

Universidad Técnica Federico Santa María.

Sede Viña del Mar - José Miguel Carrera

**PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN SISTEMA
DE RIEGO TECNIFICADO EN FUNDO DE ALICAHUE**

Trabajo de Titulación para optar al
Título de Técnico Universitario en
MANTENIMIENTO INDUSTRIAL.

Nombre:

Jarott Briones Morales

Profesor Guía:

Eduardo Vidal

Curso:

345-A

2020

KEYWORDS

PLAN DE MANTENIMIENTO, SISTEMA DE REGADIO, ANALISIS DE FALLAS.

RESUMEN

Este trabajo está centrado en una propuesta de plan de Mantenimiento en la agrícola San Ignacio localizada en el sector de Alicahue, debido a la escases hídrica de la zona, la empresa decidió implementar un sistema de riego tecnificado para aprovechar al máximo los acuíferos disponibles, posee una serie de bombas centrifugas y sumergibles, estas son parte fundamental del proceso, ya que alimentan todo el sistema de riego con la presión y el caudal necesario para el riego.

Con el fin de optimizar la propuesta en el plan de mantenimiento preventivo previsto para la agrícola, se realiza en primera instancia una matriz cualitativa de riesgo de los equipos, con lo que se puede dirigir de manera eficiente los recursos de la empresa. Posteriormente son utilizadas diversas metodologías de análisis de fallas (Ishikawa, 5 ¿Por qué? y FMECA) para detectar las causas principales que están dando problemas en los equipos y restringiendo un óptimo funcionamiento del sistema.

El plan efectuado en esta tesis está enfocado principalmente en evitar la detención del sistema de regadío, esto puede provocar tanto perdidas en los cultivos debido al desabastecimiento, como también pérdidas económicas debido a los fallos prematuros de los equipos. Se busca mediante diversas tareas del mantenimiento mitigar los modos de falla en los equipos críticos, para aumentar su disponibilidad y confiabilidad en la empresa.

Los resultados obtenidos en el presente plan de mantenimiento preventivo, muestran una mejora en la confiabilidad de los equipos, así como también una posible disminución de los recursos utilizados en sustitución de equipos y mantenimiento programado.

ÍNDICE

KEYWORD	2
RESUMEN	2
ÍNDICE	3
ÍNDICE DE FIGURAS	5
ÍNDICE DE TABLAS	7
SIGNIFICADOS, SIGLAS Y SIMBOLOGÍAS	8
INTRODUCCIÓN	10
OBJETIVO GENERAL	11
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES DE LA EMPRESA	12
1.1 Descripción de la empresa	13
1.1.1. Entidad	13
1.1.2. Visión y preceptos	13
1.1.3. Características del fundo	14
1.1.4. Implementación del riego tecnificado	14
1.1.5. Organigrama de recursos humanos	15
1.2. Principio de funcionamiento del sistema de regadío actual	16
1.2.1. Diagrama de bloques del sistema de regadío	16
1.3. Descripción de los equipos	17
1.3.1. Maquinaria utilizada	17
1.3.2. Tipos de válvulas utilizadas	24
1.3.3. Instrumentos de medición	28
1.4. Problemática del proceso de mantenimiento	30
CAPÍTULO 2: JERARQUIZACIÓN DE EQUIPOS Y ANÁLISIS DE FALLAS	31

2.1.	Análisis de criticidad	32
2.1.2.	Matriz cualitativa de riesgos	35
2.2.	Intención del diseño del sistema	37
2.3.	Enfoque del plan de mantenimiento	38
2.4.	Fallas funcionales y deficiencias en la mantención de los equipos críticos	39
2.4.1.	Bomba sumergible	39
2.4.2.	Válvulas de aire	40
2.4.3.	Bombas superficiales	41
2.5.	Análisis de fallas Causa-Efecto diagrama de Ishikawa	42
2.5.1.	Implementación del diagrama Causa-Efecto en la bomba sumergible	43
2.6.	Metodología de los 5 ¿Por qué?	44
2.6.1.	Implementación del análisis Causa-Raíz de los 5 ¿Por qué? a la bomba sumergible por operación forzada	45
2.7.	Implementación del diagrama de Ishikawa para las válvulas de aire	46
2.8.	Análisis de modo de falla Efecto y Criticidad (AMFEC)	48
2.8.1.	Intención del diseño	48
2.8.2.	Análisis funcional (SIPOC) de la bomba sumergible	49
2.8.3.	Análisis de modos de falla de la bomba centrífuga	50
2.8.4.	Efectos y Consecuencias	53
2.8.5.	Seguridad, Ocurrencia y Detección	53
2.8.6.	Organización de valores obtenidos	57
	CAPÍTULO 3: PLANIFICACIÓN DEL MANTENIMIENTO	58
3.1	Elección de una bomba sumergible	59
3.1.1.	Parámetros a considerar	59
3.2.	Requisitos necesarios para cada pozo	60
3.3.	Selección de la bomba	61
3.3.1.	Pozo N°1	62
3.3.1.1.	Elección de la bomba	65
3.3.2.	Pozo N°2	65
3.3.2.1.	Elección de la bomba	68

3.3.3.	Pozo N°3	68
3.3.3.1.	Elección de la bomba	71
3.4.	Mantenimiento enfocado en metodología RCM	73
3.4.1.	Elementos críticos de la bomba sumergible	73
3.4.2.	Diagrama de decisiones RCM	74
3.4.3.	Hoja de trabajo RCM	77
3.4.4.	Tareas de inspección cíclicas propuestas para los equipos Críticos	79
3.4.5.	Modelo de planificación del mantenimiento a los equipos críticos	80
3.4.5.1.	Sustitución de rodamientos y sello mecánico	81
3.5.	Pautas de trabajo y Check List	84
3.5.1.	Pautas de trabajo	84
3.5.2.	Check List	85
3.6.	Análisis de planificación del mantenimiento	86
3.7.	Factibilidad Técnica-Económica del plan de mantenimiento.	86
3.7.1.	Flujo de caja	89
	CONCLUSIÓN	90
	BIBLIOGRAFÍA	91

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1	Organigrama de personal de la empres
Figura 1-2	Diagrama de bloques del sistema de regadío
Figura 1-3	Foto de una de las bombas centrifugas del fundo
Figura 1-4	Foto de uno de los motores eléctrico del fundo
Figura 1-5	Referencia de una bomba sumergible
Figura 1-6	Referencia de un motor sumergible

Figura 1-7 Referencia de un filtro utilizado en la agrícola

Figura 1-8 Foto de los tableros eléctricos de la caca de control de las bombas sumergibles

Figura 1-9 Foto del programador utilizado en el fundo

Figura 1-10 Sistema de partida lenta de las bombas

Figura 1-11 Válvulas eléctricas por solenoide utilizadas en el fundo

Figura 1-12 Válvulas de aire con falla funcional en las instalaciones

Figura 1-13 Válvula de paso (Mariposa) utilizada

Figura 1-14 Referencia de la Válvula de compuerta utilizada en el fundo

Figura 1-15 Válvula de bola utilizada para cebar las bombas

Figura 1-16 Válvula de retención en la salida del flujo de la bomba

Figura 1-17 Foto de un manómetro de las instalaciones

Figura 1-18 Foto de un caudalímetro de las instalaciones

Figura 2-1 Diagrama de Ishikawa implementado a las bombas sumergibles

Figura 2-2 Diagrama de Ishikawa implementado a las válvulas de aire

Figura 2-3 Representación gráfica de la sala de máquinas N°1 del fundo

Figura 3-1 Perdidas de caudal propias de una bomba

Figura 3-2 Información de bombas centrifugas 30-100 m³/h

Figura 3-3 Diagrama Q-H bombas 30-100 m³/h

Figura 3-4 Información de bombas centrifugas 28-80 m³/h

Figura 3-5 Diagrama Q-H bombas 28-80 m³/h

Figura 3-6 Información de bombas centrifugas 29-60 m³/h

Figura 3-7 Diagrama Q-H bombas 29-60 m³/h

Figura 3-8 Diagrama de decisiones RCM (H, S, E)

Figura 3-9 Diagrama de decisiones RCM (O Y N)

Figura 3-10 Pautas de mantenimiento en bombas centrifugas

Figura 3-11 Check list de tareas efectuadas

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1	Frecuencia de fallas
Tabla 2-2	Impacto operacional
Tabla 2-3	Flexibilidad operacional
Tabla 2-4	Costos de mantenimiento
Tabla 2-5	SAH Seguridad, Ambiente e Higiene
Tabla 2-6	Valores de riesgo obtenidos
Tabla 2-7	Matriz de riesgos
Tabla 2-8	Función, Fallas funcionales y Modos de falla
Tabla 2-9	Criterio de evaluación SOD
Tabla 2-10	Evaluación Efectos de falla y SOD
Tabla 2-11	Criticidad de Modos de falla
Tabla 3-1	Información condiciones de uso bombas centrifugas
Tabla 3-2	Hoja de trabajo RCM
Tabla 3-3	Realización de acciones del mantenimiento
Tabla 3-4	Tareas de mantenimiento cíclico.
Tabla 3-5	Flujo de caja de la planificación de mantenimiento

SIGNIFICADOS, SIGLAS Y SIMBOLOGÍAS

SIGNIFICADOS

Matriz: Tubería principal por donde circula un fluido.

Equipo crítico: equipo el cual posee un alto impacto en una instalación ya sea económica o operacional.

Nivel estático: Medición que se realiza cuando el pozo está a su máximo nivel.

Nivel dinámico: Nivel del agua con la bomba en funcionamiento

Caudal nominal: Capacidad de flujo para la que fue diseñada una bomba.

Disponibilidad Operacional: Representa el porcentaje de tiempo que el equipo está disponible para operar.

SIGLAS

MTTR: Tiempo medio de mantenimiento correctivo (tiempo promedio entre fallas)

MTBF: Tiempo medio entre fallas.

MTBM: Tiempo medio entre mantenimientos (programados y no programados)

MTM: Tiempo promedio de paradas (programadas y no programadas)

AMFEC: Análisis de modos de falla, efectos y consecuencias.

NPSH: Por sus siglas en ingles Net Positive Suction Head

RCM: Mantenimiento centrado en confiabilidad.

TPS: Total production sistema

AMFE: Análisis Modal de Fallos y Efectos

SIMBOLOGÍAS

Ha: Hectárea

Pa: Pascal

Hrs: Horas

(m³/h): Metros cúbicos sobre hora

(l/s): Litros por segundo

Q: Caudal

H: Altura

HP: Horsepower (caballos de fuerza)

kW: Kilo watt

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de Riego Tecnificados son una propuesta que se está implementando en nuestro país y en todo el mundo, debido a la alteración que está produciendo el calentamiento global en el ciclo del agua, esto ha producido cambios tales como: el derretimiento de glaciares, caída de abundante agua en ciclos breves y particularmente en algunas regiones de nuestro país; una escases hídrica. Esta gran alteración que se ha producido en el ciclo hídrico ha generado que la agricultura se haya visto enormemente afectada debido a las condiciones extremas en las que se deben realizar los cultivos. En consecuencia se ha vuelto indispensable el controlar variables tales como la humedad de la tierra, la temperatura del agua, la evaporación, etc. que nos permite mantener un cultivo sano y fuerte.

Las agrícolas que operan con un riego tecnificado buscan aprovechar al máximo los recursos hídricos de cada localidad y darle la mayor eficiencia posible mediante equipos industriales y tecnologías de control, estos últimos pueden regular variables fundamentales para cada cultivo y conocer las necesidades particulares de cada zona. Este nuevo tipo de cultivos puede llegar a reducir el gasto hídrico en hasta un 35% y llegar a valores aún más altos mediante telemetría, que no solo nos permite saber cuándo regar, sino que también cuánto y donde. La implementación de este tipo de riegos se ha vuelto indispensable para mantener un desarrollo sustentable en la agricultura, que hoy en día se sabe que consume hasta el 75% del agua dulce del planeta

Debido a este creciente aumento en los cultivos tecnificados por razones climáticas, es que ha surgido la necesidad de mantener equipos industriales tales como: electrobombas, filtros, electroválvulas etc. (que en la agricultura del pasado casi no eran implementados o simplemente no se utilizaban) pero que bajo las circunstancias actuales es de menester tener los equipos en condiciones óptimas para el trabajo y también en obtener personal capacitado para el control de los procesos de riego, esto genera una línea de primera necesidad en cuanto al mantenimiento industrial se trata.

OBJETIVO GENERAL

- Elaborar una propuesta de “Plan de Mantenimiento Preventivo” a los equipos del sistema de riego del fundo San Ignacio, mediante la implementación de la metodología RCM y diversas herramientas de gestión del mantenimiento, con el fin de aumentar la confiabilidad de los activos y reducir costos mediante una prevención en las fallas.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Recopilar los Antecedentes de los equipos del Fundo San Ignacio, mediante información otorgada por operarios e historial de la empresa, con el fin de evaluar su función e impacto dentro del proceso.
- Realizar una jerarquización los equipos del sistema de regadío por medio de la matriz de criticidad y técnicas de gestión del mantenimiento, para reconocer sus modos de falla, efectos y consecuencias.
- Desarrollar la planificación del mantenimiento para los equipos del sistema, en función de la Técnica RCM y evaluar su factibilidad técnica-económica.

CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES DE LA EMPRESA

1. ANTECEDENTES GENERALES.

1.1. Descripción de la empresa.

1.1.1. Entidad.

Este trabajo de título se realizara con un enfoque en el Fundo San Ignacio de la Empresa Valle Del Norte S.A el cual está Localizado en la calle san Ignacio, Localidad de Alicahue, Comuna de Cabildo, Región de Valparaíso

Este fundo se dedica al rubro de la agricultura, particularmente al cultivo de árboles frutales de 3 tipos, Paltos, Mandarinos y Naranjos, la mayor parte de la producción de fruta es exportada a los clientes del extranjero (alrededor de un 90%) y un muy bajo porcentaje (alrededor de un 10%) se transporta al territorio nacional.

1.1.2. Visión y preceptos.

Obtener productos de primera calidad mediante la agricultura comandada por riego tecnificado, para tener la mayor eficiencia hídrica dentro del proceso.

Para garantizar la calidad del producto que posteriormente será exportado, utilizan diversos sistemas para el monitoreo constante y un sistema de riego poco invasivo que pueda dañar la fruta o afectar su calidad.

1.1.3. Características del fundo.

El Fundo San Ignacio consta de 540 ha, aproximadamente para sus propósitos de cultivo, donde 449,7 ha. Corresponden a monte nativo, 82,3 ha. A terreno cultivado y 8 ha. A caminos de comunicación dentro del fundo. De las 82,3 ha. cultivadas 58 ha. corresponden a Paltos; 14,25 ha. a Mandarinos y 10,05 ha. son Naranjos.

El fundo Utiliza un riego Tecnificado por goteo para proteger la calidad del producto y aumentar al máximo la eficiencia hídrica del proceso, esto debido a que la localidad de Alicahue en los últimos años ha presentado una severa sequía. Debido a esto el agua que se utiliza para el riego, debe ser extraída de napas subterráneas, ya que las aguas superficiales existentes hoy en día son muy escasas.

Del cultivo se obtiene una muy buena calidad de fruta, esta es exportada al extranjero a diversos clientes internacionales, debido a la calidad requerida por los compradores extranjeros, la fruta debe pasar una rigurosa gestión de calidad antes de ser comercializada.

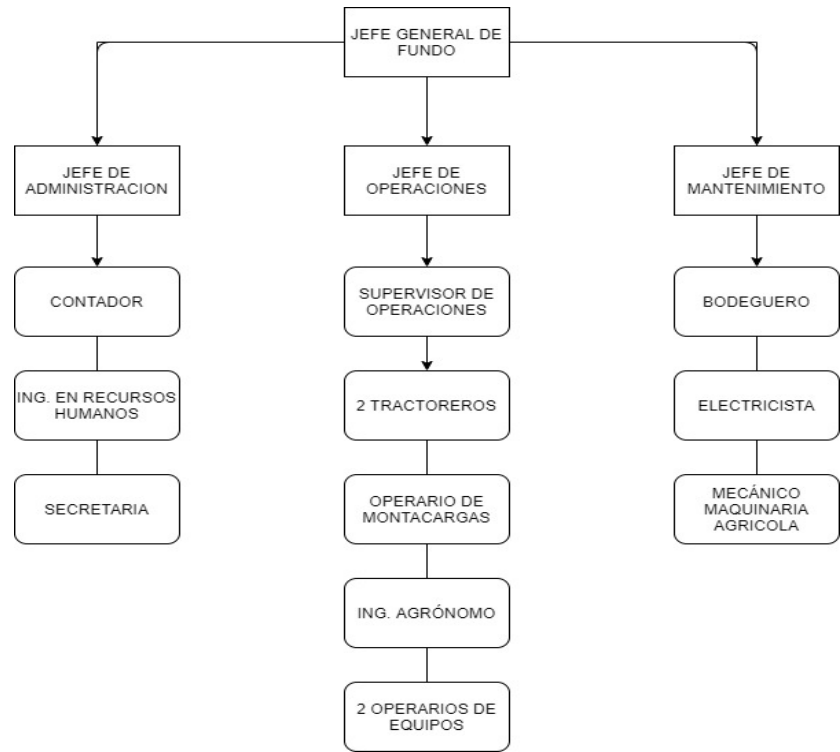
1.1.4. Implementación del riego tecnificado.

Hasta 1996 la metodología utilizada para regar los campos en el Fundo San Ignacio era mediante un riego autónomo por aspersión, pero esta metodología traía algunas complicaciones; la fruta no cumplía ciertos estándares de calidad para ser exportada, ya que esta metodología de riego no solo regaba los suelos, sino que también el rocío caía en todo el árbol, incluyendo la fruta. Debido a que el fertilizante era disuelto en el agua con la que los aspersores regaban el cultivo, este se depositaba constantemente en la fruta durante todo su crecimiento.

Por causa de las altas concentraciones de fertilizantes que eran encontradas en la fruta cuando se les realizaba la inspección de calidad y debido a la geografía del lugar (gran cantidad de cerros y escasas hídrica), en 1996 se decide implementar un riego tecnificado por goteo, que elimino completamente el fertilizante que se encontraba en la fruta, permitió una mayor jerarquización de las aguas y amplio en gran medida el alcance geográfico del riego

1.1.5. Organigrama de recursos humanos.

Para comprender la capacidad laboral de la empresa, así como realizar un análisis causa raíz de forma precisa de los equipos, se analiza la variable humano que puede determinar directamente la calidad de la mantención y el énfasis que pone la empresa en ella.

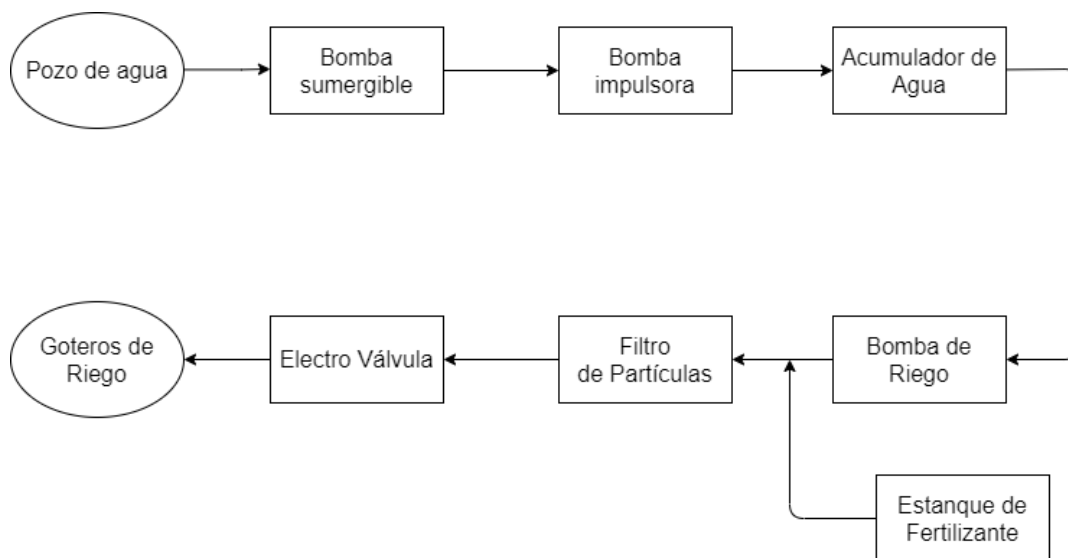


(Figura 1-1) Elaboración propia a partir de recopilación de antecedentes del personal

1.2. Principio de funcionamiento del sistema de regadío actual.

Para realizar un plan de mantenimiento eficiente sobre un proceso, es de vital importancia conocer cómo funciona. En este punto se presenta el sistema de riego Tecnicado utilizado en la agrícola San Ignacio para ser utilizado como una herramienta de análisis a la hora de jerarquizar los equipos del sistema.

1.2.1. Diagrama de bloques del sistema de regadío.



(Figura 1-2) Elaboración propia a partir de planos estructurales.

1.3. Descripción de los equipos.

1.3.1. Maquinaria utilizada.

Bomba Centrifuga.

Este tipo de bomba es utilizada para extraer agua de un pozo o acumulador, para posteriormente ser movilizada al lugar donde esta se requiera, estas siempre funcionan de manera rotativa, donde la energía mecánica es transformada a energía cinética que moviliza el fluido.



(Figura 1-3) Elaborada a partir de equipo de fundo San Ignacio.

Especificaciones Técnicas:

- Marca= VOGT S.A.
- Columna de Agua= 42 m.c.a.
- Caudal= 100 m³/h.
- RPM= 2900

Motor Eléctrico Trifásico.

La función principal es generar el movimiento giratorio del alabe de la bomba centrífuga que será el encargado de movilizar el agua a una cierta presión.



(Figura 1-4) Elaborada a partir de equipo de fundo San Ignacio.

Especificaciones Técnicas

- Marca: WEG.
- Potencia: 20 HP.
- RPM: 2910.
- Conexión en triangulo: 380 V; 20.6 A. 27 A
- Conexión estrella: 660 V; 11.9 A. 15.5

Bomba Sumergible.

Este equipo consta de una bomba sumergible y un motor eléctrico formando una unidad cerrada. Su función principal dentro del sistema es extraer el agua que se encuentra en los pozos a más de 80 m de profundidad por medio de los diversos impulsores que posee la bomba.



(Figura 1-5) <https://www.equipozo.com/cri>

Especificaciones Técnicas

- Marca: CRI.
- Modelo: S8S 78/12.
- Caudal nominal: 78 m³/h.
- Columna de agua: 154 m.c.a.
- Diámetro nominal: 8"

Motor Electrico Sumergible.

Este equipo viene acoplado y sellado desde fabrica con la bomba sumergible y su función principal es transformar la energía eléctrica en energía mecánica para hacer girar los alabes de la bomba.



(Figura 1-6) <https://www.equipozo.com/cr>

Especificaciones Técnicas

- Marca: Franklin Electric.
- Potencia: 45 kW o 60 HP.
- Rpm: 2910 a 3525.
- Conexión: Triangulo.

Filtro de Agua.

Este elemento del sistema es el encargado de limpiar todo tipo de impurezas que estén siendo transportadas en el circuito de riego, además de limpiar los posibles elementos obstruyentes que pueden aparecer al ser integrado el fertilizante a la matriz de riego. Esto evita que las electro válvulas del sistema se puedan ver dañadas, o por otro lado los goteros de riego se vean obstruidos por impurezas.



(Figura 1-7)

Especificaciones Técnicas.

- Marca: Yamit ELI.
- Tipo: Semi Automático.
- Modelo: AF200 y SA500C
- Grado de filtración: Desde 80 micras
- Presión máxima: 10 bar

Tablero Eléctrico.

Este aparato eléctrico es capaz de medir constantemente el voltaje y la corriente del motor eléctrico, de esta forma se puede saber si el equipo está funcionando de manera óptima, o si es necesario que se realice un monitoreo del sistema o del aparato.



(Figura 1-8) Elaborada a partir de equipo de fundo San Ignacio.

Programador de Parcela.

Mediante este equipo se puede controlar la cantidad y el tiempo de riego que necesite el cultivo, lo que facilita en gran medida este trabajo y lo vuelve mucho más preciso. El cultivo total es dividido en estaciones de Riego.



(Figura 1-9) Elaborada a partir de equipo de fundo San Ignacio.

Especificaciones Técnicas:

- Nombre: Programador Proline.
- Marca: Weathermatic.
- Alcance de control: 4 válvulas (ampliable hasta 48).

Sistema de Control Eléctrico.

Es un sistema digital que permite el arranque suave para los motores eléctricos, esto evita daños y sobre calentamientos, también monitorea constantemente el funcionamiento de los equipos y proporciona una protección a todo el sistema.



(Figura 1-10) Elaborada a partir de equipo de fundo San Ignacio.

Especificaciones Técnicas:

Nombre: VLT Soft Started MCD 500.

Marca: Danfoss.

Alcance: 8 kW a 800 kW.

Tensión de red: 200 – 525 V CA o 380 -660 V CA.

1.3.2. Tipos de Válvulas Utilizadas

Electro Válvulas.

Este elemento recibe la señal del programador de riego por medio de un solenoide y este permite el paso de un cierto caudal enviado por la bomba centrifugas, que es dirigido hacia un sector predeterminado del cultivo (este elemento es comandado por solenoide).



(Figura 1-11) Elaborada a partir de equipo de fundo San Ignacio.

Válvula de aire (sistema de venteo)

Las válvulas de aire o ventosas son de vital importancia en cualquier sistema de transporte de fluido. Es un elemento principalmente de protección y su función es la de retirar el aire que circula por las tuberías del sistema de riego.



(Figura 1-12) Elaborada a partir de equipo de fundo San Ignacio.

Válvulas de Apertura Mariposa

Tienen como principal objetivo dentro del fundo regular el paso del agua enviada por la bomba a través de la matriz y dar la presión adecuada para el riego de cada sector de cultivo.



(Figura 1-13) Elaborada a partir de equipo de fundo San Ignacio.

Válvulas de Compuerta.

Son válvulas encargadas de dar el paso de agua en la matriz principal y poder regular la cantidad de agua que queremos que sea propulsada por la bomba.



(Figura 1-14) Elaborada a partir de equipo de fundo San Ignacio.

Válvula de bola.

Esta válvula es utilizada cuando el sistema de la bomba pierde toda el agua de su interior debido a fugas o mantención. Debido a esto es necesario volver a llenar la bomba con agua, para que la bomba pueda producir la suficiente diferencia de presión para succionar el agua del acumulador.



(Figura 1-15) Elaborada a partir de equipo de fundo San Ignacio.

Válvula de Retención.

La válvula de retención es de suma importancia para las bombas del sistema, ya que permite que el agua circule solo en la dirección que la bomba impulsa y evita que la columna de agua se devuelva al estanque o la bomba y produzca daños al equipo.



(Figura 1-16) Elaborada a partir de equipo de fundo San Ignacio.

1.3.3. Instrumentos de medición.

Manómetro:

Con este instrumento se mide la presión de la matriz y de las cañerías del sistema de riego, con el fin de mantener la presión óptima del sistema y el correcto funcionamiento de los equipos.



(Figura 1-17) Elaborada a partir de equipo de fundo San Ignacio.

Caudalímetro:

Este instrumento es el encargado de medir el paso del agua por la matriz, con este instrumento se sabe el agua que se está retirando de los pozos y el que está llegando al acumulador de agua.



(Figura 1-18) Elaborada a partir de equipo de fundo San Ignacio.

Medidor de PH:

Con este aparato podemos medir la acides que hay en la tierra del cultivo debido la integracion del fertilizante y demas elemento que son disueltos en el agua, de esta forma se sabe si se estan adiriendo las cantidades apropiadas.

1.4. Problemática del proceso de mantenimiento.

La administración dueña del fundo funciona principalmente con un mantenimiento correctivo de los equipos, debido a que algunos equipos tienen un gran costo de mantenimiento y MTBF altos como lo son las bombas sumergibles, se debe realizar una gran labor para extraer las bombas y realizar el mantenimiento correspondiente, así se verán otros equipos de alto impacto pero que se les da muy poca importancia por parte de los encargados, como lo son las válvulas de aire, ya que si estos aparatos fallan se pueden producir diversos daños y detenciones del sistema, como puede ser la explosión de una matriz debido a las altas presiones o el desgaste de los equipos de bombeo.

En el análisis y el cuidado de los activos que se tiene se puede ver un sistema con gran falta de monitoreo por parte de personal especializado, debido a que principalmente los encargados de esta labor son trabajadores con falta de capacitación en el rubro del mantenimiento, como se pudo apreciar en la organización laboral de la empresa, solo se cuenta con un mecánico que realiza visitas esporádicas al fundo y que principalmente son debido a la corrección de fallas funcionales de los equipos y elementos del sistema.

El fundo San Ignacio tiene ciertos derechos de agua establecido para cada pozo; por ejemplo, el pozo N°1 puede extraer 21 l/s, el pozo N°2 16 l/s y el N°3 tiene derecho para 12 l/s por lo que se les permite extraer solo esa cantidad de agua, debido a la falta de planificación y organización por parte de la empresa, las bombas sumergibles utilizadas en cada uno de los pozos son de modelo estándar, lo que quiere decir que sus capacidades de extracciones son igual en todos los pozos, esto provoca que los encargados tengan que verse obligado a bloquear el caudal de estas mediante una válvula de paso, por lo que las bombas no trabajan en condiciones óptimas, sino que funcionan con una operación forzada.

CAPÍTULO 2 : JERARQUIZACIÓN DE EQUIPOS Y ANÁLISIS DE FALLAS

2. Jerarquización de los equipos y análisis de fallas.

2.1. Análisis de criticidad.

Al realizar la jerarquización de los equipos se busca dirigir de la manera más eficiente los esfuerzos y recursos de una empresa, para esto debemos conocer en primera instancia cual o cuales son los equipos más críticos del proceso. Con el fin de posteriormente poder efectuar el mantenimiento más apropiado a los elementos de dicho sistema,

Para realizar la medición de la criticidad de los equipos (en primera instancia), se utiliza la Matriz cualitativa de riesgo, la cual entrega valores ponderados para la Frecuencia de falla y las Consecuencia que tienen estos para la empresa, esta última es extraída a través de otras variables de importancia como la flexibilidad operacional, costo de mantenimiento, seguridad, higiene y ambiente e impacto operacional.

La fórmula utilizada en la Matriz cualitativa de riesgo para obtener la criticidad de los equipos es la siguiente:

$$\text{RIESGO} = \text{FRECUENCIA DE FALLAS} * \text{CONSECUENCIA}$$

Frecuencia de Fallas: Este valor representa la cantidad de fallas operacionales ocurridas en cada equipo en los últimos 5 años, estos valores se extrajeron de los historiales de falla de la empresa y mediante información proporcionada por los encargados del sistema.

A partir de la consideración de fallas obtenidas a partir de todos los equipos del sistema, se realiza la siguiente tabla para ponderar dichos valores.

Frecuencia de Fallas	Ponderación
Mayor a 10 fallas/ 5 años	8
Entre 6 y 10 fallas/ 5 años	6
Entre 2 y 6 fallas/ 5 años	4
Menor a 2 falla/ 5 años	2

(Tabla 2-1) Elaboración propia.

La Consecuencia; que quiere decir la relevancia que tienen para la empresa que un determinado equipo del sistema falle, se obtiene de la siguiente manera:

$$\text{CONSECUENCIA} = (\text{IO} * \text{FO}) + \text{CM} + \text{SAH}$$

Donde:

IO = Impacto Operacional: Representa el impacto que provocaría una falla del equipo dentro del proceso, ya que en nuestro caso corresponde a una empresa de riego, este se medirá en porcentaje (%) de detención del sistema de regadío que puede provocar la falla del elemento. Estos valores se ponderaran de la siguiente manera. (Tabla 1-2)

Impacto Operacional	Ponderación
Parada inmediata del sistema.	8
Se detiene un 50%	6
Se detiene un 25%	4
No genera ningún efecto Sobre el sistema.	1

(Tabla 2-2) Elaboración propia.

FO = Flexibilidad Operacional: Este valor corresponde al tiempo que tardaría la empresa en reparar la falla del equipo u elemento del sistema, en este punto se tuvo que considerar el personal disponible y los tiempos anteriormente utilizados para reparar los equipos. Debido a la

importancia de mantener un riego constante de los cultivos, la detención del sistema es de suma importancia para la empresa.

Flexibilidad Operacional	Ponderación
La reparación es mayor a 12 h	7
La reparación dura de 4 a 12 h	5
La reparación dura de 30 min a 4 h	3
La reparación es menor a 30 min	1

(Tabla 2-3) Elaboración propia.

CM = Costo de Mantenimiento: Corresponde al valor total que se necesita para realizar la reparación del activo u elemento del sistema, este cubre tanto el valor de la mano de obra como el de los repuestos o equipos. En este punto se consideró el valor de los activos, como también el valor de la mano de obra. (Tabla 1-4)

Costo de Mantenimiento	Ponderación
Mayor a 1.000.000 CLP	14
de 150.001 CLP a 1.000.000 CLP	10
De 40.000 CLP a 150.000 CLP	6
Menor a 40.000 CLP	2

(Tabla 2-4) Elaboración propia.

SAH = Impacto en Seguridad, Ambiente e Higiene: Hace referencia al daño que puede producir un falla de un determinado equipo, tanto al personal humano, medio ambiente como a las instalaciones, para ponderar este punto nos enfocamos principalmente en los accidentes ocurridos con anterioridad y en información de riesgos técnicos.

Impacto SAH	Ponderación
Afecta la seguridad humana y/o el Medio ambiente	20
Afecta gravemente las instalaciones.	12
Produce daños menores en las instalaciones y/o accidentes leves	6
No produce impacto	1

(Tabla 2-5) Elaboración propia.

2.1.2. Matriz cualitativa de riesgos.

Ya con los parámetros establecidos por la matriz cualitativa de riesgos y tomados como valores los historiales de falla, se puede proceder a efectuar la categorización de los elementos y equipos que componen el sistema de regadío.

Esta jerarquización de los equipos y elementos del sistema es categorizado en 3 zonas, los equipos críticos, importantes y prescindibles. Al efectuar esta organización de los activos, se logra tener una apreciación más clara acerca del proceso y del plan de mantenimiento que posteriormente se efectuara.

Equipos del sistema	F.F	I.O	F.O	C.M	S.A.H	Total
Bomba sumergible.	4	8	7	14	12	328
Válvulas de Aire	8	4	3	6	20	304
Bombas superficiales.	6	6	5	10	6	276
Filtros de agua.	6	4	5	10	6	216
Electro válvulas.	8	4	3	6	6	192
Motores eléctricos trifásicos.	4	6	5	10	6	184
Válvulas de retención.	4	6	3	10	6	136
Válvulas de paso (compuerta).	2	8	3	6	12	84
Programador.	2	4	5	10	1	62
Válvulas de paso (mariposa).	2	4	1	2	12	36
Tableros eléctricos.	4	1	3	6	1	20
Válvulas de cebado (bola).	2	1	1	2	1	8

(Tabla 2-6) Elaboración propia a partir de matriz cualitativa de riesgos.

Una vez realizada la ponderación de los valores bases adquiridas de los historiales de la empresa y experiencia de los trabajadores, son introducidos en la matriz cualitativa de riesgo, la cual entregara la categorización descriptiva de los equipos.

FRECUENCIA	8		ELECTRO VÁLVULAS	VÁLVULAS DE AIRE			
	6			FILTROS DE AGUA	BOMBA SUPERFICIAL		
	4	TABLERO ELECTRICO		VÁLVULAS DE RETENCIÓN	MOTOR SUPERFICIAL TRIFASICO		BOMBA S.
	2	VÁLVULA DE BOLA	VÁLVULA MARIPOSA	VÁLVULA DE COMPUERTA			
		0-15	16-30	31-45	46-60	61-75	76-90
		CONSECUENCIA					

(Tabla 2-7) Elaboración propia proveniente del estudio de la matriz cualitativa de riesgos.

Por medio de la implementación de la matriz cualitativa de riesgo se logran categorizar los equipos presentes en el sistema de regadío del fundo en 3 grupos (Críticos, Importantes y Prescindibles), dichos equipos y elementos son organizados en base a diferentes variables cuantitativas obtenidas de los historiales de la empresa, y en base a dichos valores se logró jerarquizar según su criticidad dentro del proceso. Con esta jerarquización de los equipos se facilita la toma de decisiones enfocadas en la mejora de la confiabilidad del sistema de regadío.

Los resultados obtenidos por la matriz cualitativa de riesgo se aprecian en 3 colores diferentes para cada grupo, los equipos que aparecen en el sector de color rojo son los **Equipos Críticos** que requieren la mayor atención y/o un mantenimiento inmediato, ya sea por su cantidad de fallas y/o su impacto dentro del proceso; el siguiente grupo (color amarillo) corresponde a los **Equipos Importantes**, los cuales tienen un impacto dentro del sistema pero no en grandes

magnitudes, aunque de igual forma deben ser inspeccionados si los recursos y el tiempo lo permiten; y por ultimo tenemos el grupo de los **Equipos Prescindibles**, estos equipos prácticamente no producen fallas ni dañan las instalaciones.

2.2. Intención del diseño del sistema.

Este sistema fue fabricado para extraer agua de pozos subterráneos o napas subterráneas, con el fin de ser transportadas hasta el lugar donde se encuentran los cultivos. Para realizar esta tarea participan una serie de equipos, los cuales fueron descritos en el capítulo anterior.

Primero tenemos la extracción del agua que es realizada a unos 87 metros de profundidad por las BOMBAS SUMERGIBLES. Estos equipos trabajan la mayor parte del tiempo para abastecer constantemente el cultivo. Una vez extraída el agua por las BOMBAS SUMERGIBLES estas pasan DIRECTAMENTE a la matriz principal donde participan las VALVULAS DE COMPUERTA (para dar paso al agua circundante), un CAUDALIMETRO (para la medición del agua extraída) y las VALVULAS DE AIRE (para retirar el aire que se absorbe y genera dentro de la matriz), si este aire no es retirado puede generar grandes problemas a los equipos y al sistema en sí), una vez el agua dentro de la matriz, esta circula hasta los acumuladores de agua (que se encuentran a unos 200 m de distancia) con ayuda de una BOMBA SUPERFICIAL (60 hp) que reimpulsa el agua de la matriz que proviene de las BOMBAS SUMERGIBLES. Esta agua es depositada en un acumulador de agua a unos 42 l/s. De este acumulador se abastecen 4 BOMBAS SUPERFICIALES (que riegan 4 sectores cada una) y una BOMBA SUPERFICIAL (que transporta el agua del acumulador principal a un acumulador secundario). Las bombas se activan mediante el PROGRAMADOR (activación automática) o mediante el TABLERO ELECTRICO (activación manual).

Cuando el agua es extraída por las BOMBAS SUPERFICIALES entran a otra matriz en las que participan: las VALVULAS DE RETENCION (antes y después de circular el agua por la bomba), VALVULAS DE MARIPOSA (da paso al agua necesaria que se necesita en la salida), VALVULA DE BOLA (para cebar las bombas superficiales) y MANOMETROS (estos son encargados de medir la presión de la matriz).

Una vez pasado el agua por toda la matriz aparecen las ELECTRO VALVULAS, estas interceptan el agua proveniente de la matriz y dependiendo si el solenoide está activado o no, le da el paso al agua o la restringe. Ya que cada bomba proporciona agua a 4 sectores, estos son regados si la electro válvula correspondiente para cada sector, esta activada, en caso contrario si esta válvula es activada pero no se acciona por algún tipo de falla puede producir una sequía en el sector de cultivo o daños al sistema de bombeo.

Por último se tienen los goteros de riego, estos son los encargados de proporcionar en, última instancia, el agua proveniente de los pozos, a cada árbol le corresponde un gotero, por esto es que es sumamente importante monitorearlos.

2.3. Enfoque del plan de mantenimiento

Una vez obtenidos los resultados de la matriz cualitativa de riesgos se pueden extraer los equipos CRITICOS y los equipos IMPORTANTES del sistema de regadío, con esta jerarquización de los equipos realizada, se puede proceder a plantear el procedimiento de análisis de falla de los elementos críticos del proceso.

Se concluye que los equipos CRITICOS del proceso son los siguientes:

- Bombas sumergibles
- Válvulas de aire
- Bombas superficiales

De los equipos IMPORTANTES (semi-criticos) se obtuvieron los siguientes:

- Electro válvulas
- Fil toros de agua
- Motor superficial trifásico
- Válvulas de retención

2.4. Fallas funcionales y deficiencias en el mantención de los equipos críticos.

Debido a las diferentes naturalezas de los equipos CRITICOS que se obtuvieron del sistema de regadío, y en armonía con las políticas internas de la empresa que se emplean en el área de mantención, es que se decidió tomar diferentes perspectivas de análisis de falla para cada caso en específico.

2.4.1. Bomba sumergible

Este equipo tiene una función primordial dentro del proceso como se vio en los párrafos anteriores, debido a políticas de la empresa y condiciones de fabricación, es un equipo al cual no se le realizan mantenciones de ningún tipo, y solo es remplazado cuando se producen fallas funcionales. Los riesgos y costos asociados al mantenimiento son muy altos en comparación a la sustitución completa del activo, debido a que el retirar e instalar el equipo de su lugar de operación (87 m. bajo tierra) posee una gran dificultad.

Debido a las circunstancias expuestas, la mantención en la que nos enfocaremos será principalmente en mejorar la confiabilidad y vida útil del activo, para este propósito es que se decidió utilizar el diagrama de Ishikawa, con el fin de encontrar las problemáticas que disminuyen la vida útil del activo, y en caso de obtener resultados inconclusos, complementar con otro método de análisis de fallas.

2.4.2. Válvulas de aire

Estos equipos cumplen un rol fundamental dentro del sistema de regadío, ya que son los encargados, como su nombre lo indica; de liberar las bolsas de aire localizadas en las tuberías y también absorber aire en las zonas de evacuación para que no se generen vacíos.

Estos elementos principalmente cumplen 3 funciones dentro del sistema:

1. Extracción de las grandes bolsas de aire que se localizan en las tuberías en el momento del llenado de la red. Este funcionamiento que poseen las válvulas de aire evita que el conocido GOLPE DE ARIETE, pueda reventar tanto codos como la cresta de la matriz debido al aire localizado en las tuberías, además de que pueden afectar negativamente el comportamiento de las bombas al obstruir el ojo de succión y provocar principalmente reducción de Head y flujo.
2. Absorción de aire en las zonas del sistema en donde se vacía el fluido, con el fin de evitar que se produzcan vacíos en las tuberías que puedan dañarlas.
3. Liberación del aire que se encuentra disuelto como pequeñas burbujas dentro del fluido. Dicha función de las ventosas evitan que estas pequeñas bolsas de aire produzcan el fenómeno de CAVITACION la cual daña los equipos y elementos del sistema.

Golpe de ariete.

Es un aumento repentino de la presión producido por un cambio abrupto de la velocidad del fluido que se transporta, o debido a un bloqueo en la red del sistema, ya sea por el cierre de válvulas de paso o por grandes bolsas de aire que impidan el paso del fluido, en este último caso, cuando esté aire atrapado en la tubería, se mueve con el agua, puede actuar como un resorte y forzar la flexibilidad de la tubería con muchas y aleatorias compresiones y expansiones.

Este fenómeno se produce debido a que el agua es ligeramente elástica y transporta la energía acumulada en forma de cadena, por ende, cuando se ocasiona un bloqueo inesperado, o un aumento abrupto de la velocidad del caudal, toda la energía del fluido es concentrada en forma de presión en un solo punto, el cual puede llegar a multiplicar por 10 la presión normal del fluido, lo que ocasiona el ruido característico de “Golpe de ariete”.

Cavitación

Se puede definir como “La producción de burbujas de vapor o gas en el seno de un líquido, causada por variaciones de presión que este experimenta”

Es un fenómeno hidrodinámico que se produce cuando la presión del fluido bombeado alcanza valores menores a la presión de vapor del mismo, esto trae como consecuencia que el líquido comience a evaporarse; generando burbujas de vapor, las cuales se desplazan a zonas donde la presión es superior, donde colapsan súbita y violentamente.

La cavitación también se produce en sistemas de conducción de aguas en donde el agua movilizada contiene aire disuelto en su interior -Este proceso depende principalmente de la presión y la temperatura a la que se transporta el fluido, a mayor presión el contenido de aire disuelto en el agua es mayor y a mayor temperatura el contenido de aire disuelto disminuye- en condiciones de bombeo donde existe algún tipo de pendiente en la movilización del fluido se producen variaciones en la presión, las cuales favorecen el la liberación del aire disuelto y la consiguiente formación de bolsas de aire (estas también pueden producirse por la absorción de aire por parte de las bombas). Las bolsas de aire y el aire disuelto en el agua pueden ocasionar entre otros inconvenientes cavitación en los accesorios a causa del estrechamiento que se produce en la sección del tubo y el consiguiente aumento de velocidad del fluido.

2.4.3. Bombas superficiales.

Las bombas centrifugas del sistema son un pilar fundamental en un proceso de riego, ya que son las encargadas de impulsar y movilizar el agua que se encuentra en la red. Estos equipos son sumamente versátiles en cuanto al uso que se les puede dar en diferentes tipos de industria, pero pese a la gran versatilidad que poseen, su vida útil y confiabilidad se ve directamente afectadas por las condiciones en las que operan. Es por esto que bombas centrifugas de la misma marca, características y con el mismo tiempo de uso suelen fallar en tiempos diferentes, esto se debe principalmente a la mecánica de fluidos con la que fue diseñado el sistema y a las practicas mecánicas que se llevan a cabo en la empresa (instalación, operación y mantenimiento).

Es debido a estas variables de suma importancia que cada empresa debe poseer un plan de mantenimiento preventivo propio para sus bombas, de esta manera nos podemos asegurar de que

el mantenimiento se realizara en tiempo y circunstancias óptimas, de forma que podremos evitar un gasto innecesario de recursos, fallas funcionales y por sobre todo aumentar la confiabilidad de los equipos.

Debido a la falta de un programa de mantenimiento preventivo para las bombas centrifugas, es que se utilizara la metodología FMECA con el fin de detectar los Modos de falla, Efectos y Consecuencias en las maquinas.

2.5. Análisis de fallas Causa-Efecto diagrama de Ishikawa.

Para realizar las tarjetas de mantenimiento preventivo en un determinado proceso, es de suma importancia enfocarse en los equipos que necesitan con mayor urgencia ser inspeccionadas y por sobre todo que pueden tener un mayor impacto sobre el sistema. Es por esto que se decidió tomar especial importancia en los equipos CRITICOS del proceso y efectuar un análisis Causa-Efecto de las fallas funcionales que se están produciendo en los equipos del sistema de regadío.

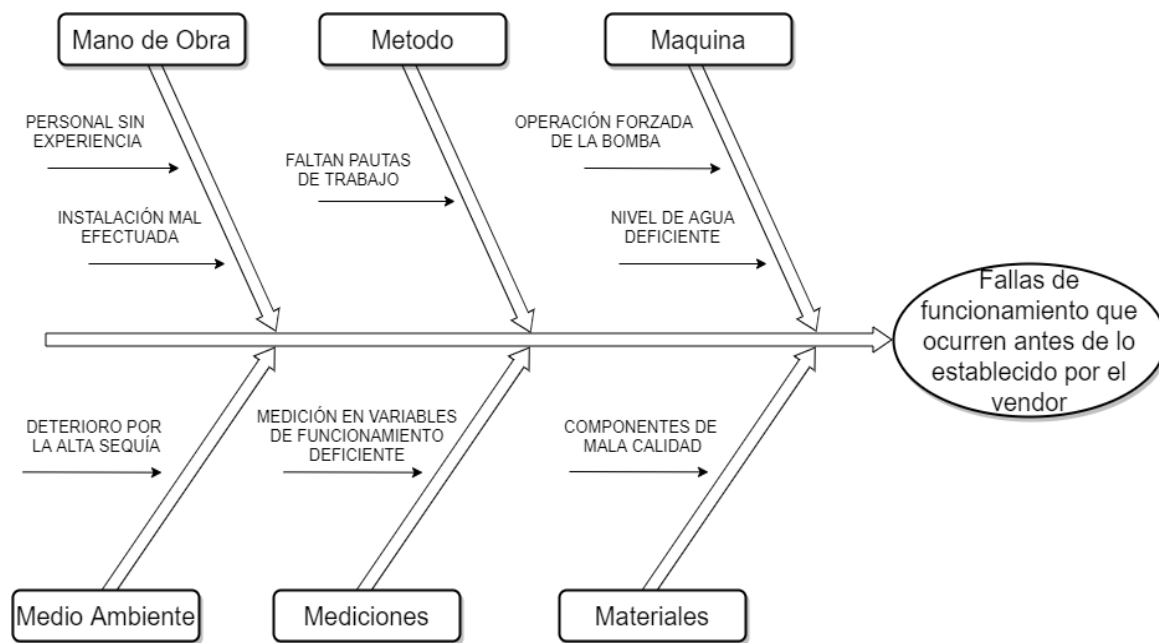
Usualmente llamada diagrama de ISHIKAWA por el hombre que le dio origen; Kaoru Ishikawa, es una metodología utilizada en el área industrial que organiza y postula diferentes teorías para detectar la causa principal de un determinado problema o fallas de un proceso u equipo, aunque hoy en día es utilizado en una multitudinaria cantidad de áreas como la administración o la economía, nació con el fin de dar respuesta a la calidad de procesos.

En el presente trabajo será utilizada la metodología Ishikawa de las 6 M en algunos de los equipos CRITICOS del proceso; esta metodología postula 6 causas principales que pueden ocasionar las fallas funcionales en los equipos (Maquina, Medio ambiente, Método, Medición, Materiales y Mano de obra) de estas 6 causas principales se pueden extraer sub causas que nos ayuden a encontrar la causa principal de la falla.

2.5.1. Implementación del diagrama Causa-Efecto en la bomba sumergible.

De acuerdo a los historiales de falla y a la información proporcionada por los empleados del fundo se pudo detectar que el problema principal que tiene este equipo es el hecho de que la vida útil termina antes de lo que establece el ventor y la práctica de otras empresas. El equipo debería tener una vida útil de 5 años pero por causas que se desconocen el equipo solo alcanza a durar entre 2 y 3 años cuando debe ser cambiado nuevamente.

Debido al alto costo del activo, impacto en el proceso y dificultades para ser cambiado (el activo es desechable, ya que viene sellado desde fábrica y los costos que puede tener realizar un manteniendo programado, supera los valores del activo en sí) solo es sacado del pozo cuando cumple su vida útil y es necesario ser remplazado.



(Figura 2-1) Elaboración propia a partir del estudio del diagrama de Ishikawa.

Conclusiones del diagrama de Ishikawa de la bomba.

Según lo obtenido en el diagrama de ISHIKAWA y mediante la información obtenida a partir del sistema de monitoreo que poseen las bombas del sistema (VLT Soft Started MCD 500), se logró obtener que la causa principal de la falla funcional del equipo se debe al funcionamiento forzado en el que opera dentro de las instalaciones. Debido a esta conclusión y a la naturaleza poco precisa de la causa de la falla, es que se procede a efectuar un análisis de los 5 ¿Por qué? con el fin de encontrar la Causa-Raíz de la falla.

2.6. Metodología de los 5 ¿Por qué?

La técnica de los 5 Porqué es una metodología utilizada para explorar la causa raíz de una determinada falla o problema de un sistema o equipo en particular.

Esta técnica se utilizó por primera vez en Toyota durante la evolución de sus Metodologías de fabricación, que luego culminarían en el Toyota Production System (TPS). Esta técnica se usa actualmente en muchas empresas debido a su fácil acceso y los buenos resultados que se pueden obtener a partir de ella.

Ejemplo

El siguiente ejemplo sencillo nos muestra el uso de este método. Partimos de un postulado:

Mi auto no arranca. (El problema)

¿Por qué no arranca? Porque la batería está muerta.

¿Por qué la batería está muerta? Porque el alternador no funciona.

¿Por qué el alternador no funciona? Porque se rompió la cinta.

¿Por qué se rompió la cinta? Porque el alternador está fuera de su tiempo útil de vida y no fue reemplazado.

¿Por qué no fue reemplazado? Porque no estoy manteniendo mi auto de acuerdo a las recomendaciones del fabricante.

En este ejemplo se podrían utilizar mas enunciados, ya que el caso de los 5 ¿Por qué? solo es un estándar mínimo que se recomienda para dar con la causa raíz del problema o falla.

2.6.1. Implementación del análisis Causa-Raíz de los 5 ¿Por qué? a la bomba sumergible por operación forzada.

Luego de realizar el análisis de Causa-Efecto o comúnmente conocido como diagrama de Ishikawa, se obtuvo que la naturaleza de la causa que provoca que la bomba sumergible falle antes de lo estipulado por el vendor, se debe principalmente al funcionamiento forzado en el que opera el equipo, a dicha causa se le realizara un análisis de los 5 ¿Por qué? o también conocido como Causa-Raíz para encontrar en donde es originada.

Equipo: Bomba Sumergible

Condición: Equipo CRITICO

Función: Movilizar el agua subterránea del pozo hasta la matriz de Riego.

Falla: Sobre esfuerzo en el funcionamiento del equipo.

1- ¿Por qué?

El amperímetro mide corrientes de funcionamiento sobre los valores nominales.

2- ¿Por qué?

A la Bomba sumergible se le está restringiendo el paso del fluido que esta está extrayendo del pozo.

3- ¿Por qué?

El caudal que entrega la bomba al estanque acumulador es mayor que el permitido para las instalaciones.

4- ¿Por qué?

La bomba sumergible que se escogió para extraer el agua del pozo, tiene una capacidad de bombeo mucho mayor a las requeridas.

5- ¿Por qué?

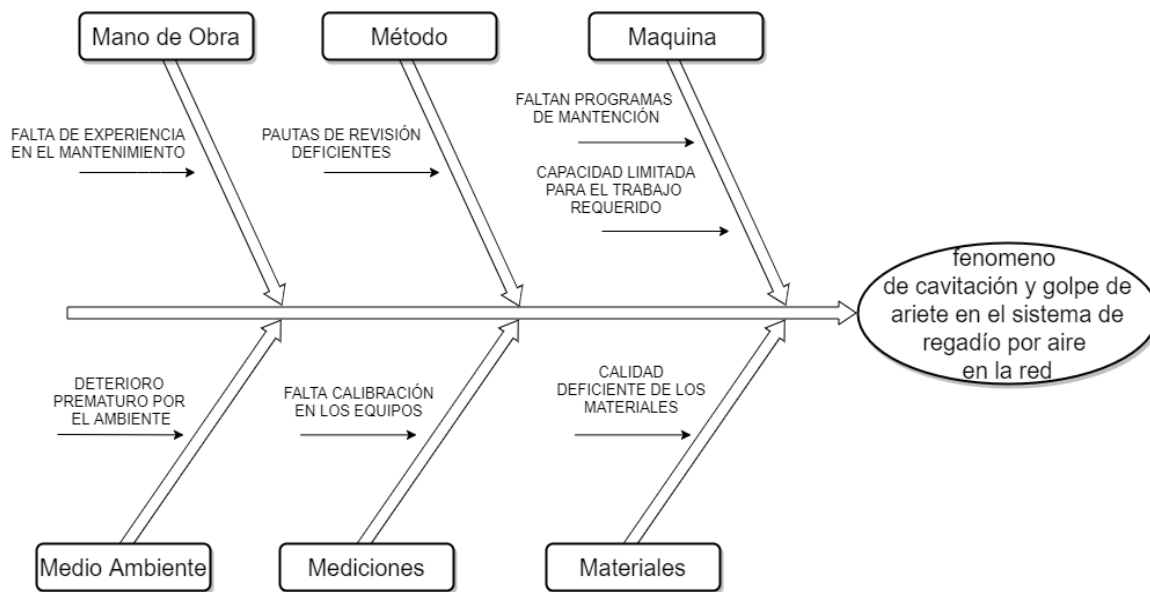
No se analizaron de manera correcta las condiciones de operación en las que trabajaría el equipo, ni se establecieron las capacidades tanto de presión como de caudal que se necesitarían para un funcionamiento óptimo. (Establecer dicho proceso de elección).

Conclusiones del análisis Causa-Raíz

Una vez se realizó el análisis de los 5 ¿Por qué? tomando como premisa el resultado obtenido del diagrama Ishikawa y como complemento la experiencia de los trabajadores de la empresa. Se obtuvo que la Causa-Raíz que daba origen al problema de Sobre esfuerzo en el funcionamiento de la bomba; se debía principalmente a que no se consideraron de manera correcta las condiciones de operación del equipo ni los valores de caudal y presión que debería cumplir. En base a esto se solicita en la planificación del mantenimiento, seleccionar una bomba que cumpla con los requisitos mínimos necesarios para un funcionamiento correcto del equipo en el sistema.

2.7. Implementación del diagrama de Ishikawa para las válvulas de aire.

Con el fin de llevar a cabo un plan de mantenimiento preventivo a las válvulas de aire, el cual se categorizó como equipo crítico en la matriz cualitativa de riesgos; se procede a buscar la principal causa de falla de dichos elementos; que traen como consecuencia la cavitación, golpe de ariete en el sistema, además de otra multitud de problemas para el proceso que se explicaron detalladamente en las “fallas funcionales de los equipos críticos”.



(Figura 2-2) Elaboración propia a partir del estudio del diagrama de Ishikawa.

Conclusiones del diagrama de Ishikawa.

Una vez realizado el diagrama de Ishikawa y en base a los protocolos de mantenimiento de la empresa, la información otorgada por los trabajadores y los registros de falla de los equipos, se pudo concluir que la causa principal que está provocando el funcionamiento deficiente de las válvulas de aire y en consecuencia, la gran presencia de aire dentro de la matriz de riego, es sin duda alguna, la falta de programas de mantenimiento para dichos elementos, a los cuales no se les da mayor énfasis debido a su bajo perfil y “poca relevancia dentro del proceso”. Es por esto que se programa para el siguiente capítulo, establecer un plan de mantenimiento basado en la confiabilidad del elemento, mediante la metodología (RCM), con el fin de mantenerlo en condiciones óptimas de funcionamiento.

2.8. Análisis de modo de falla Efecto y Criticidad (AMFEC)

La planificación de este plan de mantenimiento tiene como principal objetivo incorporar criterios de riesgo y confiabilidad, de manera que además de asegurar un impacto favorable en el rendimiento de los activos, se tenga un aumento en la seguridad del sistema, al disminuir, evaluar y controlar el riesgo. Motivo de esto, se ha empleado un análisis de riesgo, aplicando la metodología de análisis de modos de falla, efectos y criticidad (FMECA o AMFEC) con objeto de identificar los modos de falla, sus efectos y consecuencias tanto en la maquinaria como para el proceso.

Modo de falla se define como “la ocurrencia que impide a un activo desempeñar su función preestablecida, entrando en condición de Falla operacional o funcional”. Dichos modos de falla poseen diversos Efectos en el equipo o síntomas. Las fallas funcionales pueden conllevar a determinadas consecuencias para la empresa por lo que también son evaluados en este tipo de análisis.

Con el fin de realizar el análisis de Modo de Falla, Efecto y Criticidad (FMECA) se decidió establecer primeramente la identificación a través del Análisis de Modo de Falla y Efecto (AMFE) la cual nos entrega información cualitativa, que en combinación con una jerarquización del grado de criticidad de riesgo, es normalmente empleada para la planeación del mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM), ya que nos permite lograr un entendimiento global del sistema, así como del funcionamiento y la forma en la que pueden presentarse las fallas de los equipos.

2.8.1. Intención del diseño.

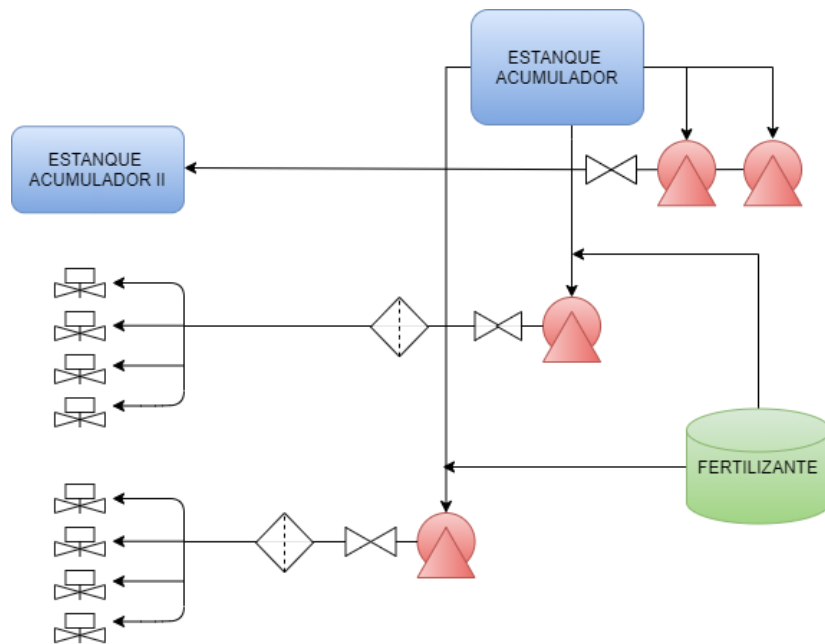
El primer punto al que se le debe dar énfasis a la hora de realizar un análisis FMECA es definir la intención del diseño, este punto es de suma importancia ya que es donde se establecen las condiciones de operación en las que trabaja el sistema y el objetivo con el que fue diseñado, esta etapa primaria del análisis nos ayudara a establecer el segundo punto, el cual consiste en un análisis funcional de la maquinaria dentro del proceso (Véase 2.2. Intención del diseño del sistema).

2.8.2. Análisis funcional (SIPOC) de la bomba centrífuga

En el siguiente diagrama se representa el sistema de bombeo que se tiene en una de las salas de control del sistema de regadío, y que se mantiene por excepción de pequeñas modificaciones inherentes a la funcionalidad de la maquinaria y las características de las mismas. (Figura 2-3)

En el diagrama 2-3 se muestra la funcionalidad que emplean las bombas centrífugas dentro del sistema, primeramente estas se abastecen del acumulador primario, el cual al mismo tiempo es abastecido por las bombas sumergibles y una bomba impulsora. Cada bomba moviliza una cantidad de agua correspondiente a $100 \text{ m}^3/\text{h}$ con una presión nominal de 42 m.c.a. Debido a las características de cada bomba y a las diferentes condiciones de uso en las que operan, se les debe controlar la descarga mediante una válvula de paso (mariposa) como se vio en el capítulo anterior. Dicho control manual en la descarga de la bomba proporciona la presión y el caudal óptimo para que las electro válvulas y sus goteros correspondientes, operen de forma óptima, pero a la vez genera una sobre presión para las bombas, lo cual es negativo para su confiabilidad. Cabe mencionar que los motores con los que opera cada una de las bombas centrífugas, son trifásicos con una potencia de 20 HP, 2910 Rpm y un consumo de 27 A, a una frecuencia de 50 Hz

Como se muestra en la figura 2-1 se puede ver que en la sala de máquinas tenemos 2 bombas que trabajan en serie, esto se debe a que la presión y el caudal necesario que se requiere para abastecer el segundo acumulador no puede ser proporcionado por una sola de las bombas, por lo que se deben colar de esta forma. También se puede visualizar que en este caso tampoco es necesario un filtro (ya que no se moviliza fertilizante, ni existen electro válvulas que se puedan dañadas por la acides del mismo).



(Figura 2-4) Elaboración propia a partir de la sala de maquinas n°1

2.8.3. Análisis de modos de falla de la bomba centrífuga.

Según el análisis funcional del equipo realizado en la sección anterior, se deben definir sus modos de fallas, es decir, la forma en que el activo pierde la capacidad de realizar su función, luego se deben fijar sus efectos, considerados como la forma que la falla se manifiesta, o en otras palabras los síntomas del mismo. Finalmente se deben evaluar las consecuencias que estos modos de falla conllevan en el equipo y para el sistema, para esto, se utilizara el número de prioridad de riesgo (NPR), herramienta basada en el método SOD (severidad, ocurrencia y posibilidad de detección). Todo esto con la idea principal de poder efectuar las acciones de mitigación a cada modo de falla, lo que se traducirá en el próximo capítulo como el plan de mantenimiento efectuado.

Manejar los eventos de en un equipo antes de que ocurran es de vital importancia para un proceso productivo, ya que con esto, se puede prevenir la falla antes de que ocurra, por esto se evalúan los modos de falla relacionados con sus efectos. Para así poder tener un control apropiado de los eventos que pueden llegar a ocurrir en un futuro, a través de esto se busca corregir, anticipar y detectar cada modo de falla que puede tener lugar en el equipo.

FUNCIÓN	FALLAS FUNCIONALES		MODOS DE FALLA	
Movilizar el fluido desde los estanques acumuladores hasta	1.1.	Incapaz de generar presión y flujo.	1.1.1	No hay agua en la bomba.
			1.1.2	Eje cortado.
			1.1.3	Acoplamiento de transmisión suelto.
			1.1.4	Impulsor atascado.
			1.1.5	Rodamientos fundidos o atascados.
	1.2.	Se genera presión en la bomba, pero no bombea líquido.	1.2.1	Línea de succión taponeada.
			1.2.2	Válvula de pie atascada.
			1.2.4	Voluta obstruida.
			1.2.5	Sello mecánico roto
	1.3.	Flujo generado por la bomba deficiente.	1.3.1	Impulsor desbalanceado.
			1.3.2	Sello desgastado o suelto.
			1.3.3	Alabes erosionados por Cavitación.
			1.3.4	Rodamientos desgastados o sin lubricar.
			1.3.5	Bolsas de aire en el sistema.

(Tabla 2-8) Elaboración propia a partir de fallas funcionales y modos de falla en las instalaciones.

2.8.4. Efectos y Consecuencias.

Luego de detectar los modos de falla en el equipo, se procede a efectuar un análisis de los Efectos de falla asociados a cada modo, el Efecto de falla es el que nos permite decidir cuál es la importancia de cada falla, ya que con el podemos saber que acontece cuando un determinado modo de falla se produce (altas vibraciones, alto o bajo consumo, temperaturas altas, malos olores etc.). Con la ayuda de un buen análisis de efectos de falla, podemos detectar con mayor rapidez, y hasta lograr anticiparnos al evento. Con el fin de determinar las acciones prioritarias que se deben tomar para reducir los riesgos de la maquina se utilizara la metodología “Seguridad, Ocurrencia y Detección” o SOD.

2.8.5. Seguridad, Ocurrencia y Detección (SOD).

Esta metodología es una relación NO aritmética que se establece con el fin de cuantificar los modos y efectos de falla. Una vez que se establece un análisis cuantitativo de estos, se puede proceder a determinar las acciones prioritarias para reducir riesgos en el equipo.

Los valores del SOD se ordenan de mayor a menor para determinar las prioridades que se deben tener en el mantenimiento. En este sentido se le da el mayor énfasis a la severidad del evento (S), en segundo lugar se considera la ocurrencia del evento (O) y por último toma relevancia la detección (D).

Se estimó que el NPR normalmente usado para la prioridad de acciones del mantenimiento, no sería concluyente ni acertado para los requerimientos de la empresa, por lo tanto, se decidió utilizar esta metodología, con el fin de centrar los esfuerzos principalmente en la mitigación de los eventos con mayor riesgo para la empresa, en segundo lugar considerar las probabilidades de ocurrencia que este tiene, y en caso de no tener una resolución concreta, con dichas variables, considerar la dificultad en la detección del evento.

A continuación se presenta la tabla de valores con la que serán jerarquizados los modos de falla.

Intervalo	Severidad (S)	Ocurrencia (O)	Detección (D)
9-8	Muy alta	Muy probable de que ocurra.	Muy difícil de detectar
7-6	Alta	Alta probabilidad de ocurrencia	Difícil detección
5-4	Moderada	Probabilidad de ocurrencia media	Moderada
3-2	Baja	Baja probabilidad de ocurrencia	Fácil detección
1	Muy baja	improbable	Casi cierta

(Tabla 2-9) Elaboración propia a base de mantenimiento RCM.

FALLA FUNCIONAL	MODOS DE FALLA		EFFECTOS DE FALLA	S	O	D	SOD
1.1.	1.1.1	No hay fluido en la bomba.	Motor con bajo consumo.	7	4	5	745
			Fugas excesivas de fluido en la bomba.				
			Fugas en las válvulas de retención.				
	1.1.2	Eje Cortado.	Motor con bajo consumo.	8	1	1	811
			Impulsor sin giro.				
			Manómetro en 0 Pa				
	1.1.3	Acoplamiento de transmisión suelto.	Falta de torque en el impulsor.	6	3	7	637
			Motor con bajo consumo.				
			Manómetro en 0 Pa				
	1.1.4	Impulsor atascado.	Alarma de sobre esfuerzo del motor.	6	5	4	654
			Motor con alto consumo.				
			Eje sin RPM.				
	1.1.5	Rodamientos fundidos.	Altas temperaturas en la caja de rodamientos.	8	7	4	874
			Partículas metálicas en el lubricante.				
			Motor con alto consumo.				
			Perdida de RPM.				
			Olor a lubricante quemado.				
1.2.	1.2.1	Línea de succión taponeada.		5	4	5	545
			Sobre esfuerzo del motor.				
			Alta temperatura en el motor.				
			Perdida de RPM.				
	1.2.2	Válvula de pie atascada.	Agua contaminada.	4	2	6	426
			Sobre esfuerzo del motor.				
			Aumento en las vibraciones				
	1.2.3	Voluta obstruida.	Pérdida considerable de RPM	6	3	4	634
			Sobre esfuerzo del motor.				
			Aumento en la presión de la bomba.				

1.3.	1.2.4	Sello mecánico roto.	Fugas de fluido en la bomba.	8	7	6	876
			Burbujeo en el sector del sello mecánico				
			Perdida de presión en la bomba.				
			Disminución leve en el consumo del motor,				
	1.3.1	Impulsor desbalanceado.	Vibraciones altas en el eje.	6	5	9	659
			Disminución del caudal (caudalímetro).				
			Recalentamiento de la bomba.				
	1.3.2	Sello mecánico desgastado o suelto	Recirculación del fluido.	7	8	7	787
			Fugas de fluido en la bomba.				
			Perdida de presión en la bomba.				
	1.3.3	Alabes erosionados por cavitación	Aumento en las vibraciones	8	6	6	866
			Perdida de torque en la bomba.				
			Ruidos inusuales (por la cavitación)				
	1.3.4	Rodamientos desgastados o sin lubricar	Aumento en el consumo del motor.	7	9	7	797
			Altas vibraciones.				
			Ruidos debido al roce metal-metal.				
			Aumento en la temperatura de rodamientos.				
	1.3.5	Bolsas de aire en el sistema.	Aumento en la presión del circuito.	7	7	8	778
			Mayor consumo del motor.				
			Altas vibraciones.				

(Tabla 2-10) Elaboración propia en base al estudio de mantenimiento RCM

2.8.6. Organización de valores obtenidos.

Una vez realizado el análisis mediante la metodología SOD, en el cual se estudiaron los efectos de falla de cada evento, y se evaluaron según 3 variables fundamentales (seguridad, ocurrencia y detección), se procede a organizar los valores obtenidos de mayor a menor, con el fin de jerarquizar los modos de falla según su impacto en la máquina.

Modo de falla		Criticidad
1.2.4.	Sello mecánico roto.	876
1.1.5.	Rodamientos fundidos.	874
1.3.3.	Alabes erosionados por cavitación	866
1.1.2.	Eje cortado.(*)	811
1.3.4.	Rodamientos desgastados o sin lubricar.	797
1.3.2.	Sello mecánico desgastado o suelto.	787
1.3.5.	Bolsas de aire en el sistema.	778
1.1.1.	No hay fluido en la bomba.	745
1.3.1.	Impulsor desbalanceado.	659
1.1.4.	Impulsor atascado.	654
1.1.3.	Acoplamiento de transmisión suelto.	637
1.2.3.	Voluta obstruida.	634
1.2.1.	Línea de succión taponeada.	545
1.2.2.	Válvula de pie atascada.	426

(Tabla 2-11) Elaboración en base a mantenimiento RCM.

ANALISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS.

Según los resultados obtenidos por el análisis FMECA, se concluye que las acciones preventivas, deben estar centrada en los modos de falla que tienen como principal elemento Rodamientos y Sello mecánico, así como también la realización de un plan de mantención que se centre en evitar daños por cavitación debido al ingreso de aire al sistema.

(*) Nota: Debido a la Nula probabilidad de ocurrencia de este modo de falla y a que existen elementos protectores en el fondo para evitar este evento (válvulas de retención), es descartado como modo de falla crítico para el sistema.

CAPÍTULO N3 PLANIFICACIÓN DEL MANTENIMIENTO.

3. Planificación del mantenimiento,

3.1. Elección de una bomba sumergible.

Debido a la causa encontrada en el capítulo anterior a través del diagrama de Ishikawa, la cual nos plantea que la vida útil de la bomba sumergible se ve reducida por el sobre esfuerzo mecánico y eléctrico a la que es sometida en su funcionamiento, ya que se escogió una bomba sobredimensionada en discordancia con las necesidades del pozo.

En virtud de lo planteado se expone a continuación una alternativa en la elección de dicho equipo, con el fin de aumentar la confiabilidad del mismo y su vida útil en el sistema.

3.1.1. Parámetros a considerar.

Cuando se escoge una bomba sumergible, se deben considerar determinadas variables, que entren concordancia con las necesidades del sistema. En este punto solo se consideraran variables como:

- Profundidad a la que operara la bomba sumergible (H)
- Caudal que se desea extraer del pozo. (Q)
- Potencia requerida del motor (HP)

Y se despreciaran variables como:

- Perdidas por Fricción en el tubo y en elementos singulares como codos, válvulas etc.
- Perdidas de carga propias de la bomba como; perdidas por discontinuidad, perdidas por fugas, perdidas por fricción en alabes, etc. (este tipo de pérdidas de carga vienen evaluadas por el fabricante). Véase (Figura 3-1)

- Y pérdidas por Cavitación que se miden en NPSH (se estima que la bomba estará trabajando en condiciones de presión y flujo óptimas, por lo que no es necesario evaluar pérdidas por cavitación).

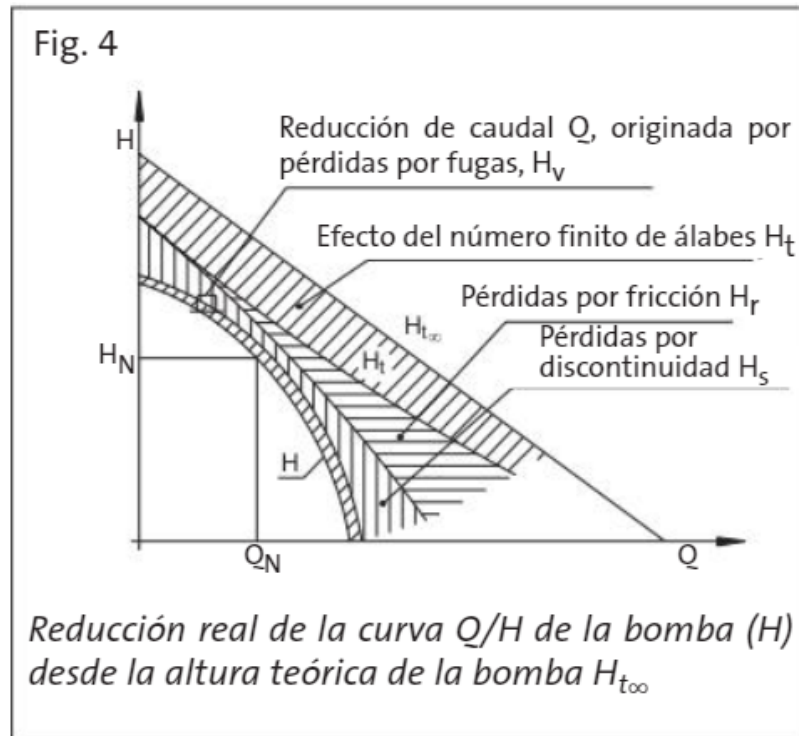


Figura (3-1)

Fuente: súper manual de bombas sumergibles y estaciones de bombeo by José Onetto - issuu

3.2. Requisitos necesarios para cada pozo.

En el fundo San Ignacio se tienen 3 pozos a los cuales se realiza la extracción de agua para abastecer constantemente mente el estanque acumulador principal. Como se planteó al final del capítulo uno, cada una de los pozos posee derechos de agua individuales, a los cuales se les permite extraer un cierto caudal. Es debido a estas necesidades individuales que se tienen, que se escogerá una bomba particular, que pueda cumplir con las necesidades en cada uno de los casos.

Para realizar esta elección bajo los parámetros establecidos anteriormente, es que se realizara una recapitulación de las condiciones de trabajo que cada uno de los pozos posee.

(Tabla 3-1)

Pozos	Derechos de agua	Altura de operación
Pozo N°1	21 l/s	100 m
Pozo N°2	16 l/s	87 m
Pozo N°3	12 l/s	87 m

Elaboración propia.

Donde:

Derechos de agua: Corresponde a la cantidad permitida de extracción del fluido.

Altura de operación: O nivel Estático del pozo, corresponde a la altura que debe levantar la bomba desde donde se encuentra el agua hasta su lugar de vaciado. (Se estima que el nivel dinámico y estático son iguales).

3.3. Selección de la bomba.

En el momento de seleccionar una bomba centrífuga para la necesidad de cada pozo, se seleccionara:

1. Caudal (Q): Una bomba que su caudal nominal sea lo más cercano a las necesidades de flujo del pozo. En este punto la eficiencia energética y hidráulica de la bomba alcanzan su punto máximo.
2. Profundidad: Es necesario evaluar las condiciones de altura (H) en las que trabajara la bomba, ya que caudal (Q) y altura (H) en el circuito, son inversamente proporcionales, a mayor altura, el caudal de la bomba disminuye. (esto evaluando la bomba en condiciones de energía y trabajo iguales).

3. Motor: Que el equipo posea la potencia necesaria (HP) para impulsar el fluido hasta la zona en donde es requerido. Comúnmente para aumentar la capacidad de altura a la que una bomba puede impulsar el fluido (sin perder caudal) solo se les aumenta los HP del motor.

3.3.1. Pozo N°1.

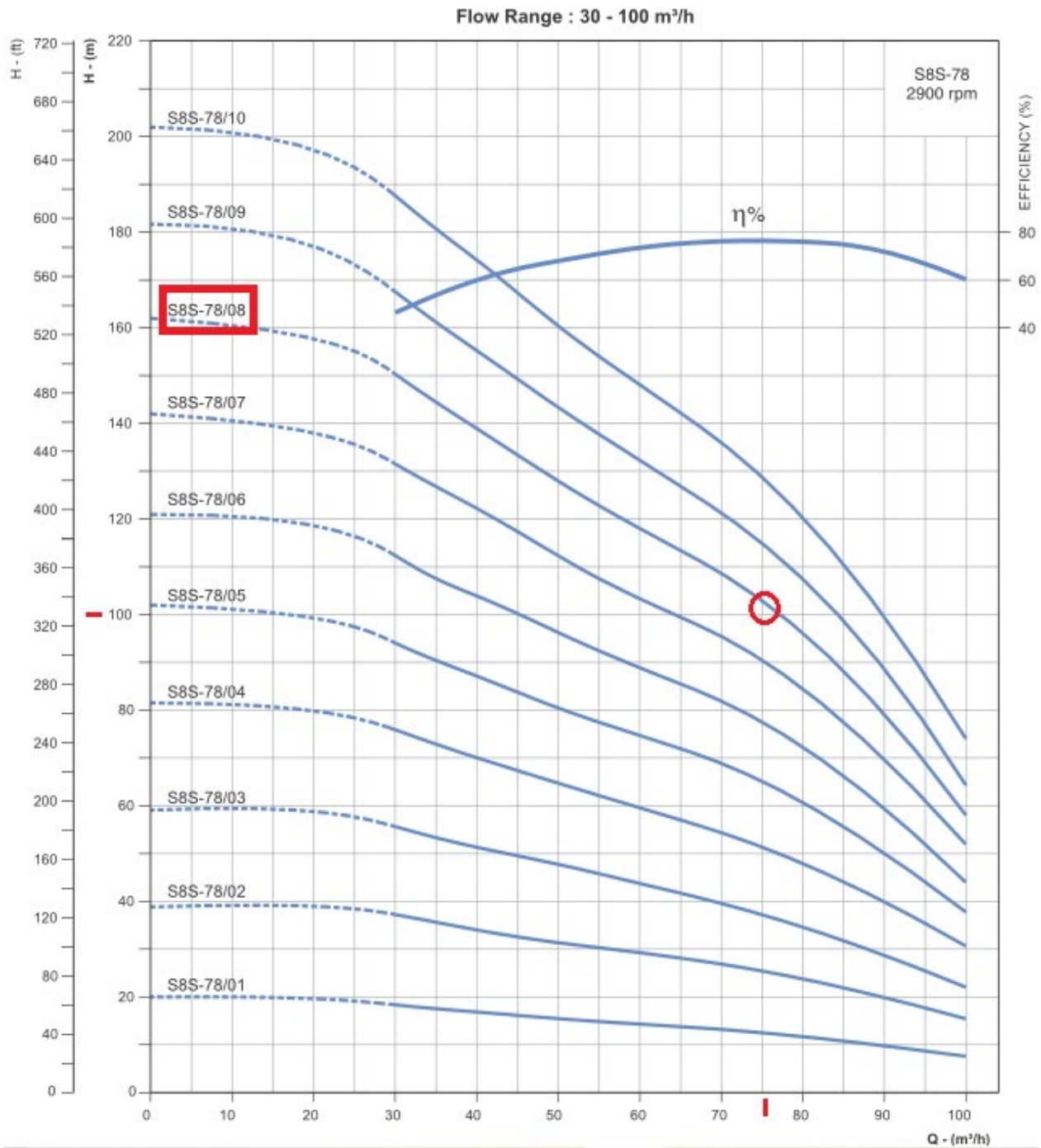
Para este pozo es necesario seleccionar una bomba que posea un caudal nominal lo más cercano a $75,6 \text{ m}^3/\text{h}$ o lo que es lo mismo, 21 l/s , ya que en este punto es cuando se tiene la mayor eficiencia energética y hidráulica en la bomba, Esto a una profundidad de 100 m . que es a la altura que deberá levantar el fluido la bomba sumergible.

A continuación se establece la relación en la curva H-Q para seleccionar un equipo con los requerimientos pre establecido. Cabe destacar que el diámetro nominal de la bomba seleccionar debe ser $8''$ de esta manera nos aseguramos que sea compatible con la tubería del sistema.

PUMP MODEL	MOTOR kW	lps	0	5.56	8.34	11.11	13.88	16.66	22.22	27.78
		m ³ /h	0	20	30	40	50	60	80	100
S8S-78/01	5.5	TOTAL MANOMETRIC HEAD IN METRES - (COLUMN WATER)	20	19.7	18	16.8	15.5	14.2	12	7.5
S8S-78/02	7.5		39	38.5	37	34	31.5	29.5	24	15.5
S8S-78/03	11		59	59	55.5	51.5	47.5	43.7	34.5	22
S8S-78/04	15		81.5	80	76	70	65	59.5	48	31
S8S-78/05	18.5		102	99	94	87	80.5	75	60.5	37.5
S8S-78/06	22		121	118.5	112.5	104	96.5	89	72	44
S8S-78/07	26		142	138	131.5	122.5	112.5	103.5	84.5	72
S8S-78/08	30		162	157.5	150.5	139	128	118	96	58
S8S-78/09	30		182	177	167.5	155	143.5	132.5	107	64.5
S8S-78/10	37		202	197	188	174	160.5	148	120	74
S8S-78/11	45		218	217	207	191.5	177	163	132	78
S8S-78/12	45		244	237	225	209.5	192.5	178	145	89
S8S-78/13	55		265	258	245.5	228	211	194	157.5	94.5
S8S-78/14	55		285	277	263	245	226.5	209	169	101
S8S-78/15	55		304	300	285	264	243	224	184.5	111.5
S8S-78/16	63		323	316.5	300.5	280	259	239	195	119
S8S-78/17	63		343	336	319	297	274.5	253.5	205.5	125
S8S-78/18	63		357	355	339.5	317	292	269	218.5	133
S8S-78/19	75		381	376	357.5	332.5	308	284	230	141.5
S8S-78/20	75		404	395	375	346	322	297	242	150

Figura (3-2)

Fuente: http://global.crigroups.com/admin_exports/uploads/50Hz%20Submersible%20pumps.pdf



(Figura 3-3)

Fuente: http://global.crigroups.com/admin_exports/uploads/50Hz%20Submersible%20pumps.pdf

3.3.1.1. Elección de la bomba

La bomba seleccionada en esta propuesta de evaluación, corresponde a una bomba C.R.I, con el fin de mantener la marca de las bombas utilizadas en el fundo y no generar grandes alteraciones.

El modelo seleccionado es un S8S-78/08 (Figura 3-2), donde:

- S8S: Corresponde al diámetro nominal de la bomba.
- 78/08: 78 es el caudal nominal y el último valor (en este caso 08) es utilizado para diferenciar los modelos de esta categoría de bombas de caudal nominal $78 \text{ m}^3/\text{h}$ y diámetro nominal 8”.

Por ultimo como se puede presenciar en la (Figura 3-3) se consideró una bomba que trabajara lo más cercano a su caudal nominal a una profundidad cercana a los 100 m. y para realizar este trabajo es necesario un motor de 30 kW o 40 HP véase (Figura 3-2)

En esta selección tenemos una bomba que trabajara en condiciones óptimas y no será necesario restringir su caudal, ya que el equipo está diseñado para trabajar en dichas circunstancias, las cuales concuerdan con los requisitos del pozo N°1. Bajo estos parámetros la bomba es capaz de mantener una eficiencia de casi el 80%,

3.3.2. Pozo N° 2.

Según los márgenes establecidos para este pozo N°2 (Tabla 3-1), se debe extraer un caudal de 16 l/s, o lo que es lo mismo $57,6 \text{ m}^3/\text{h}$, y ser movilizado a una altura de 87 m.

Según estos requisitos se procede a seleccionar un equipo que pueda cumplir con dichas características y al mismo tiempo mantener una gran eficiencia tanto energética como hidráulica.

PUMP MODEL	MOTOR kW	lps	0	4.16	5.55	8.33	11.11	13.88	16.66	19.44	22.22
		m³/h	0	15	20	30	40	50	60	70	80
S6S-60/01	2.2	TOTAL MANOMETRIC HEAD IN METRES - (COLUMN WATER)	14	13	12	11	9	7	5	3	1
S6S-60/02	4		26	25	24	23	20	17	14	10	5
S6S-60/03	5.5		39	38	37	35	32	27	22	15	9
S6S-60/04	7.5		52	51	50	47	42	37	31	22	13
S6S-60/05	9.3		67	64	63	59	53	45	37	28	16
S6S-60/06	11		82	78	76	71	63	56	47	35	21
S6S-60/07	13		94	91	89	83	73	66	55	41	24
S6S-60/08	15		110	104	102	97	87	76	65	48	30
S6S-60/09	18.5		122	114	112	106	95	84	70	54	33
S6S-60/10	18.5		138	133	128	118	105	92	76	57	35
S6S-60/11	22	TOTAL MANOMETRIC HEAD IN METRES - (COLUMN WATER)	148	142	138	128	114	101	86	65	40
S6S-60/12	22		167	156	152	141	124	109	92	69	43
S6S-60/13	26		180	170	165	153	137	120	100	75	45
S6S-60/14	26		195	184	179	164	144	128	110	83	48
S6S-60/15	26		212	198	194	177	157	137	117	85	52
S6S-60/16	30		220	213	207	188	167	147	127	89	57
S6S-60/17	30		242	227	222	205	183	160	138	107	63
S6S-60/18	37		252	240	233	212	189	176	142	112	67
S6S-60/19	37		270	254	248	231	206	181	152	116	74
S6S-60/20	37		282	276	267	259	216	189	162	126	80
S6S-60/21	37		300	288	281	254	223	195	165	126	77
S6S-60/22	45		318	306	298	270	238	207	176	138	84
S6S-60/24	45		339	324	314	285	251	218	186	144	90
S6S-60/26	55		370	354	344	312	275	239	204	156	96
S6S-60/28	55		396	378	367	332	293	255	216	161	101
S6S-60/30	55		420	402	390	354	312	270	228	176	107

(Figura 3-4)

Fuente: http://global.crigroups.com/admin_exports/uploads/50Hz%20Submersible%20pumps.pdf

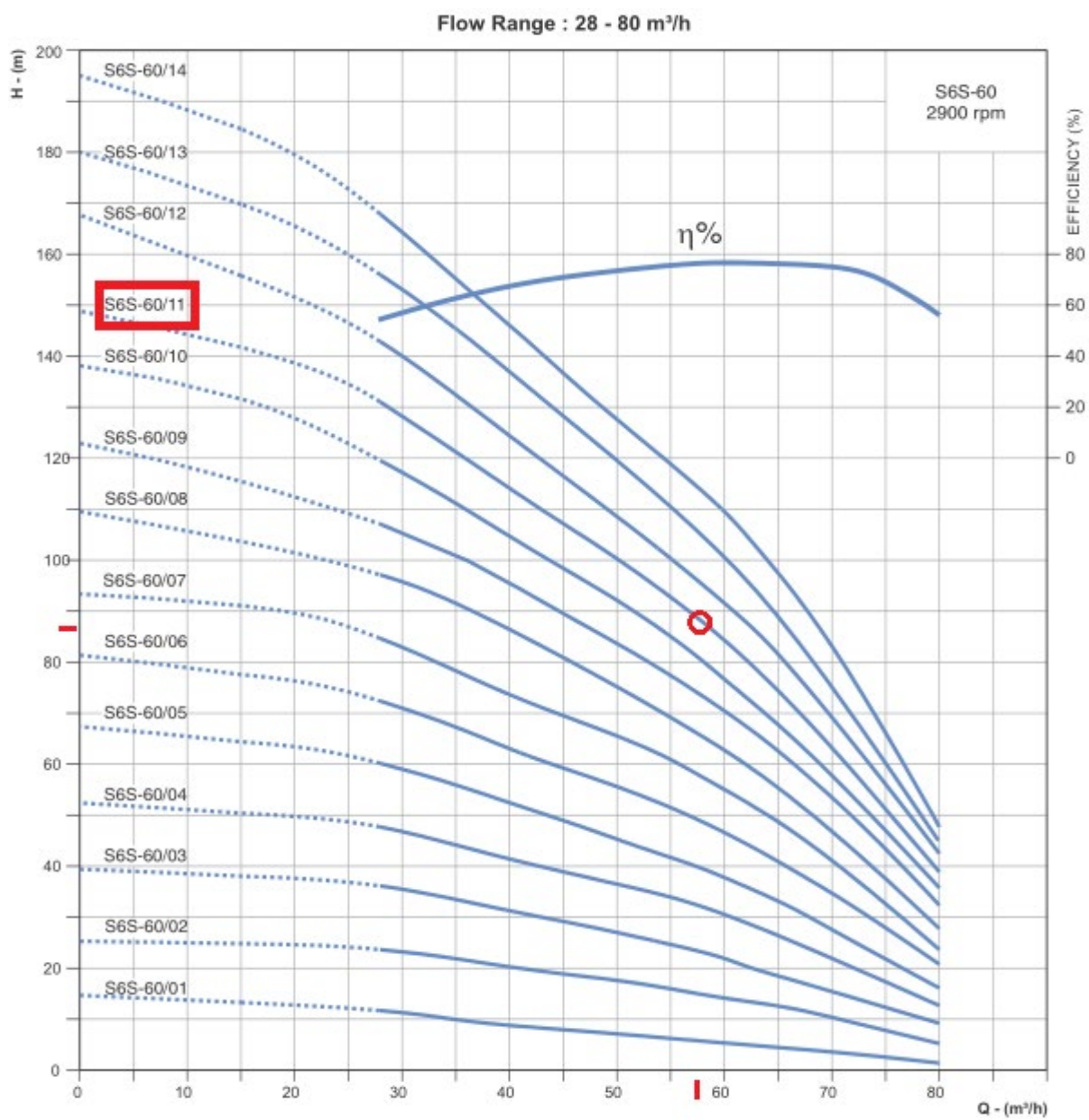


Figura (3-5)

Fuente: http://global.crigroups.com/admin_exports/uploads/50Hz%20Submersible%20pumps.pdf

3.3.2.1. Elección de la bomba.

La bomba seleccionada corresponde a una bomba C.R.I, la cual es la marca utilizada en las instalaciones del fundo San Ignacio.

Las características de la bomba son las siguientes:

- Modelo: S6S-60/11
- Diámetro nominal: 6"
- Caudal nominal: $60 \text{ m}^3/\text{h}$
- Potencia del motor: 30 HP

A una altura de 87 m de profundidad (que corresponde a la profundidad que debe trabajar el equipo en dicho pozo (Tabla 3-1)), la bomba sumergible es capaz de proporcionar aproximadamente $58 \text{ m}^3/\text{h}$ de caudal véase (Figura 3-5), lo que es muy cercano tanto al caudal nominal propio de la bomba como a los derechos de agua que se tienen permitido extraer. En dichas condiciones la bomba trabaja con una eficiencia cercana al 80%.

3.3.3. Pozo N°3.

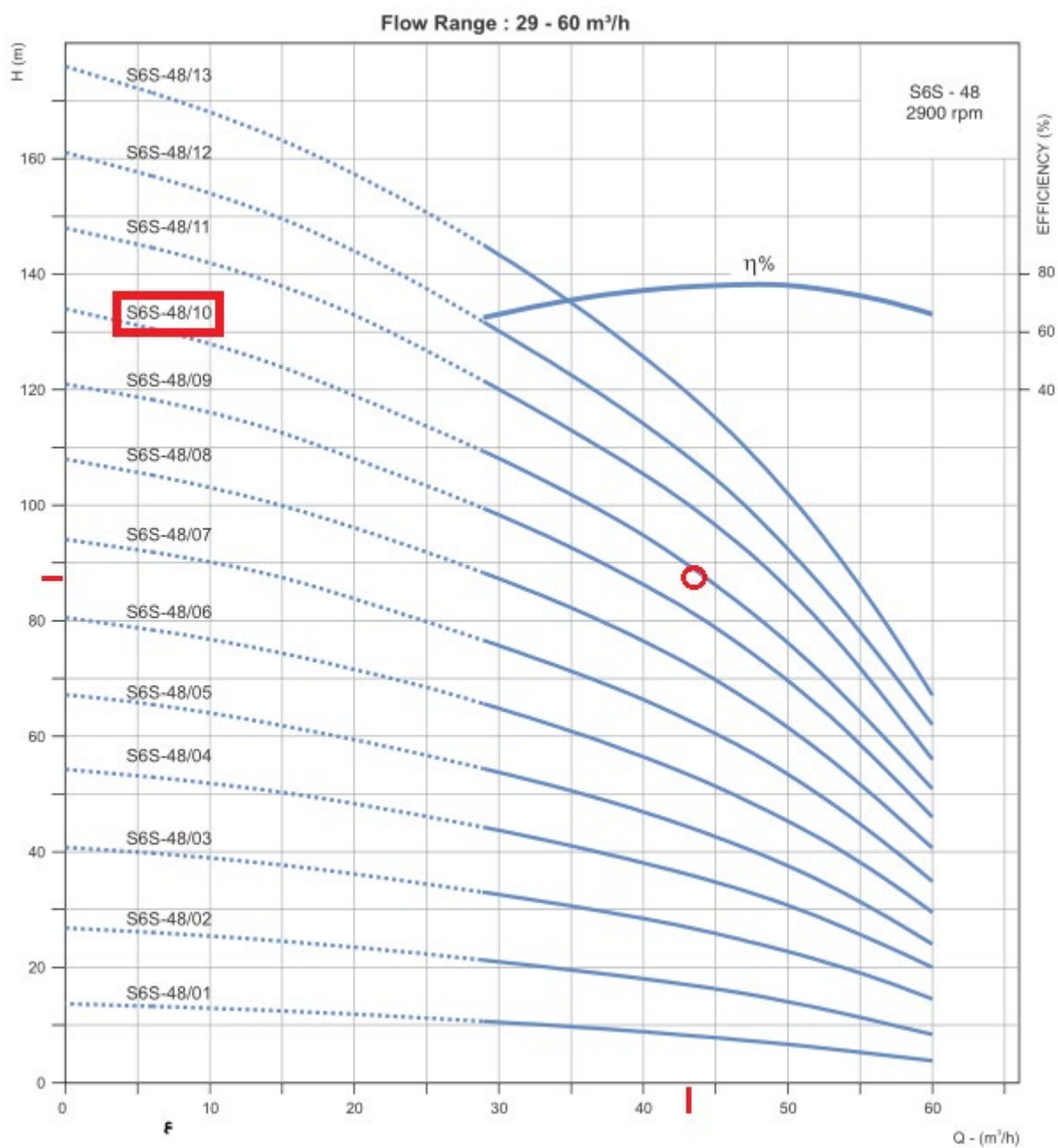
El ultimo pozo del Fundo, es el que tiene permitido una extracción menor de agua (12 l/s) y la bomba requerida en dichas condiciones debería tener un caudal nominal cercano a este valor, de esta forma el equipo trabajara en condiciones óptimas y no sera necesario alterar sus capacidades de forma externa

A continuación se presenta un análisis de bombas sumergibles que poseen un caudal nominal cercano a los $43,2 \text{ m}^3/\text{h}$ requeridos por la empresa o lo que es lo mismo 12 l/s. En base a dichas condiciones se busca seleccionar el equipo mas apropiado.

PUMP MODEL	MOTOR kW	lps	0	2.78	5.56	8.34	11.12	12.2	13.4	13.9	15.6	16.68
		m³/h	0	10	20	30	40	44	48	50	56	60
S6S-48/01	2.2	TOTAL MANOMETRIC HEAD IN METRES - (COLUMN WATER)	13.5	13	12	10.5	9	8	7	6.8	5	3.8
S6S-48/02	3		26.8	25.5	23.5	21	18	16.5	15	14	11	8.5
S6S-48/03	5.5		40.8	39	36	32.5	28.5	26	24	23	18	14.5
S6S-48/04	7.5		54.2	52	48.2	43.8	38	35.5	32	30.8	24	20
S6S-48/05	7.5		67	64	59.5	53.8	47	44	40	37.8	30	24
S6S-48/06	9.3		80.5	77	71.5	65	56.5	52	48	45.5	36	29.8
S6S-48/07	11		94	90	84	75.8	66.2	62	56	53.5	42.5	35
S6S-48/08	13		108	103	96	87.3	76.5	71	65	61.8	50	41
S6S-48/09	15		121	116	108	98.2	86.2	80	74	69.8	56	46
S6S-48/10	15		134	128	119	108	95	88	80	76	61	51
S6S-48/11	18.5	TOTAL MANOMETRIC HEAD IN METRES - (COLUMN WATER)	148	142	133	120	105.5	98.5	90	85.8	68	56
S6S-48/12	18.5		161	154	144	130	114	106	98	92.2	74	62
S6S-48/13	22		176	168	157.5	143.5	125.8	117.5	108	102	82	67.5
S6S-48/14	22		188	179	168	153	135	130	115	109	89	72
S6S-48/15	22		201	192	178	163	143	132	121	115	94	76
S6S-48/16	26		216	207	193	175	154	144	131	125	100	84
S6S-48/17	26		228	219	204	186	162	151	139	132	109	88
S6S-48/18	30		243	233	217	197	174	161	149	141	116	95
S6S-48/19	30		256	245	228	206	182	170	155	148	120	99
S6S-48/20	30		268	256	240	217	191	179	163	154	125	103
S6S-48/21	37		284	273	255	233	205	181	176	167	136	113
S6S-48/22	37		297	285	266	243	214	200	182	174	140	117
S6S-48/23	37		310	297	278	253	222	207	190	180	148	121
S6S-48/24	37		323	310	289	263	231	216	199	188	152	124
S6S-48/26	45		357	343	323	295	261	245	226	215	179	148
S6S-48/28	45		383	367	345	316	280	261	240	229	190	159
S6S-48/30	45		407	390	366	335	295	276	251	240	199	164
S6S-48/33	55		450	433	405	370	328	308	281	268	220	184
S6S-48/35	55		476	456	428	392	347	325	299	283	231	193
S6S-48/37	63		505	484	454	416	368	345	319	301	249	207

(Figura 3-6)

Fuente: http://global.crigroups.com/admin_exports/uploads/50Hz%20Submersible%20pumps.pdf



(Figura 3-7)

Fuente: http://global.crigroups.com/admin_exports/uploads/50Hz%20Submersible%20pumps.pdf

3.3.3.1. Elección de la bomba.

La bomba sumergible seleccionada para el pozo N°3, al igual que las demás, considerando los derechos de extracción de agua y la profundidad a la que va a trabajar (Tabla 3-1). Adema se tomó como “principal” condicionante que el caudal nominal de la bomba fuese cercano al caudal requerido por el pozo. De esta forma nos aseguramos de que la bomba trabajara en condiciones favorables de eficiencia.

La bomba sumergible seleccionada para el pozo N°3 tienen las siguientes características:

- Modelo: S6S-48/10.
- Diámetro nominal: 6”
- Caudal nominal: 48 m³/h
- Potencia del motor: 15 kW o 20 HP

Con las características anteriormente descritas, la bomba sumergible S6S-48/10 proporciona un caudal de aproximadamente de 43 m³/h cuando trabaja a 87 m de profundidad, véase (Figura 3-7), lo cual es muy cercano a los 43,2 m³/h pre establecidos para el pozo. Además cabe destacar que el caudal nominal de la bomba sumergible es de 48 m³/h (bastante cercano a las condiciones de uso que se le dará), por lo que el equipo trabajara con una eficiencia aproximada al 75%.

3.4. Mantenimiento enfocado en metodología RCM.

El mantenimiento RCM o (Reliability Centred Maintenance) por sus siglas en inglés, es una metodología enfocada en el análisis de fallos de un sistema, principalmente se centra en determinar las necesidades principales de mantenimiento de cualquier activo físico, estas actividades no tienen una naturaleza definida (preventiva, correctiva, proactiva etc), sino más bien en satisfacer las necesidades de mantenimiento del equipo durante su vida útil, con el fin de mitigar diversos modos de falla, aumentar su confiabilidad y asegurar su disponibilidad hacia el futuro.

En este trabajo el mantenimiento centrado en fiabilidad (RCM) será utilizado como una herramienta para seleccionar las actividades de mantenimiento más apropiadas para los activos críticos del sistema, buscando como principal objetivo aumentar la confiabilidad de los mismos y generar un plan de mantenimiento que sea capaz de mantener la disponibilidad de estos.

3.4.1. Elementos críticos de la bomba sumergible.

Según lo seleccionado en el capítulo anterior en los análisis de falla de los equipos críticos del sistema de regadío, se pudo concluir que los elementos con una mayor criticidad y riesgo para las bombas centrífugas, correspondían a:

- Sellos Mecánicos: Estos poseen una latencia de falla muy alta en comparación con otros elementos del equipo y su impacto en el funcionamiento es de alto riesgo, debido a esto es considerado como un elemento crítico, por lo que fue seleccionado como primordial en las actividades preventivas enfocadas en aumentar la confiabilidad de la bomba centrífugas y mitigar sus modos de falla.

- Rodamientos: Estos elementos del equipo abarcaron 2 modos de falla de alta criticidad para el equipo en la realización del análisis FMECA, debido a esto, fueron seleccionados como uno de los puntos principales a considerar en las actividades preventivas del mantenimiento. El principal objetivo al considerar

dichos elementos de la bomba es aumentar su confiabilidad, por medio de la mitigación de los modos de falla de alto impacto y con una alta probabilidad de ocurrencia en el sistema.

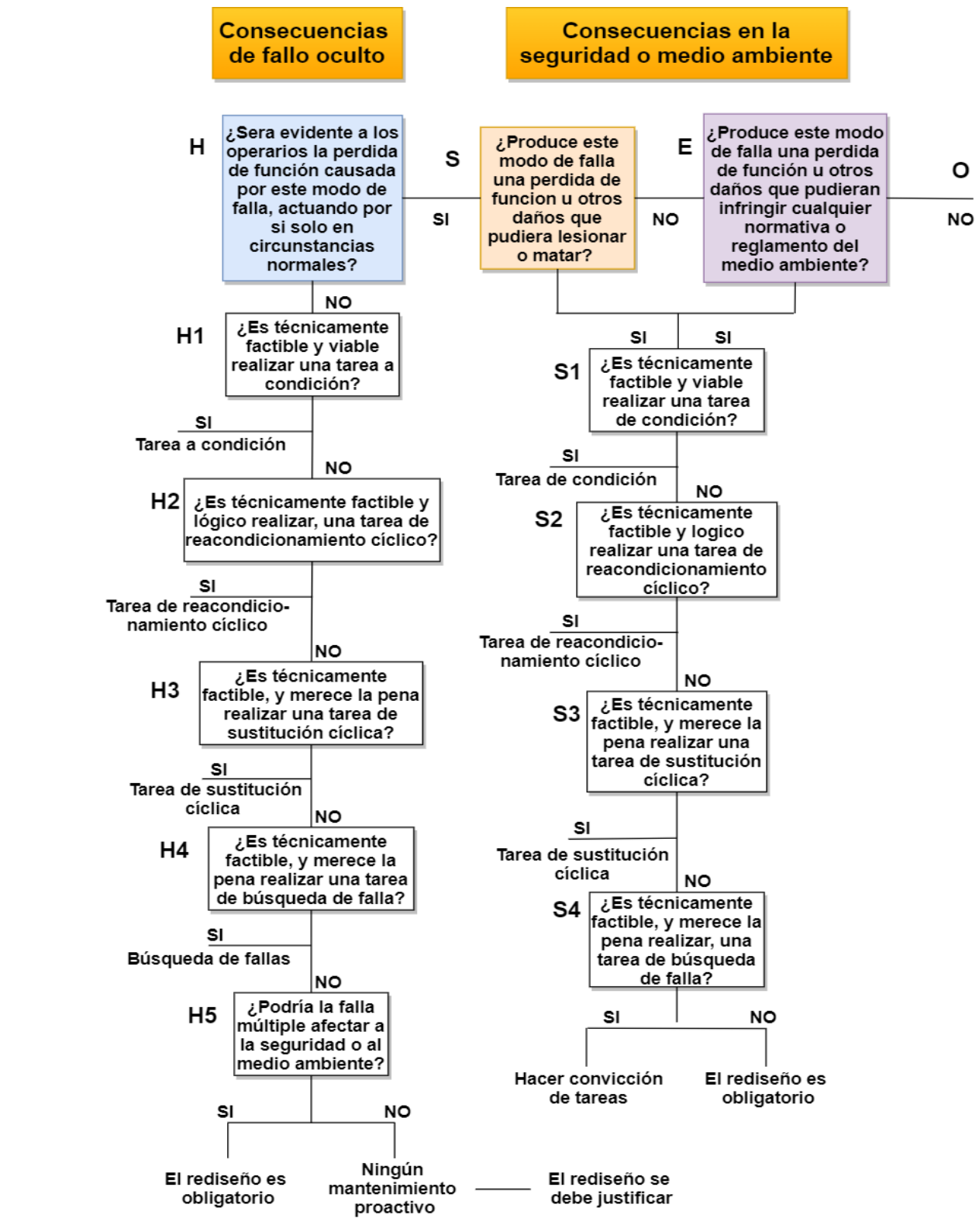
3.4.2. Diagrama de decisiones RCM.

Con el fin de seleccionar las acciones de mantenimiento más apropiadas para los modos de falla más críticos del sistema, ya sea mediante acciones correctivas, preventivas o de monitoreo de condiciones es necesario establecer el criterio de evaluación y la pauta que se seguirá para cada caso. Debido a esto se utiliza el diagrama de decisiones RCM (véase Figura 3-8; 3-9), con el fin de seleccionar la tarea más apropiada.

A continuación se expone cada uno de los criterios a evaluar:

- H, S, E y O: Son los criterios principales con el cual son evaluados los modos de falla, los cuales representan consecuencias por:
 - H: Consecuencias por fallos ocultos.
 - S: Consecuencias por seguridad.
 - E: Consecuencias medioambientales.
 - O: Consecuencias operacionales.

- H1, S1, O1 y N1: ¿Es técnicamente factible y viable realizar una tarea de condición?
- H2, S2, O2 y N2: ¿Es técnicamente factible y lógico realizar una tarea de reacondicionamiento?
- H3, S3, O3 y N3: ¿Es técnicamente factible y merece la pena realizar una tarea de sustitución cíclica?
- H4 y S4: ¿Es técnicamente factible y merece la pena realizar una tarea de búsqueda de fallas?
- H5: ¿Podría la falla múltiple afectar a la seguridad o al medio ambiente?



(Figura 3-8)

Fuente: Elaboración en base a la memoria de estudio centrado en confiabilidad (RCM)

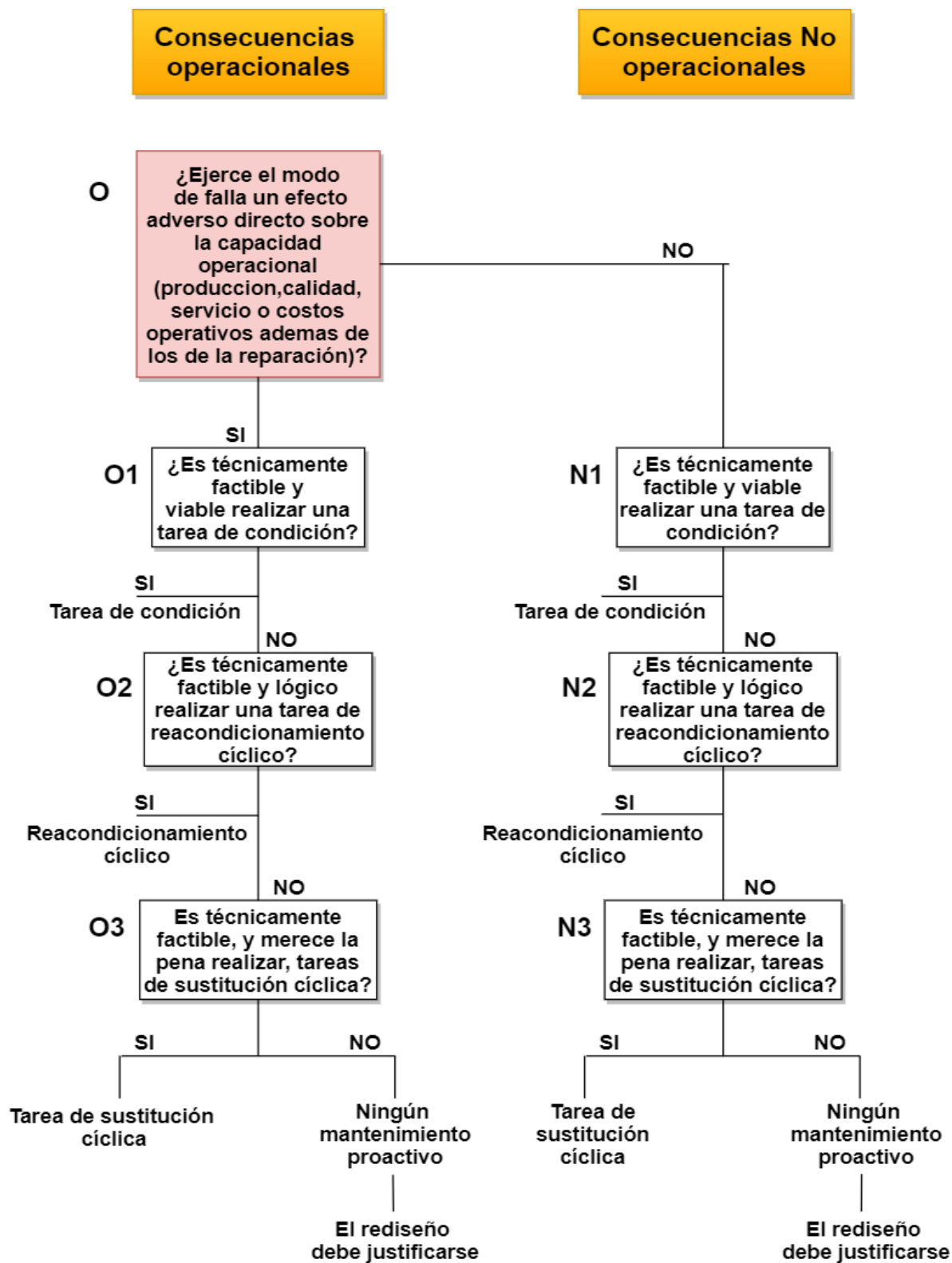


Figura (3-9)

Fuente: Elaboración en base a la memoria de estudio centrado en confiabilidad (RCM)

3.4.3. Hoja de trabajo RCM

A continuación es presentada la hoja de trabajo RCM la cual es utilizada para dejar registro de la evaluación realizada a cada modo de falla. Se toma como guía el diagrama de toma de decisiones RCM, el cual nos proporciona las pautas a seguir para determinar tareas de mantenimiento correspondientes para cada caso.

Referencia de			Evaluación de				H1	H2	H3	Tarea a						
información			concecuencias				S1	S2	S3	falta de				Tarea propuesta	Frecuencia	Realizado por:
							O1	O2	O3							
F	FF	MF	H	S	O	N	N1	N2	N3	H4	H5	S4				

(Tabla 3-2) Elaboración propia a partir de estudio RCM

Descripción de la hoja de trabajo

Los valores F, FF Y MF, son utilizados para la identificación de cada modo de falla, donde:

- F: Función.
- FF: Falla funcional.
- MF: Modo de falla.

H, S, O y N son valores asociados a las consecuencias que pueden ocasionar los modos de falla en el sistema, donde cada una representa:

- H: Consecuencias de fallo oculto
- S: Consecuencias de Seguridad tanto medioambiental (E) como seguridad humana (S).
- O: Consecuencias operacionales.
- N: Consecuencias no operacionales.

En caso que la respuesta a las preguntas sea si, se marca con S y si la respuesta es no, se marca con una N.

Luego de las consecuencias, se procede con la realización de preguntas acerca de las actividades preventivas que se pueden llevar a cabo (H1, S1, O1, N1, H2, S2...), y por último se tiene la tarea propuesta, la frecuencia con que se realizara y quien la efectuara.

Referencia de información			Evaluación de consecuencias				H1	H2	H3	Tarea a falta de			Tarea propuesta	Frecuencia inicial	Realizado por:
							S1	S2	S3						
							O1	O2	O3						
F	FF	MF	H	S	O	N	N1	N2	N3	H4	H5	S4			
1	2	4	S	N	S		N	N	S				Cambio de sellos mecánicos.	Semestral	Mecánico
1	1	5	S	N	S		N	N	S				Sustitución de rodamientos.	Semestral	Mecánico
1	3	3	N				N	N	S				Inspección cíclica de impulsores y alabes para sustituir en caso de fallas por cavitación.	Anual	Mecánico
1	3	4	N				N	S					Lubricación e inspección de rodamientos. Sustituir en caso de desgaste.	Mensual	Mecánico
1	3	2	S	N	S								Inspección visual de síntomas por falla de sellos mecánicos. (Sustituir en caso afirmativo)	Mensual	Mecánico
1	3	5	S	N	S		N	N	S				Sustitución cíclica de válvulas de aire	Anual	Mecánico
1	3	5	S	N	S		N	S					Inspección visual de las válvulas de aire	Mensual	Mecánico

Tabla (3-3) Elaboración propia a partir de diagrama RCM

3.4.4. Tareas de inspección cíclicas propuestas para los equipos Críticos.

A continuación se presenta una serie de tareas de inspección con tipos de frecuencia diaria, semanal y mensual que pueden ser llevadas a cabo por trabajadores y mecánicos de la empresa. Estas tareas de inspección tienen el fin de llevar un seguimiento de las tareas de mantenimiento efectuadas, tanto correctivas como preventivas. De esta forma se puede conocer con mayor profundidad el desarrollo o deterioro gradual que tienen los equipos y/o elementos luego de su mantención, además brinda la posibilidad de llevar registros de una forma ordenada y clara, a través de una secuencia detallada y lógica del estado de los activos.

Ítem	Equipo	Actividad Propuesta	Frecuencia	Realizada Por
1	Bombas Sumergibles	Inspección de voltaje y corriente consumidos.	Diaria	Mecánico
2	Bombas Sumergibles	Calculo del caudal extraído por la bomba.	Semanal	Mecánico
3	Bombas Sumergibles	Seguimiento de la cantidad de paradas de emergencia.	Mensual	Mecánico
4	Válvulas de aire	Verificar que no existan fugas de agua.	Diaria	Jefe de riego
5	Válvulas de aire	Inspección visual del deterioro presente.	Semanal	Mecánico y/o jefe de riego
6	Válvulas de aire	Verificar el estado funcional del elemento	Mensual	Mecánico
7	Bombas Centrifugas	Inspección del Voltaje y corriente consumidos.	Diaria	Mecánico
8	Bombas Centrifugas	Inspección del estado funcional del equipo.	Semanal	Mecánico
9	Bombas Centrifugas	Detección de ruidos y vibraciones extrañas.	Diaria	Jefe de riego
10	Bombas Centrifugas	Medición del caudal extraído por la bomba,	Semanal	Mecánico

Tabla (3-4) Elaboración propia a partir de fallas funcionales de los equipos.

Nota: Debido a que las bombas sumergibles se encuentran a gran profundidad, no se les puede realizar una inspección visual de deterioro o ruidos extraños.

3.4.5. Modelo de planificación del mantenimiento. a los equipos críticos.

Con el fin de efectuar acciones preventivas correctas en los equipos, se realizan los criterios de planificación del mantenimiento, estos buscan establecer variables de importancia que determinen la realización correcta de las tareas preventivas. Para esto se efectúan una serie de preguntas las cuales dan respuesta a interrogantes de gran importancia sobre la naturaleza y el objetivo de la tarea a efectuar.

- 1- ¿Qué tarea se desea efectuar?
 - 2- ¿Con que propósito se realizara?
 - 3- ¿Qué acciones se deben realizar para efectuar dicha tarea?
 - 4- ¿Cuáles son los requisitos previos a la realización del trabajo?
 - 5- ¿Qué herramientas son necesarias para realizar la tarea?
 - 6- ¿Quién efectuara el trabajo?
 - 7- ¿Con cuánto tiempo se dispone para terminar?
 - 8- ¿Cómo se recepcionará el trabajo?
 - 9- ¿Qué pruebas para de verificación del trabajo se utilizaran?
- ¿Qué tarea se desea efectuar?
 - Cambio semestral de sellos mecánicos. (1.2.4) Semestral
 - Sustitución de rodamientos. (1.1.5) Semestral
 - Inspección cíclica de impulsores y alabes para sustituir en caso de fallas por cavitación. (1.3.3) Anual
 - Lubricación e inspección de rodamientos. (1.3.4) Mensual
 - Inspección de sellos mecánicos. (1.3.2) Mensual

3.4.5.1. Sustitución de rodamientos y sello mecánicos.

- ¿Qué recomendaciones se tienen al realizar la actividad?
 - Elección correcta de sellos mecánicos y rodamientos
 - Lubricante apropiado para la actividad

- ¿Se requiere realizar alguna otra tarea en este equipo?
 - Sustitución de impulsor que es efectuada cada 2 semestres (1 año) o en caso de tener fallas por cavitación en el equipo.
 -

- ¿Qué herramientas se deben utilizar?
 - Llaves hexagonales
 - Llaves de corona
 - Calibrador
 - Regla biselada
 - Llave de torque.
 - Extractor de rodamientos
 - Desatornillador de paleta

- ¿Qué acciones se deben realizar para efectuar dicha tarea?
 - Desconectar la fuente de energía.
 - Vaciar la bomba y las tuberías.
 - Desmontar la base de la bomba.
 - Separar y quitar el acople del motor eléctrico y la bomba.
 - Desarme de la bomba.
 - Sustituir el impulsor en caso de desgaste por cavitación.
 - Reemplazar el sello mecánico de la bomba(resorte, cara de carbón grafito y asiento de cerámica)

- Ensamblar nuevamente los elementos de la bomba.

.....Sustitución de sellos mecánicos:.....

- Desarme del motor eléctrico.
 - Reemplazar los rodamientos o Lubricar
 - Ensamblar nuevamente el motor.
 - Alinear bomba y motor e instalar.
- ¿Con que propósito se realiza?
Mantenimiento Semestral del equipo.
 - ¿Qué fallas se han cometido anteriormente en la mantención?
 - Instalación inadecuada de los repuestos.
 - ¿Cuáles son los requisitos previos?
 - Mantener un stock de repuestos (Rodamientos, Sellos mecánicos)
 - Tener las herramientas apropiadas para realizar la labor.
 - Contar con las autorizaciones del jefe de turno.
 - Detectar síntomas relacionados con el modo de falla o tener fichada una calendarización de mantenimiento.
 - ¿Qué repuestos se necesitan?
Se necesitan rodamientos, sellos mecánicos e impulsores en caso ser requeridos.
 - ¿Quién efectuara el trabajo?
 - Mecánico: Nombre
 - ¿Qué competencias técnicas requiere el trabajo?
 - Mecánica.
 - Cambio de rodamientos.
 - Tribología.

- ¿En qué horario se debe efectuar la tarea?
 - Hora de inicio: 7:00 am
 - Hora de fin: 9:00 am

- ¿Cómo se recepcionara el trabajo?
 - Check List.

- ¿Cómo se verifica la correcta realización de la tarea de mantención?
 - Monitoreo del funcionamiento del equipo en condiciones normales de operación durante 30 minutos.

3.5. Pautas de trabajo y Check List.

3.5.1. Pautas de trabajo.

Para realizar las tareas de mantención de una forma correcta es necesario establecer la secuencia y pauta de acciones que se realizaran en el mantenimiento, con el fin de evitar cometer errores por negligencia humana o por falta de establecer un orden cronológico en las tareas consecuentes.

PAUTAS DE MANTENIMIENTO PARA BOMBAS CENTRIFUGAS- HORIZONTALES						
Item	Lista de actividades	Ejecutor	Nombre	Fecha	Firma	
1	Desconectar la fuente de energía					
2	Vaciar la bomba y las tuberías					
3	Desmontar la base de la bomba					
4	Separar y quitar el acople del motor eléctrico					
5	Desarme de la bomba					
6	Sustituir el impulsor					
7	Reemplazar el sello mecánico					
8	Ensamblar la bomba					
9	Desarme del motor eléctrico					
10	Reemplazar rodamientos o lubricar					
11	Ensamblar el motor					
12	Alinear el acoplamiento del motor y la bomba					
13	Instalar el equipos a su base					

(Figura 3-10) Elaboración propia a partir de planificación RCM

3.5.2. Check List

Para culminar el desarrollo de un plan de mantenimiento es necesario plantear en última instancia la verificación de las tareas efectuadas por los encargados, es entonces cuando se efectúan algunas preguntas las cuales deben ser respondidas por el técnico que desarrollo la tarea de mantención, de esta forma nos podemos asegurar de que se re inspeccionen las tareas efectuadas y en caso de alguna tarea mal efectuada, el técnico la pueda detectar.

Check List

Fundo San Ignacio - Valles del Norte

Tareas de mantenimiento en bombas centrifugas- Horizontales

Mantenimiento Preventivo

- 1- Verificar el caudal circundante.
- 2- Verificar la presión manométrica.
- 3- Verificar lubricación y buen estado de Rodamientos.
- 4- Verificar ausencia de fugas.
- 5- Verificar T° del motor.
- 6- Verificar voltaje utilizado.
- 7- Verificar corriente consumida.
- 8- Verificar RPM del eje giratorio.
- 9- Verificar que no existan ruidos inherentes al funcionamiento normal.
- 10- Verificar que el impulsor no presente erosión por cavitación
- 11- Verificar que la bomba este cebada.

SI	NO	Observaciones Especificas

Técnico: _____

Fecha: _____

Firma _____

Observaciones Generales: _____

(Figura 11) Elaboración propia en base a PDF de gestión del mantenimiento.

3.6. Análisis de la planificación de mantenimiento.

En el capítulo 3 se elaboró la planificación del mantenimiento y se realizaron recomendaciones establecidas para los equipos críticos del fundo, con la utilización de 2 metodologías principalmente; metodología RCM la cual estuvo centrada en el análisis de modos de falla críticos de las bombas centrifugas, mediante el estudio gradual y progresivo de la toma de

decisiones RCM y en segundo lugar fue utilizado un procedimiento de elección de equipos de las bombas sumergibles establecido por la marca C.R.I. En base a dichos análisis se pudo seleccionar el equipo de bombeo más apropiado para realizar la tarea bajo las circunstancias pre establecidas para cada pozo, de esta forma nos aseguramos de alarga la vida útil del activo y aumentar su confiabilidad dentro del proceso,

3.7. Factibilidad técnica económica del plan de mantenimiento.

Según las planificaciones realizadas y la elección nuevas de equipos operacionales en las instalaciones se espera aumentar de 2 años hasta 5 años la vida útil de las bombas sumergibles (un aumento del 150% de su vida útil, que corresponde a la vida útil de estos equipos estimada por el vendor), también se espera reducir pérdidas asociadas a las pérdidas productivas de la empresa por fallas operacionales no programadas, mejorando la disponibilidad operacional de las bombas centrifugas.

Para realizar el cálculo de disponibilidad es necesario conocer algunos datos importantes de la máquina y su mantenimiento en la empresa:

- Tiempo detenido el equipo por fallas funcionales: 48 hrs mensuales aproximadamente
- Paradas por mantenimiento preventivo: 1 parada con un tiempo de 4 hrs
- Horas disponibles: Se define como las horas totales de un mes, considerando un mes de 30 días y 24 hrs. c/día, se tienen un total de 720 hrs
- Horas operativas: Horas trabajadas con la maquinaria haciendo una labor específica; en este caso en un mes se tienen aproximadamente 240 hrs.
- MTBF: $\text{Horas operativas} / \text{N}^\circ \text{ de fallas} = 240 / 2 = 120 \text{ hrs.}$
- MTTR: $\text{Tiempo de mantenimiento correctivo} / \text{N}^\circ \text{ de paradas por mantenimiento correctivo} = 48 \text{ hrs} / 2 = 24 \text{ hrs.}$
- MTBM: $\text{Horas operativas} / \text{N}^\circ \text{ de mantenimientos} = 240 \text{ hrs} / 4 = 60 \text{ hrs}$
- MTM: $\text{Horas de mantenimientos (programados y no programados)} / \text{N}^\circ \text{ de mantenimientos (programados y no programados)} = (48+4) / 4 = 13 \text{ hrs}$

Según los datos que se tienen de las bombas superficiales a partir de los datos proporcionados por los trabajadores, de obtiene que:

La disponibilidad Operacional: $[MTBM / (MTBM + MTM)] * 100 =$
 $[60 / (60 + 13)] * 100 = 82,3 \%$

- Este indicador se mejora básicamente reduciendo las paradas y el tiempo por mantenimiento correctivo y mantenimiento programado;
Por lo tanto reduciendo el mantenimiento Correctivo a 0 idealmente y aumentando la eficiencia del mantenimiento programado que tiene una duración promedio de 4 hrs se logra llegar a nuevos valores:

$$MTBM = 240 \text{ hrs} / 4 = 60 \text{ hrs}$$

$$MTM = (0 + 4) / 1 = 4 \text{ hrs}$$

- Nueva disponibilidad Operacional = $[60 / (60 + 4)] * 100 = 93,75\%$

Análisis: Al mejorar la disponibilidad operacional de las bombas centrifugas hasta el 93,75 y mitigar completamente las fallas no programadas y mantenimientos correctivos, se pueden eliminar totalmente las pérdidas productivas en los cultivos del fundo, que llegan a valores aproximados de \$9.000.000 de pesos anuales.

Todo el plan de mantenimiento requiere una inversión aproximada de \$1.500.000 mil pesos mensuales. Para evaluar la factibilidad técnica económica se realiza un pequeño flujo de caja. Donde se tienen los siguientes valores:

Beneficios asociados al plan de mantenimiento

- Cada bomba sumergible tiene un costo = \$800.000
- La empresa actualmente tienen un gasto de \$2 000.000 cada 5 años en la compra de bombas sumergibles, ya que se cambia el equipo cada 2 años aproximadamente, al aumentar su vida útil a 5 años se tiene:

$$\$800.000 - \$2.000.000 = 1.200.000, \text{ esto por 3 bombas} = \$3.600.000$$

- Cada 5 años se ahorrarían \$3.600.000 en bombas sumergibles
- Actualmente se estiman perdidas de \$9.000.000 por perdidas en la producción, esto debido principalmente a detenciones no programadas y mayores a 12 hrs.

Costos asociados

- La inversión inicial: Se debe realizar en Nuevas herramientas (\$1.200.000), y nuevos registros del mantenimiento (\$300.000) es de aproximadamente **\$1.500.000**.
- Materiales Directos: Se debe gastar en materiales \$1.000.000 (Lubricantes de buena calidad, Grasas, Rodamientos, Sellos mecánicos eh impulsores, para mantener un stock amplio de repuestos).
- Mano de obra= 1 mecánico = sueldo de \$500.000 mensual = \$7.000.000 anual.
- Materiales indirectos= aumento en \$500.000 anuales.

3.7.1. Flujo de caja

	0	1	2	3	4	5
Mano de obra		\$ -7.000.000	\$ -7.000.000	\$ -7.000.000	\$ -7.000.000	\$ -7.000.000
Materiales directos		\$ -1.000.000	\$ -1.000.000	\$ -1.000.000	\$ -1.000.000	\$ -1.000.000
Materiales indirectos		\$ -500.000	\$ -500.000	\$ -500.000	\$ -500.000	\$ -500.000
Inversión Anual		\$ -8.500.000	\$ -8.500.000	\$ -8.500.000	\$ -8.500.000	\$ -8.500.000
150% B.S						\$ 3.600.000
Inversión Inicial	\$ 1.500.000					
Ahorro en pérdidas productivas		\$ 9.000.000	\$ 9.000.000	\$ 9.000.000	\$ 9.000.000	\$ 9.000.000

Flujo neto de caja	\$ -1.500.000	\$ 500.000	\$ 500.000	\$ 500.000	\$ 500.000	\$ 500.000
Flujo actualizado	\$ -1.500.000	\$ 500.000	\$ 500.000	\$ 500.000	\$ 500.000	\$ 4.100.000
Flujo acumulado	\$ -1.500.000	\$ -1.000.000	\$ -500.000	\$ -	\$ 500.000	\$ 4.600.000

(Tabla 3-5) Elaboración propia en base a estudios de preparación de proyectos.

Análisis de resultados: Una vez realizado el flujo de caja según los datos obtenidos se obtuvo que la factibilidad técnica económica del plan de mantenimiento es positiva, y que al año 5 se tendrán beneficios económicos de \$4.600.000. Dicho esto se puede concluir que el plan de mantenimiento efectuado para el fundo San Ignacio es factible económicamente.

CONCLUSIÓN.

De acuerdo a la gran cantidad de fallas funcionales producidas en las instalaciones del fundo San Ignacio y la corta vida útil de los equipos, es que se pudo obtener que dichas fallas eran consecuencia de grandes deficiencias en los planes de mantenimiento efectuado a los

equipos, falta de monitoreo en las instalaciones y el escaso personal encargado de asegurar la disponibilidad de los activos.

Se pudo asegurar que la realización de un análisis de criticidad de los equipos es de suma importancia para realizar una planificación de mantenimiento, sea cual fuese esta, ya que de esta forma podemos dirigir de manera óptima los recursos de la empresa, y asegurar el mayor impacto favorable en las instalaciones de una forma eficiente.

La elección de los equipos adecuados en una instalación tienen una gran importancia, no solo en la operación y funcionamiento de un proceso, sino que también posee una gran relevancia en el mantenimiento que se planifica, debido a que las condiciones de operación de una maquina (en este caso las bombas) afectan directamente el desgaste de la máquina, y la velocidad con que esta se deteriora. Es debido a esto que es necesario conocer tanto sus condiciones de operación y labor en la empresa como los modos de falla que se producen en el equipo

Por último se pudo concluir que la implementación de una planificación centrada en confiabilidad RCM posee una gran precisión en las tareas efectuadas y las pautas que esta metodología plantea deben seguirse de manera concreta, para asegurarse así que los resultados obtenidos estén basados en un criterio específico, que sea capaz de agrupar diversos modos de falla, muchas veces de naturalezas opuestas, pero que es necesario integrar bajo un mismo criterio, con el fin de seleccionar las tareas preventivas más críticas del sistema.

BIBLIOGRAFÍA

PDF gestión del mantenimiento Profesor Carlos Baldi

Tesis Plan de mantenimiento a planta de refrigeración

Tesis Elaboración de plan de mantenimiento frigorífico FIORDOSUR

Súper manual de bombas sumergibles y estaciones de bombeo

<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/5311/fichero/5-%2BAnálisis%2Bde%2Bcríticidad.pdf>

<https://blogdelacalidad.com/analisis-de-modos-de-fallas-y-efectos-fmea/>

http://repositori.uji.es/xmlui/bitstream/handle/10234/128127/TFG_2015_BarredaBeltranS.pdf?sequence=1