tabla siguiente:

Tabla 27. Nomenclaturas utilizadas para el Diseño UML y Descriptivo

Nomenclatura	Descripción
PK	Llave principal
FK#	Llave foránea número #.
NUM	Tipo de dato numérico.
DATE	Tipo de dato fecha.
Y/N	Tipo de dato Booleano.
CAL	Tipo de dato numérico. Surge a partir del cálculo.
LINK	Tipo de dato enlace.
TXT	Tipo de dato texto.
AUTO	Contador automático

Fuente: Elaboración Propia, Microsoft Word 2019

Para poder desarrollar la herramienta se presenta el diseño descriptivo, con el nombre de cada celda. El símbolo “++” representa su característica de llave principal y “+” el de llave foránea.

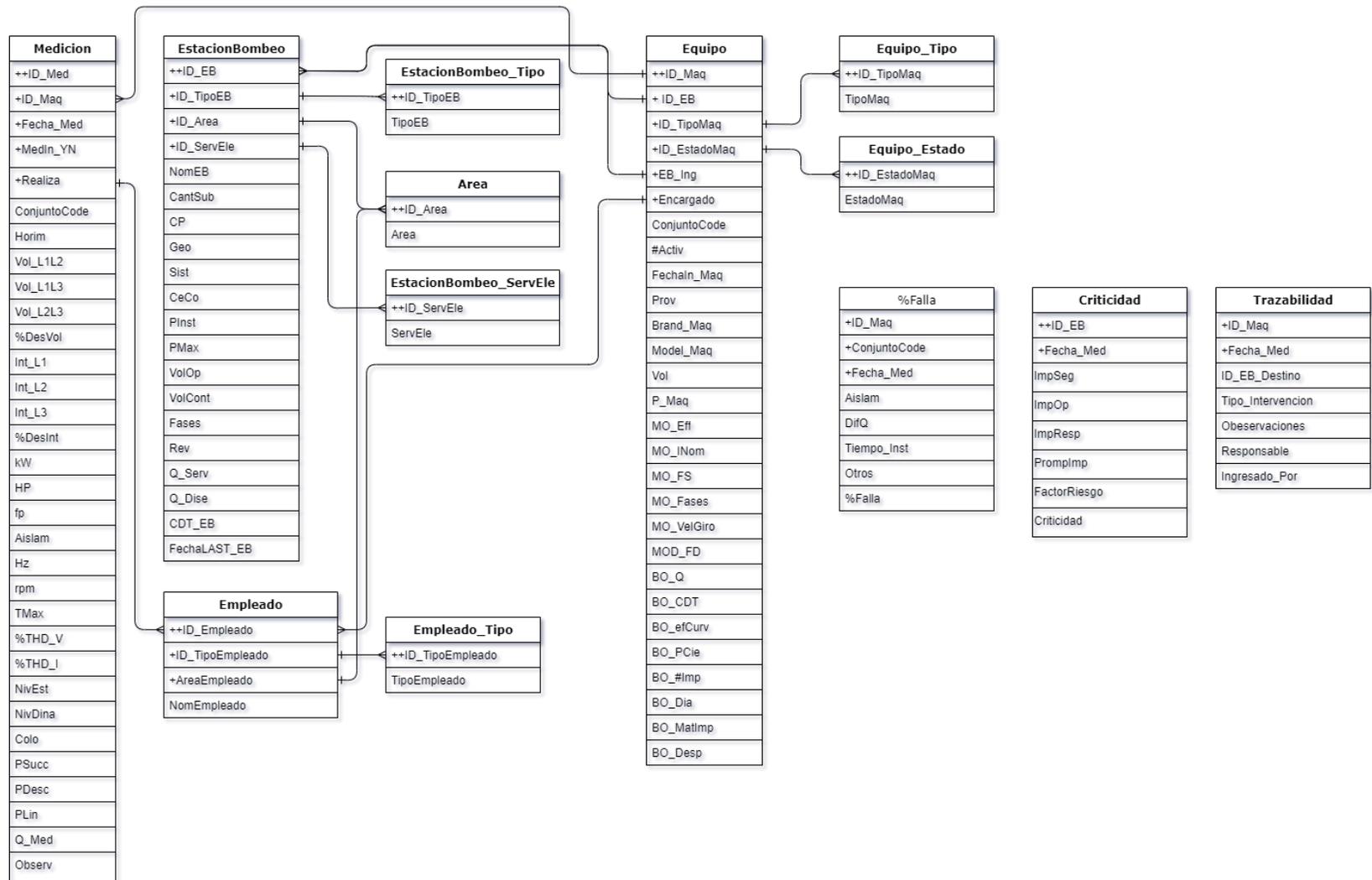


Figura 40. Modelo Descriptivo del Sistema Propuesto.

Fuente: Elaboración Propia, diagrams.net

Las necesidades técnicas y funcionales del sistema se enumeran a continuación:

- Necesidades Técnicas:

Referente a los apartados técnicos, la plataforma debe cumplir lo siguiente:

- Los datos deben ser alojados en la nube, para evitar la dependencia de equipos y que se garantice el acceso simultáneo de varios usuarios.
- El ingreso de datos se debe realizar de manera remota, por lo que la plataforma debe tener la posibilidad de que los datos se ingresen de la misma manera.
- El acceso a la plataforma debe tener limitaciones de acceso y derechos, ya que no todos los usuarios deben de tener la posibilidad de modificar datos.
- La herramienta debe ser ligera para poder utilizarse con las herramientas con las que cuentan los técnicos de medición.
- La solución debe contar con una plataforma GUI simple y fácil de interpretar.
- La solución debería ser multiplataforma, para posibilitar el acceso y consulta de datos desde cualquier dispositivo.

- Necesidades Funcionales:

Desde un punto de vista funcional, la herramienta debe considerar el modelo descriptivo planteado como solución. Detalles como llaves principales y foráneas, relación entre tablas, campos y tipo de datos debe ser respetado para asegurar la viabilidad de la aplicación.

La aplicación tendrá tres tipos de usuarios, cada uno con distintos derechos. Cada uno de ellos debe ingresar con su correo institucional para poder utilizar la plataforma. Debe reconocerse a lo interno de las tablas quien realiza las modificaciones en los registros, para hacer un seguimiento en caso de ser necesario.

1. Técnico de Medición:

- a. Crear, modificar o eliminar únicamente los registros de la tabla Medición.

2. Administradores de Información:

- a. Crear, modificar o eliminar los registros de todas las tablas de la base de datos.
- b. Modificar y realizar el ingreso de valores para el cálculo de los índices de mantenimiento.
- c. Visualizar los resultados e historiales generados a partir de los índices de mantenimiento.

3. Observador:

- a. Visualizar los resultados e historiales generados a partir de los índices de mantenimiento.

Para agregar un registro en la tabla Medición, se deben cumplir una etapa de pre-registro y otra de ingreso de variables. El procedimiento se presenta a continuación:

Tabla 28. Paso a Paso para la generación de Registros en la Tabla Medición.

Paso	Detalle	Observación
P1	Seleccionar la estación de Bombeo donde se está realizando la medición.	Después de seleccionado, pasar a paso P2.
P2	Seleccionar el subconjunto donde se está realizando la medición.	Después de seleccionado, pasar a paso P3.
P3	Seleccionar el código del equipo al que se le está realizando la medición.	Después de seleccionado, pasar a paso P4.
P4	Si el equipo XX### en la posición A###S## es el mismo equipo al cual se realizó la medición pasada en la misma posición, debe considerarse un valor FALSO en MedIn_YN. Caso contrario, se asigna el valor VERDADERO.	Después de seleccionado, pasar a paso 1.
I1	Ingresar las variables del proceso de medición.	
I2	Alerta al Administrador de medición de que un registro se generó.	

Fuente: Elaboración Propia, Microsoft Word 2019

Para agregar un registro en la tabla Equipo o Estación de Bombeo, sólo deben ingresarse los datos a sabiendas de que se deben respetar las relaciones de llaves y sus limitaciones.

El análisis y cálculo de los índices debe darse por separado, puesto la relación que comparten. Primeramente, debe calcularse el porcentaje de falla. La tabla de dichos registros debe llevar la siguiente forma:

Tabla 29. Ejemplo de Registro de la Tabla %Falla

ID_Maq	ID_EB	ConjuntoCode	Fecha_Med	Aislam	DifQ	Tiempo_Inst	Otros	%Falla
MO23	A1	A106S1	DD/MM/YYYY	3	2	3	4	0,58

Fuente: Elaboración Propia, Microsoft Word 2019

Los registros de cada celda se deben definir de la siguiente manera:

Tabla 30. Paso a Paso para la generación de Registros de la Tabla %Falla

Paso	Detalle	Observación												
P1	<p>Para un registro con <i>+ID_Maq</i> y <i>ConjuntoCode</i> seleccionado:</p> <p>Si el valor de <i>+MedIn_YN</i> es NEGATIVO, pasar a P2.</p> <p>Si el valor de <i>+MedIn_YN</i> es POSITIVO, pasar a</p>													
P2	<p>El último registro se tomará como una <i>medición de control</i>. El último registro con <i>+ID_Maq</i> y <i>ConjuntoCode</i> iguales a <i>medición de control</i>, pero con <i>+MedIn_YN</i> igual a POSITIVO se tomará como <i>medición base</i>.</p>	Pasar al paso P3.												
P3	<p>De acuerdo con el valor de la celda [<i>Aislam</i>] de <i>medición de control</i>, asignar el valor correspondiente de los siguientes a la celda [<i>Aislam</i>] de la tabla %Falla:</p> <table border="1" data-bbox="354 1178 605 1568"> <thead> <tr> <th>Rango</th> <th>Valor</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>[200, + ∞ [</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>[100, 200[</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>[50, 100[</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>[10, 50[</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>[0,10[</td> <td>5</td> </tr> </tbody> </table>	Rango	Valor	[200, + ∞ [1	[100, 200[2	[50, 100[3	[10, 50[4	[0,10[5	
Rango	Valor													
[200, + ∞ [1													
[100, 200[2													
[50, 100[3													
[10, 50[4													
[0,10[5													

Paso	Detalle	Observación
------	---------	-------------

P4 Utilizando el valor de la celda *[Q_Med]* de *medición de control* y *[Q_Med]* de *medición base* aplicar la fórmula adjunta, asignar el valor correspondiente de los siguientes a la celda *[DifQ]* de la tabla *% Falla*:

Rango	Valor	$\frac{(Q_Med_MB - Q_Med_MC)}{Q_Med_MB}$
]- ∞, 0]	1	
]0, 0, 05[2	
]0,05, 0,1[3	
]0,15, 1[4	
]- ∞, 0]	5	

P5 Asignar el valor de *[Year_Motor]* correspondiente de la siguiente tabla de acuerdo con el valor de la celda *[ID_TipoEB]* de *medición de control*:

ID_TipoEB ⁴²	Year_Motor	$\frac{(Year_Motor - T_Funcion)}{Year_Motor}$
2 3 5	4	
1 4 6	8	

Utilizando el valor de la celda *[Fecha_Med]* de *medición de control* realizar la resta de este dato y *[Fecha_Med]* de *medición base*, dividir resultado entre 365 para convertir a años y aplicar la fórmula facilitada. Asignar respuesta a la celda *[Tiempo_Inst]* de la *%Falla*.

Considerar a *T_Funcion* como la resta entre la celda *[Fecha_Med]* de *medición de control* y *[Fecha_Med]* de *medición base*, dividido entre 365.

⁴² Los valores presentados son los índices de la tabla *EstacionBombeo_Tipo*, mostrado en la Figura 40 Modelo Descriptivo del Sistema Propuesto. Los valores numéricos respetan la siguiente numeración: 1. Bosster con Equipo

Paso	Detalle	Observación
P6	Asignar el valor de [Otros] de la tabla %Falla un valor ingresado por el usuario, el cual debe ser numérico entre 1 y 5 ⁴³ .	
P7	Calcular [%Falla] de la tabla %Falla de acuerdo con la fórmula facilitada.	$\frac{(Aislam \times 0,4) + (DifQ \times 0,2) + (Tiempo_Inst \times 0,3) + (Otros \times 0,1)}{5}$

Fuente: Elaboración Propia, Microsoft Word 2019

La tabla Criticidad, debe llevar el siguiente formato:

Tabla 31. Ejemplo de Registro de la Tabla Criticidad

ID_EB	Fecha_Med	ImpSeg	ImpOp	ImpResp	Promplmp	FactorRiesgo	Criticidad
A1	DD/MM/YYYY	2	3	2	2	3	6

Fuente: Elaboración Propia, Microsoft Word 2019

Los registros de cada celda se deben definir de la siguiente manera:

Exterior; 2- Booster con equipo sumergible, 3-Rebombeo/bombeo con equipo sumergible, 4- rebombeo/bombeo con equipo exterior, 5- pozo profundo con equipo sumergible, 6- pozo profundo tipo turbina.

⁴³ Este valor es un valor subjetivo dictado por el mismo ingeniero de gestión, que considerará la gravedad de las mediciones

Tabla 32. Paso a Paso para la generación de Registros de la tabla Criticidad⁴⁴

Paso	Detalle	Observación												
P1	Para todos los registros en el mismo mes y con mismo [ID_EB] calcular el promedio de todos los valores. Tomar el resultado y compararlo con la siguiente tabla para asignar el valor de la celda [FactorRiesgo] correspondiente:													
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Rango</th> <th>Valor</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>[0, 0,2]</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>]0,2, 0,4[</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>[0,4, 0,6[</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>[0,6, 0,8[</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>[0,8, 1[</td> <td>5</td> </tr> </tbody> </table>	Rango	Valor	[0, 0,2]	1]0,2, 0,4[2	[0,4, 0,6[3	[0,6, 0,8[4	[0,8, 1[5	
Rango	Valor													
[0, 0,2]	1													
]0,2, 0,4[2													
[0,4, 0,6[3													
[0,6, 0,8[4													
[0,8, 1[5													
P2	Asignar el valor de [ImpSeg] de la tabla <i>Criticidad</i> un valor ingresado por el usuario, el cual debe ser numérico entre 1 y 5.													
P3	Asignar el valor de [ImpOp] de la tabla <i>Criticidad</i> un valor ingresado por el usuario, el cual debe ser numérico entre 1 y 5.													
P4	Asignar el valor de [ImpResp] de la tabla <i>Criticidad</i> un valor ingresado por el usuario, el cual debe ser numérico entre 1 y 5.													
P5	Asignar a la celda [PrompImp] de la tabla <i>Criticidad</i> el resultado del promedio de los valores de [ImpSeg], [ImpOp] y [ImpResp].													
P6	Asignar a la celda [Criticidad] de la tabla <i>Criticidad</i> el valor de la fórmula facilitada	$Criticidad = PromImp \times [FactorRiesgo]$												

Fuente: Elaboración Propia, Microsoft Word 2019

La tabla Trazabilidad, debe llevar el siguiente formato:

⁴⁴ Los valores de los pasos P2, P3 y P4 son asignados por el ingeniero de gestión tomando en cuenta la Tabla 11 Índices según la Implicación para definir la Criticidad de la Estación de Bombeo.

Tabla 33. Ejemplo de Registro de la Tabla Trazabilidad

ID_Maq	Fecha_Med	ID_EB_Origen	ID_EB_Destino	Tipo_Intervencion	Observaciones	Responsable	Ingresado_Por
MO23	DD/MM/YYYY Y	A103	A311	2 ⁴⁵	XXXXXX	Juan Gonzalez	Marco Hernández

Fuente: Elaboración Propia, Microsoft Word 2019

Si se realiza un cambio de las celdas [ID_EB] o [ID_EstadoMaq] en algún registro de la tabla Equipo, se debe generar un nuevo registro de la tabla *Trazabilidad*. Los registros de cada celda se deben definir de la siguiente manera:

Tabla 34. Paso a Paso para la generación de Registros de la tabla Trazabilidad

Paso	Detalle	Observación
P1	Asignar a la celda [ID_Maq] de la tabla <i>Criticidad</i> el valor de [ID_Maq] de la tabla <i>Equipo</i> .	
P2	Asignar a la celda [Fecha_Med] de la tabla <i>Criticidad</i> el valor de [Fecha_Med] de la tabla <i>Equipo</i> .	
P3	Asignar a la celda [ID_EB_Origen] de la tabla <i>Criticidad</i> el valor de [ID_EB_Origen] de la tabla <i>Equipo</i> .	
P4	Asignar a la celda [ID_EB_Destino] de la tabla <i>Criticidad</i> el valor de [ID_EB_Destino] de la tabla <i>Equipo</i> .	
P5	Asignar a la celda [Tipo_Intervencion] de la tabla <i>Criticidad</i> el valor adecuado.	
P6	El valor de la celda [Observaciones] de la tabla <i>Criticidad</i> debe ser ingresado por el usuario.	
P7	El valor de la celda [Responsable] de la tabla <i>Criticidad</i> debe ser elegido por el usuario a partir de la tabla <i>Empleado</i> .	
P8	El valor de la celda [Ingresado_Por] de la tabla <i>Criticidad</i> debe ser elegido por el usuario a partir de la tabla <i>Empleado</i> .	

Fuente: Elaboración Propia, Microsoft Word 2019

⁴⁵ Índice asignado debido al tipo de intervención, siendo 1- Mantenimiento; 2-Movimiento.

4.7.4. Necesidades GUI

Existen dos tipos de participantes dentro del proceso de medición mencionados en la Figura 28. Diagrama de Flujo de los Participes dentro del Proceso de Medición actual de la Dirección de Sistemas de Bombeo. La primera sección está incluida por los encargados de la medición como tal, los segundos corresponderían al personal encargado de su análisis.

En el caso del proceso de medición, dado que las mismas se realizan en campo, la herramienta debe ser versátil, capaz de enlazarse en tiempo real con la base de datos y de la misma forma resultar de fácil uso para el usuario. Las necesidades, luego de consultar al personal, se detallan a continuación:

- Permitir el ingreso, modificación y eliminación de registros de medición.
- Generar un registro considerando las variables mencionadas en la Tabla 26.
Variables para la Tabla Medición.
- Posibilidad de utilizarse en los dispositivos y activos con los que cuentan los técnicos.
- Ser eficaz, eficiente y satisfactoria en su usabilidad.

Por otro lado, la interfaz de interpretación de variables debe considerar lo siguiente:

- Posibilidad de visualizar la información de un registro en específico.
- Mostrar los valores de los índices establecidos de probabilidad de falla y criticidad de las estaciones de bombeo.

Cabe rescatar que, al tratarse de necesidades distintas, se establecerán plataformas distintas para cada proceso.

4.7.5. Interfaces de Uso

Para el uso de la aplicación, sólo se debe tener un teléfono móvil con acceso autorizado para poder empezar a utilizarla. La ventaja de que los técnicos de medición cuenten con teléfonos inteligentes y conexión a internet facilita que la aplicación pueda ser utilizada, siendo la única no disponibilidad de servicio, en aquellos recintos donde no exista cobertura telefónica.



Figura 41. Ventana Principal de Aplicación Generada para los Técnicos de Medición.

Fuente: Elaboración Propia, Microsoft PowerApps 2020

La Figura 41 muestra la pantalla principal de la aplicación realizada en la plataforma PowerApps para que los técnicos de medición puedan ingresar los datos de medición realizados al momento justo de culminada y recopilados los valores de medición para aquellos recintos que no se puedan del todo automatizar. En dicha pantalla, el técnico

de medición debe seleccionar primeramente el área de donde quiere realizar un registro; seguidamente debe seleccionar la estación de bombeo de dicha área donde se encuentra. Seguidamente, se le presentará la pantalla para ingresar los datos debidos.

Datos de Medición

* Estación de Bombeo Pozo Chiguite

* Fecha de la Medición 12/31/2001

* Serial de la Máquina Buscar elementos

* Número de Conjunto

* Realizador de la Medición Buscar elementos

* ¿Medición Inicial? No

Horímetro [h]

Corriente L1 [A]

Corriente L2 [A]

Corriente L3 [A]

Desbalance de

Figura 42. Pantalla de ingreso de Datos de Medición.

Fuente: Elaboración Propia, Microsoft PowerApps 2020

Todos los datos generados se conectan directamente con la tabla *MEDICION* ya generada anteriormente, lo que almacenará los datos de manera automática a la plataforma para su posterior análisis.

4.7.6. Enlace a Sistema Final.

Una de las ventajas de utilizar *Sharepoint* enlazada con *PowerApps* y *Microsoft Access* es fundamentalmente la facilidad de enlace de datos y su movilidad. Como los datos son alojados en *Sharepoint*, una de sus posibilidades es la conexión con bases de datos tipo SQL, lo que posibilita la migración de información al sistema base utilizado por el departamento de Sistemas de Información del AyA.

Haber seleccionado el tipo de datos en cada atributo de la base de datos era fundamental para el buen enlace de la información. De igual manera al presentarse la lógica de programación de los índices, la interpretación del manejo de datos resulta más sencillo de interpretar.

Para establecer un mejor enlace del sistema computacional propuesto con las necesidades del departamento, así como las licencias institucionales, sus plataformas y lineamientos para bases computacionales, se conoció que el departamento de Sistemas de Información del AyA utiliza para el manejo de sus bases de datos la plataforma ORACLE® (Cordero Leiva, 2020). Dicho sistema utiliza una base SQL, que es uno de los principales modelos para el establecimiento de bases datos. Las plataformas seleccionadas anteriormente trabajan de buena manera enlazadas con este tipo de plataformas.

4.7.7. Consideraciones Finales

Las tablas de datos presentes en este apartado no deberían ser eliminadas, pero sí modificadas. Lo anterior debido a que, en el sistema, las celdas se encuentran referenciadas y son utilizadas como llaves foráneas en tablas secundarias. De igual manera, existen ya celdas con tipo de datos predefinidos; cambiar o eliminar una de estas representaría un error en el sistema computacional y la gestión de datos.

4.8. Análisis Económico

4.8.1. Definición y Realidad de la Estrategia Planteada.

La importancia de la propuesta dentro del esquema de trabajo de la Dirección de Sistemas de Bombeo es más notoria si se considera su papel dentro del sistema de gestión de mantenimiento del departamento, buscando realizar al proceso más efectivo y ágil en su toma y manejo de datos, identificación de equipos e interpretación de índices.

Debe recordarse que la estrategia se está aplicando dentro de una empresa gubernamental, por lo que es claro que la aplicación de cualquier estrategia o metodología deberá considerarse como un desarrollo social (Sapag Chain & Sapag Chain, 2008). Con lo anterior, quiere mencionarse que se considerará primeramente el aspecto e impactos sociales. Las consideraciones llamadas “privadas” serán las que evaluarán el proyecto desde su punto estratégico, fundamentando su aplicación como estrategia de mantenimiento predictivo (Arias Martos, 2020).

Tabla 35. Impactos Económicos de la Estrategia Propuesta.

Detalle	Dirección del Flujo Económico	Tipo de Desarrollo
Disminución en visitas a sitio.	Positivo	Privado
Capacitación de personal.	Positivo	Privado
Control de activos.	Positivo	Privado
Inversión Inicial (Equipo de Identificación de Activos, Equipo de Medición de Caudal remoto, punto de conexión en estaciones donde no lo haya).	Negativo	Privado
Mayor disponibilidad de los equipos.	Positivo	Privado
Mayor satisfacción de la población y mejora de la imagen pública.	Positivo	Social
Medición de indicadores con más certeza y frecuencia.	Positivo	Privado
Menores horas laborales invertidas en el proceso de medición y análisis de datos.	Positivo	Privado

Fuente: Elaboración Propia, Microsoft Word 2019

La Tabla 35 muestra aspectos desde una perspectiva macro de las situaciones que generan movimientos de flujo económico positivos o negativos, así como la perspectiva del desarrollo. Se abarcará mejor estas perspectivas y análisis en las siguientes secciones.

4.8.2. Impacto Económico Social y Privado de la Estrategia Planteada.

Para calcular el precio social de mano de obra deben considerarse en el proceso todos los participantes de la Figura 27. Flujograma de la Adquisición de Variables y relación de Índices utilizado actualmente en la Dirección de Sistemas de Bombeo.

Tabla 36. Estimación de Gasto por Mano de Obra en el proceso de Medición y Gestión de Índices

Cargo	Sueldo Base [CRC]	Sueldo Con Cargas Sociales Patronales [CRC]	Sueldo /hora [CRC/h]	Cantidad de personas	Horas invertidas al mes	Costo Total [CRC]
Técnico de Medición	462 947,09	749 974,29	4 380,69	2	342.4	1 499 948,57
Ingeniero de Gestión	971 260,00	1 573 441.20	9 190,66	1	34.24	314 688,24
Ingeniero de Área	1 165 512,00	1 888 129,44	11 028 79	446	68.48	755 251,78
Dirección	1 456 890,00	2 360 161,80	13 785 99	1	12.84	177 012,14

Fuente: Elaboración Propia, Microsoft Word 2019

La Tabla 36 delimita las horas invertidas previo a la aplicación considerando toda la jornada de 8 horas semanales para el técnico de medición, para el ingeniero de gestión, 4 y 3 para el ingeniero de área y la dirección, respectivamente. En total, el monto es de al menos 2 746 900 CRC.

Se presenta el Anexo Proyección de Compras de Equipo de la Dirección de Bombeo del GAM para el año 2020, del cual se desprenden los datos utilizados en este análisis. A sabiendas de que el monto total presentado es de 1 244 888,00 USD, y utilizando una tasa de cambio 583.1 colones por cada dólar, se establece una mediana de 3 352 825 CRC y un valor promedio de 7 258 941,93 CRC.

⁴⁶ Se contabilizan sólo cuatro ingenieros de área debido a que las tareas de gestión del área 5 las lleva a cabo la dirección.

De la misma manera, a fin de argumentar más el análisis, la propuesta de inversión debe incluir dos insumos que vendrían a ser necesarios para la aplicación idónea de la herramienta: un sistema agilizado de identificación de equipos, así como la adquisición de equipos de medición con posibilidad de envío de información remoto. A continuación, la cotización considerada en el análisis:

Tabla 37. Cotización por el sistema de Etiquetas RFDI⁴⁷

Detalle	Cantidad	Precio Unitario [USD]	Sub Total [USD]
Terminal RFDI TC-20 ZEBRA	2	2 717,43	5 434,86
TAGS Tag para la identificación de equipos industriales serializados, encapsulados en cerámica IP68 --Ironsides	230 ⁴⁸	9,23	2 122 ,0
Licencia móvil de Sistema de Control de Activos, incluye módulo de sincronización mediante archivo plano o Excel.	1	869,48	869,48
TOTALES			
	<i>Equipo</i>		8 427,24
	<i>Mano de Obra, Capacitación Remota</i>		1 298,87
	<i>Impuesto de Venta</i>		1 411,09
	<i>Total, Oferta</i>		11 137,20

Fuente: Elaboración Propia, Microsoft Word 2019

⁴⁷ La cotización se puede visualizar en los anexos. La tabla presente fue ligeramente modificada para ajustar la cantidad necesarias de etiquetas necesarias para la Dirección de Bombeo del GAM.

⁴⁸ Cantidad total de subconjuntos en el GAM.

Tabla 38. Inversión necesaria para la aplicación de Prácticas Predictivas

Tarea Predictiva	Equipo Recomendado	Cantidad Necesaria	Monto Aproximado [USD]
Medición del desempeño del equipo por medio del Caudal.	Series AquaMaster ⁴⁹ de ABB o Panametrics TransPort PT900	Móviles: 1 Fijos: Variable ⁵⁰	7 000
Análisis de Vibraciones.	Medidor de vibraciones Fluke 805 FC	2	2 600
Inspección mediante Termografía Infrarroja.	Cámara termográfica Fluke TiS60+	2	8 280
Análisis de Corrientes en Máquinas eléctricas.	Fluke. Modelo: 1730	0	0

Fuente: Elaboración Propia, Microsoft Excel 2019

Los montos de las dos tablas anteriores, luego de utilizar una tasa de conversión de 380,5 suman un total de 16 919 931,17 CRC.

Ya se tratase de evaluación privada o social, se considerarán tres aspectos: inversión, beneficios y costos.

- Evaluación Privada

Desde la perspectiva de esta evaluación, la inversión es la misma presentadas líneas arriba, con un monto total de 16 919 931,17 CRC. Considerando una depreciación lineal, con una vida útil contable de 10 años para equipos de ingeniería y dispositivos de indicadores y medidores (Poder Ejecutivo de la República de Costa Rica, 2019), se tiene una depreciación anual por un monto de 1 691 993,12 CRC.

⁴⁹ Cotización del monto se puede consultar en anexos.

⁵⁰ Existe la posibilidad de instalar macromedidores a la salida de los equipos, esto resultaría en la no necesidad del desplazamiento de los técnicos de medición, pero también en la necesidad de adecuar las instalaciones de varias estaciones de trabajo. Para fines del análisis económico se considera la compra de equipos móviles, únicamente.

Los únicos beneficios económicos que ingresan dentro de la institución surgen a partir de la facturación del servicio de agua potable a cada uno de los asociados. Establecer la relación e impacto que tendría la propuesta planteada con el cobro de servicios es bastante compleja. Por otro lado, debe verse la disminución del monto esperado como una mejor gestión de fondos. Esta disminución se visualizará de dos maneras: considerando el tiempo esperado de disminución por cada una de las plazas que intervienen en el proceso de medición, y la ventaja económica de aplicar una propuesta de mantenimiento predictivo. Esta última se presentará más adelante.

Luego de la aplicación se espera tener una reducción del tiempo invertido en el proceso inferior al 20% para los técnicos de medición, 60% al ingeniero encargado del Sistema de Gestión de Mantenimiento, y un 50% a los ingenieros de área y la dirección. Los montos esperados se presentan en la tabla siguiente.

Tabla 39. Reducciones Esperadas

Cargo	Horas Invertidas al mes	Reducción porcentual esperada [%]	Sueldo /hora [CRC/h]	Cantidad de personas	Horas Reducidas Esperadas	Costo Total [CRC]
Técnico de Medición	342.4	20	4 380,69	2	136.96	299 989,71
Ingeniero de Gestión	34.24	60	9 190,66	1	20.544	188 812,94
Ingeniero de Área	68.48	50	11 028,79	4	136.96	377 625,89
Dirección	12.84	50	13 785,99	1	6.42	88 506,07

Fuente: Elaboración Propia, Microsoft Word 2019

De esta Tabla 39, se puede corroborar que se espera una reducción total de 130 horas mensuales, equivalentes a una reducción de costos de 954 934,61 CRC mensuales,

unos 11 459 215,37 CRC anuales. El monto pasado, sumado a los ahorros de implementar la estrategia, dan un monto total de beneficio de 63 550 505,92 CRC.

La asignación de la media plaza del técnico encargado de gestionar el sistema debe considerarse como un gasto o costo. Se considera un monto de 374 987,14 CRC para suplir esta necesidad⁵¹.

Teniendo a este punto, los ingresos y egresos expresados en moneda actual, resulta altamente favorable realizar un VAN del proceso. Sabiendo que:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{Y_t - E_t}{(1 + i)^t} - I_0$$

⁵¹ Considerando un salario base de 462 947,09 CRC para un técnico en Educación Superior. (DECRETO EJECUTIVO N° 42104-MTSS, 2019)

Tabla 40. Proyección de Flujo de Caja Privada para un periodo de 10 años (montos en CRC)

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
AHORROS											
-Gastos Evitados por PdM		50,706,662.30	50,706,662.30	50,706,662.30	50,706,662.30	50,706,662.30	50,706,662.30	50,706,662.30	50,706,662.30	50,706,662.30	50,706,662.30
-Beneficios Económicos		11 459 215,37	11 459 215,37	11 459 215,37	11 459 215,37	11 459 215,37	11 459 215,37	11 459 215,37	11 459 215,37	11 459 215,37	11 459 215,37
COSTOS											
-Mano de Obra Analística Predictivo		4 499 845,71	4 499 845,71	4 499 845,71	4 499 845,71	4 499 845,71	4 499 845,71	4 499 845,71	4 499 845,71	4 499 845,71	4 499 845,71
Gastos no desembolsables-depreciación		1 691 993,12	1 691 993,12	1 691 993,12	1 691 993,12	1 691 993,12	1 691 993,12	1 691 993,12	1 691 993,12	1 691 993,12	1 691 993,12
Utilidad Neta Supuesta		55 974 038,84	55 974 038,84	55 974 038,84	55 974 038,84	55 974 038,84	55 974 038,84	55 974 038,84	55 974 038,84	55 974 038,84	55 974 038,84
Depreciación de Equipos		1 691 993,12	1 691 993,12	1 691 993,12	1 691 993,12	1 691 993,12	1 691 993,12	1 691 993,12	1 691 993,12	1 691 993,12	1 691 993,12
Capital de Trabajo	200 000,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Recuperación del Capital de Trabajo							100 000,00	100 000,00	100 000,00	100 000,00	100 000,00
INVERSION REQUERIDA											
-Adquisición Sistema de Etiquetas	6 494 103,17										
-Adquisición Transport PT900	4 081 700,00										
- Adquisición Fluke 805 FC	1 516 060,00										
-Adquisición Fluke TIS60+	4 828 068,00										
Flujo Neto Efectivo	-17 119 931,17	57,666,031.95	57,666,031.95	57,666,031.95	57,666,031.95	57,666,031.95	57,766,031.95	57,766,031.95	57,766,031.95	57,766,031.95	57,766,031.95

Fuente: Elaboración Propia, Microsoft Excel 2019

Donde Y_t representa el flujo de ingresos del proyecto, E_t sus egresos e I_0 la inversión inicial en el momento cero de la evaluación. La tasa de descuento se representa mediante i .

De esta manera, se establece en la siguiente Tabla 40 los datos que originan el cálculo del VAN. Suponiendo una tasa de descuento del 8.31%⁵², a un plazo de 10 años (debido a la depreciación de los equipos) se obtiene un VAN de 373 899 384,84 CRC.

Tabla 41. Resultados del Flujo de caja de la Tabla 40.

Tasa de descuento	8.31%
Valor Presente Neto	381 856 869,71
Valor Actual Neto (VAN) 8.31%	364 736 938,54
Tasa Interna de Retorno (TIR)	336.84%
Índice de Deseabilidad (ID)	22.30

Fuente: Elaboración Propia, Microsoft Excel 2019

- Evaluación Social

Considerando las observaciones del Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica y su guía para la aplicación de Precios Sociales, se selecciona *Moneda Local utilizando precios internos* como el método de aplicación de precio social, en una etapa de perfil o prefactibilidad. De esta manera, se considera la inversión como *Equipo de medición, prueba, navegación y control y de relojes*⁵³, categoría que se considera como un bien trazable, que, con un margen de distribución trazable, adquiere un factor de

⁵² Se utiliza como tasa de descuento la presentada por el Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica. (Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica, 2019)

⁵³ Código NP098. (Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica, 2019)

producto importable de 1.11 en moneda nacional y 710.1134447 para moneda extranjera (USD).

Tabla 42. Inversión Social

Factor Especifico Bien trazable en moneda nacional	1.110547818
Factor Especifico Bien trazable en moneda extranjera	710.1134447
Monto Inversión del Sistema	16 919 931,17 CRC
<i>Precio Social de la Inversión Anual</i>	<i>20 605 506,10 CRC</i>

Fuente: (Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica, 2019)

De la misma manera en que resulta difícil establecer la relación existente entre la propuesta planteada y los beneficios privados, establecer la relación con los sociales igual. El impacto directo de esta propuesta va en respuesta en la garantía de oferta del servicio, pero ello no representa un beneficio económico para el cliente final. Cualidades no cuantitativas como el grado de satisfacción del cliente podrían considerarse en este apartado, representando una mejora de la percepción de la empresa con su público.

Tabla 43. Precios Sombras de Mano de Obra

Salario Mínimo Media Plaza Técnico Especializado Anual	4 499 845,71 CRC
Salario Devengado al final de la propuesta por todas las plazas involucradas Anual	21 503 593,31 CRC
Total, Salarios	26 003 439,02 CRC
Costos asociados descontando cargas sociales y otros costos	18 039 152,98 CRC
Precio de la mano de obra descontando costos e incluyendo beneficios	22 031 217,53 CRC
Factor de precio social de la mano de obra para Mano de Obra Calificada	94,7%
Precio Sombra Mano de Obra	20 863 563,00 CRC

Fuente: Elaboración Propia, Microsoft Excel 2019

Los costos sociales, se argumentarán como los precios sombra de la mano de obra (Tabla 43), planteados por la entidad gubernamental pertinente. Considerando que todos los personajes que participan dentro del proceso de medición son fácilmente calificables como mano de obra calificada alta, según la guía para la aplicación de los precios sociales se establece un factor de 94.7% que refleja un monto total de 20 863 563,00 CRC o 35 780,42 USD.

Tabla 44. Proyección de Flujo de Caja Social para un periodo de 10 años (montos en CRC)

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
AHORROS											
-Gastos Evitados por PdM		20 863 563,00	20 863 563,00	20 863 563,00	20 863 563,00	20 863 563,00	20 863 563,00	20 863 563,00	20 863 563,00	20 863 563,00	20 863 563,00
-Beneficios Económicos		-20 863 563,00	-20 863 563,00	-20 863 563,00	-20 863 563,00	-20 863 563,00	-20 863 563,00	-20 863 563,00	-20 863 563,00	-20 863 563,00	-20 863 563,00
COSTOS											
-Precio Sombra de la Mano de Obra	6 494 103,17										
Utilidad Neta Supuesta	4 081 700,00										
INVERSION REQUERIDA											
-Adquisición Sistema de Etiquetas	4 828 068,00										
-Adquisición Transport PT900	-16 919 931,17										
- Adquisición Fluke 805 FC											
-Adquisición Fluke TIS60+											
Flujo Neto Efectivo	-16,919,931.17	-20,863,563.00									

Fuente: Elaboración Propia, Microsoft Word 2019

De esta forma, tomando como tasa social de descuento el valor de 8.31% y los datos de la Tabla 44, se obtiene en final, un VAN social por un monto de -154 979 569,09 CRC.

Dicho valor negativo responde a la imposibilidad de establecer de manera definida el impacto social de la no constancia del servicio a causa de los tiempos de falla. Estableciendo en el sistema un beneficio social con un monto de 25 000 000 CRC por cada uno de los periodos, daría como resultado un VAR positivo. Esto quiere decir que, si se contabilizara que los beneficios sociales de la aplicación son mensualmente mayores a dicho monto, el proyecto se ve sustentable desde el aspecto social.

Dado que la definición de algún beneficio económico colaboraría aún más a la evaluación del proyecto, se establece una relación matemática que defina de mejor manera los beneficios sociales.

A sabiendas que los tiempos mientras los equipos están en modo de falla o no operación, sea el motivo que fuere, son intervalos en los cuales no se les está garantizando a los usuarios el acceso inmediato al recurso hídrico, representando de esta manera el tiempo no brindado como una disminución del posible monto total de demanda⁵⁴.

Ante la anterior acotación, se define el índice MCB, cuyo cálculo se define según la siguiente fórmula:

$$MCB = TF \times Q_{DISEÑO} \times \varphi_{m^3}$$

Donde TF es el tiempo de falla son las horas en que la estación estuvo no operativa por motivos de mantenimiento o falla; $Q_{DISEÑO}$ hace referencia al caudal de diseño de la

⁵⁴ Para este análisis se asume el caudal de consumo total como un caudal de consumo ofrecido.

estación de bombeo, expresado en litros por segundo; y por último C_{m^3} es un valor asignado a través de los montos de facturación internos del AyA⁵⁵ del costo de un metro cúbico para un consumo residencial.

Tomando el valor del MCB, se podría evaluar cual es el monto total suplido de líquido a los consumidores. Para esto, se utiliza la siguiente fórmula:

$$\text{Monto Total Suplido} = \frac{(1 - \text{TF})}{719,04} \times Q_{\text{DISEÑO}} \times \text{C}_{m^3}$$

Y el porcentaje del total no suplido vendría siendo:

$$\text{Porcentual del total no suplido} = \frac{719,04 \times \text{MCB}}{(1 - \text{TF})}$$

El 719.04 surge del estimar la cantidad de horas considerando un mes de 4,28 semanas y siete días. La periodicidad de la toma del índice se realizará mensual. Demás información de aplicación y fuente se muestra en el Capítulo 5 Apéndice 2 Balance Scorecard.

4.8.3. Justificación de la Inversión en la Estrategia Planteada.

Si bien el método presentado calcula el costo anual aproximado en intervenciones (CAAJ) relacionado directamente con la cantidad de activos críticos, pero se considera una mejor visión analizarlo por estaciones de bombeo.

⁵⁵ (Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos, 2019)

Tomando en consideración la cantidad de estaciones mencionada en la Tabla 2. Cantidad de Estaciones según su tipo y Área, se toman 128 estaciones actuales.

Dado que se realiza una intervención mensual, significa que al menos 12 visitas se realizan, por lo que se considera este como el promedio de intervenciones al año. Cada una de estas supone un gasto, que se detalla a continuación:

Tabla 45. Cálculo de Montos por Medición

Detalle	Costo Oficial		Cantidad Por Medición		
	Costo ⁵⁶ [CRC]	Unidad	Valor	Unidad	Costo Total [CRC]
Combustible	209,8 ⁵⁷	CRC/ litro	65	litros	6 818,50
Técnico de Medición	4 380,69 ⁵⁸	CRC/ hora	8	Horas	35 045,53

Fuente: Elaboración Propia, Microsoft Word 2019

Cada técnico de medición realiza al día una visita a una estación de bombeo. Se desplaza con sus herramientas de medición utilizando camionetas tipo furgonetas y al final del día llenan el tanque de combustible del automotor, para la medición del próximo día. Los costos mostrados en la Tabla 45 se realizan de acuerdo con los montos reglamentados; el salario pagado al técnico, de categoría técnico en educación superior según el Ministerio de Trabajo, luego de sumar las cargas sociales por motivo de la Caja Costarricense de Seguro Social y la Ley de Protección al trabajador, se obtiene un costo

⁵⁶ Montos fijos a junio 2020. Obtenidos de las entidades gubernamentales RECOPE y el Ministerio de Hacienda.

⁵⁷ (Refinadora Costarricense de Petróleo, 2020). Precios publicados en La Gaceta No.146, del 19 de junio del 2020. Cambio en Impuesto Único: Rige a partir del 20 de junio del 2020.

⁵⁸ (DECRETO EJECUTIVO N° 42104-MTSS, 2019)

mensual del trabajador de 749 974,29 CRC⁵⁹. Todo esto para definir en final que el costo promedio de una medición ondea los 50 000,00 CRC.

En promedio, cada estación cuenta con al menos 4 equipos de bombeo instalados. Asumiendo una intervención crítica o de mantenimiento mayor a la estación como cualquier procedimiento de mantenimiento correctivo realizado a alguno de los equipos que supere el 60% del monto del bien, se establece un coste medio de intervención crítica de 2 011 695,00 CRC⁶⁰, con al menos una intervención al año.

Con lo anterior, se reformula la ecuación resultando:

$$\text{CAAJ} = (\text{Número de Estaciones}) \times (\text{Coste medio de intervención}) \\ \times (\text{Promedio de Intervenciones/Año})$$

$$\text{CAAJ [CRC]} = (128) \times (3\,352,825 \text{ CRC}) \times (1) = 257\,496\,960,00 \text{ CRC}$$

Respecto a los apartados del CoPdM, se considera lo siguiente

$$\text{CoPdM} = \text{CT} + \text{CM} + \text{CD}$$

Tomando la tasa de amortización con un valor del 10% y el monto total de la inversión como el costo por las herramientas predictivas, así como los dispositivos de identificación, se puede obtener el coste de la tecnología anualizado.

$$\text{CT} = \text{Tasa de Amortización} \times \text{Coste del Equipo}$$

⁵⁹ (Caja Costarricense de Seguro Social, 2020).

⁶⁰ Considerando para los montos de la Tabla 16 Inversión Estimada dentro de la Dirección de Sistemas de Bombeo para el 2020 una mediana del total de datos de 5 750,00 USD (3 352 825,00 CRC). El 60% de ese monto es 3 450,00 USD, equivalente a 2 011 695,00 CRC.

$$CT \text{ [CRC]} = 0.1 \times 16\,919\,931,17 \text{ CRC} = 1\,691\,993,12 \text{ CRC}$$

El tiempo de medición se estima considerando que la medición de variables toma un día, el costo de hora es el presentado en la Tabla 36 para un técnico de medición y una inspección al mes por cada estación.

$$CM = \text{Costo por medición} \times \left(\frac{\text{Inspecciones}}{\text{Año}} \right)$$

$$CM = 48\,723,52 \text{ CRC} \times (128 * 12) = 74\,839\,321,03 \text{ CRC}$$

Para estimar el coste del diagnóstico, se toma como medida el tiempo que invertirá el ingeniero en el nuevo proceso, el cual es igual a la diferencia de los montos de la Tabla 36 y Tabla 39, el cual resulta en un monto mensual de 125 875,30 CRC, por lo que el monto anual sería de:

$$CD = 125\,875,30 \text{ CRC} \times 12 = 1\,510\,503,55 \text{ CRC}$$

Como se mencionó, se estima un aumento al doble de la vida del bien, por tanto, el coste anual aproximado de las intervenciones sería el siguiente:

$$CoPdM = CT + CM + CD$$

$$CoPdM \text{ [CRC]} = 1\,691\,993,12 + 74\,839\,321,03 + 1\,510\,503,55 = 78\,041\,817,70 \text{ CRC}$$

Todo lo anterior lleva al cálculo del coste anual aproximado por intervenciones incluyendo tareas predictivas:

$$CAPdM \text{ [CRC]} = \frac{257\,496\,960,00}{200\%} + 78\,041\,817,70 = 206\,790\,297,70 \text{ CRC}$$

De esta forma podría definirse el ahorro anual debido a la implementación de mantenimiento predictivo como:

$$\text{Ahorro anual por Implementación} = \text{CAPdM} - \text{CAAJ} = 50\,706\,662,30 \text{ CRC}$$

El monto anterior representa un ahorro del 20%.

Capítulo 5 Conclusiones y Recomendaciones

- Se identifica que existen dos equipos encargados de la recopilación de datos de medición de las 138 estaciones de bombeo bajo la administración de la dirección. Cada equipo está conformado por un técnico de medición, el cual cuenta con herramientas de medición de caudal portátiles, los cuales son obsoletos, y otros equipos para la evaluación de las instalaciones electromecánicas. La información recopilada no se transmite al personal encargada de su análisis de la mejor manera, incurriendo en gastos de tiempo excesivos e incluso, malos registros al existir una alta movilidad de equipos entre estaciones causadas por la falta de poder identificar previo a la medición a cuál equipo se están realizando la medición y contra cuales datos se irán a comparar estos datos recopilados. Las áreas con peor percepción del sistema de gestión obtenidos a través de la evaluación MES son: Administración de la Información, seleccionada por el sector administrativo y de ingeniería, y Mantenimiento Preventivo y Tecnología de los equipos por parte del personal técnico. Los anteriores, relacionadas con el proceso de obtención y manejo de datos, demuestran la necesidad de establecer una plataforma que garantice la recolección y análisis pronta de los datos generados. Las visitas de campo, entrevistas al personal e información originada desde la evaluación se utilizan para esclarecer una solución que se ajuste a las necesidades operativas y realidad de la Dirección de Sistemas de Bombeo. Todos los proyectos que busquen la mejora de dichos procedimientos deben ir acompañadas de prácticas que enmienden posibles fuentes de fallo para el sistema, como la no identificación de equipos y el registro de las actividades que se realizan a los activos.

- Se reconoce que no sólo el ingeniero de gestión participa en el proceso de gestión y control de índices, sino que, además, los ingenieros encargados de cada área, así como la dirección misma forman parte activa del sistema de gestión de los índices de la Dirección. Para cada uno de ellos se reconocen sus tareas y como se realizan. Utilizando un análisis FODA se esclarece la necesidad de aplicar tareas adaptativas y ofensivas principalmente, pues estas representan el porcentual mayor de la evaluación (61% y 65%, respectivamente). Argumentado en lo anterior, se debe aprovechar la plaza recién creada, así como las herramientas con las que cuentan los técnicos de medición, utilizando las relaciones recién creadas con los departamentos pertinentes para utilizar y mejorar las plataformas digitales con las que ya cuenta el AyA dentro de sus activos digitales, logrando un proceso más automático de medición y disminuyendo los tiempos mensuales entre mediciones. Otro punto trascendental es la identificación de equipos y posiciones, pues esto es fundamental para establecer la solución final.
- Se construye un cuadro de mando integral que muestra los índices que se proponen dentro de la estrategia para la dirección de sistemas de bombeo. Debido a las necesidades del departamento, dicho cuadro considera únicamente las perspectivas clientes, financiero, personal y procesos internos. En total, se establecer 11 indicadores y 4 números básicos nuevos, incluyendo los ya instaurados dentro de la dirección. Los nuevos indicadores se fundamentan en un control de las condiciones actuales de la dirección, así como de brindar mayor

soporte a la herramienta planteada. A final, se establecen 2 indicadores desde la perspectiva clientes, 3 financieros, 2 de personal y 3 de procesos internos.

- Se diseña un sistema computacional que considera el alojamiento y base de datos dentro de una plataforma Sharepoint, aprovechando su posibilidad al ser una herramienta con la cual ya cuenta el departamento, alojando los datos en la nube y pudiendo ser consultados desde cualquier dispositivo. Dada este beneficio, también se plantea una aplicación móvil para los técnicos de medición, para que de esta manera se dé un manejo de datos más estandarizado y actualizado que el utilizado hasta el momento. A través de PowerApps, se presenta una aplicación móvil para que los técnicos de medición puedan realizar el ingreso de datos de una manera remota y efectiva. Se establece una reunión con el ingeniero Miguel Cordero, encargado de la dirección de Sistemas de Información del AyA, reunión que sirve para establecer las herramientas seleccionadas, debido a su posibilidad de movilidad a las plataformas que utiliza dicho departamento, esto para que, a futuro, la misma sea soportada por ellos. Para lograr dar a entender cómo se deben manipular los datos y darse su interpretación, se establecen necesidades técnicas y funcionales, así como un modelo descriptivo y UML de la base de datos, para lograr un mayor entendimiento.
- Se elabora un análisis económico de la herramienta planteada, considerando el proyecto desde una perspectiva privada y social, obteniendo un VAN positivo para el primer caso y uno negativo para el segundo. Al darse la imposibilidad de considerar los beneficios sociales del proyecto, se presenta una fórmula que puede aplicarse para recopilar información y dar valor a dicho monto. También, se

presenta y establece un análisis de ventaja económica de la aplicación de tareas predictivas, considerando únicamente una disminución de la mitad de la cantidad de eventos críticos anuales totales en las estaciones de bombeo, representando un ahorro anual de casi 50 700 000 CRC.

Apéndices

Apéndice 1. Evaluación de la Efectividad de Mantenimiento. Encuesta Aplicada

El siguiente formulario es una herramienta que colabora a identificar las áreas de mejora dentro de un Departamento que cumple tareas de mantenimiento.

Completar el formulario no tendrá ningún efecto más allá de fundamentar un estudio para la implementación de un sistema digital que facilite el manejo y gestión de los datos que se generan en las rutinas de mantenimiento y del equipo.

Le rogamos por favor completar el formulario de la manera más veraz posible. Ni su nombre ni número de identificación es necesario para completar el formulario.

Seleccione para cada pregunta el nivel de afinidad que usted considere más acorde con la realidad del departamento: **BAJO, MEDIO, ALTO.**

ROL TRABAJADOR

Por favor, seleccione entre los tres tipos de tareas, el que más se asocie a su trabajo referente al Sistema de bombeo del GAM. Marque con una X la casilla SEL.

SEL	ROL
<input type="checkbox"/>	Administrativo/Ingeniería
<input type="checkbox"/>	Mantenimiento Medición
<input type="checkbox"/>	Operación de Equipos

ANALISIS ADMINISTRACIÓN DE RECURSOS

En esta sección se analizará la administración del departamento, su interacción y manejo de los activos del departamento así como su organización y acción. Proceda a responder de acuerdo a su nivel de satisfacción con la pregunta.

#	DETALLE	No Aplica	BAJO	MEDIO	ALTO
1	El departamento cuenta con los recursos físicos y de personal para cumplir las necesidades de mantenimiento.				
2	La estructura y administración del departamento ayuda a que se cumplan las necesidades de la compañía.				
3	La administración del departamento colabora en remover barreras que el personal encuentra y dificulta sus tareas diarias.				
4	La administración del departamento promueve que las necesidades de la compañía sean resueltas.				
5	La administración del departamento interviene para que el personal realice las tareas de mantenimiento de manera adecuada.				

#	DETALLE	No Aplica	BAJO	MEDIO	ALTO
6	Existen canales de comunicación entre el personal de operación y el de mantenimiento para identificar y resuelven problemas que los afectan.				
7	La administración promueve el trabajo en equipo entre operadores y personal de mantenimiento.				
8	El personal recibe entrenamientos y capacitaciones para colaborarles en sus tareas diarias.				
9	El personal de mantenimiento se encuentra debidamente capacitado para realizar su trabajo.				
10	El personal de mantenimiento se encuentra motivado para realizar su trabajo.				
11	El personal de mantenimiento sigue políticas y procedimientos de seguridad laboral.				
12	La administración da seguimiento de los procedimientos instaurados dentro de las rutinas y espacios de trabajo.				

ADMINISTRACIÓN DE LA INFORMACIÓN

En esta sección se analizará como se manejan los datos que se generan desde las rutinas de mantenimiento y como son utilizadas estas para cumplir los objetivos del departamento. Proceda a responder de la misma manera que en la sección anterior.

#	DETALLE	No Aplica	BAJO	MEDIO	ALTO
13	El departamento usa una plataforma digital para el manejo de datos y coordinación de mantenimiento.				
14	Los activos del departamento se encuentran "tagueados" o identificados.				
15	La organización mantiene actualizada la plataforma digital de mantenimiento.				
16	El personal de mantenimiento ha recibido un entrenamiento para el uso de una plataforma digital de mantenimiento.				
17	El departamento mantiene registro de las acciones y tareas realizadas a los equipos.				
18	El inventario de mantenimiento se encuentra digitalizado.				
19	Las decisiones administrativas son tomadas a partir de reportes de una plataforma o medio digital.				
20	La compañía hace seguimiento de los gastos y costos de mantenimiento.				

#	DETALLE	No Aplica	BAJO	MEDIO	ALTO
21	La disponibilidad es un índice de eficiencia en mantenimiento dentro del departamento.				
22	La organización del departamento se compara con otros departamentos de la misma índole para evaluar su operación.				
23	Se lleva registro del tiempo que tardan los operadores de mantenimiento en realizar sus tareas.				
24	La administración del departamento utiliza índices para compararse con otros departamentos similares.				

MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y TECNOLOGÍA DE LOS EQUIPOS

En esta sección se analiza el procedimiento del mantenimiento preventivo así como la evaluación de la utilización de otros medios para colaborar con las tareas diarias. Responda según sea su grado de afinidad con la pregunta:
No Aplica, BAJO, MEDIO, ALTO.

#	DETALLE	No Aplica	BAJO	MEDIO	ALTO
25	El departamento utiliza ordenes de trabajo para asignar las rutinas de mantenimiento preventivo.				
26	Se da seguimiento periódico a las rutinas de mantenimiento para delimitar opciones de mejora.				
27	El departamento utiliza personal únicamente dedicado a la realización de rutinas de mantenimiento preventivo.				
28	El personal de operación colabora con tareas de mantenimiento tales como: limpieza, lubricación, ajuste e inspección.				
29	El departamento hace uso de mantenimiento predictivo en alguna de sus modalidades.				
30	El departamento da seguimiento del costo de los mantenimientos preventivos y los predictivos.				
31	La organización permite el libre acceso a las estaciones/equipos durante los mantenimientos programados.				
32	El departamento indaga de las causas de los tiempos muertos y de falla para que no se repitan.				
33	Se involucra al personal de mantenimiento y operadores a la hora de tomar decisiones respecto a los equipos.				
34	El personal a cargo de operar nuevos equipos son entrenados de manera adecuada.				

#	DETALLE	No Aplica	BAJO	MEDIO	ALTO
35	El personal a cargo de realizar el mantenimiento de nuevos equipos es entrenado de manera adecuada.				
36	El departamento realiza un análisis de costo de ciclo de vida de los equipos.				

PLANEAMIENTO Y CALENDARIZACIÓN

Esta sección evalúa como se desarrollan los proyectos y su planificación previa. Responda de acuerdo a su grado de afinidad a la pregunta: BAJO, MEDIO, ALTO.

#	DETALLE	No Aplica	BAJO	MEDIO	ALTO
37	Se definen prioridades a la hora de establecer trabajos de mantenimiento.				
38	La organización utiliza órdenes de trabajo para las tareas de mantenimiento.				
39	El procedimiento desde que se abre una orden de trabajo hasta que se cierra es efectivo y de calidad.				
40	El departamento controla el sobretiempo de labores.				
41	El departamento almacena en el historial del equipo la información generada de las órdenes de trabajo.				
42	El personal de mantenimiento es asignado a las tareas de acuerdo a sus cualidades técnicas.				
43	Los trabajos no críticos son bien planificados antes de que empiecen.				
44	Existe dentro del departamento alguien encargado en la planificación de eventos mayores como "apagones de mantenimiento".				
45	El departamento utiliza contratistas para tareas especializadas o sobre trabajo.				
46	Se realiza un plan de trabajo antes de que se inicie un proyecto.				
47	Los planificadores tomaron en cuenta aspectos de herramientas necesarias, vestimenta u otros detalles a la hora de establecer los procedimientos.				
48	Los apagones generales y mantenimientos mayores son planificados con antelación adecuada.				

SOPORTE DE MANTENIMIENTO

En esta sección se analizará el manejo de la bodega de mantenimiento, así como se desarrolla el departamento a la hora de suplir las necesidades de su cliente mayor, producción. Responda de acuerdo a su grado de afinidad.

#	DETALLE	No Aplica	BAJO	MEDIO	ALTO
49	Las refacciones/repuestos del inventario están disponibles cuando son necesarias.				
50	La bodega de mantenimiento se encuentra debidamente asegurada.				
51	Se llevan controles de ingresos y egresos de inventario en mantenimiento.				
52	Se monitoriza los insumos en relación con el nivel de complejidad de la tarea.				
53	Se encuentra inventariado todos los suministros necesarios de mantenimiento.				
54	Se comparten anualmente las metas y objetivos del departamento de mantenimiento con el personal técnico.				
55	Se involucra al personal técnico en la definición de metas y objetivos del departamento.				
56	La calidad es un índice u objetivo dentro del departamento.				
57	La compañía tiene un interés verdadero en el bienestar y satisfacción del trabajador.				
58	Existen reconocimientos para el personal cuando realizan un buen desempeño.				
59	Se consideran aspectos de seguridad ocupacional dentro de un buen desempeño laboral.				
60	Se evalúa el desempeño laboral del personal.				

Apéndice 2. Balance Scorecard

Perspectiva	Nombre	Identificador	Clasificación Indicador	Nivel Jerárquico	Objetivo de la Perspectiva	Descripción	Formula	Unidades	Obtenido de	Valores a alcanzar	Frecuencia de Cálculo
Clientes	Afectación porcentual	AP	Administrativo	Estrategia y Gestión	Priorizar la tención e intervención de la Estación de Bombeo en relación con la cantidad de usuarios dependientes de la misma Estación de Bombeo.	Porcentaje de población afectada ante una eventual falla de la Estación de Bombeo.	$\frac{\text{Población Impactada}}{\text{Población GAM}}$	%	Informes Internos de la Dirección de Sistemas de Bombeo del GAM.	Menor al 5%	Mensual
	Nivel de Impacto de Afectación	IA	Administrativo	Estrategia y Gestión	Contabilizar el factor usuarios dentro de la definición y calendarización de tareas de mantenimiento a las Estaciones de Bombeo dentro del GAM.	Escala del 0 al 2, siendo 2 el valor crítico, que representa el impacto ocasionado por la cantidad de usuarios y permisibilidad de tiempo para mantenimiento.	$\left[AP + \frac{PA}{5} \right]$	Escalar	Cálculo	A números menores, menor afectación.	Mensual
Financiero	Porcentual Refacciones	Ref	Costos	Planificación y Control	Visualizar el gasto gastado en la adquisición de nuevos equipos en relación con el total de gastos mensuales de la Dirección de Sistemas de Bombeo.	Porcentaje del gasto total destinado a la compra de nuevos bienes.	$\frac{\text{Compras Activos Aprobadas}}{\text{Gastos Totales Dirección}}$	%	Estados Financieros de la Dirección de Sistemas de Bombeo del GAM.	Menor al 60%.	Mensual
	Gasto Porcentual de Predictivo sobre gasto crítico.	A%	Costos	Planificación y Control	Establecer el porcentaje de presupuesto	Porcentaje del mantenimiento crítico con relación al Mantenimiento Predictivo.	$\frac{\text{Costos Anuales Mantenimiento Predictivo}}{\text{Costos Anuales Mantenimientos Críticos}}$	%	Aumentos semestrales del		Semestral
	Monto social no brindado debido a fallas	MCB	Costos	Estrategia y Gestión	Visualizar el monto de servicio no brindado por estar una estación en modo de falla.	Monto económico mensual no brindado al público.	$TF \times Q_{\text{DISEÑO}} \times \ell_{m^3}$	€	Registros de Trazabilidad de Activos de la Dirección de Sistemas de Bombeo del GAM.	No mayor a €2 000 000	Mensual
Personal	Seguridad Laboral	SL	Administrativo	Planificación y Control	Disminuir la cantidad de accidentes asociados a trabajos dentro de la Dirección de Sistemas de Bombeo.	Porcentaje del total de accidentes ocurridos dentro de la Dirección.	$\frac{\text{Accidentes Laborales Dirección}}{\text{Accidentes Laborales AyA}}$	%	Departamento de Seguridad Laboral del AyA y Datos de la Dirección de Sistemas de Bombeo del GAM	Menos del 0,05%	Mensual
	Horas Entrenamiento Anual	EA	Administrativo	Planificación y Control	Contabilizar la cantidad de horas dedicadas a la actualización y entrenamiento del personal técnico de la Dirección de Sistemas de Bombeo del GAM.	Cantidad de horas de entranamiento y capacitaciones brindado al personal de Mantenimiento.	$[h]$	[h]	Informes Internos de la Dirección de Sistemas de Bombeo del GAM.	48 mínimo	Anual
Procesos Internos	Porcentaje de Falla	%F	Administrativo	Estrategia y Gestión	Definir la probabilidad de suceder el estado de falla, considerando las variables predictivas sensadas.	Aporte Porcentual de las condiciones medidas: aislamiento del motor (AM), diferencia porcentual de caudal (ΔC), vida media restante del equipo (VmE) y condiciones de riesgo (CR).	$[0,4(AM)+0,2(\Delta C)+0,3(VmE)+0,1(CR)]$	%	Cálculo a partir de los controles de Medición realizados a las Estaciones de Bombeo del GAM.	Condición crítica para valores mayores al 85%.	Mensual
	Factor de Riesgo	FR	Administrativo	Estrategia y Gestión	Definir la probabilidad de que una Estación de Bombeo entre en estado de Inactividad Total debido a la probabilidad de falla de cada uno de sus subconjuntos.	Definir la probabilidad de que una Estación de Bombeo entre en estado de Inactividad Total debido a la probabilidad de falla de cada uno de sus subconjuntos. Ubicar dentro de una escala, el grado de criticidad de la Estación de Bombeo, tomando en cuenta factores interdisciplinarios de interés para Dirección de Sistemas de Bombeo.	$\frac{\%F_1 + \%F_2 + \dots + \%F_n}{n}$	%	Cálculo a partir de los datos de Porcentaje de Falla de cada uno de los subconjuntos de la Estación de Bombeo.	Condición crítica para valores mayores al 85%.	Mensual
	Criticidad	Cr	Administrativo	Estrategia y Gestión			$\left[FR \times \frac{SL+IA+RD}{3} \right]$	Escalar	Cálculo a partir de varios índices dentro de la Dirección de Sistemas de Bombeo del GAM.	Condición crítica para valores mayores al 90%.	Mensual

Apéndice 3. Codificación de las Estaciones de Bombeo de la Dirección de Sistemas de Bombeo del GAM.

Código	Estación de Bombeo	# Subconjuntos			
			A127	Pozo W9	1
A101	Bombeo la Libertad	3	A128	Pozo W10	1
A102	Booster W6	3	A129	Pozo W11	1
A103	CNP1	1	A130	Pozo W12	1
A104	CNP2	1	A131	Pozo W13	1
A105	CNP3	1	A132	Pozo W14	1
A106	CNP4	1	A133	Pozo W15	1
A107	CNP5	1	A134	Rebombeo La Meseta	3
A108	CNP6	1	A135	Rebombeo La Uruca	7
A109	CNP7	1	A136	Rebombeo San Pablo	2
A110	CNP8	1	A201	Bombeo Alto Coris	2
A111	CNP9	1	A202	Bombeo El Curio	2
A112	CNP10	1	A203	Bombeo Planta Alajuelita	2
A113	CNP11	1	A204	Bombeo Planta Cartago	3
A114	Pozo la Meseta	1	A205	Bombeo Planta el Llano	2
A115	Pozo la Uruca	1	A206	Bombeo Planta Jericó	
A116	Pozo Palermo	1	A207	Bombeo Planta San Juan De Dios	
A117	Pozo Rincón Ricardo	1	A208	Booster Casa Cuba	2
A118	Pozo San Pablo	1	A209	Booster Higuito	2
A119	Pozo W1	1	A210	Booster La Pelota	3
A120	Pozo W2	1	A211	Booster Los Ángeles	3
A121	Pozo W3	1	A212	Booster Maiquetia	2
A122	Pozo W4	1	A213	Pozo Ana Lucia	1
A123	Pozo W5	1	A214	Pozo El Silo 1	1
A124	Pozo W6	1	A215	Pozo El Silo 2	1
A125	Pozo W7	1	A216	Pozo El Silo 3	1
A126	Pozo W8	1			

A217	Pozo La Rosita 1		A309	Pozo El Registro	1
A218	Pozo La Rosita 2	2	A310	Pozo La Florida	1
A219	Pozo Las Catalinas 1	1	A311	Pozo Las Monjas	1
A220	Pozo Las Catalinas 2	1	A312	Pozo Periférico	1
A221	Pozo Las Catalinas 3	1	A313	Pozo San Miguel	1
A222	Pozo Las Catalinas 4	1	A314	Rebombeo Finca De Coronado	2
A223	Pozo Las Catalinas 5	1	A315	Rebombeo Ipis	3
A224	Pozo Veracruz		A316	Rebombeo Platanares	2
A225	Pozo Vesco	1	A317	Rebombeo San Isidro De Coronado	2
A226	Pozo Villa Foresta	1	A401	Bombeo Las Mulas	2
A227	Rebombeo Boquerón	2	A402	Bombeo Planta De Quitirrisí	2
A228	Rebombeo Calle El Alto	2	A403	Bombeo Planta Salitral	2
A229	Rebombeo Calle Lizanias	2	A404	Bombeo Potrerillos	2
A230	Rebombeo Calle Nueva	2	A405	Bombeo Puente Mulas	8
A231	Rebombeo Del Sur	3	A406	Booster El Poro	2
A232	Rebombeo La Colina	2	A407	Booster Brasil De Mora	1
A233	Rebombeo Las Catalinas	2	A408	Booster Entierrillos	2
A234	Rebombeo Linda Vista	2	A409	Booster Intel	2
A235	Rebombeo Miravalles	2	A410	Booster Loma Real	2
A236	Rebombeo Pico Blanco	2	A411	Booster Matra	3
A301	Bombeo Los Cuadros	3	A412	Pozo Bebedero	
A302	Bombeo Los Sitios	3	A413	Pozo Belén 1	1
A303	Bombeo Planta De San Jerónimo	3	A414	Pozo Belén 2	1
A304	Bombeo Rio Durazno	3	A415	Pozo Belén 3	1
A305	Booster La Trinidad	2	A416	Pozo Bosque Escondido	1
A306	Booster Vista De Mar	2	A417	Pozo Brasil De Mora	
A307	Pozo Chiguite	1	A418	Pozo Castilla	1
A308	Pozo Doña Lela	1			

A419	Pozo Chalo	1	A510	Bombeo San Gabriel	2
A420	Pozo Edward	1	A511	Booster San Antonio	3
A421	Pozo Ribera	1	A512	Rebombeo Bajo Burgos	2
A422	Pozo Montes Del Valle	1	A513	Rebombeo Junquillo	2
A423	Pozo Paquita				
A424	Pozo Piquin	1			
A425	Pozo Zamora	1			
A426	Pozo Zoológico	1			
A427	Rebombeo Alto Raicero	2			
A428	Rebombeo Barrio El Carmen	2			
A429	Rebombeo Cebadilla	2			
A430	Rebombeo Chirracal	2			
A431	Rebombeo Corazón De Jesús	2			
A432	Rebombeo Escazú	8			
A433	Rebombeo Hacienda Paraíso	2			
A434	Rebombeo Olympus	2			
A435	Rebombeo Naranjal	2			
A436	Rebombeo Santa Ana	5			
A501	Bombeo Barbacoas	2			
A502	Bombeo Cañales	3			
A503	Bombeo Cañalitos	2			
A504	Bombeo Desamparaditos	2			
A505	Bombeo La Fila	1			
A506	Bombeo La Gloria	2			
A507	Bombeo La Legua	1			
A508	Bombeo Piedades	2			
A509	Bombeo San Antonio	2			

Anexos

Anexo 1 ME-PR-07: Mediciones y Análisis de variables Eléctricas e Hidráulicas

1. OBJETIVO

Ejecutar y analizar las mediciones eléctricas e hidráulicas de todos los equipos de las estaciones de bombeo.

2. ALCANCE

Este procedimiento indica como se debe realizar y analizar los datos medidos en campo por el personal de mediciones.

3. DEFINICIONES

DSB: Dirección Sistemas de Bombeo.

Mediciones Hidráulicas: se refieren a las mediciones establecidas del sistema hidráulico, como presión, caudal y niveles.

Mediciones Eléctricas: se refiere a las mediciones eléctricas que se realizan en las estaciones de bombeo, como: corriente, voltaje, aislamiento de motores, variables eléctricas de potencia y temperatura del sistema de potencia.

Personal de Medición: grupo de funcionarios destacados en la parte electromecánica, dedicados a inspeccionar y ejecutar labores de medición de variables eléctricas e hidráulicas en las estaciones de bombeo.

Estación tipo Pozo: estación de bombeo de captación de agua subterránea.

Estación tipo Bombeo: estación donde se bombea agua por primera vez.

Estación tipo Rebombeo: estación con tanque cisterna donde se bombea agua que ya ha sido bombeada al menos una vez.

Estación tipo Booster: estación de rebombeo en línea.

CCO: Centro de control Operacional AyA.

Base 4: base de operadores de bombeo, instalados físicamente en el Rebombeo La Uruca.

TCE: Tablero de control eléctrico.

4. PROCEDIMIENTO

4.1 Adquisición de datos de medición.

4.1.1 El personal de mediciones debe elaborar las rutas semanales de las estaciones a visitar.

4.1.2 Se debe seguir los siguientes procedimientos de acuerdo al tipo de estación de bombeo visitada:

4.1.2.1 Estación de Bombeo tipo Pozo

4.1.2.1.1 En caso de encontrar el equipo en operación se debe seguir el procedimiento según se describe a partir del siguiente punto. De encontrar el equipo apagado, se debe informar al Centro de Control, vía radio, para obtener el visto bueno de poner en operación el equipo; se debe dar al menos 30 minutos de tiempo en operación para iniciar las mediciones. En caso de no tener el visto bueno de parte del CCO, se debe reprogramar la visita a la estación correspondiente.

4.1.2.1.2 Mediciones eléctricas con el equipo en operación.

4.1.2.1.2.1 Medir y anotar en el REGISTRO RE-01-(ME-PR-07) las variables eléctricas de voltaje y potencia, en los contactos que salen del interruptor principal del TCE, siguiendo el orden: L1-L2, L1-L3, L2-L3, de izquierda a derecha.

4.1.2.1.2.2 Medir y anotar en el REGISTRO RE-01-(ME-PR-07) las corrientes en el mismo orden anterior, de izquierda a derecha, en las líneas que salen hacia el motor, en el siguiente orden: L1, L2 y L3.

4.1.2.1.2.3 Medir en todas las conexiones del circuito de potencia las temperaturas por fase. Anotar en el REGISTRO RE-01-(ME-PR-07) el valor por fase más alto e indicar en que parte del circuito se presenta.

- 4.1.2.1.3 Mediciones hidráulicas con el equipo en operación.
- 4.1.2.1.3.1 Instalar el medidor de caudal en la tubería de descarga.
- 4.1.2.1.3.2 Medir y anotar en el REGISTRO RE-01-(ME-PR-07) el valor de caudal correspondiente a la presión del manómetro de salida.
- 4.1.2.1.3.3 Medir y anotar en el REGISTRO RE-01-(ME-PR-07) el valor de nivel dinámico.
- 4.1.2.1.4 Informar al CCO y Base 4 antes de proceder con el apagado del equipo.
- 4.1.2.1.5 Apagar el equipo y esperar 15 minutos para continuar con las mediciones.
- 4.1.2.1.6 Mediciones eléctricas con el equipo apagado.
- 4.1.2.1.6.1 Una vez que se apaga el equipo y mientras pasan los 15 minutos de espera, se debe bajar el interruptor principal y los interruptores del circuito de control, anotar el orden de los cables de potencia que van hacia el motor y soltarlos del contactor principal, térmico o caja de conexión.
- 4.1.2.1.6.2 Transcurridos los 15 minutos de espera se debe medir y anotar en el REGISTRO RE-01-(ME-PR-07) el aislamiento del motor.
- 4.1.2.1.6.3 Conectar nuevamente los cables de potencia, en el mismo orden que se encontraban.
- 4.1.2.1.7 Mediciones Hidráulicas con el equipo apagado.
- 4.1.2.1.7.1 Medir y anotar en el REGISTRO RE-01-(ME-PR-07) el nivel estático a 15 minutos de apagado el equipo.
- 4.1.2.1.8 Conectar nuevamente los interruptores de control y potencia.
- 4.1.2.1.9 Informar a Base 4 y CCO que se va a poner en operación el pozo.
- 4.1.2.1.10 Encender el equipo y verificar que quede operando normalmente.
- 4.1.2.1.11 Anotar en las bitácoras correspondientes las actividades ejecutadas en la estación.

4.1.2.2 Estaciones tipo Bombeo y Rebombeo

- 4.1.2.2.1 En caso de encontrar el equipo en operación se debe seguir el procedimiento según se describe a partir del punto siguiente; tomar en consideración que debido a que se cuenta con equipo(s) de respaldo en este tipo de estaciones, las mediciones se deben realizar primero a los equipos que se encuentren en operación y posteriormente se ejecuta en los equipos de respaldo.
- 4.1.2.2.2 Mediciones eléctricas con el equipo en operación.
- 4.1.2.2.2.1 Medir y anotar en el REGISTRO RE-01-(ME-PR-07) las variables eléctricas de voltaje y potencia, en los contactos que salen del interruptor principal en el TCE, siguiendo el orden: L1-L2, L1-L3, L2-L3, de izquierda a derecha.
- 4.1.2.2.2.2 Medir y anotar en el REGISTRO RE-01-(ME-PR-07) las corrientes, en el mismo orden anterior, de izquierda a derecha en las líneas que salen hacia el motor, en el siguiente orden: L1, L2 y L3.
- 4.1.2.2.2.3 Medir en todas las conexiones del circuito de potencia las temperaturas por fase. Anotar en el REGISTRO RE-01-(ME-PR-07) el valor por fase más alto e indicar en que parte del circuito se presentó.
- 4.1.2.2.3 Mediciones hidráulicas con el equipo en operación.
- 4.1.2.2.3.1 Instalar el medidor de caudal en la tubería de descarga.

4.1.2.2.3.2 Medir y anotar en el REGISTRO RE-01-(ME-PR-07) el valor de caudal correspondiente a la presión de salida del manómetro.

4.1.2.2.3.3 Medir y anotar en el REGISTRO RE-01-(ME-PR-07) el valor de nivel de tanque cisterna.

4.1.2.2.4 Antes de proceder con el apagado del equipo, se debe verificar que el equipo de respaldo se encuentre en óptimas condiciones para operar. En caso contrario, se deber informar al CCO y a Base 4.

4.1.2.2.5 Apagar el equipo y esperar 15 minutos para continuar con las mediciones.

4.1.2.2.6 Encender el respaldo y esperar al menos 30 minutos para iniciar las mediciones, a partir del punto 4.1.2.2.2.

4.1.2.2.7 Mediciones eléctricas con el equipo apagado.

4.1.2.2.7.1 Una vez apagado el equipo que se va a medir y encendido el de respaldo, mientras pasan los 15 minutos de espera se debe bajar el interruptor principal del TCE correspondiente, anotar el orden de los cables de potencia que van hacia el motor y soltarlos del contactor principal, térmico o caja de conexión.

4.1.2.2.7.2 Transcurridos los 15 minutos de espera, se debe medir y anotar en el REGISTRO RE-01-(ME-PR-07) el aislamiento del motor.

4.1.2.2.7.3 Conectar nuevamente los cables de conexión en el mismo orden que se encontraban.

4.1.2.2.8 Mediciones hidráulicas con el equipo apagado.

4.1.2.2.8.1 Medir y anotar en el REGISTRO RE-01-(ME-PR-07) el nivel estático a los 15 minutos.

4.1.2.2.9 Conectar nuevamente los interruptores de control y potencia.

4.1.2.2.10 Realizar las mediciones en apagado del equipo(s) de respaldo y encender el equipo que estaba operando normalmente.

4.1.2.2.11 Repetir el procedimiento de acuerdo con la cantidad de equipos que existen en la estación.

4.1.2.2.12 Anotar en las bitácoras correspondientes las actividades ejecutadas en la estación.

4.1.2.3 Estaciones tipo Booster

4.1.2.3.1 En caso de encontrar el equipo en operación se debe seguir el procedimiento según se describe a partir del punto siguiente; tomar en consideración que debido a que se cuenta con equipo(s) de respaldo en este tipo de estaciones, las mediciones se deben realizar primero a los equipos que se estén en operación, y posteriormente a los equipos de respaldo.

4.1.2.3.2 Mediciones eléctricas con el equipo en operación.

4.1.2.3.2.1 Medir y anotar en el REGISTRO RE-01-(ME-PR-07) las variables eléctricas de voltaje y potencia en los contactos que salen del interruptor principal, en el TCE, siguiendo el orden: L1-L2, L1-L3, L2-L3, de izquierda a derecha.

4.1.2.3.2.2 Medir y anotar en el REGISTRO RE-01-(ME-PR-07) las corrientes en el mismo orden anterior, de izquierda a derecha, en las líneas que salen hacia el motor, en el siguiente orden: L1, L2 y L3.

4.1.2.3.2.3 Medir en todas las conexiones del circuito de potencia las temperaturas por fase. Anotar en el REGISTRO RE-01-(ME-PR-07) el valor por fase más alto e indicar en que parte del circuito se presentó.

- 4.1.2.3.3 Mediciones hidráulicas con el equipo en operación.
- 4.1.2.3.3.1 Instalar el medidor de caudal en la tubería de descarga.
- 4.1.2.3.3.2 Medir y anotar en el REGISTRO RE-01-(ME-PR-07) el valor de caudal correspondiente a la presión de descarga del manómetro.
- 4.1.2.3.3.3 Medir y anotar en el REGISTRO RE-01-(ME-PR-07) el valor de presión de succión.
- 4.1.2.3.4 Antes de proceder con el apagado del equipo, se debe verificar que el equipo de respaldo se encuentre en óptimas condiciones para operar; en caso contrario, se debe informar al CCO y a Base 4.
- 4.1.2.3.5 Apagar el equipo y esperar 15 minutos para continuar con las mediciones.
- 4.1.2.3.6 Encender el equipo de respaldo y esperar al menos 30 minutos para iniciar las mediciones, a partir del punto 4.1.2.2.2.
- 4.1.2.3.7 Mediciones eléctricas con el equipo apagado.
- 4.1.2.3.7.1 Una vez apagado el equipo, encendido el de respaldo y mientras pasan los 15 minutos de espera, se debe bajar el interruptor principal del TCE correspondiente, anotar el orden de los cables de potencia que van hacia el motor y soltarlos del contactor principal, térmico o caja de conexión.
- 4.1.2.3.7.2 Transcurridos los 15 minutos de espera, se debe medir y anotar en el REGISTRO RE-01-(ME-PR-07) el aislamiento del motor.
- 4.1.2.3.7.3 Conectar nuevamente los cables de potencia, en el mismo orden que se encontraban.
- 4.1.2.3.8 Mediciones hidráulicas con el equipo apagado.
- 4.1.2.3.8.1 Medir y anotar en el REGISTRO RE-01-(ME-PR-07) el nivel estático a 15 minutos.
- 4.1.2.3.9 Conectar nuevamente los interruptores de control y potencia.
- 4.1.2.3.10 Realizar las mediciones en apagado en el equipo respaldo y encender el equipo que estaba operando normalmente.
- 4.1.2.3.11 Repetir el procedimiento de acuerdo con la cantidad de equipos que existen en la estación.
- 4.1.2.3.12 Anotar en las bitácoras correspondientes las actividades ejecutadas en la estación.

4.2 Al finalizar el recorrido en la totalidad de estaciones de bombeo de cada Área, el personal de medición deberá pasar los datos recolectados en el registro de Hoja de Campo RE-01-(ME-PR-07) para medición a las plantillas del REGISTRO DIGITAL RE-02-(ME-PR-07).

4.3 Análisis de los datos de medición.

4.1.1 Fase preliminar de Análisis

4.3.1.1 El personal de mediciones, debe analizar los datos adquiridos en campo durante la ejecución de las mediciones en cada equipo. Este análisis consiste en evaluar y comparar los resultados adquiridos contra las hojas de registro de mediciones anteriores. En caso de identificar variaciones importantes con relación a las mediciones anteriores, se debe comunicar inmediatamente, vía telefónica y/o correo, al Jefe de Área y a la DSB.

4.1.2 Fase de Análisis de Ingeniería

4.3.2.1 Ingeniería de la DSB debe analizar los parámetros eléctricos e hidráulicos de cada medición de acuerdo al registro RE-02-(ME-PR-07). Posteriormente se deberá proceder a identificar las fallas significativas y oportunidades de mejora que sean necesarias para programar los trabajos correspondientes con cada Área electromecánica.

Anexo 2 Proyección de Compras de Equipo de la Dirección de Bombeo del GAM para el año 2020

Descripción	Marca	Modelo	Precio estimado [USD]
Bomba sumergible para 2.5 l/s a 80 mca	Grundfos	SP 9-10	1 220,00
Bomba sumergible para 3 l/s a 140 mca	Grundfos	SP 9-19	2 064,00
Bomba sumergible para 4 l/s a 80 mca	Grundfos	SP 17-6	1 810,00
Bomba sumergible para 5 l/s a 95 mca	Grundfos	SP 17-8	2 124,00
Bomba sumergible para 6 l/s a 71 mca	Goulds	5CLC-5	2 000,00
Bomba sumergible para 7 l/s a 110 mca	Goulds	5CLC-8	2 800,00
Bomba sumergible para 7 l/s a 138 mca	Goulds	5CLC-9	4 000,00
Bomba sumergible para 8 l/s a 50 mca	Goulds	5CLC-4	2 000,00
Bomba sumergible para 8 l/s a 75 mca	Goulds	5CLC-6	3 000,00
Bomba sumergible para 9 l/s a 180 mca	Goulds	5CHC-10	4 500,00
Bomba sumergible para 10 l/s a 53 mca	Goulds	5CHC-4	2 500,00
Motobomba sumergible horizontal tipo Booster Module con barril para 7 l/s a 150 mca	Grundfos	BN30-11NE	16 000,00
Bomba sumergible para 11 l/s a 88 mca	Goulds	5CHC-6	2 500,00
Bomba sumergible para 5 l/s a 290 mca	Grundfos	SP 17-23	4 320,00
Bomba sumergible para 13 l/s a 107 mca	Goulds	6CHC-5	3 000,00
Bomba sumergible para 16 l/s a 78 mca	Goulds	6CHC-4	2 500,00
Bomba sumergible para 22 l/s a 65 mca	Goulds	6DHLC-5	3 450,00
Bomba sumergible para 15 l/s a 250 mca	Goulds	7WAHC-8	7 000,00
Bomba sumergible para 20 l/s a 140 mca	Goulds	7CLC-5	5 000,00
Bomba sumergible para 21 l/s a 295 mca	Goulds	7CLC-9	8 000,00
Bomba sumergible para 24 l/s a 120 mca	Goulds	7CLC-4	3 000,00
Bomba sumergible para 30 l/s a 145 mca	Goulds	7CHC-5	7 000,00
Bomba sumergible para 45 l/s a 80 mca	Goulds	7THC-4	4 000,00
Bomba sumergible para 45 l/s a 100 mca	Goulds	8FDLC-4	8 000,00
Bomba sumergible para 50 l/s a 180 mca	Goulds	8FDLC-8	12 500,00

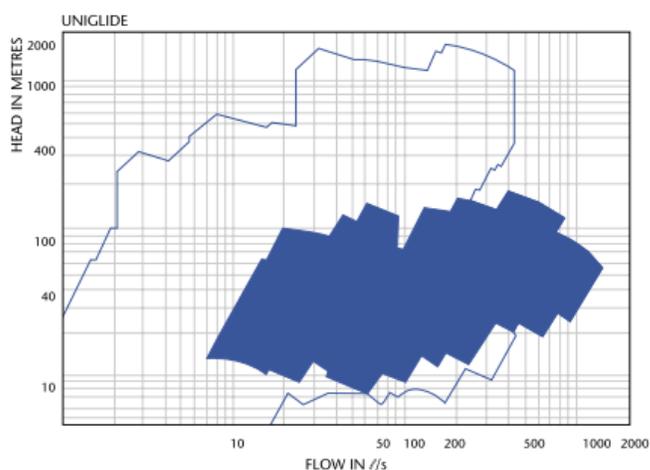
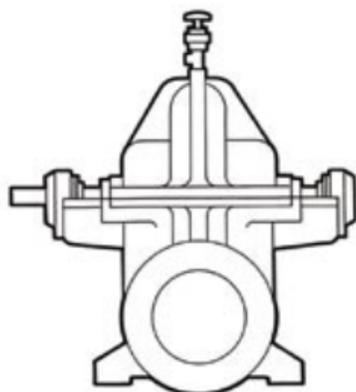
Bomba sumergible para 50 l/s a 170 mca	Goulds	9RCLC-4	5 000,00
Bomba sumergible para 60 l/s a 315 mca	Goulds	9RCHC-6	7 000,00
Bomba sumergible para 97 l/s a 155 mca	Goulds	9THC-4	7 700,00
Bomba sumergible para 105 l/s a 95 mca	Goulds	9THC-3	6 500,00
Bomba sumergible para 37 l/s a 220 mca	Goulds	10WALC-4	8 800,00
Bomba sumergible para 40 l/s a 270 mca	Goulds	10WAHC-4	8 800,00
Bomba sumergible para 90 l/s a 165 mca	Goulds	10RJHC-4	10 300,00
Bomba sumergible para 140 l/s a 130 mca para motor de 1800 rpm	Goulds	14RJHC-5	19 500,00
Bomba sumergible tipo turbina para 14 l/s a 195 mca para 3600 rpm	Goulds	7WALC-7	9 000,00
Bomba sumergible tipo turbina para 25 l/s a 195 mca para 3600 rpm	Goulds	7CHC-6	8 500,00
Bomba sumergible tipo turbina para 45 l/s a 185 mca para 3600 rpm	Goulds	9RCLC-4	6 500,00
Bomba sumergible tipo turbina para 50 l/s a 90 mca 1800 rpm	Goulds	11CHC-5	11 500,00
Bomba sumergible tipo turbina para 88 l/s a 170 mca	Goulds	12CHC-9	31 000,00
Bomba sumergible tipo turbina para 110 l/s a 170 mca	Goulds	12FDLC-13	28 500,00
Bomba sumergible tipo turbina para 115 l/s a 125 mca	Goulds	12FDLC-10	23 500,00
Bomba sumergible tipo turbina para 130 l/s a 80 mca 1800 rpm	Goulds	14RJHC-3	15 000,00
Bomba sumergible tipo turbina para 150 l/s a 126 mca 1800 rpm	Goulds	14RJHC-4	18 000,00
Bomba sumergible tipo turbina de eje vertical para 170 l/s a 220 mca	Goulds	18BLC-5	50 000,00
Bomba tipo Carcaza Partida Vertical para 250 l/s a 95 m	Goulds	3410 8 x 10-17H	65 000,00
Motobomba tipo carcaza partida para 70 l/s a 140 mca	Goulds	3410 4 x 6-11	50 000,00
Motobomba multietapa vertical para 3 l/s a 125 mca	Goulds	10SV10	4 000,00
Motobomba multietapa vertical para 3 l/s a 60 mca	Goulds	10SV5	2 500,00
Motobomba multietapa vertical para 4 l/s a 100 mca	Goulds	22SV6	4 000,00
Motobomba multietapa vertical para 5 l/s a 140 mca	Goulds	15SV9	4 500,00
Motobomba multietapa vertical para 6 l/s a 185 mca	Goulds	22SV11	6 500,00
Motobomba multietapa vertical para 6 l/s a 90 mca	Goulds	22SV6	4 000,00
Motobomba multietapa vertical para 7 l/s a 110 mca	Goulds	22SV7	5 000,00

Motobomba multietapa vertical para 5 l/s a 110 mca	Goulds	15SV7	3 800,00
Motobomba multietapa vertical para 5 l/s a 135 mca	Goulds	15SV8	4 000,00
Motobomba multietapa vertical para 8 l/s a 180 mca	Goulds	33SV7	10 200,00
Motobomba multietapa vertical para 10 l/s a 150 mca	Goulds	33SV6	7 800,00
Motobomba multietapa vertical para 10 l/s a 53 mca	Goulds	33SV2	3 550,00
Motobomba multietapa vertical para 10 l/s a 53 mca	Goulds	33SV2	3 000,00
Motobomba multietapa vertical para 11 l/s a 88 mca	Goulds	46SV3	6 000,00
Motobomba multietapa vertical para 18 l/s a 70 mca	Goulds	66SV3/2	7 000,00
Motobomba multietapa vertical para 25 l/s a 55 mca	Goulds	92SV2/1	7 000,00
MOTOR SUMERGIBLE DE 1.5 HP (1.1 KW) 230 V MONOFÁSICO			350,00
MOTOR SUMERGIBLE DE 2 HP (3.7 KW) 230 V MONOFÁSICO			350,00
MOTOR SUMERGIBLE DE 3 HP (3.7 KW) 230 V MONOFÁSICO			550,00
MOTOR SUMERGIBLE DE 5 HP (3.7 KW) 230 V MONOFÁSICO			650,00
MOTOR SUMERGIBLE DE 7.5 HP (5.5 KW) 230V MONOFÁSICO 60 HZ			950,00
MOTOR SUMERGIBLE DE 10 HP (7.5 KW) 230V MONOFÁSICO 60 HZ			1 100,00
MOTOR SUMERGIBLE DE 15 HP (11.2 KW) 230V MONOFÁSICO 60 HZ			1 500,00
MOTOR SUMERGIBLE DE 3 HP (2.2 KW) 230V TRIFÁSICO 60 HZ			450,00
MOTOR SUMERGIBLE DE 5 HP (3.7 KW) 230V TRIFÁSICO 60 HZ			650,00
MOTOR SUMERGIBLE DE 7.5 HP (5.6 KW) VOLTAJE 230 V TRIFÁSICO 60 HZ			950,00
MOTOR SUMERGIBLE DE 10 HP (7.4 KW) DOBLE VOLTAJE 230 / 460 V TRIFÁSICO 60 HZ			1 300,00
MOTOR SUMERGIBLE DE 15 HP (11.2 KW) DOBLE VOLTAJE 230 / 460 V TRIFÁSICO 60 HZ			1 400,00
MOTOR SUMERGIBLE DE 20 HP DE 6" (15 KW) 460/3/60			1 500,00
MOTORES SUMERGIBLES DE 30 HP DE 6" (22 KW) DOBLE VOLTAJE 230/460V TRIFÁSICO 60 HZ			2 300,00
MOTOR SUMERGIBLE DE 40 HP DE 6" (30 KW) 460/3/60			2 450,00
MOTOR SUMERGIBLE DE 60 HP DE 6" (44.7 KW) 460/3/60			3 500,00
MOTOR SUMERGIBLE DE 50 HP DE 8" (37.3 KW)			3 000,00
MOTOR SUMERGIBLE DE 60 HP DE 8" (44.7 (KW)			3 700,00
MOTOR SUMERGIBLE DE 75 HP (55.9 KW)			5 000,00
MOTOR SUMERGIBLE DE 100 HP (74.5 KW)			5 500,00

MOTOR SUMERGIBLE DE 150 HP (111.8 KW)		7 000,00
MOTOR SUMERGIBLE DE 175 HP (130.5 KW)		9 500,00
MOTOR SUMERGIBLE DE 200 HP (149.1 KW)		10 000,00
MOTOR SUMERGIBLE DE 250 HP (187 KW)		12 000,00
MOTOR SUMERGIBLE DE 300 HP, 3600 RPM (223.7 KW) 10"		25 000,00
MOTOR SUMERGIBLE DE 300 HP, 3600 RPM (223.7 KW) 12"		27 000,00
MOTOR SUMERGIBLE DE 400 HP, 3600 RPM (298.3 KW) 12"		30 000,00
MOTOR VERTICAL DE ALTA EFICIENCIA DE 50 HP, 460/3/60		18 000,00
MOTOR VERTICAL DE ALTA EFICIENCIA DE 60 HP, 460/3/60	3600	20 000,00
MOTOR VERTICAL DE ALTA EFICIENCIA DE 100 HP, 460/3/60	3600	25 000,00
MOTOR VERTICAL DE ALTA EFICIENCIA DE 150 HP, 460/3/60	3600	35 000,00
MOTOR VERTICAL DE ALTA EFICIENCIA DE 200 HP, 460/3/60 (3600 rpm, Horizontal)		40 000,00
MOTOR VERTICAL DE ALTA EFICIENCIA DE 250 HP, 460/3/60		45 000,00
MOTOR VERTICAL DE ALTA EFICIENCIA DE 300 HP, 460/3/60		50 000,00
MOTOR VERTICAL DE ALTA EFICIENCIA DE 400 HP, 460/3/60		55 000,00
MOTOR ELÉCTRICO VERTICAL DE EJE SÓLIDO DE ALTA EFICIENCIA DE 350 HP, 460/3/60		30 000,00
MOTOR VERTICAL DE ALTA EFICIENCIA DE 450 HP, 460/3/60		60 000,00
MOTOR VERTICAL DE EJE HUECO DE ALTA EFICIENCIA 600HP / 2300V		82 000,00
MOTOR VERTICAL DE EJE HUECO DE ALTA EFICIENCIA 350 HP / 2300V		40 000,00

Anexo 3 Fichas Técnicas de Equipos más Comunes en las Estaciones de Bombeo

Bomba. Marca: Weir. Modelo: SDC 150/200



Uniglide Features

- Over 150 frame sizes to perform all duties at optimum efficiency.
- Horizontal or vertical arrangement.
- Double volute on larger frames reduces radial hydraulic thrusts.
- Standard variant scheme for quick delivery.
- Rotating assembly easily removed without disturbing pump alignment or pipework.
- Minimum number of parts for ease of maintenance.

Duties

Heads Up to 270 m
Capacities Up to 6 300 l/s

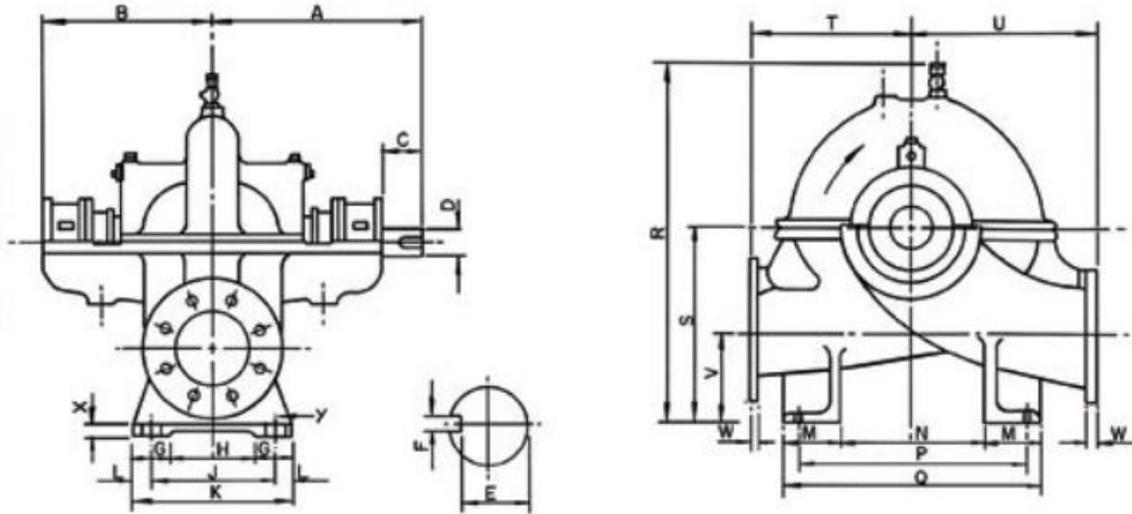
Applications

- Raw water intake.
- Raw water relift.
- High lift pumping.
- Fresh water supply.
- Domestic water supply.
- Transfer and booster duties.

Specifications

Pump Type	Branch Size		Max Pressure		Maximum Speed of Rotation				Imp.	Bearing		Gland Packing mm	Weight Kg
			CI	Casing	Shaft		Impeller	D.E.		NDE			
	Del. mm	Suct. mm	Work kPa	Test kPa (080M40)	EN8 (431529)	EN57 (GR180)	CI (LG4)	Bro ø mm					
SDB 50/80	50	80	1204	1806	4000	4000	3550	4000	220	N206	6206	10	95
SDC 50/80	50	80	1204	1806	3180	3180	2700	3180	280	N207	6207	10	128
SDB 80/100	80	100	1204	1806	3480	3480	3155	3480	240	N206	6206	10	108
SDC 80/100	80	100	1204	1806	2500	2500	2425	2735	312	N207	6207	10	140
SDB 100/125	100	125	1204	1806	3300	3610	2910	3440	260	N206	6207	10	150
SDC 100/125	100	125	1204	1806	2700	2700	2160	2500	350	N308	6308	10	223
SDA 125/150	125	150	1204	1806	3040	3600	3000	3600	230	N207	6207	10	200
SDB125/150	125	150	1204	1806	2540	2700	2610	2700	290	N207	6207	10	185
SDC 125/150	125	150	1204	1806	1910	2000	1850	2050	410	N308	6308	10	263
SDA 150/200	150	200	1204	1806	1680	2000	2050	2610	260	N306	6306	10	202
SDB 150/175	150	175	1204	1806	1720	2040	1860	2090	330	N308	6308	10	250
SDC 150/200	150	200	1204	1806	1500	1600	1500	1870	450	N308	6308	10	318
SDB 200/200	200	200	1204	1806	1500	1800	1500	1780	360	N308	6308	10	309
SDC 200/200	200	200	1204	1806	1500	1800	1480	1820	495	N310	6310	10	500

Note: Standard branch flanges drilling to B.S. 4504 Table 16



Dimensions Dimensions shown are subject to change without notice. Please refer to Weir Minerals Africa for certified information before construction commences

Pumps	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y
SDB 50/80	300	246	45	25	21	8	60	150	230	270	20	75	150	250	300	505	236	215	240	106	20/20	15	14
SDC 50/80	360	290	60	30	26	8	60	130	200	250	25	80	200	320	360	565	265	250	270	105	20/20	15	14
SDB 80/100	300	246.5	45	25	21	8	60	210	290	330	20	75	150	260	300	575	265	235	255	115	22/24	20	18
SDC 80/100	360	290	60	30	26	8	60	140	220	260	15	85	200	330	370	620	295	270	290	115	20/20	15	14
SDB 100/125	360	290	60	30	26	8	70	140	230	280	25	110	220	390	440	614	300	270	300	135	24/26	25	18
SDC 100/125	420	335	70	35	30	10	65	190	270	320	25	110	200	370	420	705	340	305	340	130	20/20	20	18
SDA 125/150	360	290	60	30	26	8	80	180	280	340	30	90	260	390	440	630	315	290	320	150	26/26	30	22
SDB 125/150	360	290	60	30	26	8	80	180	290	340	25	90	260	390	440	670	335	290	320	145	26/26	25	21
SDC 125/150	420	335	70	35	30	10	100	160	310	360	25	90	260	390	440	795	380	330	368	140	26/26	20	18
SDA 150/200	394	330	60	25	21	8	100	200	350	400	25	110	200	370	420	670	355	300	350	175	26/30	25	18
SDB 150/175	420	335	70	35	30	10	100	200	340	400	30	100	300	440	500	775	380	340	400	155	25/25	30	18
SDC 150/175	500	404	80	44	30	12	120	120	410	460	25	100	300	450	500	845	425	380	420	155	25/25	25	18
SDC 150/200	469	375	90	35	30	10	100	200	350	400	25	110	280	450	500	815	425	380	420	175	26/30	25	20
SDA 200/200	385	361	140	45	39.5	14	115	220	380	450	35	100	300	450	500	770	460	350	395	180	30/30	30	22
SDB 200/200	481	388	80	35	30	10	115	220	380	450	35	100	300	450	500	840	450	350	425	196	30/30	25	22
SDC 200/200	570	445	110	45	39.5	14	120	260	450	500	25	150	400	640	700	970	500	450	500	177	30/30	30	22
SDA 250/250	625	500	110	50	44.5	14	150	300	500	600	50	125	350	500	600	870	450	400	475	208	32/32	30	24
SDB 250/250	546	420	110	45	39.5	14	130	280	440	540	50	150	290	500	590	925	500	400	460	220	32/32	30	24
SDC 250/250	743	588	140	60	53	18	150	400	600	700	50	150	400	600	700	1080	560	520	570	210	32/32	30	22
SDA 250/300	661	536	110	50	44.5	14	150	300	500	600	50	150	350	550	650	980	530	450	500	260	32/32	60	22
SDB 250/300	562	439	105	55	50	16	150	500	700	800	50	150	400	600	700	1015	560	470	470	255	32/32	40	24
SDD 250/300	691	572	134	65	58	18	150	280	450	580	65	175	490	710	840	1170	670	600	650	290	32/32	32	30
SDC 250/350	644	536	110	65	59	20	150	500	700	800	50	150	500	700	800	1305	645	600	676	245	32/38	30	24
SDD 250/350	714	597	134	65	58	18	150	330	500	630	65	175	490	710	840	1225	722	660	660	307	30/30	32	30
SDA 300/400	743	588	157	60	53	18	150	400	600	700	50	150	400	600	700	1110	630	560	560	310	32/38	30	24
SDC 300/400	806	682	150	75	67.5	20	150	500	700	800	50	150	500	700	800	1240	690	600	675	307	42/53	30	22
SDA 350/450	685	560	110	60	53	8	200	400	700	800	50	150	400	600	700	1225	675	470	560	320	32/35	30	24
SDA 400/500	863	704	159	75	67.5	20	200	600	900	1000	50	200	600	900	1000	1416	850	610	775	436	38/42	30	24
SDB 400/500	729	585.5	130	65	57.5	20	200	500	800	900	50	200	500	800	900	1560	775	610	686	305.5	38/42	35	28
SDC 400/500	665	857	160	85	76	22	200	600	850	1000	75	200	800	1050	1200	1382	800	850	800	395	38/42	35	28
SDCH 400/450	895	746	160	85	76	22	225	520	800	970	85	175	600	800	950	1518	850	746	895	370	51/51	40	33

Shaft Tolerance:	D-25, 30 mm + ,028 + ,015	D 35, 44, 45, 50 mm + ,033 + ,017	D 55, 60, 65, 75 mm + ,039 + ,020	D85, 90 mm + ,045 + ,023
------------------	------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	-----------------------------

Motor. Marca: WEG. Modelo: HFG

Línea H – Alto desempeño

De construcción simple y compacta, los motores de la Línea H son muy utilizados debido a su alta confiabilidad, siendo adecuados para casi todos los tipos de máquinas accionadas encontradas en la industria. La carcasa de estos motores está formada por un bloque estructural de alta resistencia dotada de aletas externas.

Su sistema de refrigeración, con un circuito interno y otro externo de ventilación, proporciona una distribución de temperatura homogénea en su interior, permitiendo lograr el máximo rendimiento de estos motores.

Las principales ventajas en la utilización de los motores WEG de la Línea H son:

- Rendimientos elevados
- Grado de protección
IP55(W) / IP56(W) / IP65 (W) (TCVE, TCVF)
- Bajo nivel de ruido
- Mantenimiento simple y reducido
- Construcción en hierro fundido de alta resistencia.
- Rodamientos
- Rodamiento lubricado con aceite
- Rodamientos de bolas y rodillos lubricados con grasa o aceite
- Ventilación
- Autoventilado
Ventilación forzada, necesaria cuando es accionado por convertidor de frecuencia
- Intercambiabilidad con motores existentes
- Circulación interna de aire
- Ausencia de intercambiador de calor.



Potencias de 200 a 1,250HP
Tensiones de 2,300 a 4,160V
Polos II, IV, VI y VIII

Nomenclatura



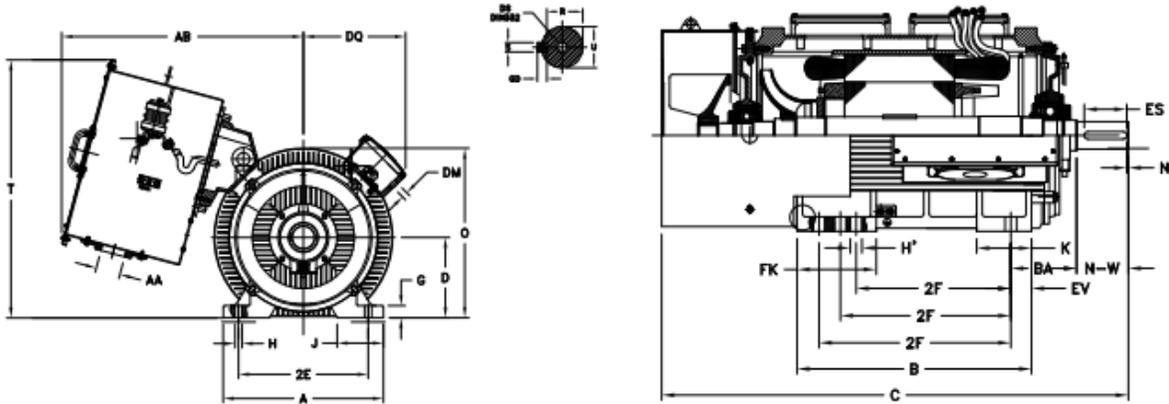
Datos Electricos

Línea H - Estandar (Potencias Disponibles)

Potencia			Armazón NEMA	Corriente Nominal In (A)		Corriente de Arranque		Par Nominal Tn (N*m)	Par de arranque Ta/Tn	Par máximo Tm/Tn	Eficiencia			Factor			Inercia J (kg*m ²)	Tiempo de rotor bloq. (s)	Peso (Tn)	Sonido dB (A)			
HP	kW	min ⁻¹		2300 V	4160 V	Letra	Ia/In				% de Carga			50	75	100					50	75	100
											50	75	100										
200	149.2	3600	5009/10/11	44.98	24.90	G	6.6	399.0	1.2	2.3	91.80	92.00	92.20	0.82	0.86	0.88	3.6	18	2.0	85			
200	149.2	1800	5009/10/11	53.92	27.12	H	6.6	794.5	1.2	2.5	93.80	94.00	94.20	0.75	0.83	0.85	5.0	20	2.0	85			
200	149.2	1200	5009/10/11	54.23	26.41	H	7.3	899.4	1.2	2.4	92.80	93.00	93.20	0.68	0.80	0.82	9.0	21	2.0	85			
250	186.5	3600	5009/10/11	61.15	30.33	G	6.4	496.2	1.1	2.5	93.90	94.10	94.30	0.80	0.84	0.86	3.6	18	2.0	85			
250	186.5	1800	5009/10/11	64.28	32.23	G	6.4	995.2	1.2	2.5	93.80	94.00	94.20	0.78	0.84	0.86	5.7	22	2.0	85			
250	186.5	1200	5009/10/11	67.78	34.08	J	7.4	1505.0	1.2	2.4	93.00	93.20	93.40	0.68	0.80	0.82	9.5	20	2.0	85			
300	223.8	3600	5009/10/11	72.31	36.04	G	6.9	600.6	1.2	2.5	94.10	94.30	94.50	0.82	0.86	0.88	4.2	18	2.5	85			
300	223.8	1800	5009/10/11	77.44	38.53	G	6.8	1201.3	1.2	2.5	94.00	94.20	94.40	0.80	0.86	0.88	6.0	22	2.5	85			
300	223.8	1200	5009/10/11	81.50	41.66	J	7.4	1326.0	1.2	2.4	93.40	93.60	93.80	0.68	0.80	0.82	10.9	20	2.5	85			
350	261.1	3600	5009/10/11	76.23	42.09	G	6.5	697.0	1.0	2.3	93.90	94.50	95.00	0.88	0.91	0.91	4.2	9	2.5	85			
350	261.1	1800	5009/10/11	79.38	44.13	G	6.8	1395.0	1.2	2.7	94.10	94.80	95.00	0.77	0.84	0.87	7.4	11	2.5	85			
350	261.1	1200	5009/10/11	93.34	46.72	J	7.5	1552.4	1.2	2.4	93.60	93.80	94.00	0.68	0.80	0.82	12.7	20	2.5	85			
350	261.1	900	5810/11/12	95.20	47.65	H	6.5	2055.4	0.9	1.8	94.10	94.30	94.50	0.68	0.79	0.81	17.4	20	3.0	85			
400	298.4	3600	5009/10/11	86.46	47.72	G	6.9	800.0	1.1	2.5	94.20	94.90	95.00	0.87	0.91	0.91	4.4	9	2.5	85			
400	298.4	1800	5009/10/11	90.76	50.10	G	6.8	1590.0	1.2	2.7	94.30	94.90	94.80	0.76	0.84	0.86	7.4	11	3.0	85			
400	298.4	1200	5810/11/12	103.82	52.21	G	6.6	1777.5	1.2	2.5	94.60	94.80	95.00	0.70	0.81	0.83	11.7	20	3.0	85			
400	298.4	900	5810/11/12	109.22	54.61	H	6.5	2375.4	0.9	1.8	94.50	94.70	94.90	0.68	0.79	0.81	17.4	20	3.0	85			
450	335.7	3600	5009/10/11	97.91	54.28	G	7.2	893.0	1.1	2.5	94.30	95.00	95.00	0.84	0.90	0.90	4.4	9	2.5	85			
450	335.7	1800	5009/10/11	101.78	56.60	G	6.8	1803.0	1.2	2.6	94.50	95.20	95.00	0.77	0.84	0.86	8.0	11	3.0	85			
450	335.7	1200	5810/11/12	117.44	57.50	H	6.9	2684.0	1.1	2.3	94.00	94.20	94.40	0.80	0.82	0.84	14.2	20	3.0	85			
450	335.7	900	5810/11/12	121.46	60.73	H	6.6	2652.0	0.9	1.8	94.20	94.40	94.60	0.68	0.79	0.81	18.6	20	3.5	85			
500	373.0	3600	5810/11/12	107.84	59.61	G	7.1	1004.0	1.1	2.7	93.30	94.50	94.60	0.87	0.91	0.91	6.3	9	3.0	85			
500	373.0	1800	5009/10/11	112.90	62.66	F	6.2	1999.0	1.2	2.6	94.80	95.30	95.00	0.79	0.86	0.87	7.9	11	3.0	85			
500	373.0	1200	5810/11/12	114.35	63.57	G	6.4	2992.0	1.2	2.7	94.80	95.00	94.90	0.74	0.83	0.86	13.1	15	3.5	85			
500	373.0	900	6809/10/11	117.17	65.60	G	6.3	4022.0	1.2	2.2	94.40	94.60	94.80	0.79	0.81	0.83	30.7	20	4.0	85			
600	447.6	3600	5810/11/12	128.99	71.32	H	7.4	1197.0	1.1	2.8	93.90	94.90	95.00	0.86	0.90	0.91	6.7	14	3.0	85			
600	447.6	1800	5810/11/12	136.81	76.26	H	6.9	2403.0	1.3	2.8	94.10	95.10	95.20	0.74	0.83	0.86	13.0	11	4.0	85			
600	447.6	1200	5810/11/12	151.70	75.48	G	6.7	2653.3	1.2	2.5	95.20	95.40	95.60	0.70	0.81	0.83	16.4	20	3.5	85			
600	447.6	900	6809/10/11	140.23	78.50	G	6.3	4834.0	1.2	2.2	94.60	94.80	95.00	0.80	0.82	0.84	33.0	20	4.0	85			
700	522.2	3600	6809/10/11	154.98	85.64	G	6.5	1391.0	0.8	2.0	94.90	95.10	95.30	0.84	0.86	0.88	9.5	21	4.0	85			
700	522.2	3600	5810/11/12	149.42	82.59	G	7.4	1389.0	1.1	2.7	94.40	95.20	95.30	0.87	0.91	0.92	7.8	14	3.5	85			
700	522.2	1800	5810/11/12	156.58	86.99	G	6.5	2825.0	1.2	2.5	94.70	95.40	95.40	0.77	0.85	0.87	13.9	11	4.0	85			
700	522.2	1200	5810/11/12	177.10	88.06	G	6.6	3095.3	1.2	2.5	95.40	95.60	95.80	0.70	0.81	0.83	18.7	20	3.5	85			
700	522.2	900	6809/10/11	168.04	95.00	H	6.5	5694.0	1.2	2.0	94.60	94.80	95.00	0.77	0.79	0.81	40.3	20	4.0	85			
800	596.8	3600	6809/10/11	178.94	99.06	G	7.0	1604.0	1.0	2.5	92.00	94.00	94.00	0.84	0.88	0.89	13.5	17	4.0	85			
800	596.8	1800	6809/10/11	178.63	99.25	G	6.7	3203.0	1.3	2.7	95.40	95.80	95.90	0.78	0.85	0.87	16.4	10	4.0	85			
800	596.8	1200	6809/10/11	183.74	102.90	G	6.6	4804.0	1.1	2.3	95.10	95.30	95.50	0.81	0.83	0.85	23.1	20	4.0	85			
800	596.8	900	6809/10/11	188.66	106.10	H	6.8	6402.0	1.2	2.4	94.90	95.10	95.30	0.78	0.80	0.82	42.6	20	4.5	85			
900	671.4	3600	6809/10/11	197.32	108.80	G	6.9	1789.0	1.0	2.3	95.30	95.50	95.70	0.85	0.87	0.89	11.7	22	4.5	85			
900	671.4	1800	6809/10/11	203.26	113.30	G	6.6	3581.0	1.1	2.3	95.50	95.70	95.90	0.82	0.84	0.86	17.6	20	4.5	85			
900	671.4	1200	6809/10/11	203.78	114.10	K	8.8	5345.0	1.4	3.2	95.30	95.50	95.70	0.81	0.83	0.85	26.3	20	4.5	85			
1000	746.0	3600	6809/10/11	218.05	121.00	G	6.8	2007.0	0.9	2.0	95.40	95.60	95.80	0.85	0.87	0.89	13.4	22	4.5	85			
1000	746.0	1800	6809/10/11	227.85	127.90	G	6.6	3997.0	1.0	2.3	95.60	95.80	96.00	0.80	0.82	0.84	18.8	20	4.5	85			
1000	746.0	1200	6809/10/11	230.41	129.30	G	6.5	6002.0	1.0	2.4	95.30	95.50	95.70	0.80	0.82	0.84	27.8	20	5.0	85			
1250	932.5	3600	6809/10/11	273.16	151.20	G	7.0	2483.0	0.9	2.2	95.60	95.80	96.00	0.85	0.87	0.89	15.8	22	4.5	85			
1250	932.5	1800	6809/10/11	284.33	158.20	G	6.2	4977.0	1.0	2.2	95.60	95.80	96.00	0.81	0.83	0.85	21.0	20	4.5	85			

Datos Mecánicos

Línea H - Estandar (Armazones Disponibles)



ARMAZÓN	2E	J	A	P	AB	DQ	2F	K	FK	B	EV	BA	C	D	G	O	T
5009/10/11TS	30.000° 506,00mm	7.087° 180,01mm	24.725° 628,02mm	27.559° 700,00mm	37.798° 959,99mm	15.748° 400,00mm	28.000° 711,20mm	7.067° 180,01mm	13.398° 340,00mm	41.339° 1050,01mm	2.677° 68,00mm	8.900° 219,90mm	74.435° 1890,65mm	12.500° 317,50mm	1.968° 49,99mm	26.279° 667,49mm	40.394° 1026,01mm
							32.000° 812,80mm						76.173° 1934,79mm				
5009/10/11T							36.000° 914,40mm										
5810/11/12TS	23.000° 584,20mm	9.055° 230,00mm	29.526° 750,01mm	30.709° 780,01mm	38.970° 989,99mm	16.929° 430,00mm	36.000° 914,40mm	7.874° 200,00mm	14.961° 380,01mm	51.181° 1300,00mm	3.150° 80,01mm	10.000° 254,00mm	83.884° 2130,65mm	14.500° 368,30mm	2.492° 63,30mm	29.854° 758,25mm	43.543° 1106,56mm
							40.000° 1016,00mm						84.461° 2145,31mm				
5810/11/12T							45.000° 1143,00mm										
6809/10/11TS	27.000° 686,80mm	8.583° 218,01mm	33.071° 840,00mm	35.039° 886,96mm	40.394° 1026,01mm	18.904° 470,00mm	40.000° 1016,00mm	8.661° 219,90mm	16.338° 414,99mm	56.102° 1424,99mm	3.150° 80,01mm	11.500° 292,10mm	97.965° 2478,15mm	17.000° 431,80mm	3.220° 81,79mm	34.520° 876,81mm	47.480° 1206,56mm
							45.000° 1143,00mm						97.142° 2467,41mm				
6809/10/11T							50.000° 1270,00mm										

ARMAZÓN	D.E. SHAFT END							H	H'	DS	AA	DM	Rodamientos	
	U	N-W	ES	N	S	R	GD						D.E	N.D.E
5009/10/11TS	2.375° 60,33mm	4.750° 120,65mm	4.330° 109,98mm	0.197° 5,00mm	0.625° 15,88mm	2.021° 51,33mm	0.625° 15,88mm	1.181° 30,00mm	1.575° 40,01mm	UNC 3/4"	1xNPT3"	3xNPT3/4"	6314	6314
5009/10/11T	3.625° 92,08mm	10.625° 269,88mm	9.055° 230,00mm		0.875° 22,23mm	3.134° 79,60mm	0.875° 22,23mm						UNC 7/8"	6320
5810/11/12TS	2.375° 60,33mm	4.750° 120,65mm	4.330° 109,98mm	0.197° 5,00mm	0.625° 15,88mm	2.021° 51,33mm	0.625° 15,88mm	1.181° 30,00mm	1.968° 49,99mm	UNC 3/4"	1xNPT3"	3xNPT3/4"	6314	6314
5810/11/12T	3.875° 98,43mm	11.625° 295,28mm	9.842° 249,99mm		1.000° 25,40mm	3.309° 84,05mm	1.000° 25,40mm						UNC 7/8"	6322
6809/10/11TS	2.750° 69,85mm	5.750° 146,05mm	4.330° 109,98mm	0.197° 5,00mm	0.625° 15,88mm	2.402° 61,01mm	0.625° 15,88mm	1.417° 35,99mm	2.200° 56,01mm	UNC 3/4"	1xNPT3"	3xNPT3/4"	6315	6315
6809/10/11T	4.375° 111,13mm	11.625° 295,28mm	9.842° 249,99mm		1.000° 25,40mm	3.817° 96,95mm	1.000° 25,40mm						UNC 1"	NU224

Variador de Frecuencia. Marca: ABB. Modelo: ACS800

Conexión de red	
Rango de potencia y tensión	trifásico, $U_{RN} = 208$ a 240 V, $\pm 10\%$, excepto -07, -07LC, -17, -17LC, -37, -37LC trifásico, $U_{RN} = 380$ a 415 V, $\pm 10\%$ trifásico, $U_{RN} = 380$ a 500 V, $\pm 10\%$ trifásico, $U_{RN} = 525$ a 690 V, $\pm 10\%$ (600 V UL, CSA)
Frecuencia	48 a 63 Hz
Factor de potencia	$\cos\phi_p = 0,98$ (fundamental) $\cos\phi_p = 0,93$ a $0,95$ (total)
Factor de potencia (ACS800-11/-31/-17/-17LC/-37/-37LC)	$\cos\phi_p = 1$ (fundamental) $\cos\phi_p = 0,99$ (total)
Rendimiento (a potencia nominal)	
ACS800-0x	98%
ACS800-1x/-3x	97%

Conexión del motor	
Tensión para unidades > 500 V	Tensión de salida trifásica de 0 a $U_{RN}/\sqrt{3}$ / $U_{RN}/\sqrt{3}$, véase "Tabla de selección del filtro para el ACS800" en la página 46, bajo los filtros du/dt.
Frecuencia	0 a ± 300 Hz (0 a ± 120 Hz con filtros du/dt opcionales)
Punto inicio debil. campo	8 a 300 Hz
Control del motor	Control directo del par de ABB (DTC)
Control del par:	Tiempo de incremento de par:
Bucle abierto	< 5 ms con par nominal
Bucle cerrado	< 5 ms con par nominal
Bucle abierto	No linealidad:
Bucle cerrado	$\pm 4\%$ con par nominal $\pm 3\%$ con par nominal
Control de velocidad:	Precisión estática:
Bucle abierto	10% del deslizamiento del motor
Bucle cerrado	0,01% de la velocidad nominal
Bucle abierto	Precisión dinámica:
Bucle cerrado	De 0,3 a 0,4%/segundo con incremento de par del 100% De 0,1 a 0,2%/segundo con incremento de par del 100%

Cumplimiento de normativas del producto	
CE	Directiva Europea de Baja Tensión 2006/95/CE Directiva Europea sobre Maquinaria 2006/42/CE Directiva EMC 2006/108/CE Sistema de control de calidad ISO 9001 y sistema de gestión medioambiental ISO 14001 UL, cUL 508A o 508C y CSA C22.2 N° 14-95, C-Tick, GOST R

EMC conforme a EN 61800-3/A11 (2000), EN 61800-3 (2004)	
2º ambiente, distribución no restringida, categoría C3 - estándar en -07 (bastidor n \times R8), -07LC, -17, -17LC, -37 y -37LC (bastidor R7-n \times R8), opcional en los otros.	
1º entorno, distribución restringida (categoría C2) como opción hasta una intensidad de entrada de 1000 A.	

Limites ambientales	
Temperatura ambiente	
Transporte	-40 a +70 °C
Almacenamiento	-40 a +70 °C
Funcionamiento	
Refrigeración por aire	-15 a +50 °C, no se permite escarcha +40 a 50 °C a intensidad de salida reducida (1% / 1 °C)
Refrigeración líquida	0 a +55 °C, no se permite escarcha +45 a 55 °C a intensidad de salida reducida (0,5% / 1 °C)
Método de refrigeración	
Refrigeración por aire	Aire limpio seco
Refrigeración líquida	Refrigeración líquida directa
Altitud	
0 a 1000 m	sin derrateo
1000 a 4000 m	con derrateo - (1% / 100 m) (unidades de 690 V: 1000 a 2000 m con derrateo)
Humedad relativa	5 a 95%, sin condensación
Categoría de protección	
IP21	estándar para -01, -11, -31, -02, -07, -17, -37
IP22	opción para -07, -17, -37
IP42	estándar para -07LC, -17LC, -37LC, opción para -07, -17, -37
IP54	opción para -07, -07LC, -17, -17LC, -37, -37LC
IP54R	opción para -07, -17, -37
IP55	opción para -01
R = conexión al conducto de salida de aire	
Pintura	-07, -07LC, -17, -17LC, -37, -37LC: RAL 7035 -01, -11, -31, -02: NCS 1502-Y (RAL 9002, PMS 420 C)
Niveles de contaminación	No se permite polvo conductor
Almacenamiento	IEC60721-3-1, Clase 1C2 (gases químicos), Clase 1S2 (partículas sólidas)
Transporte	IEC60721-3-2, Clase 2C2 (gases químicos), Clase 2S2 (partículas sólidas)
Funcionamiento	IEC60721-3-3, Clase 3C1/3C2* (gases químicos), Clase 3S2 (partículas sólidas)
Clasificación de vibración marítima	3 a 13,2 Hz: ± 1 mm amplitud (pico) 13,2 a 100 Hz: aceleración de 0,7 g

C = sustancias químicamente activas	
S = sustancias mecánicamente activas	
* tarjetas de circuitos barnizadas	
Las opciones disponibles se detallan en el Resumen de características y la tabla de opciones. Véanse las páginas 62-63.	

Accionamiento compacto y completo

El ACS800-01 le ofrece todo lo necesario en un paquete único, de tamaño muy reducido y montado en pared que constituye un accionamiento compacto y completo. El grado de protección estándar es IP21. El grado IP55 opcional permite el pleno rendimiento sin derrateo. Las especificaciones de potencia van desde los 0,55 kW en régimen de trabajo pesado a los 200 kW en carga continua. Existen cinco bastidores mecánicos distintos que cubren el rango de potencia. Cada bastidor se ha optimizado en cuanto a su rendimiento, tamaño y peso.

Todo cabe en el interior

Del ACS800-01 más pequeño al más grande, se ofrece una amplia gama de características y opciones integradas. Las características estándar incluyen una reactancia para el filtrado de armónicos y la protección del accionamiento, E/S amplias y flexibles, un panel de control accesible con la función de Asistente de Puesta en Marcha y un ventilador silencioso con una larga vida de servicio. El chopper de frenado se incluye como estándar en los dos bastidores de menor tamaño, R2 y R3, así como en el bastidor R4 de 690 V. En otros bastidores, el chopper es una opción integrada. Las opciones integradas incluyen filtros EMC y módulos de ampliación para E/S adicionales, buses de campo y encoder.

Principales características estándar del hardware

- Montaje en pared
- Grado de protección IP21
- Diseño compacto
- Reactancia de filtrado de armónicos integrada
- Protección del rectificador de entrada
- Chopper de frenado (en los bastidores R2-R3; R4 sólo 690 V)
- Ventilador y condensadores de larga vida de servicio
- E/S amplias y programables con entradas aisladas galvánicamente

- Tres ranuras de ampliación de E/S y bus de campo internas
- Panel de control alfanumérico multilingüe con función de Asistente de Puesta en Marcha
- Terminales de potencia grandes que permiten utilizar una amplia gama de tamaños de cable

Opciones para el ACS800-01

Opciones integradas:

- Grado de protección IP55
- Chopper de frenado (en los bastidores R4-R6)
- Filtro EMC para 1º entorno, distribución restringida según EN 61800-3 (categoría C2)
- Filtro EMC para 2º entorno, distribución no restringida según EN 61800-3 (categoría C3)
- Módulos de ampliación de E/S analógicas y digitales
- Módulos de bus de campo
- Módulo de interfaz del encoder

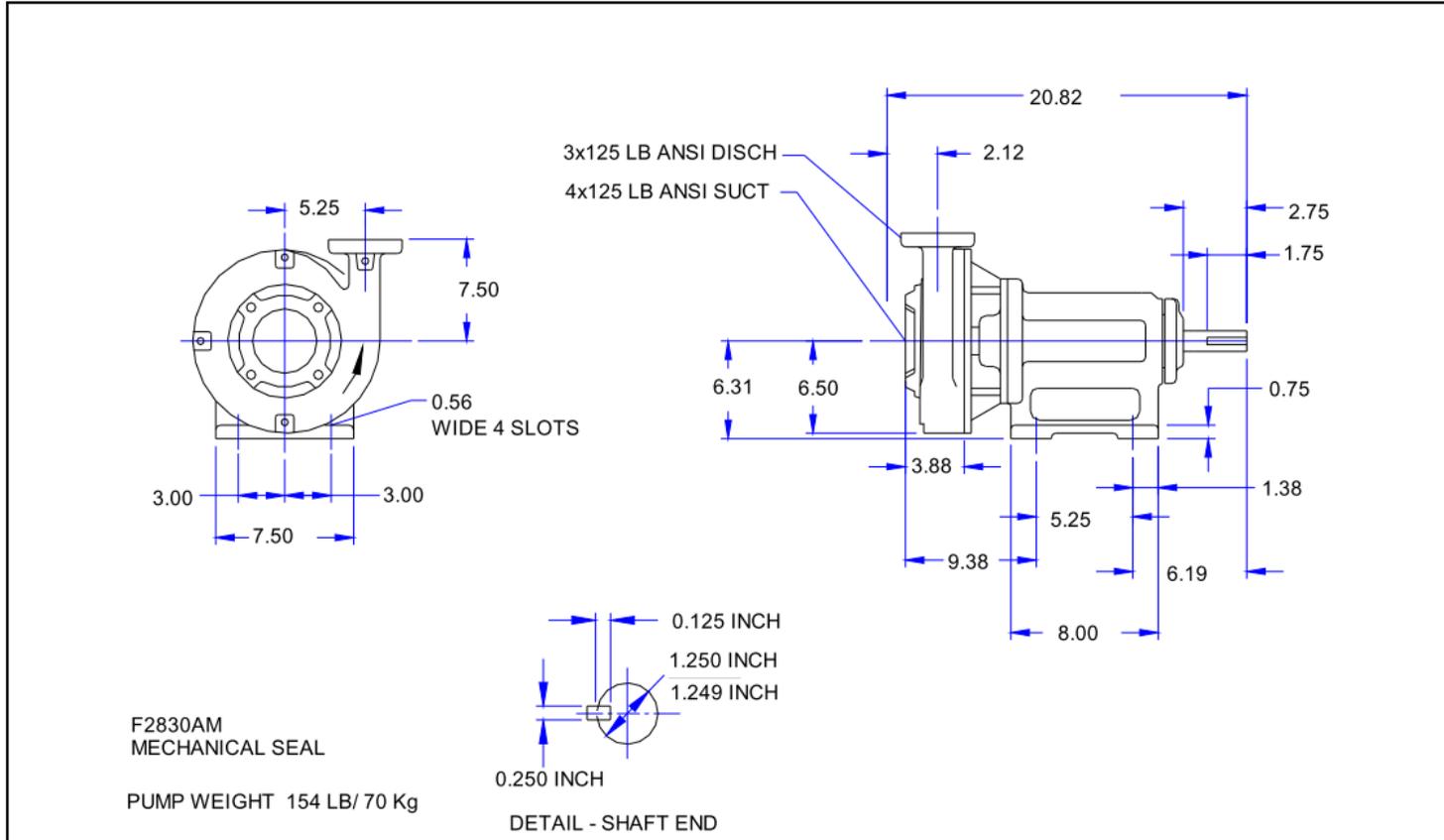
Opciones externas:

- Resistencia de frenado
- Filtros de salida
- Función safe torque off

Como opción diseño de tipo marítimo aprobado.



Bomba. Marca: Peerless Pumps. Modelo: F2-830AM-BF



Dimensions in (inch)

Project :	Capacity:	Frame/Model:
Customer:	Total Head:	Elec. Spec.:
Item No.: 1	Pump Speed: 1750 (RPM)	Service Factor:
Quote No. :	Impeller Dia.: 8/6 (inch)	Rotation:
Pump Model: Peerless - F2830AM	Power:	Enclosure/Type:



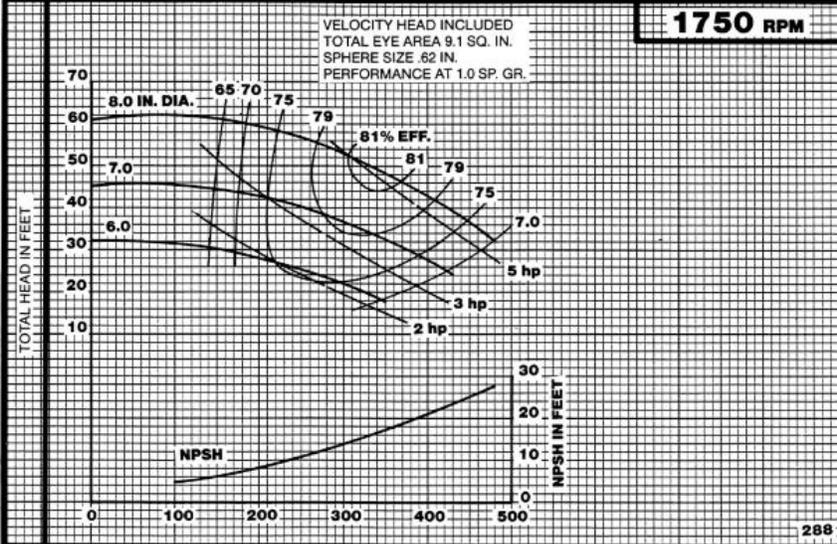
Page No : 1

Grundfos - RAPID v8.25.9.1 (Windows 7) - 06th March 2012.

SECTION 2340

END SUCTION PUMPS
 Series C&F Type 830A Size 3x4x8

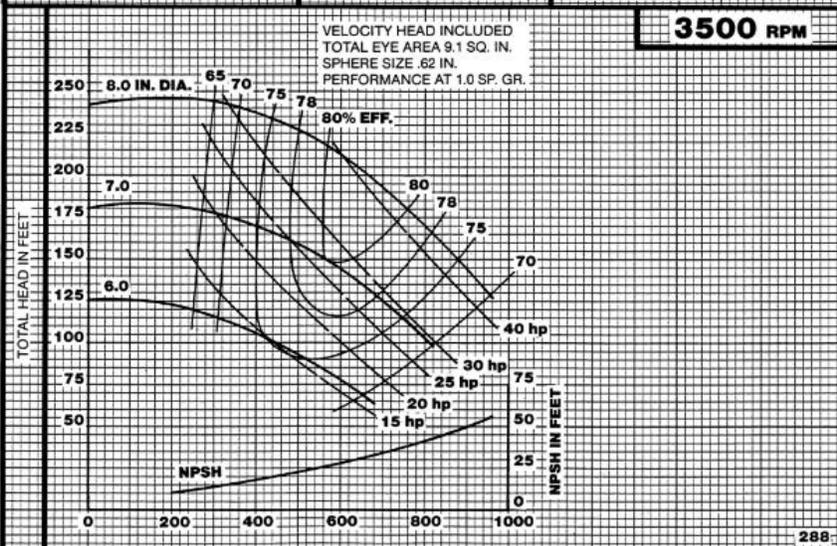
PEERLESS PUMP Peerless Pump Company
 Indianapolis, IN 46207-7028



IMPELLER **2683747**

U.S. GALLONS PER MINUTE

CURVE **3115068**



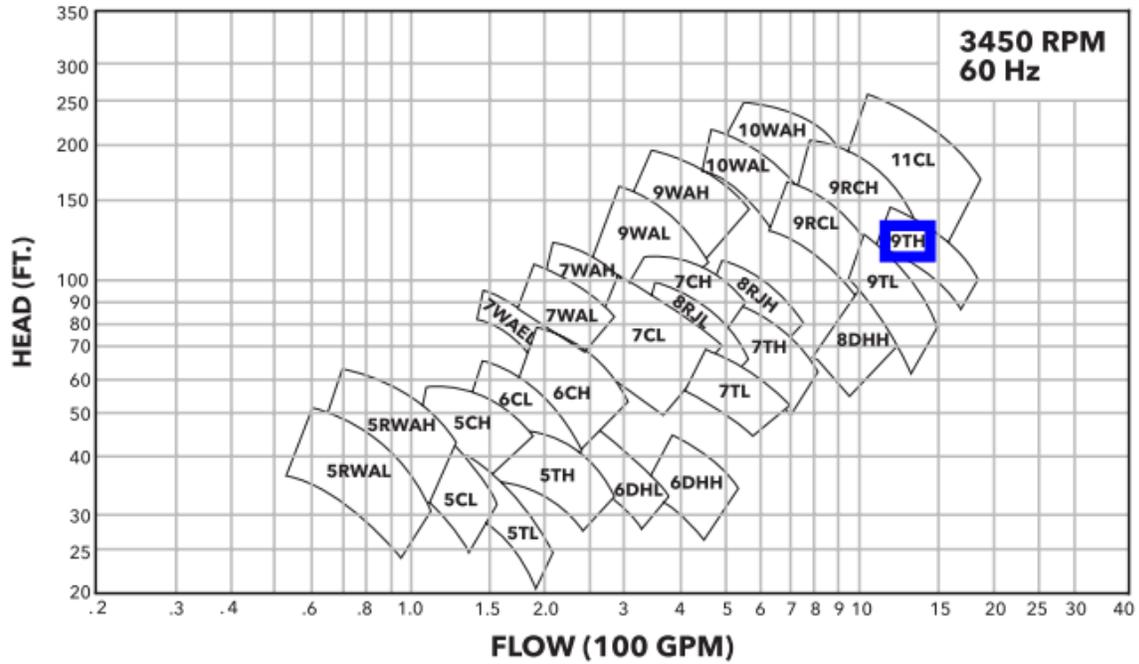
IMPELLER **2683747**

U.S. GALLONS PER MINUTE

CURVE **3115068**

Bomba. Marca: Goulds. Modelo: 9THC-4

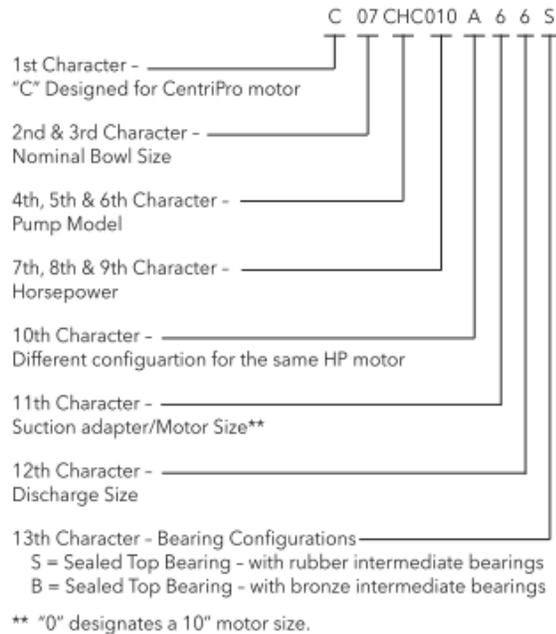
3450 RPM PERFORMANCE CHART



SPECIFICATIONS

Model	Operating Range GPM	Best Efficiency Flow	Horsepower Range	Discharge Connections	Minimum Well Size
5RWALC	30 - 120	90	5 - 20	3", 4"	6"
5RWALHC	50 - 140	110	5 - 30	3", 4"	6"
5CLC	60 - 180	120	5 - 30	3", 4"	6"
5CHC	80 - 200	150	5 - 40	3", 4"	6"
5TLC	100 - 220	180	5 - 30	3", 4"	6"
5THC	125 - 300	240	5 - 50	3", 4"	6"
6CLC	100 - 250	180	7.5 - 40	3", 4"	8"
6CHC	150 - 350	250	10 - 50	3", 4"	8"
6DHLC	210 - 410	320	5 - 30	3", 4"	6"
6DHHC	300 - 600	450	7.5 - 40	3", 4"	6"
7WALC	80 - 250	200	5 - 40	4", 5", 6"	8"
7WALHC	150 - 330	240	7.5 - 60	4", 5", 6"	8"
7WALHC	150 - 350	280	10 - 75	4", 5", 6"	8"
7CLC	200 - 500	400	10 - 100	4", 5", 6"	8"
7CHC	310 - 650	480	15 - 125	4", 5", 6"	8"
7TLC	300 - 700	550	10 - 100	4", 5", 6"	8"
7THC	400 - 850	700	15 - 125	4", 5", 6"	8"
8RJLC	300 - 600	460	10 - 100	4", 5", 6"	10"
8RJHC	400 - 900	650	15 - 150	4", 5", 6"	10"
8DHHC	1100 - 1480	1200	30 - 200	4", 5", 6"	8"
9WALC	300 - 580	400	15 - 100	6", 8"	10"
9WALHC	320 - 660	450	20 - 125	6", 8"	10"
9RCLC	500 - 1170	850	40 - 150	6", 8"	10"
9RCHC	600 - 1280	1080	60 - 200	6", 8"	10"
9THC	1000 - 1800	1600	60 - 200	6", 8"	10"
10WALC	400 - 850	600	25 - 125	6", 8"	12"
10WALHC	400 - 1040	750	40 - 200	6", 8"	12"
11CLC	800 - 1750	1400	60 - 200	6", 8"	12"

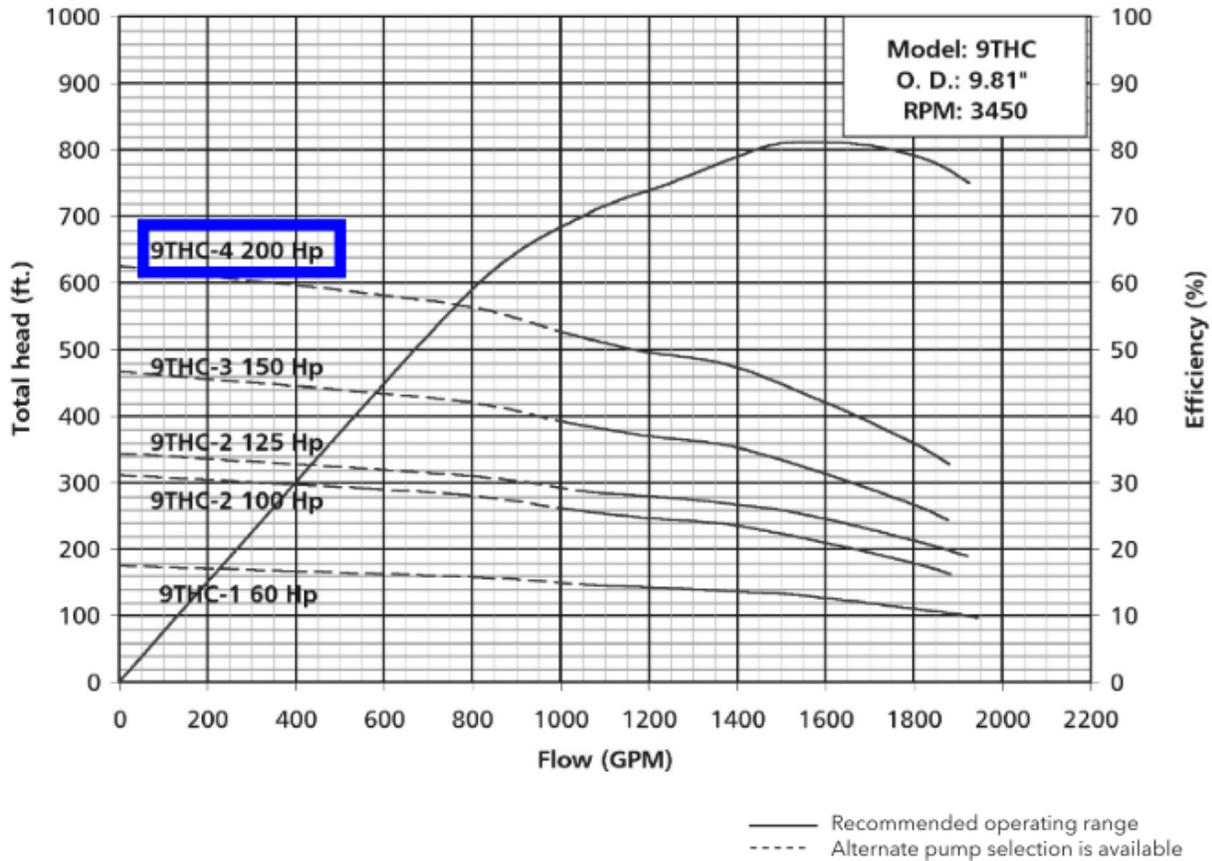
NOMENCLATURE DESCRIPTION



The products in this bulletin are NSF Listed.

Performance based upon CentriPro motors.
Consult factory if using other than CentriPro.

MODEL 9THC 1600 GPM



DIMENSIONS AND WEIGHTS

HP	Stages	W.E. Order Number	W.E. Length	W.E. Wt. (lbs.)
60	1	C09THC060A86B	28.9	200
100	2	C09THC100A86B	36.3	282
125	2	C09THC125A86B	36.3	282
150	3	C09THC150A86B	45.5	352
200	4	C09THC200A06B	57.8	422

(All dimensions in inches and weights in lbs. Do not use for construction purposes.)

NOTES:

- All dimensions in inches and weights in lbs.
- Solid line is recommended operating range.
- For intermediate horsepower pumps consult factory.
- Please specify all options changes in W.E. order number.
- 200 HP is 10" motor.**

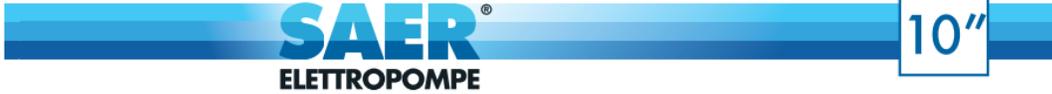
6" NPT DISCHARGE CONNECTION



MATERIALS OF CONSTRUCTION

Part Name	Material
Shaft	ASTM A582 S41600
Coupling	ASTM A582 S41600
Suction Adapter	ASTM A536 Gr. 60-40-18
Suction Bearing	ASTM B584 C89835
Impeller	ASTM A744 CF8M
Taperlock	ASTM A108 Gr. 1018
Intermediate Bowl	ASTM A49 CI. 30B
Intermediate Bowl Bearing	ASTM B584 C89835 (Std.)
Intermediate Bowl Bearing	Rubber (Optional)
Upthrust Collar	Polyethylene
Discharge Bowl	ASTM A48 CI. 30B
Discharge Bowl Bearing	ASTM B584 C89835
Fasteners	SAE J429 Gr. 8
Cable Guard	ASTM A240 S30400
Suction Strainer	ASTM A240 S30400

Motor. Marca: SAER. Modello: MS251-250



MS251

60 Hz

CARATTERISTICHE TECNICHE A 60 Hz
TECHNICAL FEATURES AT 60 Hz
CARACTERISTICAS TECNICAS A 60 HZ

Motore tipo Motor type Motor tipo	P _n		U _n	I _n	N _n	η%			cosφ			I _a /I _n	C _a /C _n	K _a	
	kW	HP	V	A	min ⁻¹	50%	75%	100%	50%	75%	100%	-	-	kg	lb
MS251-100	75	100	460	127	3495	83,0	85,0	85,3	0,77	0,84	0,87	5,40	1,50	7000	15000
MS251-125	90	125	460	150	3510	87,6	87,8	87,3	0,78	0,85	0,88	6,78	2,19	7000	15000
MS251-150	110	150	460	176	3510	87,6	88,5	88,3	0,80	0,87	0,89	6,73	2,07	7000	15000
MS251-180	132	180	460	214	3510	87,3	88,7	88,4	0,78	0,85	0,88	6,94	2,22	7000	15000
MS251-200	150	200	460	233	3515	88,0	88,8	88,0	0,79	0,87	0,90	6,85	2,13	7000	15000
MS251-230	170	230	460	268	3515	87,1	88,3	88,0	0,79	0,88	0,90	6,87	2,21	7000	15000
MS251-250	185	250	460	292	3515	87,2	88,2	88,0	0,79	0,88	0,90	6,87	2,20	7000	15000

P_n: Potenza nominale • *Rated Output* • *Potencia nominal*
 U_n: Tensione nominale • *Rated Voltage* • *Tension nominal*
 I_n: Corrente nominale • *Rated Current* • *Corriente nominal*
 N_n: Velocità nominale • *RPM* • *Velocidad nominal*
 η: Rendimento • *Efficiency* • *Rendimiento*
 cosφ: Fattore di potenza • *Power factor* • *Factor de potencia*
 C_a/C_n: Coppia avviamento/Coppia nominale • *Locked rotor Torque/Rated Torque* • *Cupla de arranque/Cupla nominal*
 I_a/I_n: Corrente avviamento/Corrente nominale • *Locked rotor current/Rated amperage* • *Corriente de arranque/Corriente nominal*
 K_a: Carico assiale • *Axial thrust* • *Carga axial*

FATTORE DI SERVIZIO • SERVICE FACTOR • FACTOR DE SERVICIO = 1,15

SERVIZIO • SERVICE • SERVICIO **S1**
 PROTEZIONE • PROTECTION • PROTECCION **IP 68**
 FORMA • VERSION • FORMA **V3**
 RAFFREDDAMENTO • COOLING • ENFRIAMIENTO **IC40**
 CLASSE ISOLAMENTO • INSULATION CLASS • CLASE AISLAMIENTO: **PVC = 70 °C PE = 95 °C**

Motori costruiti in conformità alle Norme IEC EN 60034-1, IEC EN 60204-1 ed alle Norme NEMA MG1
Motors manufactured in conformity to IEC EN 60034-1, IEC EN 60204-1 and NEMA MG1 Std.
 Motores construidos en conformidad a las normas IEC EN 60034-1, IEC EN 60204-1 Y a las normas NEMA MG1

Tolleranze secondo Norme IEC EN 60034-1, IEC EN 60204-1 = Norme NEMA MG1 - Norme DIN-VDE 0530
Tolerance in conformity to IEC EN 60034-1, IEC EN 60204-1 = MG1 NEMA Std, DIN-VDE 0530 std.
 Tolerancia segun normas IEC EN 60034-1, IEC EN 6024-1 = Normas NEMA MG1 = Normas DIN-VDE 0530

MS251

DIMENSIONI D'INGOMBRO

OVERALL DIMENSIONS

DIMENSIONES GENERALES

Motore tipo Motor type Motor tipo	Potenza Output Potencia		L mm	Peso Weight Peso kg	J kg m ²
	kW	HP			
MS251-100	75	100	1190	306	0,0869
MS251-125	90	125	1310	335	0,1018
MS251-150	110	150	1430	364	0,1167
MS251-180	132	180	1570	398	0,1342
MS251-200	150	200	1660	420	0,1455
MS251-230	170	230	1800	454	0,1629
MS251-250	185	250	1910	481	0,1767

SPORGENZA ALBERO

Versione dentata: 30 denti, angolo di pressione 30°, accoppiamento ANSI B.92.1 classe 5.

Versione cilindrica: con chiavetta

SHAFT PROTRUSION

Spline model: 30 teeth, 30° pressure angle, coupling ANSI B.92.1, class 5.

Cylindrical model: with key

SALIDA EJE

Eje estriado: 30 dientes, angulo de presion 30°, acoplamiento ANSI B.92.1 clase 5

Eje cilindrico: con claveta

CAVI DEL MOTORE

MOTOR CABLES

CABLES DEL MOTOR

DOL		Y - Δ	
N° 3 Cavi Unipolari No. 3 unipolar cables N° 3 cables unipolares		N° 6 Cavi Unipolari No. 6 unipolar cables N° 6 cables unipolares	
Corrente Nominale Nominal current Corriente nominal	Sezione del cavo Cable cross-section Sección transversal cable	Corrente Nominale Nominal current Corriente nominal	Sezione del cavo Cable cross-section Sección transversal cable
A	mm ²	A	mm ²
< 164	1 x 25	< 284	1 x 25
165 - 217	1 x 35	285 - 375	1 x 35
218 - 285	1 x 50	376 - 490	1 x 50
286 - 365	1 x 70	491 - 630	1 x 70

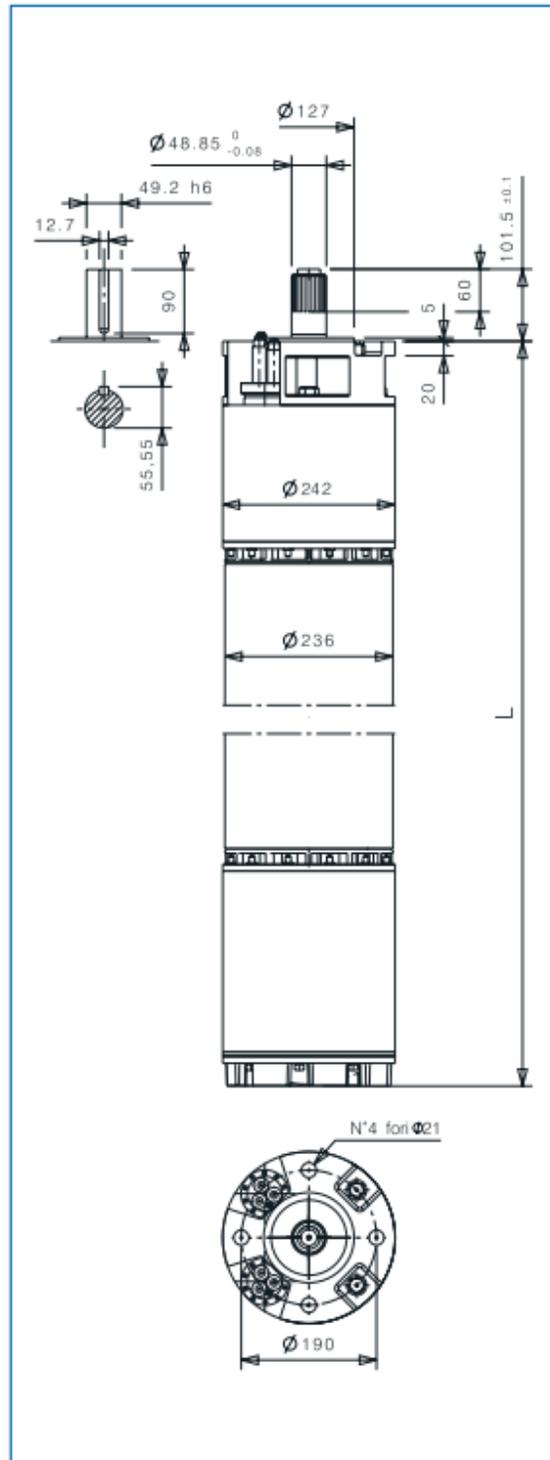
Sporgenza cavi dal motore = 4 m • Cable for connecting motor: 4 m long • Salida de los cables = 4m

DIMENSIONI DEI CAVI

CABLE DIMENSIONS

DIMENSIONES DE LOS CABLES

Sezione cavo Cable cross-section Sección transversal cable	Ø
mm ²	mm
1 x 25	12,2
1 x 35	13,3
1 x 50	16
1 x 70	18,2

Variador de Frecuencia. Marca: WEG. Modelo: NACFW110312T4SZ

Versión IP2x

Convertidor de frecuencia CFW11					Máximo motor aplicable ¹⁾														
Referencia	Tensión de alimentación (V)	Tam.	IGBT de frenado	Corriente nominal de salida (A)		Régimen de sobrecarga normal (ND)					Régimen de sobrecarga pesada (HD)								
						IEC				UL	IEC				UL				
						60 Hz	60 Hz	60 Hz	60 Hz	60 Hz	60 Hz	60 Hz	60 Hz	60 Hz	60 Hz				
				380 V ca	380 V ca	440 V ca	440 V ca	460 V ca	380 V ca	380 V ca	440 V ca	440 V ca	460 V ca						
		ND	HD	HP	KW	HP	KW	HP	HP	KW	HP	KW	HP						
CFW110003T4SZ	Trifásica	380-480 V ca	A	Incorporado interno	3,6	3,6	2,0	1,5	2,0	1,5	2,0	2,0	1,5	2,0	1,5	2,0			
CFW110005T4SZ					5,0	5,0	3,0	2,2	3,0	2,2	3,0	3,0	2,2	3,0	2,2	3,0			
CFW110007T4SZ					7,0	5,5	4,0	3,0	4,0	3,0	3,0	3,0	2,2	3,0	2,2	3,0			
CFW110010T4SZ					10	10	6,0	4,5	6	4,5	5,0	6,0	4,5	6,0	4,5	5,0			
CFW110013T4SZ					13,5	11	7,5	5,5	10	7,5	7,5	6,0	4,5	7,5	5,5	7,5			
CFW110017T4SZ					17	13,5	10	7,5	12,5	9,2	10	7,5	5,5	10	7,5	7,5			
CFW110024T4SZ					24	19	15	11	15	11	15	12,5	9,2	15	11	10			
CFW110031T4SZ					31	25	20	15	20	15	20	15	11	15	11	15			
CFW110038T4SZ					38	33	25	18,5	30	22	25	20	15	25	18,5	20			
CFW110045T4SZ					45	38	30	22	30	22	30	25	18,5	30	22	25			
CFW110058T4SZ					58,5	47	40	30	40	30	40	30	22	30	22	30			
CFW110070T4SZ					70,5	61	50	37	50	37	50	40	30	50	37	40			
CFW110088T4SZ			88	73	60	45	75	55	60	50	37	60	45	50					
CFW110105T4OD8Z			105	88	75	55	75	55	75	60	45	75	55	60					
CFW110142T4OD8Z			142	115	100	75	100	75	100	75	55	75	55	75					
CFW110180T4OD8Z			180	142	125	90	150	110	150	100	75	100	75	100					
CFW110211T4OD8Z			211	180	150	110	175	132	150	125	90	125	90	150					
CFW110105T4SZ			E	No incorporado	105	88	75	55	75	55	75	60	45	75	55	60			
CFW110142T4SZ					142	115	100	75	100	75	100	75	55	75	55	75			
CFW110180T4SZ					180	142	125	90	150	110	150	100	75	100	75	100			
CFW110211T4SZ					211	180	150	110	175	132	150	125	90	125	90	150			
CFW110242T4SZ					242	211	150	110	200	150	200	150	110	175	132	150			
CFW110312T4SZ					F			312	242	200	150	250	185	250	150	110	200	150	200
CFW110370T4SZ					G	No incorporado; usar accesorio externo DBW03	370	312	270	200	300	220	300	200	150	250	185	250	
CFW110477T4SZ	477	370					350	260	400	300	400	270	200	300	220	300			
CFW110515T4SZ	515	477					350	260	400	300	400	300	220	400	300	400			
CFW110601T4SZ	601	515					400	300	500	370	500	350	260	400	300	400			
CFW110720T4SZ	720	560					500	370	600	440	600	400	300	450	330	400			
CFW110760T4SZ	760	600					550	400	650	480	600	400	300	500	370	500			
CFW110795T4SZ	H	No incorporado; usar accesorio externo DBW04	795	637		550	400	650	480	600	450	330	550	400	500				
CFW110877T4SZ			877	715		650	480	750	560	700	500	370	600	440	500				
CFW111062T4SZ			1.062	855		750	560	900	660	900	600	440	700	515	700				
CFW111141T4SZ			1.141	943		800	590	950	700	1.000	700	515	800	560	800				

Notas: 1) Valores de potencia orientativos, válidos para motores de inducción trifásicos WEG W22 IEC o HGF de 4 polos, 50 o 60 Hz. El dimensionamiento correcto debe ser hecho en función de la corriente nominal del motor utilizado, que debe ser menor o igual a la corriente nominal de salida del convertidor.
 ND = Normal duty (sobrecarga normal = 110% de la corriente nominal durante un minuto o 150% de la corriente nominal durante 3 segundos; una sobrecarga cada 10 minutos).
 HD = Heavy duty (sobrecarga pesada = 150% de la corriente nominal durante un minuto o 200% de la corriente nominal durante 3 segundos; una sobrecarga cada 10 minutos).

Datos Técnicos

Comunicación	
Profibus-DP	PROFIBUS-DP-01 (slot 3) PROFDP-05 (slot 4)
DeviceNet	CAN/RS485-01 (slot 3)
	CAN-01 (slot 3)
	DEVICENET-05 (slot 4)
EtherCAT	ETHERCAT-05 (slot 4)
	Requiere <i>firmware</i> especial Ve 65.84
CANopen	CAN/RS485-01 (slot 3)
	CAN-01 (slot 3)
CANopen y Modbus-RTU maestro/esclavo	PLC11-01 y PLC11-02 (slots 1, 2 y 3)
EtherNet/IP	1 puerto: ETHERNETIP-05
	2 puertos: ETHERNETIP-2P-05 (slot 4)
Modbus-TCP	1 puerto: MODBUSTCP-05
	2 puertos: MODBUSTCP-2P-05 (slot 4)
PROFINET IO	2 puertos: PROFINETIO-05 (slot 4)
BACnet	CAN/RS485-01 (slot 3)
	Requiere <i>firmware</i> especial Ve 5.3X.
Modbus-RTU (RS485)	RS485-01 (slot 3)
	CAN/RS485-01 (slot 3)
	RS485-05 (slot 4)
Modbus-RTU (RS232)	RS232-01 y RS232-02 (slot 3)
	RS232-05 (slot 4)
USB	Incorporado al producto estándar
	Comunicación con software SuperDrive G2
	Comunicación con software WLP utilizado para programación y monitoreo de la función SoftPLC y de los accesorios PLC11

Normas de seguridad
UL 840: Insulation coordination including clearances and creepage distances for electrical equipment
EN 61800-5-1: Safety requirements electrical, thermal and energy
EN 50178: Electronic equipment for use in power installations
EN 60204-1: Safety of machinery. Electrical equipment of machines. Part 1: General requirements. Nota: para que uma máquina esteja em conformidade com esta norma, o fabricante da máquina é responsável pela instalação de um dispositivo de desligamento de emergência e um equipamento para o seccionamento da rede.
EN 60146 (IEC 146): Semiconductor converters
EN 61800-2: Adjustable speed electrical power drive systems - Part 2: General requirements - rating specifications for low voltage adjustable frequency a.c. power drive systems

Normas de construcción mecánica
EN 60529 - Degrees of protection provided by enclosures (IP Code)
UL 50 - Enclosures for electrical equipment
IEC60721-3-3 - Classification of environmental conditions - part 3: classification of groups of environmental parameters and their severities - section 3: stationary use at weatherprotected locations Level: 3M4

Protecciones
Sobrecorriente/cortocircuito
Sub/sobretensión en el circuito de potencia
Falta de fase
Sobretemperatura en el convertidor (IGBTs, rectificador y aire interno en las tarjetas electrónicas)
Sobretemperatura en el motor
Sobrecarga en el resistor de frenado
Sobrecarga en los IGBTs
Sobrecarga en el motor
Falla/alarma externa
Falla en la CPU o en la memoria
Cortocircuito fase-tierra en la salida
Falla del ventilador del disipador
Sobrevelocidad del motor
Conexión incorrecta del encoder

Normas de compatibilidad electromagnética (EMC)
EN 61800-3 - Adjustable speed electrical power drive systems Part 3: EMC product standard including specific test methods
EN 55011 - Limits and methods of measurement of radio disturbance characteristics of industrial, scientific and medical (ISM) radio-frequency equipment
CISPR 11 - Industrial, scientific and medical (ISM) radio-frequency equipment Electromagnetic disturbance characteristics Limits and methods of measurement
EN 61000-4-2 - Electromagnetic Compatibility Standards (EMC) Part 4: Testing and measurement techniques - Section 2: Electrostatic discharge immunity test
EN 61000-4-3 - Electromagnetic Compatibility Standards (EMC) Part 4: Testing and measurement techniques - Section 3: Radiated, radiofrequency, electromagnetic field immunity test
EN 61000-4-4 - Electromagnetic Compatibility Standards (EMC) Part 4: Testing and measurement techniques - Section 4: Electrical fast transient / burst immunity test
EN 61000-4-5 - Electromagnetic Compatibility Standards (EMC) Part 4: Testing and measurement techniques - Section 5: Surge immunity test
EN 61000-4-6 - Electromagnetic Compatibility Standards (EMC) Part 4: Testing and measurement techniques - Section 6: Immunity to conducted disturbances, induced by radio-frequency fields
EN 61000-4-11 - Testing and measurement techniques - Voltage dips, short interruptions and voltage variations immunity tests

Bibliografía

ABB. (29 de Noviembre de 2013). *Especificaciones Técnicas*. Recuperado el Marzo de 2020, de Convertidor de Frecuencia Industriales ABB, ACS800, convertidores únicos de 0,55 a 5600 kW. Catálogo: <https://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=3AFE68575001&LanguageCode=es&DocumentPartId=1&Action=Launch>

ABB. (s.f.). *WaterMaster, Caudalímetro electromagnético*. Recuperado el Junio de 2020, de ABB MEASUREMENT & ANALYTICS | FICHA DE DATOS: https://trello-attachments.s3.amazonaws.com/5e4433fdef8d3c19abfc6d41/5ea62c6008846c71da2566e0/23a51a38be970477d579513966ff6c25/DS_WM-ES_Y.pdf?__hstc=163074211.ea172363d451d79b711fe7f83a309ed7.1596164074565.1596164074565.1596164074565.1&__hssc=163074211.1.

Acueductos y Alcantarillados. (2015). *Nuestra Historia*. Recuperado el Diciembre de 2019, de Conozcanos: <https://www.aya.go.cr/conozcanos/SitePages/Nuestra%20Historia.aspx>

Acueductos y Alcantarillados. (2019). *Componente 3, Sistema de Agua Potable y Saniamiento Periurbano*. Recuperado el Diciembre de 2019, de Proyectos: [https://www.aya.go.cr/APZRP/Costo%20Financiero/Componente%203%20\(junio%202019\).jpg](https://www.aya.go.cr/APZRP/Costo%20Financiero/Componente%203%20(junio%202019).jpg)

Acueductos y Alcantarillados. (26 de Julio de 2019). *Objetivo del Proyecto en Zonas Rurales y Periurbanas*. Recuperado el Diciembre de 2019, de Programa de Agua

Potable y Saneamiento (PAPS):

<https://www.aya.go.cr/APZRP/Aspectos%20Generales/Objetivo%20del%20proyecto%20en%20zonas%20rurales%20y%20periurbanas.pdf>

Altmann, C. (s.f.). *Las Técnicas de Monitoreo de Condición, como herramienta del Mantenimiento Proactivo*. Uruguay. Recuperado el Julio de 2020, de <http://www.mantenimientomundial.com/notas/tecnicas-monitoreo.pdf>

Arias Martos, J. (Junio de 2020). *Cómo presentar un proyecto de inversión*. Obtenido de Justificación de la inversión en Mantenimiento Predictivo: <http://www.preditec.com/notas-tecnicas/gestion-y-fiabilidad-del-mantenimiento/justificacion-de-la-inversion-en-mantenimiento-predictivo-como-presentar-un-proyecto-de-inversion/#>

Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos. (Diciembre de 19 de 2019). *RE-0005-IA-2019: Tarifa del AyA para la Protección del Recurso Hídrico. 2020-2024*. Obtenido de Agua Potable: https://aresep.go.cr/agua-potable/index.php?option=com_content&view=article&id=2891&catid=58

Ballesteros Robles, F. (Octubre de 2013). *Cuánto invertir en tecnologías predictivas*. Recuperado el Julio de 2020, de Preditec: <http://www.preditec.com/rep/4c20/pdf/443402/19/cuanto-invertir-en-tecnologias-predictivas---pdf-314-kb.pdf?d=1>

Caja Costarricense de Seguro Social. (Junio de 2020). *Calculadora Patronal*. Recuperado el Junio de 2020, de De su interés: <https://www.ccss.sa.cr/calculadora>

Chauvin-Arnoux. (2010). *Guía de la Medición de Aislamiento*. Recuperado el Marzo de 2020, de Guías: https://www.chauvin-arnoux.com/sites/default/files/documents/cat_guia_de_medicion_de_aislamiento.pdf

Chong, A. (03 de Abril de 2012). *Trazabilidad para la Confiabilidad*. Recuperado el Marzo de 2020, de Minería Chilena. Información confiable y Oportuna: <https://www.mch.cl/reportajes/trazabilidad-para-la-confiabilidad/>

Codina Jimenez, A. (Enero-Junio de 2011). Deficiencias en el Uso del FODA: Causas y Sugerencias. *Ciencias Estratégicas*, 19(25), 89-100. Recuperado el Abril de 2020, de <https://www.redalyc.org/pdf/1513/151322413006.pdf>

Cordero Leiva, M. (11 de Marzo de 2020). Sistemas Computacionales y Conexión con la Dirección de Sistemas Computacionales del AyA. (L. Dorado Alvarado, Entrevistador)

Cordero Parra, M. (17 de Marzo de 2020). Falta de Agua podría terminar en Sansiones y Baja en Tarifas para AyA. *Semanario Universidad*. Recuperado el Abril de 2020, de <https://semanariouniversidad.com/ultima-hora/falta-de-agua-podria-terminar-en-sanciones-y-baja-en-tarifas-para-aya/>

Cordero Parra, M., & Córdoba, J. (17 de Marzo de 2020). Agua hay, pero ¿Por qué nos falta? *Semanario Universidad*. Recuperado el Marzo de 2020, de <https://semanariouniversidad.com/ultima-hora/agua-hay-pero-por-que-nos-falta/>

DECRETO EJECUTIVO N° 42104-MTSS, ALCANCE 285 A LA GACETA 242 (Ministerio de Trabajo 19 de Diciembre de 2019). Recuperado el JUnio de 2020, de http://www.mtss.go.cr/temas-laborales/salarios/decretos/decreto_salarios_2020.pdf

Fluke. (2013). *Datos Técnicos Fluke 1730. Registrador trifásico de consumo Eléctrico*. Recuperado el Marzo de 2020, de [dam-Assets.fluke.com: https://dam-assets.fluke.com/s3fs-public/9033398_SPA_B_W.PDF](https://dam-assets.fluke.com/s3fs-public/9033398_SPA_B_W.PDF)

FLUKE. (2019). *Fluke Connect2Assets for IBM Maximo*. Everett, Washington, Estados Unidos de América. Recuperado el Junio de 2020, de https://dam-assets.fluke.com/s3fs-public/6011338c-en-Connect2Assets-b_4-ds-REV.pdf

Fluke. (s.f.). *Datos Técnicos: Multímetros de aislamiento Fluke 1587 FC/1577*. Recuperado el Marzo de 2020, de [Multímetro de aislamiento Fluke 1587 FC: https://dam-assets.fluke.com/s3fs-public/9901049_SPN_A_W.PDF](https://dam-assets.fluke.com/s3fs-public/9901049_SPN_A_W.PDF)

Garcia Rodriguez, A. (2018). *Diseño de un Modelo de Gestión de Mantenimeitno Basado en la Gestión del Conocimiento para la Direccion de Sistemas de Bombeo GAM del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados*. Cartago, Costa Rica. Recuperado el Diciembre de 2019

García Rodríguez, A. (2020). *Detalle de Procesos Administrativos, Operacionales y Equipos de la Dirección de Bombeo del AyA*. (L. F. Dorado Alvarado, Entrevistador) La Uruca, San José, Costa Rica. Recuperado el 2020

General Electric. (2010). *Panometrics TransPort PT878-01 Ultrasonic Flow Meter Electronics*. Recuperado el Marzo de 2020, de Instrumart.com: <https://www.instrumart.com/assets/GE-PT878-Spanish-Datasheet.pdf>

Gobierno de la República de Costa Rica. (s.f.). *Documentos*. Recuperado el Abril de 2020, de Estrategia de Transformación Digital hacia la Costa Rica del Bicentenario 4.0: <https://www.micit.go.cr/sites/default/files/estrategia-tdhcrb.pdf>

Goulds Water Technology. (11 de Septiembre de 2012). *5"-11" TEXAS PRE-ENGINEERED SUBMERSIBLE TURBINE PUMPS – 6" AND LARGER WELLS*. Recuperado el Marzo de 2020, de TURBINE PRE-ENGINEERED SUBMERSIBLE PUMPS: <https://documentlibrary.xylemappliedwater.com/files/2012/07/BR5-11TPE.pdf>

Hidráulica Tamaco S.A. (2017). *Plan Integral de Mantenimiento Para un Sistema de Bombeo de Aguas Subterráneas con Bomba Electro-sumergible*. Recuperado el Diciembre de 2019, de <http://www.ucla.edu.ve/dagronom/simposios/agua/DMA%202017%20PIM%20SBAS%20MAR%202017.pdf>

HYDREKA. (Abril de 17). *ChronoFLO Mini*. Recuperado el Marzo de 2020, de Hydreka: <https://cloud.hydreka.fr/index.php/s/UqExf9d66rGzoCy>

Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2011). *Estadísticas demográficas. 2011 – 2025. Proyecciones nacionales. Población total proyectada al 30 de junio por grupos de edades, según región de planificación y sexo*. Recuperado el Abril de 2020, de Estadísticas Demográficas:

<https://www.inec.cr/sites/default/files/documentos-biblioteca-virtual/repoblancev2011-2015-05.xlsx>

Mäder, P. (2010). Requirements Traceability. En P. Mäder, *Rule-based Maintenance of Post-requirements Traceability* (págs. 7-24). Alemania: MV Wissenschaft. Recuperado el Marzo de 2020, de https://books.google.co.cr/books?id=DTgrFd_tKKMC&pg=PA20&lpg=PA20&dq=requireability+state+of+art&source=bl&ots=iqYjHECFM&sig=ACfU3U2YgeBfc-2RdnIXZ12DWqgyt0Ti7A&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwi9rNvXtofpAhWDT98KHW3mCWMQ6AEwE3oECBMQAQ#v=onepage&q=state%20of%20art&

Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (Segunda ed.). (2004). Aladon, Gran Bretaña: Industrial Press Inc. Recuperado el Diciembre de 2019

Marshall Institute. (1999). *Maintenance Effectiveness Survey*. Recuperado el Enero de 2020, de Papers: <http://www.taoitco.com/papers/18838.pdf>

Martinez Gutierrez, B. (2015). Evaluación de Proyectos. *Análisis FODA- Definición, Estrategias y Metodología*. Cartago. Recuperado el Mayo de 2020

Microsoft. (2020). *Ayuda y aprendizaje de Access*. Recuperado el Febrero de 2020, de Access: <https://support.office.com/es-es/access>

Microsoft. (2020). *PowerApps*. Recuperado el Mayo de 2020, de Información General: <https://powerapps.microsoft.com/es-es/build-powerapps/>

Microsoft. (2020). *SharePoint Online (Plan 1)*. Recuperado el Mayo de 2020, de Comparar opciones de SharePoint Online: <https://www.microsoft.com/es-ww/microsoft-365/sharepoint/compare-sharepoint-plans?market=cr>

Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica. (12 de Julio de 2019). *Precios Sociales en Costa Rica - Guía para su aplicación*. Obtenido de Precios Sociales en Costa Rica: <https://www.mideplan.go.cr/precios-sociales>

Mora Alvarado, D., & Portuguez, C. (2017). *Agua para Consumo Humano y Saneamiento en Costa Rica al 2016 - Metas al 2022 y 2030*. San José: AyA. Recuperado el Marzo de 2020, de <http://dspace-aya.eastus.cloudapp.azure.com:8080/xmlui/bitstream/handle/aya/265/CEDO%20AyA%205002.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Oracle. (2020). *Infographic*. Recuperado el Febrero de 2020, de MySQL DATABASE SERVICE: <https://www.oracle.com/a/ocom/docs/mysql/mysql-database-service-infographic.pdf>

Peerless Pump Company. (06 de Marzo de 2012). *Peerless F2-830A Dimensions*. Recuperado el Marzo de 2020, de F2830A, F2-830A Peerless F2-830AM-BF Pump: <http://masonoliversupply.com/content/downloads/F2830.PDF>

Peerless Pump Company. (s.f.). *Peerless F2-830A Pump Curves*. Recuperado el Marzo de 2020, de F2830A, F2-830A Peerless F2-830AM-BF Pump: <http://masonoliversupply.com/peerless/peerless-pumps/frame-mounted-series-f/f2830a-f2-830a-peerless-f2-830am-bf-pump/>

Perez Gonzalez, K. (09 de Marzo de 2020). Congreso aprueba reforma que reconoce el acceso al agua como derecho humano. *Costa Rica*. (elmundo.cr, Ed.) Barrio Escalante, San José, Costa Rica. Recuperado el Abril de 2020, de <https://www.elmundo.cr/costa-rica/congreso-aprueba-reforma-que-reconoce-el-acceso-al-agua-como-derecho-humano/>

Peycheva, R. (04 de Enero de 2018). *Industria 4.9 y GMAO: El Mantenimiento del Futuro*. Recuperado el Diciembre de 2019, de Mobility Work: <https://www.mobility-work.com/es/blog/industria-40-y-gmao-mantenimiento-del-futuro>

Poder Ejecutivo de la República de Costa Rica. (01 de Octubre de 2019). Reglamento a la Ley del Impuesto sobre la Renta. *Reglamento de la Ley del Impuesto sobre la Renta, 19*. San José, San José, Costa Rica. Recuperado el Junio de 2020, de http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=7241&nValor3=117937&strTipM=TC

Refinadora Costarricense de Petroleo. (19 de Junio de 2020). *Precios Vigentes*. Obtenido de Precios Nacionales: <https://www.recope.go.cr/productos/precios-nacionales/tabla-precios/>

ReliabilityWeb.com. (2020). *Las 4 principales Razones del porque el Mantenimiento Predictivo Falla*. Recuperado el Julio de 2020, de Administración de Mantenimiento Predictivo y de Monitoreo de Condición: <https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/las-4-principales-razones-del-porque-el-mantenimiento-predictivo-falla>

Rodriguez, C. (Marzo de 2020). Organigrama DSB. *Organigrama de la Dirección de Sistemas de Bombeo*. San José, San José, Costa Rica. Recuperado el Marzo de 2020

SAER Elettropompe. (Septiembre de 2015). *Data Sheet*. Recuperado el Marzo de 2020, de MS 251 – REWINDABLE WATER FILLED SUBMERSIBLE MOTOR: <http://www.saerpumps.eu/wp-content/uploads/2017/06/cod.228-06-2006-Motori-sommersi.pdf>

Sapag Chain, N., & Sapag Chain, R. (2008). *Preparación y evaluación de proyectos*. Colombia: McGraw-Hill Interamericana S.A.

Schwarz, H. (2011). State of the Art of Traceability-Related Activities. En H. Schwarz, *Universal Traceability. A Comprehensive, Generic, Technology-Independent, and Semantically Rich Approach* (págs. 21-56). Berlin, Berlin, Alemania: Logos Verlag Berlin GmbH. Recuperado el Marzo de 2020, de https://books.google.co.cr/books?id=J7mvQ-JgR6AC&pg=PA21&dq=traceability+state+of+art&source=gbs_toc_r&cad=4#v=onepage&q=traceability%20state%20of%20art&f=false

Segura Vargas, A. (24 de febrero de 2020). Medición de Campo. (L. Dorado Alvarado, Entrevistador)

Siemens. (2017). *SITRANS FUS1010 Catalog Specifications*. Recuperado el Febrero de 2020, de SITRANS FUS1010 (Standard): https://cache.industry.siemens.com/dl/files/499/109770499/att_995258/v1/sitrans_f_fus1010_fi01_en-2017.pdf

Siemens. (s.f.). *SITRANS FUS1010 standard, pluggable, IP66 (NEMA 7), Wall mounting, with inspection window*. Recuperado el Febrero de 2020, de Industry Mall:

<https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Product/?mlfb=7ME3533-.....>

Sinais, Ingeniería de Mantenimiento. (s.f.). *Tendencias actuales del Mantenimiento Industrial*. Recuperado el Junio de 2020, de es.slideshare.net:
<https://es.slideshare.net/alzuva28/tendencias-mantenimiento-predictivo>

Sistema Costarricense de Información Jurídica. (29 de Noviembre de 2018). *Reglamento para la calidad del Agua Potable*. Recuperado el Diciembre de 2019, de http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=80047&nValor3=114928¶m2=1&strTipM=TC&IResultado=3&strSim=simp#up

Soto, R. (25 de Octubre de 2011). *Trazabilidad en el Mantenimiento Industrial*. Recuperado el Marzo de 2020, de Foro Mantenimiento Industrial:
<https://foromantenimientoindustrial.blogspot.com/2011/10/trazabilidad-en-el-mantenimiento.html>

Tavares, L. (1999). *Administración Moderna de Mantenimiento*. Brasil: Novo Polo. Recuperado el Diciembre de 2019, de <file:///F:/Bibliograf%C3%ADa/Administraci%C3%B3n%20del%20Mantenimiento/Tavares,%20L.%20Administraci%C3%B3n%20Moderna%20de%20Mantenimiento.%201%20Ed.pdf>

Verein Deutscher Ingenieure. (2006). VDI 2893: 2006. Auswahl und Bildung von Kennzahlen für die Instandhaltung. En V. D. Ingenieure, *VDI-RICHTLINIEN*. Düsseldorf, Alemania. Recuperado el Abril de 2020

Wang, K. (2016). *Intelligent Predictive Maintenance (IPdM) System- Industry 4.0 scenario*. Recuperado el Diciembre de 2019, de elibrary: <https://www.witpress.com/Secure/elibrary/papers/IWAMA15/IWAMA15030FU1.pdf>

WEG. (Diciembre de 2019). *CFW11 - Convertidor de Frecuencia*. Recuperado el Marzo de 2020, de Convertidor NACFW110312T4SZ: <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/hfe/h36/WEG-CFW11-50021213-es.pdf>

WEG. (s.f.). *Datos Eléctricos y Mecánicos*. Recuperado el Marzo de 2020, de Línea H, Media Tensión: <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h8b/hf2/WEG-hgf-motor-trifasico-de-induccion-mexico-catalogo-espanol.pdf>

Weir Minerals. (2013). *Uniglide Single Stage Horizontal Split Casing*. Recuperado el Marzo de 2020, de Uniglide - Dewatering Solutions from Weir Minerals: <https://www.yumpu.com/en/document/view/12422073/uniglide-dewatering-solutions-from-weir-minerals>

Wikipedia. (2019). *Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados*. Recuperado el Diciembre de 2019, de https://es.wikipedia.org/wiki/Instituto_Costarricense_de_Acueductos_y_Alcantarillados

