



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica

**RECONDICIONAMIENTO Y PUESTA EN FUNCIÓN DE BOMBA
HIDRÁULICA DE TIPO RECIPROCANTE MARCA ROCHFER, MODELO
MS-89, ACCIONADA POR RUEDA DE CANGILONES HIDRÁULICOS**

César Eduardo Menocal Rossil

Asesorado por el Ing. José Ismael Véliz Padilla

Guatemala, octubre de 2020

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**REACONDICIONAMIENTO Y PUESTA EN FUNCIÓN DE BOMBA
HIDRÁULICA DE TIPO RECIPROCANTE MARCA ROCHFEL, MODELO
MS-89, ACCIONADA POR RUEDA DE CANGILONES HIDRÁULICOS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

CÉSAR EDUARDO MENOCA ROSSIL
ASESORADO POR EL ING. JOSÉ ISMAEL VÉLIZ PADILLA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2020

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Christian Moisés de la Cruz Leal
VOCAL V	Br. Kevin Armando Cruz Lorente
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Víctor Manuel Ruiz Hernández
EXAMINADOR	Ing. Carlos Enrique Chicol Cabrera
EXAMINADOR	Ing. José Ismael Véliz Padilla
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

RECONDICIONAMIENTO Y PUESTA EN FUNCIÓN DE BOMBA HIDRÁULICA DE TIPO RECIPROCANTE MARCA ROCHFER, MODELO MS-89, ACCIONADA POR RUEDA DE CANGILONES HIDRÁULICOS

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 7 de agosto de 2018.

César Eduardo Menocal Rossil

Guatemala, 19 de noviembre de 2019

Ingeniero
Roberto Guzmán Ortiz
Director de la escuela de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Señor Director:

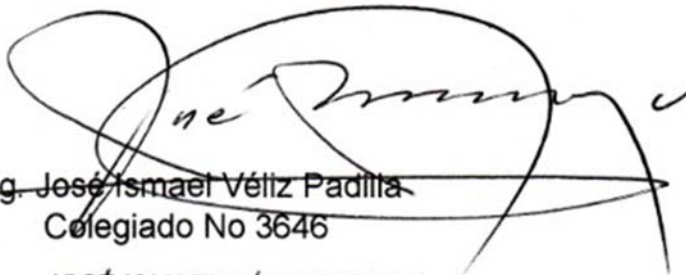
Por este medio me dirijo a usted, para informarle que he llevado a cabo la revisión final del trabajo de graduación titulado, **REACONDICIONAMIENTO Y PUESTA EN FUNCIÓN DE BOMBA HIDRÁULICA DE TIPO RECIPROCANTE MARCA ROCHFER, MODELO MS-89, ACCIONADA POR RUEDA DE CANGILONES HIDRÁULICOS**. Presentado por el estudiante César Eduardo Menocal Rossil, con número de carné 201404302.

El trabajo se ha desarrollado de acuerdo con el programa y los objetivos iniciales planteados y considero que llena los requisitos para ser aprobado como trabajo de graduación.

Finalmente, considero importante incluir la utilidad que el trabajo tendrá como apoyo a los estudiantes de la carrera de Ingeniería Mecánica en el curso de Máquinas Hidráulicas.

Agradeciendo la atención a la presente aprovecho la oportunidad de suscribirme de usted

Atentamente.



Ing. José Ismael Véliz Padilla
Colegiado No 3646

JOSÉ ISMAEL VÉLIZ PADILLA
INGENIERO MECÁNICO
COLEGIADO 3646



USAC

TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.M.303.2019

El Coordinador del Área Complementaria de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del Asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo de graduación titulado: **REACONDICIONAMIENTO Y PUESTA EN FUNCIÓN DE BOMBA HIDRÁULICA DE TIPO RECIPROCANTE MARCA ROCHFER, MODELO MS-89, ACCIONADA POR RUEDA DE CANGILONES HIDRÁULICOS** presentado por el estudiante **César Eduardo Menocal Rossil**, CUI **1932547190101** y Reg. Académico No. **201404302** recomienda su aprobación.

"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
Coordinador Área Complementaria
Escuela de Ingeniería Mecánica



Guatemala, noviembre 2019



USAC

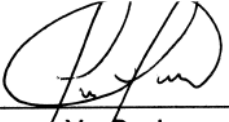
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.EIM.133.2020

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y con la aprobación del Coordinador del Área Complementaria, al trabajo de graduación titulado: **RECONDICIONAMIENTO Y PUESTA EN FUNCIÓN DE BOMBA HIDRÁULICA DE TIPO RECIPROCANTE MARCA ROCHFER, MODELO MS-89, ACCIONADA POR RUEDA DE CANGILONES HIDRÁULICOS** del estudiante **CESAR EDUARDO MENOCA ROSSIL**, DPI **1932 54719 0101**, Reg. Académico **201404302** y luego de haberlo revisado en su totalidad, procede a la autorización del mismo.

"Id y Enseñad a Todos"



Vo.Bo. Ing.



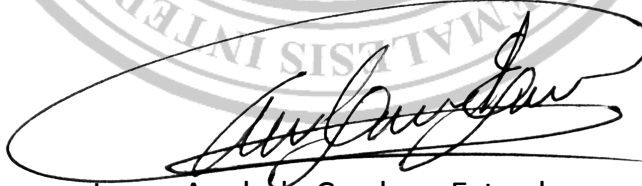
Ing. Gilberto Enrique Morales Baiza
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica

Guatemala, julio de 2020
/aej

DTG. 315.2020.

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al Trabajo de Graduación titulado: **RECONDICIONAMIENTO Y PUESTA EN FUNCIÓN DE BOMBA HIDRÁULICA DE TIPO RECIPROCANTE MARCA ROCHFER, MODELO MS-89, ACCIONADA POR RUEDA DE CANGILONES HIDRÁULICOS**, presentado por el estudiante universitario: **César Eduardo Menocal Rossil**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Anabeía Cordova Estrada
Decana



Guatemala, octubre de 2020

AACE/asga

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por brindarme la oportunidad de aprender, disfrutar de la vida y por ser la iluminación de mi camino.
Mi madre	Vilma Rossil, por darme todo el apoyo, su amor y ser el ejemplo más valioso de mi vida.
Mi padre	Hugo Menocal (q. e. p. d.), por orientarme y estar conmigo en momentos difíciles.
Mis hermanos	Vivian y Gabriel Menocal, por ayudarme en todo momento a cumplir con este sueño
Mis abuelas	María Victoria Molina y Ana Victoria Ruiz (q. e. p. d.) por todas sus palabras de aliento y consejos.
Mis tíos	Nora, Ingrid, Jeromé y Fredy Rossil Molina, por ser una influencia en mi carrera.
Mis primos	Mónica, Jorge, Samuel y Juan Pablo Sagastume Rossil; María de los Ángeles, Mario y Enrique Gramajo Rossil, Rony y Estuardo Rosil Castañeda, por su aprecio y apoyo.

Mis amigos

Willy Urizar, Ángel Marroquín, Álvaro Cifuentes, Carlos Meza, Silvia González, José Pirir, Elmer Cortez, Mauro Salvador, Roberto Orellana y Francisco Vides, por formar parte de este camino y por apoyarme en todo momento.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser mi segundo hogar y la academia que me abrió las puertas para ser profesional.
Facultad de Ingeniería	Por enseñarme las herramientas que me acompañarán toda mi vida.
Ing. Ismael Véliz	Por todo su tiempo, consejos, enseñanzas y paciencia para instruirme a lo largo de mi formación académica para ser un profesional.
Catedráticos de la Escuela de Mecánica	Por todas sus lecciones, su excelencia universitaria y compartir sus conocimientos.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	XI
GLOSARIO	XIII
RESUMEN	XVII
OBJETIVOS.....	XIX
INTRODUCCIÓN	XXI
1. ANTECEDENTES GENERALES	1
1.1. Historia del abastecimiento de agua.....	1
1.2. Historia de la bomba hidráulica	3
1.3. Conceptos fundamentales en bombas hidráulicas	6
1.3.1. Caudal	7
1.3.2. Trabajo, energía y potencia	8
1.4. Características de una estación de bombeo.....	11
1.4.1. Parámetros del abastecimiento de agua	13
1.4.2. Pruebas de funcionamiento	15
1.5. Reseña del abastecimiento de agua en finca Sabana Grande, Escuintla, Guatemala.....	20
2. BOMBAS HIDRÁULICAS	23
2.1. Definición.....	23
2.2. Clasificación de bombas hidráulicas según su funcionamiento	23
2.2.1. Bombas de tipo reciprocante	25
2.2.2. Bombas rotatorias.....	26

2.2.3.	Bombas centrífugas	27
2.2.4.	Bombas sumergibles	28
2.2.5.	Bombas especiales	30
2.3.	Descripción del funcionamiento mecánico	33
2.3.1.	Combinación de mecanismos	33
2.3.1.1.	Mecanismo biela-manivela	34
2.3.1.2.	Discos excéntricos	35
2.3.1.3.	Mecanismo de yugo escocés	37
2.3.2.	Lubricación	38
2.3.3.	Cilindros de simple efecto	41
2.4.	Accesorios de distribución y control	43
2.5.	Succión de entrada	45
2.6.	Presión de salida.....	47
2.7.	Golpe de ariete.....	49
3.	BOMBA HIDRÁULICA ROCHFER MS-89	53
3.1.	Historia	53
3.2.	Descripción	55
3.3.	Características mecánicas	56
3.4.	Composición física, diseño y nomenclatura del equipo.....	59
3.5.	Funcionamiento.....	63
3.5.1.	Rueda de cangilones hidráulicos.....	65
3.5.2.	Compresión de cilindros.....	69
3.5.3.	Distribución recíprocante por medio de balines flotantes.....	72
3.6.	Lubricación de disco excéntrico	76
3.7.	Selección de tuberías.....	79
3.7.1.	Tubería de succión.....	84
3.7.2.	Tubería de descarga	85

3.8.	Selección de velocidad de rodamiento de rueda de cangilones hidráulicos	88
4.	DISEÑO ACTUAL DE LA BOMBA HIDRÁULICA ROCHFER MS-89 UBICADA EN FINCA SABANA GRANDE	93
4.1.	Diagnóstico de equipo	93
4.2.	Caudal actual.....	100
4.3.	Altura actual de succión.....	102
4.4.	Tubería de descarga	103
4.5.	Análisis del deterioro de la bomba Rochfer MS-89.....	103
4.6.	Análisis de rodamiento de rueda de cangilones hidráulicos ..	105
4.7.	Diagnóstico del ambiente de trabajo de bomba hidráulica	108
5.	REACONDICIONAMIENTO DE BOMBA HIDRÁULICA ROCHFER MS-89.....	111
5.1.	Propuesta de reacondicionamiento	111
5.2.	Desmontaje	112
5.3.	Ajustes de cilindros con balines flotantes	119
5.4.	Restauración de rueda de cangilones hidráulicos	124
5.5.	Reacondicionamiento de tuberías y cámara estabilizadora...	128
5.6.	Montaje y lista de materiales empleados.....	132
5.6.1.	Ensamble.....	137
5.6.2.	Reacondicionamiento de cilindros hidráulicos	142
5.6.3.	Instalación de la estopa industrial.....	145
5.6.4.	Lubricación dentro del cárter	148
5.7.	Comprobación, análisis y mediciones de indicadores de reacondicionamiento	152
5.8.	Puesta en función de bomba hidráulica Rochfer MS-89.....	155

CONCLUSIONES..... 165
RECOMENDACIONES..... 167
BIBLIOGRAFÍA..... 169
APÉNDICES..... 173
ANEXO..... 179

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Jeroglífico egipcio, representación del agua en el año 3,300 a.C.	2
2.	Tornillo de Arquímedes	4
3.	Bomba de tipo reciprocante de Ctesibio.....	5
4.	Esquema de una estación de bombeo	13
5.	Captación de agua por medio de canal con rejilla.....	15
6.	Prueba de funcionamiento en laboratorio.....	16
7.	Imagen del ingreso a la finca Sabana Grande	22
8.	Clasificación de bombas hidráulicas según su funcionamiento.....	24
9.	Bomba de tipo reciprocante	26
10.	Bomba rotatoria.....	27
11.	Bomba centrífuga con motor eléctrico.....	28
12.	Bomba sumergible	29
13.	Bomba electromagnética.....	30
14.	Unidad de bombeo de viga oscilante	31
15.	Extracción de petróleo con dos bombas hidráulicas	32
16.	Mecanismo biela-manivela.....	35
17.	Mecanismo de disco excéntrico	36
18.	Mecanismo de yugo escocés.....	37
19.	Lubricación por salpicadura de un MCI.....	40
20.	Cilindro de simple efecto.....	42
21.	Manómetro de campo	44
22.	Tubería de succión de bomba hidráulica.....	47
23.	Tubería de descarga de bomba hidráulica.....	48

24.	Proceso de formación del golpe de ariete.....	50
25.	Fotografía de Antônio Rocha	53
26.	Primera bomba Rochfer	54
27.	Bomba Rochfer MS-89	55
28.	Diagrama de Hierro-Carbono.....	57
29.	Bomba Rochfer MS-89 accionada por rueda de cangilones hidráulicos.....	60
30.	Diagrama de bomba Rochfer MS-89	62
31.	Funcionamiento de la bomba hidráulica	63
32.	Diseño de transformación de movimiento de rueda excéntrica	64
33.	Rueda de cangilones hidráulicos	66
34.	Funcionamiento de rueda hidráulica	68
35.	Accionamiento de rueda de cangilones hidráulicos Rochfer.....	69
36.	Componentes que conforman el conjunto cilindro-pistón en la bomba Rochfer MS-89.....	71
37.	Simbología de válvula de cheque	73
38.	Bomba inyectora de aceite Rochfer	78
39.	Dimensiones de una tubería	83
40.	Filtro para tubería de succión Rochfer	84
41.	Gráfico de la distancia de succión para la bomba Rochfer MS-89	85
42.	Tubería de descarga bomba Rochfer MS-89.....	86
43.	Diseño para el dimensionamiento de la bomba Rochfer.....	87
44.	Curvas de la bomba Rochfer MS-89.....	89
45.	Fotografía bomba Rochfer MS-89 ubicada en finca Sabana Grande durante diagnóstico.....	95
46.	Fotografía de obstrucción de canal de entrada para rueda de cangilones hidráulicos.....	96
47.	Sistema de filtrado por decantación.....	96
48.	Chumacera de bomba Rochfer MS-89	97

49.	Disco excéntrico con emulsión.....	97
50.	Canal del salto de agua para rueda de cangilones hidráulicos	98
51.	Techo de la estación de bombeo	99
52.	Cilindro hidráulico de bomba Rochfer MS-89.....	99
53.	Sistema de filtrado por decantación vacío.....	100
54.	Canal de salto de agua	101
55.	Tubería de succión durante el diagnóstico.....	102
56.	Artículo de boletín informativo Agro	104
57.	Rueda de cangilones hidráulicos durante el diagnóstico.....	105
58.	Fotografía al momento de entregar los insumos	107
59.	Fotografía satelital de la estación de bombeo de la RMS-89.....	108
60.	Módulo de filtrado por decantación salto de agua.....	109
61.	Cilindro hidráulico durante el desmontaje	112
62.	Desmontaje por medio de cortatubos.....	113
63.	Desmontaje cámara estabilizadora de la bomba hidráulica	114
64.	Desmontaje de rueda de cangilones hidráulicos.....	114
65.	Fotografía de rueda de cangilones hidráulicos desmontada	115
66.	Partes de la bomba sin desmontaje necesario.....	116
67.	Fotografía del traslado de piezas mecánicas por medio de tractor John Deere.....	116
68.	Movilización de la rueda de cangilones hidráulicos.....	117
69.	Fotografía de protección del equipo durante su reparación	118
70.	Fotografía del primer llenado del filtro por decantación.....	119
71.	Fotografía del desmontaje de cámara estabilizadora.....	120
72.	Fotografía de daños en los cilindros de los cheques parte superior ..	121
73.	Fotografía de daños en los cilindros de los cheques de balines flotantes parte inferior.....	122
74.	Fotografía de reacondicionamiento de cheques con balines	123
75.	Fotografía de los asientos de balines restaurados.....	124

76.	Método de identificación con tiza blanca	125
77.	Proceso de corte de rueda de cangilones hidráulicos.....	126
78.	Fotografía de rueda de cangilones hidráulicos durante el reacondicionamiento.....	127
79.	Método de soldadura al arco eléctrico	127
80.	Fotografía del cepillado de prensa estopas	128
81.	Método de lijado de piezas cilíndricas	130
82.	Restauración cámara estabilizadora bomba RMS-89.....	131
83.	Fotografía de la restauración de la tubería	132
84.	Reacondicionamiento del cárter de la bomba hidráulica.....	133
85.	Estación de bombeo antes del montaje	134
86.	Traslado de componentes para el montaje.....	135
87.	Montaje de la rueda de cangilones hidráulicos	136
88.	Empaque de belumoide para sellado de fugas.....	138
89.	Ensamble de la cámara estabilizadora	139
90.	Fotografía del uso de tarraja.....	140
91.	Fotografía de instalación de uniones universales a la tubería	141
92.	Fotografía de cilindros hidráulicos restaurados	143
93.	Fotografía del pistón de bronce a un costado de la bomba RMS-89 ..	144
94.	Dimensionamiento de empaque de fibra de caucho para el cilindro hidráulico	145
95.	Fotografía de estopa industrial.....	146
96.	Corte de rodajas de estopa industrial	146
97.	Posicionamiento de la estopa industrial junto al pistón.....	147
98.	Fotografía de la colocación de la estopa industrial dentro del cilindro hidráulico	148
99.	Fotografía del drenado de aceite con emulsión	149
100.	Fotografía del cárter durante el drenado de aceite con emulsión	150
101.	Llenado del cárter con aceite SAE 40.....	151

102.	Sellado del cárter de lubricación con fibra de caucho	151
103.	Fotografía del ajuste de tornillos de la tapadera del cárter.....	152
104.	Portada de periódico Prensa Libre 4 de junio de 2018.....	154
105.	Fotografía de la verificación de la tubería de succión	156
106.	Instalación de pichacha en tubería de succión.....	156
107.	Fotografía de la identificación de la bomba Rochfer MS-89.....	157
108.	Bomba Rochfer MS-89 en la nueva estación de bombeo	158
109.	Canal de entrada del salto de agua.....	159
110.	Limpieza de las paredes del filtro por decantación	159
111.	Fotografía del llenado de filtro por decantación	160
112.	Cebado de tubería de succión	161
113.	Puesta en función de bomba hidráulica de tipo reciprocante marca Rochfer, modelo MS-89, accionada por rueda de cangilones hidráulicos	162

TABLAS

I.	Datos técnicos de la bomba Rochfer MS-89	58
II.	Dimensiones de la bomba Rochfer MS-89.....	59
III.	Lista de piezas de la bomba Rochfer MS-89.....	61
IV.	Dimensiones y peso de la rueda de cangilones hidráulicos	67
V.	Distribución del flujo en tubería de succión	74
VI.	Distribución del flujo para la cámara estabilizadora	75
VII.	Valores de rugosidad absoluta e para tuberías comerciales nuevas ...	80
VIII.	Diámetros comerciales.....	82
IX.	Datos generales	94
X.	Datos del equipo	94
XI.	Insumos del proyecto de reacondicionamiento	106
XII.	Lista de materiales empleados.....	137

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
<i>A</i>	Área
<i>hp</i>	Caballo de fuerza
<i>Q</i>	Caudal
<i>R</i>	Cédula de tubería
<i>cm</i>	Centímetro
<i>CO₂</i>	Dióxido de carbono
<i>d</i>	Distancia
<i>h</i>	Elevación
<i>E_c</i>	Energía cinética
<i>E₀</i>	Energía de entrada
<i>E_{pr}</i>	Energía de presión
<i>E_f</i>	Energía de salida
<i>E_{pot}</i>	Energía potencial
<i>F</i>	Fuerza
°C	Grados centígrados
<i>g</i>	Gravedad
<i>kg</i>	Kilogramo
<i>km</i>	Kilómetro
<i>kW</i>	Kilowatt
<i>psi</i>	Libra sobre pulgada cuadrada
<i>lbs</i>	Libras
<i>lts</i>	Litros

<i>M</i>	Masa
<i>Mpa</i>	Mega pascales
<i>m²</i>	Metro cuadrado
<i>m³/s</i>	Metro cúbico sobre segundo
<i>m/s</i>	Metro sobre segundo
<i>m/s²</i>	Metro sobre segundo al cuadrado
<i>mm</i>	Milímetros
<i>K</i>	Módulo de elasticidad
<i>N</i>	Newton
<i>N/m³</i>	Newton sobre metro cúbico
<i>Pa</i>	Pascales
<i>γ</i>	Peso específico
<i>P</i>	Potencia
<i>p</i>	Presión
<i>pulg</i>	Pulgadas
<i>r</i>	Reducción de velocidad del líquido
<i>rpm</i>	Revoluciones por minuto
<i>Hb</i>	Salto bruto
<i>Hn</i>	Salto neto
<i>Hu</i>	Salto útil
<i>T_r</i>	Trabajo
<i>V</i>	Velocidad media
<i>W</i>	Watts

GLOSARIO

Abrasión	Desgaste debido a la fricción entre dos componentes.
Balines	Componentes de una máquina con forma de esfera.
Buje	Componente cilíndrico que aloja un eje que gira en una o dos direcciones y un ángulo seleccionado.
Cangilones	Recipiente que aloja un volumen de fluido para realizar un movimiento.
Carcaza	Pieza rígida en forma de cajilla que resguarda en su interior una o varias piezas de una máquina.
Casco	Componente de forma semiesférica que se encarga de proteger la parte superior o cabeza de una máquina o persona.
Cauce	Sección o área por donde transcurre un río o un caudal de agua.
Chumacera	Soporte que aloja un eje y un rodamiento.
Cisterna	Depósito diseñado para almacenar agua.

Corredera	Pista o guías rígidas por donde corre o se traslada una pieza mecánica.
Decantación	Método que se estudia en física para separar fluidos con distintas densidades dándole un sitio o recipiente independiente para cada sustancia.
Estopa	Material industrial flexible hecho de la parte gruesa del cáñamo y carbono que se utiliza para hilar empaques utilizados en bombas hidráulicas.
Impulsor	Pieza mecánica diseñada para impulsar o empujar un fluido en una dirección establecida.
Inmersión	Introducción de un material dentro de un fluido.
Lubricidad	Cualidad de la superficie de un elemento que se puede deslizar.
Manivela	Manecilla o palanca que se utiliza para agarrar un mecanismo y realizar un movimiento circular.
Prensa estopas	Componente de una máquina que se rosca o se sujeta para evitar el movimiento de una estopa al momento de la operación de un equipo de bombeo.
Reciprocante	Cualidad de un movimiento uniforme que realiza la misma actividad en una dirección y en sentido contrario.

Rotodinámica	Propiedad de los componentes de moverse en forma circular.
Teja	Base rígida en forma de arco que se utiliza en mecánica para alojar movimientos de rozamiento circular.
Trinquete	Elemento de una tarraja que se encarga de sujetar los dados al momento de realizar cortes en forma de espiral o rosca.
Vástago	Varilla o barra que transmite movimientos en un mecanismo.

RESUMEN

En este trabajo de graduación se define una forma eficiente para la reparación de una bomba hidráulica de tipo reciprocante marca Rochfer MS-89, donde se detallan los componentes del sistema de bombeo que transforman la energía hidráulica a energía cinética en la finca Sabana Grande, ubicada en Escuintla, propiedad de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Se realizó un método de reacondicionamiento por medio de mantenimiento correctivo y planificación organizada, en cuanto al trabajo de rectificación y conservación de maquinaria.

En los primeros capítulos se expone la importancia del suministro de agua para la sana convivencia de las comunidades y el transcurso de las innovaciones de ingeniería en el campo de aguas junto con la línea del tiempo de máquinas hidráulicas. Asimismo, los diferentes tipos de equipos de bombeo que existen alrededor del mundo que utilizan mecanismos dinámicos y propiedades naturales de los fluidos. Más adelante se estudia la bomba Rochfer MS-89.

Por último, se estudia el caso particular de la bomba Rochfer MS-89 de la Finca Sabana Grande y se determinan sus características propias desde el sistema de captación de agua, tratamiento y trabajo de bombeo para la recuperación del suministro hídrico. Posteriormente, se realizan actividades de reacondicionamiento con técnicas de ingeniería para la puesta en marcha y recuperación del abastecimiento de agua como parte de los cuidados del medio ambiente para la sociedad guatemalteca.

OBJETIVOS

General

Proponer un método de reacondicionamiento a la bomba hidráulica de tipo reciprocante, marca Rochfer MS-89, para la recuperación del suministro de agua.

Específicos

1. Describir el funcionamiento general de los sistemas utilizados para la distribución y el abastecimiento de agua por medio de maquinaria.
2. Utilizar los principios básicos de bombas hidráulicas y sus características mecánicas.
3. Aprovechar los principios de ingeniería para el funcionamiento de la bomba reciprocante accionada por una rueda de cangilones hidráulicos, así como la transformación de energía.
4. Identificar por medio de diagnóstico los componentes que necesitan reacondicionamiento para la puesta en marcha de la bomba Rochfer MS-89.
5. Realizar un reacondicionamiento que cumpla con las características del sistema, de acuerdo con las necesidades de la finca Sabana Grande y utilizar técnicas de ingeniería para la puesta en función adecuada de la bomba hidráulica Rochfer MS-89.

INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso necesario en las comunidades, por lo que se han diseñado distintas bombas hidráulicas de acuerdo con los requerimientos de cada una de estas zonas. La exigencia de suministrar el vital líquido convierte a esta máquina un equipo indispensable para una sana convivencia en muchas poblaciones. En algunas áreas de Guatemala se carece de energía eléctrica para la operación de equipos hidráulicos y este alto costo deja en desventaja algunas fincas; sin embargo, se utilizan otras formas para la distribución del agua.

Todavía suelen encontrarse pobladores que abastecen sus hogares de otras maneras, en algunos casos, recogiendo agua en recipientes y recorriendo largas distancias para depositar lo recolectado. Esta práctica no permite satisfacer las necesidades de los hogares; no obstante, por medio de otras alternativas es posible diseñar un tipo de bomba hidráulica que no requiera energía eléctrica para su funcionamiento, ideal para el sector agrícola, ya que sus mecanismos fueron fabricados y diseñados para transformar energía hidráulica en energía de presión.

Al contar con un equipo de bombeo es recomendable que se le dé mantenimiento para garantizar su operación. En estas fincas no se programa el mantenimiento porque las comunidades dan prioridad a otros factores y desconocen de técnicas de conservación.

La bomba Rochfer MS-89 es una máquina con dos cilindros de simple efecto y un mecanismo de disco excéntrico, es accionado por una rueda de cangilones hidráulicos que permite que la bomba permanezca en operación por 24 horas continuas. Se considera que las máquinas hidráulicas se deterioran conforme al tiempo y a la falta de mantenimiento, por eso es necesario intervenir cada equipo de bombeo para contribuir su conservación. El estudio del mantenimiento de la máquina establecido por su fabricante y las condiciones climáticas de operación impactan el sistema hidráulico desde la tubería de succión hasta su almacenamiento.

Este trabajo de graduación propone un diseño de reacondicionamiento a la bomba hidráulica Rochfer MS-89. Este equipo se encuentra instalado en una de las fincas de la Universidad de San Carlos de Guatemala, ubicada en Escuintla, aldea el Rodeo. El propósito es restablecer el suministro de agua en este sector por medio de procesos y técnicas de ingeniería, análisis de estudios de máquinas hidráulicas y conceptos de materiales industriales que plantean una solución efectiva para la puesta en función de esta máquina.

1. ANTECEDENTES GENERALES

1.1. Historia del abastecimiento de agua

A lo largo del tiempo se ha reconocido el abastecimiento de agua como una de las necesidades principales de la humanidad. En la prehistoria, las comunidades nómadas se situaban cerca de lagos o ríos para satisfacer sus necesidades. La primera información que se conserva en jeroglíficos indica que, el ser humano, había encontrado una solución para abastecerse de este recurso vital. En la historia hay períodos marcados por la necesidad de este recurso natural.

De acuerdo con el libro *Historia de Egipto* de Etienne Drioton y Jacques Vandier, “la primera información del ser humano data de hace aproximadamente 7500 años”¹. Las personas adoptaron la forma de vida agraria y la humanidad se estableció en asentamientos permanentes. La vida agrícola sedentaria facilitó la construcción de aldeas, ciudades y estados dependientes del agua.

Drioton y Vandier indican que “el asentamiento más antiguo clasificable como urbano, es el valle del Nilo, ubicado cerca del río y otros cuerpos de agua”². En este lugar hay rastros de canales y, en el Cairo, ductos de agua de lluvia construidos con piedra. Los arqueólogos han encontrado algunos pozos y tuberías antiguos por donde llegaba el agua.

¹ DRIOTON, Etienne y VANDIER, Jacques. *Historia de Egipto*. p. 16.

² *Ibíd.*

La técnica de abastecimiento por medio de acarreo de jarras las realizaba los esclavos, que caminaban desde el río hasta el lugar de almacenamiento.

En la figura 1 se muestra que, desde tiempos remotos, la simbología ha acompañado al ser humano para facilitar la orientación. El agua fue identificada como una fila de líneas en diagonal que asimilan su turbulencia en la naturaleza, de esta manera se significó la presencia del fluido.

Figura 1. **Jeroglífico egipcio, representación del agua en el año 3300 a.C.**



Fuente: El Cairo. Arqueología, antiguo. *Jeroglíficos antiguos en el museo egipcio del exterior de la exhibición*. <https://es.dreamstime.com/fotos-de-archivo-jerogl%C3%ADficos-antiguos-en-el-museo-egipcio-del-exterior-de-la-exhibici%C3%B3n-el-cairo-image34306723>. Consulta: 2 de abril de 2018.

Una vez la humanidad estableció algunos de los principios básicos para el abastecimiento, muchos se analizaron y modificaron de forma más conveniente. Los griegos y los romanos usaban diferentes métodos para mejorar la calidad del agua con abastecimientos más inteligentes que los egipcios.

Henri Pirenne, profesor de la Universidad de Gante (España), sostiene en *Historia de Europa* (1942) que, “a partir de fuentes escritas y excavaciones

arqueológicas, en Europa antigua, iniciaron el uso de tanques de decantación, filtros y la ebullición del agua”³. Con el método de ebullición, ampliamente recomendado por los médicos, disminuían los riesgos biológicos del agua de mala calidad. La ebullición era factible desde un punto de vista higiénico, pero no lo era desde el punto de vista ecológico y económico, ya que la leña y otros combustibles serían un recurso escaso.

Después de la caída de los romanos en el occidente de Europa, la historia registra otras técnicas para el abastecimiento. Las ciudades medievales, los castillos y monasterios tenían sus propios pozos y cisternas. Los cambios fundamentales surgieron cuando la ciencia y el conocimiento continuaron institucionalizándose en las universidades.

El inicio de la industrialización y el crecimiento de las ciudades propiciaron que la salud pública y los problemas ambientales abrumaran a los gobiernos más que antes. En el siglo XIX, se consideraba que Gran Bretaña era el precursor de los más modernos sistemas de abastecimiento de agua y saneamiento, pero las innovaciones pronto se extendieron hacia Alemania, a otras partes de Europa, a los Estados Unidos y más adelante a territorio guatemalteco.

1.2. Historia de la bomba hidráulica

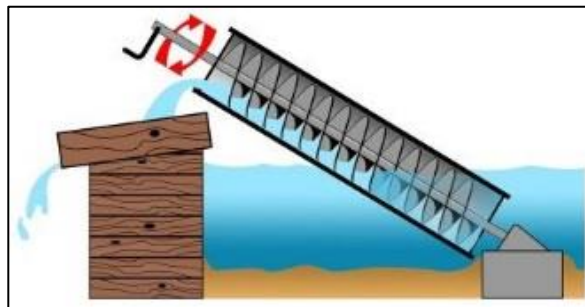
El estudio del abastecimiento de aguas facilita la realización de este trabajo de manera más eficiente en el menor tiempo posible. La primera bomba hidráulica fue descrita por Arquímedes de Siracusa, en el siglo III a.C. Se conoce como tornillo sin fin de Arquímedes, aunque el sistema había sido utilizado anteriormente por Senaquerib, en el siglo VII a.C.

³ PIRENNE, Henry. *Historia de Europa*. p. 19.

El tornillo de Arquímedes es una máquina gravimétrica helicoidal utilizada para elevaciones de agua, almidones, granos o materiales excavados. Este tipo de maquinaria es de los mecanismos más antiguos y existen hipótesis de que ya era utilizado en el Antiguo Egipto. Este artefacto se basa en un tornillo que se hace girar dentro de un cilindro hueco, se coloca sobre un plano inclinado que eleva el cuerpo o fluido por debajo del eje de giro, arrastrándolo por las paredes del cilindro. Desde su invención, hasta ahora, este mecanismo se ha utilizado para el bombeo de aceites.

Estos métodos, desde su origen, fueron soluciones inteligentes en el campo de la Ingeniería Mecánica. En la figura 2 se observa este mecanismo utilizado en sectores agrícolas para acelerar la recolección del agua por medio de una manivela que conecta con el eje, proporciona una posición cómoda para el operador de la máquina y su movimiento repetitivo permite operar velozmente.

Figura 2. **Tornillo de Arquímedes**

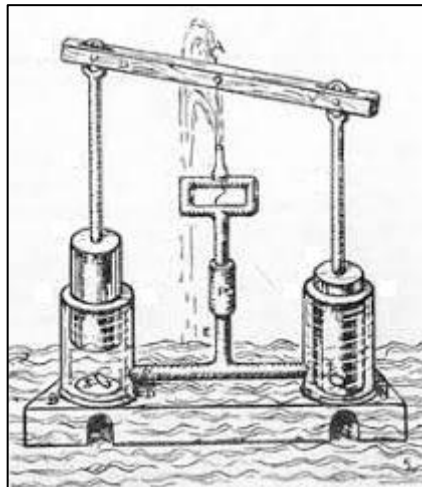


Fuente: Pumps, Traditional. *Tornillo de Arquímedes*. <http://www.waterencyclopedia.com/Re/Pumps-Traditional.html>. Consulta: 28 de mayo de 2018.

A partir de este primer modelo, inventores de la época reconocieron el avance tecnológico y descubrieron nuevas modalidades para la transformación de energía con máquinas.

En Grecia, el inventor matemático Ctesibio de Alejandria, entre los años 285 a.C. y 222 a.C. diseña la primera bomba hidráulica de tipo reciprocante. Originalmente, esta máquina fue inventada como un órgano de música, formado por dos cilindros verticales que, por medio de dos émbolos conectados por una barra puede transferir energía al líquido, que sube a una recámara de descarga localizada al centro, como se muestra en la figura 3.

Figura 3. **Bomba de tipo reciprocante de Ctesibio**



Fuente: Alotroladodelarealidad.com. *Ctesibio*. <http://www.alotroladodelarealidad.com/2014/11/ctesibio-de-alejandria/>. Consulta: 28 de mayo de 2018.

Ctesibio se dio cuenta de que el aire comprimido podía usarse como energía y, poco después, inventó este diseño de bomba de agua. Esta máquina se usó en Alejandría para acabar con los incendios que ocurrían en la ciudad, era muy eficaz porque lanzaba un chorro de agua adonde la gente no podía llegar; sin embargo, la información es confusa e incompleta.

Más adelante, Blaise Pascal, físico, entre los años 1623 y 1662 determinó el peso del aire identificándolo como unidades de presión, y se dio cuenta que

esas fuerzas podían ser aprovechadas. No fue sino hasta 1738, cuando Daniel Bernoulli lo puso en práctica al presionar el agua en bombas y molinos utilizando el principio de Bernoulli muy reconocido en hidráulica. Este fue un aporte a la historia de las bombas hidráulicas y sus principales características.

1.3. Conceptos fundamentales en bombas hidráulicas

Los estudios de abastecimiento de agua por medio de bombas hidráulicas permiten identificar conceptos fundamentales de la operación de estas máquinas, basándose en comportamientos de la naturaleza de los fluidos y del entorno en el cual se presentan. Estos temas de hidráulica son la base del diseño de bombas hidráulicas y la distribución de fluidos de forma más eficiente. En mecánica de fluidos, la energía se manifiesta como presión y velocidad. Con una variedad de aplicaciones. Los sistemas hidráulicos se utilizan en entornos industriales grandes y pequeños, en edificios, sistemas de calderas, vehículos entre otros.

En el estudio de estos equipos se debe enfatizar en conceptos físicos y mecánicos, ya que estos desarrollan la operación. La distancia, velocidad, aceleración e inercia se contemplan en la transformación de energía realizada por esta máquina. También se consideran las fuerzas centrífugas y posiciones angulares estratégicas, que son diseños estudiados con detalle en dinámica.

Los conceptos teóricos de hidráulica y de diseño de turbomaquinaria tienen puntos que convergen. El diseño geométrico junto con el mecánico y el hidráulico desarrollan un equipo hidráulico.

1.3.1. Caudal

La necesidad de medir el comportamiento físico de los fluidos, regularmente el agua, en movimiento o en reposo data de algún tiempo.

Algunos de estos cálculos matemáticos sirven para cuantificar consumos, evaluar disponibilidades del recurso hídrico y determinar la eficiencia del trabajo realizado por una bomba o turbina. En este trabajo se mencionan variables que acompañan temas de bombas hidráulicas para realizar cálculos y proyecciones.

El caudal se define como el volumen de agua que atraviesa una sección dentro de un periodo de tiempo establecido. En un modelo matemático se puede expresar esta relación con una ecuación conocida como la Ecuación de continuidad

$$Q = A \cdot V \quad \text{(Ecuación 1)}$$

Donde:

- Q : Caudal [m^3/s]
- A : Área transversal [m^2]
- V : Velocidad [m/s]

La forma que toma el principio de conservación de la masa de un fluido en movimiento es de régimen permanente, unidimensional e incompresible que en otras palabras significa que el sistema está en condiciones ideales.

1.3.2. Trabajo, energía y potencia

Muchos de los estudios matemáticos definen las magnitudes físicas.

Con frecuencia, las ecuaciones se establecen en escenarios ideales, algunas de estos son escalares que se identifican como trabajo, energía y potencia. En el abastecimiento de agua se abordarán conceptos relacionados con la transformación de energía mecánica en energía hidráulica en forma de presión.

“La energía es la capacidad de realizar una tarea, por consiguiente, es trabajo almacenado”⁴. En ingeniería, la energía es una cantidad que se puede convertir de una forma a otra, pero no puede crearse ni destruirse. Existen varias formas donde la energía aparece en la naturaleza.

La energía potencial se define como la energía debida a la altitud que posee un objeto y se puede expresar con la siguiente ecuación:

$$E_{pot} = Mgh \quad \text{(Ecuación 2)}$$

Donde:

- M : masa [kg]
- g : aceleración gravitacional [m/s^2]
- h : elevación sobre un plano de referencia convenientemente escogido [m]

⁴ SIMON, Andrew. *Hidráulica básica*. p. 15.

También se puede encontrar la energía de presión que es la energía que un fluido contiene debido a la cantidad de repulsión encerrada en un volumen determinado y se utiliza la ecuación 3.

$$E_{pr} = \frac{p}{\gamma} \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde:

- p : presión a la que se encuentra el fluido [Pa]
- γ : peso específico del fluido [N / m^3]

Y por último la energía cinética, es la energía debido a la velocidad que tiene el fluido, regularmente, se conoce como la energía del movimiento y se expresa de la siguiente manera:

$$E_c = \frac{V^2}{2g} \quad (\text{Ecuación 4})$$

Donde:

- V : velocidad media [m/s]
- g : aceleración gravitacional [m/s^2]

Por medio de estos principios también se encuentra la potencia, que se define como la rapidez con que se efectúa trabajo. Cuando se consideran las necesidades de energía eléctrica, para operar los equipos, generalmente, la potencia se expresa en kilovatios [kW].

Para mover una cantidad de líquido, en un tiempo determinado, se requiere una potencia, que se define con la siguiente ecuación:

$$P = \frac{\gamma \cdot h \cdot Q}{1\,000} \quad (\text{Ecuación 5})$$

Donde:

- P : potencia [HP]
- γ : peso específico del fluido [N / m^3]
- Q : caudal [m^3 / s]
- h : elevación sobre un plano de referencia convenientemente escogido [m]

Es importante tomar en cuenta que la potencia se expresa en caballos de fuerza hp . Un caballo de fuerza equivale a 745 w.

El bombeo es el trabajo neto realizado por un elemento que impulsa el líquido en dirección del almacenamiento. Para crear y mantener el movimiento en un fluido se debe realizar un trabajo que se define como la fuerza que se ejerce sobre un cuerpo mientras este se desplaza de un lugar a otro y se puede describir con la siguiente ecuación:

$$T_r = F \cdot d \quad (\text{Ecuación 6})$$

Donde:

- T_r : trabajo [$N \cdot m$]
- F : fuerza [N]
- d : distancia [m]

Al reacomodar las variables se define trabajo como la diferencia del cambio de energía, sin tomar en cuentas las pérdidas sobre un escenario ideal de transformación.

$$T_r = E_0 - E_f \quad (\text{Ecuación 7})$$

Donde:

- T_r : trabajo [$N \cdot m$]
- E_0 : energía de entrada [$N \cdot m$]
- E_f : energía de salida [$N \cdot m$]

Con base en los diferentes modos de describir el trabajo, sus dimensiones pueden escribirse ya sea en Newton-metro, kilovatios-hora o en cualquier otra forma que sirva para definir energía.

1.4. Características de una estación de bombeo

Luego de repasar aspectos físicos apoyados en ecuaciones matemáticas se analizan los aspectos naturales que conforman el entorno de una estación de bombeo.

En las estaciones de bombeo se encuentra operando un equipo mecánico para el abastecimiento de algún líquido. Estas máquinas pueden estar ubicadas de distintas formas para abastecer de un fluido a un sector o un equipo. En una estación se pueden encontrar cinco aspectos importantes:

- Abastecimiento del sistema

Es el principio del proceso, se puede identificar como la fuente de alimentación del fluido a bombear.

En la naturaleza se encuentran nacimientos de agua. En Guatemala son comunes en zonas volcánicas. Además, hay ríos, lagos y en sectores industriales, cisternas o depósitos de almacenamiento.

- Bombeo del sistema

Es la parte más importante de la estación, donde se encuentra la bomba hidráulica. Existen distintos métodos de bombeo con equipos mecánicos que operan de acuerdo con su entorno.

- Energía de entrada al sistema

Es la energía que se entrega a la bomba hidráulica para utilizarla en el proceso de bombeo. En los últimos años, la energía eléctrica ha sido la más utilizada para las bombas hidráulicas, sin embargo, también existen accionamientos por medio de turbinas y motores de combustión interna.

- Sistemas de control

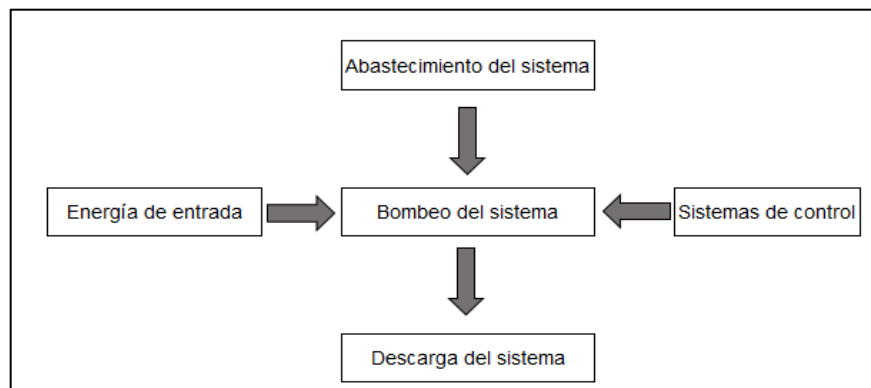
Es la parte que supervisa y dirige el proceso de bombeo, son todos los equipos como alarmas, guarda-niveles o sensores instalados para que la bomba trabaje bajo las mejores condiciones. Este sistema establece parámetros y límites para el trabajo de la bomba hidráulica por medio de una distribución de tuberías o mangueras.

- Descarga del sistema

En la parte final del bombeo se encuentra el destino del fluido que se bombea. Puede ser un depósito cerrado, abierto o cualquier otra máquina. El objetivo es satisfacer las necesidades.

En la figura 4 se presenta el esquema de las características de una estación de bombeo, que definen un concepto general del proceso del abastecimiento.

Figura 4. **Esquema de una estación de bombeo**



Fuente: elaboración propia.

1.4.1. **Parámetros del abastecimiento de agua**

Conocer los parámetros naturales es útil para buscar soluciones a problemáticas que se susciten en el campo del abastecimiento.

Si una estación de bombeo se identificara como una estación de suministro de agua, se define una red de abastecimiento de agua, como la red que facilita

el avance de este fluido desde el punto de captación hasta el punto de consumo en condiciones aptas de cantidad y sanidad.

En la naturaleza se encuentran fuentes de agua líquida que se diferencian de la siguiente manera:

- Agua de mar: constituye la parte más grande del planeta y abarca el agua de los océanos.
- Agua de manantiales: pozos naturales en regiones de alta vegetación.
- Agua subterránea: agua captada por medio de extracciones, se encuentra en el interior del suelo terrestre.
- Agua superficial: es el agua presente en ríos, lagos o arroyos.
- Agua de lluvia: es el agua que, por el ciclo hidrológico, precipita desde las nubes hacia la tierra, también conocida como agua pluvial.

El primer paso de la red de abastecimiento de agua es poner en práctica diferentes procedimientos de captación, almacenamiento y tratamiento. En los ríos se emplean canales y rejillas filtrantes, cuyo referente es el cauce y las condiciones del ecosistema. En la figura 5 se observa una captación de agua para el abastecimiento de un sector en la república de Guatemala con una entrada perpendicular a la dirección del río.

Figura 5. **Captación de agua por medio de canal con rejilla**



Fuente: elaboración propia.

Este tipo de captación mantiene el abastecimiento controlado, ya que puede aumentar debido a distintas condiciones climatológicas. Estos aspectos son relevantes cuando se invierte en una estación de bombeo. Estos aspectos se estudian en normas de criterio nacional e internacional.

1.4.2. Pruebas de funcionamiento

Entre otros aspectos importantes está el proceso de fabricación de los equipos de bombeo. Las universidades alrededor del mundo cumplen objetivos profesionales realizando estudios exhaustivos de máquinas hidráulicas.

Las pruebas de funcionamiento consisten en que las máquinas satisfagan las necesidades. Una máquina se coloca en escenarios de riesgo donde el equipo puede fallar debido a los límites del diseño y de materiales.

La figura 6 presenta un operador realizando una prueba de funcionamiento. Se puede identificar un motor eléctrico más potente conectado a una bomba para realizar pruebas de velocidad, torque y presión. Esta técnica se utiliza en laboratorios para identificar límites máximos de operación en equipos de bombeo.

Figura 6. **Prueba de funcionamiento en laboratorio**



Fuente: Hyteco. *Prueba de diagnóstico*. <http://www.hyteco.com.au/testing-diagnostic>. Consulta: 13 de septiembre de 2018.

Estas evaluaciones identifican un equipo para utilizarlo adecuadamente y entender el método de trabajo de las piezas mecánicas. La seguridad de todo el grupo de personas que trabaja para el abastecimiento de agua es una prioridad ya que deben permanecer todo el tiempo fuera de peligro.

Todos los equipos son evaluados para comprobar que estos funcionen y cumplan con los objetivos por los cuales fueron fabricados. Los aspectos más destacados a ser evaluados son:

- Velocidad de trabajo

- Torque en ejes (máximo y mínimo)
- Temperatura de operación (Incluyendo ensayos debajo de los 10 °C)
- Presión (succión y descarga)
- Caudal máximo y mínimo
- Vibraciones mecánicas
- Volumen del sonido de trabajo
- Voltaje y corriente eléctrica

En la información que se puede obtener de los estándares internacionales para estas evaluaciones, se reúnen normas que, conforme a estas instituciones, ayudan a que las cosas funcionen. La realización de ensayos destructivos y no destructivos determinan los límites de operación y situaciones peligrosas. La humanidad ha creado institutos, asociaciones, centros de estudios para proporcionar especificaciones de clase mundial a servicios, productos y sistemas, con el objetivo de garantizar la calidad, seguridad y la eficiencia.

En ingeniería, con estas regularizaciones se obtiene información fundamental de procesos industriales, también se utilizan con frecuencia para la comercialización en el mercado de productos tecnológicos.

Algunos de los aspectos que resaltan en el tema de abastecimiento de aguas, que se relacionan con garantías, son las certificaciones que extiende el *Hydraulic Institute*.

Esta institución cuenta con un programa de aprobación de laboratorios de pruebas de bombas (P.T.L.A.P.) donde especifican los procedimientos de pruebas de funcionamiento a equipos hidráulicos. El Instituto de Hidráulica y otras organizaciones como la Organización Internacional de Normalización (I.S.O.) Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (A.S.T.M.) Instituto Americano

Nacional de Normas (A.N.S.I.) entre otros; proporcionan las siguientes herramientas que ayudan a comprender técnicas utilizadas para el abastecimiento.

Algunas de las herramientas proporcionadas por estas instituciones para las instalaciones de equipos hidráulicos son los siguientes documentos:

- ANSI/HI 9.6.6-2009. Bombas rotodinámicas para el bombeo por tuberías.
- ASME B31.3-2016. Proceso de tuberías.
- ISO 15874-1. Sistemas de tuberías de plástico para instalaciones de agua caliente y fría - Polipropileno (PP).
- ISO 3661:1977. Dimensiones de la placa base y de la instalación de bombas centrífugas con succión negativa.
- SAE J2593_2015. Reporte de información para la instalación de conductores y conectores de fluidos.

Entre los documentos que se destacan para la selección de materiales están:

- ASTM A589. Especificación estándar para tubería de pozo de agua de acero al carbono sin soldadura y soldada.
- ASTM A961-01. Especificaciones estándar de requerimientos comunes en bridas de acero, accesorios forjados, válvulas y piezas para aplicaciones de tuberías.
- SAE TS260. Listado de especificaciones de materiales metálicos alternativos y estándares autorizados únicamente para uso en piezas estándar.

Las normas que sobresalen en evaluación de diseño en máquinas hidráulicas se encuentran:

- ANSI/HI 14.6-2016. Bombas rotodinámicas pruebas de aceptación de rendimiento hidráulico.
- ASTM A822. Especificación estándar para tubos de acero al carbono sin soldadura para el servicio del sistema hidráulico.
- ISO 3662:1976. Potencia hidráulica de fluidos, bombas y motores, desplazamientos geométricos.

El mantenimiento de los equipos también se apoya en normas de distintas instituciones entre las cuales resaltan las siguientes:

- ASTM E1488. Guía estándar de procedimientos estadísticos para usar en el desarrollo y aplicación de métodos de prueba.
- ISO 16330:2003. Bombas de desplazamiento positivo, bombas reciprocantes: requisitos técnicos y unidades.
- SAE J745_200906. Procedimiento para prueba de potencia en bomba hidráulica.
- SAE JA1012_201108. Guía estándar para el mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM).

Y, por último, los aspectos de calidad que son muy utilizados por los fabricantes para su negociación en el comercio mundial son las siguientes:

- ASTM A663. Especificación estándar para barras de acero, carbono, calidad comercial, propiedades mecánicas.
- DIN 24289-1:1987. Bombas de desplazamiento alternativo y unidades de bombeo; requisitos y pruebas.

- ISO 5198:1987. Bombas centrífugas de flujo mixto y axial, código de pruebas de rendimiento hidráulico, grado de precisión.
- SAE AMS2374E. Control de calidad de muestras y pruebas del acero, aleaciones resistentes a la corrosión y al calor.

Existen regulaciones son distintas en cada uno de los países. En Guatemala es común basar los procedimientos de acuerdo con normas estadounidenses que son frecuentemente utilizadas en Latinoamérica. En los últimos años se han desarrollado softwares para simular estaciones de bombeo que permiten observar el comportamiento del sistema de abastecimiento y así prever posibles condiciones críticas de trabajo.

1.5. Reseña del abastecimiento de agua en finca Sabana Grande, Escuintla, Guatemala

Las estaciones de bombeo se instalan con referencia a estudios realizados del recurso hídrico y del equipo hidráulico. Con estos parámetros se identifican lugares estratégicos para la instalación de máquinas hidráulicas.

En ecología se estudia que el relieve volcánico en Guatemala permite que el ciclo hidrológico concluya sobre el cono de los volcanes y se infiltren las nubes en la parte superior, para luego precipitarse y comenzar el ciclo como un nacimiento de agua.

En el caso de la ubicación de la finca Sabana Grande, que se encuentra en el kilómetro 72, en la aldea El Rodeo del departamento de Escuintla, República de Guatemala. Esta finca cuenta con gran cantidad de nacimientos de agua debido al volcán de Fuego que se encuentra a poca distancia.

Sabana Grande es una finca propiedad de la Universidad de San Carlos de Guatemala, desde 1957. En la actualidad la administra la Facultad de Agronomía. Se utiliza para docencia y producción de caña de azúcar, café y bambú. Tiene plantaciones forestales de matiliguete, gmelina Arborea y teca, así como bosques de galería compuestos por árboles de especies nativas. Posee un centro de producción y capacitación acuícola que, con el apoyo de la Misión Técnica de la República de Taiwán, realiza prácticas sobre la crianza de peces.

Este inmueble tiene ríos de agua dulce que son fuentes de energía y áreas de diversión, ya que existe un centro recreativo con habitaciones y bungalos alrededor de pozas naturales. Dada la cantidad de agua dulce que suministra la finca, su captación es fácil, por ello, es una zona apta para la instalación de equipos de bombeo.

Las técnicas de abastecimiento de agua en esta finca eran muy antiguas. Los habitantes recurrían a transportar agua en tinacos, toneles y cubetas desde el río hasta sus hogares.

Los proyectos de epesistas de la Universidad de San Carlos ayudaron a que los pobladores, en 2002 contaran con otros sistemas de bombeo. Aún se conservan bombas hidráulicas abandonadas con accionamiento por medio de motores de combustión interna que fueron utilizados en esta zona.

La población de la finca está constituida por los trabajadores que, con sus familias, viven dentro de la unidad, el personal administrativo y los epesistas recibieron una donación e instalaron un equipo de bombeo marca Rochfer MS-89 dentro del Centro de producción y capacitación acuícola. En la figura 7 se muestra el ingreso a la finca donde se encuentra ubicado este equipo de bombeo.

Figura 7. Imagen del ingreso a la finca Sabana Grande



Fuente: Fausac. *Unidad docente productiva Sabana Grande*.
http://fausac.gt/?page_id=150. Consulta: 20 de septiembre de 2018.

2. BOMBAS HIDRÁULICAS

2.1. Definición

Las bombas hidráulicas forman parte de la familia más antigua de máquinas-herramientas inventadas por el ser humano. Fueron diseñadas con el propósito de controlar los líquidos. Anteriormente, se identificaban conceptos básicos de hidráulica y dinámica que permiten definir la bomba hidráulica como un equipo fabricado para transformar energía. Recibe energía mecánica, o de movimiento, que puede proceder de una turbina, un motor eléctrico, térmico, entre otros. Y la transforma en energía que un fluido adquiere en forma de presión, de posición o velocidad.

Un ejemplo lo constituye una bomba hidráulica instalada en un sótano de un alto edificio; recibe energía de un motor eléctrico para trasladar el fluido desde su posición hacia niveles superiores que exigen agua de distintas formas.

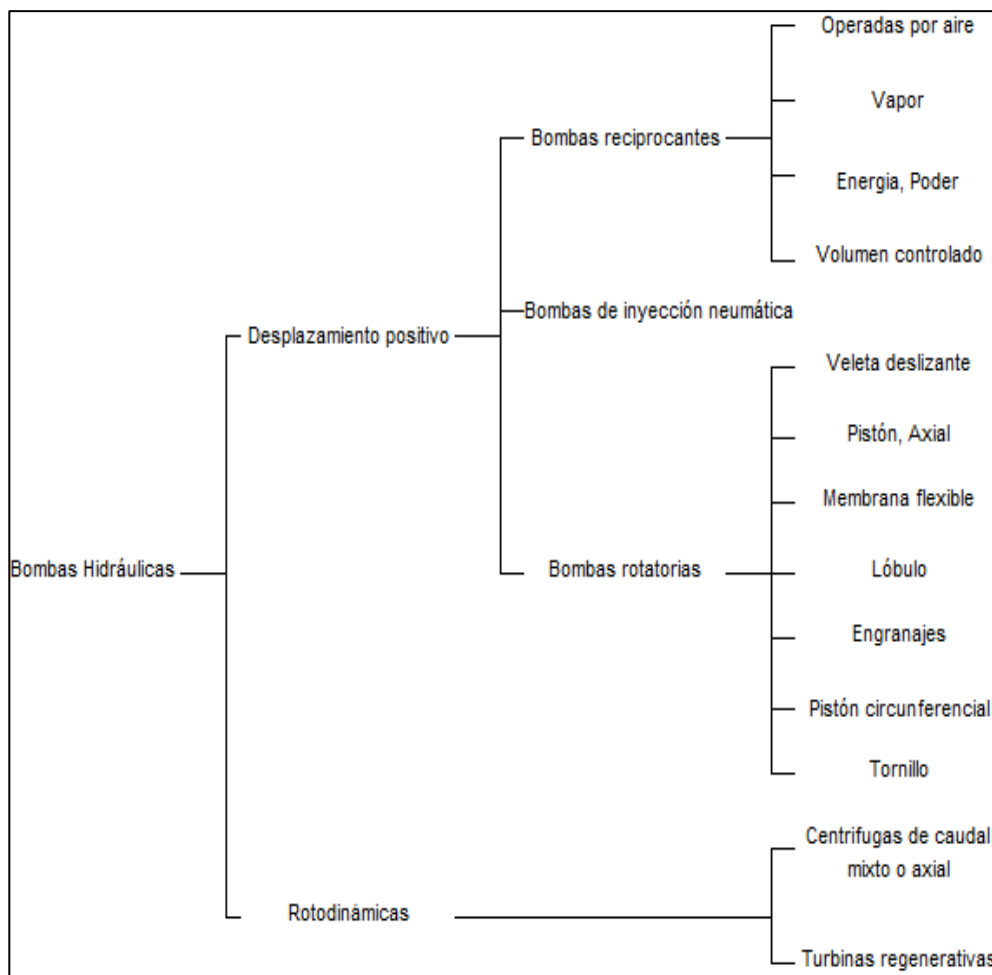
Las diferentes actividades que se llevan a cabo ahora dieron lugar a la creación de distintos tipos de bombas hidráulicas que trabajan bajo diferentes ambientes, por lo cual se pueden realizar clasificaciones para un mejor entendimiento de los tipos de mecanismos empleados.

2.2. Clasificación de bombas hidráulicas según su funcionamiento

En la selección de equipos de bombeo se toman en cuenta todas las características que identifican cada una de estas máquinas, se pueden asociar unas con otras para una comparación más adecuada.

En este trabajo se utiliza la clasificación de bombas hidráulicas propuesta por el *Hydraulic Institute*, ubicado en Nueva Jersey, Estados Unidos. Esta entidad está formada por profesionales que han estudiado el funcionamiento de las bombas con mucho detalle, y clasifica los equipos de bombeo parecido al esquema mostrado en la figura 8.

Figura 8. **Clasificación de bombas hidráulicas según su funcionamiento**



Fuente: Instituto Hidráulico. *Extracción de esquema completo.* www.hydraulicinstitute.com.

Consulta: 12 de septiembre de 2018.

La clasificación anterior identifica la gran diversidad de equipos de bombeo que existen. Es importante tomar en cuenta las viscosidades cinemática/dinámica y densidades de los fluidos, dependiendo del trabajo para el cual se necesite tomar el control de un flujo de una forma adecuada, responsable y eficiente.

2.2.1. Bombas de tipo reciprocante

Según sus características principales, las bombas de tipo reciprocante son de la clasificación de bombas de desplazamiento positivo. Esta bomba envía el fluido y le impide regresar. Regularmente se conecta a un conjunto cilindro-pistón con válvulas o cheques de retención para el llenado y la evacuación en una dirección deseada. Existen cuatro tipos de bombas reciprocantes identificadas según su accionamiento o fluido de trabajo, en este reacondicionamiento se estudian detalles de las bombas de tipo reciprocante con volumen controlado para obtener de esta forma información del funcionamiento.

Las bombas hidráulicas de tipo reciprocante son ideales para líquidos limpios o con bajos índices de viscosidad, también son utilizadas para altas presiones y caudales pequeños. La velocidad de operación es una característica que determina el caudal de este tipo de bomba, ya que regularmente el volumen de líquido a bombear está dentro de un diafragma con dimensiones conocidas. En la figura 9 se identifica una bomba hidráulica de tipo reciprocante. Este tipo de bomba se diferencia de las demás, pues su motor eléctrico está montado en la parte superior, transmitiendo potencia por medio del eje a la cámara de engranes que conectan, por medio de un dado, con el émbolo en posición perpendicular al eje del motor.

Figura 9. **Bomba de tipo recíprocante**



Fuente: DEPAMU. *Productos*. <http://www.depamupumps.com>. Consulta: 30 de agosto de 2018.

Este equipo de bombeo presenta algunas ventajas para controlar la velocidad del caudal; sin embargo, tiene desventajas tomando en cuenta que las innovaciones se han realizado a bombas centrífugas.

2.2.2. Bombas rotatorias

Dentro de la misma rama de estos equipos están las bombas rotatorias, con muchas similitudes entre sí. Esta bomba consiste en una cámara que contiene engranajes, levas, tornillos, paletas, émbolos o elementos similares accionados por la rotación relativa del eje de transmisión. No tiene cheques de retención de entrada ni de salida. Estas se caracterizan por sus espacios libres que transportan el fluido a uno más estrecho. En la figura 10 se puede identificar una bomba rotatoria.

Figura 10. **Bomba rotatoria**



Fuente: Pumps. *Bomba rotatoria*. <http://encyclopedia.che.engin.umich.edu/Pages/TransportStorage/Pumps/Pumps.html> Consulta: 30 de agosto de 2018.

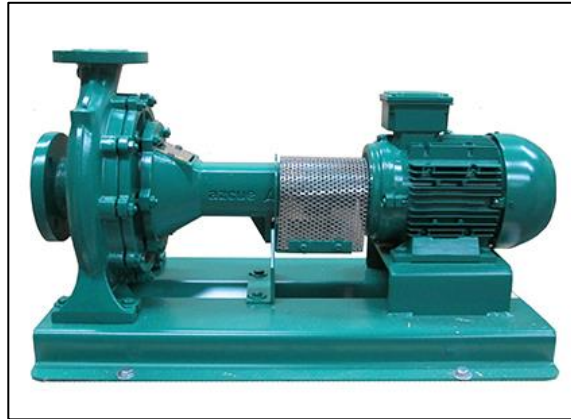
El funcionamiento se inicia cuando el líquido es movido por una pieza en rotación en el interior de la bomba que lo traslada transfiriéndole energía, de un lado hacia la descarga del equipo. Las bombas rotatorias tienen la ventaja de ser compactas para un mismo caudal y pueden trabajar con líquidos más viscosos.

2.2.3. Bombas centrífugas

Estos son los equipos de bombeo más comunes que existen en Guatemala, debido a que se encuentran con facilidad en cualquier domicilio en la ciudad. Usan la rotación de uno o más impulsores para mover el fluido, comúnmente, tienen entrada al centro y está conectada con el impulsor que gira a alta velocidad.

El fluido acelera radialmente hacia afuera y se crea un vacío en el centro de los impulsores, que continuamente atrae más fluido a la bomba. En la figura 11 se observa una bomba centrífuga con motor eléctrico.

Figura 11. **Bomba centrífuga con motor eléctrico**



Fuente: Castlepumps. *Bombas centrífugas*. <https://www.castlepumps.com/pumps/pump/azcue-an-atex-long-coupled-centrifugal-pump>. Consulta: 30 de agosto de 2018.

La energía en el impulsor de las bombas centrífugas transfiere la energía cinética de acuerdo con el teorema de Bernoulli. La energía transferida al líquido corresponde a la velocidad en el borde o la punta de la paleta del impulsor. Cuanto más rápido gira o más grande es el impulsor, mayor será la velocidad de la energía transferida al líquido.

2.2.4. Bombas sumergibles

Entre las diferentes clasificaciones de bombas hidráulicas están las bombas sumergibles. Estas se distinguen dentro de las demás porque no succionan el fluido; más bien, lo impulsan hacia una dirección establecida.

Como su nombre lo indica, permanece sumergida, comúnmente, en agua y son instaladas herméticamente junto con su motor. El líquido es empujado por el impulsor donde tiene lugar una conversión de energía cinética a presión. Este es

el principal mecanismo operacional de las bombas de flujo radial y mixto, que es muy parecida a la bomba centrífuga.

El caudal es constante por lo cual también se clasifica como una bomba rotodinámica. En la figura 12 se puede apreciar una bomba tipo sumergible.

Figura 12. **Bomba sumergible**



Fuente: GemmeCotti. *Bombas sumergibles*. https://www.justdial.com/Amritsar/GANGA-Submersible-PUMPS/0183PX183-X183-171016174023-K5R9_BZDET. Consulta: 30 de agosto de 2018.

En la operación de estos equipos es común que se encuentren conos de abatimiento debido a la capilaridad del agua que forma este cambio cerca del eje de la bomba. Estas pueden impulsar aguas subterráneas y son instaladas luego de estudios hídricos realizados al suelo.

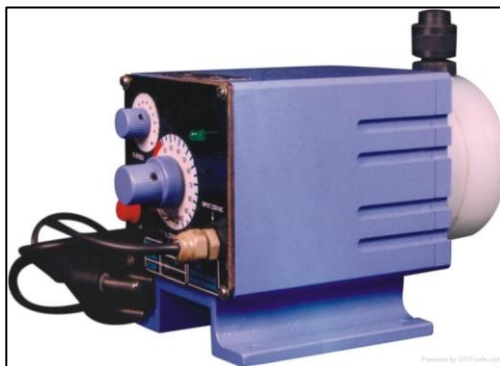
2.2.5. Bombas especiales

El tema de bombas hidráulicas es extenso y no se detalla en este trabajo; sin embargo, se mencionan los equipos que se pueden definir como bombas especiales. Algunas de estas son las bombas electromagnéticas y las bombas petroleras.

Esta clase de máquinas forman parte de una innovación industrial mundial por sus mecanismos son de avanzada tecnología resguardando los detalles más pequeños en el bombeo de fluidos. Existen laboratorios exclusivos en Europa y otros continentes, donde se realizan pruebas bajo los mejores estándares de calidad e instrumentación para realizar equipos con mejores características y continuar innovando en la rama de la hidráulica.

Estos equipos se especializan en el bombeo de un fluido en específico. En la figura 13 se muestra una bomba electromagnética que no tiene partes móviles. Esta se utiliza para el bombeo de fluidos metálicos que incluyen el aluminio, magnesio, potasio, sodio y sus aleaciones.

Figura 13. **Bomba electromagnética**



Fuente: Diytrade. *Bomba electromagnética*. https://www.diytrade.com/china/pd/3837447/Electromagnetic_Pumps.html DIY trade Consulta: 13 de septiembre de 2018.

Con una fuente de corriente alterna que alimenta un motor de inducción, la bomba electromagnética desarrolla un campo magnético. La corriente inducida tiene su propio campo magnético, que reaccionan juntos y obliga a las partículas de metal líquido a moverse en dirección de la descarga. La presión que desarrolla es aproximadamente de 35 *psi* y opera con temperaturas hasta los 260 °C.

En otros territorios también se realizan extracciones de petróleo donde el tipo de maquinaria trabaja con altas presiones. Este tipo de bombeo tiene cualidades distintas en densidad y profundidad en comparación de las bombas descritas anteriormente. En la figura 14 se observa una unidad de bombeo de viga oscilante que trabaja aproximadamente a 2 700 *psi*. La industria petrolera clasifica sus bombas en ocho categorías: perforación, producción, refinería, fracturación, pozos submarinos, transporte, portátiles y de proporción.

Figura 14. **Unidad de bombeo de viga oscilante**



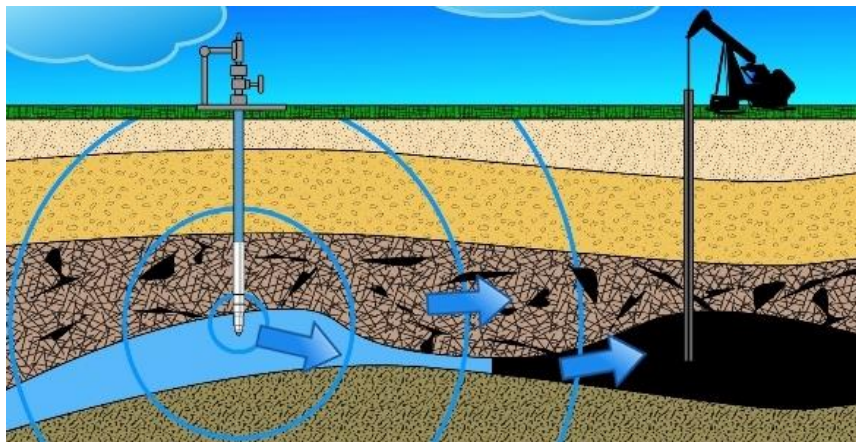
Fuente: Aljazeera. *Unidad de bombeo de viga oscilante.*

<http://www.aljazeera.net/news/presstour/2017/11/27>. Consulta: 13 de septiembre de 2018.

La erosión del suelo es grave y los cambios son notorios en el calentamiento global. El proceso de extracción de petróleo es realizado por bombas que trabajan en serie. La operación en serie puede aumentar la potencia hidráulica en la actividad de bombeo. En la figura 15 se muestra el proceso de bombeo donde la bomba de viga oscilante trabaja junto con otra bomba hidráulica esto provoca mayor erosión en los suelos al ingresar material externo para impulsar el crudo hacia la superficie.

Según la cadena CNN en su transmisión del 10 de septiembre de 2018, Estados Unidos indicó que el bombeo se estaba revindicando para utilizar dióxido de carbono (CO_2), en lugar de agua como fluido externo.

Figura 15. **Extracción de petróleo con dos bombas hidráulicas**



Fuente: Neftegaz. *Extracción de petróleo*. <https://neftgaz.ru/analisis/view/8491-Balansiruyuschiy-faktor>. Consulta: 13 de septiembre de 2018.

Las máquinas continuarán su innovación y sus mecanismos serán cada vez más interesantes, tomando en cuenta los cambios que se siguen obteniendo en

la industria año con año. En este trabajo de graduación se seleccionaron las que se consideraron más importantes para el apoyo del proyecto.

2.3. Descripción del funcionamiento mecánico

Las bombas hidráulicas contienen piezas mecánicas que trabajan juntas para bombear un fluido. Estas piezas logran los movimientos necesarios para realizar una tarea.

El funcionamiento mecánico de este trabajo explora la cinemática de maquinaria, con respecto a mecanismos de diseño para equipos de bombeo. La mayoría de los sistemas mecánicos tienen que bosquejarse para considerar a fondo la sincronización de movimientos que se llevan a cabo al momento del bombeo. Estos comportamientos son ejemplificados a detalle en diseño de máquinas.

Anteriormente, se identificaban los equipos de bombeo clasificándolos de acuerdo con sus características principales. Las bombas hidráulicas pueden ser de desplazamiento positivo o rotodinámicas, con distintos mecanismos que permiten controlar un fluido. En este trabajo se buscaron los temas principales para completar un marco teórico enfocado en la bomba Rochfer MS-89.

2.3.1. Combinación de mecanismos

La combinación de mecanismos estudia la manera en que se mueven los cuerpos rígidos o elásticos.

“El estudio de mecanismos se centra en la geometría de los movimientos y transferencia de fuerzas, proporcionando bases matemáticas para estas uniones.

Las posiciones relativas de las piezas mecánicas en cada uno de los movimientos permiten su sincronización”⁵.

El estudio de diseño de máquinas, mecanismos y materiales de ingeniería permite adecuar métodos para la transmisión de movimientos. Existen métodos por contacto directo, por medio de un eslabón intermedio o biela y un conector flexible (fajas). Esta técnica se desarrolla en traslación rectilínea o curvilínea definiendo la rotación como un movimiento muy utilizado en mecánica.

El estudio de este tema facilita la comparación de mecanismos de diferentes clases para seleccionar los más adecuados. Entre estos sistemas están la biela-manivela, discos excéntricos y yugo escocés.

2.3.1.1. Mecanismo biela-manivela

Este es un mecanismo básico, consta de una manivela trabajando con movimiento circular por medio de una biela restringida, que transforma este movimiento a forma lineal realizando una carrera de una posición a otra. En un movimiento uniforme la manivela conserva su velocidad angular mientras que la biela se mueve de manera desigual. La velocidad de la biela disminuye al momento de acercarse a un punto muerto o punto de velocidad cero, donde se produce un cambio de dirección en forma lineal.

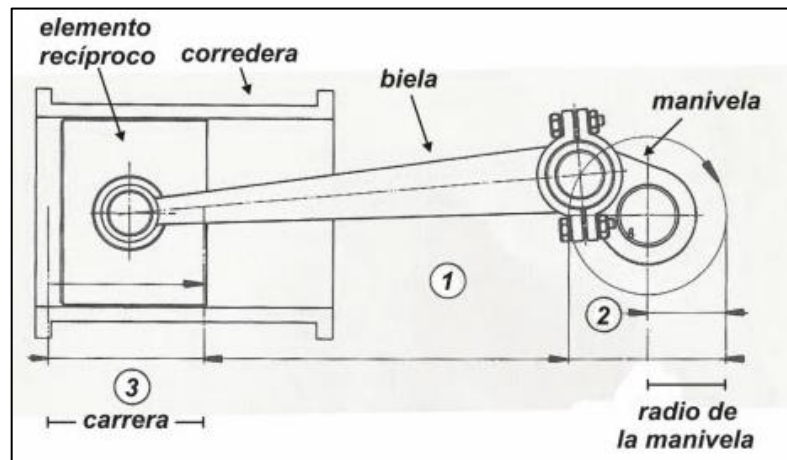
La aplicación más conocida de manivelas es la conversión de un empuje a un movimiento giratorio de un motor de combustión interna.

El elemento de empuje es el pistón que está situado en el cilindro. Esto transmite a través de la biela su movimiento longitudinal hacia el cigüeñal en

⁵ MYSZKA, David. *Máquinas y mecanismos*. p. 14.

forma rotacional. En la figura 16 se puede identificar un mecanismo de biela-manivela utilizado en un motor de combustión interna identificando sus tres partes y sus líneas de corredera.

Figura 16. **Mecanismo biela-manivela**



Fuente: Google. *Transmisión por mecanismo de biela manivela.*

[https://sites.google.com/site/358maquinas/transmision-por-mecanismo-de-biela-manivela.](https://sites.google.com/site/358maquinas/transmision-por-mecanismo-de-biela-manivela)

Consulta: 14 de octubre de 2018.

Este mecanismo cumple como principal función la de convertir un movimiento rotativo a rectilíneo alternativo, es decir de ida y vuelta.

2.3.1.2. Discos excéntricos

Lo que concierne a la movilidad de piezas mecánicas también abarcan elementos como los discos excéntricos.

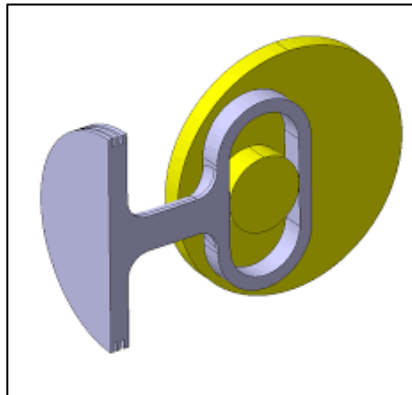
En muchas máquinas la longitud requerida de una manivela puede ser muy corta que no permite ser acoplada en el espacio que se necesita, y es muy común

que se reemplace con un disco excéntrico. Este término define que un disco excéntrico es un mecanismo formado por un cuerpo rígido en forma circular (disco), que posee un eje cilíndrico colocado fuera del centro o alejado del centro de giro.

Los discos excéntricos sirven simultáneamente como volantes y, por lo tanto, deben ser diseñados adecuadamente, ya que debido a su separación del eje de giro es común encontrarse con momentos vectoriales debido al brazo que forma la distancia desde el centro.

En la figura 17 se observa un disco de color amarillo donde se identifica el segundo eje excéntrico para transformar el movimiento parecido a la del mecanismo biela-manivela.

Figura 17. **Mecanismo de disco excéntrico**



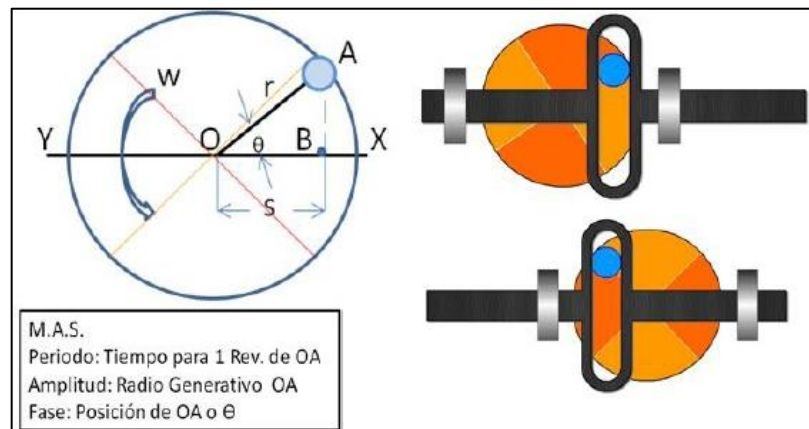
Fuente: HPM. *El yugo escocés*. <https://www.highpowermedia.com/blog/3888/the-scotch-yoke>.
Consulta: 14 de octubre de 2018.

2.3.1.3. Mecanismo de yugo escocés

Entre la combinación de mecanismos también se utilizan dos o más piezas que trabajen dependientemente. El mecanismo de yugo escocés lleva este nombre debido a su descubrimiento en Escocia. Este mecanismo proporciona un movimiento armónico simple, y es posible que haya sido derivado de los estudios de discos excéntricos. Su primera aplicación fue en trenes de transporte y convierte el movimiento de rotación en un movimiento lineal o viceversa.

Como se indica en la figura 18, el eje excéntrico de un disco giratorio está insertado en la ranura de un yugo corredizo (guías). El movimiento de entrada y de salida del yugo escocés es muy parecido al mecanismo de biela-manivela, lo que lo identifica es el movimiento deslizante lineal que es una senoidal pura al momento de ejemplificarlo en una gráfica de movimiento.

Figura 18. Mecanismo de yugo escocés



Fuente: Documents. *Mecanismo*. <https://vdocuments.mx/unidad-1-mecanismos.html>. Consulta: 14 de octubre de 2018.

Este mecanismo cuenta con dos posiciones donde su movimiento lineal tiene una velocidad de cero. Debido a los límites del tamaño del disco giratorio permite realizar una carrera proporcional al diámetro de excentricidad que produce una desaceleración del movimiento lineal para lograr el cambio de dirección. El yugo escocés es utilizado en bombas de tipo recíprocante debido a su movimiento repetitivo se puede encontrar en bombas hidráulicas de volumen controlado.

2.3.2. Lubricación

Una máquina con piezas móviles comúnmente trabaja con algún tipo de lubricación. Uno de los aspectos del funcionamiento mecánico es respaldado por aceites y grasas que permiten que la maquinaria opere en buenas condiciones. Las bombas hidráulicas que tienen piezas móviles son lubricadas dependiendo su función, velocidad y la carga a soportar por cada elemento.

Los lubricantes se definen como el conjunto de fluidos, grasas y aceites que se utilizan para disminuir el desgaste de los materiales al tiempo que reducen la unión y la fricción cuando las piezas están en contacto. También puede tener la función de transmitir fuerzas, transportar partículas extrañas o calentar/enfriar las superficies. La propiedad de reducir la fricción se conoce como lubricidad. Normalmente, los lubricantes contienen un 90 % de aceite base derivado de fracciones de petróleo y menos del 10 % de aditivos. Durante un movimiento, se dice que se obtiene una fricción debido a la irregularidad del contacto entre superficies.

Entre las propiedades de los lubricantes se encuentra la viscosidad que es la medida de la capacidad del lubricante para resistir la tensión cortante.

Los lubricantes contienen una resistencia interna que se manifiesta cuando una porción de un líquido se mueve en relación con otra porción. Los aditivos brindan menor fricción y desgaste, mayor viscosidad, mejor índice de viscosidad, resistencia a la corrosión y oxidación, envejecimiento o contaminación.

El *Lubrication Institute* provee documentos importantes de la interacción de los lubricantes en la maquinaria. En este tema se abarcan detalles de lubricación recomendados por esta organización para bombas hidráulicas.

Los aceites lubricantes en sistemas hidráulicos se exponen a emulsiones provocadas por sellos o retenedores que necesitan ser atendidos en los programas de mantenimiento, por lo cual el estudio de lubricación forma parte de un buen funcionamiento mecánico.

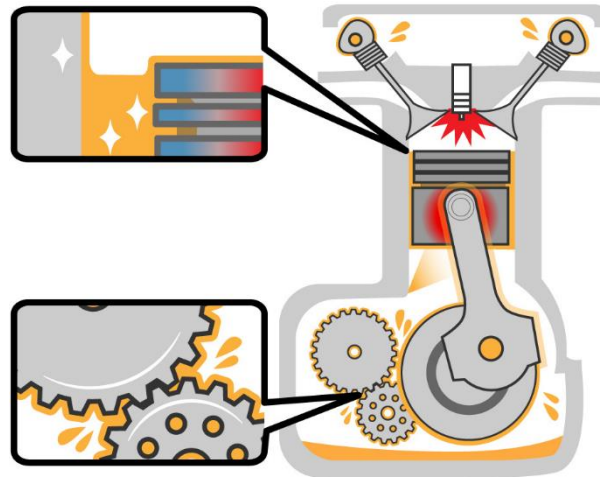
Los sistemas de lubricación se pueden clasificar de la siguiente forma:

- Lubricación por goteo
- Lubricación por mecha
- Lubricación por anillo
- Lubricación por medio de bomba hidráulica
- Lubricación por inmersión
- Lubricación por salpicadura

El método de lubricación por salpicadura se utiliza para ejes que giran con altas velocidades ya que el movimiento veloz permite que se salpique el aceite lubricante en todo el sistema. Este tipo de lubricación sumerge una parte de la pieza en un periodo del movimiento, logrando lubricar el contacto de los elementos periódicamente.

En la figura 19 se muestra el ejemplo de un motor de combustión interna señalizando las superficies de contacto entre materiales que son lubricados por medio de una película de lubricante. El sistema de lubricación de un motor de combustión interna se apoya por medio de una bomba hidráulica y por salpicadura.

Figura 19. **Lubricación por salpicadura de un MCI**



Fuente: NAPS. *Lubricación por salpicadura de un MCI*. <https://www.naps-jp.com/web/pit/kochin.html>. Consulta: 20 de octubre de 2018.

El punto más importante por considerar, cuando se elige el método de lubricar con aceite, es la seguridad de ofrecer el suministro del mismo. La seguridad exige que en todo momento exista abundante cantidad de aceite que puede lograrse mediante los siguientes métodos de lubricación

- Método de lubricación de un solo paso: es el antiguo de lubricación donde el lubricante se desecha luego de ser aplicado a la pieza una sola vez.

- Método de lubricación recirculado: es en el que el aceite lubricante que se aplica una vez se vuelve a utilizar de nuevo por medio de circulación por gravedad o a presión completa.

Durante un proceso de bombeo de agua, los lubricantes sirven como indicadores para un mantenimiento predictivo.

Los lubricantes son la solución para la conservación de la maquinaria y forma parte de los aspectos a estudiar y administrar dentro de un trabajo con bombas hidráulicas.

2.3.3. Cilindros de simple efecto

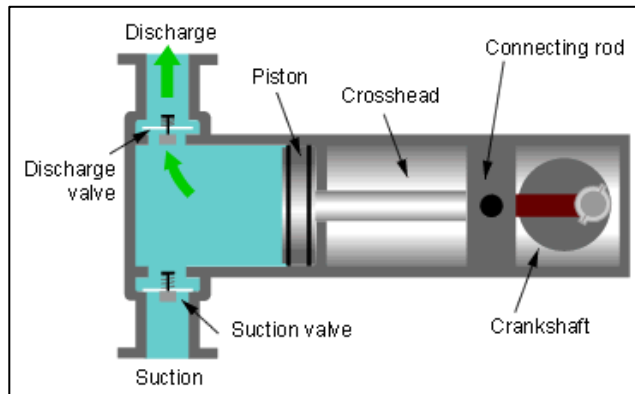
En el funcionamiento mecánico también se encuentran los cilindros hidráulicos. Los conjuntos cilindro-pistón pueden clasificarse de una manera general en dos tipos:

- Cilindros hidráulicos de simple efecto
- Cilindros hidráulicos de doble efecto

Los cilindros hidráulicos de simple efecto son aquellos que la carrera genera únicamente una acción en el fluido. En diferencia a los cilindros hidráulicos de doble efecto que realizan dos acciones en el mismo instante.

El diseño del cilindro es circular y hermético, su funcionamiento es el de succionar y empujar el fluido de una forma recíproca. En la figura 20 se observa un cilindro de simple efecto que, por medio de cheques, sincroniza el bombeo en una dirección establecida.

Figura 20. **Cilindro de simple efecto**



Fuente: Blogspot. *Cilindro de simple efecto*. <https://artomoroserviceac.blogspot.com/2016/03/pompa-menurut-prinsip-dan-cara-kerjanya.html>. Consulta: 21 de noviembre de 2018.

Este tipo de elemento presenta un volumen controlado, ya que al momento que el pistón se encuentra en su punto muerto inferior limita la capacidad máxima de la cámara que contiene el fluido, y al realizar la descarga completa el pistón llega hasta su punto muerto superior. Estas posiciones pueden ser utilizadas para el cálculo del gasto hidráulico tomando en cuenta la posición del vástago y la velocidad de giro.

Existen ecuaciones matemáticas para calcular el esfuerzo de un pistón en el cilindro hidráulico de simple efecto. Estas fuerzas también se accionan en las paredes del cilindro. La carcasa del cilindro debe soportar altas presiones, más presión que la que debe ejercer un pistón para el bombeo de un fluido hidráulico.

2.4. Accesorios de distribución y control

Entre las características de las estaciones de bombeo que se ejemplificaban en el capítulo anterior, se pueden encontrar los accesorios de distribución y control que dependen de las bombas hidráulicas. Los accesorios forman parte fundamental de una bomba hidráulica ya que dirigen la operación de forma automática o manual. Los accesorios de distribución y control hidráulico pueden clasificarse en cinco clases.

- Tuberías o mangueras

Se le llama así al conjunto formado por conductos de sección circular hechos de distintos materiales. De acuerdo con su función, la red de distribución puede dividirse en red primaria y red secundaria. La tubería que conduce el flujo desde el tanque hasta el punto donde inicia su distribución se le conoce como línea de alimentación y la encargada de repartir el fluido se le llama línea de distribución.

- Válvulas

Son los accesorios que permite controlar la presión de un circuito, iniciar o parar un movimiento, controlar la dirección del flujo o regular de forma determinada el caudal en un sistema.

- Accesorios de control

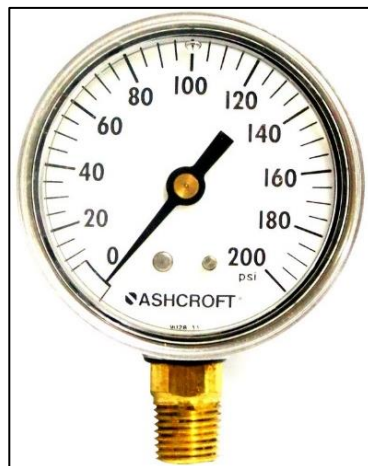
Esta clase de accesorios también controlan procesos en las bombas hidráulicas que por medios eléctricos o mecánicos regulan la velocidad, torque, fuerzas y vibraciones en una bomba hidráulica.

Accesorios como guarda-niveles, coladeras o dispensadores de fluidos son también accesorios de control.

- Accesorios de medición

La medición abarca todo tipo de comparación matemática con un parámetro establecido. Por ejemplo, los manómetros y registradores de caudal permiten evaluar y operar la maquinaria hidráulica. En la figura 21 se ilustra un manómetro de campo, un accesorio indispensable en la distribución hidráulica.

Figura 21. **Manómetro de campo**



Fuente: Vidri. *Tecnología*. <https://www.vidri.com/sv/producto/31813/Man%C3%B3metro-de-200-psi-21-2-pulgadas-con-glicerina.html>. Consulta: 25 de noviembre de 2018.

- Piezas especiales

Son los accesorios que se emplean para llevar a cabo ramificaciones, intersecciones, cambios de dirección, modificaciones de diámetro, entre otros.

El objetivo de una bomba hidráulica es fácil de cumplir con los accesorios de distribución y control correctos. El bombeo de fluidos es un tema que cuenta con muchas fuentes bibliográficas que explican a detalle las funciones de nuevos elementos que se fabrican en estos años para el abastecimiento.

2.5. Succión de entrada

En una bomba hidráulica el proceso de succión se realiza en la tubería de entrada. Esta tubería entrega el fluido a bombearse por lo cual debe estar dimensionada adecuadamente. La succión de entrada presenta presiones manométricas negativas debido al vacío y el comportamiento del flujo. Una tubería de succión mal dimensionada puede ocasionar vibraciones, inestabilidad hidráulica o puede que no tenga la capacidad de abastecer completamente a la bomba afectando su eficiencia. La tubería de succión debe ser de diámetro superior o igual a la tubería de descarga.

El proceso de succión en una bomba hidráulica es identificado con las siglas N.P.S.H. que significa Nivel Positivo de Succión a la Cabeza. El N.P.S.H es una cantidad utilizada en el análisis de cavitación de una bomba hidráulica. La diferencia de presiones permite identificar si la bomba es capaz de succionar el agua. El N.P.S.H. se puede encontrar de dos maneras: El NPSH requerido y el NPSH disponible.

En el proceso de succión también intervienen algunos accesorios que permiten la conservación del equipo de bombeo. Entre los aspectos importantes a resaltar están: el cheque vertical y la coladera o pichacha. El primero permite que el sistema pueda cebarse; y la última, es el sistema de filtrado que impide que materiales indeseados entren a la bomba hidráulica.

Entre las formas comunes de instalación de tuberías de succiones también pueden presentarse casos que se formen bolsas de aire. Es importante purgar la bomba eh instalar la tubería, tomando en cuenta el nivel de la tarima, para evitar que las burbujas lleguen hasta el impulsor.

Con un nivel bajo del líquido en el tanque de alimentación o con insuficiente inmersión de la parte inicial de la tubería, puede permitir la entrada de aire y pérdida de presión manométrica negativa que ocasiona que el sistema falle. Es recomendable una entrada de succión acampanada que facilite el ingreso del fluido al sistema y proteger el sistema instalando guarda-niveles que controlen el arranque de la bomba.

Por conveniencia la tubería de succión es de longitud corta, ya que el depósito y la bomba se instalan cerca, para simplificar la tarea de abastecer el sistema de bombeo. En la figura 22 se puede identificar con color azul, la tubería de succión de una bomba centrífuga. La técnica de cuidar el vacío dentro de la tubería de succión permite que el sistema se desarrolle de una forma adecuada prolongando su tiempo de vida en instalaciones permanentes.

Figura 22. **Tubería de succión de bomba hidráulica**



Fuente: elaboración propia.

El estudio del abastecimiento de aguas ha facilitado el diseño de distintos tipos de tubería con propiedades especiales, al momento de contar con una buena succión de parte de la bomba se pueden realizar mejores redes de distribución de fluidos.

2.6. Presión de salida

También se le conoce como la columna de agua. Es la energía en forma de presión que adquirió el fluido cuando fue bombeado por la bomba hidráulica. La presión de salida se puede convertir a una medida de distancia (metros) que por medios gráficos se pueden trazar líneas piezométricas e identificar el comportamiento de una red de distribución. La línea piezométrica es la línea que une los puntos hasta donde el líquido podría ascender si se insertan tubos piezométricos a lo largo de la tubería o canal abierto. Es una medida de la altura de presión hidrostática disponible.

La presión de salida se encuentra en toda la tubería de descarga. Una bomba no crea presión, simplemente mueve el fluido generar el caudal. La

presión es creada por la carga en el fluido. Si no existe carga, el líquido tiene muy poca presión. A medida que la carga se coloca sobre el fluido, la presión en el lado de salida de la bomba aumenta a un valor que normalmente se indica como el máximo de la bomba.

La presión nominal de la bomba generalmente está limitada por la capacidad de sus piezas para resistir la presión sin un aumento indeseable en las fugas internas y sin dañar los elementos de la bomba. En la figura 23 se observa de color rojo, la tubería de descarga de una bomba hidráulica, en donde se encuentra la presión de salida.

Figura 23. **Tubería de descarga de bomba hidráulica**



Fuente: elaboración propia.

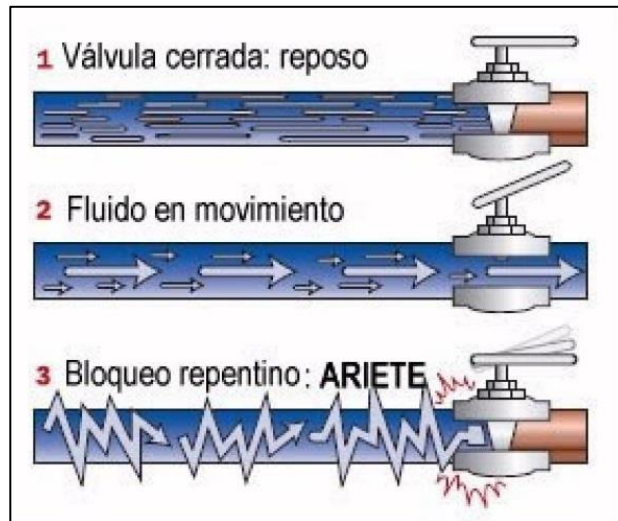
La presión de salida es la variable mejor identificada en un sistema de distribución hidráulica, pues otros elementos integrantes dependen de la cantidad de energía obtenida por el fluido para cumplir con el objetivo del trabajo de la bomba hidráulica.

2.7. Golpe de ariete

También conocido como martillazo de agua, basa su teoría en una onda elástica, de carácter transitorio debido al movimiento oscilatorio del agua en el interior de una tubería. Se conoce también como un choque que se produce en las paredes de un conducto, acompañado de un ruido ocasionado cuando el movimiento del agua es modificado bruscamente, al momento de cerrar y abrir una válvula o al detenerse una maquina hidráulica. En la industria se pueden encontrar elementos de seguridad para redes de distribución en caso de golpes de ariete inesperados.

Al momento que la masa de agua en la tubería desacelera repentinamente se produce una fuerza que golpea las paredes de la tubería. El golpe de ariete es más grande cuando la velocidad y la masa de agua es mayor, ya que aumentan la magnitud del vector fuerza presente en este impacto. En la figura 24 se ejemplifica el proceso para la formación del golpe de ariete en una tubería debido al cierre incorrecto de una válvula.

Figura 24. **Proceso de formación del golpe de ariete**



Fuente: Vidri. *Tecnología*. https://www.elconfidencial.com/tecnologia/2014-07-02/las-canicas-del-vecino-saben-de-fisica_155183/. Consulta: 25 de noviembre de 2018.

El golpe de ariete es el resultado de una transformación repentina de energía cinética a energía de presión. También puede identificarse a este fenómeno como un proceso oscilatorio caracterizado por ondas de presión de gran magnitud al momento de interrumpir o iniciar el flujo dentro de una tubería. Para evitar los golpes de ariete causados por el cierre de válvulas, hay que estrangular gradualmente la corriente de fluido. Cuanto más larga es la tubería, más tiempo deberá durar el cierre.

Aspectos ventajosos del golpe de ariete se pueden apreciar en bombas de ariete hidráulico que operan sin necesidad de un motor. Estas bombas aprovechan las características de este fenómeno y no utilizan ningún otro tipo de energía externa más que un mecanismo que cierra y abre el paso de agua periódicamente generando el golpe para bombear el fluido.

Desde un enfoque matemático el golpe de ariete del agua se puede expresar en forma de elevación de presión con la siguiente ecuación:

$$h = \frac{vr}{g} \quad (\text{Ecuación 8})$$

Donde:

- h : Elevación de presión [*m de agua*]
- r : Reducción de velocidad del líquido $\left[\frac{m}{s}\right]$
- g : Aceleración gravitacional $\left[\frac{m}{s^2}\right]$

Y la velocidad de la onda de presión v esta dada por la siguiente ecuación:

$$v = 1420 (\sqrt{1 + KR}) \quad (\text{Ecuación 9})$$

Donde:

- K : Módulo de elasticidad del agua dividido el módulo de elasticidad de material de tubería.
- R : Diámetro del tubo dividido la cedula de tubería [*cm*].

3. BOMBA HIDRÁULICA ROCHFER MS-89

3.1. Historia

La industrialización continúa expandiéndose año tras año. Se dice que, actualmente, es la época de la Industria 4,0 y distintos emprendedores han registrado inventos al pasar del tiempo. Un ejemplo de este emprendimiento es la bomba de rodamiento de agua Rochfer fabricada por el señor Antônio Rocha en 1950. Nació en 1904 en Brasil y trabajó como auxiliar de forjador. Durante su juventud este inventor desarrolló habilidades para la fabricación de utensilios de hierro. En la figura 25 se observa una fotografía del inventor junto a una turbina.

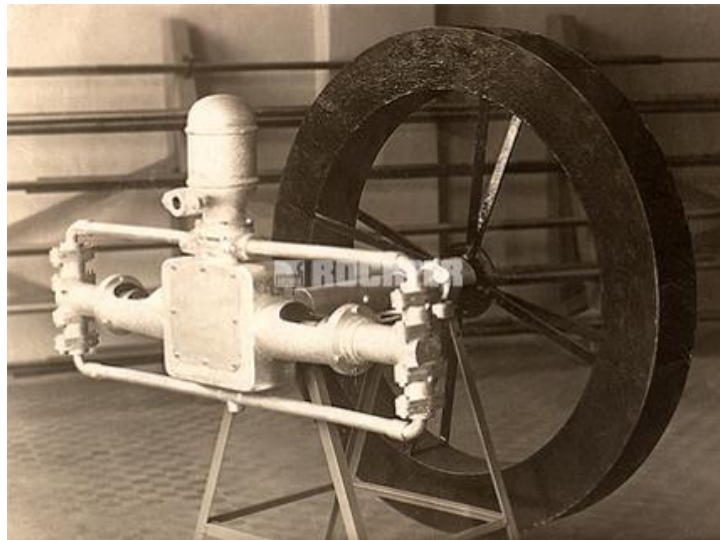
Figura 25. **Fotografía de Antônio Rocha**



Fuente: Rochfer. *Línea del tiempo*. <http://www.rochfer.com.br/index.php/empresa/linha-do-tempo>. Consulta: 27 de noviembre de 2018.

De acuerdo con la biografía del fabricante, el mecánico Rocha era un hombre de pocas letras, luchador incansable y trabajador de todas horas. El joven forjador se convirtió en un inventor autodidacta que poseía una oficina de inventos, reparaciones, mantenimientos a equipos mecánicos y eléctricos en Brasil donde fabricó por primera vez esta máquina hidráulica. En la figura 26 se observa la fotografía de la primera bomba de rodamiento Rochfer.

Figura 26. **Primera bomba Rochfer**



Fuente: Rochfer. *Línea del tiempo*. <http://www.rochfer.com.br/index.php/empresa/linha-do-tempo>. Consulta: 27 de noviembre de 2018.

El creador de esta bomba de rodamiento era conocido como Totó y con el pasar de los años se conoció como la bomba hidráulica de Totó. Luego de su invención la empresa Industrias Mecánicas Rochfer LTDA registró un crecimiento rápidamente. El proyecto de la bomba inicio con la necesidad de proporcionar una solución económica para el abastecimiento de agua.

La empresa continuó su crecimiento expandiendo sus instalaciones hasta 1965, donde se establecieron en una fábrica de 8 500 metros cuadrados. En la última década la compañía se ha esforzado por fabricar 420 unidades de bombeo por mes y cuenta con 34 tipos de bombas hidráulicas. Las bombas Rochfer son apoyadas por sectores agrícolas con grandes recursos hídricos y su objetivo es proporcionar confianza y durabilidad en el trabajo de bombeo. Este aparato puede operar las 24 horas del día sin utilizar ningún recurso eléctrico para accionarse y es parte de la clasificación de máquina-herramienta ecológica, ya que produce poco impacto ambiental.

3.2. Descripción

Dentro de la clasificación de las máquinas hidráulicas se encuentra la bomba Rochfer MS-89 de desplazamiento positivo. Esta máquina de tipo reciprocante es un equipo con propiedades ideales para la transformación de energía en un área rural. Es una bomba hidráulica de volumen controlado y se observa en la figura 27.

Figura 27. **Bomba Rochfer MS-89**



Fuente: Rochfer. *Bombas*. <http://www.rochfer.com.br/index.php/bombas-avulsas/bomba-ms-89>.

Consulta: 25 de noviembre de 2018.

Es accionada por una rueda de cangilones hidráulicos que requiere de un salto de agua similar a una turbina tipo Pelton. Esta bomba cuenta con dos cilindros hidráulicos localizados a los laterales. En la parte superior se encuentra una cámara estabilizadora con forma semiesférica que acompaña el proceso con un impulso debido al aire atrapado dentro de ella, parecida a una bomba de ariete hidráulico. Este sistema puede operar con otras bombas en paralelo; sin embargo, no es posible conectarla con otro equipo de bombeo en serie.

En la parte central cuenta con un cárter rectangular donde se lubrica el sistema de transmisión de movimientos. La transmisión de movimientos se lleva a cabo por medio de un eje girando a la velocidad angular de la rueda de cangilones, que por medio de un mecanismo con rueda excéntrica acciona los dos cilindros hidráulicos de simple efecto. El equipo se compone por elementos de control o válvulas que también trabajan sin energía eléctrica. Las tuberías de los costados completan parte del volumen de los cilindros hidráulicos.

Está hecha en su mayoría por hierro fundido, acero con alto grado de carbono y acero inoxidable. Esta bomba es un equipo con propiedades ideales para trabajar en un sector campesino ya que presenta una solución más adecuada cuando se pretende un abastecimiento práctico y económico.

3.3. Características mecánicas

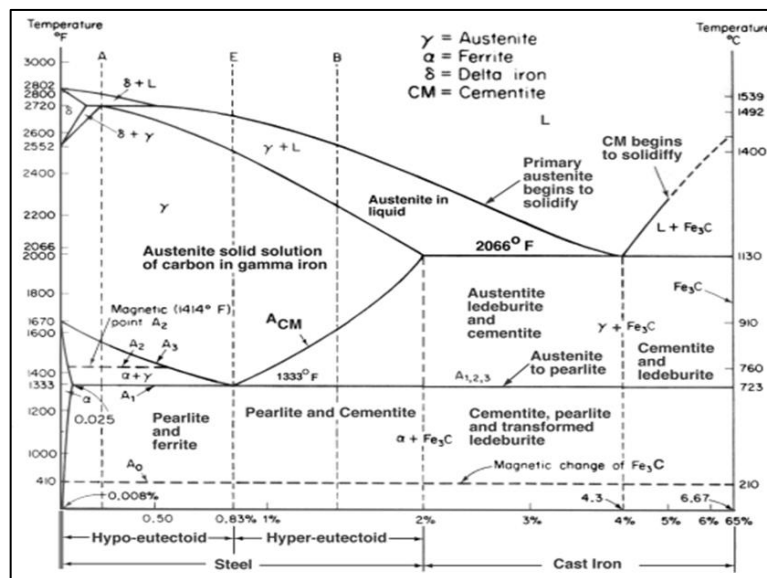
La bomba Rochfer MS-89 (RMS-89) fue fabricada para resistir una operación de bombeo sin interrupción, y no necesita mucho trabajo de mantenimiento. Es una bomba que opera mecánicamente sin necesidad de energía eléctrica o intervención de un operador

Entre sus características esta la cámara estabilizadora, los cilindros y el cárter de la bomba están hechos de hierro fundido. El hierro fundido presenta

ventajas ante la corrosión y soporta grandes presiones. Este material es de alto nivel de dureza ya que contiene de 1,7 % a 4,5 % de carbono.

El hierro fundido es rígido, fuerte e inflexible y es quebradizo. La bomba RMS-89 también está formada por tubería de acero galvanizado en los costados, pistones de bronce y balines flotantes de latón. El mecanismo de yugo escoses está fabricado de acero inoxidable al igual que el vástago que sostiene los pistones. En la figura 28 se observa la gráfica de hierro carbono donde se puede ubicar el hierro fundido con más de 2 % de carbono. La estructura molecular del hierro colado en la región de cementita le otorga características de fragilidad.

Figura 28. Diagrama de Hierro-Carbono



Fuente: Blogspot. *Diagrama de Hierro-Carbono*. <http://carlossaiz.blogspot.com/2012/12/diagrama-hierro-carbono.html> Consulta: 4 de noviembre de 2019.

En la figura anterior se identifica que el hierro fundido tiene menos deformación en comparación con el bronce; sin embargo, el bronce presenta un módulo de elasticidad más alto debido a su maleabilidad. El bronce presenta

excelente maquinabilidad y resistencia a la corrosión, no produce chispa por impacto mecánico y posee una acción antimicrobiana, resistente al agua salada y a la cavitación. Este material posee una dureza 72 Rockwell B y una capacidad de hasta 386 *Mpa* en carga.

La bomba se sostiene sobre un pedestal de acero, con un diseño geométrico que le permite estabilizar la bomba de las vibraciones y donde también se sostiene la rueda de cangilones hidráulicos. De acuerdo con las especificaciones del fabricante, y las pruebas de funcionamiento realizadas a este equipo hidráulico. La bomba RMS-89 tiene las siguientes características listadas en la tabla I:

Tabla I. **Datos técnicos de la bomba Rochfer MS-89**

Datos	Cantidad
Altura máxima de bombeo	140 m
Caudal máximo	105 000 L/día
Presión manométrica mínima (Succión)	-10 psi
Distancia máxima de tubería (Succión)	50 m
Presión manométrica máxima (Descarga)	200 psi
Distancia máxima de bombeo	10 000 m

Fuente: elaboración propia.

La empresa Industrias Mecánicas Rochfer LTDA la clasifica como un equipo serie C y es la bomba más potente de bombeo sustentable de esta compañía. Este equipo no utiliza combustible para realizar su trabajo.

La bomba RMS-89 tiene un recubrimiento electrostático, que en su proceso de fabricación se emplean partículas cargadas para pintar de manera más eficiente una pieza de trabajo. La pintura, en forma de partículas o líquido

atomizado, se proyecta inicialmente hacia una pieza conductora, utilizando métodos de pulverización.

Esta máquina tiene acoplamiento por medio de pernos de acero, con filete fino en la rosca y con alto grado de carbono, acompañado por empaques de fibra de caucho y no tiene ninguna pieza unida por soldadura. Se lubrica con aceite de clasificación SAE 30 o SAE 40 por medio de una bomba inyectora de aceite que se encuentra sumergida en el cárter.

3.4. Composición física, diseño y nomenclatura del equipo

Este equipo de bombeo consolida cualidades especiales con respecto a su composición física. Parecida a un pulpo marino y tiene una forma especial anteriormente conocida como una bomba de río, esta bomba tiene las siguientes dimensiones:

Tabla II. **Dimensiones de la bomba Rochfer MS-89**

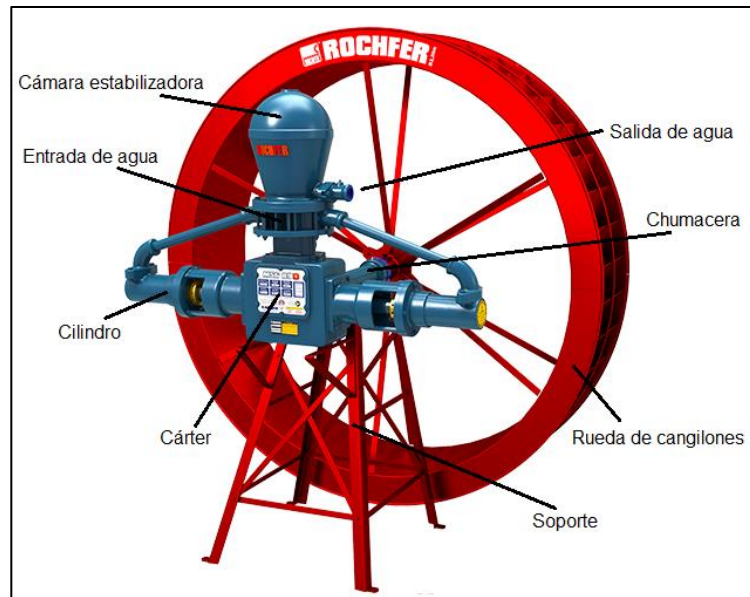
Alto	Ancho	Profundidad
108 cm	156 cm	63 cm

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con su diseño puede ser accionada por una rueda de cangilones hidráulicos o por un motor eléctrico conectado por medio de fajas o cadenas.

En la figura 29 se observa el diseño de la bomba Rochfer MS-89 accionada por medio de una rueda de cangilones hidráulicos, instalada sobre una base creada por el fabricante.

Figura 29. **Bomba Rochfer MS-89 accionada por rueda de cangilones hidráulicos**



Fuente: Rochfer. *Productos*. <http://www.rochfer.com.br/site/index.php/produtos/bombas-a-rodad-agua/bombas-com-rodas>. Consulta: 9 de diciembre de 2018.

Este tipo de bomba tiene un estilo parecido a las bombas de ariete hidráulico ya que también produce un cierre repentino en una de sus válvulas. Los cilindros tienen orificios a los laterales donde se observa el trabajo del pistón, y donde también se pueden roscar los prensaestopas.

La bomba hidráulica presenta un total de 71 piezas que la conforman. En la tabla III se encuentra el listado de la nomenclatura de cada una de las piezas de la bomba hidráulica Rochfer MS-89 con un número asignado.

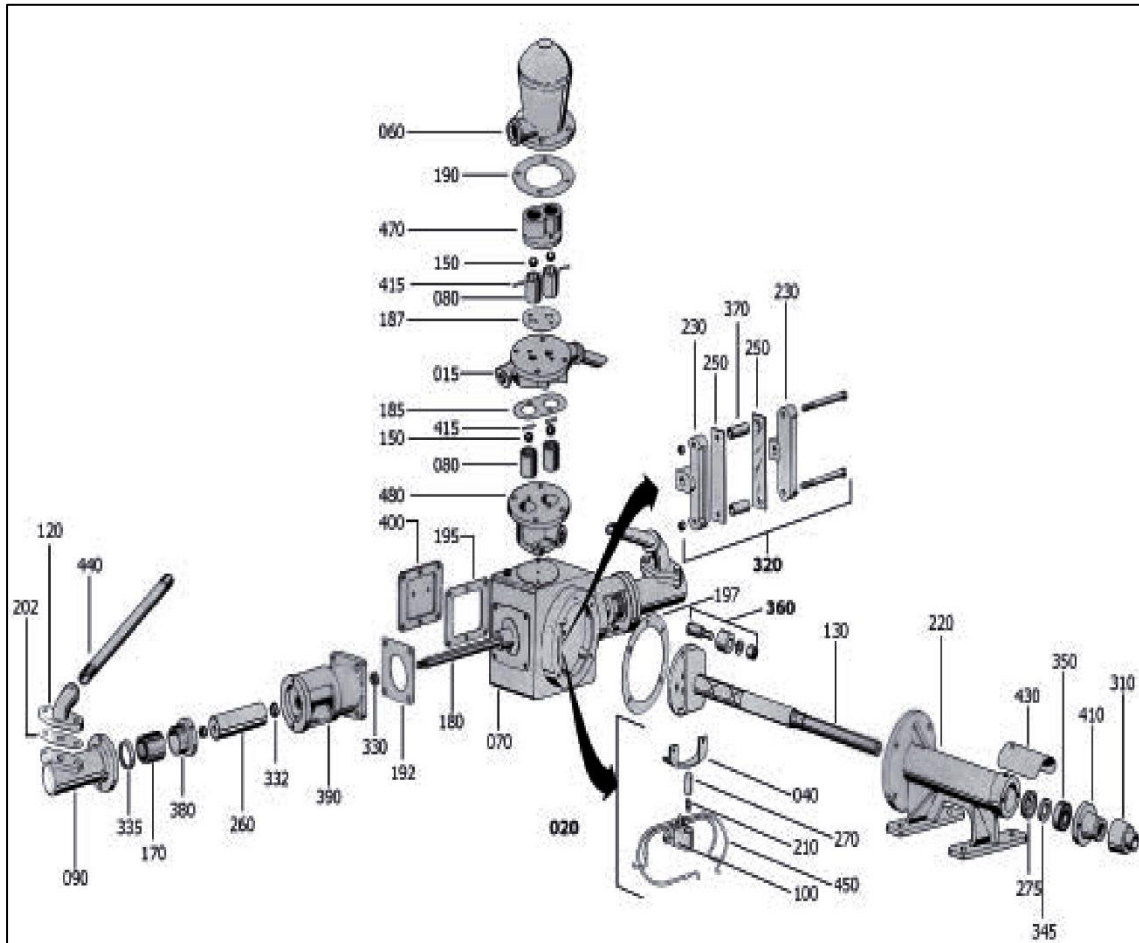
Tabla III. **Lista de piezas de la bomba Rochfer MS-89**

No.	NOMBRE DE LA PIEZA	No.	NOMBRE DE LA PIEZA
15	Cámara difusora	250	Pista de rodillo
20	Bomba inyectora de aceite	260	Pistón
40	Prensador de bomba de aceite	270	Pistón de bomba inyectora
60	Cámara estabilizadora	275	Porta-retenedor de chumacera
70	Cárter	310	Protector de rodamiento
80	Cilindros de válvula	332	Buje externo del vástago
90	Cilindro	330	Buje del vástago
100	Mecanismo de bomba inyectora de aceite	320	Mecanismo guía de rodillo (yugo)
120	Codo (conexión tubo-cilindro)	335	Buje de cilindro
130	Eje de la rueda	345	Retenedor de chumacera
150	Válvula de esfera (balín)	350	Cojinete de esferas
170	Estopa	360	Rodillo y perno
180	Vástago de los pistones	370	Separador de pista de rodillo
185	Empaque de cámara difusora	380	Prensa estopas
187	Empaque de válvula superior	390	Soporte del cilindro
190	Empaque del cilindro de válvula	400	Tapadera del cárter
192	Empaque de soporte de cilindro	410	Tapadera de chumacera
195	Empaque de tapadera de cárter	415	Pasador de esfera
197	Empaque de chumacera	430	Teja contra salpicaduras
202	Empaque de codo	440	Tubo de acero galvanizado
210	Resorte de bomba inyectora	450	Tubos de bomba de aceite
220	Chumacera	470	Válvula superior
230	Sujetador guía	480	Válvula inferior

Fuente: elaboración propia.

En la figura 30 se incluye el diagrama de ensamble de la bomba identificando sus piezas mecánicas junto con la tabla III.

Figura 30. Diagrama de bomba Rochfer MS-89



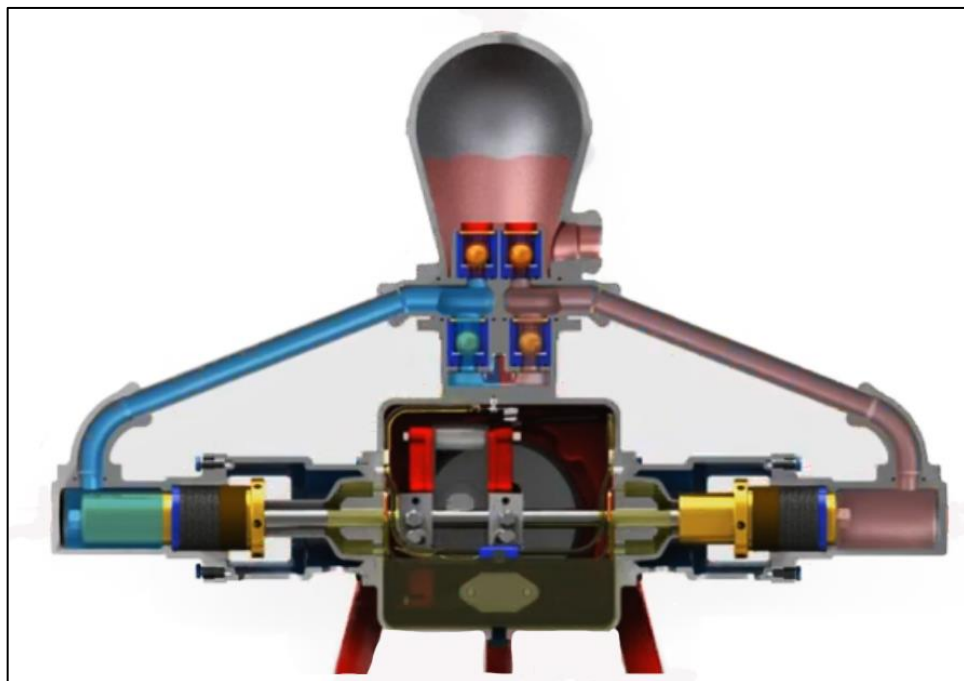
Fuente: Goulds Pumps. *Manual de instrucciones bombas de rodamiento de agua*. p. 122.

El conjunto de tuberías puede cambiar su diámetro, pero el acoplamiento de la bomba es para un diámetro de 2 *pulg* tanto para la tubería de succión como para la tubería de descarga.

3.5. Funcionamiento

El funcionamiento de la bomba es completamente dinámico. La bomba RMS-89 succiona el agua por medio del vacío creado por los cilindros hidráulicos. Luego que el fluido ha ingresado a la bomba; el pistón realiza su carrera de retorno bombeando el agua hacia la dirección de la cámara estabilizadora, donde la compresión del aire atrapado realiza una fuerza de repulsión que asienta el balín anti-retorno y finalmente bombea el agua hacia la tubería de descarga. En la figura 30 se visualiza su funcionamiento identificando de rojo el agua que se bombea y azul el agua que ingresa al equipo.

Figura 31. **Funcionamiento de la bomba hidráulica**



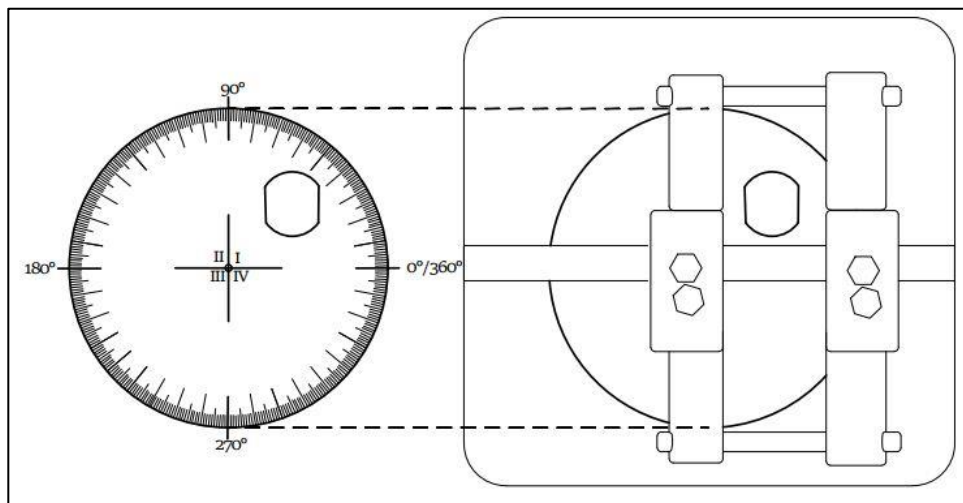
Fuente: YouTube. *Funcionamiento de la bomba hidráulica.*

<https://www.youtube.com/watch?v=D9c5iiWAsUs>. Consulta: 9 de diciembre de 2018.

Se puede identificar la simetría de la bomba hidráulica donde se aprovecha todo el movimiento de trabajo.

Al centro se encuentra el mecanismo de yugo escocés que utiliza la energía cinética trasferida por medio del eje para bombear el fluido accionando los pistones. El yugo escocés está centrado con la rueda de cangilones hidráulicos y conecta transversalmente por medio de un vástago con los pistones. La transformación del movimiento circular a movimiento lineal se puede identificar en la figura 32 donde el movimiento del eje excéntrico gira en sentido de las manecillas del reloj y desliza el vástago por medio de una guía. El eje excéntrico gira 360° y desliza las guías que tienen un movimiento lineal hacia la derecha, cuando el eje excéntrico está en los cuadrantes I y II, y un movimiento lineal hacia la izquierda cuando el eje gira por los cuadrantes III y IV de la figura 32.

Figura 32. **Diseño de transformación de movimiento de rueda excéntrica**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD Civil 3D.

El movimiento es recíproco y el giro del disco excéntrico es en sentido de las manecillas del reloj. El sentido del giro es el mismo para la rueda de cangilones hidráulicos debido a la posición de cada uno de los cangilones.

Durante el giro del disco excéntrico, los cilindros hidráulicos experimentan una desaceleración lineal. En dinámica, se estudia que durante este instante la velocidad lineal que tiene el pistón es de 0 m/s . Cuando el eje excéntrico se encuentra girando este restringe el movimiento lineal al diámetro del disco y los cilindros realizan una carrera de 26 cm . Al momento que el pistón termina de recorrer estos 26 cm realiza un cambio de dirección en su traslación.

Un cambio de dirección para un cuerpo significa que debe existir un instante donde no se produzca ningún tipo de movimiento. La bomba RMS-89 presenta dos instantes durante una revolución de la rueda de cangilones hidráulicos, donde se produce un cambio de dirección. De acuerdo con la figura 32 estos dos puntos de velocidad cero se encuentran cuando el eje excéntrico se encuentra a 0° y a 180° con respecto a la distribución de grados proporcionados en la imagen. El eje excéntrico muestra su diseño en los laterales de forma plana que ayudan a extender el tiempo de velocidad cero.

3.5.1. Rueda de cangilones hidráulicos

La energía de entrada de la bomba RMS-89 proviene de una rueda de cangilones hidráulicos. Una rueda de cangilones hidráulicos es aquella que utiliza la energía potencial y energía cinética de un salto de agua, y la transforma a energía cinética rotacional entregándola regularmente a un eje transversal. La rueda se compone por varios cangilones ubicados en su corona. El caudal de agua entra por la parte superior y se deposita en cada uno de los cangilones. Cuando se deposita el agua el volumen aumenta en cada cangilón y se produce

un movimiento circular debido a la pérdida del punto de equilibrio de la rueda. En la figura 31 se muestra la rueda de cangilones hidráulicos que sus características son similares a una turbina tipo Pelton.

Figura 33. **Rueda de cangilones hidráulicos**



Fuente: Rochfer. *Productos*. <http://www.rochfer.com.br/site/index.php/produtos/bombas-a-rodad-agua/rodas-d-agua>. Consulta: 9 de diciembre de 2018.

La rueda Rochfer contiene 42 cangilones distribuidos en la periferia. La rueda está hecha de acero con alto grado de carbono y cuenta con 12 barras tensoras distribuidas en pares, atornilladas junto a una masa centrada queda acoplada al eje de transmisión. La rueda de cangilones hidráulicos puede trabajar a distintas revoluciones. En la tabla IV se pueden identificar las dimensiones de la rueda hidráulica que acciona la RMS-89.

Tabla IV. **Dimensiones y peso de la rueda de cangilones hidráulicos**

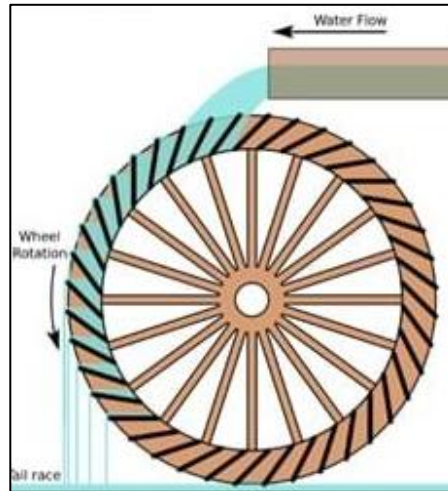
Diámetro exterior	Grosor	Peso
2,20 m	47 cm	153 kg

Fuente: elaboración propia.

El principio proviene de los molinos hidráulicos que utilizan las mismas condiciones donde el agua se descarga a una rueda de paletas rectas (rueda vitruviana). La rueda hidráulica es una máquina montada sobre un eje horizontal provista de cajones que transforma la energía de presión a energía cinética.

En la figura 34 se observa el funcionamiento de una rueda hidráulica. Los cangilones hidráulicos permiten almacenar el agua en aproximadamente $1/3$ de la circunferencia total, esto permite desequilibrar el peso de la rueda hidráulica y romper con la inercia de un elemento circular. El peso del agua influye en el peso de la rueda para que esta gire en el sentido del caudal de entrada. El propósito de la geometría de los cangilones hidráulicos es recibir la mayor cantidad de agua evitando que se desperdicie salpicándose fuera de la corona de la rueda.

Figura 34. **Funcionamiento de rueda hidráulica**



Fuente: Teach engineering. *Potencia, esfuerzo y la rueda hidráulica*. https://www.teachengineering.org/sprinkles/view/waterwheel_spanish. Consulta: el 17 de diciembre de 2018.

La posición de sus cangilones desaloja el agua cuando recorre el tramo de la circunferencia total restante. Se considera que este mecanismo es el ingenio más antiguo para el aprovechamiento de la energía del agua. La rueda hidráulica también se conoce como rueda de noria que es una estructura circular, compuesta por una sucesión de palas o recipientes.

En las pruebas de funcionamiento realizadas a la bomba RMS-89, el fabricante proporciona la distancia adecuada para la entrada de agua a la rueda de cangilones hidráulicos. El canal de entrada debe contar con una inclinación de 2 % al 5 % comparada con la línea de nivel del salto de agua. La entrada de agua debe estar regulada por una válvula de compuerta que permita interrumpir el flujo por motivos de mantenimiento o riesgo. La distancia vertical puede ser de 10 cm a 20 cm entre la rueda de cangilones hidráulicos y la entrada de agua, como se observa en la figura 35.

Figura 35. **Accionamiento de rueda de cangilones hidráulicos Rochfer**



Fuente: YouTube. *Tutorial*. <https://www.youtube.com/watch?v=pNf8Zi1yPtc>. Consulta: 7 de noviembre de 2019.

El canal de entrada para el accionamiento puede ser por medio de tubería, dependiendo del caudal que se utiliza se puede escoger un diámetro en particular como se puede identificar en el apéndice 1. La distancia de la tubería de entrada recomendada por el fabricante se encuentra a 15 cm desde el centro de la rueda de cangilones hidráulicos. La rueda al eje se monta mediante tornillos con rosca americana. En el eje de la bomba hay un pequeño acoplamiento para uno de esos tornillos, dado que son los tornillos de apoyo deben estar colocados firmemente.

3.5.2. Compresión de cilindros

En los cilindros hidráulicos se genera la transformación de energía de la bomba Rochfer MS-89. En el capítulo anterior se identifican características de los

cilindros de simple efecto que son utilizados comúnmente en los procesos hidráulicos.

Los cilindros cuentan con una forma redonda que completan su volumen total con una tubería de 60 centímetros de largo y $1 \frac{1}{4}$ *pulg* de diámetro acopladas por medio de un codo a 45° hecho de hierro fundido. Los cilindros se encuentran en los laterales y operan de forma recíproca por medio de 4 balines flotantes de latón ubicados debajo de la cámara estabilizadora. Estos balines regulan el proceso de succión y descarga, dirigiendo el flujo de agua hacia el punto de almacenamiento. Los balines flotantes son chequeos que regulan el flujo del agua dependiendo del accionamiento del conjunto cilindro-pistón.

El vástago del cilindro está hecho de acero inoxidable y transmite el movimiento por medio de un perno instalado al extremo final del pistón.

En la figura 33 se observan las partes que forman el cilindro hidráulico de simple efecto para la bomba RMS-89. El cilindro es igual para ambos lados de la bomba debido a su simetría. Estos cilindros fueron fabricados para bombear un total de 2 *lts* por cada compresión, por ello, se clasifica como una bomba recíproca con volumen controlado siendo 4 *lts* el volumen máximo de todo el equipo de bombeo.

Figura 36. **Componentes que conforman el conjunto cilindro-pistón en la bomba Rochfer MS-89**



Fuente: Agromamoré. *Kit de conversão 42F de 1 para 2 pistões*. <http://www.agromamore.com.br/product-details/kit-de-conversao-42f-de-1-para-2-pistoes/>. Consulta: 17 de diciembre de 2018.

El volumen de agua que se comprime debe estar herméticamente encerrado para evitar una fuga descontrolada al momento que trabajan los pistones. Existen materiales para sellar procesos hidráulicos. La estopa es una empaquetadura mecánica para bombas hidráulicas industriales ya que tiene mejores aplicaciones dinámicas. Este tipo de empaque es soportado por un prensaestopa. El prensaestopa tiene el trabajo de acoplar adecuadamente la empaquetadura al cilindro hidráulico.

Al comprimir los cilindros, el pistón se desliza por la estopa creando una fricción debida al contacto de las superficies. En este caso los métodos de lubricación no aplican ya que no se puede lubricar de forma permanente. La técnica es dejar una pequeña fuga de agua para disminuir la temperatura debido al rozamiento y aumentar la lubricación. La energía cinética en el mecanismo de disco excéntrico se trasfiere al pistón por medio del vástago. El vástago se mueve

en forma lineal comprimiendo el agua dentro del cilindro transfiriéndole energía por medio del pistón.

Los pistones se sincronizan al momento del bombeo, cuando el pistón del lado derecho se encuentra en la carrera de succión, el pistón del lado izquierdo está en su carrera de descarga. Luego cambian de posición obteniendo la misma acción solo que en diferente lado del equipo.

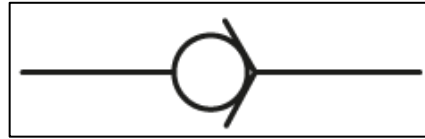
3.5.3. Distribución recíproca por medio de balines flotantes

El proceso de bombeo de una máquina recíproca se realiza por medio de válvulas tipo cheque que permite que el líquido se dirija por un ducto, con dirección convenientemente establecida y que no pueda regresar. Los cheques son accesorios que permiten cerrar el ducto del sistema si el flujo cambia en una dirección contraria. Una válvula de cheque es el tipo más simple de válvula de control direccional que se usa en los sistemas hidráulicos.

La mayoría de las válvulas de retención tienen un resorte y usan una bola o placa para sellar la tubería. Existen dos tipos de cheques dependiendo de su posición de trabajo pueden ser horizontales o verticales.

Las válvulas de retención se pueden usar como accesorios para cebar, pretensado o protección de componentes hidráulicos contra sobrecargas de presión o golpes de ariete. En la figura 37 se observa la simbología de una válvula de cheque para un diagrama de tuberías hidráulicas.

Figura 37. **Simbología de válvula de cheque**

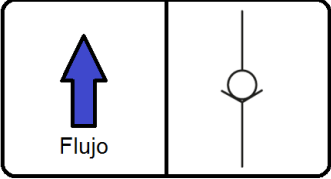
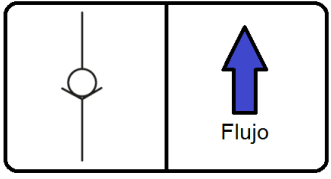


Fuente: ASHM. *Simbología de válvula de cheque*. <http://www.ashm.mx/blog/page/7/>. Consulta: 31 de diciembre de 2018.

La distribución recíproca de la bomba RMS-89 se realiza por medio de 4 balines flotantes que cierran el paso del agua colocándose en un asiento y tapando la tubería. Los balines se encuentran encerrados por medio de un pasador hecho de latón y deslizan en un cilindro de mayor diámetro.

La tubería de succión conecta con los primeros dos balines de la máquina. En un instante del proceso de bombeo uno de los balines permite el paso del flujo hacia el cilindro hidráulico que succiona. Mientras el otro balín se encuentra tapando la entrada debido a la presión del trabajo del segundo cilindro hidráulico. Luego que el agua haya llenado el volumen completo del primer cilindro, el pistón cambia su dirección de carrera permitiendo cambiar también la posición de los balines y direccionar el flujo hacia el otro lado de la máquina donde se encuentra el segundo cilindro hidráulico. El funcionamiento se observa con la ayuda de la tabla V con la entrada de agua por debajo de los balines y el pasador en la parte superior.

Tabla V. **Distribución del flujo en tubería de succión**

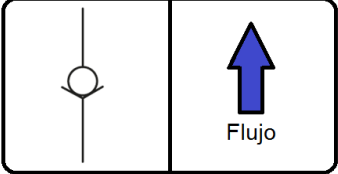
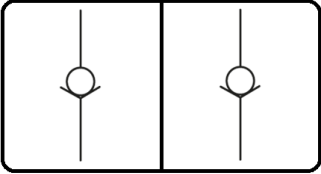
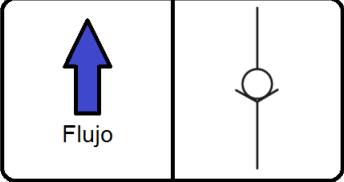
Posición de balines	Cilindro izquierdo	Cilindro derecho
 <p data-bbox="266 709 548 743">Tubería de succión</p>	<p data-bbox="737 541 850 575">Succión</p> <p data-bbox="643 651 945 718">(Válvula de retención abierta)</p>	<p data-bbox="1078 541 1208 575">Descarga</p> <p data-bbox="993 651 1295 718">(Válvula de retención cerrada)</p>
 <p data-bbox="266 1020 548 1054">Tubería de succión</p>	<p data-bbox="724 852 867 886">Descarga</p> <p data-bbox="643 961 945 1029">(Válvula de retención cerrada)</p>	<p data-bbox="1084 852 1201 886">Succión</p> <p data-bbox="993 961 1295 1029">(Válvula de retención abierta)</p>

Fuente: elaboración propia.

Durante este proceso se obtiene una pérdida de presión debido a la obstrucción que realizan los balines aun situándose lejos de la entrada del ducto. El trabajo de los balines es de dirigir el caudal de agua hacia el cilindro que se encuentre en la carrera de succión.

En la parte inferior de la cámara estabilizadora se encuentra el segundo par de balines flotantes que controlan el retorno del agua. Los balines antiretorno de la tubería de descarga tienen una característica más que los de la tubería de succión. Esta característica se puede identificar en la distribución de la tabla VI donde se añade una posición más en la distribución. Los dos balines se sitúan tapando el ducto de las tuberías de la máquina en el instante que los cilindros se encuentran cambiando de dirección en la carrera.

Tabla VI. **Distribución del flujo para la cámara estabilizadora**

Posición de balines	Cilindro izquierdo	Cilindro derecho
<p>Cámara estabilizadora</p> 	<p>Succión</p> <p>(Válvula de retención cerrada)</p>	<p>Descarga</p> <p>(Válvula de retención abierta)</p>
<p>Cámara estabilizadora</p> 	<p>Cambio de dirección en la carrera del pistón</p> <p>(Punto de velocidad cero)</p>	<p>Cambio de dirección en la carrera del pistón</p> <p>(Punto de velocidad cero)</p>
<p>Cámara estabilizadora</p> 	<p>Descarga</p> <p>(Válvula de retención abierta)</p>	<p>Succión</p> <p>(Válvula de retención cerrada)</p>

Fuente: elaboración propia.

Esta posición se debe al golpe de ariete que se obtiene debido a la repulsión del aire encerrado en la cámara estabilizadora que empuja repentinamente el balón tapando todo retorno a la máquina y bombeando el agua finalmente a la tubería del almacenamiento. La posición que toman las válvulas antiretorno durante el golpe de ariete ocurre cuando los cilindros hidráulicos se encuentran precisamente en el punto de velocidad cero para el pistón.

En este instante, ninguno de los dos cilindros hidráulicos realiza trabajo y es cuando el aire atrapado aprovecha a cerrar repentinamente la válvula bombeando el agua utilizando el fenómeno de golpe de ariete. Este ciclo se repite para cada revolución de la rueda de cangilones hidráulicos.

3.6. Lubricación de disco excéntrico

Uno de los aspectos más importantes de la bomba Rochfer MS-89 es la conservación de sus piezas mecánicas. Esta máquina fue diseñada para trabajar por 24 horas sin interrupciones y presenta un tipo de mantenimiento básico para su lubricación. La RMS-89 tiene partes móviles en contacto donde el abastecimiento de lubricante es de carácter permanente.

Anteriormente, se identifican las ventajas de la lubricación que permiten controlar el desgaste entre superficies metálicas. La Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE) realiza estudios constantemente del comportamiento de los lubricantes en máquinas industriales. Existen los aceites monogrados y multigrados de acuerdo con la clasificación SAE. Estos lubricantes son limitados en su funcionamiento a diferentes temperaturas y se definen de la siguiente forma:

- Aceites monogrados

Solo tienen un grado de viscosidad, pueden ser para bajas o altas temperaturas. Los aceites monogrado indican los márgenes de temperatura en los cuáles ese aceite cumple con sus funciones. Son utilizados para cambios de temperaturas mínimas a lo largo del año.

- Aceite multigrado

Mantienen estable la viscosidad del aceite ante cambios bruscos de temperatura, también llegan más rápido a las piezas para lubricarlas aun estando en frío. El arranque de una máquina en frío es más rápido protegiéndolo del desgaste. Este aceite tiene menor densidad que el monogrado.

La SAE presenta una tabla comparativa para utilizar correctamente cada uno de los lubricantes. La tabla de clasificación de aceites que se observa en el Apéndice 2 ayuda a comparar los aceites SAE 30 y SAE 40 que son los utilizados para lubricar el disco excéntrico. Estos dos tipos de aceite monogrados presentan la característica de trabajar en temperaturas desde 5 °C grados hasta 30 °C para el SAE 30 y de 10 °C a 45 °C para el SAE 40, donde sus rangos de temperatura de operación son muy similares.

El mecanismo de disco excéntrico de la RMS-89 trabaja por medio de dos sistemas de lubricación que son los siguientes:

- Lubricación por medio de bomba inyectora de aceite

La bomba Rochfer MS-89 tiene una bomba oleo-hidráulica sumergida en el cárter. Esta bomba inyectora permite enviar el aceite lubricante a la parte superior del disco excéntrico por medio de dos mangueras que se encuentran instaladas a las paredes del cárter. La bomba inyectora de aceite aprovecha el movimiento de traslación del eje de la rueda excéntrica para accionarse. Se encuentra localizada al centro por debajo del disco excéntrico y es accionada al momento que las guías se trasladan de un lado a otro deslizándose por un calcador metálico que se encuentra atornillado al cuadrante de las guías.

La bomba inyectora de aceite es de tipo recíprocante y bombea el lubricante por medio de dos cheques que se encuentran dentro de las mangueras como se muestra en la figura 38.

Figura 38. **Bomba inyectora de aceite Rochfer**



Fuente: Rochfer. *Bomba inyectora*. <https://loja.canalbombas.com.br/bomba-injetora-de-oleo-b-c-pb-c-ms-msg-01-090-161>. Consulta: 23 de enero de 2018.

La bomba inyectora de aceite lubricante está formada por 5 partes:

- Pistón
- Cuerpo cilíndrico
- Mangueras
- Válvulas de cheque
- Adaptador metálico

Cuando el eje excéntrico gira, las guías se trasladan de un lado a otro empujando el pistón hacia abajo en el instante que pasa por el centro. El pistón junto con el cuerpo cilíndrico forma un pequeño cilindro hidráulico.

Es una bomba de tipo recíprocante que succiona el aceite y lo bombea por medio de las mangueras. Dentro de las mangueras están las válvulas de cheque. Estas válvulas están hechas de plástico y no permiten que el lubricante pueda regresar. El adaptador metálico posiciona las mangueras de tal forma que descargue el aceite en la parte superior del disco excéntrico y se adapta al cuadrante de las guías.

- Lubricación por inmersión

El cárter de la bomba RMS-89 cuenta con la capacidad de almacenar 5 litros de aceite lubricante SAE 30 o SAE 40. Cuenta con una línea de nivel de lubricación localizado al frente. Esta cantidad de aceite permite que el eje excéntrico del disco sea lubricado también por inmersión. Cuando el eje excéntrico gira, este se sumerge junto con la guía lubricando el contacto que existe durante el proceso de bombeo. Este proceso de lubricación acompaña a la bomba inyectora de aceite y permite que el contacto entre las piezas este lubricado en todo momento para evitar el desgaste.

Por debajo del cárter se encuentra un tornillo que permite drenar el aceite lubricante luego de seis meses de acuerdo con el fabricante. Es importante verificar el nivel de aceite e identificar si existen emulsiones que puedan oxidar y disminuir el tiempo de vida del equipo.

3.7. Selección de tuberías

En este fragmento se aborda la selección de tuberías para el funcionamiento del sistema hidráulico de una estación de bombeo con una máquina RMS-89.

En un sistema hidráulico se obtienen pérdidas del fluido que se bombea debido a la irregularidad de la superficie de los materiales. Estas pequeñas imperfecciones forman una rugosidad que interviene en la distribución de un caudal. Existen distintos materiales estudiados para conducir a los fluidos de acuerdo con sus necesidades de temperatura, presión y caudal. De los materiales más utilizados comercialmente se encuentran los listados en la primera columna de la tabla VII, las otras dos columnas hacen referencia a la pérdida, en unidades longitudinales, para cada uno de los grupos.

Tabla VII. **Valores de rugosidad absoluta e para tuberías comerciales nuevas**

Material	Pies	Milímetros
Vidrio, plástico (liso), PVC	0,0	0,0
Tubo estirado, latón, plomo, cobre, cemento moldeado centrífugamente, recubrimiento bituminoso, transite	0,000005	0,0015
Acero industrial, hierro forjado, tubería de acero soldado	0,00015	0,046
Hierro fundido en asfalto	0,0004	0,12
Hierro galvanizado	0,0005	0,15
Hierro fundido típico	0,00085	0,25
Tablas de madera, bambú	0,0006-0,003	0,18-0,9
Hormigón	0,001-0,01	0,3-3
Acero remachado	0,003-0,03	0,9-9

Fuente: SALDARRIAGA, Juan. *Rugosidades relativas, hidráulica de tuberías*. p. 526.

En un contexto general los materiales de tubería pueden ser metálicos o no metálicos. La variable de pérdida también depende si la tubería es simple o compuesta con otros elementos de control.

Para seleccionar una tubería se necesitan evaluar distintos parámetros de seguridad que garanticen una mejor distribución. Las variables involucradas en los problemas de tuberías simples son las siguientes:

- Variables relacionadas con la tubería
 - Diámetro de tubería
 - Longitud de tubería
 - Rugosidad absoluta de tubería

- Variables relacionadas con el fluido
 - Densidad del fluido
 - Viscosidad dinámica del fluido

- Variables relacionadas con el esquema del sistema
 - Coeficientes de pérdidas menores en todos los elementos
 - Energía total del sistema

El tamaño de tubería determina la capacidad del material para trasladar un caudal. Al escoger un equipo hidráulico se determinan los límites del tamaño de tubería de acuerdo con los datos técnicos del fabricante. El tamaño de tubería considera los siguientes aspectos:

- Diámetro interior

Es el diámetro que se puede medir dentro de la tubería, es decir por donde fluye el caudal.

- Diámetro exterior

Es el diámetro que se mide fuera de la tubería, incluye el grosor y es la parte externa de la tubería.

- Diámetro nominal

El diámetro nominal de tubos representa el tamaño estándar para tuberías de presión. En Estados Unidos se usa un sistema en pulgadas, mientras en Europa los denominan en milímetros según define la norma ISO 6708. Un ejemplo de esta lista de diámetros se muestra en la tabla VIII. La información que se utiliza para definir estos diámetros depende de los proyectos de ingeniería, los costos y la precisión de manufactura por el cual se fabrican estos ductos, considerándose más adecuados para su negociación a nivel mundial.

Tabla VIII. Diámetros comerciales

Pulgadas	Milímetros	Pulgadas	Milímetros
2	0,0508	18	0,4572
2 ½	0,0635	20	0,508
3	0,0762	24	0,6096
4	0,1016	30	0,762
6	0,1524	36	0,9144
8	0,2032	42	1,0668
10	0,254	48	1,2192
12	0,3048	60	1,524
14	0,3556	72	1,8288

Fuente: SALDARRIAGA, Juan. *Rugosidades relativas, hidráulica de tuberías*. p. 552.

- Cedula o grosor

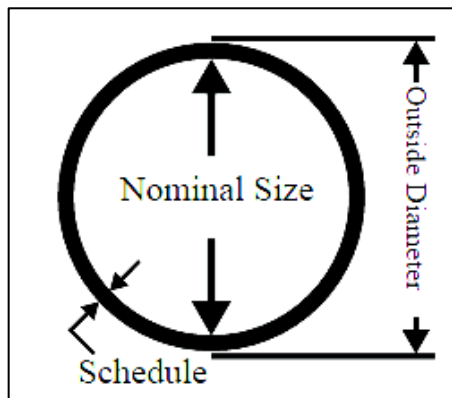
Es una forma de definir el espesor de las paredes de la tubería. Mientras más grande sea el espesor de una tubería se obtiene mayor capacidad de soportar altas presiones durante la distribución hidráulica.

- Longitud de tubería

La longitud de tubería determina el largo total de tubería. Tiene la facilidad de poder ser acoplada a otras para aumentar su valor.

En la figura 39 se puede identificar las mediciones para los tamaños que identifican una tubería.

Figura 39. **Dimensiones de una tubería**



Fuente: Rolled Alloys. *Dimensiones de una tubería*. <https://www.rolledalloys.com/tools/pipe-chart/>. Consulta: 25 de enero de 2019.

El diámetro nominal de una tubería puede estar desde 1/8 pulg hasta 30 pulg que es el rango utilizado para su comercialización en Guatemala.

Por medio de la selección de tuberías se utiliza la cantidad correcta de material para evitar gastos innecesarios. En el apéndice 3 se encuentra una tabla con los datos de cédula 30 y tamaños de tuberías con las dimensiones detalladas para evitar un mal acoplamiento o gasto de material debido a una mala operación. Las abrazaderas o sujetadores de tubería también son comercializados con base en estas dimensiones.

3.7.1. Tubería de succión

La tubería de succión de la bomba Rochfer MS-89 es para un diámetro nominal de 2 *pulg.* El equipo cuenta con una rosca interna tipo hembra que se acopla a una tubería con hilos en la superficie externa o tipo macho. Si el agua de captación está por encima del nivel de la bomba, la misma debe ser canalizada hasta el depósito de succión, preferiblemente al lado de la bomba. El agua se bombeará debe estar libre de sólidos flotantes, como hojas que pueden obstruir las válvulas de la bomba. Esta bomba utiliza un filtro hecho de mallas. La importancia del filtro o pichacha es mantener una succión estable al operar. En la figura 40 se observa el filtro para la tubería de succión comercializado por Rochfer, Brasil.

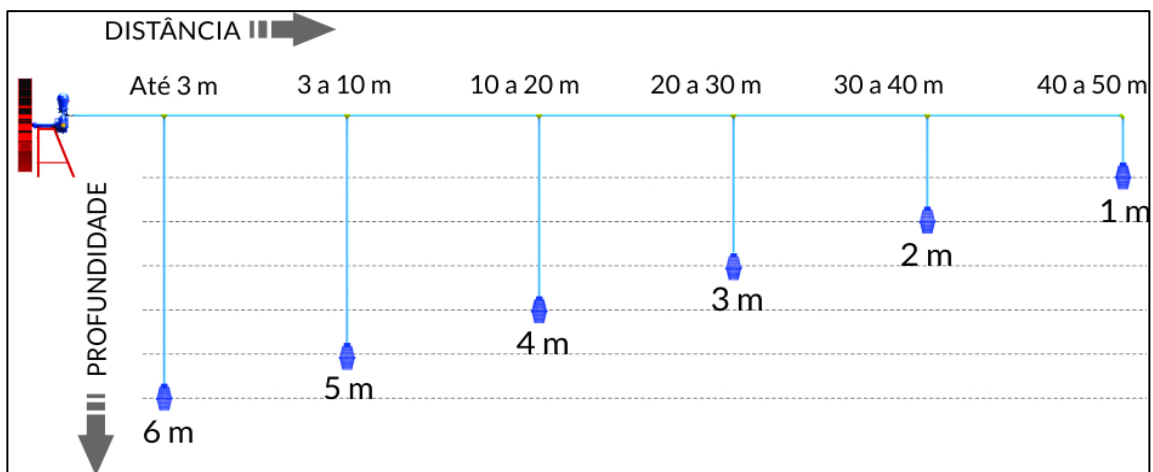
Figura 40. Filtro para tubería de succión Rochfer



Fuente: Parker. *Filtro de succao B/C*. <https://loja.canalbombas.com.br/filtro-de-succao-b-c-01-460-131>. Consulta: 25 de enero de 2019.

El montaje de la tubería de succión debe cumplir con los parámetros establecidos por el fabricante para que la RMS-89 pueda abastecerse de agua por succión negativa o a nivel de la bomba. En la figura 41 se presenta un diagrama proporcionado por el fabricante para la selección apropiada de la tubería de succión en la bomba RMS-89.

Figura 41. **Gráfico de la distancia de succión para la bomba Rochfer MS-89**



Fuente: Parker. *Preguntas frecuentes*. <https://www.canalbombas.com.br/perguntas-frequentes/>.
Consulta: 25 de enero de 2019.

Este gráfico es para una tubería de 2 pulgadas de diámetro y es recomendable facilitar el acceso para que la bomba optimice su eficiencia evitando gastos de energía en la succión del agua.

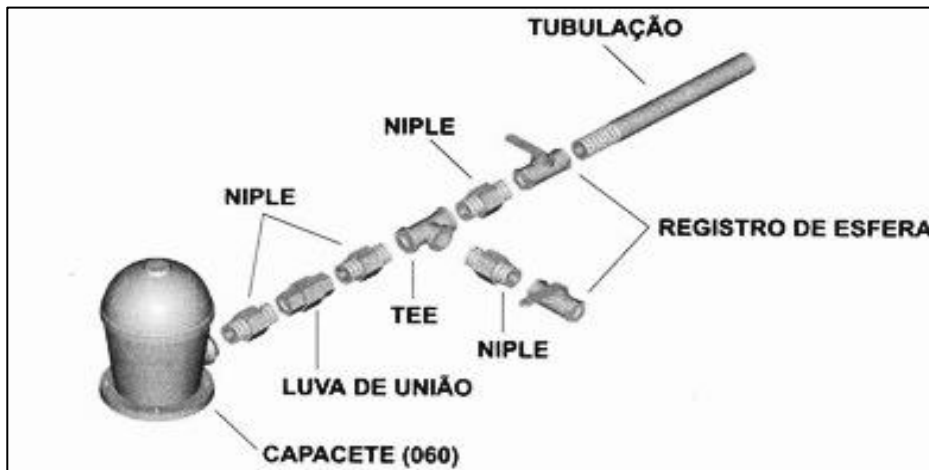
3.7.2. Tubería de descarga

La selección de tuberías abarca diferentes condiciones que se presentan en una estación de bombeo.

La tubería de descarga dirige el caudal hacia el depósito de almacenamiento o máquina después de recibir la energía proporcionada por la bomba hidráulica. En el capítulo anterior se identifican propiedades de presión en descarga para un equipo hidráulico y la importancia de colocar instrumentos de control que puedan proteger al equipo de distintas eventualidades. La bomba RMS-89 tiene un acoplamiento hembra para tubería de 2 *pulg* localizada en la cámara estabilizadora.

La forma redondeada de la cámara estabilizadora permite que esta pueda girar para poder instalar la tubería en distintas direcciones según sea necesario. En la figura 42 se observa la distribución de elementos que conforman la tubería de descarga para proporcionar una forma más fácil de realizar tareas de mantenimiento de acuerdo con el manual de instrucciones del fabricante.

Figura 42. **Tubería de descarga bomba Rochfer MS-89**



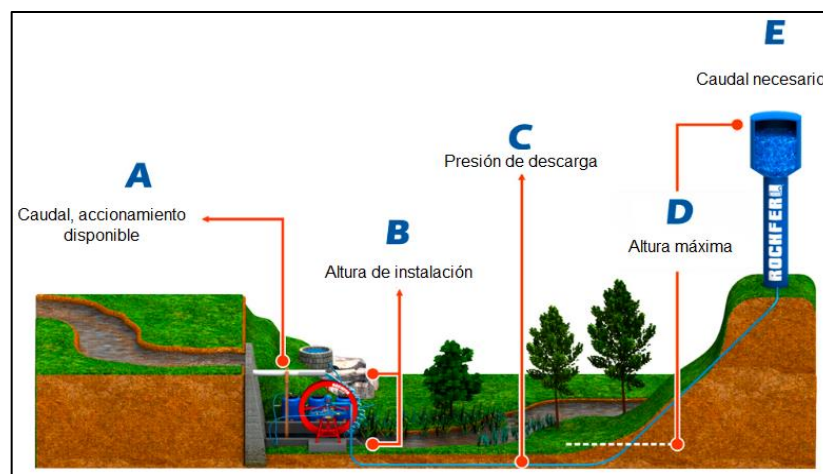
Fuente: Manual de instrucciones bombas de rodamiento de agua. Consulta: 25 de enero de 2019.

Este tipo de distribución permite realizar un aforo, detener la descarga de la bomba y permite evacuar sílice y materia presente dentro de la bomba que son tareas programadas en un mantenimiento correctivo.

La tubería de descarga también cuenta con un cheque horizontal que permite proteger el equipo de cambio de presión debido a la dirección del caudal y una válvula de retención. Los elementos de la tubería de descarga son acoplados con teflón en sentido de la rosca para evitar fugas y el desperdicio del agua que ya fue bombeada. Este equipo de bombeo puede enviar agua hasta una distancia total de 10 Km.

La bomba Rochfer MS-89 debe ser instalada de acuerdo con la distancia y altura del depósito de almacenamiento. La figura 43 identifica los datos para la instalación de esta bomba hidráulica y presenta un ejemplo de la casa distribuidora para su instalación.

Figura 43. **Diseño para el dimensionamiento de la bomba Rochfer**



Fuente: Parker. *Dimensionamiento de la bomba*. <https://www.canalbombas.com.br/dimensionamento-roda-dagua/> Consulta: 25 de enero de 2019.

Los parámetros mostrados en la imagen anterior proporcionan los datos para dimensionamiento de la tubería de descarga.

La tubería más utilizada es la de cloruro de polivinilo (PVC) ya que tiene un precio más económico en comparación de las tuberías de metal. El PVC está comprobado que puede soportar altas presiones y debido a su poca rugosidad se obtienen menos pérdidas de agua al momento del bombeo. Este material es fácil de conseguir y cuenta con distintos elementos de control de fácil acoplamiento en estaciones de bombeo.

3.8. Selección de velocidad de rodamiento de rueda de cangilones hidráulicos

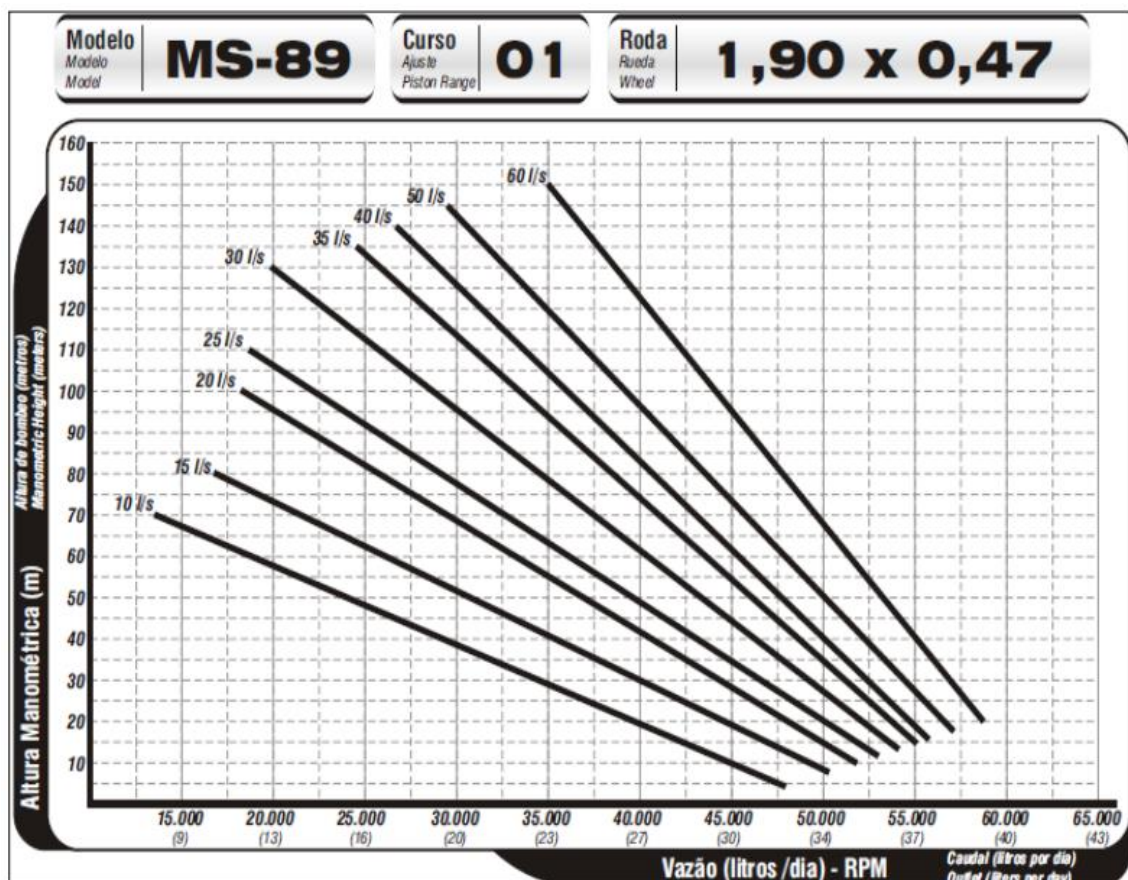
Una bomba hidráulica de tipo reciprocante con volumen controlado tiene la característica de bombear una cantidad específica de agua por cada ciclo. La bomba RMS-89 puede bombear 4 *lts* por ciclo o revolución de la rueda de cangilones hidráulicos, este volumen es la capacidad máxima que puede ingresar a los cilindros hidráulicos debido a su diseño.

La selección de la velocidad de rodamiento de rueda de cangilones hidráulicos depende de las curvas de la máquina. Las curvas de un equipo hidráulico sirven para evaluar los diseños en estaciones de bombeo. Dependiendo de la cantidad de salto hidráulico que se presente se puede escoger el canal de entrada y las dimensiones por utilizar.

Las curvas de la bomba RMS-89 se observan en la figura 44.

En esta gráfica se identifica la presión manométrica de la descarga de la bomba hidráulica con respecto al caudal de entrada para la rueda de cangilones hidráulicos.

Figura 44. Curvas de la bomba Rochfer MS-89



Fuente: Docplayer. *Curvas de bomba*. <https://docplayer.es/15744025-Pontificia-universidad-catolica-del-peru.html>. Consulta: 25 de enero de 2019.

El comportamiento de la gráfica proyecta que, a mayor número de revoluciones, la máquina puede presentar un descontrol en la cámara estabilizadora provocando un retraso al momento del golpe de ariete y el bombeo

final del fluido. La velocidad sugerida es la cantidad máxima en referencia al salto de agua presente en la estación de bombeo.

El suministro de agua es la variable que determina la capacidad de bombeo para una estación con esta máquina.

En la sección anterior se indicó que el disco excéntrico gira con la misma velocidad angular que la rueda de cangilones hidráulicos, por lo cual una revolución de la rueda significa dos accionamientos en los cilindros hidráulicos debido a su diseño simétrico. La velocidad de la rueda depende del caudal de entrada, de la energía potencial y cinética presentes en el salto de agua. El salto de agua es una característica de la región donde se opera la RMS-89. Para saber el salto neto, antes se deben conocer las pérdidas de carga, el salto bruto y el salto útil que se pueden definir de la siguiente manera:

- Salto bruto (H_b)

Es la distancia vertical, medida entre los niveles de la parte superior del agua en la toma y el canal de entrada a la rueda de cangilones hidráulicos.

- Salto útil (H_u)

Es la distancia medida entre los niveles de la parte superior de la toma de agua y el canal de desagüe por donde se drena el agua, la distancia se mide verticalmente.

- Salto neto (H_n)

El salto neto es la medida de salto útil restándole las pérdidas de carga debidas al rozamiento del agua con las paredes del canal y debido a las turbulencias.

De esta forma se puede identificar y seleccionar la velocidad adecuada de la rueda de cangilones hidráulicos para que su eficiencia sea optima aprovechando los recursos de manera responsable.

4. DISEÑO ACTUAL DE LA BOMBA HIDRÁULICA ROCHFER MS-89 UBICADA EN FINCA SABANA GRANDE

4.1. Diagnóstico de equipo

Uno de los primeros pasos para llevar a cabo un proyecto es la identificación de los objetivos que se desean alcanzar. Este trabajo de graduación contiene la información recolectada de un proyecto en la escuela de Ingeniería Mecánica, de la Universidad de San Carlos de Guatemala, donde llegó la notificación acerca de un equipo de bombeo marca Rochfer. Anteriormente, se reconocieron las ventajas de un buen abastecimiento de agua y todos los beneficios que proporciona a una sociedad, por lo cual se realizó un diagnóstico con el propósito de proponer un método adecuado de reacondicionamiento y recuperación del suministro de agua mineral para los habitantes de la Finca Sabana Grande ubicada en Escuintla, Guatemala.

Un diagnóstico, en el ámbito de la ingeniería, está vinculado a recolectar datos para analizarlos e interpretarlos, lo que permite evaluar una cierta condición. Es el proceso de reconocimiento, análisis y evaluación de una cosa o situación para determinar sus tendencias, solucionar un problema o remediar una deficiencia. Los aspectos que se lograron diagnosticar son los siguientes:

- Datos generales

Entre ellos está la información necesaria para identificar el problema, son aspectos que nombran el proyecto para distinguirlo de forma más adecuada.

Los datos generales del equipo a diagnosticar son los que se encuentran en la tabla IX.

Tabla IX. **Datos generales**

Dato	Descripción
Fecha:	2 de marzo de 2016
Ubicación:	Finca Sabana Grande, Kilómetro 72 carretera de Escuintla a Sacatepéquez, Escuintla, Guatemala
A cargo:	Escuela de Ingeniería Mecánica
Categoría:	Máquinas hidráulicas
Nombre de la máquina:	Rochfer MS-89
Propietario:	Facultad de Agronomía USAC
Referencia:	EPS Facultad de Agronomía

Fuente: elaboración propia.

- **Datos del equipo**

Los datos del equipo es la información acerca de la maquinaria, los datos de este equipo de bombeo se encuentran en la tabla X.

Tabla X. **Datos del equipo**

Dato	Descripción	Dato	Descripción
Marca	Rochfer	Número de serie	00161
Modelo	MS-89	Fab	0302
Serie	C	Mont	RF
Rev	HF	Email	rochfer@rochfer.com.br

Fuente: elaboración propia.

- Datos del diagnóstico

Los datos del diagnóstico son las observaciones realizadas en la evaluación del estado del equipo. En la figura 45 se encuentra la imagen de la bomba RMS-89 el día 02 de marzo de 2016, día que se realiza el diagnóstico.

Figura 45. **Fotografía bomba Rochfer MS-89 ubicada en finca Sabana Grande durante diagnóstico**



Fuente: elaboración propia.

El equipo no estaba operando ya que se encontraba abandonado. Durante el diagnóstico se identificó el daño debido a la corrosión que afecta la superficie de la bomba hidráulica. Se encontraron raíces de plantas que cubrían parte del equipo debido a la falta de operación. Durante el tiempo que la máquina no estaba operando, los habitantes de la Finca Sabana Grande utilizaron otros métodos de abastecimiento de agua por medio de acarreo de toneles y cubetas desde el río.

En la figura 46 se observa la obstrucción colocada por los residentes para detener el funcionamiento de la rueda de cangilones hidráulicos e interrumpir el funcionamiento de la bomba RMS-89.

Figura 46. **Fotografía de obstrucción de canal de entrada para rueda de cangilones hidráulicos**



Fuente: elaboración propia.

Se identifica un depósito que sirve como filtro por decantación y se observa en la figura 47.

Figura 47. **Sistema de filtrado por decantación**



Fuente: elaboración propia.

La chumacera que sostiene la rueda de cangilones hidráulicos y la bomba RMS-89 se encuentra completa; sin embargo, tiene daños superficiales debido a la corrosión por erosión. Esta chumacera se observa en la figura 48.

Figura 48. **Chumacera de bomba Rochfer MS-89**



Fuente: elaboración propia.

El cárter de la bomba contiene aceite completamente emulsionado debido al abandono (ver figura 49).

Figura 49. **Disco excéntrico con emulsión**



Fuente: elaboración propia.

En el cárter de la bomba no se puede encontrar la bomba inyectora de aceite únicamente se encuentran rastros de las mangueras.

El canal que abastece la rueda de cangilones hidráulicos conduce el caudal del salto que se encuentra obstruido por arena volcánica, tierra y especies orgánicas que obstaculizan la llegada de agua a la estación de bombeo, como se observa en la figura 50.

Figura 50. **Canal del salto de agua para rueda de cangilones hidráulicos**



Fuente: elaboración propia.

El cuarto de máquinas se encuentra abandonado y es utilizado como bodega debido a que aún cuenta con una parte techada que ayuda a que la maquinaria se conserve de lluvias y situaciones del ambiente. Una parte del techo del cuarto de máquinas se encuentra deteriorado lo que permite que la lluvia humedezca la maquinaria acelerando su deterioro. En la figura 51 se observa parte de la cámara estabilizadora que presenta un color distintivo de la corrosión, color rojizo y también parte de la pared y el techo de la estación de bombeo.

Figura 51. **Techo de la estación de bombeo**



Fuente: elaboración propia.

En los laterales de la bomba se encuentran los cilindros hidráulicos que también se encuentran dañados debido a la erosión. El pistón presenta daños debidos a la abrasión de las empaquetaduras que no fueron reemplazadas. El cilindro hidráulico es el que se observa en la figura 52, donde se puede identificar el prensa-estopa que no presenta mayor daño superficial.

Figura 52. **Cilindro hidráulico de bomba Rochfer MS-89**



Fuente: elaboración propia.

No se puede encontrar un libro con detalles del mantenimiento proporcionado a la RMS-89 por lo cual no se cuenta con este historial de información.

El depósito filtrante se encuentra vacío, como lo muestra la figura 53, por lo cual no es posible realizar un diagnóstico para el tratamiento de agua.

Figura 53. **Sistema de filtrado por decantación vacío**



Fuente: elaboración propia.

Dado por terminado el diagnóstico se lograron recolectar datos para utilizarlos como puntos a mejorar durante el análisis mecánico a planificarse. Se realiza también un presupuesto primario identificando algunos costos necesarios.

4.2. Caudal actual

La finca Sabana Grande se encuentra rodeada de muchos nacimientos de agua mineral por lo cual el aprovechamiento de este recurso se puede realizar en forma sencilla. La bomba RMS-89 se encuentra abandonada completamente por lo cual no cuenta con un caudal para el salto de agua, ni un caudal de bombeo.

El canal del salto de agua es el que se observa en la figura 54. Al momento de realizar el diagnóstico, no se puede realizar una prueba de aforo para conocer la cantidad de agua ya que este canal se encuentra parcialmente inhabilitado desembocando antes de la estación de bombeo y desperdiándose de manera irregular en otro lugar.

Figura 54. **Canal de salto de agua**



Fuente: elaboración propia.

El agua que alimenta el canal proviene de un embalse. El fluido natural que se transporta en el canal contiene mucha arena. El primer día que se trabaja la bomba se encuentran este tipo de obstrucciones que inhabilitaron que la bomba continuará trabajando. En cuanto la tubería de descarga se encuentra tapada por una válvula de compuerta y no existe caudal al momento de continuar realizando el diagnóstico los primeros días del proyecto.

Uno de los objetivos principales es recuperar el caudal y utilizarlo metros arriba como fuente de agua para los residentes de la finca.

4.3. Altura actual de succión

En los métodos de hidráulica se han planteado formas de calcular el trabajo de una bomba de agua, basándose en ecuaciones matemáticas. Se pueden tomar datos para utilizarlos en las operaciones y obtener resultados importantes que ayuden a identificar numéricamente las condiciones de un equipo. En este caso se utiliza la distancia vertical a la cual se encuentra trabajando la bomba y así conocer la energía que necesita la bomba para succionar el agua. En la figura 55 se observa la distancia vertical de la tubería de succión.

Figura 55. Tubería de succión durante el diagnóstico



Fuente: elaboración propia.

La tubería de succión es de acero galvanizado y se encuentra aproximadamente 3,70 m sobre el nivel del filtro por decantación. Esto significa que la bomba necesita realizar trabajo para succionar el fluido y poder bombearlo hacia el depósito, un sistema con succión negativa.

4.4. Tubería de descarga

La tubería de descarga se encuentra bloqueada por una válvula de compuerta. El tubo es de un diámetro de 2 *pulg*s y tiene un cheque horizontal a menos de 1 *m* de distancia de la bomba. Esta tubería tiene una inclinación y conecta directamente con un depósito que almacena el agua bombeada. No se puede realizar un análisis topográfico debido a que existen algunas restricciones por parte de Conred para regresar a realizarlos a la finca. Es aproximadamente 1,2 *kms* de distancia desde la estación de bombeo hasta el depósito de almacenamiento. La estación no cuenta con manómetro para la tubería de succión, pero se realizan cálculos para estimar la presión de descarga.

Al momento de realizar el diagnóstico la presión es de 0 *psi* .La tubería se encuentra en buenas condiciones sin embargo se estiman algunos gastos por acoples que se pueden necesitar al momento del montaje.

4.5. Análisis del deterioro de la bomba Rochfer MS-89

Después de realizar un diagnóstico primario se puede realizar un análisis del deterioro del equipo. La bomba RMS-89 es de hierro forjado y no se logran observar fisuras o quebraduras, por lo que se estima que no existen fugas. El material se encuentra con mucha corrosión sin embargo no existen grietas que inutilicen alguna parte del equipo de bombeo. Partes del vástago de acero inoxidable no presentan ningún desgaste y no requieren mucho trabajo de mantenimiento correctivo.

Durante el análisis se puede identificar el proyecto como un mantenimiento correctivo a realizarse para la bomba RMS-89.

Se decide también desmontar el equipo y trasladarlo al taller mecánico para la reconstrucción. En esta etapa también se bosqueja una calendarización de trabajo fijando algunas fechas importantes para la restauración. Se procede a efectuar el presupuesto y se buscan las herramientas principales para utilizarlas en el proyecto.

Se presentó un presupuesto que fue entregado a la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, donde se especifican todos los recursos necesarios para utilizarse en el proyecto. Los fondos fueron proporcionados debido a una marcha en manifestación de la mala utilización del recurso hídrico. En la figura 56 se muestra la fotografía tomada el día que se llevó a cabo la marcha desde el campus central.

Figura 56. **Artículo de boletín informativo Agro**



Fuente: UBA, Agronomía. *Boletín informativo Agro, Una construcción colectiva 31/10/2016.*

<https://www.agro.uba.ar/alumnos/leaa/boletin>. Consulta: 13 de septiembre de 2018.

El análisis fue liderado por el Ingeniero Mecánico José Ismael Véliz Padilla que fue el profesional que asesoró por parte de la Escuela de Mecánica a los estudiantes para lograr una mejora al equipo de bombeo y también para ayudar a los residentes de la Finca Sabana Grande en Escuintla.

4.6. Análisis de rodamiento de rueda de cangilones hidráulicos

En el análisis de rodamiento de la rueda de cangilones hidráulicos se pueden identificar algunas reconstrucciones necesarias para aprovechar la energía de entrada. Se establece mover la rueda hacia el taller mecánico y repararla con métodos de corte y soldadura. En adicional se estiman gastos para comprar perfiles y poder reparar la rueda de forma adecuada. La rueda se observa en la figura 57.

Figura 57. **Rueda de cangilones hidráulicos durante el diagnóstico**



Fuente: elaboración propia.

Por medio del departamento de Ejercicio Profesional Supervisado EPS de la Facultad de Agronomía se logran solventar algunos de los insumos necesarios para las piezas mecánicas que se necesitan. Alumnos de la rama de Ingeniería Mecánica colaboraron con mano de obra para cubrir gastos que no pueden cubrir los fondos obtenidos.

En la tabla XI se pueden identificar algunos de los insumos que fueron proporcionados al departamento de EPS de la Facultad de Agronomía.

Tabla XI. **Insumos del proyecto de reacondicionamiento**

Parte	Cantidad	Costo
Casco	6	Q 35,00
Protectores auditivos	6	Q 10,00
Guantes	6	Q 28,00
Lentes de seguridad	6	Q 15,00
Cinta para lentes	1	Q 9,00
Chaleco refractivo	1	Q 25,00
Pintura de aceite	8	Q 55,00
Teflón	4	Q 6,00
Tornillería	30	Q 4,00
Uniones universales 2 pulg	2	Q 40,00
Solvente mineral	1	Q 15,00
Cartón de empaquetaduras	1	Q 60,00
Mascarillas	6	Q 13,00
Protectores auditivos tipo diadema	6	Q 22,00
Lijas	5	Q 4,00
Electrodos	5 libras	Q 100,00
Estopa Industrial	3 libras	Q 1 400,00
	Total	Q 3 031,00

Fuente: elaboración propia.

En la figura 58 se identifica al residente de la Finca Sabana grande agradeciendo a la Facultad de Agronomía por los insumos recibidos.

Figura 58. **Fotografía al momento de entregar los insumos**



Fuente: elaboración propia.

El proyecto se aterrizó con la autorización de trabajo por parte del Decano de la Facultad de Agronomía donde se comenzaron las primeras actividades de reacondicionamiento del equipo mecánico trabajándolas por separado. En este trabajo de investigación se fortalecen datos importantes para la reconstrucción específicamente de la bomba hidráulica.

En la parte de los anexos se pueden identificar otra fotografía de los insumos al momento que se entregaron a los encargados de la Finca Sabana Grande.

4.7. Diagnóstico del ambiente de trabajo de bomba hidráulica

Entre los diagnósticos realizados se puede encontrar el análisis del ambiente donde se encuentra operando la bomba RMS-89. La temperatura alta es característica de la zona de Escuintla que presenta gran humedad y sol árido. Por lo cual es necesario también reconstruir una parte del cuarto de máquinas para aumentar la calidad de vida al equipo de bombeo. En la figura 59 se observa la foto satelital de la finca ubicando con un círculo rojo, el punto donde se encuentra la estación de bombeo.

Figura 59. **Fotografía satelital de la estación de bombeo de la RMS-89**



Fuente: Google Maps. *Sustracción de imagen satelital.* <https://www.google.com/maps>. Consulta: 26 de mayo de 2019.

La zona está rodeada por nacimientos de agua natural que brotan desde el suelo y permiten que la bomba hidráulica opere de forma permanente por lo cual

el método de reacondicionamiento estará enfocado a un trabajo de 24 horas diarias.

Durante la época de lluvia se pueden presentar acumulamiento de agua sin embargo no afecta al mecanismo como tal, por lo tanto, se trabajan métodos adecuados a la conservación de la maquinaria debido a la corrosión por erosión.

En la figura 60 se observa el módulo filtrante para el salto hidráulico que es necesario para accionar la rueda de cangilones hidráulicos, rodeado de muchas plantas de tipo tropical.

Figura 60. **Módulo de filtrado por decantación salto de agua**



Fuente: elaboración propia.

5. REACONDICIONAMIENTO DE BOMBA HIDRÁULICA ROCHFER MS-89

5.1. Propuesta de reacondicionamiento

En la propuesta de reacondicionamiento se toman en cuenta todos los datos recolectados al momento de realizar el diagnóstico. Dentro de la propuesta se encuentra desmontar el equipo para trabajarlo de forma correcta dentro de un taller mecánico y tener cerca todas las herramientas necesarias para la reconstrucción. Parte del desmontaje debe de ser acompañado de un automóvil que permita el traslado del equipo hacia el taller. Se utilizaran técnicas de procesos de manufactura para recuperar las partes de la maquinaria dañada y se utilizaran nuevas piezas que no pueden recuperarse como las empaquetaduras de fibra de caucho.

Se propone realizar un estudio exhaustivo de la bomba y de la forma de operación para conocer partes importantes y priorizar de manera adecuada el trabajo a realizarse. Identificando las funciones principales del equipo de bombeo, se propone permanecer con el modelo actual y no realizar modificaciones al sistema hidráulico. Lo que se busca con el proyecto es reestablecer las dimensiones originales aplicando un mantenimiento correctivo. Es necesario contar con un presupuesto holgado que permita solventar futuros inconvenientes que se presenten luego del desmontaje.

Se tiene que recuperar el equipo de los daños ocasionados por la corrosión cepillando la superficie. Se propone darle una capa de pintura al equipo que permita optimizar el tiempo de vida de la maquinaria.

Se busca desmontar solo una parte del equipo y la otra parte se trabaja en campo, es decir en la estación de bombeo previamente identificada. Dentro del cronograma se calendarizan las pruebas de aforo y la puesta en marcha del equipo para recuperar el caudal de una forma eficiente.

Se tiene establecido cortar y sustituir perfiles metálicos de la rueda de cangilones hidráulicos por medio de métodos de soldadura al arco eléctrico. Se utilizarán algunas otras piezas soldadas para el balanceo de la rueda y así permitir un rodamiento uniforme.

5.2. Desmontaje

Durante el desmontaje se utilizan llaves como herramientas de trabajo mecánico. Como primer paso se desmontan los cilindros hidráulicos. La figura 61 muestra el cilindro hidráulico desmontado del costado del equipo de bombeo.

Figura 61. Cilindro hidráulico durante el desmontaje



Fuente: elaboración propia.

La tubería de succión se cortó por medio de unos cortatubos para lograr desacoplar las piezas del equipo de bombeo. La figura 62 muestra el proceso con los cortatubos.

Figura 62. **Desmontaje por medio de cortatubos**



Fuente: elaboración propia.

Luego que se desmontan los cilindros hidráulicos y se corta la tubería de succión se procede a desmontar la cámara estabilizadora. Removiendo los pernos esto permite desacoplarla del cárter. En la figura 63 se muestra el procedimiento de desmontaje de la recamara.

Figura 63. **Desmontaje cámara estabilizadora de la bomba hidráulica**



Fuente: elaboración propia.

Se remueven los tornillos de la masa centrada y se desmonta la rueda de cangilones. En la figura 64 se muestra el desmontaje en un 75 % de avance

Figura 64. **Desmontaje de rueda de cangilones hidráulicos**



Fuente: elaboración propia.

En la figura 65 se muestra la rueda de cangilones hidráulicos desmontada del eje de rotación, La rueda es el complemento más grande del equipo hidráulico.

Figura 65. **Fotografía de rueda de cangilones hidráulicos desmontada**



Fuente: elaboración propia.

El cárter, el vástago, los pistones y el soporte de la bomba permanecen en la estación de bombeo como se muestra en la figura 66. No es necesario desmontar estas piezas ya que por su diseño se pueden trabajar en campo. Los métodos de reacondicionamiento serán evaluados y se asistirá de mejor manera con las piezas permaneciendo en su lugar. Para este trabajo se utiliza un plástico protector para conservar el equipo durante el tiempo que se realiza el mantenimiento correctivo. El plástico protector ayuda a que el equipo no continúe su deterioración ya que al momento del desmontaje algunas superficies quedan vulnerables para adquirir más oxidación.

Figura 66. **Partes de la bomba sin desmontaje necesario**



Fuente: elaboración propia.

Por medio de un tractor se realiza el traslado de las piezas mecánicas al taller de mantenimiento correctivo, (ver figura 67).

Figura 67. **Fotografía del traslado de piezas mecánicas por medio de tractor John Deere**



Fuente: elaboración propia.

Al llegar al taller de mecánica se comienza con el traslado de la rueda de cangilones hidráulicos hacia los bancos de trabajo para comenzar con su reparación. En la figura 68 se observa la fotografía al momento de movilizar la rueda en el carretón del tractor.

Figura 68. **Movilización de la rueda de cangilones hidráulicos**



Fuente: elaboración propia.

Al momento del traslado se movilizan también todas las actividades al taller de mecánica. En este lugar se realizarán técnicas de procesos de manufactura, metalurgia, ciencia y resistencia de los materiales para reconstruir de una forma adecuada todas las piezas que se necesitan trabajar.

Muchas de las piezas son consideradas chatarra, sin embargo, es importante mantener un lado ecológico y lograr reutilizar la mayor cantidad de

piezas para la disminución de costos e impacto ambiental. En la figura 69 se muestra la protección instalada al equipo que permaneció instalado.

Figura 69. **Fotografía de protección del equipo durante su reparación**



Fuente: elaboración propia.

Los habitantes del lugar también colaboraron con la primera limpieza del módulo de filtrado por decantación como se muestra en la figura 70, donde lograron llenarlo y limpiarlo de sedimentos.

Figura 70. **Fotografía del primer llenado del filtro por decantación**



Fuente: elaboración propia.

Se determina que el sistema de filtrado se encuentra sucio, pero en buenas condiciones por lo cual se busca limpiarlo de microorganismos para mejorar la potabilización del suministro de agua.

5.3. Ajustes de cilindros con balines flotantes

Al movilizar las actividades y centrarlas en el taller de mecánica se completa el desmontaje de las piezas mecánicas que conforman la bomba Rochfer MS-89. Se realiza el desmontaje de la cámara estabilizadora por medio de un polipasto. El polipasto permite desmontar gradualmente un componente de una máquina para evitar que se fracture o que se caiga de un nivel superior. En la figura 71 se muestra el desmontaje de forma correcta.

Figura 71. **Fotografía del desmontaje de cámara estabilizadora**



Fuente: elaboración propia.

Al momento de evaluar el sistema de retención por cheques o balines, se logra identificar un alto grado de oxidación que deterioro el cilindro donde trabajan los balines, como se muestra en la figura 72.

Figura 72. **Fotografía de daños en los cilindros de los cheques parte superior**



Fuente: elaboración propia.

Se identifican daños por alto grado de corrosión en la parte inferior del sistema de retención por medio de cheques que también necesita ser reconstruido, como se observa en la figura 73. Es importante reconocer que el sistema de bombeo es controlado en un 100 % por estos balines ya que ellos dirigen el caudal del agua cerrando el ciclo de retorno y abriendo el de descarga. Estos cheques por medio de bolas son la parte principal de la bomba RMS-89.

Figura 73. **Fotografía de daños en los cilindros de los cheques de balines flotantes parte inferior**



Fuente: elaboración propia.

La superficie se encuentra dañada y los cheques tienen fugas de agua. El alto nivel de corrosión no permite identificar si hay fisuras sin embargo la pieza se encuentra completa.

Como parte del método de reacondicionamiento se comienza a limpiar la superficie con una pulidora. Las partes que se encuentran afectadas por la corrosión deben conservar las dimensiones iniciales del equipo de bombeo y así lograr tapar las fugas y colocar de una forma correcta el balín en su asiento para el funcionamiento de la bomba. Se desgasta menos de 1 *mm* la superficie de la pieza para poder colocarla nuevamente en el equipo. El proceso de desgaste se observa en la figura 74, por medio de la pulidora de disco se utilizaron técnicas de procesos de manufactura para desgastar parte superficial eliminando las escamas formadas de corrosión.

Figura 74. **Fotografía de reacondicionamiento de cheques con balines**



Fuente: elaboración propia.

Es importante identificar el giro del disco para evitar accidentes, de igual forma el uso de mascarilla por el polvillo que se desprende al momento de limpiar la superficie. Se utiliza lija y agua para restaurar los últimos detalles de los asientos y poderla acoplar de una buena manera por medio de los empaques.

En la figura 75 se puede identificar la pieza reacondicionada. Se observa que ya no existe presencia de corrosión y muestra un color gris metálico distintivo de los aceros. En este caso se recomienda añadir una pintura anticorrosiva para aumentar el tiempo de vida. Sin embargo, por falta de presupuesto no se puede aplicar y se monta de la misma manera que se encuentra para recuperar el suministro de agua de cualquier forma.

Figura 75. **Fotografía de los asientos de balines restaurados**



Fuente: elaboración propia.

Al terminar el proceso de limpieza se puede obtener un mejor acoplamiento de la parte inferior sin obstaculizar el paso del caudal de agua. Este proceso es común sin embargo no es posible aplicarlo en todos los casos ya que si se utiliza más de 2 veces se puede afectar las dimensiones de la bomba y obtener fugas por medio de un mal ajuste entre las piezas.

5.4. Restauración de rueda de cangilones hidráulicos

La rueda de cangilones hidráulicos es la parte mecánica que absorbe la energía proveniente de un salto de agua; por lo tanto, es una parte importante para la eficiencia del equipo de bombeo. La restauración de la rueda de cangilones hidráulicos debe cumplir con el objetivo de almacenar la mayor cantidad de agua en sus cangilones para aumentar las revoluciones en el trabajo de bombeo.

Al momento del desmontaje se logra identificar que los cangilones se encuentran doblados y presentan alto grado de corrosión. Un cangilón doblado perjudica las dimensiones del volumen de agua que puede almacenar por lo tanto se puede tener un desperdicio de agua en la estación de bombeo. El desaprovechamiento de la energía presente en el salto de agua disminuye la eficiencia de la máquina.

El proceso de reacondicionamiento se realiza por pasos, siendo el primer paso identificar por medio de una tiza blanca, las áreas que se deben cambiar utilizando una lámina o perfil de metal nuevo. Se debe buscar una chapa de lámina igual a la utilizada en la fabricación para no perjudicar el peso de la rueda ya que esto puede afectar el rodamiento formando un desbalance en el peso de la rueda mecánica. En la figura 76 se observa el método de identificación de partes que necesitan reemplazo.

Figura 76. **Método de identificación con tiza blanca**



Fuente: elaboración propia.

Luego de identificar las partes que necesitan reemplazo, se procede a realizar un cálculo aproximado de la suma de las áreas que se necesitan cambiar y así comprar la lámina necesaria. Es importante conservar las dimensiones originales para evitar que el equipo opere de manera ineficiente.

El segundo paso de la restauración indica remover las partes dañadas por medio de un disco de corte y el equipo de protección personal. En la figura 77 se observa el proceso de corte de la rueda de cangilones hidráulicos.

Figura 77. **Proceso de corte de rueda de cangilones hidráulicos**



Fuente: elaboración propia.

En la figura 78 se observa la rueda de cangilones después del proceso de corte.

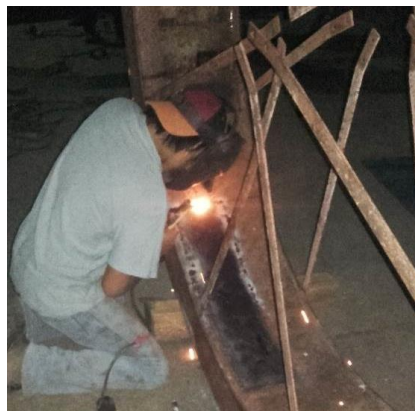
Figura 78. **Rueda de cangilones hidráulicos durante el reacondicionamiento**



Fuente: elaboración propia.

Desechando las partes innecesarias o que no pueden restaurarse, se procede a soldar por medio de soldadura al arco eléctrico las partes de lámina nuevas en la rueda de cangilones, como se observa en la figura 79.

Figura 79. **Método de soldadura al arco eléctrico**



Fuente: elaboración propia.

Al soldar las partes de lámina nueva a la estructura se protege utilizando una capa de pintura roja evitando que la corrosión penetre fácilmente y alargando el tiempo de vida de la rueda de cangilones hidráulicos. Las barras que conectan la rueda con el centro de masa (máscara) también se limpian por medio de cepillo de alambre para remover las impurezas debidas a la oxidación.

5.5. Reacondicionamiento de tuberías y cámara estabilizadora

Antes del montaje se necesita corroborar que las piezas de la bomba RMS-89 estén ajustadas de una buena forma. Las técnicas que más se utilizaron fueron las de cepillado y limpieza de las superficies afectadas por la oxidación. Las partes cilíndricas fueron rebajadas con cepillo de alambre como se observa en la figura 80.

Figura 80. **Fotografía del cepillado de prensa estopas**



Fuente: elaboración propia.

Se utilizaron lijas con agua para eliminar las partes dañadas por medio de fricción cuidando un desgaste pronunciado en las piezas. Estos métodos se utilizan en ingeniería mecánica debido a las propiedades de los materiales. El proceso de lijado ocupa aproximadamente el 65 % del tiempo invertido durante todo el proceso de la preparación y aplicación de la pintura, por ello resulta necesario conocer en todo momento el tipo de lija, lijadora y el proceso adecuado a realizar con objeto de optimizar y obtener trabajos de calidad sobre las superficies trabajadas.

La operación de lijado es utilizado en el campo de la pintura con objeto de realizar alguna de las siguientes funciones:

- Eliminación de material
- Preparación de superficies
- Alisado y embellecimiento de superficies
- Reparación de defectos

La reacción química que se presenta en la mayoría de las piezas de la bomba Rochfer MS-89 es debida al alto nivel de humedad presente en esta zona. Las lluvias que se presentan cerca de la costa sur de Guatemala son excesivas y debido a que el volcán de Fuego se encuentra cerca es posible que el agua contenga altas concentraciones de azufre por lo cual aceleran el deterioro interno de la maquinaria. Estas concentraciones de azufre permiten formar costras de oxidación en la superficie del equipo de bombeo. El material fundamental utilizado en el proceso de limpieza es la lija, la operación se puede realizar de manera manual con la ayuda de cuñas o de una manera automática mediante el uso de máquinas lijadoras acompañadas de agua para remover dichas costras como se observa en la figura 81.

Figura 81. **Método de lijado de piezas cilíndricas**



Fuente: elaboración propia.

La cámara estabilizadora está hecha en su mayoría por hierro fundido, una de las cualidades que se detallaban en el capítulo anterior era su fragilidad. Es importante maniobrar las piezas de hierro fundido con mucha precaución ya que suelen tener bastante peso. La forma semiesférica de la cámara complica su movilidad y es importante analizar su deterioro para evitar que se fracture durante el reacondicionamiento.

El proceso de desgaste le permite a la pintura nueva cubrir sobre una superficie libre de corrosión. Un cepillo de alambre debe ser utilizado suavemente sobre toda el área para evitar rayones no deseados que tengan mal aspecto. En la figura 82 se observa el reacondicionamiento de la cámara estabilizadora sobre un banco de trabajo previamente despejado para evitar que se caiga desde una altura que pueda fracturarla.

Figura 82. **Restauración cámara estabilizadora bomba RMS-89**



Fuente: elaboración propia.

La cámara estabilizadora fue cepillada suavemente para eliminar restos de corrosión y se tiene que remover todo tipo de escamas que se hayan producido por la pintura anterior. La tubería que se identificaba en el subtema anterior también fue sometida a desgaste por medio de la pulidora para un montaje eficiente al momento de la puesta en marcha. Este proceso de desgaste se puede comprobar en la figura 83 donde se reutiliza la misma tubería para volver a accionar el mecanismo. De una forma uniforme se busca el desgastado de la superficie del hierro galvanizado sin embargo no es posible desacoplar los tubos ya que la presencia de corrosión en la rosca es excesiva y no permite el desmontaje de las piezas. En este caso se procedió a darle restauración con las piezas roscadas a la bomba.

Figura 83. **Fotografía de la restauración de la tubería**



Fuente: elaboración propia.

Las tuberías padecen de un problema denominado colesterol. El colesterol en las tuberías es parecido al de las venas para un cuerpo humano. Estos restos metálicos juntos con la oxidación pueden formar una masa que se impregna en las paredes de la tubería obstruyendo el caudal de agua. Esto disminuye el paso del flujo y aumenta las pérdidas debidas a la fricción entre la superficie de las tuberías. Es importante retirarlas y limpiarlas para que la eficiencia de un equipo de bombeo permanezca uniforme.

5.6. Montaje y lista de materiales empleados

El reacondicionamiento se llevó a cabo en el taller mecánico de la Finca Sabana Grande. En la sección anterior se identificaban los pasos que se llevaron a cabo dentro del taller de mantenimiento correctivo.

Se utilizaron las mismas técnicas de mantenimiento correctivo a las partes del equipo de bombeo que permanecieron en la estación de bombeo. La limpieza del cárter, los cilindros hidráulicos y el soporte de la bomba antes del montaje permite que la restauración del equipo de bombeo sea completa. La estación de bombeo también fue utilizada para la instalación de una micro hidroeléctrica esta información se encuentra en el apéndice 4.

Las partes del equipo de bombeo se limpian con cepillo de alambre antes de aplicársele una capa de pintura continuando con los colores originales como se observa en la figura 84.

Figura 84. **Reacondicionamiento del cárter de la bomba hidráulica**



Fuente: elaboración propia.

Con el apoyo de un compresor móvil se acopla un sistema de pulverización para aplicar la pintura en campo optimizando que la pintura penetre en la superficie de los cilindros de la bomba. El proceso de montaje se tiene que detener para que la pintura se pueda secar.

En la figura 85 se observa el equipo reacondicionado antes del traslado de los componentes desde el taller de mantenimiento correctivo.

Figura 85. **Estación de bombeo antes del montaje**



Fuente: elaboración propia.

Durante el proceso de restauración se utilizaron técnicas de ingeniería mecánica para el correcto funcionamiento hidráulico de la bomba. Para poder montar una máquina se debe tener en cuenta que el lugar debe ser adecuado con buena iluminación, ventilación y que posea espacio suficiente para el acceso de los diferentes componentes que se usarán en el proceso de la máquina, también para poder realizar mantenimiento y limpieza de la máquina.

El traslado de las partes restantes de la bomba se realiza en conjunto. Todos los componentes fueron previamente inspeccionados y reacondicionados de tal forma que se pudieran acoplar fácilmente al momento del montaje.

En la figura 86 se observa el traslado de las piezas en el carretón proporcionado por las autoridades administrativas de la Finca Sabana Grande.

Figura 86. **Traslado de componentes para el montaje**



Fuente: elaboración propia.

El primer componente montado en la estación de bombeo fue la rueda de cangilones hidráulicos que debido a su peso y posición debía ser instalada al fondo del cuarto. Luego de montarla al principio del eje de rotación se procede a ajustarla junto con los pernos y tuercas considerando que debe estar fijado a las barras que conectan con la corona. Estas barras tienen un diseño en particular que permiten que el montaje sea simétrico sin embargo es importante considerar un método de balanceo para evitar vibraciones mecánicas.

En la figura 87 se puede identificar el montaje de la rueda de cangilones hidráulicos.

Figura 87. **Montaje de la rueda de cangilones hidráulicos**



Fuente: elaboración propia.

El método de balanceo permite que la rotación sea uniforme. Las fuerzas centrífugas, aceleraciones debidas a los incrementos de energía en forma de presión en el salto de agua pueden crear fatiga en el eje y en este tipo de maquinaria puede repercutir en la fractura total o parcial del mismo. Se pueden realizar métodos de balanceo colocando sobrepesos en partes específicas de la rueda buscando que la masa este balanceada al momento de rodar. Cuando la rueda de cangilones hidráulicos se encuentra rodando a altas revoluciones es posible que se pueden doblar las barras tensoras ocasionando que el equipo deje de trabajar por lo cual es importante el ajuste al centro de masa.

Una de las estrategias utilizadas durante el montaje depende de la planificación que se lleva a cabo antes de la ejecución. El montaje de la bomba Rochfer MS-89 enlista los materiales de la tabla XII:

Tabla XII. **Lista de materiales empleados**

Material	Cantidad
Aceite SAE 40	1 galón
Fibra de caucho	4 pliegos
Estopa industrial	3 libras
Teflón	4 rollos
Pintura de aceite	8 galones
Hipoclorito	1 galón
Lija	10 hojas
Cheque vertical	1 unidad
Pichacha	1 unidad
Acoples	2 unidades

Fuente: elaboración propia.

El listado anterior permite elaborar un plan de montaje que es recomendable analizar al momento de ejecutar la instalación de los componentes, con el fin de utilizar y aprovechar de una forma más eficiente el tiempo de ejecución. Durante el montaje no se pueden obviar ninguno de los pasos importantes ya que esto podría concluir en una mala práctica de ingeniería.

5.6.1. Ensamble

Como siguiente paso se realiza el montaje de las tuberías y la cámara estabilizadora. En la figura 88 se observa los empaques de fibra de caucho utilizados para sellado de fugas en la cámara estabilizadora.

Figura 88. **Empaque de belumoides para sellado de fugas**



Fuente: elaboración propia.

El empaque se corta de acuerdo con las dimensiones de la cámara estabilizadora. Los tornillos deben de ajustarse de tal forma que no exista ningún espacio donde el agua pueda fugarse debido a las altas presiones con cuales va a trabajar la bomba hidráulica. Una de las técnicas que se utilizan es de cortar el empaque durante el momento de montaje ya que se puede instalar inmediatamente después, evitando que el empaque se lastime o pierda sus dimensiones.

Los tornillos deben de ser ajustados en forma de estrella. La técnica de estrella es comúnmente utilizada para acoplar piezas redondas ya que por su geometría la base puede quedar más ajustada de un lado comparándolo con el otro. Esta forma de estrella es utilizada para el montaje de llantas de un vehículo, ya que coinciden en ser componentes redondos y no es conveniente que se ajusten de manera circular. La forma de estrella sirve para lograr un ajuste uniforme, como se observa en la figura 89.

Figura 89. **Ensamble de la cámara estabilizadora**



Fuente: elaboración propia.

El montaje de las tuberías hacia los cilindros se realiza por medio de un codo a 45 grados que forma parte de las tuberías. Se utilizan pernos de acero con alto grado de carbono junto con empaquetaduras de fibra de caucho para evitar fugas al momento que el pistón comprima el agua dentro de la máquina.

La tubería de succión estaba conformada por dos tuberías de acero galvanizado en forma de "L". Las uniones universales son accesorios que se utilizan para facilitar el desmontaje al momento del mantenimiento. Al montarla se colocaron dos uniones universales en el sistema de tuberías para facilitar el próximo mantenimiento. Se utiliza una tarraja para formar los hilos de la rosca en la tubería acoplarla a la unión universal. Se agrega un cheque de tipo vertical para evitar que la bomba opere sin fluido y una pichacha nueva de 2 *pulg.*

En la figura 90 se observa el uso de la tarraja para formar los hilos en el tubo de acero galvanizado.

Figura 90. **Uso de tarraja**



Fuente: elaboración propia.

La tarraja es una herramienta de uso manual que sirve para realizar cortes en forma de rosca o espiral. Se utiliza para pernos o tubos en la rama de mecánica. Es un equipo sencillo que consta de tres partes:

- Trinquete. Se le conoce como portadados porque sujeta el dado para diferentes diámetros de tubería o pernos.
- Dado. Es la parte que entra en contacto directo con los objetos que se desean roscar existen diferentes medidas de dados intercambiables para cada uso que al interesado le convenga.

- Mango o palanca. Se utiliza para poder agarrar la herramienta y ejercer la fuerza adecuada para realizar la rosca.

Los tubos con rosca se pueden ensamblar a las uniones universales para formar complementos desmontables en caso sea necesario otro mantenimiento en un futuro. En la figura 91 se observa la instalación de las uniones universales al sistema.

Figura 91. **Instalación de uniones universales a la tubería**



Fuente: elaboración propia.

Todos los elementos de un sistema de tuberías o mangueras que se roscan unas con otras se apoyan del uso de teflón como material para sellar las fugas de agua y evitar que entre aire al sistema. El teflón se instala en el sentido de la rosca para evitar que esta se remueva cuando se acople con la otra pieza.

La unión universal tiene la función de facilitar la separación de las tuberías. Se utilizaron llaves de tubería para ajustarlas a la red de tubos que se encuentra

con una parte soterrada en el terreno de la finca. La red de tubos que se utilizó durante el reacondicionamiento de la bomba hidráulica es de 2 *pulg.* Una parte de la tubería era de acero galvanizado y luego se identificaron acoples que sustituyen a tubería de PVC. La tubería de PVC es más económica y es fácil de acoplar debido a que existe el pegamento de PVC. El pegamento de PVC se utiliza para sellar y pegar las ramificaciones de tubería presentes en una red hidráulica, presenta un costo bajo sin embargo su tiempo de vida es menor al de una tubería de acero galvanizado ya que comúnmente se fisuran debidos a la presión y cambios de temperatura.

5.6.2. Reacondicionamiento de cilindros hidráulicos

Los dos cilindros hidráulicos en la bomba RMS-89 fueron diseñados para la dinámica del flujo de agua. Estos cilindros tienen en uno de sus costados un acoplamiento donde se instala la tubería. El hierro fundido soporta altas presiones, sin embargo, se tiene que reforzar el espacio de acoplamiento para evitar fugas y dirigir el agua hacia la cámara estabilizadora.

El procedimiento de reacondicionamiento consistió en un cepillado a la superficie interior y exterior del cilindro.

Estos cilindros no deben tener fisuras por donde se pueda fugar el agua y deben ser acoplados de tal forma que no se produzca un choque cuando el pistón se encuentre en movimiento. Debe existir cierta separación entre las paredes internas del cilindro hidráulico y el pistón para que la carrera del pistón se realice sin rose o choque mecánico. En la figura 90 se observa el cilindro hidráulico restaurado durante el momento del montaje.

Figura 92. **Cilindros hidráulicos restaurados**



Fuente: elaboración propia.

Parte del conjunto cilindro-pistón necesita mantenimiento correctivo para incrementar la eficiencia en el trabajo de bombeo. El pistón estaba trabajando junto con una estopa en mal estado que provocó ralladuras en la superficie debido a las propiedades abrasivas de este material.

Parte del mantenimiento correctivo proporcionado al pistón fue limpiar la superficie, desgastando con lija y agua, hasta llegar a superficie lisa evitando posibles fugas de agua al momento de la operación. En la figura 91 se observa el pistón de bronce durante el montaje de los cilindros hidráulicos.

Figura 93. **Pistón de bronce a un costado de la bomba RMS-89**



Fuente: elaboración propia.

Los pistones deben recibir mantenimiento óptimo ya que se pueden afectar las dimensiones originales del componente. Se recomienda una rectificación por medio de torno para lograr mejores beneficios en el trabajo de bombeo. El bronce puede soportar la corrosión ya que, por su composición química reacciona poco al contacto con el agua. Las ralladuras se pueden evitar colocando la estopa industrial de manera adecuada para poder guiar el pistón de una manera eficiente.

La barra guía de acero inoxidable que soporta los pistones estaba en buen estado por lo cual se limpió y lubricó dentro del cárter. Es posible que durante la operación se el vástago que sostiene los pistones se desalinee, por lo cual es importante realizar simulaciones para asegurar que este montado correctamente.

Se colocaron empaques de belumoide en las uniones del cilindro con la tubería y se acoplaron por medio de dos pernos cada cilindro. Este empaque se

tiene que dimensionar de acuerdo con la superficie del cilindro como se observa en la figura 94.

Figura 94. **Dimensionamiento de empaque de fibra de caucho para el cilindro hidráulico**



Fuente: elaboración propia.

Se realizó el mismo procedimiento para el segundo cilindro hidráulico terminado el ensamble se procede a la instalación de la estopa industrial.

5.6.3. Instalación de la estopa industrial

La instalación de la estopa industrial se llevó a cabo luego de cortar las rodajas de estopa de tal forma que puedan abrazar el pistón y permitir que este se deslice sobre ella para poder realizar el trabajo de bombeo. Una de las técnicas que se utilizan en máquinas hidráulicas es la de cortar la estopa con un ángulo de 45 grados para cada esquina.

Las rodajas de estopa con un corte de 45 grados permiten que se pueda instalar de forma conveniente y evitar fugas descontroladas debidas a la mala ubicación de la estopa. En la figura 95 se observa la estopa nueva a utilizarse en el reacondicionamiento.

Figura 95. **Fotografía de estopa industrial**



Fuente: elaboración propia.

La forma cuadrada de las puntas permite un corte a 45 grados eh instalarse alrededor del pistón de bronce, (ver figura 96).

Figura 96. **Corte de rodajas de estopa industrial**



Fuente: elaboración propia.

Este sistema permanecerá en movimiento continuo por 24 horas por lo cual se necesita acoplar de tal forma que no se mueva de posicionamiento al momento de operar. El prensaestopas funge una función muy importante debido a que permite a la estopa permanecer inmóvil y no ceder al momento que el pistón se contrae o se impulse.

De acuerdo con las instrucciones del fabricante que se pueden estudiar en el capítulo anterior, se deben colocar 5 rodajas de estopa industrial dentro del cilindro hidráulico permitiendo que el cilindro y el pistón trabajen de forma hermética. La posición de la estopa permite que el pistón no impacte a la carcasa del cilindro como se observa en la figura 97.

Figura 97. **Posicionamiento de la estopa industrial junto al pistón**



Fuente: elaboración propia.

En la figura 98 se observa la colocación de la estopa industrial dentro del cilindro hidráulico.

Figura 98. **Fotografía de la colocación de la estopa industrial dentro del cilindro hidráulico**



Fuente: elaboración propia.

Una de las partes más importantes de la eficiencia de la bomba RMS-89 se encuentra en la posición adecuada de la estopa. Debe presentar un goteo controlado para disminuir la temperatura debido a la fricción del rozamiento entre la estopa y el pistón. Las 5 rodajas de estopa industrial necesaria para cada uno de los cilindros deben ser instaladas de tal forma que las uniones con el corte a 45° se sitúen a 180° de la rodaja de estopa anterior, con el propósito que el goteo transcurra por toda la estopa absorbiendo calor y enfriando el sistema de la temperatura absorbida por la fricción del movimiento de traslación de los pistones.

5.6.4. Lubricación dentro del cárter

El proceso de reacondicionamiento del cárter consiste en drenar el aceite con emulsión por medio del tornillo de drenado ubicado debajo de la recámara.

Con este tornillo se retira la mayor cantidad de aceite para colocar un aceite nuevo. En la figura 99 se observa el proceso de drenado del aceite emulsionado.

Figura 99. **Fotografía del drenado de aceite con emulsión**



Fuente: elaboración propia.

El aceite contiene propiedades antioxidantes que conservaron el cárter durante el tiempo que no estaba operando la bomba hidráulica. Se logra identificar que la pintura se encontraba cubriendo un 55 % del cárter por lo cual no fue necesario un desgaste de la superficie. El cuidado de los aceites es una de las principales tareas de un programa de mantenimiento preventivo ya que colocar un buen lubricante permite la conservación de los componentes metálicos en movimiento. Luego de vaciar el cárter se utilizó *waype* para limpiar completamente la recámara que contiene el yugo escocés.

El aceite contaminado puede repercutir y ensuciar el aceite nuevo con partículas que deterioran las propiedades de lubricación por lo cual fue necesario

limpiarlo completamente. Dado el abandono en el que estaba el equipo hidráulico no fue posible encontrar la bomba inyectora de aceite ya que únicamente se encontraron rastros de las mangueras al costado del cárter como se identifica en la figura 100.

Figura 100. **Fotografía del cárter durante el drenado de aceite con emulsión**



Fuente: elaboración propia.

Durante el reacondicionamiento se verificaron los tornillos que sujetan las guías del eje excéntrico para confirmar que estuvieran bien ajustados y no perjudicar el movimiento alternativo del disco. Se realizó una limpieza del vástago de acero inoxidable que se encontraba en buenas condiciones y se verificó si existían fisuras. Luego de la verificación visual del vástago y de disco excéntrico se ingresó el aceite nuevo luego de colocar con un poco de silicón el tornillo de drenado. El tornillo de drenado no debe tener fugas ya que puede provocar un goteo que disminuya la lubricación completa del cárter.

En la figura 101 se observa el llenado del cárter con el nuevo aceite SAE 40.

Figura 101. **Llenado del cárter con aceite SAE 40**



Fuente: elaboración propia.

Luego de colocar el aceite hasta el nivel marcado por el fabricante se cierra el cárter con un empaque de fibra de caucho diseñado para la tapadera ubicada al frente, (ver figura 102).

Figura 102. **Sellado del cárter de lubricación con fibra de caucho**



Fuente: elaboración propia.

Al colocar la tapadera del cárter junto con un empaque de fibra de caucho se conserva de posibles emulsiones debidas a lluvias que puedan ingresar agua a la recamara de lubricación. En la figura 103 se observa el procedimiento de ajuste de la tapadera del cárter de lubricación.

Figura 103. **Fotografía del ajuste de tornillos de la tapadera del cárter**



Fuente: elaboración propia.

Las revisiones visuales o revisiones VOSO se pueden utilizar al momento del montaje para asegurar que la maquina puede ser arrancada de una forma normal y evitar inconvenientes en la puesta en marcha.

5.7. Comprobación, análisis y mediciones de indicadores de reacondicionamiento

Los parámetros que fortalecen la ingeniería mecánica se basan en análisis matemáticos de cantidades dimensionales específicas que permitan evaluar una máquina.

Los cálculos que se puedan efectuar y aplicar a un proyecto numérico benefician los resultados de un ingeniero ya que permiten evaluar, graficar y realizar estimaciones científicas para el uso correcto de los recursos en una máquina. En este trabajo de graduación se proyectaba realizar los siguientes cálculos para la evaluación de los resultados:

- Aforo
- Medición de tubería de succión
- Medición topográfica de la tubería de descarga
- Cálculo de la potencia hidráulica generada
- Cálculo de la potencia hidráulica necesaria
- Medición de presión de succión
- Medición de presión de descarga
- Revoluciones de la rueda de cangilones hidráulicos

Sin embargo, no se pudieron terminar de analizar estos datos porque la finca Sabana Grande resultó afectada por la erupción del volcán de Fuego. La erupción del volcán de Fuego fue un evento volcánico ocurrido en el límite departamental entre Chimaltenango, Escuintla y Sacatepéquez en Guatemala el 3 de junio de 2018. Los lugares más afectados fueron las aldeas, caseríos y colonias aledañas al volcán. Muchas de ellas pertenecen al municipio de Escuintla, Alotenango y San Pedro Yepocapa, que fueron soterradas por los violentos flujos piroclásticos. Adicionalmente, dos mil personas fueron evacuadas a albergues temporales. La erupción fue catalogada como la más grande del volcán de Fuego desde la ocurrida en 1974. Este suceso dejó un saldo de 194 muertos, 234 personas desaparecidas y más de 1,7 millones de afectados.

Conred declaró la Finca Sabana Grande como zona inhabitable debido a la vulnerabilidad geográfica de quedar nuevamente atrapada dentro de esta

catástrofe natural. Esta información se puede verificar en los anexos 2. Los pobladores de la finca fueron llevados a albergues y la Facultad de Agronomía, junto con la unidad administrativa de la Rectoría de la Universidad de San Carlos de Guatemala, prohibió el reingreso de cualquiera de sus trabajadores o estudiantes a esta zona debido al alto riesgo que representa para la sociedad.

En la figura 104 se observa una de las noticias publicadas en la portada del diario Prensa Libre, periódico nacional de la república de Guatemala.

Figura 104. **Portada de periódico Prensa Libre 4 de junio de 2018**



Fuente: Prensa Libre. *Portada de Prensa Libre*. https://twitter.com/prensa_libre/status/1003606720806047745 Prensa Libre. Consulta: 26 de junio de 2019.

Lamentablemente este suceso impide exponer datos congruentes de los resultados del trabajo de esta tesis de graduación.

A pesar de esta catástrofe se logró verificar de manera visual que el equipo quedó operando y bombeando agua al momento de la puesta en marcha. Con ello se cumplió con el objetivo principal del mantenimiento mecánico otorgado.

El análisis de los indicadores de mantenimiento evalúa y cuantifican un proyecto para realizar cálculos y así utilizar técnicas de ingeniería mecánica para mejorar la eficiencia de una máquina. Es importante tomar estos datos y anotarlos en hojas de cálculo para llevar un control numérico del trabajo de un equipo de bombeo; sin embargo, se puede aplicar el análisis VOSO donde se utilizan técnicas básicas de la ingeniería para concretar resultados de un trabajo de reacondicionamiento. Este trabajo de graduación utilizó esta técnica primitiva para exponer la puesta en marcha de la bomba RMS-89.

5.8. Puesta en función de bomba hidráulica Rochfer MS-89

Al retomar los principios que se evaluaron en este trabajo de graduación se plantean objetivos para reestablecer el abastecimiento de agua de una comunidad. El propósito de la Universidad de San Carlos de Guatemala es que sus egresados compartan los conocimientos con la población de la república y se apliquen avances de ingeniería necesarios. Luego de completar el mantenimiento correctivo del equipo hidráulico y montar sus componentes se pone a funcionar la bomba hidráulica para evaluar el cumplimiento de los objetivos.

La puesta en función de la bomba Rochfer MS-89 fue acompañada de una verificación minuciosa de la tubería de succión. La tubería de succión debe estar llena de agua para que no se formen bolsas de aire.

En la figura 105 se observa la verificación realizada el 15 de agosto de 2017 a la tubería de succión, el día que arrancó el equipo hidráulico.

Figura 105. **Fotografía de la verificación de la tubería de succión**



Fuente: elaboración propia.

Durante esta revisión también se instaló la pichacha como se muestra en la figura 106.

Figura 106. **Instalación de pichacha en tubería de succión**



Fuente: elaboración propia.

Luego de instalar la pichacha se marcó con pintura color amarillo la identificación de la bomba Rochfer MS-89 en la cámara estabilizadora, como se observa en la figura 107.

Figura 107. **Fotografía de la identificación de la bomba Rochfer MS-89**



Fuente: elaboración propia.

El equipo hidráulico debidamente montado se encontraba dispuesto para su puesta en función. El canal del salto de agua fue limpiado por los pobladores de la finca días antes de su puesta en marcha. Los pobladores removieron gran parte de la arena volcánica y tierra que se encontraba obstruyendo el paso del salto de agua. El canal despejado conduce un caudal de agua que desemboca en la parte superior de la rueda de cangilones hidráulicos para comenzar el movimiento rotacional y así proporcionar energía cinética a la bomba RMS-89. Se utiliza una lámina metálica como compuerta para preparar el equipo para comenzar a operar. En la figura 108 se observa la fotografía del equipo hidráulico tomada desde el fondo de la estación de bombeo, se puede identificar todos los componentes reacondicionados y montados convenientemente para su puesta en función.

Figura 108. **Bomba Rochfer MS-89 en la nueva estación de bombeo**



Fuente: elaboración propia.

En la figura 109 se observa la lámina metálica como compuerta del canal de agua del salto hidráulico.

Figura 109. **Canal de entrada del salto de agua**



Fuente: elaboración propia.

Al tener el caudal de entrada para la rueda de cangilones hidráulicos se limpió el filtro por decantación con hipoclorito y una escoba para eliminar los microorganismos presentes en las paredes del depósito como se observa en la figura 110.

Figura 110. **Limpieza de las paredes del filtro por decantación**



Fuente: elaboración propia.

El consumo de agua potable es importante para la salud de los pobladores. Garantizar el agua de buena calidad es una de las tareas principales de los ingenieros en Guatemala. Existen estudios para analizar la calidad de agua para conservar el bienestar de los pobladores; sin embargo, en este trabajo se determinó que la mayoría de agua bombeada por este equipo hidráulico está destinada para riegos de la cosecha como el café, caña de azúcar y otras plantaciones kilómetros arriba de la finca.

El filtro por decantación se encontraba limpio de microorganismo ya que el hipoclorito reacciona y elimina la suciedad orgánica que se forma cuando el agua está estancada por mucho tiempo, por lo que se procedió a llenarlo con la ayuda de un bypass que provenía del canal de salto de agua siendo una ramificación por medio de una tubería de 4 *pulg*s de diámetro como se observa en la figura 111.

Figura 111. **Fotografía del llenado de filtro por decantación**



Fuente: elaboración propia.

En el llenado completo del depósito se invirtió tiempo. Es necesario encontrar un balance entre el caudal que está siendo bombeado por el equipo hidráulico y el caudal de entrada al filtro de decantación para evitar que se rebalse y se pierda agua. Parte de los cálculos que se deben de realizar para construir un filtro por decantación es la de considerar cuanto caudal va a estar saliendo o siendo bombeado, la cantidad de agua que permanece en el ciclo de filtrado por decantación y cuanto caudal va a estar ingresando al depósito.

Antes de arrancar el equipo hidráulico se ceba la tubería de succión por medio de un tinaco o envase de agua como se observa en la figura 112.

Figura 112. **Cebado de tubería de succión**



Fuente: elaboración propia.

Removiendo la tapadera de uno de los cheques horizontales se ingresa agua para que el equipo no opere con bolsas de aire. Este procedimiento es

importante, sin embargo, es distinto para las bombas que operan por medio de un motor eléctrico ya que en este caso no se producen fallas en los mecanismos, pero puede quedar el aire atrapado en la parte superior de los componentes y evita que la bomba RMS-89 entregue mayor cantidad de eficiencia en el trabajo de bombeo debido al volumen ocupado por estas bolsas.

Con la tubería de succión llena de agua se libera la rueda de cangilones hidráulicos y se abre la compuerta del canal del salto de agua para la puesta en función de la bomba Rochfer MS-89 como se observa en la figura 113 o en el video 13 de youtube en la referencia bibliográfica 24.

Figura 113. **Puesta en función de bomba hidráulica de tipo reciprocante marca Rochfer, modelo MS-89, accionada por rueda de cangilones hidráulicos**



Fuente: elaboración propia.

La bomba hidráulica queda funcionando correctamente. Con ello el trabajo de reacondicionamiento para el abastecimiento de agua de la Finca Sabana Grande se completa.

CONCLUSIONES

1. El reacondicionamiento de piezas mecánicas facilita que la bomba hidráulica pueda continuar su operación, la mayor contribución fue el método de limpieza de la corrosión en los cilindros que contienen los balines flotantes ya que se eliminó la fuga y esto ayudo al trabajo de recuperación del suministro de agua en la Finca Sabana Grande.
2. El suministro de agua potable es dificultado por tuberías de descarga en mal estado ya que provocan fugas y pérdidas de energía hidráulica haciendo que el agua no llegue a su destino esperado y como consecuencia obstaculizan el abastecimiento del líquido vital.
3. El golpe de ariete que se provoca dentro de la recámara de la bomba Rochfer MS-89 proporciona una descarga de caudal variable y con respecto a la cantidad de agua que la bomba puede succionar, se obtiene una pérdida del fluido que permanece dentro de la máquina disminuyendo el abastecimiento.
4. Las técnicas de ingeniería permiten mejorar la calidad y cantidad de vida útil de los equipos, acoplar todos los pernos, reemplazar las piezas corroídas y ajustar los componentes de forma correcta, permiten que el sistema transforme energía de forma eficiente, evitando pérdidas por fugas o vibraciones.

5. El mantenimiento regresivo es más costoso que otros mantenimientos ya que se tuvieron que reemplazar y reacondicionar más del 80 % de los componentes de la bomba para accionarla, empleando tiempo en trabajo de taller y elevando los gastos por nuevas piezas requeridas como consecuencia de no programar un mantenimiento preventivo.

6. La restauración de los cangilones hidráulicos permite aumentar el volumen del agua que entra al sistema por lo que la bomba adquiere más energía del salto hidráulico y como consecuencia los pistones bombean un mayor caudal que puede ser aprovechado utilizando una red de tuberías.

RECOMENDACIONES

1. Un seguimiento mejor planificado y sistemático del mantenimiento de la bomba Rochfer MS-89 de la Finca Sabana Grande, permitirá una estabilidad en la eficiencia mecánica, así como de la red de distribución de agua, contribuyendo a la calidad y cantidad de vida útil y a la reducción de costos por mantenimientos postergados en la estación de bombeo.
2. Se debe identificar la ubicación de la fuga en la tubería de descarga realizando una prueba hidrostática o una endoscopia mecánica para reparar el problema y eliminar pérdidas de energía hidráulica, esta reparación permitirá que el suministro de agua llegue finalmente al depósito de almacenamiento.
3. Un cambio importante que debe ser considerado es que, el módulo de filtración por decantación cuente con un caudal igual al que puede ser succionado por la bomba para evitar que el agua se rebalse y el filtro pierda su propósito.
4. Es importante reemplazar la estopa cada 6 meses para evitar que se presenten fugas en la succión y en la descarga de la bomba hidráulica.
5. Se debe asignar un presupuesto a la Finca Sabana Grande por parte de la Facultad de Agronomía para que se realicen actividades de mantenimiento preventivo incluyendo las herramientas para realizar los trabajos y monitorear los resultados con inspecciones de campo en forma periódica.

6. Se deben instalar una compuerta mecánica en el canal de salto que permita regular el caudal que entra en la rueda de cangilones hidráulicos para aprovechar de mejor manera el agua disminuyendo las pérdidas por salpicaduras.

BIBLIOGRAFÍA

1. ASKELAND, Donald; FULAY, Pradeed; WRIGHT, Wendelin. *Ciencia e ingeniería de materiales*. 6a ed. México: CENGAGE, 2012. 953 p.
2. AVALLONE, Eugene. BAUMEISTER, Theodore. SADEGH, Ali. *Standard Handbook for Mechanical Engineers*. 11a ed. Nueva York, Estados Unidos: McGraw-Hill, 2007, 136 p.
3. AZEVEDO, José; FERNANDEZ, Miguel; ARAUJO, Roberto. *Manual de Hidráulica*. 8a ed. Sao Pablo, Brasil: Edgard Blücher Ltda. 1998. 292 p.
4. CEDILLO, Joaquín. *Diseño de elementos de máquinas*. México: Alfaomega Grupo Editor, S.A. 2017. 292 p.
5. DRIOTON, Etienne y VANDIER, Jacques. *Historia de Egipto*. Buenos Aires, Argentina, Editorial Universitaria de Buenos Aires, 1952. 575 p.
6. GODÍNEZ, Manuel; ESCOBAR DE CARDONA, Hugo; LÓPEZ ORELLANA, Ricardo y SANTOS, Julio. *Una construcción colectiva, Boletín informativo Agro*, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala, publicación 31/10/2016, 30 p.
7. HICKS, Tyler. *Bombas su selección y aplicación*. 12a ed. México: Compañía Editorial Continental, S.A., 1977. 209 p.

8. Hydraulic Institute. *Recently published standards and guidebooks*. [en línea]. <<http://www.pumps.org/>>. [Consulta: 12 de septiembre de 2018].
9. Indústrias mecánicas Rochfer® Ltda. *Linha do tempo*. [en línea]. [en línea]. <<https://www.rochfer.com/pagina-home/linha-do-tempo/>>. [Consulta: 27 de noviembre de 2018].
10. _____. *Manual de instrucciones bombas de rodamiento de agua* [en línea]. <https://www.vdocuments.es_manual-de-instrucoes-bombas-rochfer.pdf>. [Consulta: el 15 de noviembre de 2018].
11. KARASSIK, Igor; MESSINA, Josehp; COOPER, Paul; HEALD, Charles. *Pump Handbook*, 3a ed. Estados Unidos: McGraw-Hill, 2008. 505 p.
12. Lubrication Institute. *Industry specific lubrication training*. [en línea]. <<http://lubrication-institute.com/>>. [Consulta: 18 de octubre de 2018].
13. MATAIX, Claudio. *Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas*. 2a ed. México: Alfaomega Grupo Editor, 2010. 660 p.
14. MCNAUGHTON, Kenneth. *Bombas selección, uso y mantenimiento*. México: McGraw-Hill, 1998. 261 p.
15. MYSZKA, David. *Máquinas y mecanismos*. 4a ed. Naucalpan de Juárez, México: Pearson Education, 2012. 371 p.

16. NORTON, Roberto. *Diseño de maquinaria, síntesis y análisis de máquinas y mecanismos*. 4a ed. México: McGraw-Hill, 2009. 402 p.
17. PIRENNE, Henry. *Historia de Europa*. México: Gráfica Panamericana, S. de R. L., 1942. 157 p.
18. REYES, Miguel. *Curso de Máquinas Hidráulicas, Facultad de Ingeniería U.N.A.M.* México: Representaciones y servicios de ingeniería, S.A., 1965. 9 p.
19. ROLDÁN, José. *Prontuario de hidráulica industrial*. Madrid, España: Ediciones Paraninfo, 2001. 242 p.
20. ROSALER, Roberto; RICE, James. *Manual de mantenimiento industrial*. México: McGraw-Hill, 1997. 509 p.
21. SALDARRIAGA, Juan. *Hidráulica de tuberías*. Santafé de Bogotá, Colombia: McGraw-Hill, 1998. 585 p.
22. SIMON, Andrew. *Hidráulica básica*. 2a ed. México: Limusa S.A., 1983. 69 p.
23. YOUTUBE. LLC. *Reacondicionamiento y puesta en función de bomba hidráulica de tipo reciprocante Tesis USAC 2019*. [en línea]. <<https://www.youtube.com/watch?v=GKuSECKELaQ&t=58s>>. [Consulta: 26 de junio de 2019].

24. ZUBICARAY VIEJO, Manuel. *Bombas Teoría, diseño y aplicaciones*. 2a ed. México: Limusa, S.A. 2000. 129 p.

APÉNDICES

Apéndice 1. Tubería de accionamiento

En hidráulica de canales se estudia que el perfil de velocidad de una tubería parcialmente llena es diferente del flujo de tubería llena, ya que el flujo es impulsado por la gravedad, no por la presión. Los flujos de canal cerrado, generalmente, se rigen por los principios del flujo de canales, ya que el líquido que fluye posee una superficie libre dentro del conducto; sin embargo, la convergencia del límite a la parte superior imparte algunas características especiales al flujo.

Tubería de accionamiento			
Diámetro de tubería		Parcialmente lleno	Lleno
Pulgadas	Milímetros	Caudal de accionamiento	
2 pulg	60 mm	1 L/s	2 L/s
3 pulg	80 mm	2 L/s	4 L/s
4 pulg	100 mm	4 L/s	8 L/s
6 pulg	150 mm	8 L/s	15 L/s
8 pulg	200 mm	15 L/s	30 L/s
10 pulg	250 mm	30 L/s	50 L/s
12 pulg	300 mm	50 L/s	60 L/s

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Clasificación de aceites lubricantes según SAE

La siguiente tabla ayuda a identificar la clasificación de la Sociedad de ingenieros automotores para los aceites lubricantes de acuerdo con las necesidades de cada una de las máquinas. Esta tabla es de uso comercial para la compra/venta de lubricantes en América Latina.

Grados centígrados	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50	
SAE 0W	█										
SAE 5W		█									
SAE 10W			█								
SAE 15W				█							
SAE 20W					█						
SAE 30						█					
SAE 40							█				
SAE 50								█			
SAE 5W-40		█									
SAE 5W-30		█									
SAE 10W-30			█								
SAE 10W-40				█							
SAE 15W-40					█						
SAE 20W-50						█					

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. Tubería de accionamiento

Las tuberías pueden ser clasificadas de acuerdo con sus medidas, todas las compañías de comercio de tuberías se rigen a ciertas normas de calidad y estandarización que permiten que un equipo de bombeo sea confiable. Es importante tomar en cuenta las medidas originales al momento de realizar un desgaste a la superficie en un trabajo de reacondicionamiento por lo establece la siguiente tabla.

Diámetro nominal		Diámetro exterior		Cédula 30	
pulg	mm	pulg	mm	pulg	mm
½	12,7	0,840	21,3	0,075	1,9
¾	19,1	1,050	26,7	0,075	1,9
1	25,4	1,315	33,4	0,075	1,9
1 1/4	31,8	1,660	42,2	0,090	2,3
1 1/2	38,1	1,900	48,3	0,090	2,3
2	50,8	2,375	60,3	0,105	2,7
2 1/2	63,5	2,875	73,0	0,105	2,7
3	76,2	3,500	88,9	0,120	3,1
4	101,6	4,500	114,3	0,120	3,1
5	127,0	5,000	127,0	0,125	3,2
6	152,4	6,625	168,3	0,188	4,8

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. **Micro hidroeléctrica**

El aprovechamiento de la energía cinética de la rueda de cangilones hidráulicos también permite acoplar un juego de poleas por medio de cadenas hacia un alternador de un vehículo liviano y así poder generar energía eléctrica como uno de los proyectos de aprovechamiento de la energía.



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5. **Fotografía de insumos otorgados a la Finca Sabana Grande**

Durante el proyecto se recibieron algunos insumos para el reacondicionamiento. La siguiente fotografía se observa el momento cuando dichos insumos fueron entregados a la administración de la Finca Sabana Grande.



Fuente: elaboración propia.

ANEXO

Anexo 1. Alertas institucionales y COE activos

Debido a la erupción volcánica la población guatemalteca estuvo en alerta anaranjada por el flujo piro clástico que descendía por la corteza y la Conred notificó a la población con los siguientes documentos.

Nivel		Alertas		COE
		Declaración	Color	Activación
Nacional		03/06/2018	Anaranjada	
Departamental	Escuintla	03/06/2018	Roja	03/06/2018
Departamental	Chimaltenango	03/06/2018	Roja	03/06/2018
Departamental	Sacatepéquez	03/06/2018	Roja	03/06/2018
Municipal	Alotenango, Sacatepéquez	03/06/2018	Roja	03/06/2018
Municipal	Escuintla, Escuintla	03/06/2018	Roja	03/06/2018
Municipal	Yepocapa, Chimaltenango	03/06/2018	Roja	03/06/2018

Fuente: Informe nacional coordinadora nacional para la reducción de desastres Conred. *Erupción del volcán de Fuego. DRE_20180603_03_Informe_Erupcion_02_Volcan_Fuego.*

Consulta: 11 de junio de 2019.

