Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Universidad del Perú. Decana de América
Facultad de Ciencias Físicas
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica de Fluidos

Repotenciamiento del sistema de bombeo y línea de impulsión de las bombas de enfriamiento del condensador de la turbina de vapor para mejorar el rendimiento en una central termoeléctrica

TESIS

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico de Fluidos

AUTOR

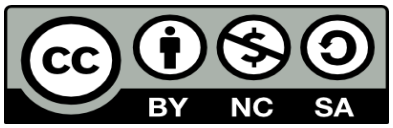
Julio Fernando CASTAÑEDA GUTIÉRREZ

ASESOR

Miguel Ernesto ARÁMBULO MANRIQUE

Lima, Perú

2026



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Castañeda, J. (2026). *Repotenciamiento del sistema de bombeo y línea de impulsión de las bombas de enfriamiento del condensador de la turbina de vapor para mejorar el rendimiento en una central termoeléctrica*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ciencias Físicas, Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica de Fluidos]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor	
Nombres y apellidos	JULIO FERNANDO CASTAÑEDA GUTIERREZ
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	72518649
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0006-2061-8547
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	MIGUEL ERNESTO ARÁMBULO MANRIQUE
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	07418845
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0003-0989-8235
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	MIGUEL ANGEL ORMEÑO VALERIANO
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	06532600
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	ELISEO PAEZ APOLINARIO
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	19948335
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	
Tipo de documento	
Número de documento de identidad	
Miembro del jurado 3	
Nombres y apellidos	

Tipo de documento	

Número de documento de identidad	
Datos de investigación	
Línea de investigación	Turbomáquinas Hidráulicas
Grupo de investigación	-
Agencia de financiamiento	Propio
Ubicación geográfica de la investigación	País: Perú Departamento: Ica Provincia: Nazca Distrito: San Juan de Marcona Latitud: 15° 21′ 55″ S Longitud: 75° 09′ 45″ O
Año o rango de años en que se realizó la investigación	2022-2025
URL de disciplinas OCDE	Ingeniería Mecánica http://purl.org/pe-repo/ocde/ford#/2.03.01

UNMSM
Firmado digitalmente por ARAMBULO MANRIQUE Miguel Ernesto FAU 20148092282 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 19.06.2026 12:11:36 -05:00

Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú, Decana de América

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA DE FLUIDOS

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PRESENCIAL PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO MECÁNICO DE FLUIDOS

Siendo las 19:00 horas del martes 02 de junio del 2026, en el Auditorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica de Fluidos, bajo la presidencia del Dr. Ing. MIGUEL ANGEL ORMEÑO VALERIANO y con la asistencia del asesor Mg. Ing. MIGUEL ERNESTO ARÁMBULO MANRIQUE, y miembro Mg. Ing. ELISEO PAEZ APOLINARIO se dio inicio a la sesión pública de sustentación de tesis para la obtención del Título Profesional de Ingeniero Mecánico de Fluidos, mediante la sustentación y aprobación de una tesis del Bachiller:

CASTAÑEDA GUTIERREZ JULIO FERNANDO

El presidente del Jurado en primer lugar dio lectura al documento formal que designa al Jurado y aprueba el acto de sustentación de la tesis, así corno del resumen del expediente e invitó al citado Bachiller a realizar la presentación y exposición de su tesis titulada tesis "REPOTENCIAMIENTO DEL SISTEMA DE BOMBEO Y LÍNEA DE IMPULSIÓN DE LAS BOMBAS DE ENFRIAMIENTO DEL CONDENSADOR DE LA TURBINA DE VAPOR PARA MEJORAR EL RENDIMIENTO EN UNA CENTRAL TERMOELÉCTRICA".

Concluida la exposición del candidato y luego de las preguntas de rigor por parte del Jurado, el presidente del mismo, invitó al Bachiller a abandonar momentáneamente la Sala de Sesión para dar paso a la deliberación y calificación por parte del Jurado.

Al término de la deliberación del Jurado, se invitó al candidato a regresar a la Sala de Sesión, para dar lectura a la calificación obtenida por el Bachiller, la misma que es:

18	Dieciocho	Aprobado con honores
(NUMERO)	(LETRAS)	(MENCIÓN)

El presidente del Jurado Dr. Ing. MIGUEL ANGEL ORMEÑO VALERIANO, a nombre de la Nación y de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, declaró al Bachiller CASTAÑEDA GUTIERREZ JULIO FERNANDO, Ingeniero Mecánico de Fluidos.
Siendo las 20:00 horas del mismo día, se levanta la sesión.

Dr. Ing. MIGUEL ANGEL ORMEÑO VALERIANO
PRESIDENTE

Mg. Ing. ELISEO PAEZ APOLINARIO
MIEMBRO TITULAR

Mg. Ing. MIGUEL ERNESTO ARÁMBULO MANRIQUE
ASESOR

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
Universidad del Perú, Decana de América

Anexo 1

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, MIGUEL ERNESTO ARAMBULO MANRIQUE en mi condición de asesor acreditado mediante Dictamen N° 006-EPIMF-2026-FCF/UNMSM de la tesis, cuyo título es "REPOTENCIAMIENTO DEL SISTEMA DE BOMBEO Y LÍNEA DE IMPULSIÓN DE LAS BOMBAS DE ENFRIAMIENTO DEL CONDENSADOR DE LA TURBINA DE VAPOR PARA MEJORAR EL RENDIMIENTO EN UNA CENTRAL TERMOELÉCTRICA, presentado por el Bachiller Julio Fernando Castañeda Gutierrez para optar el título profesional de INGENIERO MECÁNICO DE FLUIDOS.

CERTIFICO que se ha cumplido con lo establecido en la Directiva de Originalidad y de Similitud de Trabajos Académicos, de Investigación y Producción Intelectual. Según la revisión, análisis y evaluación mediante la plataforma PIDS, el documento evaluado cuenta con el 13% de similitud, nivel PERMITIDO para continuar con los trámites correspondientes y para su **publicación en el repositorio institucional.**

Se emite el presente certificado en cumplimiento de lo establecido en las normas vigentes, como uno de los requisitos para la obtención del título profesional de INGENIERO MECÁNICO DE FLUIDOS.

Lima, 20 de JUNIO de 2026

Firma del Asesor _____

Nombres y Apellidos del asesor: MIGUEL ERNESTO ARAMBULO MANRIQUE

DNI: 07418845

* Según corresponda: bachiller, magíster, doctor; título profesional o título de segunda especialidad

La vigencia del presente certificado corresponde a un período de noventa (90) días desde la fecha de su emisión; siempre que no haya observaciones en el texto durante el proceso de revisión por el jurado informante o surja alguna contingencia.

i. ACTA DE SUSTENTACIÓN

ii. DEDICATORIA

Dedico este trabajo a quienes, en los inicios de mi camino académico, me impulsaron a no rendirme y a confiar en mis capacidades. A aquella persona que, a lo largo de mi etapa universitaria, me brindó apoyo emocional y fortaleza en momentos decisivos, dejando una huella importante en este proceso.

Y, de manera especial, a mis padres, por su esfuerzo, su confianza y el aliento que me dieron en la etapa final, cuando la incertidumbre parecía opacar este logro.

Este triunfo también les pertenece.

iii. AGRADECIMIENTO

Expreso mi sincero agradecimiento a la institución que me formó académicamente y a cada uno de mis docentes, por sus enseñanzas, exigencia y compromiso a lo largo de mi formación profesional.

A mi asesor de tesis, por su orientación, tiempo y dedicación durante el desarrollo de este trabajo.

Asimismo, agradezco a mi familia por su apoyo constante y a mis amigos y compañeros por la colaboración y el acompañamiento brindado en este proceso académico.

Finalmente, reconozco a todas las personas que, de manera directa o indirecta, contribuyeron a la culminación de este proyecto.

i. Índice general

ITEM	DESCRIPCIÓN	PÁGINA
I	INTRODUCCIÓN	I
	1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	IV
	1.2.1. DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA	IV
	1.2.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	VII
	1.2.2.1. Problema Principal	VII
	1.2.2.2. Problemas específicos	VIII
	1.3. OBJETIVOS	VIII
	1.3.1. Objetivo Principal	VIII
	1.3.2. Objetivos específicos	VIII
	1.4. IMPORTANCIA Y ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN	IX
	1.4.1. Justificación práctica	IX
	1.4.2. Justificación social	IX
	1.4.3. Justificación económica	IX
	1.4.4. Justificación por conveniencia	X
	1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	X
	1.5.1. Aspectos éticos	X
II	REVISIÓN DE LITERATURA	XI
	2.1. MARCO TEÓRICO	XI
	2.2. ANTECEDENTES DE ESTUDIO	XI
	2.2.1. Antecedentes Internacionales	XI
	2.2.2. Antecedentes Nacionales	XIV
	2.3. BASES TEÓRICAS	XVIII
	2.3.1. Eficiencia energética	XVIII
	2.3.2. Clasificación de las bombas	XVIII
	2.3.3. Bombas hidráulicas	XIX
	2.3.4. Tipos de bombas hidráulicas	XIX
	2.3.4.1. Bombas de Desplazamiento Positivo	XIX
	2.3.4.2. Bombas para agua de mar	XX
	2.3.4.3. Bombas centrífugas o rotodinámicas	XX
	2.3.4.4. Partes de la bomba centrífuga	XXIII
	2.3.5. Variables principales que influyen en el funcionamiento de sistemas de bombeo	XXVI
	2.3.6. Parámetros hidráulicos de bombas	XXVIII
	2.3.7. Evaluación de la eficiencia de bombas	XXIX
	2.3.8. Pérdida de eficiencia de la bomba	XXX
	2.3.9. Cómo aumentar la eficiencia energética de las bombas: empiece por el sistema	XXXI
	2.3.10. Variables que afectan el desempeño energético en sistemas de bombeo	XXXII
	2.3.11. Ciclo Rankine	XXXVI
	2.3.12. Eficiencia energética	XXXVII
	2.3.13. Eficiencia energética del motor IE2	XXXVIII
	2.3.14. Ventajas de los Motores IE2	XXXVIII
	2.3.15. Funcionamiento de la eficiencia energética motor IE2	XXXIX
	2.3.16. Motores IE3	XL
	2.3.17. Beneficios de los motores de alta eficiencia.	XL
	2.4. Marco Conceptual	XLI
	2.4.1. Definición de términos	XLI
	2.4.2. Normas Legales	XLIII

	2.4.3. Definición de siglas	XLIV
III	HIPÓTESIS Y VARIABLES	XLIV
	3.1. HIPÓTESIS	XLIV
	3.1.1. Hipótesis Principal	XLIV
	3.1.2. Hipótesis Específicas	XLIV
	3.2. VARIABLES	XLV
	3.2.1. Variable Principal	XLV
	3.2.2. Variable secundaria	XLV
	3.3. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	XLV
IV	MATERIALES Y MÉTODOS	XLVII
	4.1. ÁREA DE ESTUDIO	XLVII
	4.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	XLVIII
	4.2.1. Diseño de la Investigación	XLIX
	4.2.2. Enfoque de la investigación	L
	4.2.3. Tipo de la Investigación	L
	4.3. POBLACIÓN Y MUESTRA	LI
	4.3.1. Población	LI
	4.3.2. Taxonomía de equipos	LI
	4.3.3. Listado de equipos y sus funciones	LII
	4.3.4. Muestra	LIII
	4.4. PROCEDIMIENTOS	LIV
	4.4.1. Técnicas e instrumentos de recolección de información	LIV
	4.4.1.1. Técnicas de recolección de datos	LIV
	4.4.2. Análisis e interpretación de la información	LIX
	4.4.2.1. Estadística descriptiva	LX
	4.4.2.2. Comprobación de hipótesis	LXI
	4.4.2.3. Procedimiento a seguir para el desarrollo de la investigación	LXII
V	RESULTADOS	LXIII
	5.1. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	LXIII
	5.1.1. Descripción del proceso donde intervienen las bombas	LXIII
	5.1.2. Estado actual de las bombas.	LXIII
	5.1.3. Disposición de las bombas peearles	LXIII
	5.1.4. Caudal requerido de las bombas	LXIII
	5.1.5. Diagrama de distribución de las bombas	LXIV
	5.1.6. Tipo de corriente en los motores	LXV
	5.1.7. Tipo de eficiencia en los motores	LXV
	5.1.8. Datos públicos de consumo de energía eléctrica de la empresa	LXV
	5.1.9. Tipo de tarifa	LXVI
	5.1.10. Distribución de energía eléctrica en la empresa	LXVII
	5.1.11. Tratamiento al agua de mar	LXVIII
	5.1.12. Área de mantenimiento preventivo en la empresa	LXVIII
	5.1.13. Características de las bombas peerless	LXIX
	5.1.14. Procedimiento a desarrollar para el cálculo del ahorro de energía	LXXI
	5.1.14.1. Taxonomía de los equipos	LXXI
	5.1.15. Listado de equipos y sus funciones	LXXII
	5.1.16. Cálculo de la criticidad	LXXIII
	5.1.17. Cálculo del Número de prioridad de riesgo (NPR)	LXXVII
	5.1.18. Advertencias cualitativas	LXXX
	5.1.19. Recopilación de datos técnicos de bombas	LXXX
	5.1.20. Ficha técnica del equipo instalado	LXXXI
	5.1.21. Características motor actual vs el propuesto	LXXXI

5.1.22. Determinación de la eficiencia real de la bomba LXXXII
5.1.23. Cálculo de la eficiencia por el método de potencia de entrada. LXXXIII
5.1.23.1. Medición de caudales LXXXIV
5.1.23.2. Valores de la potencia eléctrica de toma de la línea LXXXV
5.1.23.3. Cálculo de la potencia ahorrada LXXXVIII
5.1.24. Análisis económico LXXXIX
5.1.24.1.1. Gastos de instalación y mantenimiento. LXXXIX
5.1.24.1.2. Inversión inicial. LXXXIX
5.1.24.1.3. Gastos de instalación y mantenimiento XC
5.1.24.1.4. Descuento por Depreciación Incremental (Dep) XC
5.1.24.1.5. Valor presente neto (VAN) XCI
5.1.24.1.6. Tiempo de retorno de la inversión TRI XCIII
5.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS XCV

VI DISCUSIÓN XCVII
VII CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES XCVII
7.1. CONCLUSIONES XCVII
7.2. RECOMENDACIONES C

BIBLIOGRAFÍA Y ANEXOS CVI
REFRENCIAS CVI
ANEXOS CXII
1. Matriz de consistencia CXII
2. Imágenes de las bombas CXIII
3. Tablas medidas de caudales CXVII
4. Características técnicas de las bombas peerless CXX
5. Cotización de bomba seleccionada CXXVI
6. Normas legales referenciadas CXXXVIII
7. Otras cotizaciones de motores de 250 HP CXLII
8. Cotización dólar al 31 de Julio 2025 CXLIII

ii. Índice de tablas

TABLA	DESCRIPCIÓN	PÁGINA
1	Eficiencia de bomba	XXX
2	Operacionalización de variables	XLVI
3	Cantidad de bombas instaladas	LI
4	Taxonomía de equipos	LII
5	Características básicas de los equipos	LIII
6	Datos de empresas relacionadas	LXV
7	Personal del área de mantenimiento	LXIX
8	Característica de la bomba peerless	LXIX
9	Características de las bombas	LXIX
10	Taxonomía de equipos	LXX
11	Características básicas de los equipos	LXXIII
12	Frecuencia de falla (FR)	LXXIV
13	Impacto operacional (IO)	LXXIV
14	Flexibilidad Operacional (FO)	LXXIV
15	Costo de mantenimiento (CM)	LXXV
16	Seguridad y medio ambiente (SG)	LXXV
17	Criticidad	LXXVI
18	Análisis de valores de fallas	LXXVI
19	Severidad (S)	LXXVIII
20	Ocurrencia (O)	LXXVIII
21	Detectabilidad (D)	LXXIX
22	Resultados de los valores para el cálculo del NPR	LXXIX
23	Advertencias cualitativas	LXXX
24	Características de las bombas instaladas	LXXXII
25	Valor promedio de caudales	LXXXV
26	Cálculo del amperaje	LXXXVI
27	Cálculo de la potencia eléctrica	LXXXVII
28	Inversión inicial para un motor de alta eficiencia	XC
29	Tabla de cálculo del VPN y TRI	XCIV
30	MATRIZ DE CONSISTENCIA	CXII
31	Medidas de caudales bomba 5	CXVII
32	Medidas de caudales bomba 6	CXVIII
33	Medidas de caudales bomba 7	CIX

iii. Índice de Figuras

ITEM	DESCRIPCIÓN	PÁGINA
1	Tipos de bombas centrífugas, según (Hydraulic Institute ANSI/HI 14.1-14.2, 2019).	XXI
2	Representación interna de una bomba centrífuga	XXII
3	Componentes de una bomba Centrífuga.	XXIII
4	Partes de una bomba	XXV
5	Mediciones de presión atmosférica, presión absoluta y presión relativa.	XXVII
6	Pérdidas de eficiencia de bomba	XXX
7	Curva confiabilidad bomba	XXXIII
8	Curvas características del desempeño de una bomba centrifuga	XXXIV
9	Curva característica desempeño de motor según su carga	XXXV
10	Ciclo Rankine de vapor – Diagrama de flujo	XXXVI
11	Etapas del ciclo Rankine	XXXVII
12	Ubicación de la Central Térmica	XLVII
13	Interior de la Central Térmica	XLVII
14	Ubicación Central termoeléctrica	XLVIII
15	Secuencia del diseño de investigación	XLVIII
16	Clasificación de la taxonomía	LI
17	Diagrama vectorial	LIX
18	Diagrama de distribución de las bombas	LXIV
19	Distribución de la unidad de estación de vapor	LXIV
20	Curva de bombas peerless	LXX
21	Clasificación de la taxonomía	LXXI
22	Datos de las bombas	LXXX

RESUMEN

En el Perú, se calcula que los motores eléctricos representan más del 50% del consumo nacional de energía, y en el caso de muchas instalaciones industriales, este valor puede alcanzar hasta un 70%. La implementación de mejoras en su rendimiento, así como la aplicación de técnicas de control adecuadas, permite aumentar la productividad mientras se reduce tanto el uso de energía como los gastos de funcionamiento.

El objetivo primordial de este estudio es realizar un estudio enfocado en optimizar el rendimiento de tres bombas Peerless que forman parte del sistema de enfriamiento en una central termoeléctrica. La investigación se enmarca dentro del nivel aplicado, con una perspectiva cuantitativa y un diseño no experimental. El procedimiento contempla inicialmente un estudio del estado actual de los motores de las bombas, seguido del cálculo de su nivel de criticidad y del Número de Prioridad de Riesgo (NPR), así como el análisis de los datos obtenidos. Posteriormente, se identificarán los factores que contribuyen a las fallas de los motores, complementando el estudio con una evaluación económica vinculada con el consumo de energía eléctrica de estos equipos. Como **resultado** se obtiene que el valor de la Criticidad es 63 y el valor del NPR es 168, valores altos que demuestran la urgencia de realizar cambios y mejoras en la eficiencia, los valores de la rendimiento obtenidos en los motores instalados de 83.6 afirman la necesidad, del cambio, así como los valores de ahorro energético obtenidos. Se **concluye** que para un mejor rendimiento y ahorro energético es necesario Sustituir los motores de las bombas por otros nuevos de igual potencia, pero con mayor uso eficiente de la energía.

Se **recomienda** implementar un sistema de Estrategia de mantenimiento orientado a la confiabilidad. (RCM) que es una metodología mediante la cual las organizaciones identifican los equipos físicos esenciales (como maquinaria o herramientas) involucrados en sus procesos productivos, con el fin de desarrollar una estrategia integral que asegure

su funcionamiento continuo y eficiente en condiciones óptimas. Para mejorar y prevenir el buen funcionamiento de las bombas, se sugiere reemplazar los tres motores por otros de mayor rendimiento, ya que el tiempo de trabajo es alto (7,000 horas al año) y el rendimiento de los nuevos motores son del 90% mínimo. La **importancia** de la presente investigación con respecto al ahorro energético es Aportar a la protección del entorno ambiental, ya que un menor consumo de energía reduce las emisiones de CO_2.

Palabras claves: Bombas – Rendimiento - Ahorro de energía

ABSTRACT

In Peru, it is estimated that electric motors account for more than 50% of the national energy consumption, and in the case of many industrial facilities, this figure can reach up to 70%. Implementing efficiency improvements, as well as applying appropriate control techniques, allows for increased productivity while reducing both energy consumption and operating costs.

The primary objective of this study is to conduct a study focused on optimizing the energy efficiency of three Peerless pumps that are part of the cooling system in a thermoelectric plant. The research is applied in nature, with a quantitative approach and a non-experimental design. The procedure initially involves a study of the current state of the pump motors, followed by the calculation of their criticality level and Risk Priority Number (RPN), as well as the analysis of the data obtained. Subsequently, the factors that contribute to motor failures will be identified, complementing the study with an economic evaluation linked to the electrical energy consumption of this equipment. The results show a Criticality score of 63 and a RPN of 168, both high values that demonstrate the urgent need for changes and efficiency improvements. The efficiency of the installed

motors (83.6%) confirms the necessity of the change, as do the energy savings achieved. It is concluded that to improve efficiency and energy savings, it is necessary to replace the pump motors with new ones of the same power but with greater energy efficiency.

It is recommended to implement a Reliability-Centered Maintenance (RCM) strategy, a methodology by which organizations identify the essential physical equipment (such as machinery or tools) involved in their production processes in order to develop a comprehensive strategy that ensures their continuous and efficient operation under optimal conditions. To improve and prevent problems with the pumps, it is suggested that the three motors be replaced with more efficient ones, given their high operating time (7,000 hours per year) and the fact that the new motors have a minimum efficiency of 90%. The importance of this research with respect to energy saving is to contribute to the protection of the environment, since lower energy consumption reduces CO_2 emissions.

Keywords: Pumps - Efficiency - Energy Savings

I. INTRODUCCIÓN

1.1. INTRODUCCIÓN

El uso eficiente de la energía es un aspecto clave en el contexto actual, debido a los crecientes desafíos asociados al cambio climático y al agotamiento progresivo de los recursos naturales. Este concepto hace referencia al uso racional y optimizado de la energía, buscando maximizar el rendimiento o los resultados obtenidos a partir de una determinada cantidad de recursos energéticos. En términos prácticos, implica lograr una mayor productividad con un menor uso de energía. Su aplicación tiene como finalidad minimizar las pérdidas y el despilfarro de energía en todos los sectores, incluyendo el ámbito residencial, industrial y del transporte, promoviendo así un desarrollo más sostenible y técnicamente eficiente.

El uso eficiente de la energía ofrece múltiples ventajas tanto en el ámbito individual y comunitario. A continuación, se describen algunas:

Disminución de los gastos operativos: Es factible reducir significativamente los costos de electricidad al optimizar la utilización de energía. Esto es particularmente importante debido a la inestabilidad de los costos de la energía

Sostenibilidad ambiental: Las prácticas óptimas de uso eficiente de la energía colaboran en la lucha frente a las variaciones del clima y en el cuidado del entorno, al reducir la liberación de gases de efecto invernadero y otros agentes contaminantes.

Seguridad energética: Un uso más eficiente de los recursos permite disminuir la dependencia de proveedores externos de energía, fortaleciendo la seguridad energética del sistema.

Mejora del confort: Las medidas de rendimiento no solo pretenden disminuir el consumo de energía, sino también incrementa el bienestar en los ambientes, mejorando

el confort térmico, lumínico y en climatización en espacios residenciales y de trabajo, garantizando condiciones óptimas de operación.

El uso eficiente de la energía resulta esencial en el sector industrial, ya que las empresas pueden adoptar diversas estrategias para optimizar su uso de energía y disminuir su huella ambiental. A continuación, se presentan algunas prácticas frecuentemente aplicadas:

Auditorías energéticas: La realización periódica de auditorías permite identificar procesos, equipos o sistemas con consumo excesivo, pérdidas energéticas o ineficiencias. Esto incluye el análisis de líneas de producción, iluminación, climatización y medios de transporte internos de la empresa.

Eficiencia en la producción: Ajustar los procesos industriales para eliminar pasos innecesarios, adoptar tecnologías de mayor rendimiento, y recuperar energía residual (por ejemplo, mediante cogeneración) son medidas que reducen significativamente el uso de energía.

Gestión de la demanda energética: Implementar control de la demanda pico, desplazar cargas intensivas a periodos de menor demanda, y adoptar mecanismos que permitan responder a las variaciones del consumo, contribuye a Re3ducir los costos relacionados a los picos y a mejorar el funcionamiento general de la central.

Formación y concienciación: Promover entre los colaboradores la cultura de uso eficiente de la energía, mediante entrenamiento, establecimiento de buenas prácticas y responsabilización en el uso de los sistemas, favorece un cambio sostenible que complementa las mejoras técnicas.

En síntesis, el uso eficiente de la energía industrial está relacionada con la utilización optimizada de la energía para lograr un rendimiento máximo con el menor consumo posible. Esto implica operar sistemas y dispositivos con criterios técnicos de

eficiencia, reducir pérdidas y minimizar impactos ambientales, asegurando así una adecuada gestión de los recursos energéticos.

Con el fin de progresar hacia un porvenir más sostenible y resiliente, es esencial implementar prácticas de optimización de la energía. En estas, la gestión responsable de los fuentes de energía tiene un rol muy importante y necesario en tener en conservación el ambiente para las futuras generaciones. La implementación de varias acciones tecnológicas, junto con actividades diarias en el ámbito doméstico, pueden contribuir a alcanzar este objetivo.

Lograr un consumo de energía que sea más eficaz y sostenible se ha vuelto una prioridad a nivel mundial, incluyendo sectores como el de la infraestructura energética a gran escala, así como los comerciales, residenciales e industriales.

En la actualidad, estos sectores utilizan sistemas, técnicas y equipos que aspiran a optimizar la producción y a reducir al mínimo las pérdidas por medio de la adopción de tecnologías novedosas, lo cual constituye un compromiso fundamental con disminuir el impacto en el medioambiente y con ser sostenibles.

Cada sector tiene un rol esencial en la creación de una sociedad que esté consciente acerca de la energía. Con el objetivo de definir las bases para un desarrollo más sustentable, la industria, los hogares, la administración de empresas y el sector energético son sectores fundamentales para poner en marcha estrategias de ahorro y uso eficiente de la energía.

Un eje central para enfrentar los retos medioambientales ha sido la articulación entre la sostenibilidad y la exploración de soluciones eficaces. La creciente reflexión eficiencia energía ha ubicado tanto a la sostenibilidad, así como a la eficiencia en el corazón de las estrategias a nivel global, fomentando que se adopten prácticas que administren los recursos disponibles de manera responsable y optimicen su uso.

El término rendimiento energético, sin lugar a dudas, es un catalizador para lograr metas sostenibles, ya que ofrece un conjunto de herramientas y prácticas que modifican la forma en que utilizamos energía. Desde la disminución de los gastos de funcionamiento hasta la disminución del impacto ecológico, el uso eficiente de la energía tiene un efecto en varias áreas de nuestra vida diaria.

De esta manera, el uso eficiente de la energía se convierte en un componente esencial para alcanzar el Objetivo de Desarrollo Sostenible 7 (ODS 7), promovido por las Naciones Unidas. Esta meta tiene como finalidad asegurar que todos tengan acceso a servicios de energía modernos, confiables, sostenibles y asequibles. No solamente mejora el empleo de los recursos energéticos, optimiza el uso de los recursos, sino que además ayuda a disminuir la polución ambiental y robustece la resiliencia de los sistemas energéticos a nivel global.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1. Determinación del problema

La producción en todos los sectores de la economía requiere energía eléctrica como insumo crucial, y para mantener el crecimiento económico es fundamental garantizar que esta esté disponible de manera confiable y a tiempo. El sector eléctrico, sin embargo, es el que más CO_2 emite en todo el mundo hoy en día; a lo largo de 2023, este sector ha representado el 36% de las emisiones globales vinculadas a la energía. Durante la última década, la demanda de electricidad se ha incrementado casi al doble que la del uso de energía en general, y continúa creciendo a medida que la economía global se electrifica rápidamente.

Las transiciones hacia energías limpias están progresando con firmeza, encabezadas por el aumento sin precedentes de la energía eólica y de la solar fotovoltaica.

El apoyo político, los bajos costos tecnológicos y la gran capacidad para su implementación son las razones de este avance. No obstante, el carbón todavía es la fuente principal de electricidad en todo el mundo y los combustibles fósiles siguen siendo responsables del 60% del abastecimiento eléctrico global. Para definir las tendencias mundiales de emisión de CO_2 y el incremento de la temperatura a largo plazo, durante los próximos años, la rapidez con que se implemente el cambio hacia energías limpias en el sector eléctrico será esencial.

En el contexto peruano, la estimación de la demanda energética para el periodo 2024-2027 indica un crecimiento anual ligeramente superior al 3%, lo que requerirá entre 6,200 y 9,500 MW adicionales de generación. Hasta la fecha, no se han descubierto nuevos proyectos industriales de gran envergadura que ayuden a incrementar la necesidad de energía. De acuerdo con el programa de proyectos de generación en cartera planeado hasta 2027, hay 26 proyectos destinados a generar 4,276 MW, con inversiones por valor de US$5,749 millones; la mayor parte de estos se encuentran atrasados. En este contexto, aunque los proyectos se terminen a tiempo, no serán suficientes para satisfacer la demanda prevista en el futuro.

En la central termoeléctrica investigada se tiene conciencia de estas demandas y la complicidad del requerimiento de energía eléctrica con la contaminación ambiental, por ello se realiza este estudio para optimizar el uso de energía de la central,

Debido al estado actual de las bombas y a su antigüedad, que ocasionan paros en el proceso y un mayor uso de energía, es que se torna necesario realizar un estudio de repotenciación de las bombas para optimizar el consumo eléctrico de las mismas. Es crucial, por estas razones, ser conscientes de lo importante que es hacer un uso responsable de la energía. Hay que promover la reducción del consumo de energía para ayudar a proteger el entorno ambiental y promover el progreso sustentable.

El propósito de este trabajo es compilar y analizar las variables clave, las cuales afectan el rendimiento de los sistemas de bombeo, identificando aquellas que son determinantes para disminuir los gastos y optimizar la eficiencia operacional asociados al mantenimiento y operación, y extender la duración de los equipos. Este análisis tiene lugar en un caso práctico que se enfoca en optimizar el desempeño de los equipos de bombeo de la estación de bombeo, situada en el área refrigerada de la central termoeléctrica objeto del estudio.

Este estudio se enfoca en la recolección y el análisis de datos operativos reales de las tres unidades de bombeo actualmente en funcionamiento en la estación de enfriamiento de la central termoeléctrica en cuestión. Con esta información a disposición, se inicia efectuando un análisis a detalle de las circunstancias operativas del sistema de bombeo, identificando áreas por mejorar en los modos de operación que se alineen con las recomendaciones normativas vigentes. El objetivo es implementar intervenciones que optimicen el uso eficiente de la energía, reduciendo así el consumo de energía y los costos respecto a la operación y mantenimiento.

Por otro lado, el mejorar el rendimiento contribuye al cuidado del entorno ambiental, una responsabilidad compartida por todos. Esta práctica también favorece el desarrollo social, ya que permite una distribución más equitativa del recurso energético entre la población. La creación de máquinas eléctricas más eficientes en los años recientes ha sido posible gracias a la tecnología, que ha introducido aparatos que equilibran energías reactivas y previenen el incremento de temperatura en los equipos mientras están funcionando. La operatividad óptima de los equipos, alcanzando o superando los niveles de eficiencia especificados por los fabricantes, es crucial para disminuir los costos derivados de cuidado, intervención y reparaciones de mayor envergadura en los componentes.

Así, se describen las cuestiones problemáticas existentes:

- El consumo elevado de energía reactiva en los motores eléctricos.
- Disminución de la vida útil de los equipos de bombeo.
- Incremento de costos de operación en reparaciones.
- Antigüedad de las bombas peerless que pasan de 40 años.

Por lo expuesto anteriormente se plantea repotenciar el sistema de bombeo y línea de impulsión de las bombas de enfriamiento del condensador de la turbina de vapor con el fin de optimizar la utilización de la energía en la central termoeléctrica.

Esta investigación se llevará a cabo en el sistema de bombas y la línea de impulsión de la central termoeléctrica. Estas líneas transportan agua del mar hacia los condensadores con el propósito de refrigerar el vapor que emplean las turbinas.

Las bombas actuales peerless son de aproximadamente 45 años de antigüedad y sería conveniente renovarlas al igual que las líneas de impulsión para una mejor eficiencia en cuanto a la energía utilizada. La mayor causa de una mala eficiencia es el deterioro debido al degaste que tienen las bombas.

Para evaluar el progreso en eficiencia, deben considerarse las propiedades técnicas de un sistema estándar de bombeo para agua de consumo humano, utilizando parámetros como: la vida útil del equipamiento, el precio de la energía, las horas mensuales que trabaja el conjunto motor bomba, la potencia eléctrica consumida y el contexto operativo de los componentes. Todo esto se hace para determinar cuál de estos factores tiene mayor potencial para optimizar la reducción del consumo de energía (Banco Interamericano de Desarrollo, 2011).

1.2.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.2.1. Problema Principal

Con base en la definición del problema, podemos plantearlo con la siguiente pregunta:

¿Cómo con repotenciar el sistema de bombeo y línea de impulsión de las bombas de enfriamiento del condensador de la turbina de vapor se mejora el rendimiento en la central termoeléctrica de San Juan de Marcona, Nazca, Ica, Perú?

1.2.2.2. Problemas específicos

a. ¿Cómo con la evaluación de las bombas pearless existentes se mejorará el rendimiento en la central termoeléctrica de San Juan de Marcona, Nazca, Ica, Perú?

b. ¿Cómo con la determinación de los parámetros hidráulicos de las bombas de enfriamiento se mejorará el rendimiento en la central termoeléctrica de San Juan de Marcona, Nazca, Ica, Perú?

c. ¿Cómo con el control de caudales se mejorará el rendimiento en la central termoeléctrica de San Juan de Marcona, Nazca, Ica, Perú?

d. ¿Cómo con la evaluación de los accesorios hidráulicos del sistema de enfriamiento de los condensadores para enfriar el vapor en las turbinas se mejorará la el rendimiento la central termoeléctrica de San Juan de Marcona, Nazca, Ica, Perú?

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo Principal

Considerando el planteamiento del problema principal, el objetivo principal es:

Repotenciar el sistema de bombeo y línea de impulsión de las bombas de enfriamiento de los condensadores de la turbina de vapor para mejorar el uso eficiente de la energía en la central termoeléctrica de San Juan de Marcona, Nazca, Ica, Perú.

1.3.2. Objetivos específicos

1. Evaluar las bombas pearless existentes para mejorar rendimiento en la central termoeléctrica de San Juan de Marcona, Nazca, Ica, Perú.

2. Determinar los parámetros hidráulicos de las bombas de enfriamiento de los condensadores de la turbina de vapor para mejorar el rendimiento en la central termoeléctrica de San Juan de Marcona, Nazca, Ica, Perú.

3. Controlar el caudal para mejorar el rendimiento en la central termoeléctrica de San Juan de Marcona, Nazca, Ica, Perú.

4. Evaluar los accesorios hidráulicos para mejorar el rendimiento en la central termoeléctrica de San Juan de Marcona, Nazca, Ica, Perú.

1.4. IMPORTANCIA Y ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. Justificación práctica

Esta indagación tiene justificación práctica porque ayuda a solucionar la problemática de cómo usar adecuadamente de la energía de la sala de bombas de la central termoeléctrica de Shougang.

Bernal (2010). Sostiene que una indagación se justifica de forma práctica si su despliegue ayuda a solucionar un fenómeno observado, o como mínimo ofrece estrategias que, cuando se implementen, contribuirán a su solución o mejora.

1.4.2. Justificación social

Este estudio muestra justificación social, porque ayuda a resolver problemas que afectan a la empresa y trabajadores de la Empresa Termoeléctrica Shougang.

Arias (año 2010). Afirma que todas las investigaciones deben tener cierta importancia social, logrando un impacto significativo en la sociedad y mostrando una proyección o alcance social.

1.4.3. Justificación económica

El estudio se justifica de forma económica, porque con el ahorro en el costo energético ocasionado por las nuevas bombas, se podrá recuperar lo invertido en el cambio de las bombas y con el tiempo dejarán utilidades.

Baena (2017). Argumenta que una investigación debe demostrar si será capaz de recuperar el dinero gastado a lo largo del proceso. La rentabilidad de la investigación es mencionada por Tamayo y Tamayo (1999).

1.4.4. Justificación por conveniencia

Se justifica por conveniencia porque ayuda a alcanzar el grado de Ing. Mecánico de Fluidos en la prestigiosa Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Hernández, Fernández y Baptista (2014), mencionan que un estudios debe justificar para alcanzar la obtención del grado académico que se pretende.

1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

La indagación se circunscribe a:

1. Solamente la central termoeléctrica de San Juan de Marcona, Nazca, Ica, Perú.
2. Solo a las líneas de impulsión de las bombas de enfriamiento de los condensadores.
4. No se calcularán los costos realizados
5. No se analizará el Ciclo Rankine.

1.5.1. Aspectos éticos

a. Los datos recopilados en la compañía son de naturaleza estrictamente confidencial y se usa solamente con los fines donde se ha determinado en la presente indagación.

b. En la presente indagación, se ha recurrido a una variedad de fuentes informativas y conocimientos, consultando múltiples autores y referencias, con el objetivo de desarrollar una perspectiva intelectual propia para la investigación. Respetando rigurosamente las normas de propiedad intelectual del autor, asegurando la correcta citación y referencia de las fuentes utilizadas.
c. En cada una de las visitas a la empresa, sea para entrevistas o recoger datos en campo, se han requerido los permisos y seguido todas las normas y procedimientos necesario, además del apropiado uso de los elementos de protección personal cuando era preciso.
d. En el presente estudio, hemos actuado conforme a nuestras competencias profesionales y académicas, asegurando que todo el contenido desarrollado es producto de nuestro esfuerzo intelectual y conocimiento.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. MARCO TEÓRICO

Al ofrecer la estructura conceptual requerida para entender, poner en contexto y abordar de manera efectiva un problema de estudio particular, realiza un papel esencial en la investigación. Mediante la integración de teorías, modelos, conceptos y paradigmas existentes, el marco teórico establece un fundamento que orienta el proceso investigativo. Esta estructura permite identificar variables relevantes, formular hipótesis, delimitar el alcance del estudio y establecer criterios para la interpretación de los resultados obtenidos.

2.2. ANTECEDENTES DE ESTUDIO

2.2.1. Antecedentes Internacionales

Gómez A. (2021). ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LA CCRR DEL ESTEPAR (T.M. CARLET) Y ESTUDIO DEL POTENCIAL DE RECUPERACIÓN ENERGÉTICA A TRAVÉS DE BOMBAS ACTUANDO COMO TURBINAS. Universidad Politécnica de Valencia. Tesis de Master.

Resumen:

El propósito de este Trabajo Final de Máster es optimizar la administración de sistemas de riego, enfocándose en la eficiencia tanto del consumo de agua para riego, así como del gasto energético asociado al desempeño de la red. Se efectuó un análisis detallado de un caso específico: la Comunidad de Regantes del Estepar, que se encuentra en el término comunal de Carlet. Conjuntamente, se evaluará el potencial de recuperación de energía en puntos estratégicos de la instalación mediante el uso de bombas operando como turbinas (conocido como "Pump As a Turbine" o PAT), bajo diversas condiciones de funcionamiento. En este contexto, la entidad de riego del Estepar gestiona el suministro de agua para cerca de 400 hectáreas de sembradíos de fruta, como caquis y cítricos, contando con la infraestructura necesaria para su operación eficiente. Este estudio busca

encontrar oportunidades para mejorar la sostenibilidad y rentabilidad del sistema de riego, cooperando con el avance de prácticas agrícolas más sustentables y eficientes en el uso de recursos.

Arenas J. y Herazo J. (2019). EVALUACIÓN ENERGÉTICA DE MEJORAS EN EL SISTEMAS DE BOMBEO EN LA PLANTA DE AGUAS LIMPIAS DE LA EMPRESA GRACETALES LTDA. UNIVERSIDAD DE LA COSTA. Tesis de grado.

Resumen:

El presente trabajo se relaciona con la elaboración de un caso de estudio sobre la gestión efectiva de la energía (GEE) en la planta de aguas limpias de una compañía ubicada en Barranquilla. Se llevó a cabo el análisis considerando las circunstancias reales de funcionamiento de la planta, examinando el efecto energético y financiero que tendría reemplazar cuatro conjuntos bomba-motor por otros de mayor rendimiento y potencia apropiada para los requerimientos operativos. Asimismo, se creó una lógica de control para su operación, añadiendo componentes como interruptores de nivel, variadores de frecuencia y transductores de presión.

Perez J. y Rivera A. (2019). "Análisis de la eficiencia energética en un sistema de bombeo accionado de manera directa y controlado por un sistema de variación de frecuencia". ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO. Ecuador. Tesis de grado

Resumen:

Se realizó un estudio acerca de la optimización energética en una unidad educativa de un sistema de bombeo, cuyo fin fue analizar el uso de energía en dos escenarios operativos distintos: arranque continuo y controlado por un variador de frecuencia. Para el despliegue del estudio, se efectuó la automatización del sistema utilizando un analizador de energía SM1238, una pantalla táctil KTP700, un variador de frecuencia

Siemens modelo G110, así como un controlador lógico programable (PLC) Siemens S7-1200. El software TIA Portal V15 fue empleado para programar todos estos elementos. Se realizó un seguimiento de 12 horas del sistema de arranque directo, registrándose un consumo general de energía de 2.048 kWh. Esto indica que el motor tuvo una rapidez constante con una frecuencia de 60 Hz.

Da Silva G. (2019). EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM BOMBEAMENTO: APLICAÇÃO EM UM TERMINAL DE DISTRIBUIÇÃO DE COMBUSTÍVEIS. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL. Tesis de grado.

Resumen:

Nas estações de serviço, são utilizados tanques de armazenamento nos quais o nível do produto armazenado varia ao longo do dia, o que altera o ponto de funcionamento das bombas centrífugas que transportam o fluido (Macintyre, 2010), assim como outros elementos que também o alteram, tais como a quantidade de camiões que abastecem e o número de bombas em paralelo utilizadas. Em muitos casos, não são utilizados dispositivos ou meios de controlo do ponto de funcionamento das bombas, embora seja habitual utilizar dispositivos de controlo de caudal, como válvulas reguladoras de fluxo. No posto de abastecimento, onde o estudo foi realizado, está previsto o investimento na instalação de variadores de frequência para o funcionamento das bombas centrífugas que carregam diferentes combustíveis em camiões-cisterna e vagões-cisterna.

2.2.2. Antecedentes Nacionales

Alvarez W. (2021). Optimización del uso de energía de pozos con bombeo electrosumergible, mediante la mejora del factor de potencia - Lote 192. Universidad

Nacional de Ingeniería. Tesis de grado. Repositorio: UNI-Tesis. http://hdl.handle.net/20.500.14076/21774

Resumen:

Desde septiembre de 2015, el Lote 192 ha estado bajo la administración de Frontera Energy del Perú (anteriormente Pacific Stratus Energy del Perú) a través de un Contrato de Licencia Temporal firmado con Perupetro. Extraer petróleo de forma eficaz, económica y responsable con el medioambiente y la sociedad, además de hacer del Lote 192 uno de los más grandes del oriente peruano, son algunos de sus objetivos estratégicos más importantes. 245 pozos perforados fueron recibidos por FRONTERA ENERGY, con 116 pozos activos repartidos en 17 terrenos. En el presente, el Lote 192 gestiona un total de 113 pozos. De ellos, 107 son explotados a través del Sistema de Bombeo Electrosumergible "BES", mientras que los otros seis lo son mediante elevación por inyección de gas (Gas Lift), ubicándose en las tierras de Capahuari Norte y Sur.

Sandoval J. (2018). Evaluación energética para mejorar el sistema de bombeo de condensados de preevaporadores mediante la ampliación del potencial de molienda - Agroindustrias San Jacinto S.A. Universidad Nacional del Santa. Trabajo de fin de grado. Repositorio: UNS - Institucional. http://repositorio.uns.edu.pe/handle/UNS/3159

Resumen:

El propósito de esta indagación fue mejorar la red de bombeo de condensados de los pre-evaporadores, con el propósito de aumentar el potencial de molienda en la empresa agroindustrial. La compañía no tiene un apropiado dimensionamiento para funcionar en escenarios normales, con una molienda real que alcanza las 3000 TCD; es decir, se infiere que, en los siguientes incrementos de capacidad de molienda, dichos equipos continuarán funcionando ineficazmente. Los parámetros óptimos para la operación del grupo de bombeo de condensados se determinan aplicando

principios hidráulicos, mecánicos y eléctricos. Así, en cada ocasión que se incrementa el rendimiento de molienda, se establece el factor de carga del sistema de bombeo, la fuerza de las bombas y la carga neta de succión positiva disponible (NPSH).

Aztete G. (2016). Mejora del uso eficiente de la energía en los sistemas de bombeo por variación del flujo. Universidad Nacional de San Agustín. Tesis de grado. Repositorio:UNSA-Institucional. http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/3238

Resumen:

En los sistemas de bombeo, el flujo que necesita no es invariable. Normalmente, las bombas trabajan con una rotación invariable y para conseguir cambios en el caudal, empleamos válvulas de estrangulación al final. Un método adicional que se utiliza es el control de la velocidad del motor mediante inversores de frecuencia, porque hay una relación directa entre la rotación del motor y la variación en el caudal, lo cual simplifica aún más el control y posibilita una reducción del consumo de energía. No obstante, esto influye en la calidad de loa energía eléctrica. Esta indagación persigue como meta la comparación del uso de electricidad en dos procedimientos de control de caudal en unidades de bombeo: a través de una válvula estranguladora o mediante un inversor con frecuencia. De esta forma, se emplearán dos clases diferentes de motores: los convencionales y los que tienen un rendimiento elevado.

Cubas M. y Reyes R. (2018). Rediseño del sistema de bombeo para optimizar su eficiencia y consumo de energía eléctrica en la Empresa Agraria Chiquitoy S.A. Universidad Cesar Vallejo. Tesis de grado. Repositorio: UCV-Institucional. https://hdl.handle.net/20.500.12692/35232

Resumen:

REDISEÑO DEL SISTEMA DE BOMBEO PARA OPTIMIZAR SU EFICIENCIA Y CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA EMPRESA AGRARIA CHIQUITOY S.A.” Esta compañía, que se encuentra en La Libertad, se dedica a la siembra de caña de azúcar. En un estudio financiero se evidenciaron elevados consumos de electricidad y escasos aprovechamientos de los recursos hídricos que se explotan mediante equipos compuestos por bombas sumergibles, centrífugas, de turbinas verticales y otras máquinas eléctricas de esta misma gama. Estos equipos se han vuelto más relevantes para el progreso de los cultivos día tras día. Esta investigación examina los niveles de recursos hídricos hasta octubre de 2023, compara estos datos con los históricos y calcula nuevamente, según estos parámetros recientes y la normativa correspondiente. Propone rediseñar los sistemas de bombeo a través de ajustes o cambios en los impulsores de bombeo y reemplazarlos por motores que sean altamente eficientes y ahorren energía.

De la Cruz M. (2015). Mejora de la eficiencia en una bomba hidráulica mediante la modificación de su geometría. Universidad Nacional de San Agustín. Tesis de grado. Repositorio: UNSA-Institucional. http://hdl.handle.net/20.500.12773/11620

Resumen:

Las bombas centrífugas tienen varias aplicaciones industriales; aunque se pueden encontrar modelos de estas en la literatura, no existe una solución para los inconvenientes que se presentan al utilizar el modelo que mejore el uso eficiente de la energía. Donde aspectos como como la implementación de instrumentos modernos para el desarrollo del rotor nuevo han sido tomados en cuenta. Para contribuir a la creación del diseño y la realización del mecanizado, se emplearon aplicaciones como el CAD y el CAM. La eficacia de ciertas características geométricas de los dispositivos mecánicos convertidores de energía, como se sugiere, determinará una mejoría en los parámetros de explotación.

Tanto el rotor original como el desarrollado mostraron una curva de eficiencia propia, siendo la del nuevo rotor un 8,6% superior en términos promedio a la del primero en el punto de máxima eficiencia.

Quispe J. (2012). Análisis del uso eficiente de la energía de electrobombas controlados por variadores de velocidad. Universidad Nacional del Centro del Perú. Tesis de grado. Repositorio: UNCP – Institucional. http://hdl.handle.net/20.500.12894/2973

Resumen:

Este estudio estableció que el uso de electricidad de una electrobomba con motor de jaula de ardilla, que se controla por medio de un variador de velocidad, es significativamente menos que cuando se usa a través de un controlador. Así, se evidencia que el rendimiento energético del primer escenario es superior que la convencional. Identificando que un sistema que bombea agua y emplea un transformador de velocidad brinda una operación más fluida que si se activara el mismo equipo a una velocidad establece. De esta forma, cuando se emplea una bomba que es inducida por un motor que trabaja a velocidad constante, la bomba se enciende cuando el flujo llega y se desactiva cuando no percibe flujo alguno. Por lo tanto, la activación y desactivación repetitiva de la bomba puede generar sobrecargas en el circuito de arranque del motor eléctrico con regularidad, dando como resultado que los motores y los equipos de control experimenten tensiones térmicas y eléctricas muy fuertes.

2.3. BASES TEÓRICAS

2.3.1. Eficiencia energética

Podemos afirmar que esto implica el uso de dispositivos o instalaciones que requieran menos energía para lograr la misma eficacia o cumplir la misma función, como cuando se ofrece un producto o servicio.

2.3.2. Clasificación de las bombas

Las bombas presentan su clasificación según lo que se está bombeando, los materiales con los que están hechas, sus aplicaciones e inclusive cómo se distribuyen en el lugar. Considerando q las clasificaciones son limitadas en cuanto al alcance, con tendencia a ser redundantes. Según Karassik, Messina, Cooper y Heald (2006), todas las bombas pueden clasificarse en dos tipos principales.:

a) Bombas dinámicas, las cuales incorporan energía de manera constante con el objetivo de aumentar la velocidad del fluido dentro de la máquina a niveles superiores a los que se observan en la descarga. Esto provoca que una disminución en la velocidad al interior o más allá tenga aumento en la presión.

b) Bombas de desplazamiento, en estas, la energía se incorpora de manera regular aplicando fuerza en uno o más límites móviles que contienen una cantidad determinada de volúmenes cerrados con fluido. Esto provoca una dilatación directa en la presión hasta llegar a la magnitud necesaria para desplazar el fluido mediante válvulas o puertos ubicados en donde está el desfogue. En este escenario, se emplean los principios de la hidrostática para incrementar la presión del fluido. También conocidas como bombas de desplazamiento positivo. Las bombas dinámicas se dividen en diferentes tipos, entre los que se encuentran las bombas centrífugas y las de efectos especiales (ver Figura 1). Según la propiedad del movimiento de los componentes que crean la presión, se clasifican sobre todo en prototipos rotativos y alternativos.

2.3.3. Bombas hidráulicas

Es un aparato que convierte energía mecánica (que incluye la rapidez y el par del motor) en energía hidráulica (que se mide en caudal).

Una bomba tiene dos funciones cuando está en operación: en primer lugar, al accionar la bomba se produce un vacío de succión que hace que la presión del aire empuje

el líquido del reservorio o tanque hacia su entrada. En segundo lugar, la misma acción proporciona este líquido al final de la bomba y lo impulsa hacia el circuito hidráulico. Solorzano R. (6 de mayo de 2016).

De acuerdo con (Karassik, Messina, Cooper, & Heald, 2006), se entiende como una máquina hidráulica en donde el fluido recibe la energía transmitida por el motor de accionamiento; siendo así una máquina de generar en donde el fluido que suele cambiar por energía no cambia significativamente su densidad al atravesar la máquina. Por lo tanto, al diseñarla y estudiarla, se supone que la densidad del fluido permanece estable, en otras palabras, que el fluido es incompresible.

2.3.4. Tipos de bombas hidráulicas

2.3.4.1. Bombas de Desplazamiento Positivo

En los sistemas hidráulicos, las bombas de desplazamiento positivo son las que se usan con mayor frecuencia. Estas bombas operan al mover un fluido dentro de una cámara cerrada que es llenada y vaciada durante cada ciclo. Siendo perfectos para crear elevada presión, pues pueden sostener un flujo invariable más allá del cambio en la presión del sistema.

- **Ejemplos comunes:**
    - **Bombas de pistón**: Hacen uso de pistones o émbolos que se desplazan en el interior de un cilindro. Siendo muy eficientes en operaciones que necesitan gran presión.
    - **Bombas de engranaje**: Se componen de dos engranajes que rotan para mover el líquido. Siendo sencillas y resistentes, convenientes para volúmenes de nivel medio.
    - **Bombas de paletas**: Operan a través de un rodete que gira dentro de una carcasa y empuja el fluido por medio de las palas.

Ventajas:

- Ofrecen flujos estables.
- Brinda una elevada eficiencia, particularmente en elevadas presiones.

Desventajas:

- Suelen ser más caras que las bombas centrífugas.
- Necesitan más mantenimiento por sus aparatos móviles.

2.3.4.2. Bombas para agua de mar

Las aguas limpias incluyen todas las aguas transparentes, ya sean para el uso doméstico, del mar o tratadas con ozono, cloro u otros líquidos. Este conjunto incluye la mayoría de las bombas, ya que engloba todas las centrífugas, tanto sumergibles como de superficie.

2.3.4.3. Bombas centrífugas o rotodinámicas

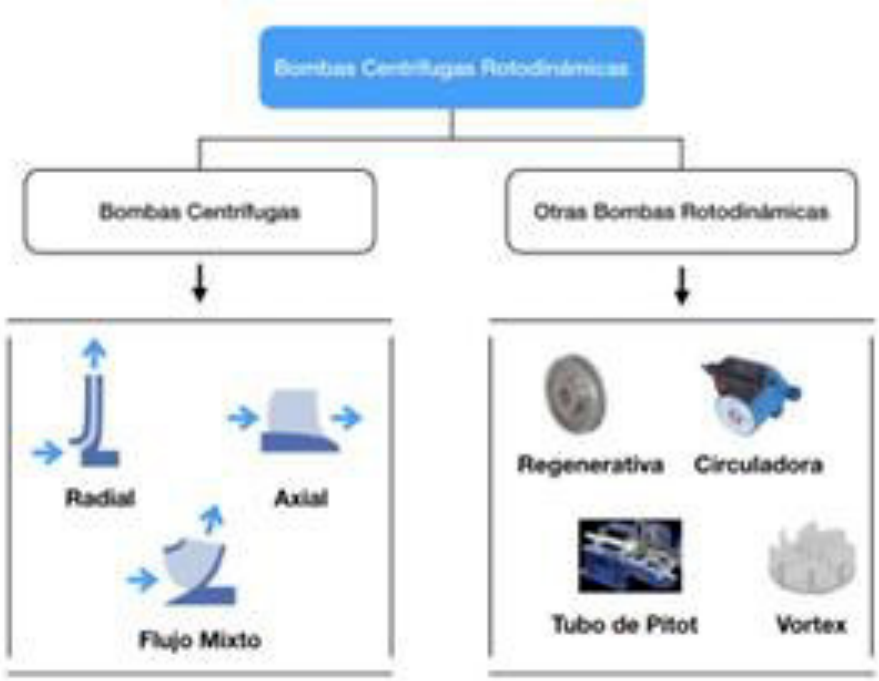
Los dispositivos que se emplean para trasladar fluidos mediante la transformación de la energía cinética rotacional en energía hidrodinámica del flujo de fluido se llaman bombas centrífugas. Usualmente, la energía de rotación proviene de una turbina de vapor o un motor eléctrico (para las bombas de agua que son propulsadas por turbina). Las bombas centrífugas se emplean en una mayor cantidad de aplicaciones industriales que todos los otros tipos de bomba. La bomba de voluta es la que más se usa centrífugas. (Connor, 2020).

Las bombas rotodinámicas o centrífugas son dispositivos cinéticos que transfieren de forma constante la energía al líquido bombeado por medio de un componente rotatorio conocido como rodete o impulsor. Las turbomáquinas incluyen a las bombas rotodinámicas o centrífugas. Estas bombas aumentan, principalmente, la energía cinética del fluido para transmitirle energía mecánica. Tras la descarga de la bomba, la energía

cinética se convierte en energía potencial en forma de presión (Instituto Hidráulico ANSI/HI 14.1-14.2, 2019).

Figura 1

Tipos de bombas centrífugas, según (Hydraulic Institute ANSI/HI 14.1-14.2, 2019).

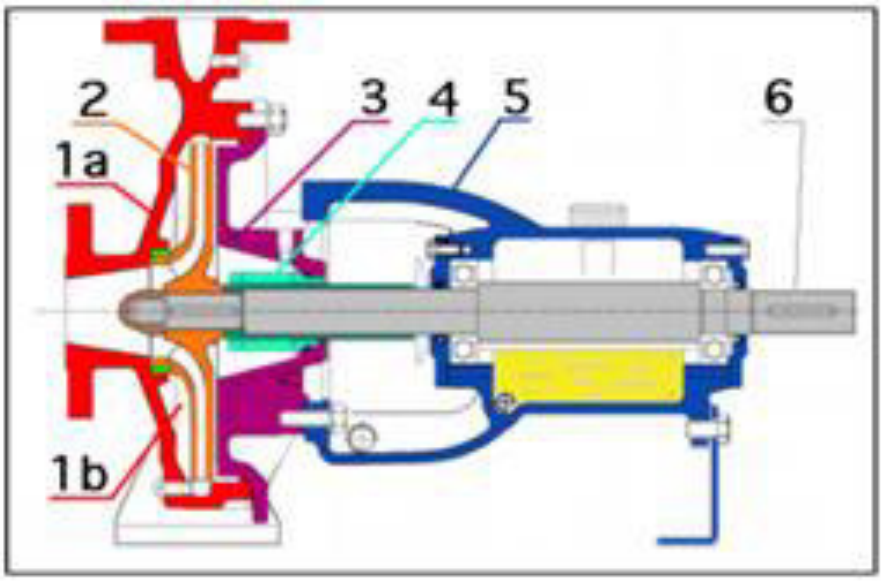


Fuente: Aporte de (Hydraulic Institute ANSI/HI 14.1-14.2, 2019).

En la siguiente representación se muestra el esquema de la estructura interna de una bomba centrífuga con sus partes, y la Figura 3 señala los elementos esenciales de este tipo de bomba.

Figura 2

Representación interna de una bomba centrífuga

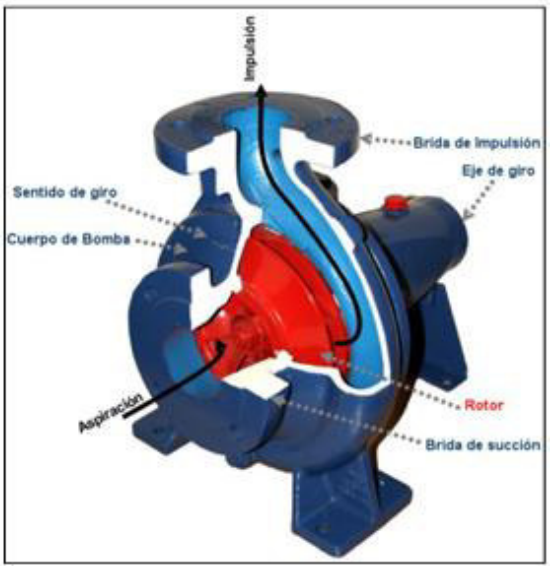


Fuente: (Hydraulic Institute ANSI/HI 14.1-14.2, 2019).

Partes: 6 eje, 5 soporte y carcasa de rodamientos, 4 camisa del cierre del eje, 3 cajera del cierre del eje, 2 impulsor o rodete, 1b cámara de la bomba, 1a carcasa o cuerpo de la bomba (Wikipedia, 2010).

Figura 3

Componentes de una bomba Centrífuga



Fuente: Wikipedia 2008

2.3.4.4. Partes de la bomba centrífuga

PartesDel.com. Obtenido en fecha 02, 2023, nos resume :

a. Inductor

Se le conoce también como estator. Es la sección fija del motor, que está constituida por el esqueleto de acero que resguarda el núcleo magnético. Con esta estructura, se consigue proteger las partes que conforman la bomba y, al mismo tiempo, esfumar el calor generado en el interior del motor.

b. Entrehierro

Se trata del espacio de aire que crea una separación entre el rotor y el estator.

c. Carcasa

Sección que salvaguarda todos los procedimientos internos que hacen posible la operación de la bomba. Se fabrican con diferentes materiales de acuerdo a su propósito, por ejemplo, hechas de hierro fundido si se emplearán para el bombeo de agua bebible, o de acero inoxidable o metal si lo que se desea impulsar es un líquido altamente agresivo. Las partes de una bomba aparecen en la Figura 1.

d. Cojinete

Esta sección sirve como soporte y, simultáneamente, como guía del eje de la bomba. Se logra la alineación perfecta de cada uno de los componentes rotatorios que forman la bomba con este.

e. Rotor

Es la parte movible de la bomba, donde en sus extremos hay varias palancas conductoras conectadas por medio de aros conductores.

f. Refrigeración

Con esto se consigue que el calentamiento generado por el motor se expulse hacia afuera mediante la autoventilación.

g. Rodete o impulsor

Componente que consiste en un conjunto de álabes que, mediante sus giros constantes impulsados por el motor, se ocupan de bombear el fluido.

h. Difusor

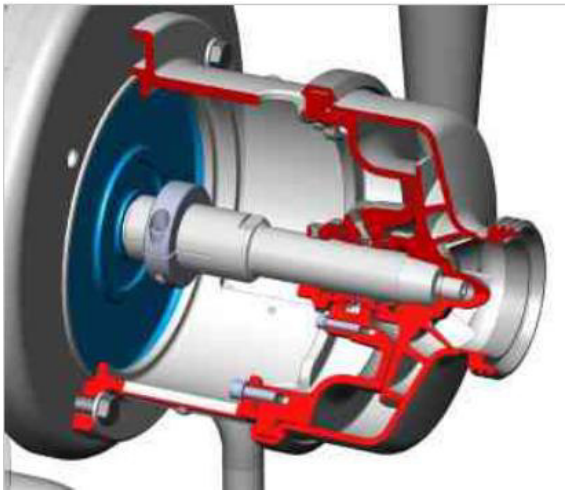
Esta sección, junto con el rodete, está ubicada en la carcasa. Con esto se optimiza el funcionamiento de la bomba, puesto que contribuye a convertir correctamente el paso de energía cinética a energía potencial de presión.

i. Ejes

Se refiere a los componentes que transmiten entre la bomba y el motor. Se fabrican con diversos insumos, como acero común, acero inoxidable, acero al carbono, acero inoxidable y acero aleado.

Figura 4

Partes de una bomba



Fuente: PartesDel.com. Obtenido en fecha 02, 2023

j. Sello mecánico

Con estos se establece una condición de estanqueidad entre el eje rotativo de la bomba, que generalmente es fijo, y la parte estructural.

k. Juntas o anillos tóricos

Son componentes de sellado que se presentan como un elastómero toroidal y pueden ser producidos con una variedad de materiales.

l. Juntas espejo

Consiste en dos anillos metálicos de tamaño y forma idénticos, ubicados cara a cara, donde uno es estático y el otro es rotatorio.

m. Juntas del laberinto

Además de favorecer la lubricación, cumplen el papel de proteger los rodamientos frente a la contaminación y la suciedad.

n. Voluta

Es la sección estable de la bomba, cuyo contorno es parecido al de un caracol y que envuelve el rodete en su salida.

Ñ. Rodamientos

Son elementos que permiten la rotación entre dos componentes, con los cuales la fricción generada entre las piezas y el eje se reduce. Se componen de dos rollos del mismo tamaño y forma, divididos por una serie de bolas o rodillos que sustituyen la fricción por la rodadura.

2.3.5. Variables principales que influyen en el funcionamiento de sistemas de bombeo

Altura (h) Representa la manifestación del contenido energético de un fluido respecto a un nivel de referencia arbitrario. Se enuncia en unidades energéticas por cada unidad del peso del fluido. Los metros de columna de líquido son la unidad utilizada para medir la altura. La expresión "altura de presión" también se emplea.

Altura atmosférica (h_{atm}) La presión atmosférica a nivel local, expresada como metros de columna líquida. El valor de la presión atmosférica cambia dependiendo del

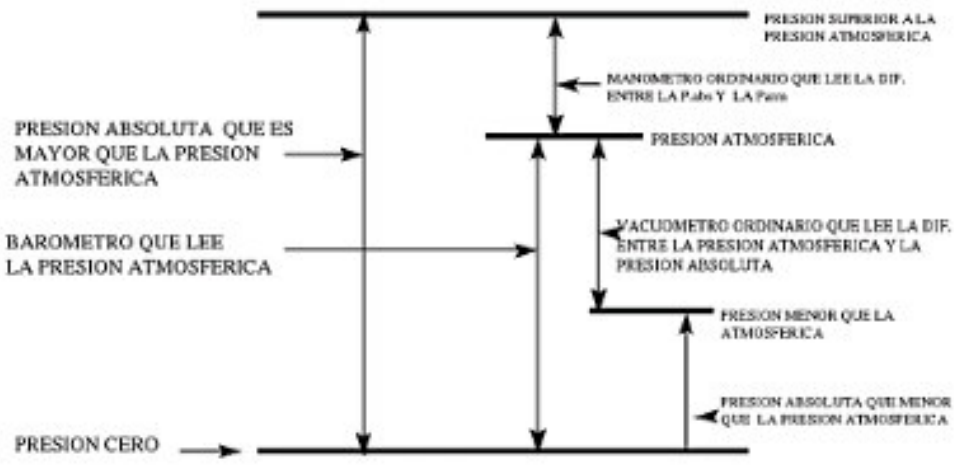
clima, la temperatura y la altitud. Según las Bombas Zeda Pump Manufacter (s.f.), el valor de la presión de la atmosfera al ras del mar, en condiciones normales, es 1 atmósfera = 1,033 kg/cm2 = 10,33 m.c.a.

Altura (presión) Relativa Es presión manométrica o la medida de altura, que expresa la presión en términos relativos con relación a la presión atmosférica del entorno. En este sentido, estos vacuómetros se usan para medir esta clase de presiones relativas (Bombas Zeda Pump Manufacter, s.f.).

Altura (presión) Absoluta Es un indicador de presión en relación con el cero absoluto. Este valor se obtiene al sumar la altura relativa o manométrica (presión) a la altura atmosférica (**hatm**), siendo siempre un valor positivo. Para hacer estas mediciones se emplea el barómetro como instrumento básico.

Figura 5

Mediciones de presión atmosférica, presión absoluta y presión relativa.



Fuente: Propia

Altura de pérdidas por fricción (hf) Es el arranque hidráulico que se desaprovecha cuando la circulación de un líquido se ve afectado por la fuerza de fricción generada por los efectos de la viscosidad de la red de tuberías. Se enuncia en metros de columna líquida.

Altura Estática: Es la elevación, en metros, de un pilar de fluido que indica la presión que posee un líquido en un momento específico del flujo, sin tener en cuenta cómo la velocidad del flujo influye. Esto se presenta con la fórmula subsiguiente:

A$ltura\ Est\acute{a}tica$ = P/ρg

d$onde$,

P: $presión\ estática$

Altura de velocidad o **dinámica.** Es el nivel de la columna de líquido en metros que refleja la presión que ejerce la dinámica del flujo o la velocidad del flujo en un punto determinado. Este término se presenta con la fórmula siguiente:

A$ltura\ dinámica$ = V^2/2g

Altura Total de una bomba (H) Es el tamaño de la columna de líquido en metros que una bomba debe proporcionar para incrementar el nivel de un fluido esperado y superar las limitaciones establecidas por la presión hidrostática y la fricción hidráulica.

2.3.6. Parámetros hidráulicos de bombas

De acuerdo con Flowserve Corporation (2004), estos son:

. Caudal de la bomba Q

(rate of flow ó capacity, m3/s)

Que es la cantidad total de fluido suministrado por la bomba por una unidad de tiempo.

. Altura total de la bomba H o Hp (total head, m)

Corresponde a la energía por unidad de peso que la bomba transfiere al fluido durante el bombeo. Se calcula la diferencia entre la altura total de descarga (Hd) y la de succión (Hs). También se le conoce como carga de la bomba, o TDH (carga diferencial total).

. Potencia demandada por la bomba Pp (pump input power, W or kW)

Es la fuerza que la bomba recibe del motor por medio del eje. También se conoce como potencia exigida por la bomba o fuerza de freno (brake horsepower).

. El NPSH requerido o NPSHR,

Para un caudal específico, como la altura de aspiración absoluta, se establece que debe ser mayor a la altura que le corresponde a la presión de vapor y que es imprescindible para prevenir la cavitación en la bomba. Esta información es proporcionada por el productor.

El NPSHR al 3 % de caída de la curva de H, o NPSH3, es el tipo más frecuente de NPSHR.

. Rendimiento de la bomba ηp (pump efficiency, %)

Es la proporción entre la fuerza que la bomba entrega al fluido (Pf) y la que requiere (Pp).

2.3.7. Evaluación del rendimiento de bombas

Grundfos Ecademy. Nos dice:

. Parámetros de monitorización del rendimiento de una bomba:

Para conservar el provecho de una bomba, es necesario monitorear los tres parámetros:

- Caudal
- Presión
- Consumo de potencia

Pudiéndose estimar el rendimiento de una bomba con estos parámetros.

. Cálculo de el rendimiento de una bomba

$$\eta = \frac{H \times Q}{367 \times P_1}$$ ……formula 1

Donde:

• P1 es el consumo de potencia del motor en kilovatios (kW).

• Q = el caudal en metros cúbicos por hora (m3 /h).

• H = la altura (o presión) de la bomba en metros (m).

Tabla 1

Eficiencia de bomba

Caudal	Símbolo: Q	Unidad: m^3/h	Metros cúbicos por hora
Altura (presión)	Símbolo: H	Unidad: m	Metros
Energía	Símbolo: P	Unidad: kW	Kilovatios

Fuente : Grundfos Ecademy. Hidráulica básica

2.3.8. Pérdida de eficiencia de la bomba

Si una bomba comienza a ser menos eficiente, será necesario repararla o cambiarla. Los siguientes factores pueden ser el motivo de una reducción en la efectividad de una bomba:

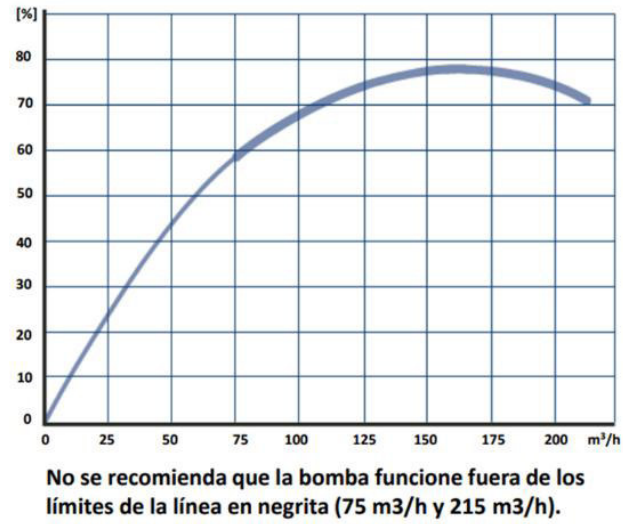
• Cavitación.

• El aumento de la pérdida por fricción se debe a la acumulación de depósitos en el tubo y en la superficie de la bomba.

• Desgaste debido a la presencia de arena y otros elementos en el agua. • Insuficiente suministro de electricidad.

Figura 6

Pérdidas de eficiencia de bomba



Fuente : Grundfos Ecademy. Hidráulica básica

2.3.9. Cómo aumentar la eficiencia energética de las bombas: empiece por el sistema

Según Jungen Tritzek. (29-9-2016).

- **Planificación de sistemas**

Los sistemas de bombeo se crean para satisfacer una variedad de necesidades, y en algunos casos el uso eficiente de la energía no es una de estas. Por lo tanto, algunas plantas son construidas con un diseño de sistema inadecuado: las bombas no están bien integradas al sistema, los diámetros de las tuberías no son los adecuados y las velocidades del flujo son demasiado altas. El contexto se complica también por la distribución inadecuada de la planta, que provoca una disposición poco eficiente de las tuberías.

Como todos estos componentes aumentan la resistencia a la fricción, es necesario contar con bombas más grandes de lo que se necesita para facilitar el suministro del líquido requerido.

- **Sistemas existentes**

Modificar un sistema que ya está en operación tiende a ser difícil. En ocasiones, por ejemplo, se modifican las bombas, las válvulas y los instrumentos de medición para recopilar datos de medición, optimizar la NPSH disponible en un sistema o sustituir las bridas de aspiración y/o descarga al reequipar nuevas bombas con medidas diferentes. Debido a los elevados precios de la ingeniería y de los materiales, estos cambios tienden a ser de un tamaño reducido y a menudo tienen un impacto escaso en el uso eficiente de la potencia del sistema.

Utilizar soluciones de bombeo de velocidad variable que sean capaces de ajustarse a un sistema ya en funcionamiento es una excepción relevante. Otra alternativa factible es verificar si los puntos de trabajo pueden ser reescalados más adelante, puesto que cada sistema se proyecta con márgenes de seguridad adicionales a las curvas del sistema calculadas para asegurar que se eligen bombas suficientemente grandes para la tarea. Por ende, las bombas que se instalan tienden a estar sobredimensionadas y trabajan con caudales muy altos o bajo condiciones de estrangulamiento, lo cual incrementa el uso de energía y disminuye la duración útil de la bomba.

- **Nuevos sistemas**

Una de las claves para disminuir los costos del ciclo vital (LCC) es la planificación adecuada de los sistemas de bombeo nuevos, con la finalidad de disminuir el consumo energético. La potencia puede no ser un factor determinante para algunos usos de la energía. Por ejemplo, un sistema de control capaz de detectar las variaciones en la potencia puede producir una carga energética invariable. En cambio, un accionamiento con velocidad variable tiene el potencial de consumir distintos niveles energéticos dependiendo del ajuste operacional. El uso de mecanismos de alivio de presión, desvíos

de flujo y válvulas de mariposa para la regulación disminuirá la eficacia del funcionamiento e incrementará el gasto energético. Los circuitos de calefacción o refrigeración, los conductos para el lavado de líquidos y los aparatos que actúan como barreras para fluidos tienen el potencial de producir gastos extra. Pese a que estos costos tienden a ser constantes entre diferentes clases de sistemas, la elección de diseños y materiales puede impactar en ellos.

La selección cuidadosa de algunos sistemas de bombeo disminuirá los costos energéticos. Si se toman en cuenta los puntos siguientes, es posible reducir la resistencia global a la fricción de un sistema y maximizar el ahorro monetario:

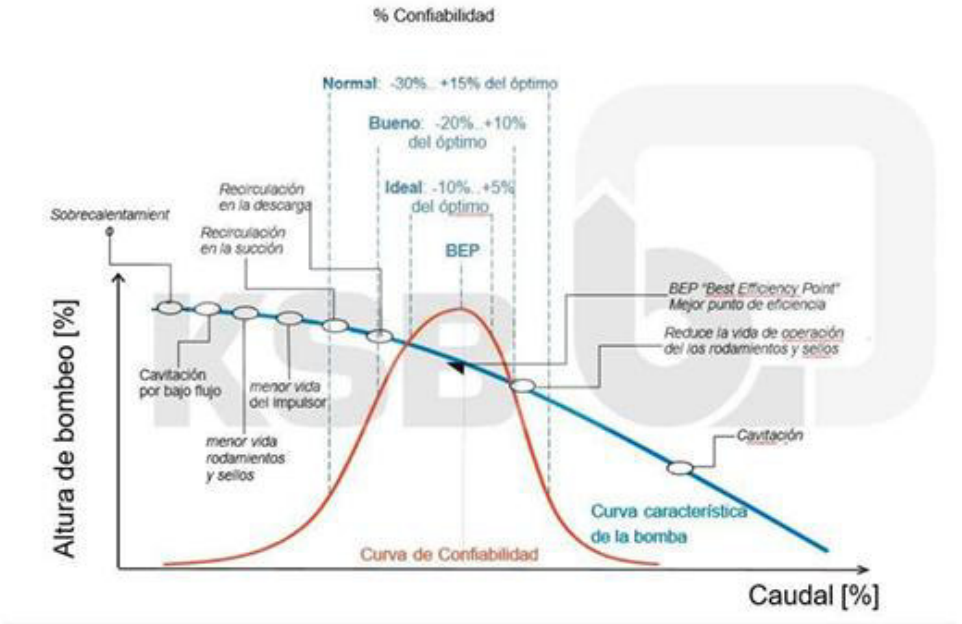
- Las bombas deben adaptarse de forma óptima al sistema en una fase temprana.
- Para reducir el gasto de energía, es necesario elegir accionamientos con velocidad variable, calcular correctamente los diámetros y las distancias de las tuberías y planificar las velocidades de flujo para cada posición de la manera más eficaz posible.

2.3.10. Variables que afectan el desempeño energético en sistemas de bombeo

Según la normativa, se recomienda que estos equipos funcionen dentro de un rango cercano al BEP (Best Efficient Point), el cual oscila entre +20% a la derecha del BEP y -30% a la izquierda. Este punto es el de mayor rendimiento de la bomba, como la presión, el caudal y el consumo energético (Hydraulic Institute, 2011). Ver figura 7.

Figura 7

Curva confiabilidad bomba



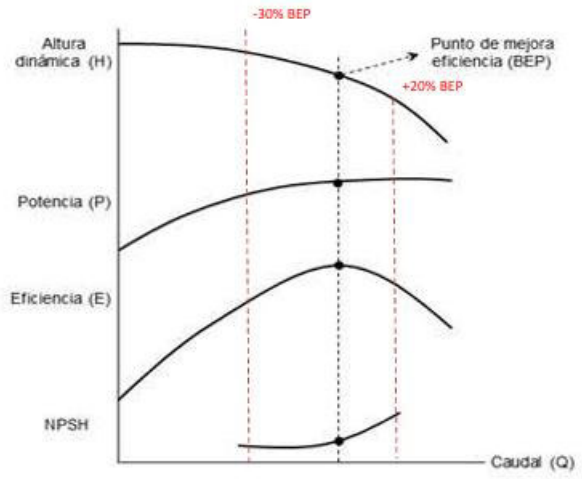
Fuente: KSB México

Si se aseguran los rangos determinados, el sistema de bombeo estará en la zona que maximiza la eficiencia de la bomba, lo que también ayuda a prolongar la vida útil del equipo; laborar cerca reduce el riesgo de que las piezas de la bomba sufran daños prematuros. Los efectos negativos de operar fuera de este rango afectan directamente los índices de disponibilidad y confiabilidad del equipo. En términos generales, si el funcionamiento de la bomba se sitúa por debajo del 30% del BEP, ocurren las siguientes situaciones: incremento de la temperatura en los elementos, , vida útil corta de los rodamientos, vibraciones, cavitación a bajo caudal, rápido deterioro del rodete o impulsor y recirculación del líquido. Por otro lado, si opera más allá del 15% de la línea base de operación (BEP), pueden surgir problemas como vibraciones, vida útil de los rodamientos y cavitación. En ocasiones, puede haber incertidumbre e inestabilidad si se encuentra fuera de la curva proporcionada por el fabricante. Para supervisar el rendimiento

hidráulico, se necesitan las curvas del sistema, que representan de manera gráfica parámetros como la eficiencia, la potencia y la altura dinámica, los cuales fluctúan según el caudal, además, realiza una estimación precisa del funcionamiento de la bomba. La figura 8 muestra una curva habitual con las variables anteriormente citadas (Rogger & Andrade, 2018).

Figura 8

Curvas características del desempeño de una bomba centrifuga



Fuente: Rogger, Andrade,2018).

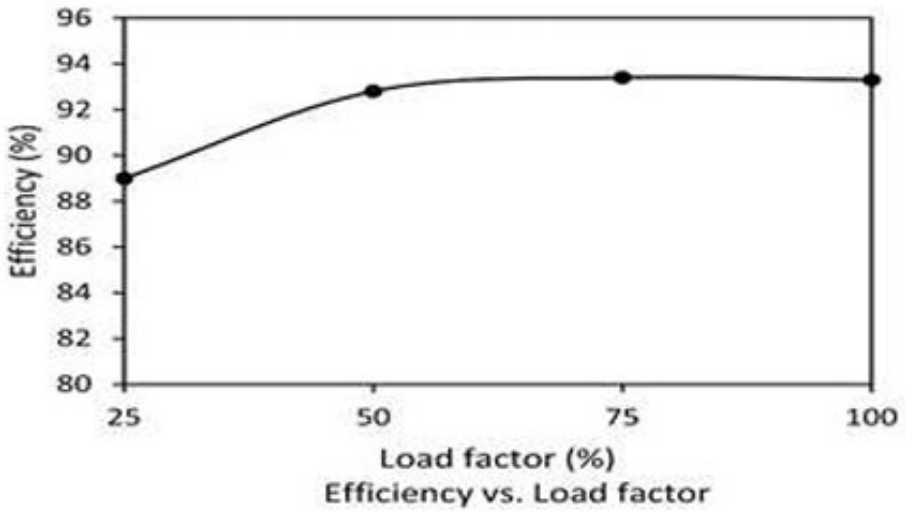
Nota: La gráfica muestra las curvas de rendimiento de una bomba centrífuga, señalando el BEP.

Las causas más frecuentes por las que la bomba funcione fuera de los rangos incluyen las modificaciones en los requerimientos del sistema, las obstrucciones en las tuberías, el desgaste de la bomba como consecuencia de su funcionamiento y el dimensionamiento inadecuado de los componentes del sistema de bombeo. El motor eléctrico es otro elemento relevante en el sistema de bombeo. Al igual que la bomba, presenta un rendimiento más óptimo dentro de un rango operativo, como en la figura 9. El punto de eficiencia óptima, que está próximo al 75 % de la carga total, es habitual para

motores estándar y de alta eficiencia; este se mantiene estable hasta alcanzar el 100 % del punto de carga nominal (Trianni, Cagno y Accordini, 2019a).

Figura 9

Curva característica desempeño de motor según su carga



Fuente: (Trianni et al., 2019a).

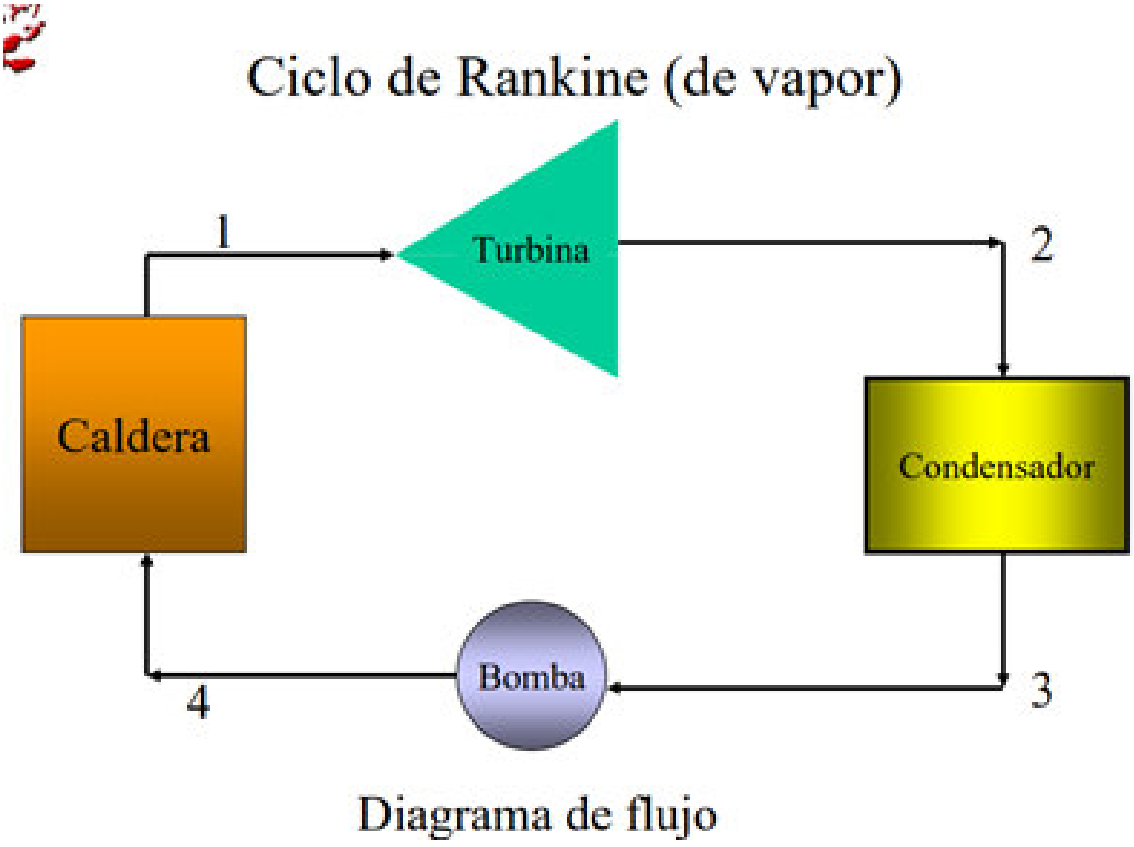
En la figura 9 se presenta la curva típica que representa el rendimiento de un motor en función de su carga.

2.3.11. Ciclo Rankine

Es un ciclo termodinámico idealizado que transforma una porción del calor en trabajo mecánico; este se produce en un motor térmico a presión constante. En este ciclo, el calor se proporciona de manera externa a un circuito cerrado que emplea normalmente agua como fluidos de trabajo en sus estados líquido y vapor. Contrariamente al ciclo de Brayton, en el ciclo de Rankine se da un intercambio de fases entre la líquida y el vapor y viceversa. Nick Connor (01-10-2020).

Figura 10

Ciclo Rankine de vapor – Diagrama de flujo



Fuente: Martin Barcenas

Figura 11

Etapas del ciclo Rankine

1→2 Expansión isentrópica en la turbina.

2→3 Cambio de fase a presión y temperatura constante en el condensador.

3→4 Aumento de presión isentrópica en el compresor.

4→1 Transmisión de calor a presión constante en la caldera.

Fuente: Martin Barcenas

El ciclo combinado utiliza el ciclo de Rankine para aprovechar los gases calientes que escapan del ciclo de Brayton. Estos gases se utilizan para evaporar el agua y aumentar su presión, después la misma es conducida a una turbina de vapor donde se genera electricidad; luego ocurre la condensación y el agua regresa a la caldera recuperadora de calor. La caldera que recupera calor, el condensador, la turbina de vapor y la bomba de alimentación de agua son los componentes esenciales del ciclo de Rankine.

1. Condensador

El vapor acuoso que sale de la turbina de vapor recorre varias tuberías, las cuales contienen agua de enfriamiento que proviene de las torres correspondientes. La condensación tiene lugar en el contacto entre el vapor caliente y los tubos de enfriamiento, absorbiendo el calor latente que contiene el vapor de agua. El agua en circulación transporta este calor latente y lo transfiere a la atmósfera mediante las torres de refrigeración o mar; después, vuelve a la bomba para poder ser utilizado otra vez.

2.3.12. Eficiencia energética

La capacidad del motor eléctrico de transformar energía eléctrica en mecánica se conoce como uso eficaz de la energía. La norma IEC 60034-30 clasifica según la eficiencia a los motores eléctricos:

IE1 = Eficiencia estándar.

IE2 = Alta eficiencia (niveles de eficiencia más o menos equivalentes para 60 Hz)

IE3 = Eficiencia Premium (nueva clase de eficiencia por 60 Hz)

La norma IEC 60034-30, la cual establece las nuevas categorías de eficiencia globales y que están entre los 50 y 60 Hz, ha estado vigente desde el año 2007. Estas clases poseen las características siguientes:

Tener 2, 4, 6 u 8 polos.

Una tensión nominal de 50 a 1.000 V.

Una potencia nominal de entre 0,12 kW y 1000 kW.

Estar diseñado para un servicio que está en funcionamiento permanente.

Tener un grado de protección IP55.

2.3.13. Eficiencia energética del motor IE2

La clasificación IE2, también conocida como Eficiencia de Clase 2, es un estándar global que establece el nivel más bajo de eficiencia energética al que debe llegar un motor eléctrico. Esta categorización se fundamenta en la norma IEC 60034-30, que define requerimientos concretos para la eficiencia de los motores trifásicos de inducción.

Los motores IE2, debido a su diseño optimizado que minimiza las pérdidas de energía, tienen un consumo energético más bajo y una eficiencia mayor. En otras palabras, estos motores transforman un volumen más elevado de energía eléctrica a movimiento mecánico, con un menor despilfarro de energía en forma de calor.

2.3.14. Ventajas de los Motores IE2

Los motores IE2 presentan una gama de beneficios importantes:

Disminución del consumo de energía: Los motores IE2, al transformar más energía eléctrica en movimiento, requieren menos energía para llevar a cabo la misma tarea; esto se traduce en un ahorro en la factura de electricidad.

Menor efecto sobre el medio ambiente: Los motores IE2 producen menos gases de efecto invernadero al consumir menos energía, lo que ayuda a disminuir el impacto ambiental.

Extensión de la vida útil del motor: La reducción del desgaste y el estrés térmico, gracias a la merma de la producción de calor en los motores IE2, aumenta su duración.

Mayor desempeño y confiabilidad: Los motores IE2 son más confiables y eficaces, lo que disminuye las oportunidades de fallos y los períodos de inactividad.

2.3.15. Funcionamiento de la eficiencia energética motor IE2

Para evaluar la eficiencia de un motor eléctrico, se considera el vínculo entre la potencia eléctrica que recibe y la potencia mecánica que produce. La disparidad entre ambas potencias muestra las pérdidas energéticas, las cuales se producen por distintos motivos, tales como:

Pérdidas en el núcleo: Cuando la corriente eléctrica pasa por el núcleo del motor, genera campos magnéticos que provocan pérdidas de energía en forma de calor.

Pérdidas en las bobinas: El calor generado por las bobinas es otra consecuencia de la resistencia eléctrica, la cual disipa energía.

Pérdidas de tipo mecánico: La fricción entre las partes móviles del motor también produce pérdida de energía.

Los motores IE2 están concebidos con el propósito de reducir al mínimo estas pérdidas a través de la mejorar los materiales, el diseño del núcleo y las bobinas, así como disminuir la fricción mecánica. Esto posibilita que se transforme más energía eléctrica en movimiento mecánico, lo cual optimiza el rendimiento del motor.

2.3.16. Motores IE3

Ofrecen un mayor uso eficiente de la energía en comparación con los motores IE2. Están diseñados para cumplir estándares más estrictos y proporcionar ahorros importantes en el uso de energía.

2.3.17. Beneficios de los motores de alta eficiencia.

. Los motores IE3 tienen el potencial de ser un 10% más eficientes que los motores IE2.

. Efecto en la factura de electricidad: Si se reduce el gasto energético, esto conlleva una disminución directa de los gastos en la boleta de electricidad. Esto puede llevar a un

ahorro considerable a largo plazo, particularmente en las instalaciones que operan con varios motores o en las que funcionan por mucho tiempo.

. Costos de mantenimiento más bajos: Los motores IE3 e IE4, los cuales están fabricados con tecnologías de vanguardia, cuentan con una vida útil más larga y menos desgaste. Como consecuencia, los precios de mantenimiento y reparaciones del motor son más bajos durante su ciclo de vida. Estos motores producen menos vibraciones y calor cuando funcionan de forma más eficaz, lo cual favorece, además, una vida útil más larga de las piezas del motor y del sistema en su totalidad.

. Efecto sobre el entorno ambiental. Los motores de eficiencia elevada, además de ser rentables económicamente, también generan un efecto positivo en el medioambiente.

. Aporte a la sostenibilidad: Adoptar motores de alta eficiencia es un paso significativo hacia la sostenibilidad. Las compañías que apuestan por tecnologías eficientes no solamente optimizan su rendimiento en términos medioambientales, sino que además tienen la posibilidad de incrementar su reputación y el grado de aceptación que obtienen entre los consumidores y los reguladores.

2.4. Marco Conceptual

2.4.1. Definición de términos

. Altura total

Como bien su nombre lo dice, esta es la suma de la altura producida por la bomba, también conocida como “Total Dynamic head”, es normalmente especificada para las aplicaciones de bombeo debido a que las características de un sistema determinan la altura total que se requiere.

. Alineación

En el ámbito de bombas, este término se refiere a la alineación entre la línea media del eje de la bomba con la línea central del eje del motor.

. Amperímetro

Un amperímetro es un instrumento que posibilita medir la cantidad de amperios en una corriente eléctrica.

. Cabeza

A esta parte del sistema se le denomina término en mecánica de fluidos que se usa para representar la energía guardada en el fluido debido a la presión que se ejerce sobre su recipiente. Se expresa en términos de unidades de energía por cada unidad de peso del fluido y se mide en metros (pies) de líquido.

. Caudalímetro

Es un instrumento que permite calcular el flujo de un líquido. En otras palabras, un caudalímetro se emplea para calcular el flujo de fluido en una tubería.

. Cosfimetro

El medidor de factor de potencia, que se conoce también como medidor de fases, es un instrumento cuya función es medir el ángulo de retardo o adelanto que se manifiesta entre la corriente que fluye por un circuito y el voltaje en dicho circuito. Este instrumento tiene como unidad de medida un número puro. Ya que el valor más frecuente medido es aproximadamente 1.

. Curva de rendimiento

Gráfico que muestra la representación de la altura total frente al caudal para una bomba en específico, con un impulsor determinado y una serie de características.

. Flujo

Medida de la capacidad de volumen del líquido en la bomba, se manifiesta en galones por hora (GPH), galones por minuto (GPM), litros por minuto (L/min) y, por último, mililitros por minuto (ml/min)

. Fricción

Es la fuerza que se produce como reacción al movimiento, es bien sabido que todos los fluidos generan fricción cuando se encuentran en movimiento y, entonces, mientras mayor sea la viscosidad del fluido, mayor será la fuerza de fricción para el caudal. Esta situación de fricción se produce en el interior cuando una capa de fluido se mueve con respecto a otra.

. Impulsor

Elemento giratorio de una bomba que genera movimiento y transforma la energía del movimiento en el fluido que se bombea a través de la fuerza centrífuga.

. Multímetro

Para medir magnitudes eléctricas, se utiliza un aparato denominado multímetro. Se pueden usar estos instrumentos con corriente alterna o continua.

. Succión inundada

En este sistema, el líquido fluye a la entrada de la bomba proveniente de una fuente elevada por medio de la gravedad, esto se recomienda -por lo general. para uso de bombas centrífugas.

. Taxonomía

Es la disciplina que investiga los principios, los procedimientos y los objetivos de la clasificación.

. **Termoeléctrica energía**

La energía termoeléctrica es el tipo de energía que se obtiene al liberar agua con un combustible para hacer funcionar un alternador y generar electricidad.

2.4.2. Normas Legales

. Decreto Supremo N° -2021-MINAM APRUEBAN LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA EMISIONES ATMOSFÉRICAS DE ACTIVIDADES DE GENERACIÓN TERMOELÉCTRICA.

. DECRETO SUPREMO Nº 030-2021-MINAM. Aprueban Límites Máximos Permisibles para emisiones atmosféricas de las actividades de generación termoeléctrica

. **Norma ISO 14224-2016** - BS EN ISO14224:2016Publicación de Estándares BSI Industrias de petróleo, petroquímica y gas natural—recolección e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos(ISO 14224:2016)

. **Norma SAE JA1011 – 2009** - Criterios de Evaluación para Procesos de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM)

. **Norma SAE JA1012 – 2011** - SAE JA1012 ("Una guía para el estándar de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)") resume problemas adicionales que deben ser considerados para implementar MCC de manera efectiva y detalla con claridad cada uno de los criterios claves incluidos en SAE JA1011 ("Criterios de evaluación para procesos RCM").

2.4.3. Definición de siglas

HP	Caballo de fuerza
ISO	Organización Internacional de Estandarización
Kw	Kilo watt
Mw	Mega watt
MINAM	Ministerio del Ambiente
NPR	Número de prioridad de riesgo
RCM	Mantenimiento centrado en la confiabilidad
SAE	Sistema de Administración Estratégica

III. HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1. HIPÓTESIS

3.1.1. Hipótesis Principal

Del objetivo principal se deriva la hipótesis principal:

Con repotenciar el sistema de bombeo y línea de impulsión de las bombas de enfriamiento de los condensadores de la turbina de vapor si se mejora el rendimiento en la central termoeléctrica de San Juan de Marcona, Nazca, Ica, Perú.

3.1.2. Hipótesis Específicas

1. Con la evaluación de las bombas pearless existentes se mejora el rendimiento en la central termoeléctrica de San Juan de Marcona, Nazca, Ica, Perú.
2. Con la determinación de los parámetros hidráulicos de las bombas de enfriamiento de los condensadores de la turbina de vapor se mejora el rendimiento en la central termoeléctrica de San Juan de Marcona, Nazca, Ica, Perú.
3. Con el control del caudal se mejora el rendimiento en la central termoeléctrica de San Juan de Marcona, Nazca, Ica, Perú.
4. Con la evaluación de los accesorios hidráulicos se mejora el rendimiento en la central termoeléctrica de San Juan de Marcona, Nazca, Ica, Perú.

3.2. VARIABLES

3.2.1. Variable Principal

La variable principal de la investigación se deriva del problema fundamental, que es el rendimiento.

La eficiencia, que es la cantidad de energía que tiene la capacidad de ser transformada en trabajo útil, es el principal indicador del desempeño de una bomba. Una

bomba eficaz tiene la capacidad de reducir considerablemente el gasto energético, ayudando a disminuir las emisiones de gases que tienen efecto invernadero y colabora con la batalla contra el cambio climático.

3.2.2. Variable secundaria

La variable secundaria proviene del aporte que da la investigación a efectos de sacar el máximo rendimiento eficaz de la energía en esta investigación actual es el Repotenciar el sistema de bombeo y líneas de impulsión

Se estableció un modelo para el estudio o diagnóstico del sistema entero con el fin de reducir el uso de energía. Este modelo permite determinar el rendimiento del sistema, cada uno de sus componentes, su potencia y el sector donde se puede conseguir la máxima eficiencia. Además, a través de su análisis es posible deducir las modificaciones requeridas para lograr un empleo eficiente de la energía que utiliza el sistema.

3.3. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Tabla 2

Operacionalización de variables

Variable independiente

VARIABLE	TIPO	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	INDICADOR	ESCALA DE MEDICION
Eficiencia del Sistema de bombeo	Independiente	Es la capacidad de todo sistema de bombeo de transformar la energía potencial en mecánica para finalmente transformarlo a energía hidráulica. Es la energía neta absorbido por el fluido entre energía entregada en el eje de la bomba.	**Eficiencia = Energía Hidráulica (Eh) / Energía eléctrica (Ee)**	Perdidas de caudales y perdidas de ADT	Se refleja en menor escala de las curvas de operación . - Menor caudal (Lps) .- Menor altura dinámica total (m)

Variable dependiente

"POTENCIAR EL SISTEMA DE BOMBEO Y LÍNEA DE IMPULSIÓN PARA MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA PLANTA TERMOELÉCTRICA SHOUGANG DE SAN JUAN DE MÁRCONA, NAZCA, ICA, PERÚ"

VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Sistema de bombeo y línea de impulsión	Conjunto de elementos que permiten el transporte a travéz de tuberías y el almacenamiento temporal de los fluidos, de forma que se cumplan las especificaciones de caudal y presión necesarias en los diferentes sistemas y procesos.	Desplazamiento de líquidos Transformador de energía Aumentar presión variación de velocidad	Bombas Línea de impulsión	Tipo de efluente Caudal Altura total Potencia de la bomba Altura de succión Rendimiento de la bomba NPSH de la bomba Tuberías Accesorios

Fuente: Propia

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. ÁREA DE ESTUDIO

La Empresa se encuentra situada en la región de Ica, en el distrito de San Juan de Marcona, que pertenece a la provincia de Nazca y al departamento del mismo nombre.

Figura 12

Ubicación de la Central Térmica



Fuente: Propia

Figura 13

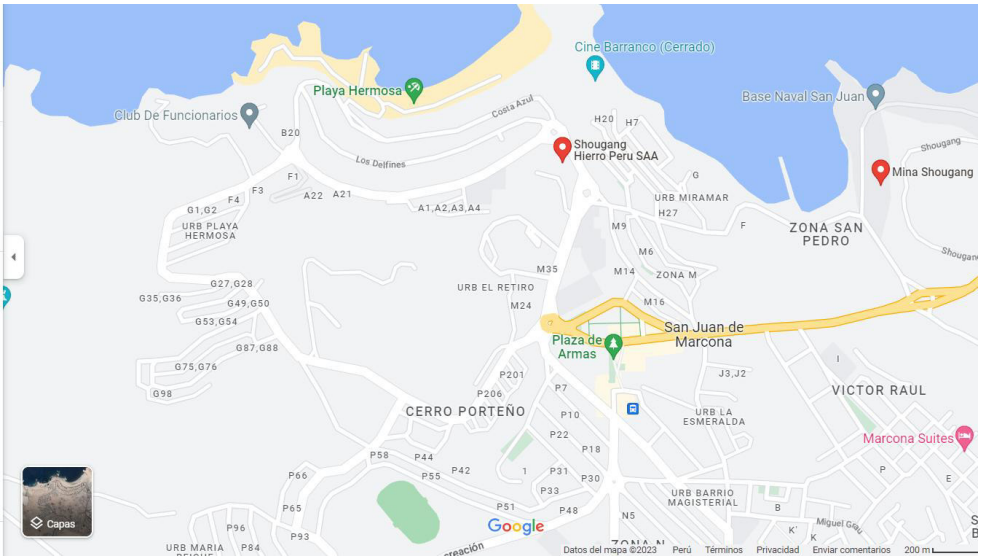
Interior de la Central Térmica



Fuente: Propia

Figura 13

Ubicación Central termoeléctrica



La empresa empezó a operar en 1964 y consta de tres unidades generadoras con turbinas de vapor, que utilizan un ciclo RANKINE regenerativo sobrecalentado. Para ello, la empresa cuenta como equipos primordiales con: calderas acuotubulares de fuego directo que emplea como combustible el petróleo residual 500 (PIAV-500); condensadores enfriados con agua marina; y turbinas de vapor del tipo condensación que tienen extracciones. Cuenta, además, con un extenso sistema de vapor y condensados que forman parte del circuito principal, más otros circuitos, por ejemplo el de agua para enfriar y el de combustible.

Conforme a los ensayos más recientes de rendimiento y potencia efectiva, las unidades generadoras TV3, TV2 y TV1 tienen una potencia efectiva de 25 786 KW, 18 284 KW y 19 026 KW en ese orden.

4.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

Figura 15

Secuencia del diseño de investigación



Fuente: Propia

Donde:

T Tesista

01 Bajo rendimiento y eficiencia con altos costos de operación en las bombas

X: Repotenciar sistema de bombeo y línea de impulsión

0 2 Mejora el rendimiento en línea de bombeo

4.2.1. Diseño de la Investigación

El diseño fue no experimental porque el objetivo de la investigación es mejorar el sistema de bombeo y la línea de impulsión con el fin de aumentar la utilización eficaz de energía en la central termoeléctrica de San Juan de Marcona, así como su impacto en dicha eficiencia.

Hernández Sampier, Roberto. Metodología de la investigación. Editorial Felix Varela. La Habana. 2004. Nos dice, que el diseño no experimental: es la que se lleva a cabo sin cambiar de forma deliberada las variables. Se enfoca principalmente en observar los fenómenos tal como suceden en su entorno natural para después analizarlos. Los participantes de la investigación en este caso no están expuestos a condiciones ni a estímulos. Los participantes son observados en su entorno natural.

4.2.2. Enfoque de la investigación

El enfoque cuantitativo fue el que más se adecuó a las particularidades y requerimientos de la investigación, por lo que este proyecto será diseñado según dicho planteamiento metodológico.

Como R. Hernández Sampieri, C. Fernández y M. P. Baptista (2010) explican con claridad, el enfoque cuantitativo empieza por determinar y formular un problema científico. Después, se realiza una revisión de la literatura vinculada al asunto en cuestión, lo cual contribuye a construir un marco teórico-referencial. Luego, a partir de estas dos fases iniciales, se proponen hipótesis de investigación que establecen las variables esenciales del análisis desde una perspectiva teórica y operativo.

4.2.3. Tipo de la Investigación

La actual investigación, será de nivel Aplicada, considerando que el tema de investigación tiene un sustento teórico suficiente.

La investigación aplicada utiliza saberes teóricos y los transforma en saberes prácticos cuyo fin es solucionar problemas y optimizar las condiciones de vida.

Las etapas de la investigación aplicada son las siguientes: planificación, ejecución y comunicación de los hallazgos.

Según Murillo (2008), se entiende por investigación aplicada "investigación empírica o práctica" y se caracteriza gracias a su propósito de utilizar lo aprendido y

simultáneamente obtener nuevos aprendizajes, por medio de la implementación y sistematización de prácticas basadas en investigaciones. El empleo de lo que se ha aprendido y encontrado en la investigación para comprender la realidad de forma sistemática, ordenada y rigurosa.

4.3. POBLACIÓN Y MUESTRA

4.3.1. Población

La población se considerará las 7 bomba con efluente agua de mar en la central Termoeléctrica

Tabla 3

Cantidad de bombas instaladas

3	bombas PEERLESS para la unidad n°3
2	bombas BYRON JACKSON para la unidad n°2
2	bombas BYRON JACKSON para la unidad n°1

Fuente: Propia

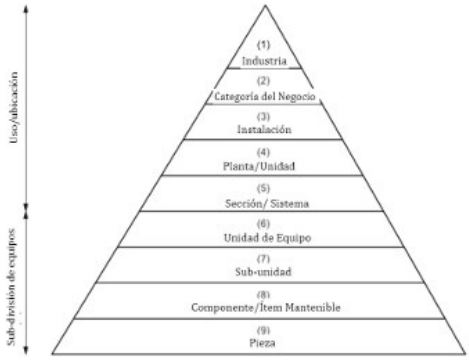
El efluente que transportan las bombas es Agua de Mar.

4.3.2. Taxonomía de equipos

Las pautas brindadas por la norma ISO 14224:2016 son usadas para clasificar los equipos en la central termoeléctrica. Esta norma ayudara que se establezca una estructura organizada apropiada, con los niveles de detalles requeridos para manejar los equipos industriales de manera efectiva. La figura 7 ilustra cómo la norma ISO 14224 clasifica los niveles de taxonomía.

Figura 16

Clasificación de la taxonomía



Fuente: ISO 14224:2016.

Conforme a las directrices de la norma ISO 14224, que indican los grados para clasificar los sistemas, los cuales se adecuan a las metas particulares del trabajo monográfico. En la tabla 5 se muestra una los detalles de la taxonomía de los equipos a investigar.

Tabla 4

Taxonomía de equipos

NIVEL	CLASIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN
1	Industria	Termoeléctrica
2	Categoría de negocio	Generación de energía eléctrica
3	Categoría de instalación	Producción
4	Planta/Unidad	Mantenimiento
5	Sección/sistema	Enfriamiento
6	Clase de equipo/unidad	Bombas
7	Descripción de equipo	
	Bomba 1	Vertical de flujo mixto
	Bomba 2	Vertical de flujo mixto
	Bomba 3	Vertical de flujo mixto
	Bomba 4	Vertical de flujo mixto
	Bomba 5	Vertical de flujo mixto
	Bomba 6	Vertical de flujo mixto

		Vertical de flujo mixto

Fuente: Propia

4.3.3. Listado de equipos y sus funciones

Como primer paso, se describen las funciones y especificaciones de los elementos clave que componen el banco de hielo y el refrigerado por amoníaco. Esta manera es esencial para disminuir la temperatura del agua y permitir la transferencia de altas temperaturas durante el proceso productivo. La tabla 6 presenta una caracterización de las bombas que se incluirán en el plan de mantenimiento.

Tabla 5

Características básicas de los equipos

ITEM	CÓDIGO	FUNCIÓN	MARCA	POTENCIA
1	Bomba 1 cód: 363-001	Enfriamiento	BYRON JACKSON	150HP
2	Bomba 2 cód: 363-002	Enfriamiento	BYRON JACKSON	150HP
3	Bomba 3 cód: 363502	Enfriamiento	BYRON JACKSON	200 HP
4	Bomba 4 cód: 363503	Enfriamiento	BYRON JACKSON	200 HP
5	Bomba 5 cód: 363-041	Enfriamiento	PEEARLESS PUMP	250 HP
6	Bomba 6 cód: 363-042	Enfriamiento	PEEARLESS PUMP	250 HP
7	Bomba 7 cód: 363-043	Enfriamiento	PEEARLESS PUMP	250 HP

Fuente: Propia

En el anexo 2 se muestra imágenes de las 7 bombas

4.3.4. Muestra

La muestra para la investigación se centra en las 3 bombas Peerless de la unidad N° 3

4.4. PROCEDIMIENTOS

4.4.1. Técnicas e instrumentos de recolección de información

4.4.1.1. Técnicas de recolección de datos

Son un conjunto variado de instrumentos que posibilitan la recopilación eficiente y hábil de información para fines analíticos e investigativos.

Con el fin de garantizar la fiabilidad y la validez de una investigación, es común que los proyectos de investigación incorporen el uso de diversas técnicas para recopilar datos. Se usan varios datos, entre ella métodos y fuentes para recopilar datos fortalece la confiabilidad de los resultados y posibilita que se incorporen diversas interpretaciones y significados al análisis. Se emplea con frecuencia la expresión "métodos de obtención de información" para hacer referencia a los procedimientos para recolectar datos y a las distintas técnicas que los componen.

La observación es el proceso investigativo empleado, y se trata de una técnica de recopilación de datos que es directa y fácil. Puede ser:

Observación cualitativa u observación cuantitativa.

Observación participante o no participante.

La observación, dentro del contexto de la recopilación de datos, habitualmente implica examinar las conductas o acciones de una persona en un ambiente específico con el objetivo de comprenderlas y registrarlas.

El análisis textual o de contenido es otro método que se emplea para observar datos. Una técnica de recopilación y análisis que se emplea en el marco de los métodos de recolección de datos secundarios es la evaluación tanto del contenido como del texto.

Este método posibilita el análisis de las alteraciones en los puntos de vista institucionales, organizativos u oficiales acerca de un área o tema en particular, con el fin de registrar el entorno de ciertas prácticas o estudiar las experiencias y perspectivas de un conjunto de personas que, por ejemplo, han estado implicadas en una reflexión escrita. La pregunta de investigación orientará la creación de un esquema o tabla de codificación para el análisis, que se utilizará repetidamente en los documentos escogidos.

Se empleó el método de recopilación de datos históricos de la compañía y en campo, considerando las variables operativas eléctricas y mecánicas.

Para esta operación se utilizaron los siguientes equipos:

- Caudalímetro
- Cosfimetro
- Amperímetro
- Multímetro

. **Cálculo de la energía hidráulica:**

Es la energía que fue absorbida y utilizada en el eje de la bomba, que toma también este tipo de energía. (Hidrostal, 2011, pág. Q dices si tú lavas los platos

13).

Este cálculo se realiza utilizando la siguiente fórmula:

$$Eh = \frac{Q\ (lps) \times ADT\ (mts\ H2O)}{75}$$

. Cálculo de energía eléctrica consumida en Hp:

Es la energía que se mide en el terreno cuando la bomba y el motor eléctrico trabajan juntos.

Esta energía eléctrica es la que toma la bomba en función de su rendimiento y se mide en Hp (Hidrostal, 2011, p. 13).

$$Ee = \frac{\text{Voltaje (v)} \times \text{Amperaje (amp)} \times \text{Cosfi} \times 1.73}{746}$$

. Eficiencia de rendimiento de una bomba:

Se refiere a la capacidad que tiene esta máquina para convertir un tipo de energía en otro, y se expresa en términos porcentuales (Hidrostal, 2011, pág. 49).

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{Energía Hidráulica (Eh)}}{\text{Energía eléctrica (Ee)}}$$

. **La potencia absorbida**

La potencia absorbida en Hp o la cantidad de energía proporcionada a causa de un factor en un punto concreto del tiempo específico se mide en vatios o watts (Hidrostal, 2011, p. 13).

$$P = \frac{GE \times Q \times ADT}{75 \times h}$$

Donde:

h: es eficiencia en porcentaje (%).

ADT: es la altura dinámica total en metros.

GE: es la gravedad específica del líquido bombeado (para el agua limpia a 15.6°C, GE = 1).

Q: es el caudal bombeado en litros/segundo.

75: es una constante

. Cálculo de A.D.T

La altura dinámica total (ADT) es la energía que fue integrada por una unidad denominada tiempo, esta energía se absorbe por el líquido que se requiere para superar

la altura estática, que son las pérdidas por fricción en los tubos y accesorios del sistema, se expresa en metros de columna de agua (Hidrostal, 2011, p. 49).

$$ADT = Hgeo + (P2 – P1) / \rho * g + (V2^2 - V1^2) / 2g + \Sigma Hf$$

Donde:

Hgeo	es la altura estática total (m)
P2 – P1	es la diferencia de presiones absolutas (m)
$V2^2 - V1^2$	es la diferencia de energías de velocidades (m)
ΣHf	son las perdidas en tubería y accesorios (m)
ρ	es la densidad
g	es la gravedad

. Sistema de compensación

El sistema de compensación tiene como fin disminuir los costos por energía reactiva, que se encuentran presentes en todos los dispositivos, también referida como energía reactiva. (Joao, 2017, pp. 4-10)

La energía reactiva.

Dado que el valor medio de esta energía es cero y, por ende, no produce trabajo útil, orefiere evitar en las instalaciones o máquinas eléctricas. Se presenta en los motores eléctricos que poseen arrollamientos. Esta energía se ajusta con condensadores, que ayudan a cambiar la polémica lo más cerca posible a la unidad.

La letra Q es la que representa su unidad y su unidad de medida es el voltamperio reactivo. (VAr) o kilovoltios-amperios reactivos (Kvar).

El uso de esta energía está permitido en todas las concesionarias hasta el 30 % de tu potencia activa.

La potencia activa:

Hace referencia a la energía que es utilizada por las máquinas que utilizan electridad, las cuales convierten dicha energía que se convierte en trabajo útil o mecánico, que es la responsable del movimiento y el torque. La letra P representa su unidad, que es medida en vatios (W).

La potencia activa se divide en dos, la cual se encuentra en el período de máxima demanda y abarca desde las 18 hasta las 23 horas.

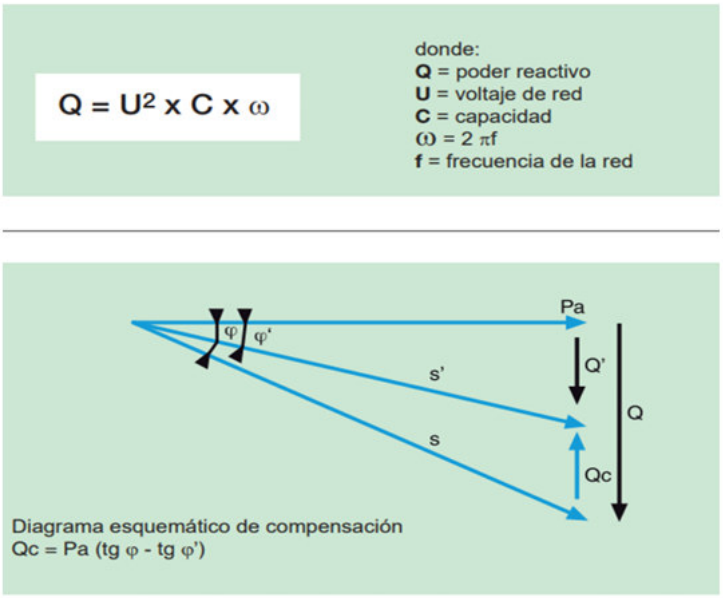
La suma de ambas potencias activas durante el tiempo que se está funcionando es igual al kilowatt-hora (Kw/h), que es lo que todos los concesionarios facturan.

La potencia aparente:

Como se muestra en la figura 17, es la suma vectorial de las dos potencias: reactiva y activa. Se mide en voltamperios (Va) la unidad que la representa, que es S. La potencia aparente es directamente proporcional a la intensidad que se desplaza por el circuito eléctrico de la máquina.

Figura 16

Diagrama vectorial



Fuente: (Joao, 2017, págs. 4,10)

4.4.2. Análisis e interpretación de la información

Esto implica el escrutinio sistemático del conjunto de elementos informativos disponibles para delimitar las partes y determinar relaciones entre ellas, así como con el problema investigado, considerándolo en su totalidad. Así, lo que se busca es lograr un mejor entendimiento sobre el fenómeno en cuestión. Por esta razón, estamos en una de las etapas más apasionantes del proceso de investigación. Debe subrayarse que este paso se ejecuta de forma distinta, dependiendo del enfoque elegido para realizar la investigación. En el análisis cuantitativo, se empleará la estadística descriptiva y la verificación de hipótesis.

Los siguientes pasos se llevarán a cabo para realizar el análisis de datos:

. **Definir el problema**, planteamos el problema principal, ¿Cómo con repotenciar el sistema de bombeo y línea de impulsión se mejora el rendimiento en la central termoeléctrica de Shougang de San Juan de Marcona, Nazca, Ica, Perú? Teniendo como objetivo claro el de repotenciar el sistema de bombeo y línea de impulsión.

. **Establecer prioridad de medición**, el problema se establece que tipo de información se necesita y como conseguirla, para la investigación se necesita información de carácter cuantitativo, se requiere datos de las bombas actuales de la central termoeléctrica Shougang que se desea repotenciar y datos de las líneas de impulsión, tiempo de vida, etc.

.Recolectar datos, se recolectará datos de fuentes primarias, de las placas de las bombas en investigación, datos de las líneas de impulsión, tuberías, diámetros, accesorios, tiempo de vida, etc.

.Clasificación de la información, obtenida la información, se clasificará de acuerdo a su importancia, y prioridades, corrigiendo posibles irregularidades, duplicidad, para que no se distorsione la interpretación de los mismos. Se clasificarán los datos de las

bombas obtenidos, por año de fabricación, potencia, tipo, material de construcción, tipo de sellos, tipo de flujo, estado de la bomba, etc.

.Análisis de datos, clasificados se examinan los datos para determinar tendencias., lo que nos dará las herramientas necesarias que mejor se ajusten al objetivo del análisis.

.Interpretación de datos, analizados los datos estos se convierten en conocimientos empresariales, la visualización de los mismos brindará la posibilidad de entender la complejidad de ellos de una manera sencilla. Se interpretará el estado actual de las bombas y nos dará una real información de lo que se debe realizar con ellas, que sería el de repotenciarlas.

4.4.2.1. Estadística descriptiva

El análisis de datos, como se ha dicho antes, implica una serie de operaciones, manipulaciones, transformaciones, reflexiones y verificaciones con el objetivo de obtener el significado pertinente en relación con nuestra hipótesis y construir modelos teóricos. La evaluación sistemática de un conjunto de datos para determinar sus partes, así como las relaciones entre ellas y con el todo, formará parte del análisis de datos. También conlleva encontrar la conexión entre las variables que se plantean en la hipótesis.

Una vez que has implementado tus herramientas y has recolectado la información en el terreno, es hora de analizar los datos. Con una perspectiva cuantitativa, esto te permitirá determinar la relación entre las variables que estableciste inicialmente y, por ende, verificar tu hipótesis.

4.4.2.2. Comprobación de hipótesis

La estadística inferencial tiene procedimientos para comprobar la hipótesis propuesta, pero en este curso nos restringiremos a métodos más simples.

Este método se emplea cuando hemos trabajado con una muestra poblacional y buscamos ampliar los resultados para que sean representativos de la población completa.

Verificar una hipótesis implica ponerla a prueba con la realidad; en otras palabras, el investigador debe comprobar lo que ha afirmado en su hipótesis y para ello debe determinar mediante alguna técnica de contraste si sus datos empíricos concuerdan o no con la hipótesis. En tal situación, únicamente existen dos alternativas: o la hipótesis está respaldada por datos empíricos y decimos que ha sido confirmada, o la hipótesis no coincide con los datos empíricos y afirmamos que ha sido refutada o desconfirmada.

El investigador se enfoca en corroborar o desmentir lo que hemos llamado el

cuerpo de la hipótesis, dado que su fundamento ha sido verificado con anterioridad. El investigador utiliza tres métodos fundamentales en esta tarea: la experimentación, la observación y la encuesta.

La actividad de verificar la hipótesis, que se lleva a cabo a través de la observación y/o experimentación, consiste en determinar si una hipótesis empírica es verdadera o falsa. En cualquier situación, para que una hipótesis sea considerada científica, tiene que ser posible comprobarla. Una hipótesis que no puede ser confirmada o refutada por la experiencia no puede considerarse científica (Castillo, 2009).

. Es necesario que definamos todos los resultados posibles antes de proceder con la verificación.

. Los procesos para determinar los han sido acordados antes de verificarlo conclusiones.

. Antes de verificarla, se ha determinado qué resultados conllevarán la refutació de la hipótesis.

4.4.2.3. Procedimiento a seguir para el desarrollo de la investigación

Para la realización de la investigación se procederá de acuerdo a los siguientes pasos:

1. Llevar a cabo un diagnóstico de los motores en el área de producción.
2. Identificar los factores que influyen en la eficiencia de un motor.
3. Efectuar un análisis económico del consumo de energía eléctrica, comparando los motores de alta eficiencia con los motores estándar.

V. RESULTADOS

5.1. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

5.1.1. Descripción del proceso donde intervienen las bombas

Las bombas intervienen en el proceso de enfriamiento del vapor proveniente de la turbina de vapor este vapor ya utilizado en la turbina se dirige hacia el condensador en donde por proceso de convección y conducción baja su temperatura provocando el vapor se convierta en agua para nuevamente mandarlos a la caldera para evaporarlo nuevamente y repetir el ciclo.

5.1.2. Estado actual de las bombas.

Las bombas actualmente se encuentren operativas, pero con las falencias debidas a un mantenimiento reactivo y falto de un análisis de mantenimiento juicioso.

5.1.3. Disposición de las bombas peearles

Las bombas están en paralelo, para la unidad 3 se usan las b7,b6,b5; para la unidad 2 b3,b4; para la unidad 1 se usa la b1 y b2.

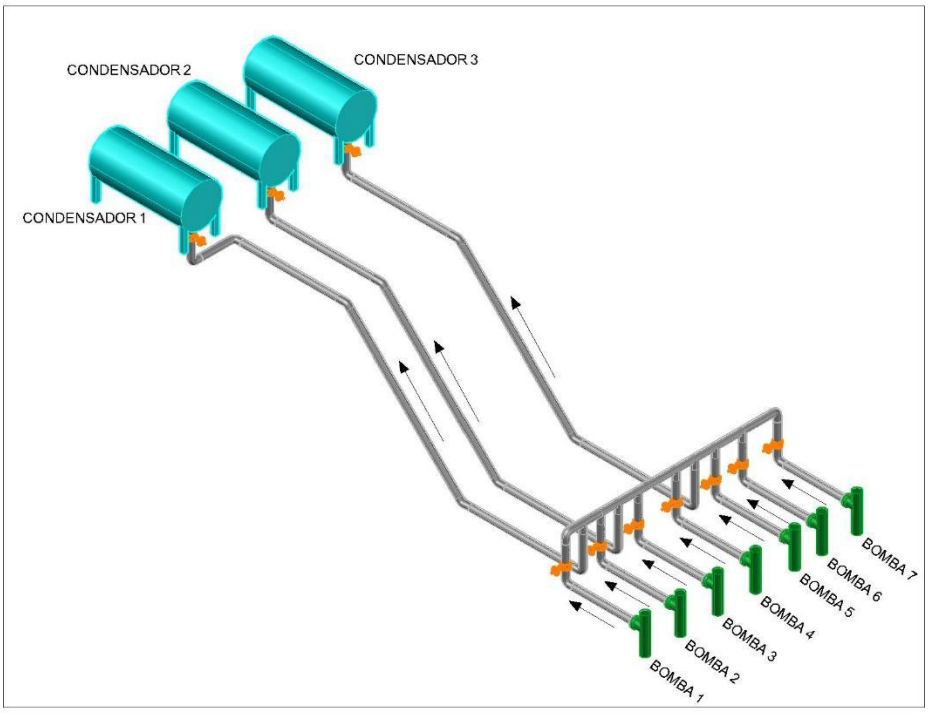
5.1.4. Caudal requerido de las bombas

Las bombas deben dar un caudal individual de 9000 gpm en su máxima eficiencia, siempre trabajan 2 bombas y una descansa, la central no trabaja el 100% de su capacidad ya que depende de la cantidad de energía le pida el sistema interconectado.

5.1.5. Diagrama de distribución de las bombas

Figura 18

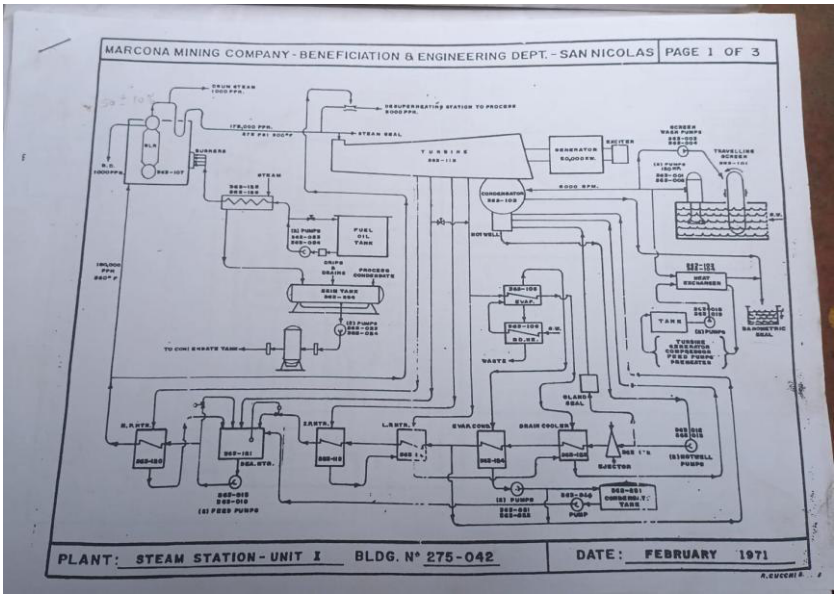
Diagrama de distribución de las bombas



Fuente: Propia

Figura 19

Distribución de la unidad de estación de vapor



Fuente: Propia

5.1.6. Tipo de corriente en los motores

En una central térmica, las bombas de agua de mar son impulsadas por motores eléctricos de corriente alterna (CA)

5.1.7. Tipo de eficiencia en los motores

La eficiencia de los motores es del tipo IE2

5.1.8. Datos públicos de consumo de energía eléctrica de la empresa

Por protección de los datos de la empresa se nominarán a las empresas como E1 y E2

Tabla 6

Datos de empresas relacionadas

EMPRESA	DESCRIPCIÓN
E1	Central térmica – Generación eléctrica
E2	Empresa productora de hierro

Fuente: Propia

Año 2023 (figuras oficiales en la Memoria 2023):

- Ventas de energía (total E1) = 465,058 (miles de kWh) ⇒ 465,058,000 kWh vendidas en 2023.
- Venta a E2 = 452,223 (miles de kWh) ⇒ 452,223,000 kWh a su principal cliente en 2023.
- Ingresos por ventas en 2023 (miles de soles): E2 = 206,956 (miles S/) ⇒ S/.206,956,000.

Año 2024 (estados financieros a 31-12-2024):

- Los estados financieros 2024 muestran ingresos por venta de energía y potencia y el detalle del costo de servicios (ver punto 11). Hay variaciones 2023→2024 (venta menor en 2024 según resultados consolidados). Para detalle anual 2024 por kWh la memoria anual 2024 no publica un resumen kWh tan claro como 2023 en el PDF consultado; sin embargo, los estados financieros 2024 están disponibles y muestran montos monetarios y rubros.

Del Estado de Resultados y Notas al 31-12-2024 (documento estados financieros 2024):

Costo de servicios (total) 2024 = S/. 128,152,000 (miles de soles). Dentro de ese rubro figuran:

- Compra de energía: S/. 69,467,000 (2024).
- Peaje y transformación: S/. 11,250,000.
- Consumo de petróleo: S/. 2,730,000.
- Costo por servicio tarifario: S/. 30,297,000.

Además: cuentas por pagar a “Proveedores de energía” al 31-12-2024 = S/. 7,606,000.

Estas cifras son las partidas que componen el balance del costo de energía a 31/12/2024 y están en las notas a los estados financieros.

En 2024 el mayor componente del costo fue la compra de energía en el mercado (COES/SINAC) por ~S/.69.5 M; consumo de combustible en la propia central fue relativamente bajo (S/.2.73 M) comparado con 2023 (cuando el consumo de petróleo fue mayor), lo que concuerda con menor generación propia y mayor compra/compensación.

5.1.9. Tipo de tarifa

- La empresa E1 es una empresa generadora, no un cliente final regulado.
- Como generadora, no "compra" energía para consumo propio bajo una tarifa regulada (BT1, MT2, AT3, etc. que usa Osinergmin para usuarios finales), sino que está integrada al mercado eléctrico peruano (COES/SINAC).

- Lo que sí paga E1 son:
    1. Peajes y cargos por transmisión y distribución (uso de redes).
    2. Costos de energía comprada al COES (cuando no genera lo suficiente o debe balancear sus contratos).
    3. Cargos tarifarios regulados aplicables a generadores (por ejemplo, servicios complementarios, compensaciones de potencia).

En los estados financieros 2024 se ve claramente:

- Compra de energía: S/. 69.4 millones.
- Peaje y transformación: S/. 11.25 millones.
- Costo por servicio tarifario: S/. 30.3 millones.

Es decir:

- No se le aplica una tarifa BT/MT/AT como a un cliente final.
- Su "tarifa" se materializa como costos de compra en el mercado mayorista (COES) + peajes de transmisión + cargos tarifarios del regulador (Osinergmin).

5.1.10. Distribución de energía eléctrica en la empresa

La energía que alimenta las bombas puede provenir directamente de la Central Térmica (generación propia) a través de las barras de 13.8 kV y subestaciones de la mina, o en momentos en que la central no esté generando puede provenir del Sistema Interconectado Nacional (SEIN / COES) (compra en mercado/transferencias). La Memoria indica que las cargas de la empresa E1 y E2 están conectadas en barras de 13.8 kV en la empresa termoeléctrica y en SE Mina (60 kV), por lo que el suministro puede ser interno (generación) o intercambios con la red.

5.1.11. Tratamiento al agua de mar

En la central térmica E2, el agua de mar bombeada no es para potabilización ni desalación, sino que se usa como agua de enfriamiento en los condensadores de la turbina de vapor.

En este tipo de centrales térmicas no se hace un tratamiento químico complejo previo (como coagulación, filtración o desalinización). Lo que se aplica es un pretratamiento mecánico simple, cuyo objetivo es proteger las bombas y el condensador:

- Rejillas de toma (screens, bar screens) para retener algas, conchas, peces y sólidos grandes.
- En algunos casos, rejillas rotativas o filtros de tambor para partículas más finas.
- Dosificación puntual de hipoclorito de sodio (cloración) para evitar bioincrustaciones en tuberías y condensador.

El agua de mar se conduce a través de las bombas de circulación, pasa por el condensador (donde condensa el vapor de la turbina), y luego se devuelve al mar por el canal de descarga.

5.1.12. Área de mantenimiento preventivo en la empresa

La empresa tiene un área de mantenimiento general, consta de área eléctrica, mecánica, instrumentación y soldadura.

Esta tiene plan de mantenimiento preventivo deficiente pues su mantenimiento es de manera superficial, sin parámetros claves para un correcto mapeo de posibles fallas, tendiendo a realizar mantenimientos reactivos, de manera recurrente la justificación es que al ser una central antigua y de poco funcionamiento, su "aparente análisis en costo-beneficio en el mantenimiento" consideran que es preferible operar hasta el fallo de manera intercalada sus 7 bombas para corregir fallas de manera menos costosa. La tabla 6 presenta la cantidad de personal del área de mantenimiento, desglosada por especialidad.

Tabla 7

Personal del área de mantenimiento

ESPECIALIDAD	PERSONAL
MECÁNICA	2 Mecánicos de planta 4 Ayudantes de mecánicos
SOLDADURA	1 Soldador 1 Ayudante de soldador
ELECTRICIDAD	2 Electricistas 2 ayudantes electricista
INSTRUMENTACIÓN	2 Instrumentista 2 Ayudante instrumentista

Fuente: Propia

5.1.13. Características de las bombas peerless

Las tres bombas peearles son de igual características por lo que se muestra en la tabla 7.

Tabla 8

Característica de la bomba peerless

BOMBA DE MAR	
Motor	TRIFASICO
Marca	GENERAL ELECTRIC
Potencia	250 HP
Voltaje	4000V
Corriente	35A
Factor de potencia	0.85

Fuente: Propia

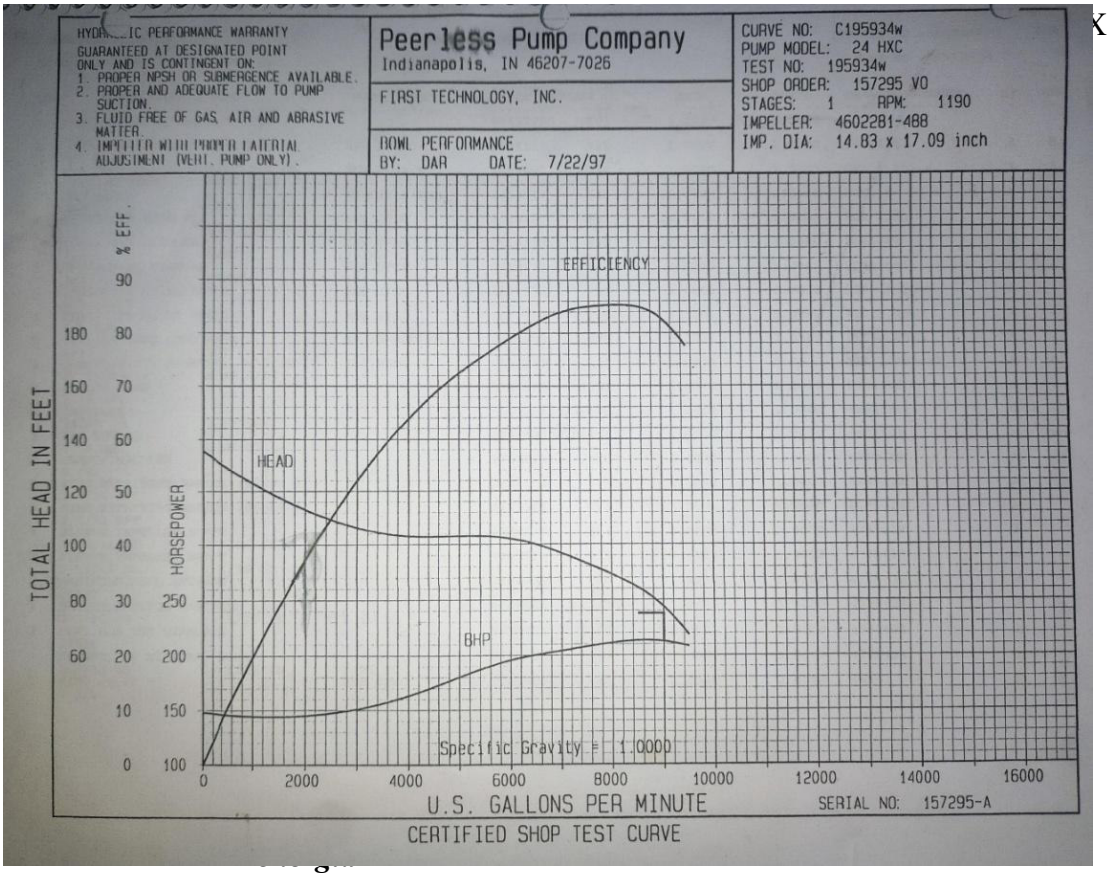
Tabla 9

Características de las bombas

5	Bomba 5 cód: 363-041	Enfriamiento	PEEARLESS PUMP	250 HP
6	Bomba 6 cód: 363-042	Enfriamiento	PEEARLESS PUMP	250 HP
7	Bomba 7 cód: 363-043	Enfriamiento	PEEARLESS PUMP	250 HP

Figura 20

Curva de bombas peerless

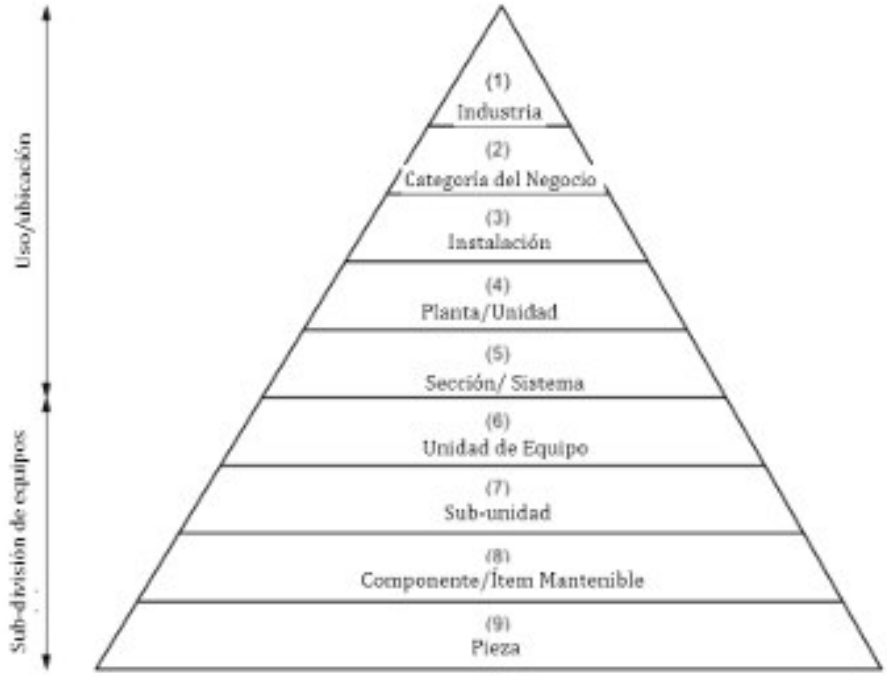


5.1.14.1. Taxonomía de los equipos

Las pautas establecidas por la norma ISO 14224:2016 son las que se utilizan para clasificar los equipos en la central termoeléctrica. Esta normativa posibilitará que se establezca una estructura de organización apropiada, con el grado de detalle requerido para manejar los equipos industriales de manera efectiva. La figura 7 ilustra cómo la norma ISO 14224 clasifica los niveles de taxonomía.

Figura 21

Clasificación de la taxonomía



Fuente: ISO 14224 2016

Conforme a las directrices establecidas por la norma ISO 14224, se determinan los grados de clasificación de los sistemas, adaptados a las metas particulares de la monografía. En la tabla 9 se muestra una los detalles de la taxonomía de los equipos a investigar.

Tabla 10

Taxonomía de equipos

NIVEL	CLASIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN
1	Industria	Termoeléctrica
2	Categoría de negocio	Generación de energía eléctrica
3	Categoría de instalación	Producción
4	Planta/Unidad	Mantenimiento
5	Sección/sistema	Enfriamiento
6	Clase de equipo/unidad	Bombas

7	Descripción de equipo	Bomba1	Vertical de flujo mixto
		Bomba 2	Vertical de flujo mixto
		Bomba 3	Vertical de flujo mixto
		Bomba 4	Vertical de flujo mixto
		Bomba 5	Vertical de flujo mixto
		Bomba 6	Vertical de flujo mixto
		Bomba 7	Vertical de flujo mixto

Fuente: Propia

5.1.15. Listado de equipos y sus funciones

Como primer paso, se describen las funciones y especificaciones de los elementos clave que componen el banco de hielo y el sistema de enfriamiento por agua. Además, es esencial para enfriar el agua y permitir la transferencia de calor durante el proceso productivo. En la tabla 3 se expone una caracterización de las bombas que se emplearán para implementar el plan de mantenimiento.

Tabla 11

Características básicas de los equipos

ITEM	CÓDIGO	FUNCIÓN	MARCA	POTENCIA
1	Bomba 1 cód: 363-001	Enfriamiento	BYRON JACKSON	150HP
2	Bomba 2 cód: 363-002	Enfriamiento	BYRON JACKSON	150HP
3	Bomba 3 cód: 363502	Enfriamiento	BYRON JACKSON	200 HP
4	Bomba 4 cód: 363503	Enfriamiento	BYRON JACKSON	200 HP
5	Bomba 5 cód: 363-041	Enfriamiento	PEEARLESS PUMP	250 HP
6	Bomba 6 cód: 363-042	Enfriamiento	PEEARLESS PUMP	250 HP

7	Bomba 7 cód: 363-043	Enfriamiento	PEEARLESS PUMP	250 HP

Fuente: Propia

5.1.16. Cálculo de la criticidad

Se realiza un análisis de criticidad para determinar la clasificación jerárquica de los equipos. Este procedimiento posibilita identificar cuáles activos existentes requieren atención prioritaria. Los que no se consideren como críticos no serán incluidos en las etapas subsiguientes del proceso. Basándose en las regulaciones (SAE JA1011, 2009) y (SAE JA1012, 2011). Para determinar la criticidad, se emplean los factores de consecuencia y frecuencia. Es un método que implica multiplicar la frecuencia por el valor ponderado de las consecuencias.

$$Criticidad = FR \; x \; CN \qquad (1)$$

Siendo la consecuencia (CN):

$$CN = (IO \; x \; FO) + CM + SG \qquad (2)$$

Tabla 12

Frecuencia de falla (FR)

Frecuencia	Puntos
≥ a 8 fallas / mes	4
De 5 a 7 fallas / mes	3
De 2 a 4 fallas / mes	2
≤ a 1 falla / mes	1

Fuente: (SAE JA1011, 2009) Y (SAE JA1012, 2011).

Tabla 13

Impacto operacional (IO)

Impacto operacional	Puntos
Parada inmediata de toda la producción	10
Afecta más del 75% a la producción	8
Afecta más del 50% a la producción	6
Afecta menos del 50% a la producción	4
No afecta a la producción	1

Fuente: (SAE JA1011, 2009) Y (SAE JA1012, 2011).

Tabla 14

Flexibilidad Operacional (FO)

Flexibilidad operacional	Puntos
No se dispone de otro equipo igual o similar	4
Se dispone de otro equipo similar, pero como capacidad inferior del 50%	3
El sistema puede seguir funcionando	2
Se dispone de otro equipo igual o similar	1

Fuente: (SAE JA1011, 2009) Y (SAE JA1012, 2011).

Tabla 15

Costo de mantenimiento (CM)

Costo de Mantenimiento	Punto
Mas de $50,000,000	3
De $25,000,000 a $50,000,000	2
Menos de $25,000,000	1

Fuente: (SAE JA1011, 2009) Y (SAE JA1012, 2011).

Tabla 16

Seguridad y entorno ambiental (SG)

Seguridad y medio ambiente	Punto
Afecta la seguridad humana	8
Afecta al medio ambiente de forma reversible	6
Afecta instalaciones severamente	4
Daños menores - accidentes e incidentes	2
Provoca daño ambiental poco severos	1
No genera ningún daño	0

Fuente: (SAE JA1011, 2009) Y (SAE JA1012, 2011).

La criticidad se obtiene a partir de los factores de consecuencia y frecuencia, que están definidos en las ecuaciones 1 y 2. Para calcularla, se considera el número de fallas detectadas en los equipos y su ubicación dentro del cuadro de criticidad, como lo ilustra la tabla 16.

Tabla 17

Criticidad

Frecuencia	4	40	80	120	160	200
	3	30	60	90	120	150
	2	20	40	60	80	100
	1	10	20	30	40	50
		10	20	30	40	50
		Consecuencia				

Nota: Criticidad alta, color rojo, valor ≥ 100 puntos. Criticidad media, color amarillo, valor ≥ 50 y ≤ 99 puntos. Criticidad baja, calor verde, valor ≥ 1 y ≤ 49 puntos.

De los reportes del área de mantenimiento señalan los siguientes resultados:

Tabla 18

Análisis de valores de fallas

Análisis de falla	**Puntaje**
Costo de mantenimiento (CM)	1
Flexibilidad Operacional (FO)	4
Impacto operacional (IO)	4
Frecuencia de falla (FR)	3
Seguridad y entorno ambiental (SG)	4

Fuente: Propia

De la fórmula 2 obtenemos la ponderación de las consecuencias (CN)

$CN = (IO \ X \ FO) + CM + SG$

$CN = (4 \ X \ 4) + 1 + 4$

$CN = 21$

$Criticidad = FR \ X \ CN$

$Criticidad = 3 \ x \ 21$

$Criticidad = 63$

Nota: Criticidad alta, color rojo, valor ≥ 100 puntos. Criticidad media, color amarillo, valor ≥ 50 y ≤ 99 puntos. Criticidad baja, calor verde, valor ≥ 1 y ≤ 49 puntos.

Con el resultado del cálculo de la criticidad observamos según la tabla de criticidad está en color amarillo lo que demuestra que las bombas se encuentran en una criticidad media.

5.1.17. Cálculo del Número de prioridad de riesgo (NPR)

Después de que se ha analizado la criticidad de cada componente del sistema, se realiza el Análisis de Modo y Efecto de Fallas (AMEF). En este procedimiento, identifica las funciones, los modos de falla, los efectos de falla y las fallas funcionales de cada equipo para calcular su Número de Prioridad de Riesgo (NPR).

Para determinar el riesgo de falla de las máquinas, se calcula el NPR (Número de Puntos de Referencia), que sirve como base para decidir. Este valor se establece para todas las potenciales causas de error y ofrece una orientación sobre las acciones correctivas que se deben tomar. Se determina al multiplicar la probabilidad, la gravedad y la habilidad de identificación de cada causa. Para nosotros, se ha determinado que un NPR máximo tolerable sería menor a 100.

NPR: S * O * D (3)

Tabla 19

Severidad (S)

Valor	Descripción
1	Consecuencia del fallo despreciable
2 y 3	No hay consecuencia para seguridad y afines
4,5 o 6	Los efectos tienen consecuencias importantes en costes directo del mantenimiento y una pequeña influencia adversa en la producción puede causar pausas cortas no programadas
7 y 8	importante impacto del efecto de fallo en la producción y elevados costos de mantenimientos
9 y 10	Graves consecuencia para la seguridad y afines.

Fuente: Acosta Pérez (2023)

Tabla 20

Ocurrencia (O)

Valor	Tasa de fallos
1	Menos de 1 en más de 5 años
2	Entre 1 y 3 en más de 5 años
3	Entre 1 y 3 en 5 años
4	Entre 1 y 3 en 2 años
5	Entre 1 y 3 por año
6	Entre 1 y 3 cada seis meses
7	Entre 1 y 3 cada dos meses
8	Entre 1 y 3 cada mes
9	Entre 1 y 3 cada semana
10	Entre 1 y 3 cada dos días

Fuente: Acosta Pérez (2023)

Tabla 21

Detectabilidad (D)

Valor	Descripción
1	No hay ninguna duda de que el fallo será detectado de inmediato, por cualquier persona y sin ambigüedad
2	La detección es prácticamente certera. Probablemente habrá que verla algún técnico u operario especializado
3,4 y 5	La detección es razonablemente fiable. Hay que aplicar algún método, técnica o instrumento y/o tardar algún tiempo en diagnosticar definitivamente
6,7 y 8	La detección entraña riesgos de no acetar, se necesitan medios y tiempo relativamente largo para diagnosticar el fallo
9 y I0	La detección es extremadamente difícil, o prácticamente inviable en las condiciones tecnológicas actuales

Fuente: Acosta Pérez (2023)

Tabla 22

Resultados de los valores para el cálculo del NPR

Descripción	***Valor***
Severidad (S)	***7***
Ocurrencia (O)	***8***
Detectabilidad (D)	***3***

Fuente: Propia

Resultado del NPR

NPR = S x O x D

NPR = 7 X 8 X 3

NPR = 168

Del resultado observamos que es un valor muy alto

.

5.1.18. Advertencias cualitativas

Se realizaron diversas inspecciones a las bombas peerless para determinar sus señales de fallas, destacando las más resaltantes como se observa en la tabla número 12.

Tabla 23

Advertencias cualitativas

ITEM	TIPO DE FALLA	RESULTADOS
1	Niveles de ruidos anormales	Ocasionalmente se escuchan golpes, chirridos en las tres bombas
2	Fugas externas	Pérdida visible de fluido alrededor de los retenes, juntas.
3	Temperatura de funcionamiento elevada	Se produce recalentamiento en las partes externas del motor

4	Fluctuaciones erráticas de la presión	Lecturas de presión inestables
5	Disminución del caudal	Reducción notable del caudal del sistema
6	Mayor consumo de energía	Mayor consumo para la misma potencia
7	Antigüedad	Año de fabricación 1997 – 28 años antigüedad

Fuente: Propia

5.1.19. Recopilación de datos técnicos de bombas

Figura 22

Datos de las bombas

DATOS TECNICOS BOMBA

EQUIPO A INTERVENIR	BOMBA DE MAR 5	**MARCA**	PEERLESS PUMP	**SERIE**	24 HXC
TIPO DE EQUIPO	REFRIGERACION	**TIPO DE LUBRICACION**	AGUA	**AÑO DE FABRICACION**	1997
LONGITUD DE COLUMNAS	50-100 PIES	**DIM-IMPULSOR**	14.83"x17.09"	**CAUDAL**	6000-8000 GPM
FECHA DE INTERVENCION	2022	**ADT**	90-105 PIES	**NIVEL ESTATICO**	85 PIES
SISTEMA ELECTRICO	TR	**NIVEL DINAMICO**		**TIPO DE IMPULSOR**	FLUJO MIXTO
MOTOR ELECTRICO	GENERAL ELECTRIC				
POTENCIA	250			**AMP NOMINAL**	0.8
HORAS DE OPERACIÓN	24			**FASE**	TRIFASICO
TIPO DE LUBRICANTE	ACEITE			**RODAMIENTO MOTOR SUP**	BOLAS
TENSION DE OPERACIÓN					
				RODAMIENTO MOTOR INF	BOLAS
L1	4160			**RODAMIENTO HMSS RIG.**	
L2	4160			**RODAMIENTO HMSS AXL.**	
L3	4160				
CONEXIÓN	ESTRELLA-TRIANGULO				
VIBRACION DE OPERACIÓN	1.2 MM/S RMS				

DATOS TECNICOS BOMBA

EQUIPO A INTERVENIR	BOMBA DE MAR 6	**MARCA**	PEERLESS PUMP	**SERIE**	24 HXC
TIPO DE EQUIPO	REFRIGERACION	**TIPO DE LUBRICACION**	AGUA	**AÑO DE FABRICACION**	1997
LONGITUD DE COLUMNAS	50-100 PIES	**DIM-IMPULSOR**	14.83"x17.09"	**CAUDAL**	6000-8000 GPM
FECHA DE INTERVENCION	2022	**ADT**	90 -105 PIES	**NIVEL ESTATICO**	85 PIES
SISTEMA ELECTRICO	TR	**NIVEL DINAMICO**		**TIPO DE IMPULSOR**	FLUJO MIXTO
MOTOR ELECTRICO	GENERAL ELECTRIC				
POTENCIA	250			**AMP NOMINAL**	0.8
HORAS DE OPERACIÓN	24			**FASE**	TRIFASICO
TIPO DE LUBRICANTE	ACEITE			**RODAMIENTO MOTOR SUP**	BOLAS
TENSION DE OPERACIÓN					
				RODAMIENTO MOTOR INF	BOLAS
L1	4160			**RODAMIENTO HMSS RIG.**	
L2	4160			**RODAMIENTO HMSS AXL.**	
L3	4160				
CONEXIÓN	ESTRELLA-TRIANGULO				
VIBRACION DE OPERACIÓN	1.2 MM/S RMS				

DATOS TECNICOS BOMBA

EQUIPO A INTERVENIR	BOMBA DE MAR 7	**MARCA**	PEERLESS PUMP	**SERIE**	24 HXC
TIPO DE EQUIPO	REFRIGERACION	**TIPO DE LUBRICACION**	AGUA	**AÑO DE FABRICACION**	1997
LONGITUD DE COLUMNAS	50-100 PIES	**DIM-IMPULSOR**	14.83"x17.09"	**CAUDAL**	6000-8000 GPM
FECHA DE INTERVENCION	2022	**ADT**	90-105 PIES	**NIVEL ESTATICO**	85 PIES
SISTEMA ELECTRICO	TR	**NIVEL DINAMICO**		**TIPO DE IMPULSOR**	FLUJO MIXTO
MOTOR ELECTRICO	GENERAL ELECTRIC				
POTENCIA	250			**AMP NOMINAL**	0.8
HORAS DE OPERACIÓN	24			**FASE**	TRIFASICO
TIPO DE LUBRICANTE	ACEITE			**RODAMIENTO MOTOR SUP**	BOLAS
TENSION DE OPERACIÓN				**RODAMIENTO MOTOR INF**	BOLAS
L1	4160			**RODAMIENTO HMSS RIG.**	
L2	4160			**RODAMIENTO HMSS AXL.**	
L3	4160				
CONEXIÓN	ESTRELLA-TRIANGULO				
VIBRACION DE OPERACIÓN	1.2 MM/S RMS				

5.1.20. Ficha técnica del equipo instalado

En el anexo 4, las características se presentan técnicas de las bombas peerless instaladas en la central.

5.1.21. Características de las bombas peerless

Tabla 24

Características de las bombas instaladas

BOMBA DE MAR 5, 6 y 7	
Motor	TRIFASICO
Marca	GENERAL ELECTRIC
Potencia del Motor	220 kW (250 HP)
Carga	0.84
Eficiencia Nominal	0.87
Eficiencia de Operación	0.84
Potencia Mecánica Entregada	186.5 kW
Potencia Eléctrica Demandada	186.72 kW

Horas Operación Anual	1.750 h/año
Energía Consumida al Año	326.725 kWh/año
Precio Promedio de Energía	0,175 USD/kWh
Costo de Operación Anual	57.177 USD/año

Fuente: Propia

5.1.22. Determinación de la eficiencia real de la bomba

Hay varios métodos para calcular la eficiencia de un motor. Ellos tienen diferencias en cuanto al nivel de invasividad y a su incertidumbre. El grado de interferencia que introduce la medición en el funcionamiento normal del proceso se conoce como invasividad. Con el fin de calcular la eficiencia de un motor que está funcionando en una planta, es importante elegir un método con escasa invasividad y usar un instrumento de edición a bajo costo. El método de la potencia de entrada, el método del deslizamiento y el método de las corrientes son los tres procedimientos menos invasivos que más se conocen. Se utilizan estos métodos para deducir el factor de carga, que es la proporción de la potencia nominal a la cual está funcionando el motor con carga. Este último se emplea posteriormente para calcular la eficiencia. El DOE aconseja el método de la potencia de entrada entre los tres, ya que es el que tiene menos incertidumbre. Este método posibilita alcanzar un adecuado equilibrio entre incertidumbre y costo, dado que la disminución de la incertidumbre implica un aumento en el costo de medición.

5.1.23. Cálculo de la eficiencia por el método de potencia de entrada.

Este procedimiento se basa en calcular el factor de carga a partir de la potencia de entrada medida. Este parámetro, calcula la eficiencia a partir de una curva suministrada por el fabricante o interpolada con base en los datos que él proporciona, para diferentes

factores de carga: 0.5 (50%), 0.75 (75%) y 1 (100% o carga nominal). En los motores estándar en funcionamiento, la potencia de entrada se puede calcular mediante mediciones de corriente y tensión, o bien obtenerse de manera directa desde un analizador de potencia. Por ejemplo:

$$Pi = \frac{\sqrt{3} * V * I * FP}{1000}$$

Donde:

Pi = Potencia trifásica medida (KW)

V = Voltaje promedio entre líneas, de las 3 fases (V1, V2, V3), (Volt).

FP = Factor de potencia

- **Fórmula de eficiencia de la bomba**

  La fórmula para calcular la eficacia de la bomba es:

$$\eta = \frac{p \cdot g \cdot Q \cdot H}{P} \times 100$$

Donde:

η es la eficiencia en porcentaje (%)

p es la densidad del fluido (Kg/m3)

g es la aceleración debida a la gravedad (9,81m/s2)

Q es el caudal volumétrico (m3//s)

H es la altura (m)

P es la potencia de entrada (W)

. Densidad del agua de mar (*p)*

El agua de mar con un índice de salinidad del 35 por mil tiene una densidad de 1.0267 kg/l. (1,026.7 Kg/m3)

5.1.23.1. Medición de caudales

Con la autorización de los encargados de la empresa y con el apoyo del personal de mantenimiento se realizaron las medidas de los caudales de cada una de las bombas, obteniendo los siguientes resultados, para un diámetro de tubería de 14”

DIAMETRO (PULG) 14

DIAMETRO (MT) 35.56

$$\mathbf{A} = \frac{1}{4}\pi\, d^2 = \frac{1}{4}\pi\,(0.3556)^2 = 0.03161284\,\pi\,(\mathrm{m})^2 \approx 0.0992643176\,(\mathrm{m})^2$$

En el anexo 3 se muestras los resultados de las medidas de caudal de las bombas 5 , 6 y 7.

En la tabla 25 se muestras los datos promedios medidos en cada bomba

Tabla 25

Valor promedio de caudales

BOMBA	CAUDAL GPM
5	8834.97
6	8839.22
7	8825.96
PROMEDIO gpm	8833.39
Promedio m3/s	0.5575

Fuente: Propia

Viendo los hallazgos de las evaluaciones de caudales, se puede observar que las tres bombas arrojan casi los mismos caudales, por lo que al calcular la eficiencia estas serán parecidas.

Remplazando valores en la ecuación

$$\eta = \frac{p \cdot g \cdot Q \cdot H}{P} \times 100$$

η = 1.0267 x 9.81 x 0.5575 x 27.4 x 100/184

η = 83.6

5.1.23.2. Valores de la potencia eléctrica de toma de la línea

Se realizaron las medidas de la potencia eléctrica en los tres motores, con un Dinamómetro, arrojando un valor promedio de 220 Kw, como se muestra en las tablas del anexo 4

Fórmula de cálculo de voltios trifásicos de CA a kilovatios

La potencia *P* en kilovatios (kW) es igual a la raíz cuadrada de 3 veces el factor de potencia *PF* multiplicado por la corriente *I* en amperios (A), multiplicado por el voltaje RMS de línea a línea $V_{L\text{-}L}$ en voltios (V) dividido por 1000:

$$P_{(\mathrm{kW})} = \sqrt{3} \times PF \times I_{(\mathrm{A})} \times V_{\mathrm{L\text{-}L\,(V)}} / 1000$$

$$\approx 1.732 \times FP \times I_{(\mathrm{A})} \times V_{\mathrm{L\text{-}L\,(V)}} / 1000$$

Tabla 26

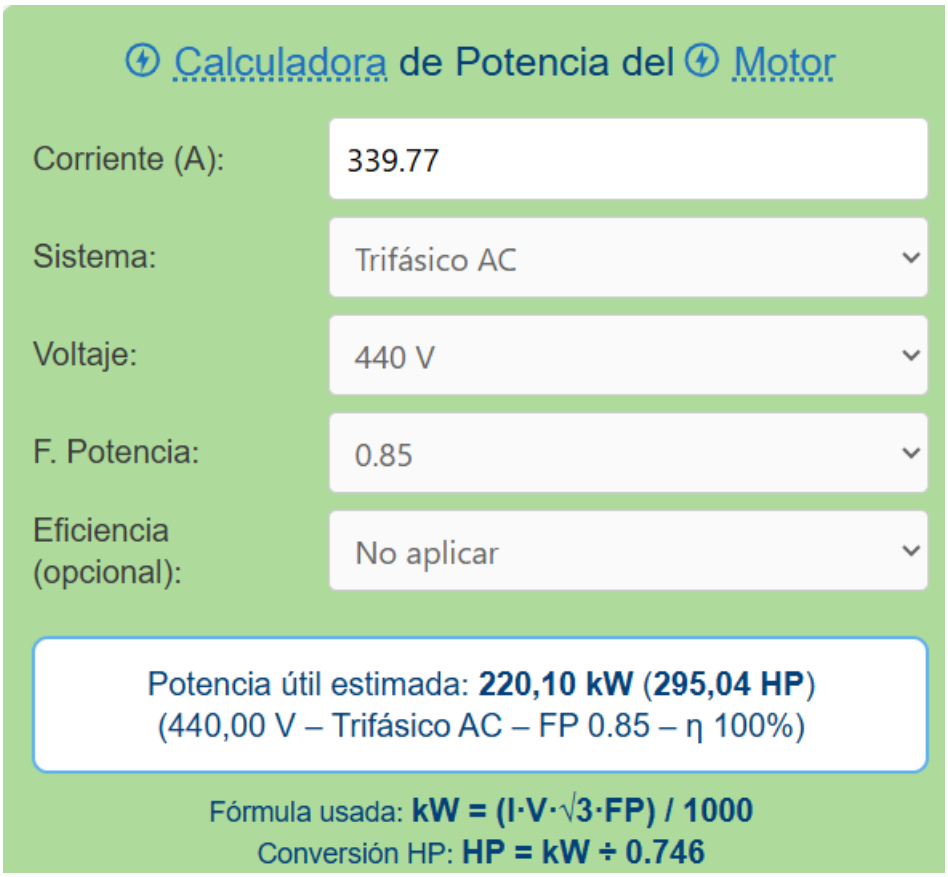
Cálculo del amperaje



Para la obtención del valor del amperaje se utilizó Calculadora del amperaje de un motor trifásico de Kenneth Alambra

Tabla 27

Cálculo de la potencia eléctrica



Para el cálculo de la potencia eléctrica se utilizó la calculadora de Calculatorsconversion. com

Valor promedio Potencia eléctrica (Pe) = 220 KW

Potencia mecánica (Pm) = 250 x 0.736 = 184 KW

Eficiencia (E1) = (Pm/Pe) x100

Eficiencia (E1) = (184/220.1 x 100

Eficiencia (E1) = 83.59 %

Pérdidas = 220.1 – 184 = 36.1 KW

5.1.23.3. Cálculo de la potencia ahorrada

Al optar por motores de alta eficiencia, se disminuyen las pérdidas energéticas y los gastos de explotación, por lo que se toma la decisión de reemplazar los motores por otros de mayor eficiencia, se realizó cotizaciones de motores de alta eficiencia de la misma marca, ofreciendo como eficiencia 95.8% (Ver anexo 5). Con este valor podemos calcular la Potencia Ahorrada (PA) con la siguiente fórmula:

PA(KW) = 0.736 x Pm x ((100/E1 – 100/E2)

Donde:

Pm = Potencia mecánica = 250 HP = 184 KW

0.736 = factor de conversión de HP a Kw

E1 = Eficiencia motor actual = 83.63

E2 = Eficiencia motor rendimiento mayor = 95.8

PA(KW) = 0.736 x 100 (100/83.63 – 100/95.8)

PA(KW) = 11.17984 KW

Tiempo de trabajo promedia anual (Ta) = 7500 hrs

Energía ahorrada anualmente (AE)

AE = PA x Ta

AE = 11.17984 x 7500

AE = 83,848.8 KWH/año (1 motor

AE = 251,546.4 KWh (3 motores)

Costo de tarifa al 31 de julio del 2025 (CT) = $ 0.08732 KWH

Costo tarifa en S/. = 0.3133 S/. / Kwh

Ahorro anual (S/) = AE x CT

Ahorro Anual (S/.) = 83,848.8 x 0.3133

Ahorro Anual (S/.) = 26,269.8 por un motor

Para los tres motores 2 en funcionamiento y 1 en reserva el ahorro de energía total es :

Ahorro de energía total (AEt) (S/.) = 78,809.4

5.1.24. Análisis económico

Si bien la instalación de motores de alta eficiencia es más cara al principio, a medio plazo resulta ser más rentable. Por lo tanto, es esencial establecer un criterio de análisis económico que sea eficaz y persuasivo para administrar todas las variables dentro de un sistema económico. A fin de lograr esto, se implementará un método de descuento que nos permitirá tener un amplio margen de precisión.

5.1.24.1.1. Gastos de instalación y mantenimiento.

En este estudio, se toma en cuenta que los gastos de instalación y mantenimiento son cero debido a que se trata de reemplazos y los programas de mantenimiento para ambas alternativas son iguales.

5.1.24.1.2. Inversión inicial.

El importe del motor nuevo, o la diferencia comparativa entre un motor de eficiencia común y otro de eficiencia optimizada (en el caso de los motores que están sobre dimensionados) constituyen la inversión inicial. También se incluye el costo del transporte (2%) y el valor de los impuestos (18% IGV). No se tomarán en cuenta los intereses, pues se estima que, si se aprueba la adquisición de los motores, esta se hará con

dinero propio de la compañía. En la tabla se detalla el precio del motor nuevo en función de la cotización que se ha conseguido. (Ver anexo 5).

Tabla 28

Inversión inicial para un motor de alta eficiencia

DESCRIPCIÓN	MONTO $
Valor motor nuevo alta eficiencia	14,450
I.G.V. (18%)	2,601
Costo transporte (2%)	340.00
Total Costo Inversión	17,391
Total Inversión S/. (t/c al 31 de Julio 2025) (3.588)	62,399

Fuente: Propia

Como son tres motores a sustituir, el costo total de inversión de los tres motores (Cti) es:

(Cti) (S/.) = 187,197.00

5.1.24.1.3. Gastos de instalación y mantenimiento

Los costes de instalación y mantenimiento se valoran en cero, porque al efectuar cambios de equipos, los programas de mantenimiento ya cubren esos gastos.

5.1.24.1.4. Descuento por Depreciación Incremental (Dep)

Este valor se sustrae de los ahorros logrados en energía porque el valor del motor se reduce cada año, lo cual está descrito por la ecuación siguiente:

Dep = Ii / T

Donde:

Ii = Inversión Inicial

T = Vida útil de motor (en años)

De acuerdo con el fabricante de los motores cotizados, la longevidad de estos motores es de 30 años en condiciones normales de operación y temperatura ambiente, así como una adecuada coordinación de las protecciones y accionamientos. (Ver anexo 5 cotización de motor)

Dep (S/. / año) = 62,399 / 30 (un motor)

Dep (S/. / año) = 187,197 / 30 (3 motores)

Dep (S/. / año) = 6,239.9 = 6,240 (3 motores)

5.1.24.1.5. Valor presente neto (VAN)

La suma del flujo de efectivo descontado con el valor presente neto del año anterior dará como resultado el VPN neto actual al final de cada año. Para el primer año, se tiene en cuenta un VPN negativo, que equivale a la inversión inicial y recibe el nombre de "año cero". En los años siguientes se implementan las reducciones de precio y las correcciones por inflación.

El valor actual neto (VAN), también llamado por su acrónimo en inglés NPV o como valor presente neto, es la cantidad que se logra al sustraer de los flujos de caja venideros la suma invertida al principio para producirlos.

En términos generales, el valor de un flujo de dinero que se recibirá en el futuro es inferior al valor del mismo flujo de dinero hoy. La discrepancia se debe a que el dinero presente puede ser invertido sin demora a fin de generar beneficios, pero el dinero futuro no. Es por lo que se entiende que es más conveniente recibir hoy $100 en vez de dentro de un año.

Se utiliza una tasa de descuento para que el valor del dinero futuro, en un momento determinado, sea igual al valor actual. Esto posibilita el cálculo del valor actual de una suma de dinero. Cuando se emplea en sentido inverso para determinar el valor futuro de una suma presente, esta tasa de descuento recibe el nombre de tasa de interés. La relación entre el valor presente (VP) y el valor futuro (VF) la establece la fórmula siguiente:

$$\mathrm{VP} = \frac{\mathrm{VF}}{(1+r)^t}$$

En esta fórmula, tt representa el número de intervalos entre las dos cifras y r es la tasa de descuento analizada. Si t se da en años, r corresponderá a la tasa de descuento que se aplica anualmente.

Como tenemos acceso a los flujos de caja de años posteriores, podemos emplear la fórmula previa para calcular el valor presente de un conjunto de flujos de caja.

La misma expresión puede describirse como el sumatorio para un número n de años, de la siguiente manera:

$$\mathrm{VP}_{\mathrm{CF}} = \sum_{t=1}^{n} \frac{\mathrm{CF}_t}{(1+r)^t}$$

Al final, el valor actual neto (VAN) resulta de deducir el capital inicial (I_0) de esos flujos monetarios. En otras palabras,

$$\mathrm{VAN} = \sum_{t=1}^{n} \frac{\mathrm{CF}_t}{(1+r)^t} - I_0$$

El VAN es un mecanismo que resulta beneficiosa para decidir sobre la posibilidad de llevar a cabo inversiones futuras. Un valor actual neto positivo sugiere que la inversión inicial I0 produciría un valor, por lo que es prudente aprobar la inversión. Un VAN negativo sugiere que la inversión está destruyendo valor y, de acuerdo con este criterio, debería ser rechazada; por otro lado, un VAN igual a cero significa que la inversión no crea ni destruye valor.

5.1.24.1.6. Tiempo de retorno de la inversión TRI

Representa la cantidad de años que se tarda en recuperar la inversión inicial, que se determina de la forma siguiente:

TRI = Ii / Ah

Es el resultado de dividir la inversión inicial por el ahorro anual.

La TIR, en términos técnicos, es la tasa de descuento que permite equiparar el valor presente de los flujos monetarios futuros a la inversión inicial.

Además, el valor de la TIR se considera al tomar decisiones sobre inversiones futuras. En términos generales, si la TIR es mayor que la tasa de descuento rr que se ha asumido para el proyecto, esto sugiere que el proyecto debe ser aprobado. Por otro lado, si la tasa interna de retorno (TIR) es más baja que la tasa de descuento, el proyecto debería ser rechazado.

Para el cálculo del Van y el TRI, usaremos el valor de ahorro (Va) como la diferencia entre el costo ahorro total por año menos la depreciación por año

(Va) (S/.) = 78,809.4 – 6,240

(Va) (S/.) = 72,569.4

Tabla 29

Tabla de cálculo del VPN y TRI

MOTOR HP 250	AÑO	KW/H AHORRADO	COSTO AHORRO S/.	DEPRECIACIÓN S/.	COSTO TOTAL INVERSIÓN 3 MOTORE S/.	VAN	TRI
	0	251 546.40	78,809.4	6 240.00	-187 197.00		
	1	251 546.40	78,809.4	6 240.00		-114626.6	-61.23
	2	251 546.40	78,809.4	6 240.00		-42056.2	-15.4
	3	251 546.40	78,809.4	6 240.00		30514	7.948
	4	251 546.40	78,809.4	6 240.00		103084	20.18
	5	251 546.40	78,809.4	6 240.00		175655	27.06
	6	251 546.40	78,809.4	6 240.00		248225	31.14
	7	251 546.40	78,809.4	6 240.00		320795	33.68
	8	251 546.40	78,809.4	6 240.00		393365	35.31
	9	251 546.40	78,809.4	6 240.00		465935	36.39
	10	251 546.40	78,809.4	6 240.00		538506	37.11
	11	251 546.40	78,809.4	6 240.00		611076	37.61
	12	251 546.40	78,809.4	6 240.00		683646	37.95
	13	251 546.40	78,809.4	6 240.00		756217	38.18
	14	251 546.40	78,809.4	6 240.00		828787	38.35
	15	251 546.40	78,809.4	6 240.00		901358	38.47
	16	251 546.40	78,809.4	6 240.00		973928	38.55
	17	251 546.40	78,809.4	6 240.00		1046497	38.61
	18	251 546.40	78,809.4	6 240.00		1119068	38.65
	19	251 546.40	78,809.4	6 240.00		1191638	38.69
	20	251 546.40	78,809.4	6 240.00		1264209	38.71
	21	251 546.40	78,809.4	6 240.00		1336779	38.72
	22	251 546.40	78,809.4	6 240.00		1409349	38.74
	23	251 546.40	78,809.4	6 240.00		1481920	38.75
	24	251 546.40	78,809.4	6 240.00		1554490	38.752
	25	251 546.40	78,809.4	6 240.00		1627061	38.756
	26	251 546.40	78,809.4	6 240.00		1690630	38.759
	27	251 546.40	78,809.4	6 240.00		1772201	38.761
	28	251 546.40	78,809.4	6 240.00		1844772	38.763
	29	251 546.40	78,809.4	6 240.00		1917342	38.764
	30	251 546.40	78,809.4	6 240.00		1989912	38765

Fuente: Propia

Para la ejecución de esta tabla se usa la Calculadora de VAN y TRI de Calcuvio

5.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS

. 1. Resultando el valor de criticidad 63, valor medio, se deben de tomar acciones para prevenir y disminuir estas fallas por lo que se recomienda un mantenimiento predictivo.

2. Después de realizar el análisis, se determinaron las medidas preventivas o predictivas de mantenimiento para aquellos modos de falla con un NPR alto, conforme al diagrama de decisiones del RCM.

3. Sobre las advertencias cualitativas podemos exponer que :

. Niveles de ruido. La presencia de ruidos sugiere cavitación excesiva, desgaste y posibles daños en los componentes internos.

. Fugas externas. Señalan el deterioro de las juntas o los retenes, lo cual tiene el potencial de causar contaminación y agravar los daños en el sistema.

. Temperatura de funcionamiento elevada. Podría ser un indicio de incremento de la fricción interna, deterioro del fluido o refrigeración deficiente, lo que podría acelerar el desgaste de la bomba.

. Fluctuaciones irregulares de la presión. Cuando se presentan lecturas de presión inestables o caídas frecuentes, puede ser señal de que los componentes internos están deteriorados o que existen problemas con el control.

. Disminución del caudal. Una disminución significativa del caudal del sistema, incluso en condiciones de entrada apropiadas, indica que ha habido una reducción de la capacidad de la bomba.

Mayor consumo de energía. Un mayor consumo de energía para la misma potencia puede indicar una disminución de la eficiencia mecánica.

. De acuerdo con el estado actual de los motores que se investigaron, se descubrió que, en todos los casos, la eficiencia era extremadamente baja porque estos motores han

sobrepasado su vida útil y han tenido un número importante de mantenimientos, reparaciones y rebobinaciones bajo condiciones operativas extremas. Esto implica que el reducción del consumo de energía potencial es significativamente elevado y que el periodo para recuperar la inversión es breve.

. El costo de operación de la mayoría de los motores eléctricos industriales, es decir, la energía total consumida, supera por mucho el costo global del ciclo de vida de la mayoría de los motores, ya que los motores eléctricos consumen aproximadamente 70% del uso total de la electricidad industrial, por tanto, presentan atractivas oportunidades para ahorrar una enorme cantidad de energía eléctrica de forma rentable (United for efficiency 2017).

. Con respecto a la afirmación de la hipótesis específica (a) sobre la evaluación de las bombas existentes se demuestra que los valores de la criticidad 63 y el valor del NPR 168, confirman que realizando la sustitución de los motores y el establecimiento de un buen programa de mantenimiento se mejorará la uso eficiente de la energía en la planta industrial.

. Con respecto a la afirmación de la hipótesis específica (b), con la evaluación de los parámetros hidráulicos de las bombas, caudal, presión, consumo eléctrico, etc, y realizando la sustitución de los motores, se obtendrá una mejor eficiencia.

. Con respecto a la hipótesis específica © con la evaluación de los caudales se confirman, obteniéndose valores bajo sobre el caudal requerido de 9000 gpm, que es necesario realizar una sustitución de motores , para mejorar la eficiencia y disminuir el consumo de energía eléctrica, obteniendo un ahorro justificable.

. Con respecto a la hipótesis (d), la instalación de nuevos accesorios hidráulicos, multímetros, sensores de flujo, calibradores de presión, etc, se mejora, la supervisión,

mantenimiento, y la uso eficiente de la energía en la central. Realizar limpieza química a las tuberías, llevar un buen control de los valores, para tomar soluciones preventivas.

. La interpretación del resultado del VAN es la siguiente:

– Si el VAN es mayor a cero, significa que el proyecto generará un retorno positivo y se considera rentable.

– Si el VAN es menor a cero, el proyecto no generará suficientes ingresos para cubrir los costos y se considera no rentable.

– Si el VAN es cero, el proyecto no produce pérdidas ni ganancias adicionales; por eso, desde la perspectiva financiera, se le considera neutro.

De los resultados obtenidos del cálculo del VAN y TRI los valores al tercer año se tornan positivo por lo que la sustitución de los motores se hace rentables.

. El TIR también contribuye a la evaluación del riesgo vinculado a una inversión. La rentabilidad esperada crecerá a medida que la TIR sea más alta, pero el riesgo que se asuma también aumentará. Antes de decidir, es preciso examinar cuidadosamente el vínculo entre riesgo y rentabilidad.

VI. DISCUSIÓN

VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. CONCLUSIONES

. Varios autores como (De Almeida, Ferreira, & Duarte, 2014), (de León García Gabriel, Gómez Sarduy Julio R., & Viego Felipe Percy R., 2019), (Singh, Anil Kumar, & Naikan, 2019) y (Torregrossa & Capitanescu, 2019) Coinciden en que la producción de gases de efecto invernadero (GEI) equivalentes al CO2 está vinculada con el ahorro en el uso de energía. Por lo tanto, se puede concluir que cualquier ahorro de energía podría

ser un aporte significativo a la problemática actual del calentamiento global. Así, una gestión apropiada y eficaz de los fuentes de energíatendría un rol relevante en la lucha contra el calentamiento global en los años futuros, convirtiéndose en un asunto prioritario para la ingeniería, con el objetivo de encontrar un balance entre la producción y la sostenibilidad ambiental.

. Por lo tanto, es crucial encontrar métodos que sean sencillos de poner en práctica y que contribuyan a optimizar la eficiencia de los sistemas de bombeo con el objetivo de que sean negocios sostenibles y se produzcan progresos constantes en la prestación de servicios, apoyando proyectos de inversión a través de incentivos obtenidos por medio del ahorro y mejoras en la eficacia operacional.

. Realizar un análisis energético en una estación de bombeo, fundamentado en la valoración de diversas técnicas que posibiliten disminuir el gasto energético, que haya sido validado con cálculos de las variables hidráulicas y eléctricas disponibles.

. Para asegurar la fiabilidad de los procesos relacionados con motores eléctricos, es necesario modificar la filosofía de mantenimiento. Este cambio se centraría principalmente en establecer evaluaciones del rendimiento y mantenimientos preventivos, pues se ha comprobado que resulta más rentable utilizar al máximo la vida útil del motor y adquirir un reemplazo que invertir en reparaciones y mantenimientos programados.

. La evaluación económica es altamente favorable para reemplazar motores estándar que están en funcionamiento constante, incluidos los motores que han sido rebobinados. Los elementos que más influyen en el rendimiento de un motor son: la degradación del motor debido al rebobinado y el factor de carga. Los costos de sustitución, la tarifa energética, las horas de operación y el incremento de eficiencia son los factores que más impactan en la evaluación económica.

. La vigilancia periódica del estado de las bombas, la cual comprende el análisis de vibraciones, el análisis del aceite y los termogramas, puede ser útil para identificar problemas de advertencias cualitativas en una etapa temprana. Esto posibilita programar el mantenimiento o la sustitución antes de que ocurra un daño catastrófico.

. Por lo general, los motores de alta eficiencia cuestan entre un 15% a un 30% más que los motores estándares, pero, el costo de adquisición de los motores depende de las especificaciones de los fabricantes y de la competencia del mercado (Corino y Romero, 2008). A menudo es posible obtener una prima al comprar una gran cantidad de motores eficientes. La prima por caballo de potencia es menor para los motores de gran potencia. La figura 25 muestra las diferencias Precio-Tamaño para un motor de alta eficiencia y un motor de eficiencia estándar semejantes (Corino y Romero, 2008).

. Se debe tener en cuenta al momento de adquirir un motor, que entre mayor eficiencia presente ahorrará mayor cantidad energía, así cueste más que otro similar de menor eficiencia, por tanto, no solo importa el precio del motor, sino también el costo de la energía eléctrica durante su uso, ay que en la evaluación económica se debe tomar en cuenta la eficiencia y el costo total a lo largo de la vida del motor, dejando de lado la idea de elegir solo el motor más barato.

. Para concluir, el cálculo de la TIR y del VAN son instrumentos esenciales para analizar proyectos de inversión en el contexto empresarial. Al estimar el valor actualizado neto de los flujos de efectivo previstos, el VAN nos posibilita determinar si un proyecto es rentable o no. Por otra parte, la TIR proporciona el porcentaje de rentabilidad obtenido en relación con la inversión inicial del proyecto. Ambos indicadores nos asisten para la toma de decisiones fundamentadas y para valorar qué alternativas de inversión son viables y rentables. Dado que el VAN y la TIR pueden ofrecer resultados opuestos en algunas situaciones, es relevante considerar ambos juntos. En conclusión, para todo profesional

que quiera tomar decisiones correctas y optimizar las ganancias en el ámbito empresarial, es esencial tener dominio de estas herramientas de análisis financiero.

. A pesar de que los dos indicadores calculan la rentabilidad de un proyecto, cada uno proporciona información diferente. La tasa interna de retorno (TIR) nos señala el rendimiento que se prevé alcanzar, en tanto que el valor actual neto (VAN) nos presenta el valor presente de los flujos de caja. En realidad, se aconseja emplear los dos indicadores para tomar decisiones de inversión más acertadas. En ciertas ocasiones, un proyecto puede presentar un VAN bajo a pesar de poseer una TIR alta. Esto puede suceder si la inversión inicial es excesivamente elevada o si los flujos de caja se producen durante un largo período. En otras situaciones, un proyecto puede tener un VAN elevado pero una TIR baja. Esto puede ocurrir si la inversión inicial es baja o si los flujos de caja se generan en un período corto.

Obteniendo los valores del VAN positivo al tercer año, podemos concluir que la inversión por la sustitución de los tres motores de 250 HP, es positivo en el ahorro de energía y rentable.

7.2. RECOMENDACIONES

RECOMENDACIONES PARA MEJORAR LA EFICIENCIA DE LAS BOMBAS ANALIZADAS Y DISMINUIR EL CONSUMO DE ENERGÍA

. Una gestión eficiente de motores en el sector industrial consiste en llevar a cabo un mantenimiento predictivo apropiado. Esto tiene como objetivo optimizar su funcionamiento y extender su vida útil, lo que permite aumentar su eficiencia y reducir al mínimo el consumo de energía activa y reactiva, disminuyendo así los costos de la factura.

. Las operaciones de la fábrica, si se interrumpen, pueden tener serias consecuencias, como el aumento de costos, el daño a la reputación y un crecimiento lento. La puesta en marcha eficaz de un programa de mantenimiento enfocado en la fiabilidad impide que ocurran costosos cortes en la producción general, lo cual produce varios beneficios significativos, como una reducción en el impacto medioambiental, una mayor fiabilidad y tiempo de actividad del equipo y menores gastos de mantenimiento.

. Para la optimización en el funcionamiento de los equipos especialmente las bombas peerless, se aconseja a la compañía llevar a cabo un análisis para adaptar el mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), que es un proceso mediante el cual las empresas determinan los activos físicos (como herramientas o máquinas, por ejemplo) requeridos para fabricar sus productos y elaborar una estrategia integral para mantenerlos operando a su máximo rendimiento.

. Se debe asignar personal profesional para supervisar la calidad de mantenimiento de los componentes clave que afectan la eficiencia de la bomba de agua, como el impulsor, el cuerpo de la bomba, la cubierta de la bomba y el deflector (bomba de eje largo vertical), controlando especialmente la forma del ala y la salida. ángulo, indexación de las palas, forma del canal de flujo y suavidad del impulsor, para que el producto entregado sea un producto eficiente en las condiciones de producción actuales.

. Con respecto a las advertencias cualitativas, el uso de una estrategia de mantenimiento predictivo basada en estos indicadores tiene la capacidad de mejorar la duración de las bombas, reducir los periodos inesperados de inactividad y asegurar que los sistemas hidráulicos funcionen con seguridad y eficiencia.

. Durante el proceso de instalación y depuración en el sitio de producción, es necesario garantizar que la base de la bomba sea sólida, esté bien alineada con la máquina impulsora, interruptores de válvulas delanteras y traseras flexibles, un diseño razonable

del diseño de la tubería, un encendido seguro y factible. control del sitio, instrumentos de monitoreo de operación completos y precisos y garantizar la vigilancia continua y al instante del ciclo operativo de la bomba.

. Durante el funcionamiento prolongado de la bomba de agua de mar, se debe prestar atención a la verificación puntual del equipo y cualquier situación anormal se debe informar de inmediato. Durante el ciclo normal de reparación menor y reparación mayor, todas las piezas vulnerables deben inspeccionarse y reemplazarse a fin de asegurar un desempeño eficiente y sin riesgos a largo plazo de la bomba.

. Algunas otras medidas que podrían implementarse para optimizar el uso de la energía son las siguientes:

- Perfeccionamiento del mantenimiento del sistema:

- Para reducir las pérdidas hidráulicas, reparar filtraciones, juntas que estén deterioradas y grietas en la carcasa de la bomba.

- Suprimir las incrustaciones en los elementos como los filtros o intercambiadores de calor.

- Suprimir sedimentos o incrustaciones en las cañerías.

• Suprimir aplicaciones innecesarias:

- Apagar las bombas que no son necesarias mediante interruptores de presión.

- Aislar las vías de flujo a equipos que no sean necesarios o estén fuera de operación.

• Sincronizar la demanda en cada instante con el punto de trabajo de la bomba:

- Modificar o cambiar los impulsores para que la salida de la bomba cumpla con las exigencias del sistema.

• Obtener los requisitos del flujo variable que ocurren en el sistema sin emplear válvulas o desvíos.

- Reemplazar las bombas por una versión más eficaz con un desempeño superior.
- Avance de los componentes de instrumentación, como los sensores de presión, temperatura y caudalímetros, entre otros, y de los sistemas de control con el fin de aumentar el nivel de automatización en la central.
- Reemplazar o suprimir equipos de gran antigüedad o anticuados por otros más eficaces y contemporáneos.
- Reducir el factor de sobredimensionamiento de bombas y motores, adaptándolo a las demandas del proceso.
- Implementar un programa de mantenimiento correctivo y predictivo en el sistema eléctrico de la central.
- Auditoría de la energía en la central y establecimiento de un sistema para gestionar la energía.

. Es importante educar a las industrias, al comercio y a la gente en general sobre que invertir en ahorro y en un uso eficaz de la energía no solo es rentable, sino que, además, al adoptar esta mentalidad, estamos protegiendo nuestros recursos para futuras generaciones y disminuyendo el impacto ambiental causado por los procesos de producción energética.

. A causa de la inquietud que ha generado el asunto del calentamiento global, las compañías que disminuyan las emisiones de CO_2 al aire recibirán una compensación por cada tonelada de gas reducida mensualmente; esto es relevante para considerar cuando se evalúe la ejecución del proyecto.

. Es necesario revisar los procedimientos, tanto en la metodología de operación como en los requisitos mecánicos de todas las máquinas vinculadas a los procesos productivos. Esto se debe a que los niveles de producción han disminuido con el paso del tiempo sin cambios que hagan más eficaces dichos procesos. Por el contrario, las tácticas

de mantenimiento y reparación siempre se han centrado en "no dejar de producir", sustituyendo equipos grandes por otros sin considerar consumos y eficiencias.

. Asimismo, es necesario fomentar en el sector industrial la conciencia sobre el uso de motores de alta eficiencia como una medida para reducir el consumo eléctrico. En esa línea, conviene promover este tipo de iniciativas y extenderlas a otras industrias, con el propósito de comprobar que representan una opción técnica y económicamente viable.

. Los procedimientos de degradación por corrosión en el medio marino tienen un impacto negativo sobre las estructuras y los equipos que se emplean en la industria energética. Es esencial saber cómo se degradan las infraestructuras, cuáles son los factores que influyen en ello y tomar las medidas preventivas adecuadas para asegurar la durabilidad y la integridad de estas. El progreso en recubrimientos, materiales, técnicas de monitoreo y protección catódica sigue fomentando la prevención de este proceso de degradación; así se garantiza la eficacia, la seguridad y la sostenibilidad de las operaciones en variados sectores industriales.

. "Tratar la corrosión" es uno de los desafíos más grandes a los que se enfrentan las bombas de agua de mar. La corrosión deteriora las partes esenciales de una bomba, lo cual tiene un impacto en su duración. La corrosión tiene el potencial de afectar no solo la durabilidad de las bombas, sino también su eficiencia operacional. Por lo tanto, es esencial prevenir la corrosión de las bombas que utilizan agua marina. Si no se controla, la corrosión puede generar costos elevados que consumen las ganancias.

. Elegir correctamente la potencia del motor que se tomara como reemplazo. En el mercado existen motores de lata eficiencia.

. Elegir el motor en función de su ciclo operativo. Lo que se requiere es un motor para servicio continuo.

. Elegir la estructura del motor, en función del entorno en el que va a funcionar, para nuestro caso se recomiendan motores cerrados.

. Utilizar motores de trifásicos.

. Reemplazar los motores viejos o de uso frecuente. Si los motores son viejos o han perdido su capacidad operativa debido al uso, el costo de mantenimiento y operación puede ser un motivo para reemplazarlos por motores normalizados de alto rendimiento.

. Realizar adecuadamente el ensamblaje de los motores y su carga, así como la instalación eléctrica. Para velar por el óptimo funcionamiento de los equipos, es imprescindible consultar las Normas Técnicas de Instalaciones Eléctricas en su apartado correspondiente a motores, así como las sugerencias de los fabricantes.

. No agrupar motores en espacios reducidos o en sitios que obstaculicen su ventilación. Cuando el motor se recalienta, su eficiencia disminuye.

. Reparar la disminución de tensión en los alimentadores. Una baja tensión en las terminales del motor provoca, entre otras cosas, un aumento de la corriente, un exceso de calor y una reducción de su eficacia. Las regulaciones permiten que la caída máxima sea del 3% (o del 5% si se trata de la combinación de alimentador y circuito derivado), aunque lo ideal es que no supere el 1%.

. Emplear arrancadores estrella-triángulo o de devanado dividido como opción a los de tensión reducida si la carga que se impulsa no necesita un par elevado al inicio. Aunque son más asequibles y efectivos en términos energéticos, el par de arranque se disminuye considerablemente.

. Basados en los valores del VAN y TRI, se recomienda realizar la sustitución de los tres motores de las bombas peerless, lo que dará una reducción del consumo de energía.

BIBLIOGRAFÍA Y ANEXOS

REFERENCIAS

Acosta Pérez, S. (2023). Plan de Mantenimiento RCM a Equipo Crítico del Área de Refrigeración con Amoniaco en la Empresa Red Cárnica S.A.S. Sede Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander.

Arias (2012). "El Proyecto de Investigación: Introducción a la metodología científica" obra de Fidias G. Arias, arribó en el año 2012 a su 6ª Edición

Baena G. (2017). Metodología de la investigación. Grupo Editorial Patria, 1 ene. 2017 - 156 páginas

Barcenas M. CICLO DE RANKINE (DE VAPOR) - DCB · MARTÍN BÁRCENAS FACULTAD DE INGENIERÍA DIVISIÓN DE CIENCIAS BÁSICAS CICLO DE RANKINE (DE VAPOR) 1 →2 EXPANSIÓN ISENTRÓPICA EN LA TURBINA

https://r.search.yahoo.com/_ylt=AwrheXoV55ZldBILfzh7egx.;_ylu=Y29sbwNiZjEEcG9zAzIEdnRpZAMEc2VjA3Ny/RV=2/RE=1704417174/RO=10/RU=https%3a%2f%2fpdfslide.tips%2fdocuments%2fciclo-de-rankine-de-vapor-brcenas-facultad-de-ingeniera-divisin-de-ciencias.html/RK=2/RS=tToCCd6B.H0zuRnDHmMbkqgabJs-

Bernal (2010). Metodología de la investigación: administración, economía, humanidades y ciencias sociales

Butron C. (2024). Expo Energía Perú 2024, presidente del Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional (COES), junto a autoridades del Ministerio de Energía y Minas (Minem), describió en qué estado se

encuentra el sistema eléctrico peruano y proyectó escenarios probables con una mirada hacia el 2030.

Calculatorsconversion.com › es › calculadora-de-potencia-de-motor-electricoCómo Calcular la Potencia de un Motor Eléctrico

Calcuvio.com › van-tirCalculadora de VAN y TIR | Calcuvio

Calculadora de VAN y TIR Esta calculadora te permite calcular el Valor Actual Neto (VAN) si introduces una tasa de descuento y a parte te permite calcular también automáticamente la tasa

https://r.search.yahoo.com/_ylt=AwrFSXtx3Mpo_wEAjuZ7egx.;_ylu=Y29sbwNiZjEEcG9zAzEEdnRpZAMEc2VjA3Ny/RV=2/RE=1759334770/RO=10/RU=https%3a%2f%2fwww.calcuvio.com%2fvan-tir/RK=2/RS=TfiNbZEhC7P79optckxT0VNenHg-

Connor N. (2020-2-20). ¿Qué es la bomba centrífuga? Definición

De Almeida, Ferreira, & Duarte, 2014. Consideraciones técnicas y económicas sobre motores trifásicos de súper alta eficiencia Marzo de 2014Transacciones IEEE sobre aplicaciones industriales 50(2):1274-1285.

https://r.search.yahoo.com/_ylt=AwrFDbPO4ZhosR8EhBd7egx.;_ylu=Y29sbwNiZjEEcG9zAzEEdnRpZAMEc2VjA3Ny/RV=2/RE=1756059343/RO=10/RU=https%3a%2f%2fwww.researchgate.net%2fpublication%2f260835605_Technical_and_Economical_Considerations_on_Super_High-Efficiency_Three-Phase_Motors/RK=2/RS=OSDZLj_WbenHMQM6Sbfsz5w3ljE-

De León García Gabriel, Gómez Sarduy Julio R., & Viego Felipe Percy R., 2019. Ahorro de energía por sustitución de motores subcargados que accionan cargas de alta inercia Inicio. https://r.search.yahoo.com/_ylt=AwrihMvA4pho_AEAlbt7egx.;_ylu=Y29sbwNiZjEEcG9zAzIEdnRpZAMEc2VjA3Ny/RV=2/RE=1756059585/RO=10/RU=https%3a%2f%2fbiblat.unam.mx%2fes%2frevista%2fcentro-azucar%2farticulo%2fahorro-de-energia-por-sustitucion-de-motores-subcargados-que-accionan-cargas-de-alta-inercia/RK=2/RS=Ob0MShj7X5glJVFdwaUtzPytreQ-

Flowserve Corporation (2004). Pump División

Grundfus Ecademy. Hidráulica básica y rendimiento de bombas. Cálculo de la eficiencia de la bomba.

Hernández, R., Méndez, S. y Mendoza, C. (2014). Capítulo 1. En Metodología de la investigación, página web de Online Learning Center. Consultado en la red mundial el 29 de abril de 2015 https://goo.gl/wDW6Ce

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C. & Baptista, M. P. (2010). Metodología de la investigación (Quinta edición). Ciudad de México: McGraw-Hill.

Hernández Sampier, Roberto. Metodología de la investigación. Editorial Felix Varela. La Habana. 2004.

Hidrostal. (2011). Obtenido de https://es.slideshare.net/mecanicadefluidos/bombas-centrifugas 7934169

Hidrostal. (Abril de 2015). Manual Bomba Turbina Vertical VLT. Hidrostal. Obtenido de http://www.hidrostal.com.pe/pdf/manuales/L2/MANUAL%20LINEA

2%2015%20BOMBA%20TURBINA%20VERTICAL%20VLT%20(03-2015).pdf

Hydraulic Institute ANSI/HI 14.1-14.2. (2019). Rotodynamic Pumps for Nomenclature and Definitions (ANSI/HI 14.1-14.2-2019). Estados Unidos: Hydraulic Institute, Inc.

Hydraulic Institute. (2011). American National Standard For Rotordynamic Pumps - For Hydraulic Performance Tests.

Joao, P. (30 de Agosto de 2017). Sistemas de Compensación. ABB. Obtenido de https://new.abb.com/docs/librariesprovider78/eventos/abb-high-voltage-customer-day 2017/sistemas-de-compensacion-para-l%C3%ADneas-de distribuci%C3%B3n.pdf?sfvrsn=d13f9612_2

Jungen Tritzek. (29-9-2016). Cómo aumentar el uso eficiente de la energía de las bombas: empiece por el sistema

Karassik, I., Messina, J., Cooper, P., & Heald, C. (2006). Pump HandBook: Third Edition. McGRAW-HILL New.

Kenneth Alambra is a civil engineer who specializes in fit-out construction and technical sales engineering. Both of these fields involve problem-solving and creative thinking, which he greatly enjoys. In his free time, he loves improving his critical and innovative thinking by playing chess and solving puzzles. He also likes exploring new things to learn by participating in online crowdsourcing contests or trying out new “IoT” devices. See full profile

Luz del Sur es una de las principales empresas de distribución de energía en el Perú

Mobley, R. K. (2014a). MAINTENANCE VERSUS RELIABILITY ENGINEERING. En R. K. Mobley (Ed.), Maintenance Engineering Handbook (8th Edition).

McGraw-Hill Education. https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9780071826617/chapter/chapter 2

Mobley, R. K. (2014b). PREDICTIVE MAINTENANCE. En R. K. Mobley (Ed.), Maintenance Engineering Handbook (8th Edition). McGraw-Hill Education. https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9780071826617/chapter/chapter 13

Murillo (2012) - El conocimiento científico como práctica social PartesDel.com. Obtenido en fecha 02, 2023. Partes de la bomba centrífuga

Nick Connor (10-01-2020). ¿Qué es el ciclo de Rankine? Ciclo de la turbina de vapor: definición.

Nolan y Ha. (1978) "Reliability Centered Maintenance", F. Stanley Nowlan, et. al., 1978 (Note that the horizontal axis represents time and the vertical axis represents the conditional probability of failure.)

Rogger & Andrade (2018). Gestión Energética de una Estación de Bombeo mediante el uso del Control Estadístico de Procesos. Estudio de Caso: Acueducto "La Esperanza" – Refinería del Pacífico Revista Politécnica, vol. 40, núm. 2, noviembre-enero, 2018, pp. 7-18 Escuela Politécnica Nacional

Singh, G., Anil Kumar, T. C., & Naikan, V. N. A. (2019). Efficiency monitoring as a strategy for cost effective maintenance of induction motors for minimizing carbon emission and energy consumption. Reliability Engineering and System Safety, 184(February 2018), 193–201. https://doi.org/10.1016/j.ress.2018.02.015

Solorzano R. (5-6-2016). Principios de Ingeniería Básica. Bombas Hidráulicas

Torregrossa, D., & Capitanescu, F. (2019). Optimization models to save energy and enlarge the operational life of water pumping systems. Journal of Cleaner Production, 213, 89–98. https://r.search.yahoo.com/_ylt=AwrihYYO5Jho9gEApOJ7egx.;_ylu=Y29sbwNiZjEEcG9zAzEEdnRpZAMEc2VjA3Ny/RV=2/RE=1756059918/RO=10/RU=https%3a%2f%2fwww.sciencedirect.com%2fscience%2farticle%2fpii%2fS0959652620336180/RK=2/RS=dH0yh.REsxESo9vI8efHfS.h1r4

Trianni, A., Cagno, E., & Accordini, D. (2019a). Energy efficiency measures in electric motors systems: A novel classification highlighting specific implications in their adoption. Applied Energy, 252(January). https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113481

Water Online – Kevin Westerling | August 12, 2013. Kevin Westerling Chief Editor, Water Online Municipio de Springfield, Pennsylvania, Estados Unidos

Wikipedia. (13 de enero de 2008). Bomba Centrifuga. Obtenido de https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Centrifugal_Pump_es.jpg

Wikipedia. (05 de septiembre de 2010). Bomba centrífuga. Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Bomba_centr%C3%ADfuga#/media/Archivo:Centrifugal_4.png

Anexo 1

Tabla 30

MATRIZ DE CONSISTENCIA

TITULO

Potenciar el sistema de bombeo y líneas de impulsión para mejorar la eficiencia energética en las bombas de refrigeración de una planta termoeléctrica

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
PRINCIPAL	PRINCIPAL	PRINCIPAL		
¡Cómo potenciar el sistema de bombeo y líneas de impulsión para mejorar la eficiencia energética en las bombas de refrigeración de una planta termoeléctrica?	Potenciar el sistema de bombeo y líneas de impulsión para mejorar la eficiencia energética en las bombas de refrigeración de una planta termoeléctrica.	Con la repotenciación del sistema de bombeo y líneas de impulsión se mejora la eficiencia energética en las bombas de refrigeración de una planta termoeléctrica.	**PRINCIPAL** Eficiencia energética **SECUNDARIA** Potenciar el sistema de bombeo y línea de impulsión	**NIVEL** APLICADA **ENFOQUE** CUANTITATIVO **DISEÑO** NO EXPERIMENTAL

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS
ESPECÍFICOS	ESPECÍFICOS	ESPECÍFICAS
¿Cómo con la evaluación de las bombas pearless existentes se mejorará la eficiencia energética en las bombas de refrigeración de una planta termoeléctrica?	Evaluar las bombas pearless existentes para mejorar la la eficiencia energética en las bombas de refrigeración de una planta termoeléctrica.	Con la evaluación de las bombas pearless existentes si se mejora la eficiencia energética en las bombas de refrigeración de una planta termoeléctrica.
¿Cómo con la determinación de los parámetros hidráulicos de las bombas se mejorará la eficiencia energética en las bombas de refrigeración de una planta termoeléctrica?	Determinar los parámetros hidráulicos de las bombas para mejorar la eficiencia energética en las bombas de refrigeración de una planta termoeléctrica.	Con la determinación de los parámetros hidráulicos de las bombas si se mejora la eficiencia energética en las bombas de refrigeración de una planta termoeléctrica.
¿Cómo con el control de caudales se mejorará la eficiencia energética en las bombas de refrigeración de una planta termoeléctrica?	Controlar los caudales para mejorar la eficiencia energética en las bombas de refrigeración de una planta termoeléctrica.	Con el control de caudale si se mejora la eficiencia energética en las bombas de refrigeración de una planta termoeléctrica.
¿Cómo con la evaluación de los accesorios hidráulicos se mejorará la eficiencia energética en las bombas de refrigeración de una planta termoeléctrica?	Evaluar los accesorios hidráulicos para mejorar la eficiencia energética en las bombas de refrigeración de una planta termoeléctrica.	Con la evaluación de los accesorios hidráulicos si se mejor la eficiencia energética en las bombas de refrigeración de una planta termoeléctrica.

Fuente: Propia

ANEXOS 2

Figura 22

Imágenes de las Bombas en investigación

Bomba 1



Bomba 2



Bomba 3



Bomba 4



Bomba 5



Bomba 6



Bomba 7



ANEXO 3

Tabla 31

Medidas de caudales bomba 5

ITEM	DIA Feb-24	Flujo m/s	Caudal m3/s	Caudal GPM
1	3	5.6124	0.5573	8828.25
2	3	5.6124	0.5573	8843.85
3	4	5.61	0.5571	8829.45
4	5	5.61	0.5571	8824.65
5	6	5.6245	0.5585	8825.85
6	6	5.61	0.5571	8851.05
7	6	5.6076	0.5568	8846.25
8	11	5.6016	0.5562	8819.85
9	11	5.6016	0.5562	8833.05
10	13	5.6124	0.5573	8842.65
11	14	5.6088	0.557	8840.25
12	17	5.616	0.5577	8857.05
13	18	5.6354	0.5596	8863.05
14	21	5.6148	0.5576	8841.45
15	34	5.6088	0.557	8831.85
16	25	5.604	0.5565	8845.05
27	26	5.61	0.5571	8854.65
18	27	5.6136	0.5574	8787.46
19	27	5.61	0.5571	8804.25
20	28	5.6173	0.5578	8829.45
---	**PROMEDIO**	**5.6121**	**0.5573**	**8834.97**

Tabla 32

Medidas de caudales bomba 6

ITEM	DIA Feb-24	Flujo m/s	Caudal m3/s	Caudal GPM
1	3	5.6151	0.5576	8832.51
2	3	5.6151	0.5576	8848.11
3	4	5.6127	0.5574	8833.71
4	5	5.6127	0.5574	8828.91
5	6	5.6272	0.5588	8830.11
6	6	5.6127	0.5574	8855.32
7	6	5.6103	0.5571	8850.51
8	11	5.6043	0.5565	8824.1
9	11	5.6043	0.5565	8837.31
10	13	5.6151	0.5576	8846.91
11	14	5.6115	0.5573	8844.51
12	17	5.6187	0.558	8861.31
13	18	5.6381	0.5599	8867.31
14	21	5.6175	0.5579	8845.71
15	34	5.6115	0.5573	8836.11
16	25	5.6067	0.5568	8849.31
27	26	5.6127	0.5574	8858.91
18	27	5.6163	0.5577	8791.7
19	27	5.6127	0.5574	8808.49
20	28	5.62	0.5581	8833.71
---	**PROMEDIO**	**5.6148**	**0.5576**	**8839.23**

Tabla 33

Medidas de caudales bomba 7

ITEM	DIA Feb-24	Flujo m/s	Caudal m3/s	Caudal GPM
1	3	5.6156	0.5576	8857.17
2	3	5.6156	0.5576	8841.56
3	4	5.6131	0.5574	8834.36
4	5	5.6131	0.5574	8828.36
5	6	5.6276	0.5588	8841.56
6	6	5.6131	0.5574	8842.77
7	6	5.6107	0.5571	8839.17
8	11	5.6047	0.5566	8762.33
9	11	5.6047	0.5566	8746.73
10	13	5.6156	0.5576	8792.35
11	14	5.6119	0.5573	8842.77
12	17	5.6192	0.558	8830.76
13	18	5.6385	0.5599	8859.57
14	21	5.618	0.5579	8846.38
15	34	5.6119	0.5573	8816.36
16	25	5.6071	0.5568	8830.76
27	26	5.6131	0.5574	8840.37
18	27	5.6168	0.5578	8822.36
19	27	5.6131	0.5574	8809.15
20	28	5.6204	0.5581	8833.16
---	**PROMEDIO**	**5.6152**	**0.5576**	**8825.96**

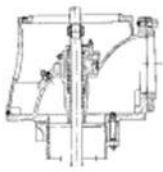
ANEXO 4

Características técnicas de las bombas peerless

VERTICAL TURBINE PUMPS
Discharge Heads

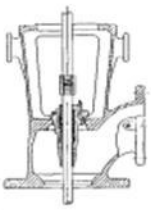
Peerless Pump Company
Indianapolis, IN 46207-7026

Discharge Head and Accessories Information



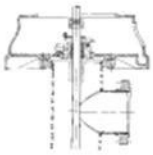
TYPE S and SHP

This is a very stable, low profile cast iron head especially suited for using vertical hollow shaft drivers for both close coupled industrial and deep well pump applications. This line of heads is available with 250-psi discharge flange in the 6-inch and larger sizes.



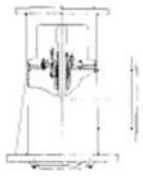
TYPE C and CHP

This is a very versatile line of cast iron heads. These are suited for both vertical hollow shaft and vertical solid shaft drivers. Sizes through 8 inch are available with 250-psi discharge flanges. This line is designed mainly for industrial applications with a setting limitation of 200 feet except for the 4-inch head, which is designed for a 1,000-foot setting. The base of these heads is machined to match ANSI flanges making them particularly suited for can pump applications where the suction is in the can. These heads are considerably less expensive then fabricated heads for can pump applications.



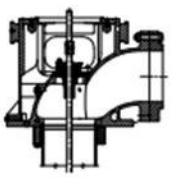
TYPE UG

For these specialized applications requiring below grade discharge we can offer a cast iron base with steel flanged discharge in both threaded and flanged column pipe construction.



TYPE FA, FR and FRA

This line of standardized fabricated steel heads is available with 150-psi discharge flanges for either vertical hollow shaft or vertical solid shaft drives for applications in the industrial markets. The Type FA heads have a conventional square mounting base; the Type FR heads have a circular mounting base and the Type FRA heads have ANSI drilled mounting base for tank or can mounting. These heads are also available in stainless steel construction.



TYPE G & GHP

Our newest line of cast iron discharge heads, primarily made to take over responsibilities of some of our "S" and "C" type heads, are well suited for using vertical hollow shaft drivers for both close coupled industrial and deep well pump applications. This line of heads is available with 250-psi discharge flange in the 6-inch and larger sizes.

Peerless Pump Company
Indianapolis, IN 46207-7026

VERTICAL TURBINE PUMPS

Fabricated Surface Discharge Heads
Type FA & FRA

Type FA Head has square base
Type FRA Head has base to match ANSI Flange

APPLICATION DATA ALL DIMENSIONS ARE IN INCHES UNLESS OTHERWISE NOTED

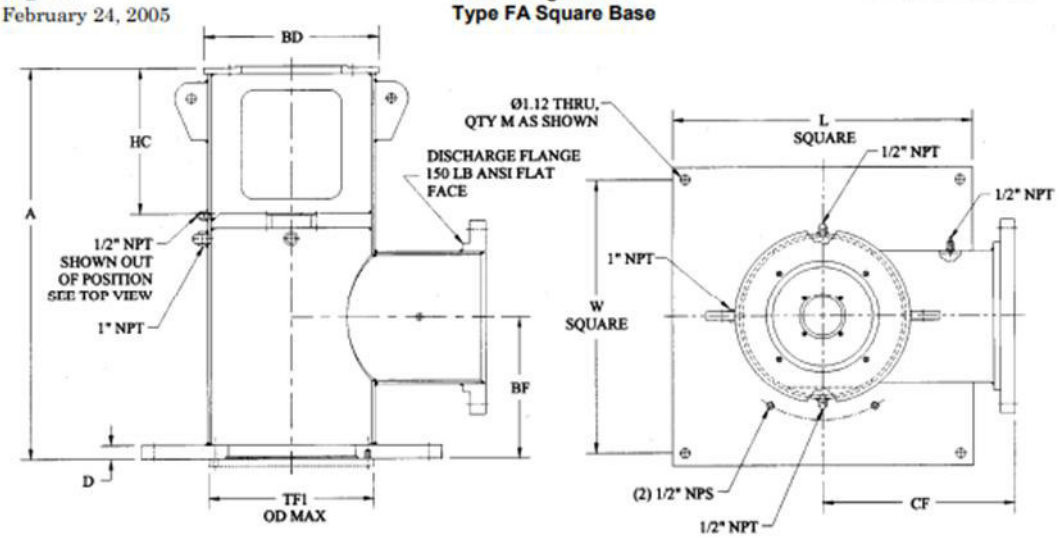
Head Size	Discharge Data		Stuffing Box Register	Column Data					Motor Flange Base Sizes B.D.
				Line Shaft Dia.			Column Pipe Dia.		
				Minimum	Maximum				
	Size - ANSI Flg Rating	Maximum Operating Pressure (Psig)		OLS	OLS	OLS w/Sleeve	Minimum	Maximum	
6x6x12F	6 - 150/300	275	3.88	0.75	1.50	1.00	4	6	10, 12
6x6x16.5F	6 - 150/300	275	5.56	1.00	2.19	1.69	4	6	16.5, 20.0
8x8x12F	8 - 150/300	275	3.88	0.75	1.50	1.00	6	8	10, 12
8x8x16.5F	8 - 150/300	275	5.56	1.00	2.19	1.69	6	8	16.5, 20.0
10x10x16.5F	10 - 150/300	275	5.56	1.00	2.44	1.94	8	10	16.5
10x10x20F	10 - 150/300	275	5.56	1.00	2.44	1.94	8	10	20.0
12x12x16.5F	12 - 150/300	275	5.56	1.00	2.44	1.94	10	12	16.5
12x12x20F	12 - 150/300	275	5.56	1.00	2.44	1.94	10	12	20.0
14x14x20F	14 - 150/300	275	5.56	1.00	2.44	1.94	12	14	20.0
14x14x24.5F	14 - 150/300	275	5.56	1.00	2.44	1.94	12	14	24.5
16x16x20F	16 - 150/300	275	5.56	1.00	2.44	1.94	14	16	20.0
16x16x24.5F	16 - 150/300	275	5.56	1.00	2.44	1.94	14	16	24.5
16x16x30.5F	16 - 150/300	275	8.50	2.19	2.94	2.44	14	16	30.5
18x18x24.5F	18 - 150/300	275	5.56	1.00	2.44	1.94	16	18	24.5
18x18x30.5F	18 - 150/300	275	8.50	2.19	3.19	2.69	16	18	30.5
20x20x24.5F	20 - 150/300	275	5.56	1.00	2.44	1.94	18	20	24.5
20x20x30.5F	20 - 150/300	275	8.50	2.19	3.19	2.69	18	20	30.5
24x24x24.5F	20 - 150/300	275	5.56	1.00	2.44	1.94	20	24	24.5
24x24x30.5F	20 - 150/300	275	8.50	2.19	3.19	2.69	20	24	30.5

Custom sizes are available

SECTION 115
Page 16
February 24, 2005

VERTICAL TURBINE PUMPS
Discharge Heads
Type FA Square Base

Peerless Pump Company
Indianapolis, IN 46207-7026



All dimensions are in inches

300# Flanges are optional

Type FA Fabricated Head Dimensional Data

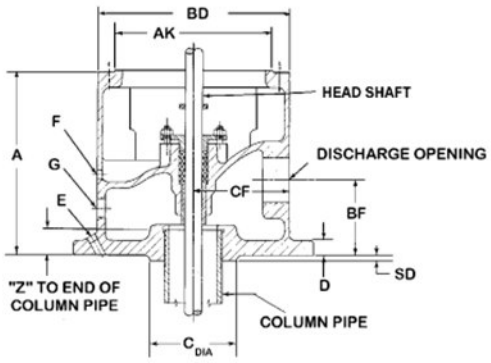
Discharge Head Size Disch x Col x Mtr BD	VHS Discharge Head				VSS Discharge Head				VHS And VSS Discharge Heads			VHS And VSS Base Plates				Column Data	
	VHS Head Part No.	Overall Height	Stand Height	VHS Max Wt. Lb.	VSS Head Part Number	Overall Height	Stand Height	VSS Max Wt. Lb.	Motor	Nozzle Height	Head Width	Base Square	Bolt Hole Square	Hole Qty.	Thick Max	Nominal Column Size	Flange OD Max
		A	HC			A	HC		BD	BF	CF	L	W	M	D		TF1
6X6X12 FA	4605540H	24.25	11.57	283	4605540S	34.50	21.82	306	12.00	7.50	13.00	18.00	15.00	4	1.50	6.00	9.62
6X8X16.5 FA	4605541H	28.25	15.31	376	4605541S	37.82	24.88	450	16.50	7.50	13.00	20.00	17.00	4	1.50	6.00	9.62
8X8X12 FA	4605542H	27.25	11.57	422	4605542S	37.50	21.82	446	12.00	9.50	15.00	22.00	19.00	4	1.75	8.00	12.12
8X8X16.5 FA	4605543H	31.25	15.31	471	4605543S	40.88	24.94	546	16.50	9.50	15.00	22.00	19.00	4	1.75	8.00	12.12
10X10X16.5 FA	4605544H	34.25	15.75	551	4605544S	43.38	24.88	622	16.50	11.00	15.00	24.00	21.00	4	1.75	10.00	14.12
10X10X20 FA	4605545H	34.25	15.75	617	4605545S	45.25	26.75	655	20.00	11.00	15.00	24.00	21.00	4	1.75	10.00	14.12
12X12X16.5 FA	4605546H	36.75	15.75	631	4605546S	45.88	24.88	663	16.50	12.50	16.00	24.00	21.00	4	1.75	12.00	16.25
12X12X20 FA	4605547H	36.75	15.75	776	4605547S	47.75	26.75	814	20.00	12.50	16.00	28.00	25.00	4	1.75	12.00	16.25
14X14X20 FA	4605548H	37.88	15.76	889	44605548S	48.88	26.76	927	20.00	13.00	19.00	30.00	27.00	4	1.75	14.00	18.31
14X14X24.5 FA	4605549H	37.88	15.76	980	4605549S	53.75	31.63	1163	24.50	13.00	19.00	30.00	27.00	4	1.75	14.00	18.31
16X16X20 FA	4605550H	40.88	15.76	945	4605550S	51.88	26.76	984	20.00	15.00	20.00	30.00	27.00	4	1.75	16.00	20.31
16X16X24.5 FA	4605551H	40.88	15.76	1031	4605551S	56.88	31.76	1219	24.50	15.00	20.00	30.00	27.00	4	1.75	16.00	20.31
16X16X30.5 FA	4605552H	42.00	16.38	1501	4605552S	58.63	33.01	1618	30.50	15.00	23.00	36.00	33.00	12	1.75	16.00	20.31
18X18X24.5 FA	4605553H	41.88	15.76	1350	4605553S	57.88	31.76	1543	24.50	15.00	23.00	36.00	33.00	12	2.00	18.00	23.31
18X18X30.5 FA	4605554H	43.00	16.38	1609	4605554S	59.63	33.01	1725	30.50	15.00	23.00	36.00	33.00	12	2.00	18.00	23.31
20X20X24.5 FA	4605555H	45.00	15.88	1452	4605555S	60.88	31.76	1544	24.50	17.00	23.00	36.00	33.00	12	1.75	20.00	25.31
20X20X30.5 FA	4605556H	46.00	16.38	1671	4605556S	62.63	33.01	1787	30.50	17.00	23.00	36.00	33.00	12	2.00	20.00	25.31
24X24X24.5 FA	4605557H	49.00	15.88	2031	4605557S	64.88	31.76	2142	24.50	19.00	26.00	42.00	39.00	12	2.00	24.00	29.69
24X24X30.5 FA	4605558H	50.00	16.38	2101	4605558S	66.63	33.01	2252	30.50	19.00	26.00	42.00	39.00	12	2.00	24.00	29.69

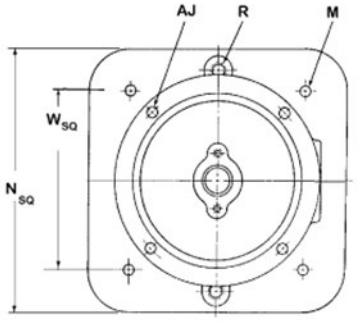
Subject to change without notice

Drawing No. 4854230
Rev. 02-05

Vertical Turbine Pumps
Cast Iron Surface Discharge
Heads Treaded Type S Open Line
Shaft Construction Only

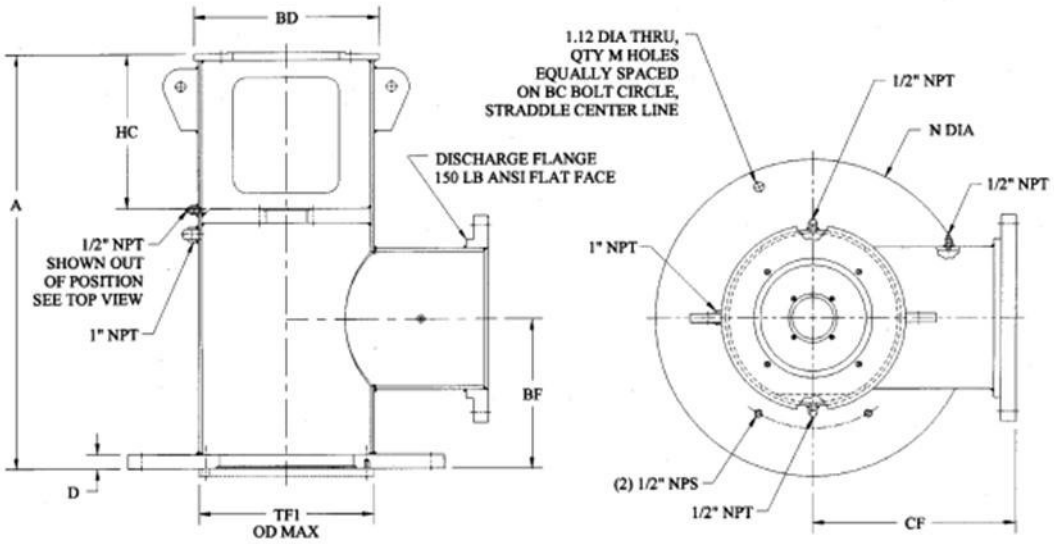
Peerless Pump Company
Indianapolis, IN 46207-7026





HEAD SIZE & TYPE	NOTE	BF	CF	A	D	Z	DISCHARGE SIZE	BASE MOUNTING 4 HOLES			NEMA DRIVER MOUNTING				BELOW BASE CLEARANCE REQUIRED		AUXILLIARY CONNECTIONS SEE NOTE 2			
								M	NSQ	WSQ	BD	AK	AJ DRILLING 4 HOLES STRADDLE CENTERLINE		NOTE 3		E-NPS	F-NPT	G-NPT	R -2 Holes
													DIA	BOLT CIRCLE	CDIA	SD				
2-1/2x2-1/2x10S	1	3.81	5.00	9.25	0.75	1.56	2-1/2 NPT	0.56	12.5	9.25	10.0	8.25	0.44	9.12	5.00	1.00	1/4	1/4	3/4	3/4-10UNC
2-1/2x3x10S	1	3.81	5.00	9.25	0.75	1.56	2-1/2 NPT	0.56	12.5	9.25	10.0	8.25	0.44	9.12	5.00	1.00	1/4	1/4	3/4	3/4-10UNC

NOTES: 1: MAXIMUM WORKING PRESSURE 175 PSI @ 150 DEG F MAX TEMPERATURE
2: E - AIR LINE
F - STUFFING BOX DRAIN
G - PRELUBE
R - HOLES FOR LIFTING EYE BOLTS
3: THIS IS THE CLEARANCE FOR COLUMN PIPE OTHER FACTORS MAY DICTATE THE MINIMUM FLOOR OPENING SIZE REQUIRED.
ALL DIMENSIONS ARE IN INCHES



All dimensions are in inches

300# Flanges are optional

Type FR Fabricated Head Dimensional Data

Discharge Head Size Disch x Col x Mtr	VHS Discharge Head				VSS Discharge Head				VHS And VSS Discharge Heads			VHS And VSS Base Plates				Column Data	
BD	VHS Head Part No.	Overall Height A	Stand Height HC	VHS Max Wt. Lb.	VSS Head Part No.	Overall Height A	Stand Height HC	VSS Max Wt. Lb.	Motor BD	Nozzle Height BF	Head Width CF	Base Dia. N	Bolt Circle BC	Hole Qty. M	Thick Max D	Nominal Column Size	Flange OD Max TF1
18X18X24.5 FR	RTF	41.88	15.76	1230	RTF	57.88	31.75	1400	24.50	15.00	23.00	36.50	34.00	8	2.00	18.00	23.31
18X18X30.5 FR	RTF	43.00	16.38	1350	RTF	59.63	33.00	1530	30.50	15.00	23.00	36.50	34.00	8	2.00	18.00	23.31
20X20X24.5 FR	RTF	45.00	15.88	1390	RTF	60.88	31.75	1470	24.50	17.00	23.00	36.50	34.00	8	2.00	20.00	25.31
20X20X30.5 FR	RTF	46.00	16.38	1500	RTF	62.63	33.00	1600	30.50	17.00	23.00	36.50	34.00	8	2.00	20.00	25.31
24X24X24.5 FR	RTF	49.00	15.88	1670	RTF	64.88	31.75	1770	24.50	19.00	25.00	36.50	34.00	8	2.25	24.00	29.69
24X24X30.5 FR	RTF	50.00	16.38	1740	RTF	66.63	33.00	1830	30.50	19.00	25.00	36.50	34.00	8	2.25	24.00	29.69

OPEN LINE SHAFT STANDARD CONSTRUCTION
General Dimensions All Dimensions Are In Inches Unless Otherwise Noted

Pump Bowl Size		H Disch. Head to Top Bowl Std	H Disch. Head to Top Bowl Min ①	Col. Size ⑦	RECOMMENDED SUMP CLEARANCE ③ Threaded Suction Figure A without Strainer C	K	G	with Strainer D	K	G	Bell Type Suction Figure B without Strainer B	K	F	with Strainer B	K	F	E Minimum Submergence for Priming Thd. Suct.	Bell Suct.	A Eye of Impeller to Bottom of Suction Manifold Thd. Suct.	Bell Suct.
18	MA	18	10	12	1.5	10.25	7	1.5	10.5	4.5							20.00		15.25	
18	HXB	18	11	14	1.0	9.50	8	1.0	10.0	5.0	1.0	9.50	8.0	1.5	10.00	4.5	13.75	14.50	11.38	7.00
18	HH	18	11	14							1.5	10.50	10.0	2.0	11.00	5.0		13.88		8.50
20	MA	18	11	14	1.5	11.25	9	1.5	11.5	5.0	1.5	11.25	9.0	1.5	11.25	5.0	18.25	19.75	15.00	10.88
20	HXB	18	11	16	1.5	11.25	9	1.5	14.0	6.0	1.5	11.25	9.0	1.5	11.25	5.0	22.00	14.00	16.00	8.50
20	HH	18	11	16							2.0	12.00	10.0	2.5	13.00	5.0		15.00		6.50
24	MA	18	12	18							1.5	13.50	9.5	1.5	13.50	5.0		16.00		7.00
24	HXB	18	12	18							1.5	12.50	10.5	1.5	12.50	5.0		19.00		10.06
24	HXC	18	12	18							1.5	12.50	10.5	1.5	12.50	5.0		19.00		10.06
24	H H	18	12	18							2.5	13.75	12.0	3.0	14.25	6.0		15.50		7.25
24	HH-OH	18	12	18							2.5	13.75	12.0	3.0	14.25	6.0		15.50		7.25
26	HXB	18	12	20							1.5	14.25	12.0	1.5	14.25	6.0		18.50		8.75
26	HH	18	12	20							2.5	15.75	14.0	3.0	16.25	7.0		17.88		7.94
26	HH-OH	18	12	20							2.5	15.75	14.0	3.0	16.25	7.0		17.88		7.94
27	MA	18	12	20							2.0	15.25	13.5	2.5	15.75	7.0		16.25		9.50
28	HX8	18	12	20							2.0	15.50	13.0	2.0	15.50	7.0		15.75		8.00
30	LA	is	12	20							2.0	17.00	14.5	2.0	17.00	7.0		23.00		15.25
30	HH	18	12	24							3.5	19.50	17.5	4.0	20.00	9.0		14.75		11.25
30	HH-OH	18	12	24							3.5	19.50	17.5	4.0	20.00	9.0		14.75		11.25
32	HXB	18	12	24							2.0	17.50	15.0	2.0	17.50	8.0		20.62		8.62
36	MA	18	12	24							2.0	20.00	16.0	2.0	20.00	8.0		20.50		13.62
36	HXB	18	12	30							2.0	20.00	17.5	2.0	20.00	9.0		24.00		10.19
36	HH	18	12	30							2.5	21.00	19.0	3.0	21.50	10.0		18.12		12.00
36	HH-OH	24	18	30							2.5	21.00	19.0	3.0	21.50	10.0		18.12		12.00
42	HXB .	18	12	30							2.5	23.50	20.0	2.5	23.50	10.0		26.00		10.69
42	HH	RF	RF	RF							RF	RF	RF	RF	RF	RF		RF		RF
48	HXB	18	12	42							3.0	27.00	24.0	3.0	27.00	12.0		31.00		14.56
48	HH	18	12	42							4.5	28.00	25.0	5.0	28.50	13.0		31.00		13.25
48	HH-OH	24		42							4.5	28.00	25.0	5.0	28.50	13.0		31.00		13.25
56	HH	48	36	48							4.5	34.50	30.0	4.0	20.00	9.0		43.25		20.25
56	HH-0H	48	36	48							4.5	34.50	30.0	4.0	20.00	9.0		43.25		20.25
66	HH	RF	RF	RF							RF	RF	RF	RF	RF	RF		RF		RF

① Minimum length of column to allow for placement of coupling between top and impeller shaft.

② Sump clearance dimensions (distance to wall) are based on the column sizes shown and qualified below:
A - Threaded column through 20MA.
B - Flanged column for 20HXB through 66HH.
C - Column to bowl combinations not included in "A" and "B" above must be referred to factory to maintain minimum wall clearance without possible interference.

③ Sump wall clearance dimensions shown are minimum - for maximum, based on flow rates above 3000gpm, see Section 133. pages 31 through 34.

④ "K" dimension (pump centerline to wall) has been adjusted for largest component to maintain minimum wall clearance (B, C or D) for each type of pump assembly.

⑤ For bell type suctions (less strainer) with hub extending below bell, "F" dimension allows for a 2" minimum clearance below hub.

⑥ E" dimension positions liquid level above first impeller for priming consideration only. Minimum safe operating submergence must be determined from NPSH and vortex considerations. In many cases this will be greater than "E".

Fig. A

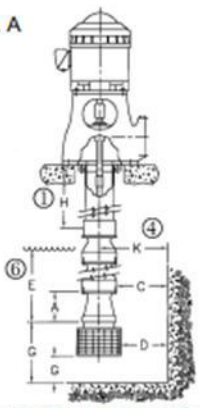
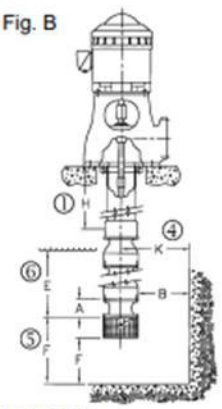


Fig. B



Subject to change without notice

ANEXO 5

Cotización de bomba seleccionado – Motor IE3





RESUMEN EJECUTIVO

RESUMEN EJECUTIVO

En **SSEM** nos caracterizamos por la búsqueda continua de la innovación ofreciendo soluciones integrales para la industria que resulten confiables, eficientes, durables y rentables.

La presente oferta versa sobre el diseño, fabricación y pruebas en fábrica, transporte y despacho para la entrega de (03) motores eléctricos trifásicos, jaula de ardilla, **MENZEL ELEKTROMOTOREN, IE3** Premium Efficiency de fabricación alemana con estándar IEC que son diseñados, fabricados, testeados y despachados desde la planta **MENZEL ELEKTROMOTOREN** de Hernnigsdorf/Germany, de acuerdo como sigue:

- **03 UNID:** Motor Jaula de Ardilla, 250 HP, 460 V, 4P, 60HZ, Frame 315LA, TEFC, IP55, Aisl. F, 1000 msnm, 40°C, IMB35, DOL.

Se incluyen junto al equipo los siguientes accesorios y especialidades:

- ✓ IE3 Premium Efficiency.
- ✓ 03 x Termistores PTC dentro del devanado del estator.
- ✓ Caja principal de terminales de fuerza lado superior.
- ✓ Para uso en montaje vertical con el eje hacia abajo.
- ✓ Con brida.

Se incluyen las características técnicas del motor, plano dimensional, descripción del equipo y la propuesta comercial.

SSEM SAC
Lima, 18/09/2025

ÍNDICE

I. DATOS DEL CLIENTE 4
II. PROPUESTA TÉCNICA 5
II.1. FICHA DE DATOS TÉCNICOS 5
II.2. PLANO DIMENSIONAL DEL MOTOR 7
II.3. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS 8
III. PROPUESTA COMERCIAL 12
III.1. PRECIOS 12



I. DATOS DEL CLIENTE

REFERENCIA:

COMPAÑÍA:		**OFERTA Nro:**	TCQ-AC07918092500
RUC:		**FECHA:**	18/09/2025
DIRECCIÓN FISCAL:		**RESPONSABLE:**	Frank Huamán
		CARGO:	Sub Gerente de Operaciones
TELEFONO:		**TELEF.:**	+51 932 580 709
E-MAIL:		**E-MAIL:**	fhuaman@ssem.pe

ATENCIÓN:

Sr. Ing. Julio Fernando Castañeda Gutiérrez	**Cargo:**
Teléf.:	**E-mail**

ASUNTO:

MOTOR ELECTRICO TRIFASICO JAULA DE ARDILLA, MENZEL ELEKTROMOTOREN / GERMANY, **IE3 PREMIUM EFFICIENCY**, 250 HP, 460 V, 4P, 60HZ, FRAME 315LA, TEFC, AISL. F, IMB35, 1000 MSNM,40°C.

SSEM SAC
Lima, 18/09/2025

II. PROPUESTA TÉCNICA

II.1. FICHA DE DATOS TÉCNICOS

REFERENCIAS:			
OFERTA Nro.	TCQ-AC07918092500	**FECHA DE EMISIÓN**	18/09/2025
PROYECTO Nro.		**REFERENCIA INTERNA**	-
ASUNTO	MOTOR 250HP, 315, 460V, 1000m, 40°C.	**CLIENTE**	
ESTÁNDAR DE FABRICACIÓN:			
FABRICANTE	MENZEL ELEKTROMOTOREN	**ORIGEN:**	ALEMANIA
TIPO	JAULA DE ARDILLA	**MODELO DE MOTOR:**	MEBK315LA-04-190
STANDARD	IEC/EN 60034-1	**NÚMERO DE PLANO:**	
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS:			
N° DE FASES	3	**RÉGIMEN**	S1
FRAME			315LA
EFICIENCIA			IE3 PREMIUM
POTENCIA NOMINAL		HP	250
VOLTAJE NOMINAL		V	460
TOLERANCIA DEL VOLTAJE		%	±10
FRECUENCIA		Hz	60
TOLERANCIA DE LA FRECUENCIA		%	±2
CORRIENTE NOMINAL		AMP	274,54
CORRIENTE DE ARRANQUE		%	850
CONEXIÓN DEL BOBINADO			DELTA
N° DE POLOS			04
VELOCIDAD NOMINAL		RPM	1780
DIRECCIÓN DE ROTACIÓN			BIDIRECCIONAL
EFICIENCIA		% LOAD	95,80
FACTOR DE POTENCIA		% LOAD	0,89
TORQUE NOMINAL		N-m	1003,00
MÉTODO DE ARRANQUE			DOL
TORQUE DE ARRANQUE		%	180
TORQUE MAXIMO		%	220
FACTOR DE SERVICIO			1,15
FORMA DE MONTAJE			IM B35
PROTECCIÓN			IP55
ENFRIAMIENTO			IC411 (TEFC)
RODAMIENTO (DE)			ANTIFRICCIÓN/SKF
RODAMIENTO (NDE)			ANTIFRICCIÓN/SKF
LUBRICACIÓN			GRASA
BALANCEO			MEDIA CHAVETA
PESO APROXIMADO		Kg	1190
NIVEL DE VIBRACIÓN MÁX.		mm/seg	2,30
CLASE DE AISLAMIENTO			F (155°C)
RISE TÉRMICO			B
COLOR DE ACABADO			RAL 7031

TEMPERATURA AMBIENTE	°C	-20....+40
ALTITUD	[illegible]	1000
HUMEDAD	%	<95
ARRANQUES COLD / HOT / PA		3 / 2 / 1000
INSTALACIÓN		INTERIOR / EXTERIOR
VIDA ÚTIL	Años	30

ACCESORIOS:

- ✓ 03 x termistores PTC dentro del devanado del estator.
- ✓ Caja principal de terminales de fuerza lado superior.
- ✓ Con brida.

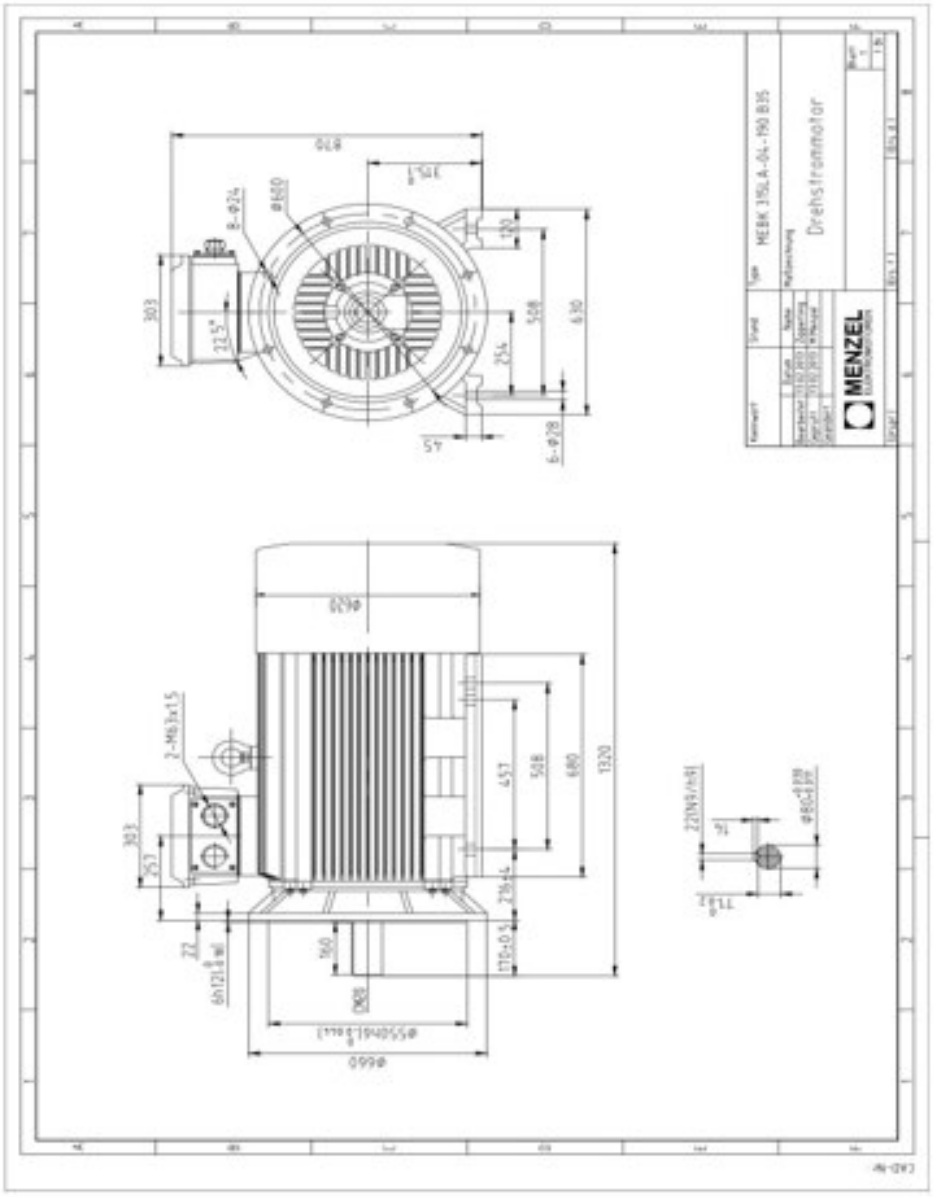
PRUEBAS DE RUTINA:

- ✓ Medición de la resistencia del devanado.
- ✓ Prueba de resistencia de aislamiento.
- ✓ Prueba sin carga.
- ✓ Prueba de cortocircuito.
- ✓ Prueba de dirección de rotación.
- ✓ Prueba de alto voltaje.
- ✓ Medición de la severidad de la vibración.
- ✓ Prueba de rendimiento de accesorios.
- ✓ Medición de tensión del eje.
- ✓ Aceptación visual.
- ✓ Medición del ruido.

APLICACIÓN:

SISTEMA DE BOMBEO

II.2. PLANO DIMENSIONAL DEL MOTOR



II.3. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

MOTOR ELÉCTRICO TRIFÁSICO DE JAULA DE ARDILLA, IE3 PREMIUM, 250HP, 460V, 60 Hz, 4 POLOS, 315LA, IP55, IC411, AISL. F, TEFC, 1000 MSNM, 40C.

Los motores de inducción trifásico de Jaula de Ardilla de fabricación alemana marca **MENZEL Elektromotoren GmbH**, con enfriamiento por superficie **IC411** en carcasa de fundición gris aletada (**TEFC**), poseerá baja emisión de ruido y niveles bajos de vibración. Gracias a su diseño compacto y robusto hace que su construcción e implementación sea particularmente flexible, garantizando bajos costos de mantenimiento, larga vida útil y excelente relación precio-rendimiento. Los motores **MENZEL Elektromotoren** permiten hacer frente a las condiciones más difíciles de operación garantizando de forma fiable la disponibilidad duradera de sus instalaciones industriales con alto nivel de eficiencia y baja tasa de pérdidas.

ESPECIALIDADES:

- ✓ IE3 PREMIUM
- ✓ Apto para operación con DOL.
- ✓ Factor de servicio 1.15
- ✓ Balanceamiento especial.
- ✓ Doble aterramiento en los extremos (carcasa) y en la caja de fuerza.
- ✓ Pintura interna y externa especial (tropicalización y anticorrosión).
- ✓ Sistema de refrigeración del estator de alta eficiencia.
- ✓ Material del eje especial con tratamiento a los esfuerzos de tensión (high tensile steel).
- ✓ Alta eficiencia en la transmisión de potencia.
- ✓ Diseño robusto y sólido manteniendo la compacticidad de la máquina lográndose la mejor ratio peso/volumen.
- ✓ Construcción de rodamientos fiable y duradera.
- ✓ Bajos niveles de vibración y bajos costos de mantenimiento.
- ✓ Bobinas en clase de temperatura "F".
- ✓ Fiabilidad y larga vida útil.
- ✓ Alta capacidad de carga.
- ✓ Emisión de bajo ruido.



Fig. 01.- Motor Eléctrico Jaula de Ardilla "MENZEL"

NORMAS:

El motor de inducción trifásico de Jaula de Ardilla de fabricación alemana marca **MENZEL Elektromotoren GmbH**, cumple con las últimas actualizaciones de la norma **VDE / IEC34-1/EN 60034-1.**

CONSTRUCCIÓN:

El motor de inducción trifásico de Jaula de Ardilla de fabricación alemana marca **MENZEL Elektromotoren GmbH**, contará con una carcasa de fundición gris aletada con patas sólidas y moldeadas. El diseño de la carcasa garantizará una refrigeración óptima y una excelente capacidad de autolimpieza.

CONFIGURACIÓN:

El motor de inducción trifásico de Jaula de Ardilla de fabricación alemana marca **MENZEL Elektromotoren GmbH**, será diseñado bajo la configuración **IM B35** de acuerdo con el cliente.

GRADO DE PROTECCIÓN:

El motor de inducción trifásico de Jaula de Ardilla de fabricación alemana marca **MENZEL Elektromotoren GmbH**, será diseñado con el grado de protección **IP55**.

TIPO DE ENFRIAMIENTO:

El motor de inducción trifásico de Jaula de Ardilla de fabricación alemana marca **MENZEL Elektromotoren GmbH**, será diseñado para utilizar el **Método de Enfriamiento IC411.** Esto significa que la pérdida de calor generada dentro del motor se transmitirá a la carcasa de fundición gris y se disipará mediante el aire de enfriamiento de un ventilador externo instalado en el rotor, a través de las aletas de enfriamiento (enfriamiento de superficie).

AISLAMIENTO:

El motor de inducción trifásico de Jaula de Ardilla de fabricación alemana marca **MENZEL Elektromotoren GmbH**, poseerá un bobinado especialmente tropicalizado que cumple la **Clase de temperatura "F (155°C)"**. El límite térmico del motor será correspondiente a la **Clase de temperatura B** de acuerdo con norma, es decir, será un motor frio, lo que resulta en un margen de potencia y garantiza un envejecimiento lento. El devanado es capaz de soportar la mayor tensión mecánica, de modo que en cualquier momento es posible un reinicio contra un campo residual del 100% después de un corte de energía.

RODAMIENTOS:

El motor de inducción trifásico de Jaula de Ardilla de fabricación alemana marca **MENZEL Elektromotoren GmbH**, estará provisto con **rodamientos de bolas Anti Fricción, marca SKF** lubricados con grasa. Para el motor, se han considerado rodamientos y lubricantes de alta gama. Los intervalos de lubricación y los tamaños de los rodamientos se designan principalmente en placas separadas montadas en el motor.



SEVERIDAD DE VIBRACIONES:

El motor de inducción trifásico de Jaula de Ardilla de fabricación alemana marca **MENZEL Elektromotoren GmbH**, cumplirá con los requisitos de **grado de severidad de vibración normal CAT "N"**. La vibración debe medirse cuando el motor está a voltaje y frecuencia nominal. El grado de calidad de **balanceo del motor es a "media chaveta"** de acuerdo con DIN ISO 8821.

DATOS DE LA PLACA:

El motor de inducción trifásico de Jaula de Ardilla de fabricación alemana marca **MENZEL Elektromotoren GmbH**, poseerá un nameplate con los datos técnicos del motor, grabado en placa de acero inoxidable e impresión láser.

PINTURA DE ACABADO:

El motor de inducción trifásico de Jaula de Ardilla de fabricación alemana marca **MENZEL Elektromotoren GmbH**, estará revestido según **DIN 600 721-2-1** y cumplirá con los requisitos del grupo de clima "moderado". Los motores de diseño estándar se entregan en los colores **RAL 7031** (gris azulado).

VOLTAJE NOMINAL:

El motor de inducción trifásico de Jaula de Ardilla de fabricación alemana marca **MENZEL Elektromotoren GmbH**, estará diseñado para una frecuencia nominal de **60 Hz con una tolerancia de frecuencia permitida igual a ± 2% y un voltaje nominal de 460 V con una tolerancia de tensión permitida igual a ± 10%** a frecuencia nominal.

ALTITUD Y TEMPERATURA AMBIENTE:

El motor de inducción trifásico de Jaula de Ardilla de fabricación alemana marca **MENZEL Elektromotoren GmbH**, estará diseñado para funcionar con una temperatura ambiente entre **-20 °C y + 40 °C y para una altitud de hasta 1000 m.s.n.m.**

TIPO DE CLASIFICACIÓN:

El motor de inducción trifásico de Jaula de Ardilla de fabricación alemana marca **MENZEL Elektromotoren GmbH**, estará diseñado para operar bajo un régimen de servicio S1 (operación continua) a voltaje y frecuencia nominal, temperatura ambiente máxima de **40 °C** y altura máxima a **1000 m.s.n.m.**

CAPACIDAD DE SOBRECARGA:

El motor de inducción trifásico de Jaula de Ardilla de fabricación alemana marca **MENZEL Elektromotoren GmbH**, poseerá una capacidad de sobrecarga continua del 15% encima de la potencia nominal y también tolerará una sobrecarga de hasta 1,5 veces la potencia nominal por dos minutos.

CAJA DE TERMINALES:

El motor de inducción trifásico de Jaula de Ardilla de fabricación alemana marca **MENZEL Elektromotoren GmbH**, se entregará con cajas de terminales montadas en LADO SUPERIOR.



PRUEBAS DE RUTINA:

El motor de inducción trifásico de Jaula de Ardilla de fabricación alemana marca **MENZEL Elektromotoren GmbH**, tendrá en Fábrica las pruebas de Rutina indicadas a continuación:

- ✓ Medición de la resistencia del devanado.
- ✓ Prueba de resistencia de aislamiento.
- ✓ Prueba sin carga.
- ✓ Prueba de cortocircuito.
- ✓ Prueba de dirección de rotación.
- ✓ Prueba de alto voltaje Medición de la severidad de la vibración.
- ✓ Prueba de rendimiento de accesorios.
- ✓ Medición de tensión del eje.
- ✓ Aceptación visual.
- ✓ Medición del ruido.

PRUEBAS TIPO:

Son opcionales y el costo de dichas pruebas se cotizará por separado, en caso el cliente lo solicite, estas se describen a continuación:

- ✓ Todos los ensayos de rutina.
- ✓ Medición de la vibración en frío.
- ✓ Medición de la elevación de la temperatura.
- ✓ Prueba de resistencias eléctricas en caliente.
- ✓ Pruebas relacionadas a la potencia absorbida (valores característicos). Eficiencia al 100 %, 75% y 50 % del funcionamiento nominal. Factor de potencia al 100 %, 75% y 50 % del funcionamiento nominal; corriente al 100%, 75% y 50% del funcionamiento nominal y velocidad al 100 %, 75% y 50 % del funcionamiento nominal.

PRUEBAS ESPECIALES:

Son opcionales y el costo de dichas pruebas se cotiza también por separado, en caso el cliente lo solicite, estas se describen a continuación:

- ✓ Nivel de ruido
- ✓ Tensión en el eje
- ✓ Sobre velocidad
- ✓ Análisis de vibración
- ✓ Levantamiento de curvas
- ✓ Espectro de ruido completo



III. PROPUESTA COMERCIAL

III.1. PRECIOS

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
01	Motor Eléctrico Trifásico, Jaula de Ardilla, ***IE3 PREMIUM EFFICIENCY***, MENZEL ELEKTROMOTOREN fabricación alemana, **250 HP**, 4 Polos, 460 V, 60 Hz, 315LA, 95.8%, IP55, SF 1.15, TEFC, IC411, Aisl. F, 1000 m.s.n.m., 40°C., DOL, con brida.	PZA	03	USD 14,450.00	USD 43,350.00
				TOTAL (SIN IGV):	**(USD) 43,350.00**

CONDICIONES COMERCIALES	
PRECIOS:	Expresados en Dólares Americanos (USD). No incluye IGV (18%).
LUGAR DE ENTREGA:	Almacenes del cliente en Lima.
GARANTÍA:	24 meses desde la entrega.
PLAZO DE ENTREGA:	24-26 semanas, sujeto a venta previa. A partir de: ✓ Emisión de PO (Purchase Order). ✓ Cumplimiento de la condición de pago acordada. ✓ Aprobación de documentos y planos de fabricación.
FORMA DE PAGO:	50% de adelanto con la OC, saldo contra entrega.
EMBALAJE ESTÁNDAR:	Apto para transporte marítimo y terrestre (wooden planks).
VALIDEZ DE LA OFERTA:	15 días con fecha base 18/09/2025.

SUMINISTRO INCLUYE
✓ Dossier de Calidad. ✓ Manual de Operación y Mantenimiento.

ATENTAMENTE:

Firma:	Firma:
Ing. Frank Huamán	Ing. CIP Magaly Rivera
SUB GERENTE DE OPERACIONES	**SUB GERENTE COMERCIAL**
Celular: +51 932 580 709.	Celular: +51 960 772 827.
Correo: fhuaman@ssem.pe	Correo: mrivera@ssem.pe

ANEXO 6

Normas legales referenciadas

Norma SAE JA1011 – Criterios de Evaluación para Procesos de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM)

La norma SAE JA1011, de AGO 2009, establece que para que un proceso sea reconocido como RCM debe seguir los siete pasos en el orden que se muestra a continuación:

1- Delimitar el contexto operativo, las funciones y los estándares de desempeño deseados asociados al activo (contexto operativo y funciones).

2- Determinar cómo un activo puede fallar en el cumplimiento de sus funciones (fallas funcionales).

3- Definir las causas de cada falla funcional (modos de falla).

4- Describir qué sucede cuando ocurre cada falla (efectos de falla).

5- Clasificar los efectos de las fallas (consecuencias de la falla).

6- Determinar qué se debe realizar para predecir o prevenir cada falla (tareas e intervalos de tareas).

7- Decidir si otras estrategias de gestión de fallas pueden ser más efectivas (cambios de una sola vez).

Norma (SAE JA1012, 2011).

Alcance-SAE JA1012 (“Una guía para el estándar de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)”) amplía y aclara cada uno de los criterios clave enumerados en SAE JA1011 (“Criterios de evaluación para procesos RCM”), y Resume cuestiones adicionales que deben abordarse para aplicar RCM con éxito

Organización de la Guía Organización de la Guía— La mayor parte del contenido de las secciones 5 a 14, 16 y 17 de esta guía es similar al de SAE JA1011. La Sección 15 describe con mayor profundidad cómo se pueden unir los componentes esenciales del proceso MCC para escoger políticas adecuadas de gestión individual de modos de falla y sus efectos. La Sección 18 considera la administración y los elementos relacionados con recursos fundamentales para el progreso exitoso de MCC.

MIL-STD-3034

PRÁCTICA ESTÁNDAR DEL DEPARTAMENTO DE DEFENSA: PROCESO DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD (RCM) (21 DE ENERO DE 2011) [REEMPLAZA PARCIALMENTE A LA MIL-P-24534A]

This document was assigned to an undefined FCS Group and/or Class: 'PS' / 'PSSS'.

This standard describes the Reliability-Centered Maintenance (RCM) (see 3.16.9) methodology used for the determination of maintenance requirements. It applies to all levels of system or equipment grouping, and to all scheduled maintenance, whether equipment is in use, ready for use, or in standby or lay-up condition. RCM addresses the total scheduled maintenance program for an enterprise; that is, organizational, intermediate, and depot level maintenance, regardless of the maintenance echelon possessing the capability to perform the maintenance. RCM methodology provides the

foundation for a Condition Based Maintenance (CBM) program. The relationship between RCM and CBM+ technologies is included in Appendix F. This standard provides the procedure to develop corrective, inactive, and preventive equipment maintenance within a planned maintenance management system. Specific maintenance procedures may be developed, after the application of the RCM procedure outlined in this standard, for inclusion in class maintenance plans, and depot, intermediate, and organizational maintenance systems. Maintenance (corrective, inactive, and preventive) (see 3.15.3, 3.16.5, and 3.16.8, respectively) is the action of performing tasks (condition-directed, failure-finding, lubrication, servicing, and time-directed) (see 3.28.2, 3.28.4, 3.28.5, 3.28.6, and 3.28.7, respectively) at periodicities (periodic, situational, and unscheduled) to ensure the item's functions (active, evident, hidden, and passive) (see 3.13.1, 3.13.2, 3.13.3, and 3.13.4) are available when required. For the purpose of this standard, the term "ship" refers to submarines, surface ships, aircraft carriers, and craft.

Norma ISO 14224:2016

Industrias de petróleo, petroquímica y gas natural — recolección e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos

La norma ISO 14224:2016 establece una base completa para compilar datos de fiabilidad y mantenimiento (RM) en un formato estándar para equipos en todas las plantas e industrias del petróleo, gas natural y petroquímica a lo largo de su ciclo operativo. Los principios de recolección de datos, junto con las definiciones y términos relacionados, forman un "lenguaje de fiabilidad" que es útil para transmitir la experiencia operativa. Los modos de falla delineados en la sección normativa de esta Norma Internacional se pueden emplear como un "tesauro de fiabilidad" para una variedad de aplicaciones, ya

sean cualitativas o cuantitativas. Además, esta Norma Internacional orienta al usuario sobre las prácticas de control y aseguramiento de la calidad de los datos.

La uniformización de los métodos de recolección de datos hace más sencillo que las partes, tales como plantas, dueños, fabricantes y contratistas, intercambien información. Esta norma internacional define los requerimientos que todo sistema de datos para la gestión de riesgos (RM), interno o comercial, debe satisfacer cuando está destinado a intercambiar datos de RM. Se examinan ejemplos, pautas y principios para la fusión e intercambio de esos datos de RM. Esta norma internacional ofrece, además, un marco y pautas para determinar metas de rendimiento y requisitos para la disponibilidad y confiabilidad de los equipos.

ANEXO 7

Otra Cotización motor de 250 HP

RE: [Savona Equipment] Quote: 162799 Motor General Electric de 250 HP

Cameron Seitz <cameron@savonaequipment.com>

Thank you for your interest and inquiry.

What Voltage, Rpm, and frame size do you require this motor to be?

Best Regards,
Cameron Seitz
Electrical Department

More Equipment Every Day!!

SAVONA EQUIPMENT LTD

6351 Trans-Canada Hwy, Savona, BC, Canada
P: 1-250-373-2424
F: 1-250-373-2323
sales@savonaequipment.com
www.savonaequipment.com

From: Savona Equipment <sales@savonaequipment.com>
Sent: August 10, 2025 6:17 PM
To: Savona Equipment <sales@savonaequipment.com>
Subject: [Savona Equipment] Quote: 162799 Motor General Electric de 250 HP

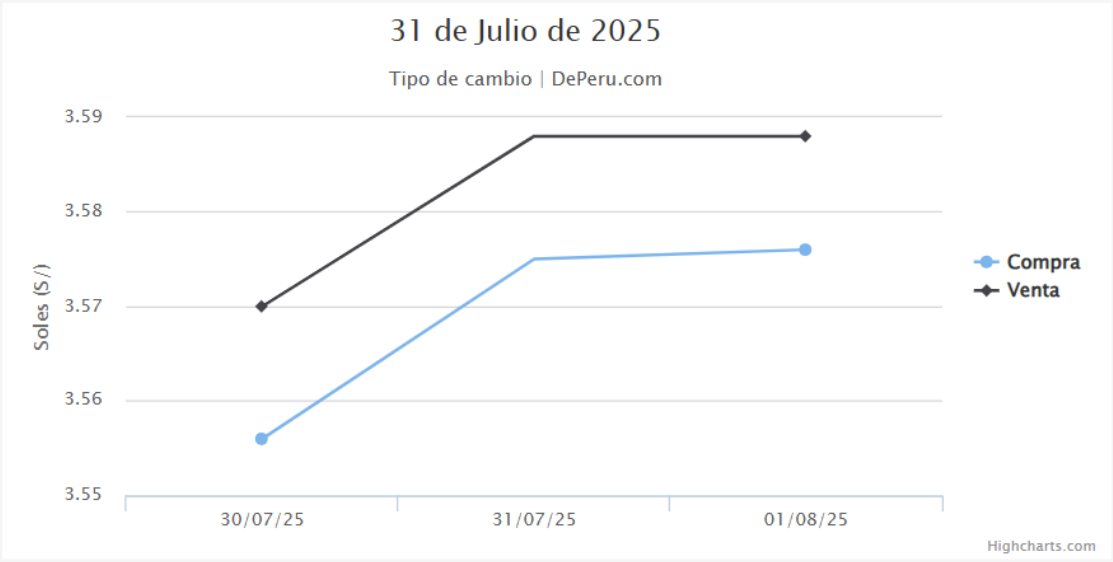


Anexo 8

Cotización del dólar al 31 de julio del 2025

Cotización del dólar el 31 de Julio de 2025

El 31/07/2025 fue jueves, la **compra** de el dólar **subió** respecto al día anterior y la **venta** de el dólar **subió** respecto al día anterior.



Tipo de Cambio del dólar americano en el Perú el 31/07/2025

Fecha	compra	venta
31 de Julio de 2025	S/ 3.575 ↑	S/ 3.588 ↑