



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

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DEL SISTEMA DE REACONDICIONAMIENTO  
UTILIZANDO SOLDADURA POLIMÉRICA EN VÁLVULAS DE MARIPOSA QUE SUFREN  
DESGASTE POR CAVITACIÓN Y ABRASIÓN EN PLANTAS HIDROELÉCTRICAS**

**Zaida Waleska Scherezade Flores Ordoñez**

Asesorado por el Msc. Ing. Luis Fernando Guillén Fernández

Guatemala, septiembre de 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DEL SISTEMA DE REACONDICIONAMIENTO  
UTILIZANDO SOLDADURA POLIMÉRICA EN VÁLVULAS DE MARIPOSA QUE SUFREN  
DESGASTE POR CAVITACIÓN Y ABRASIÓN EN PLANTAS HIDROELÉCTRICAS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**ZAIDA WALESKA SCHEREZADE FLORES ORDOÑEZ**  
ASESORADO POR EL MSC. ING. LUIS FERNANDO GUILLÉN FERNÁNDEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERA INDUSTRIAL**

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. Erwin Danilo González Trejo
EXAMINADOR	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
EXAMINADOR	Ing. Pablo Fernando Hernández
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

## 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:

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DEL SISTEMA DE REACONDICIONAMIENTO  
UTILIZANDO SOLDADURA POLIMÉRICA EN VÁLVULAS DE MARIPOSA QUE SUFREN  
DESGASTE POR CAVITACIÓN Y ABRASIÓN EN PLANTAS HIDROELÉCTRICAS**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha septiembre de 2013.



**Zaida Waleska Scherezade Flores Ordoñez**



Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería  
Teléfono 2418-9142 / Ext. 86226

**AGS-MIMPP-0001-2013**  
Guatemala, 25 de marzo de 2014.

Director  
César Ernesto Urquizú Rodas  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial  
Presente.

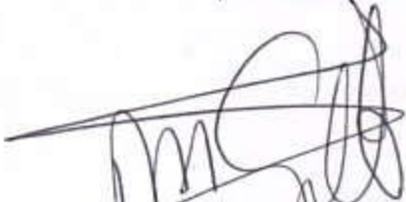
Estimado Director:

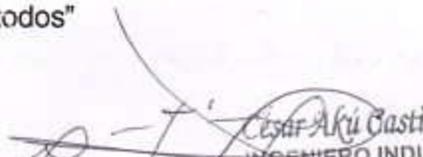
Reciba un atento y cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado los cursos aprobados del primer año y el Diseño de Investigación de la estudiante **Zaida Waleska Flores Ordoñez** carné número **0091-19235**, quien optó la modalidad del **"PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO"**. Previo a culminar sus estudios en la **Maestría de Ingeniería en Mantenimiento**

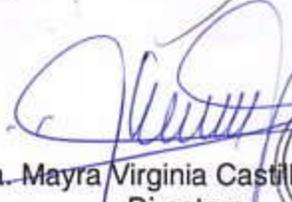
Y si habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Decimo, Inciso 10.2, del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

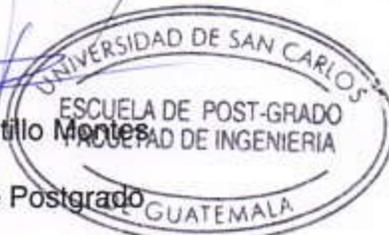
Sin otro particular, atentamente,

"Id y enseñad a todos"

  
MSc. Ing. Luis Fernando GONZALEZ F.  
Asesor(a)  
INGENIERO MECANICO  
COLEGIADO 6109

  
MSc. Ing. César Augusto AKU Castillo  
Coordinador de Área  
Gestión y Servicios  
César Akú Castillo MSc.  
INGENIERO INDUSTRIAL  
COLEGIADO No. 4,073

  
Dra. Mayra Virginia Castillo Montes  
Directora  
Escuela de Estudios de Postgrado



Cc: archivo  
/la



REF.DIR.EMI.170.014

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de graduación en la modalidad Estudios de Postgrado titulado **DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DEL SISTEMA DE REACONDICIONAMIENTO UTILIZANDO SOLDADURA POLIMÉRICA EN VÁLVULAS DE MARIPOSA QUE SUFREN DESGASTE POR CAVITACIÓN Y ABRASIÓN EN PLANTAS HIDROELÉCTRICAS**, presentado por la estudiante universitaria **Zaida Waleska Scherezade Flores Ordoñez**, aprueba el presente trabajo y *solicita la autorización del mismo.*

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

  
Ing. César Ernesto Urquizú Rodas  
**DIRECTOR**  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



Guatemala, septiembre de 2014.

/mgp



DTG. 453.2014

El Decano 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 Industrial, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DEL SISTEMA DE REACONDICIONAMIENTO UTILIZANDO SOLDADURA POLIMÉRICA EN VÁLVULAS DE MARIPOSA QUE SUFREN DESGASTE POR CAVITACIÓN Y ABRASIÓN EN PLANTAS HIDROELÉCTRICAS**, presentado por la estudiante universitaria **Zaida Waleska Scherezade Flores Ordoñez**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
Decano

Guatemala, 5 de septiembre de 2014

/gdech



## **ACTO QUE DEDICO A:**

### **Dios**

Quien guía mi camino y a quien agradezco todas las bendiciones que he recibido, me ha protegido y enseñado a creer, confiar y esperar.

### **Mi hijo**

Eddie Ricardo Arriaga Flores, ese rayito de sol que cada mañana me levanta, la luz de mi vida y mi motivo más grande para seguir adelante, para que con este esfuerzo recuerde que nunca es tarde para terminar lo que un día nos propusimos. Siempre recuerda que te quiero hijo.

### **Mi madre**

Gladys Ordoñez de Flores, que con sus enseñanzas me ha llevado a ser la mujer que soy, que ha escuchado con paciencia mis problemas y me demostró que la única manera de lograr nuestras metas es trabajando y esforzándonos cada día en ser mejores. Gracias mamá, te quiero muchísimo.

**Mi padre**

Vherny Flores Chinchilla, quien me enseñó sobre la independencia y me presionó para tener retos, juntos fuimos aprendiendo de nuestras fortalezas y debilidades en la vida y el trabajo, a ti papá gracias!

**Mis hermanos y  
cuñados**

Karla y Wernher Flores, Enrique Moller, y Maricela de Flores, porque siempre han estado apoyándome y animándome para que concluyera esta etapa de mi vida.

**Mis abuelos**

Porque cada uno sembró en mí una semilla, me cuidaron y brindaron todo el amor y enseñanzas, en especial a Berta Amanda Montepeque, por ser como una segunda madre en mi vida.

**Mis sobrinos**

Andrés y Amanda Moller, José Antonio y Ana Valeria Flores, Alex Morales, porque con su juventud y gritos me enseñan cada día que la vida siempre puede ser llena de juegos y alegrías y a ti Allan, siempre te llevo en mi corazón.

**Mis tíos**

Iliana, Ronald, y Mitzie Ordoñez, Danilo, Alberto, Mario, Mynor, y Erwin Flores, porque en muchos momentos difíciles de mi vida han estado ahí para apoyarme, para darme una frase alegre o simplemente sentir su cariño.

**Mi familia**

Gracias por ser parte de mi vida y estar a mi lado.

**Mis amigos**

Porque ellos han sido mi fuente fresca cuando los problemas me aturdíán, mi refugio y consejo.

**Cada una de las  
personas que he  
conocido en mi vida**

Porque han dejado algo de ellos en mí y me siguen mostrando motivos para crecer en mente y corazón.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Dios</b>	Por sus bendiciones, iluminar mi entendimiento y ser mi guía.
<b>Mi hijo</b>	Por ser el motor más importante para que lograra esta meta.
<b>Mis padres</b>	Porque siempre confiaron en mí.
<b>Mi familia</b>	Por presionarme y apoyarme.
<b>Mis amigos</b>	Por darme ánimos y alegrías.
<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por darme la oportunidad de formarme como profesional cumpliendo con uno de mis sueños.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por darme las bases para desarrollarme en el área profesional.
<b>Mis catedráticos</b>	Por todos sus conocimientos.
<b>Msc. Ing. Fernando Guillen</b>	Por asesorarme en la realización de este proyecto, muchas gracias.

**Familia ESSA, S. A.**

Por ayudarme a la realización de este estudio, porque cada día formamos más un equipo de trabajo confiable y con pasión por lo que hacemos, en especial a los productos Belzona.

**Planta hidroeléctrica**

Por permitirme elaborar este proyecto, brindándome uno de sus equipos para la realización de las pruebas, en especial al Ing. Henry López por su paciencia y confianza.

**Ing. Luis Quibb**

Por su tiempo y conocimientos en el desarrollo de este trabajo.

**Familia Arriaga Girón**

Porque estuvieron a mi lado por mucho de este camino y me apoyaron e incentivaron a seguir adelante.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	III
LISTA DE SÍMBOLOS .....	V
GLOSARIO .....	VII
RESUMEN .....	IX
INTRODUCCIÓN .....	XI
1. ANTECEDENTES .....	01
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	05
3. JUSTIFICACIÓN .....	07
4. OBJETIVOS .....	11
5. NECESIDADES A CUBRIR.....	13
5.1. Alcances .....	13
5.2. Limitaciones .....	14
6. MARCO TEÓRICO .....	15
6.1. La empresa .....	15
6.1.1. Misión .....	15
6.1.2. Visión.....	15
6.2. El producto .....	15
6.3. El mercado .....	16
6.4. Reacondicionamiento de piezas .....	16

6.5.	Fundamentos teóricos .....	17
6.5.1.	Válvulas.....	17
6.5.1.1.	Materiales de una válvula.....	19
6.5.1.2.	Partes de una válvula.....	19
6.5.1.3.	Presiones .....	22
6.6.	Factores de desgaste .....	23
6.7.	Recubrimientos .....	24
6.8.	Costos .....	25
6.9.	Pruebas y metodología .....	25
6.9.1.	Estanqueidad de la carcasa .....	26
6.9.2.	Estanqueidad del asiento .....	26
7.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	27
8.	METODOLOGÍA .....	31
9.	ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.....	35
10.	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....	39
11.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO.....	41
11.1.	Factibilidad operativa .....	41
11.2.	Factibilidad técnica .....	41
11.3.	Factibilidad económica .....	42
12.	BIBLIOGRAFÍA.....	45

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Partes de una válvula .....	21
2.	Cronograma de actividades.....	39

### TABLAS

I.	Tipos de válvulas .....	18
II.	Tipos de desgaste .....	24
III.	Recursos físicos y financieros.....	46



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>bar</b>	Bar
<b>MW</b>	Megawatts
<b>m</b>	Metro
<b>m/s</b>	Metro por segundo
<b>mm</b>	Milímetros
<b>atm</b>	Presión atmosférica
<b>PN</b>	Presión nominal



## GLOSARIO

<b>Abrasión</b>	Es el desgaste causado por el movimiento de partículas sobre una superficie.
<b>Cavitación</b>	Es el desgaste originado por la implosión de burbujas producidas en una zona de baja presión.
<b>Estanqueidad</b>	Posibilidad de crear una superficie por donde no acceda el agua al interior.
<b>Golpe de ariete</b>	Choque violento producido sobre las paredes de un conducto.
<b>Guatecompras</b>	Mercado electrónico del estado de la República de Guatemala.
<b>Hidroeléctrica</b>	Maquinaria que produce energía hidráulica para la generación de energía eléctrica.
<b>Implosión</b>	Acción de romperse estruendosamente hacia dentro las paredes de una cavidad en cuyo interior existe una presión inferior a la que hay fuera.
<b>Obturador</b>	Dispositivo para interceptar el paso de la luz o agua por el objetivo.

**Polímero**

Sustancia química constituida por moléculas o grupos de moléculas (monómeros) que se repiten y están unidos entre sí formando cadenas.

**Revestimiento**

Capa de algún tipo de material con la que se protege o adorna una superficie.

## RESUMEN

Acorde al Ministerio de Energía y Minas (MEM), en el 2012, en Guatemala se contabilizan 27 plantas hidroeléctricas, las cuales generan el 34,3 % del total de energía que consume el país.

Según Javier Díaz (2008, p. 93), “la potencia de salida de una hidroeléctrica depende de tres variables básicas: la cabeza neta, la descarga de agua a las turbinas y la eficiencia técnica del conjunto turbina-generador”. Debido a lo anterior, la generación hidroeléctrica puede verse afectada por la ineficiencia de elementos mecánicos como lo son las válvulas de mariposa cuya función principal es la de obturar el paso del fluido y mantener un control adecuado en la descarga de agua hacia las turbinas.

Al hablar de las válvulas de mariposa y el método de aplicación del revestimiento polimérico, se pretende reducir no solo el tiempo de reparación y puesta en marcha del equipo, sino también, reducir el costo de la aplicación. Si se comparan los procesos de restauración por soldadura y los revestimientos poliméricos, “el revestimiento ofrece diversas ventajas, como ausencia de distorsión y de zonas térmicamente afectadas, oxidación y tensiones residuales reducidas, además de recuperación de piezas en tiempos cortos”. (Murulanda, 2007, p. 204)

El objetivo general del presente trabajo es elaborar e implementar un sistema que determine el procedimiento que debe seguirse para la recuperación de una válvula de mariposa de eje vertical marca Vanadour, con diámetro de 1 metro, con presión de trabajo de PN10 y un rango de flujo máximo 5 m/s.

La ingeniería en mantenimiento tiene dentro de su línea de investigación, propiciar una cultura de reacondicionamiento de piezas para ayudar a que los encargados de mantenimiento logren mejor costo/beneficio en los equipos a utilizar, así como darle un mejor uso al presupuesto establecido a su cargo.

## INTRODUCCIÓN

A partir de 1999, ESSA, S. A. es la distribuidora de la marca comercial Belzona, S. A., líder en el mercado de polímeros para reconstrucciones y revestimientos para aplicaciones industriales a nivel mundial. A pesar que la casa matriz está enfocada en ayudar a los distribuidores de los productos poliméricos para la realización de un buen trabajo de reconstrucción y revestimiento (tanto en la selección como en las técnicas de aplicación del material), la metodología para identificar el problema a reparar es responsabilidad de los técnicos de cada país.

Los productos poliméricos pueden ser utilizados en diversas aplicaciones como por ejemplo, tanques, tolvas, bombas, válvulas, pisos, etc., operando en industrias como: cementeras, alimenticias, textil, mineras e hidroeléctricas entre otras.

Una central hidroeléctrica cuenta con equipos antiguos y de cuantioso valor por la forma en la que operan, los cuales no pueden dejar de funcionar a menos que sea en un mantenimiento programado, que por lo general se realiza una vez al año. Las reparaciones con métodos convencionales pueden abarcar meses, mientras que una reparación con polímeros se convierte en una alternativa cuando se tienen solamente un par de días de paro.

Acorde a Javier Díaz, (2008, p. 93) “la potencia de salida de una hidroeléctrica depende de tres variables básicas: la cabeza neta, la descarga de agua a las turbinas y la eficiencia técnica del conjunto turbina-generador”. Debido a lo anterior, la generación hidroeléctrica puede verse afectada por la

ineficiencia de elementos mecánicos como lo son las válvulas de mariposa cuya función principal es la de obturar el paso del fluido y mantener un control adecuado en la descarga de agua hacia las turbinas.

Según Alberto Zapata (2007, p. 625) “el desgaste es un fenómeno de degradación de los diferentes materiales”, en las válvulas de mariposa los efectos pueden ser abrasión, impacto, erosión, fatiga, golpe de ariete, cavitación y corrosión (ver tabla IV). El uso de revestimientos para mejorar la resistencia al desgaste de los componentes mecánicos ha sido común y el uso de técnicas que van desde soldaduras especiales, poliméricos, cerámicos o una mezcla de ellos ha proliferado permitiendo prolongar el servicio de los equipos.

Al hablar de las válvulas de mariposa y el método de aplicación del revestimiento polimérico, se pretende reducir no solo el tiempo de reparación y puesta en marcha del equipo, sino también, reducir el costo de la aplicación. Si se comparan los procesos de restauración por soldadura y los revestimientos poliméricos, “el revestimiento ofrece diversas ventajas, como ausencia de distorsión y de zonas térmicamente afectadas, oxidación y tensiones residuales reducidas, además de recuperación de piezas en tiempos cortos”. (Murulanda, 2007, p. 204)

Se considera la reconstrucción de una válvula de mariposa por ser un equipo recurrente dentro de las aplicaciones que la empresa realiza, pero que no se ha logrado reacondicionar acorde a las expectativas que ESSA, S. A. se ha impuesto en su política de satisfacción total al cliente.

La garantía se determinará según las pruebas de estanqueidad, las cuales a través de ensayos no destructivos garantizarán el perfecto funcionamiento de cada válvula reconstruida y revestida por ESSA, S. A.

En el primer capítulo se hará una reseña de la empresa desde sus inicios, su evaluación integral, detalles del producto y el mercado de aplicación, así como los antecedentes de la investigación.

En el segundo capítulo se establecen los fundamentos básicos para el reacondicionamiento de piezas, las técnicas y materiales para la relación de este tipo de trabajo, así como los beneficios de la reconstrucción de las piezas.

En el tercer capítulo se desarrollarán los fundamentos teóricos que proveen un marco de referencia para interpretar los resultados del mismo, datos sobre las válvulas, tipos de desgastes que existen y métodos de reconstrucción y revestimiento para minimizar que estos equipos dejen de funcionar.

Posteriormente, en el capítulo cuatro se determinará la normalización de las herramientas, técnicas y tiempo de aplicación de los sistemas poliméricos. Determinado el procedimiento a seguir, se debe analizar el recurso humano, la cantidad de trabajadores de mantenimiento y sus habilidades, el cual será evaluado en el capítulo cinco y sus relaciones financieras en el capítulo seis.

En el último capítulo se define el tipo y diseño de la investigación, se especifican las técnicas de recolección de información y se desarrollan las fases metodológicas que determinan las actividades que deben realizarse para cumplir con los objetivos planteados.



## 1. ANTECEDENTES

Debido a que en Guatemala la mayoría de las plantas hidroeléctricas datan entre los años 1925 y 1950, los equipos no cuentan con repuestos de fábrica, y las personas encargadas de mantenimiento deben dedicar 65 % de tiempo laboral en la reparación de los equipos. Según Dina Guzmán, (2004, p. 126) “la planeación, programación y control de las actividades está sujeta al efecto de variables como capacidad disponible de personal, antigüedad de la maquinaria, políticas de la empresa, sistemas de información, equipos y herramientas, fabricación y reparación de piezas y el clima”.

V. Gudiel de El Periódico, 2012, indica que la inversión en una hidroeléctrica oscila entre US\$ 1,5 a US\$ 2 millones por cada MW instalado, el mismo reportaje comenta que es de una inversión sumamente rentable dado que la vida útil de una hidroeléctrica supera los 50 años de operación, algunas pueden operar por más de 80 o 100 años con un buen mantenimiento y trabajos hidrológicos y de reforestación. Mientras que la inversión se recupera en un plazo promedio de 10 años y el plazo restante es para generar utilidades, restados los costos de operación y el mantenimiento de la central.

Las políticas establecidas por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica – (CNEE) en 1997, estipulan la Indisponibilidad Programada como la regulación y autorización de paros que anualmente pueden realizar las empresas generadoras, y si los paros no son autorizados se convierte en una Indisponibilidad Forzada, la cual según el artículo 121 del Reglamento de la Ley General de Electricidad puede tener multas cuantiosas dependiendo de la indisponibilidad en minutos de su salida del sistema.

Por las normativas estipuladas por la CNEE los paros en planta deben ser programados con una certeza cercana al 100 % que reduzca al máximo el tiempo entre reparación e instalación, buscando alternativas de reparación, como los revestimientos poliméricos, se aumenta la disponibilidad del equipo que una central hidroeléctrica debe tener.

Una central hidroeléctrica generalmente está constituida por los siguientes elementos: embalse, presa, conductos o tuberías forzadas, turbinas (Pelton, Kaplan o Francis), válvulas (de mariposa o de bola), generadores, tubos de desagüe, aliviaderos y otros equipos. García-Serra (1999, p. 1) determinó que: “las válvulas de mariposa en una planta hidroeléctrica solo representan entre un 5 y un 10 % del valor que una red hidroeléctrica” pero se convierte en uno de los mecanismos principales para el control de todo el equipo de distribución.

Según Manescú (2003, p. 126) “La válvula tipo mariposa es un elemento que tiene una estructura compleja y se utiliza como obturador en las centrales hidroeléctricas”; es un equipo sometido a mucha cavitación, abrasión, golpe de ariete y un sinnúmero de condiciones extremas (tabla IV). La válvula al perder presión puede ocasionar que la turbina deje de generar la energía mecánica suficiente para comenzar el proceso de generación eléctrica, regularmente el diámetro de la válvula tipo mariposa varía entre 100 y 1 000 milímetros, y la presión de trabajo es relativamente alta; en general,  $p > 10$  atm.

Un mantenimiento a la válvula con soldadura y electrodo puede llevar varias semanas, Ramos M., (2005, p. 40) afirma que, “el intento de reparar elementos que hayan acumulado un gran grado de deterioro (incluido la aparición de transformaciones estructurales) puede ser muy complicado, incluso bajo las mejores condiciones.”

El presente trabajo, analizará los pasos que deben de seguirse para la recuperación de una válvula de mariposa desde: el equipo, los puntos de inspección (antes y después de realizada la reparación), el personal adecuado (el grado académico que deberá tener), la forma en que debe ser reparado el equipo, establecer las pruebas de estanqueidad para garantizar el perfecto funcionamiento del equipo y su costo en relación a otros recubrimientos que serán detallados en la investigación.



## 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En Guatemala existen 27 empresas generadoras de energía eléctrica, las cuales operan con márgenes de parada muy estrechos y deben mantener sus equipos en óptimas condiciones pues de ellas depende casi el 35 % de abastecimiento energético del país.

Las válvulas, objeto de este estudio, proporcionan un punto medular en la operación de una central, por lo que una mala reparación repercute directamente en la presión de salida de una turbina, no generando la cantidad suficiente de energía o teniendo que realizar más esfuerzo para lograr un fin similar.

Desde el 2006, ESSA, S. A., se ha encargado del reacondicionamiento de estos equipos en 5 hidroeléctricas del país, pero hasta ahora sus procedimientos no han sido normalizados ni pueden ser 100 % garantizados y una vez el equipo entra nuevamente en funcionamiento, es muy difícil lograr otro paro para realizar la nueva reparación.

Una de las limitantes con las que se puede encontrar en la investigación es precisamente que las empresas hidroeléctricas en Guatemala, solo realizan sus paros en la época de enero a marzo de cada año, por lo que se deberá estar preparado en esa época teniendo la herramienta y los procedimientos a seguir para la realización de las pruebas de resistencia a la presión interior y estanquidad. Se plantea la interrogante: ¿es posible generar una normativa que determine los pasos a seguir para la recuperación de válvulas de mariposa

de eje vertical de marca Vanadour, con un diámetro de 1 metro y PN10, con un flujo máximo de 5 m/s?

Si es posible, ¿qué tipos de revestimientos existen en el mercado para realizar este reacondicionamiento y sus métodos de aplicación?, ¿cómo puede garantizarse el óptimo funcionamiento de estos equipos, así como el método para el análisis de los resultados?

Por último, deberá determinarse, ¿qué costo tienen los revestimientos poliméricos en comparación a procesos similares?

### **3. JUSTIFICACIÓN**

La avanzada tecnología de los recubrimientos, provee a las industrias uno de los medios más eficaces para combatir el desgaste prematuro, adelantándose a la falla o al momento en que el equipo deja de trabajar en sus condiciones óptimas. De esta forma, Murulanda (2007, p. 199) opina que “se optimiza la disponibilidad de la maquinaria, se disminuye costos de mantenimiento y se maximiza la vida útil de la pieza”.

De acuerdo al Boletín Belzona (2012, p. 1), “en el mundo existen más de 160 empresas dedicadas a la realización de revestimientos”, ya sea metálicos, poliméricos, cerámicos o alguna combinación de estos sistemas para las reparaciones, las cuales trabajan sin un método establecido y basándose únicamente en la experiencia adquirida a través de los años.

La ingeniería en mantenimiento tiene dentro de su línea de investigación, propiciar una cultura de reacondicionamiento de piezas para ayudar a que los encargados de mantenimiento logren mejor costo/beneficio en los equipos a utilizar, así como darle un mejor uso al presupuesto establecido a su cargo.

El presente estudio pretende normalizar los pasos a seguir, herramientas y la capacidad del personal a utilizar para garantizar que cada una de las válvulas reparadas con soldadura polimérica logre una garantía total desde el momento que se pone en funcionamiento en una central hidroeléctrica que funciona las 24 horas del día.

Ninguna reparación, por más sofisticada que sea, puede operar satisfactoriamente, si está mal aplicada. La experiencia de ESSA, S. A. según la bitácora de aplicaciones realizadas del 2010 a 2013, confirma que el 90 % de las fallas se debe a la mala preparación de la superficie, mientras que el 10 % restante se debe a una mala selección del método de reparación, es por esto que esta investigación se centra no solo en una selección adecuada del producto polimérico a aplicar, sino en los puntos de inspección a realizar antes y después de la aplicación.

Según licitaciones realizadas por hidroeléctricas del Estado a través del sistema Guatecompras (anexo 1), y documentación de costos realizados por la empresa ESSA, S. A., en válvulas de mariposa similares (anexo 2 y 3) se demostrará que el producto polimérico seleccionado no solo cumple con las expectativas de duración de las plantas hidroeléctricas, sino que su relación costo/beneficio supera muchos de los revestimientos actuales, tanto por el tiempo de aplicación, como por la puesta en marcha del equipo ya reacondicionado, superando los ensayos según las Normas ISO 9635, tanto las pruebas de: estanqueidad de la carcasa como la estanqueidad en el asiento que son las dos pruebas que garantizarán el perfecto funcionamiento del equipo.

El estudio tiene como finalidad evaluar la operatividad y confiabilidad de las válvulas de mariposa Vanadour de 1 metro de diámetro en una central hidroeléctrica para definir las técnicas y estrategias de mantenimiento, sobre esta base se identificará el estudio como descriptivo; asimismo se describirán los conceptos básicos de mantenimiento en una planta hidroeléctrica, como también los de válvulas de mariposa y se establecerá la relación entre el plan de mantenimiento y confiabilidad del proceso de reacondicionamiento con

soldadura polimérica, planificación, reducción del tiempo de parada, costo e inventario de repuestos.

Al resolver satisfactoriamente el reacondicionamiento de la válvula de mariposa Vanadour, cualquiera de las 27 hidroeléctricas del país podrá tener acceso a esta tecnología, garantizado que su equipo funcionará por lo menos 5 años o más utilizando el sistema y que sus tiempos de parada se reducirán de 545 días con una reparación con soldadura a 15 días con el método polimérico planteado.

La reparación de una válvula de mariposa con el método de soldadura con electrodo, en Guatecompras 2012, tenía un costo de Q. 628 000,000, con el método de soldadura polimérica una reparación similar tendría un costo de Q. 37 000,00, realizada en casa de máquinas.



## 4. OBJETIVOS

### General

Elaborar e implementar un sistema que determine el procedimiento que debe seguirse para la recuperación de una válvula de mariposa de eje vertical marca Vanadour, diámetro de 1 metro, con presión de trabajo de PN10 y un rango de flujo máximo de 5 m/s.

### Específicos

1. Describir los tipos de revestimiento y métodos de aplicación para la restauración de equipos en relación a otros sistemas, como: metálicos, poliméricos, cerámicos o combinación de ambos.
2. Elaborar un análisis de los costos de un reacondicionamiento polimérico tomando en cuenta el personal, tiempo y recursos necesarios en comparación a los otros sistemas.
3. Describir las técnicas de mantenimiento que mejor se ajusten al mecanismo de las válvulas de mariposa.
4. Desarrollar el tipo de recolección de datos y la metodología que debe realizarse para lograr la estanqueidad del equipo.



## **5. NECESIDADES A CUBRIR**

### **5.1. Alcances**

Los alcances para el presente estudio será el Departamento de Servicios Externos de la empresa ESSA, S. A. / Plásticos de Ingeniería, S. A., en una hidroeléctrica de Guatemala que tiene: 3 líneas de distribución de caudal, 5 válvulas de mariposas de eje vertical marca Vanadour, diámetro 1 metro, presión de trabajo de PN10 y un rango de flujo máximo de 5 m/s; en el lapso de enero a abril del 2014.

El Departamento de Servicios Externos cuenta en el 2013 con tres personas que reportan directamente al jefe de taller de la organización, pero eventualmente, dependiendo de la actividad a realizar, debe ser subcontratado un equipo de mantenimiento, por lo que se hace importante dejar lineamientos claros sobre los requisitos que debe tener el personal a contratar.

El presente estudio es una investigación de campo con un modelo cualitativo y cuantitativo ya que estará referido a la elaboración de un plan de mantenimiento para el reacondicionamiento de las válvulas de mariposa con soldadura polimérica en una central hidroeléctrica, de donde se tomarán los datos necesarios para su elaboración, basados en pruebas de estanqueidad tanto de la carcasa como del asiento de la válvula.

La investigación se clasificará como transeccional descriptiva, ya que se describirán y analizarán los aspectos vinculados a las fases de operatividad y

confiabilidad de las válvulas de mariposa de la empresa ya mencionada en un periodo de tiempo determinado.

## **5.2. Limitaciones**

Las limitaciones al realizar reconstrucciones y revestimientos poliméricos son:

- El escaso conocimiento que la mano de obra tiene sobre el uso y aplicación de estos sistemas.
- Los paros programados con los que las plantas hidroeléctricas cuentan, el cual es solamente una vez en el año, lo cual limita a un par de meses toda la investigación de pruebas y puesta en funcionamiento del equipo reacondicionado.
- Para realizar todas las pruebas de resistencia a la presión interior y estanquidad es necesario instalar un banco de presión hidrostática, el cual no necesita circulación de caudal, pero que en términos económicos representa un factor a considerar.

## **6. MARCO TEÓRICO**

### **6.1. La empresa**

ESSA, S. A. tiene más de 27 años de estar en el mercado guatemalteco, y desde el 2007 incursionó en los países de México y El Salvador.

#### **6.1.1. Misión**

“Importar, fabricar, distribuir polímeros de alta calidad para mantenimiento y mejoramiento de la producción industrial con apoyo y asesoramiento a los clientes para lograr el máximo rendimiento de los mismos.”

#### **6.1.2. Visión**

“Consolidarse como líderes en el mercado Latinoamericano y del Caribe en la distribución y comercialización de polímeros para la producción y mantenimiento industrial, basándose en tecnología actualizada, personal calificado y la disposición permanente de asesoría y consultoría a los clientes.”

### **6.2. El producto**

Desde sus inicios en 1952, Belzona ha estado a la vanguardia del desarrollo de sistemas poliméricos avanzados utilizados para mantenimiento industrial. Belzona introdujo a la industria la era de reparaciones poliméricas y mantenimiento conjuntamente con aplicaciones diseñadas específicamente para ahorrarle tiempo y dinero a los clientes que utilizan sus productos.

Los productos y sistemas Belzona pueden:

- Reducir tiempos de parada
- Reducir gastos de mantenimiento
- Extender la vida útil del equipo
- Mejorar la eficiencia
- Simplificar procedimientos de mantenimiento

### **6.3. El mercado**

Puede ser utilizado en todas las industrias: eléctricas, papelera, tratamiento de agua, petroquímica, petrolera, marina, azucarera, minera, militar, siderúrgica, y en un sinnúmero de entidades, incluyendo aeropuertos y terminales, hospitales, hoteles, centros comerciales, edificios municipales, estadios entre otros.

### **6.4. Reacondicionamiento de piezas**

En este medio, lograr que el equipo funcione por más tiempo es un reto diario, la maquinaria muchas veces ya no cuenta con repuestos de fábrica o estos tienen un precio elevado para los presupuestos de muchas empresas.

Al referirse a un reacondicionamiento no se está mencionando una reparación temporal, con los métodos actuales, se habla de reparaciones duraderas y muchas veces, cuando se escogen los materiales adecuados, se puede hablar de reparaciones que pueden durar mucho tiempo más que una pieza original.

## **6.5. Fundamentos teóricos**

A continuación serán detallados todos los conceptos necesarios para el desarrollo de la investigación: tipos y materiales de las válvulas, factores de desgaste que pueden incidir en el uso de las mismas, los tipos de recubrimientos que pueden ser utilizados para evitar el desgaste de estos equipos y los costos para su recuperación.

### **6.5.1. Válvulas**

Las válvulas son dispositivos mecánicos cuya función es la de controlar los fluidos en un sistema de tuberías, según García Serra, 2010, las normas para clasificar y definir los componentes de una válvula están reunidos en UNE-EN 736 (Válvulas – Terminología); se trata de una norma con tres partes en las que se describen los componentes de una válvula y se clasifican según sus características constructivas y su función:

- Parte 1: (1996) definición de los tipos de válvulas
- Parte 2: (1998) definición de los componentes de las válvulas
- Parte 3: (1999) definición de términos

Un resumen de los tipos de válvulas más comunes se detalla en la tabla III.

Tabla I. Tipos de válvulas

TIPO VALVULA	DESCRIPCION	ILUSTRACION
<b>DIAFRAGMA</b>	Son válvulas de cierre con un órgano flexible y deformable (Diafragma), el cual es accionado por un pisador unido al eje. En posición cóncava el diafragma permite el paso del fluido estando la válvula abierta mientras que en posición convexa impide el paso del fluido estando la válvula cerrada.	
<b>BOLA</b>	Sirve para regular el flujo. El mecanismo regulador situado en el interior se abre mediante el giro del eje unido a la esfera perforada, de tal forma que permite el paso del fluido cuando esta alineada la perforación con la entrada y la salida de la válvula. Cuando la válvula está cerrada, el agujero estará perpendicular a la entrada y a la salida. La posición de la manibela de actuación indica el estado de la válvula (abierta o cerrada).	
<b>COMPUERTA</b>	Son válvulas de aislamiento caracterizadas por realizar el cierre mediante un disco de caras planas (cuña) que se desliza verticalmente sobre los asientos fijos de la válvula situados en paralelo. Son válvulas bidireccionales, de gran capacidad y no aptas para servicios de regulación	
<b>GLOBO</b>	El asiento de una válvula del globo es paralelo a la línea del flujo del líquido, puede ser utilizado para sofocar el flujo a cualquier grado requerido. La economía de esta válvula la hacen deseable para muchos usos.	
<b>MARIPOSA</b>	Las válvulas de Mariposa son válvulas que poseen un disco circular el cual es girado sobre un eje obturando la sección de paso del conducto cuando está perpendicular al eje de éste y dejando paso libre cuando esta paralelo. El disco consigue ángulos de aperturas parciales ó totales hasta 90° que permiten el paso del fluido.	

Fuente: elaboración propia.

Según Jorge Orellana (2005, p. 10) “las válvulas de mariposa son muy empleadas en las redes de distribución, presentan numerosas ventajas en las tuberías de gran tamaño, incluyendo su menor costo, menor desgaste por fricción y facilidades de operación”, es por eso que son muy utilizadas en las hidroeléctricas nacionales.

#### **6.5.1.1. Materiales de una válvula**

De acuerdo a García Serra (2010), las válvulas solo representan entre un 5 y un 10 % del costo de implantación de una red de distribución de agua a presión, pero son fundamentales para el buen funcionamiento de estos sistemas.

Las válvulas pueden estar construidas en una diversidad de materiales: hierro fundido, aluminio, acero inoxidable, aleaciones o materiales termoplásticos y elastoméricos, dependiendo de su función, temperatura y fluido en contacto, y un mismo equipo puede tener una o más combinaciones dependiendo de la labor que realice.

Para la realización de este proyecto únicamente se tomarán aquellas válvulas cuyo cuerpo está construido en materiales metálicos, debido a que los revestimientos poliméricos no son compatibles con casi ningún material termoplástico.

#### **6.5.1.2. Partes de una válvula**

La definición de los componentes de las válvula está contenido en la Norma EN-736-2 (Definición de los componentes de las válvulas), lo que facilita que tanto fabricantes como técnicos puedan apoyarse para la reparación de un

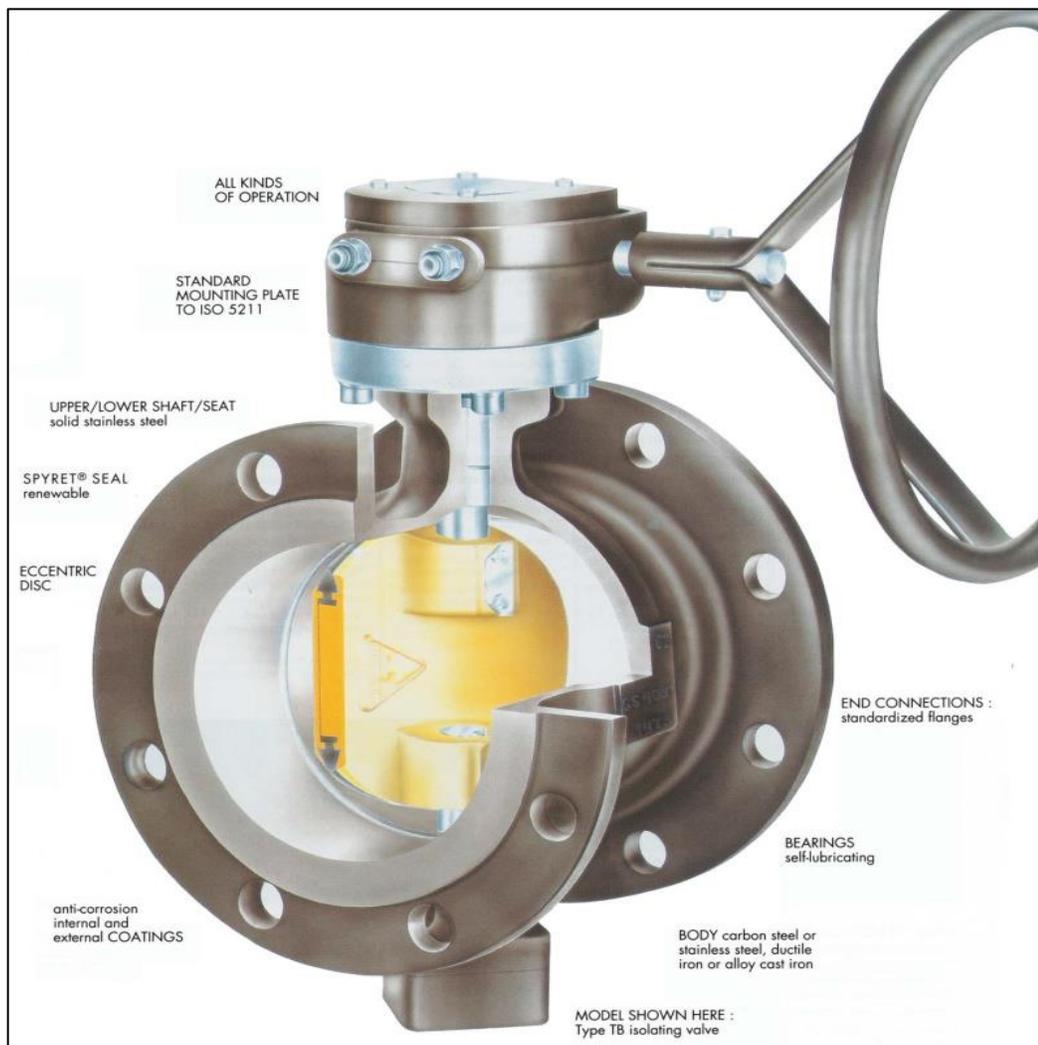
equipo cuando es necesario (García Serra, 2010). Las válvulas independientemente de su tipo disponen de algunas partes comunes necesarias para el desarrollo de su función, a continuación se detallan las más importantes.

- Obturador: también denominado disco en caso de parte metálica, es la pieza que realiza la interrupción física del fluido.
- Eje: también denominado husillo, es la parte que conduce y fija el obturador.
- Asiento: parte de la válvula donde se realiza el cierre por medio del contacto con el obturador.
- Empaquetadura del eje: es la parte que montada alrededor del eje metálico asegura la estanqueidad a la atmósfera del fluido.
- Juntas de cierre: es la parte que montada alrededor del órgano de cierre (en algunos casos) asegura una estanqueidad más perfecta del obturador.
- Cuerpo y tapa: partes retenedoras de presión, son el envolvente de las partes internas de las válvulas.
- Extremos: parte de la válvula que permite la conexión a la tubería, pueden ser bridados, soldados, roscados, ranurados o incluso no disponer de ellos, es decir, permitir que la válvula se acople a la tubería tan solo por las uniones externas (Wafer).
- Pernos de unión: son los elementos que unen el cuerpo y tapa de la válvula entre sí. Para asegurar la estanqueidad atmosférica hay que colocar juntas entre estas dos superficies metálicas.
- Accionamiento: es el mecanismo que acciona la válvula.

Estas y otras partes serán de utilidad cuando se realice el *check list* de los puntos a inspeccionar en las válvulas de mariposa antes y después de la

realización del mantenimiento del equipo, para lo cual se realizará un diagrama completo (ver figura 1).

Figura 1. Partes de una válvula



Fuente: folleto Asahi/América, 2010.

### 6.5.1.3. Presiones

En la actualidad sirve de referencia la Norma UNE-EN 805 (2000), “*Abastecimiento de agua. Especificaciones para redes exteriores a los edificios y sus componentes*” para designar las diferentes presiones:

- Presión de funcionamiento admisible (PFA)  
Presión hidrostática máxima que un componente es capaz de resistir, de forma permanente, en servicio. Equivale a la presión nominal (PN).
- Presión máxima admisible (PMA)  
Valor máximo de presión que se alcanza en momentos puntuales del funcionamiento.
- Presión de ensayo admisible (PEA)  
Máxima presión hidrostática que puede resistir un componente durante un tiempo relativamente corto, para asegurar integridad y estanqueidad.
- Presión de diseño (DP)  
Presión máxima de funcionamiento (en régimen permanente) de la red o de la zona de presión, considerando futuras ampliaciones, pero excluyendo golpe de ariete.
- Presión máxima de diseño (DPM)  
Presión máxima de funcionamiento de la red o de la zona de presión fijada, considerando futuras ampliaciones e incluyendo golpe de ariete.

- Presión de prueba de la red (STP)  
Presión hidrostática aplicada a una conducción recientemente instalada de forma que se asegure su integridad y estanqueidad.

## **6.6. Factores de desgaste**

Según Alberto Zapata (2007), el desgaste es la pérdida progresiva de material en la superficie de trabajo de una pieza o cuerpo.

Existen diversas razones por las que un equipo puede salir de funcionamiento, principalmente en las válvulas de mariposa que es el tema de estudio; se pueden encontrar desgastes por fricción, abrasión proveniente de sedimentos estancados desde los embalses los cuales, pueden ocasionar desgastes en: máquinas, tuberías, válvulas, cavitación, golpe de ariete, la fatiga y la corrosión.

Los tipos de desgaste más conocidos se detallan en la tabla IV, posteriormente se analizarán cada uno y la influencia que tienen en el equipo a restaurar.

Tabla II. **Tipos de desgaste**

<b>TIPOS DE DESGASTE</b>	<b>DEFINICIÓN</b>
Abrasión	Es el desgaste causado por el movimiento de partículas sobre una superficie.
Desgaste por deslizamiento	Es el desgaste originado por el deslizamiento entre dos superficies metálicas sin la presencia de material abrasivo, con o sin lubricación.
Erosión	Es el desgaste originado por la acción de partículas que son transportadas por un fluido y que impactan la superficie de la pieza.
Cavitación	Es el desgaste originado por la implosión de burbujas producidas en una zona de baja presión.
Impacto	Es el desgaste originado por un cuerpo que tiene una velocidad y choca contra otro, para que un material pueda soportar impacto debe tener alta tenacidad.
Corrosión	Es el desgaste originado por una reacción química o electroquímica entre un metal y su medio.
Golpe de ariete	Choque violento que se produce sobre las paredes de un conducto forzado, cuando el movimiento líquido es modificado bruscamente.

Fuente: elaboración propia.

## **6.7. Recubrimientos**

Los diversos tipos de revestimientos son utilizados para combatir efectivamente todos los tipos de desgaste, incluso en situaciones donde el desgaste es combinado.

Según Murulanda (2007, p. 199), “Si se desea realizar una buena selección del tipo de revestimiento, es necesario conocer los tipos de desgaste que afectan la pieza en particular, no todos los revestimientos están hechos para soportar todos los tipos de desgaste, y pueden en un momento fallar”.

Se debe realizar una recopilación de los diferentes tipos de revestimiento que existen en el mercado, sus propiedades, ventajas y desventajas y realizar una comparación en relación a los revestimientos poliméricos que es nuestro tema de estudio.

## **6.8. Costos**

Toda instalación sufre deterioro por uso, operación inadecuada, defectos en el montaje, especificaciones técnicas mal concebidas y por su no utilización (Diana Guzmán, 2004).

En las plantas generadoras de energía hidroeléctrica la planeación, programación y control de las actividades de mantenimiento deben ser muy controlados porque una reparación fuera de tiempo puede causar grandes multas por paros no programados.

La reparación con materiales poliméricos no es muy usual en el medio, el análisis para la elección del revestimiento ideal y del proceso de aplicación debe tener en cuenta factores de costo y eficiencia a mediano y largo plazo que motive a los jefes de mantenimiento a realizar este tipo de recuperaciones.

## **6.9. Pruebas y metodología**

Manescú (2003), comenta que la válvula tipo mariposa es un elemento que tiene una estructura compleja y se utiliza como obturador en las centrales hidroeléctricas, se ubica en el extremo y más arriba de los conductos, detrás del castillo de equilibrio, y al frente de la turbina hidráulica. Es una pieza que debe quedar en óptimas condiciones luego de ser reparada, por lo mismo se detallan las pruebas que se necesitarán para que la válvula supere los ensayos que

aparecen en una norma, de forma que implícitamente quede garantizado el correcto funcionamiento. Se verificarán los ensayos según las Normas ISO 9635.

#### **6.9.1. Estanqueidad de la carcasa**

A la presión exterior: para comprobar la estanqueidad a la entrada de aire, agua o cualquier otra materia extraña desde el exterior. En el banco hidrostático, se reduce la presión en el interior de la válvula hasta -0,8 bar durante dos horas.

#### **6.9.2. Estanqueidad del asiento**

- A presión diferencial elevada: el ensayo se realiza en banco hidrostático, cerrando el obturador con un par que definirá el fabricante y que asegurará la estanquidad. Este par deberá ser inferior al par máximo de maniobra (MOT) particularizado en la norma para el tipo de válvula de que se trate. Aplicando una presión diferencial de valor igual a 1,1 PFA, el ratio de fuga no debe superar al ratio definido por la norma.
- A presión diferencial baja: mismo ensayo que el anterior, pero con una presión diferencial de 0,5 bar.

Para realizar todas las pruebas de resistencia a la presión interior y estanquidad es necesario instalar un banco de presión hidrostática, el cual no necesita circulación de caudal, se detallaran los recursos necesarios y se dejará detallado el costo del montaje del equipo.

## **7. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS**

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE

PREGUNTAS ORIENTADORAS

OBJETIVOS

RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

HIPÓTESIS

INTRODUCCIÓN

### **1. LA EMPRESA**

#### **1.1. La organización**

1.1.1. Reseña histórica

1.1.2. Misión

1.1.3. Visión

1.1.4. El producto

1.1.5. El mercado

#### **1.2. Antecedentes de la investigación**

### **2. REACONDICIONAMIENTO DE PIEZAS**

2.1. Fundamentos básicos para el reacondicionamiento de piezas

2.2. Técnicas y materiales para el reacondicionamiento de piezas

2.3. Beneficio del reacondicionamiento de piezas

### 3. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

#### 3.1. Válvulas

- 3.1.1. Tipos de válvulas
- 3.1.2. Materiales de una válvula
- 3.1.3. Partes de una válvula
- 3.1.4. Presión

#### 3.2. Factores de desgaste en piezas metálicas

- 3.2.1. Abrasión
- 3.2.2. Fricción
- 3.2.3. Erosión
- 3.2.4. Cavitación
- 3.2.5. Impacto
- 3.2.6. Corrosión
- 3.2.7. Golpe de ariete
- 3.2.8. Fatiga

#### 3.3. Recubrimientos a piezas metálicas

- 3.3.1. Tipos de reconstrucciones
  - 3.3.1.1. Con soldadura
  - 3.3.1.2. Soldadura polimérica
- 3.3.2. Clasificación de los revestimientos
  - 3.3.2.1. Metálicos
  - 3.3.2.2. Poliméricos
  - 3.3.2.3. Cerámicos
  - 3.3.2.4. Combinación de varios

### 4. NORMALIZACIÓN EN LA APLICACIÓN DE SISTEMAS POLIMÉRICOS

#### 4.1. Herramientas

#### 4.2. Preparación de superficie

- 4.2.1. *Sand Blast*

- 4.2.2. Limpieza mecánica
    - 4.2.3. Limpieza química
  - 4.3. Desmontaje y montaje
  - 4.4. Puntos a evaluar
  - 4.5. Incidentes de funcionamiento
  
- 5. EVALUACIÓN DEL RECURSO HUMANO
  - 5.1. Requisitos
  - 5.2. Funciones
  - 5.3. Cantidad de personal
  - 5.4. Seguridad industrial
  - 5.5. Capacitación
  
- 6. RELACIONES FINANCIERAS
  - 6.1. Pruebas *Sandlurry* para determinar factores de desgaste
  - 6.2. Comparación de precios entre los diferentes reacondicionamientos
  - 6.3. Ventajas de los productos poliméricos
  
- 7. PRUEBAS Y METODOLOGÍA
  - 7.1. Inspección VOSO
  - 7.2. Estanqueidad de la carcasa
  - 7.3. Estanqueidad del asiento

ANÁLISIS DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

APÉNDICES



## **8. METODOLOGÍA**

El tipo de estudio aplicado a esta investigación se basa en una investigación de campo con un modelo cualitativo y cuantitativo para definir un sistema que determine los pasos que deben seguirse para la recuperación de una válvula de mariposa utilizada en una central hidroeléctrica. Se clasificará como transaccional descriptiva, ya que se describirán y analizarán los aspectos vinculados a las fases de operatividad y confiabilidad de las válvulas de mariposa de la empresa ya mencionada, en un periodo de tiempo determinado.

Los alcances para el presente estudio será el Departamento de Servicios Externos de la empresa ESSA, S. A. / Plásticos de Ingeniería, S. A., en una hidroeléctrica ubicada a 54 kilómetros de la ciudad de Guatemala, que tiene 3 líneas de distribución de caudal y 5 válvulas de mariposas eje vertical marca Vanadour, con diámetro de 1 metro, presión de trabajo de PN10 y un rango de flujo máximo 5 m/s, en el lapso de febrero a abril del 2014.

Se detalla la técnica para la recuperación de una válvula de mariposa desde el equipo, los puntos de inspección, el personal adecuado, la forma en que debe ser reparado el equipo y el establecimiento de las pruebas VOSO y de estanqueidad para garantizar el funcionamiento del equipo y su costo en relación a otros recubrimientos son datos que deben ser considerados para el desarrollo de la normativa.

La metodología que se utilizará para el desarrollo y cumplimiento de los objetivos propuestos, contempla las siguientes fases:

- Fase I: fase teórica

Se efectuará una revisión de las definiciones y conceptos básicos en libros y manuales de referencia del fabricante para verificar el cumplimiento del mantenimiento de las válvulas de mariposa en una central hidroeléctrica, así como se consultará la experiencia del personal para aplicar y adaptar estas técnicas al plan que se propone realizar.

- Fase II: fase investigativa y de muestreo

Se analizará la situación actual de las condiciones de servicio de las válvulas de mariposa de una central para considerar el período de tiempo en que se debe realizar el mantenimiento.

Después de ser desarrollados los pasos de inspección antes y después del reacondicionamiento del equipo, técnicas de preparación de superficie y aplicación del revestimiento polimérico, se verificará el funcionamiento óptimo del equipo a través de los ensayos según las Normas ISO 9635, en una válvula de mariposa de eje vertical marca Vanadour, diámetro 1 metro, la cual será proporcionada por la central hidroeléctrica, para la realización de las pruebas respectivas previo al mantenimiento programado del primer trimestre del 2014, las pruebas a realizar serán:

- Estanqueidad de la carcasa

A la presión exterior: para comprobar la estanqueidad a la entrada de aire, agua o cualquier otra materia extraña desde el exterior. En el banco hidrostático, se reduce la presión en el interior de la válvula hasta -0,8 bar durante dos horas.

- Estanqueidad del asiento
  - A presión diferencial elevada: el ensayo se realiza en banco hidrostático, cerrando el obturador con un par que definirá el fabricante y que asegurará la estanqueidad. Este par deberá ser inferior al par máximo de maniobra (MOT) particularizado en la norma para el tipo de válvula de que se trate. Aplicando una presión diferencial de valor igual a 1,1 PFA, el ratio de fuga no debe superar al ratio definido por la Norma.
  - A presión diferencial baja: mismo ensayo que el anterior, pero con una presión diferencial de 0,5 bar.

Al mismo tiempo se estará desarrollando a través del ensayo *Sandlurry* un muestreo a través de los diferentes tipos de revestimientos (metálicos, poliméricos, cerámicos o combinación de varios) para determinar el tiempo de duración de un revestimiento polimérico en función a otros revestimientos descritos en el capítulo 3, esto, para determinar la relación costo/beneficio de utilizar el método propuesto en función a otros que existen en el mercado.

Se realizará una revisión de los datos obtenidos en otros reacondicionamientos para analizarlos y de esta manera registrar las actividades diseñando una hoja histórica.

- Fase III: fase evaluación

El análisis estadístico involucra análisis de muestreo, se deberá realizar una serie de aplicaciones y pruebas de estanqueidad al equipo antes de los ensayos finales a realizarse entre el mes de febrero a marzo del 2014. Se analizará y organizará de forma lógica la información recolectada para diseñar el plan de acción para la recuperación de las válvulas de mariposa en la central hidroeléctrica propuesta. Una vez definidos los puntos medulares de la reparación se realizará un formato con los puntos críticos que deben ser considerados al restaurar un equipo.

- Fase IV: análisis económico

El análisis económico está relacionado no solo con el éxito del reacondicionamiento del equipo, si no también, en la relación costo/beneficio de utilizar los materiales poliméricos en vez de revestimientos convencionales como soldaduras, revestimientos antiabrasivos y cerámicos, entre otros, este punto se analizará a través del historial del cliente y los datos proporcionados por el sistema Guatecompras, en el período de estudio.

## 9. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Toda investigación debe culminar con resultados confiables, cuya validez sea fácilmente comprobable. La confiabilidad de estos resultados se obtendrá a través de distintos métodos de trabajo que garantizará el mejor estudio del conjunto de indicadores, que inciden sobre la problemática en particular.

Las técnicas que serán utilizadas para el análisis de la información en la realización del sistema de reacondicionamiento utilizando soldadura polimérica son las siguientes:

- Observación directa: esta técnica se usará para recolectar información de las válvulas en el campo, verificar sus condiciones y establecer las rutinas de mantenimiento. Esta técnica cuenta con el apoyo del personal de mantenimiento de la Hidroeléctrica como de los técnicos de ESSA, S. A.
- Encuesta y entrevista con el personal: la información que el personal de operación y de mantenimiento puedan aportar a la investigación, permitirán conocer parámetros actuales e historiales de cada una de las válvulas a reacondicionar, así como actualizar a información que pudo haber quedado sin documentar, para poder aplicar el análisis de criticidad ya que no se cuenta con suficiente información documentada sobre los niveles de tolerancias y holguras a manejar en las partes a ser reparadas.
- Gráficas: para facilitar la explicación y el análisis de los resultados obtenidos, se utilizarán distintos gráficos que representan una buena

parte de la información recabada. Los gráficos a utilizar son de barras y líneas.

- Análisis de ACR: realizar un análisis de causa-raíz de las válvulas de mariposa ayudará a establecer la causa de su desgaste prematuro, para determinar acciones correctivas óptimas que garanticen que el reacondicionamiento utilizado cumple con los requerimientos de la generadora eléctrica.
- Análisis de la situación actual de las condiciones en la que se encuentran las válvulas de mariposa de casa de máquina de una central hidroeléctrica, las cuales serán tabuladas y comparadas con las pruebas de estanqueidad posteriores al reacondicionamiento de los equipos.
- Tabulación y análisis de la prueba de estanqueidad de la carcasa y del asiento.
- Análisis de muestreo para determinar que se cumplan los requerimientos que las Normas ISO 9535 requiere.
- Análisis y síntesis: el objetivo de este método es clasificar, seleccionar e interpretar todo lo referido a la información documentada con respecto a las válvulas de mariposa.
- Tabulación de las fallas de las válvulas de mariposa de la central hidroeléctrica a ser analizada según lo observado en campo.
- Análisis de la relación entre el costo y los beneficios que pueden ser obtenidos al reacondicionar una válvula utilizando un revestimiento polimérico.
- Deducción: el uso de esta técnica es para seleccionar toda aquella información estrictamente necesaria y de importancia para la propuesta que se realice.
- Análisis y diseño: esta técnica es de gran importancia, ya que en él se definirá el plan de mantenimiento para el reacondicionamiento de las piezas.

- Manejo de programas de computación: además de simplificar los cálculos y el procesamiento de la información recabada, son de gran utilidad para presentar los resultados de forma más ordenada y consistente. Se utilizarán sistemas como Excel, Microsoft Word y Autocad.

Por medio de estas técnicas se contemplará como el Departamento Externo de ESSA, S. A. / Plásticos de Ingeniería, S. A. a través de su personal debe realizar sus actividades, analizándolas para obtener deducción y considerarlas primordiales para las conclusiones y recomendaciones, perfeccionando esta información con la revisión documental en los manuales de procedimientos de las válvulas de mariposa instaladas en las líneas de distribución de una central hidroeléctrica para determinar el cumplimiento del reacondicionamiento del equipo.

Con todo el análisis de información finalmente se podrá diseñar el plan de reacondicionamiento para las válvulas de mariposa utilizando soldadura polimérica.



## 10. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Figura 2. Cronograma de actividades

ACTIVIDAD	NOVIEMBRE				DICIEMBRE				ENERO				FEBRERO				MARZO				ABRIL				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
RECOGER VALVULA MARIPOSA EN HIDROELECTRICA				■																					
RECOPILACION DE INFORMACION CON TECNICOS DE HIDROELECTRICA				■																					
SOLICITUD DE MANUALES DE FABRICANTE Y ANALISIS DE LOS MISMOS					■	■																			
PRIMERA ELABORACION PUNTOS DE INSPECCION						■																			
TECNICAS DE PREPARACION DE SUPERFICIE							■	■																	
TECNICAS DE APLICACION DE SOLDADURA POLIMERICA									■	■															
EVALUACION DE PRUEBAS SANDLURRY											■														
ELABORACION DE BANCO PARA ESTANQUEIDAD												■	■												
ELABORACION FINAL DE PUNTOS DE INSPECCION																■									
PRIMERA APLICACION DE SOLDADURA POLIMERICA																	■								
ANALISIS DE RESULTADOS																		■							
REAJUSTE A PUNTOS DE INSPECCION SEGÚN PRIMEROS RESULTADOS																			■						
SEGUNDA APLICACION Y ANALISIS DE RESULTADOS																				■					
APLICACION EN SITIO A VALVULAS EN USO																						■	■		
EVALUACION DE RESULTADOS																								■	■
DESARROLLO DE PROCEDIMIENTO PARA FUTURAS APLICACIONES																									■
PRESENTACION FINAL DE RESULTADOS A ESSA, S.A. E HIDROELECTRICA																									■

Continuación de la figura 2.

ACTIVIDAD	ABRIL					MAYO					JUNIO				JULIO		
	1	2	3	4	5	6	7	8	13	9	10	11	12	13	14	15	
<b>FASE TEORICA</b>																	
REVISION DE DEFINICIONES Y CONCEPTOS	■																
SOLICITUD DE MANUALES DE FABRICANTE Y ANALISIS DE LOS MISMOS	■	■															
RECOPIACION DE INFORMACION CON TECNICOS DE HIDROELECTRICA		■															
<b>FASE INVESTIGATIVA Y DE MUESTREO</b>																	
RECOGER VALVULA MARIPOSA EN HIDROELECTRICA		■															
ELABORACION DE BANCO PARA ESTANQUEIDAD		■	■	■													
PRIMERA ELABORACION PUNTOS DE INSPECCION			■	■													
TECNICAS DE PREPARACION DE SUPERFICIE			■	■	■												
TECNICAS DE APLICACIÓN DE SOLDADURA POLIMERICA			■	■	■												
EVALUACION DE PRUEBAS SANDLURRY			■														
ELABORACION FINAL DE PUNTOS DE INSPECCION				■													
PRIMERA APLICACION DE SOLDADURA POLIMERICA					■	■											
PRUEBAS DE ESTANQUEIDAD AL ASIENTO					■	■											
PRUEBAS DE ESTANQUEIDAD A LA CARCAZA					■	■											
ANALISIS DE RESULTADOS					■	■											
REAJUSTE A PUNTOS DE INSPECCION SEGÚN PRIMEROS RESULTADOS						■	■										
SEGUNDA APLICACIÓN Y ANALISIS DE RESULTADOS							■	■									
APLICACIÓN EN SITIO A VALVULAS EN USO								■	■								
<b>FASE EVALUACIÓN</b>									■	■							
EVALUACION DE RESULTADOS FINALES										■	■						
DESARROLLO DE PROCEDIMIENTO PARA FUTURAS APLICACIONES												■	■				
<b>ANALISIS DE COSTOS</b>																	
RELACIONES COSTO/BENEFICIO DEL SISTEMA PROPUESTO															■		
PRESENTACION FINAL DE RESULTADOS A ESSA, S.A.																■	
PRESENTACION FINAL DE RESULTADOS A HIDROELECTRICA																■	

Fuente: elaboración propia.

## **11. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO**

### **11.1. Factibilidad operativa**

El análisis de la factibilidad operativa está relacionado a los recursos humanos, técnicos y detalles que haga que el desarrollo del proyecto sea viable, y que pueda garantizarse que la estanqueidad en las válvulas de mariposa se logre cuando sea puesto en marcha en la línea de generación. En este punto, los detalles a considerar son:

- El tipo y cantidad de personal a contratar, pues solamente con un personal capacitado y con lineamientos bien establecidos se puede garantizar la perfecta reparación del equipo.
- Los controles que deberán obtenerse, tanto para la organización del trabajo como para los puntos de inspección y reacondicionamiento de las válvulas de mariposa.
- La recopilación de información para ir mejorando hasta lograr la garantía total del reacondicionamiento.

### **11.2. Factibilidad técnica**

El análisis de la factibilidad técnica para el reacondicionamiento utilizando soldadura polimérica en válvulas de mariposa está básicamente relacionado con tres aspectos:

- El análisis adecuado de los puntos críticos a reparar, los cuales garantizarán la estanqueidad del equipo.
- La aplicación adecuada de los productos, los cuales inician con una buena selección de la soldadura polimérica, siguiendo por la preparación adecuada de la superficie y terminando con una buena inspección final antes de iniciar las pruebas de estanqueidad.
- El desarrollo correcto del banco de trabajo que confirme la estanqueidad del equipo según las Normas ISO 9535.

También debe considerarse en esta sección, el equipo de seguridad industrial que debe ser utilizado y el acceso a la información para el desarrollo adecuado del proyecto. El tiempo necesario para la realización del proyecto está delimitado por la época de verano, debido a que las hidroeléctricas no pueden operar con un caudal de aguas arriba para la generación de energía.

### **11.3. Factibilidad económica**

Según datos de ESSA, S. A. /Plásticos de Ingeniería, el año pasado dejó de percibir más de Q 100 000,00 por no poder garantizar la estanqueidad en el reacondicionamiento de las válvulas de mariposa con soldadura polimérica en la hidroeléctrica en estudio.

Si se toma en cuenta que existen 24 empresas con problemas similares en Guatemala y que ESSA, S. A. tiene oficinas de operación tanto en México como El Salvador, cuantificar la pérdida se vuelve aún más interesante.

Con este nuevo método de aplicación, se pretende garantizar la completa hermeticidad del conjunto carcasa y sello del empaque, lo cual, según ya fue

expresado por la hidroeléctrica piloto, garantizaría que se pueda obtener un nuevo contrato con ellos y otras empresas del grupo.

El estudio completo tiene un costo aproximado de Q 23 800,00 (ver tabla V), el cual garantizará el funcionamiento del equipo siguiendo normas internacionales y dará los lineamientos para que el equipo técnico de la empresa pueda realizar correctamente las reparaciones.

El detalle que a continuación se genera, determina el gasto en que se incurrirá al realizar el presente proyecto, cabe mencionar que el producto será suministrado por la empresa, así como la mayoría de las herramientas, por lo que únicamente se está considerando su costo y depreciación, respectivamente.

Tabla III. Recursos físicos y financieros

DESCRIPCIÓN	MONTO (Q)
<b>MATERIALES</b>	
PRODUCTO	10 000,00
LIMPIEZA MECÁNICA	1 500,00
INSUMOS	2 500,00
EQUIPO DE SEGURIDAD PERSONAL	450,00
<b>DEPRECIACIÓN HERRAMIENTA</b>	
PULIDORA	350,00
OLLA SANDBLAST	1 200,00
PISTOLA	450,00
SANGLURRY	300,00
BOMBA	450,00
TUBERIA	150,00
MANOMETRO	350,00
<b>MANO DE OBRA</b>	
ASISTENTE 1	500,00
ASISTENTE 2	500,00
ALIMENTACIÓN	300,00
<b>VEHÍCULOS</b>	
FLETES	800,00
GASOLINA	500,00
DEPRECIACIÓN	250,00
MONTACARGAS	750,00
<b>GASTOS UNIVERSIDAD</b>	
ASESOR	2 500,00
<b>TOTAL GENERAL</b>	<b>23 800,00</b>

Fuente: elaboración propia.

## 12. BIBLIOGRAFÍA

1. Aguilar Cruz, C. (2002). *La necesidad de la planeación estratégica*.
2. Asahi/America, I. (2009). *Descripción de válvulas Asahi/America*. Japón: Asahi, Inc.
3. Belzona, I. (15 de septiembre de 2010). *Librería Electrónica Belzona*. Recuperado el 27 de septiembre de 2013, de <http://bel.belzona.com/ES/index.aspx>.
4. Bohórquez Toloza, W., & Espinosa, U. F. (2011). *Embalse como una estructura hidráulica*. Ingeniería agroindustrial.
5. Cabrera, J. (11 de agosto de 2013). *Slideshare*. Recuperado el 3 de julio de 2013 de <http://www.slideshare.net/juliocabrera7982/golpe-de-ariete-25152138>.
6. 8° Congreso Regional del Ambiente (octubre de 2012). *Feria del Ambiente*. Recuperado de <http://feriadelambiente.com.ar/Huella%20de%20carbono.pdf>.
7. Delgado Ramos, G. C. (2004). Plan Puebla Panamá, hidroelectricidad y medio ambiente. *El Cotidiano*, 100-109.

8. Díaz, J. (2009). *La eficiencia técnica como un nuevo criterio de optimización para la generación hidroeléctrica a corto plazo*. Dyna, 91-100.
9. Espejo Marín, C., & García Marín, R. (2010). *Agua y energía: producción hidroeléctrica en España*. Investigaciones Geográficas (Esp), (51), 107-129.
10. ESSA, S. A. (2013). *Bitácora de Aplicaciones Realizadas del 2010 al 2013*. Guatemala: ESSA, S. A.
11. ESSA, S. A. (2010). *Satisfacción total al cliente*. Guatemala.
12. García Serra, J., Zazo Salinero, T., Pardo Picazo, M., & Pinilla Herreo, I. (s.f.) *Normativa de válvulas para sistemas de abastecimiento y riego*. Recuperado el 25 de julio de 2013, de Centro de transferencia center: <http://www.ita.upv.es/idi/descargaarticulophp?id=221>.
13. Guatemala, G. d. (1997). *Ley general de Electricidad*. Guatemala: Gobierno de Guatemala.
14. Gudiel, V. (6 de noviembre de 2012). *Hidroeléctricas, el negocio del Siglo*. Hidroeléctricas, el negocio del Siglo. pág. 22.
15. Guzmán Gómez, D., López Ramírez, G., & Rodríguez Baracald, R. (2004). *Determinación de la capacidad requerida para la prestación del servicio de mantenimiento en plantas de energía hidroeléctrica*. Revista de Facultad de Ingeniería. Universidad de Antioquía (31), 124-138.

16. Intergovernmental Panel on Climate Change (2007). *Climate Change 2007: Synthesis Report*. (Primera Edición ed.). Geneva.
17. International Organization for Standardization (2006). ISO 14064-1. Ginebra, Suiza: ISO.
18. Landreau, B. (Noviembre de 2006). *Evaluación del Mecanismo de Desarrollo Limpio en Costa Rica. ¿Un país demasiado verde para beneficiarse del MDL?* San Pedro de Montes de Oca. Costa Rica.
19. Manescu, T., Bocii, L., Copaci, I., & Pinca, C. (2003). *Estudio de las tensiones en válvulas biplanas tipo mariposa*. Revista Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquía (30), 109-124.
20. Minas, M. d. (2011). *Capacidad Instalada y Efectiva 2011*. Guatemala.
21. Minsal Pérez, D., & Pérez Rodríguez, Y. (2007). *Organización funcional, matricial....En busca de una estructura adecuada para la organización*.
22. Murulanda, J. L., & Trujillo, G. (2007), *Recuperación de piezas desgastadas con recubrimientos protectores*. Scientia et Technica, 199-204.
23. Ramos Morales, F., Pozo Morejón, J., Díaz Cedré, E., & Velásquez Pérez, E. (2005). *Reparación por soldadura de tapas, agrietadas, de hierro fundido*. Revista Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquía (34), 35-41.

24. Zapata Meneses, A., Murulanda, J. L., & Molina Zapata, J. V. (2007). *Recuperación de un molino vertical atox 32.5 para molienda caliza por medio de soldadura*. Scientia et Technica, 625-630.