



**UNIVERSIDAD ESTADAL DE MILAGRO
FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN DE GRADO PREVIO A LA
OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO INDUSTRIAL**

PROPUESTA TECNOLÓGICA

**TEMA: ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS EMPLEADAS PARA LA
RECUPERACIÓN DE COMPONENTES DE TURBINAS
HIDROELÉCTRICAS: UNA REVISIÓN DEL ESTADO DEL ARTE.**

Autor: QUIÑÓNEZ MORÁN LEONEL EDUARDO.

**Acompañante: Ing. CARRASQUERO RODRÍGUEZ EDWUIN JESÚS
PhD.**

Milagro, Diciembre 2018

ECUADOR

DERECHOS DE AUTOR

Ingeniero.

Fabricio Guevara Viejó, PhD.

RECTOR

Universidad Estatal de Milagro

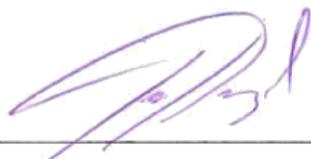
Presente.

Yo, QUIÑÓNEZ MORÁN LEONEL EDUARDO, en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales de la alternativa de Titulación – Propuesta Tecnológica, modalidad presencial, mediante el presente documento, libre y voluntariamente procedo a hacer entrega de la Cesión de Derecho del Autor la Propuesta Tecnológica realizado como requisito previo para la obtención de mi Título de Grado, como aporte a la Temática **ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS EMPLEADAS PARA LA RECUPERACIÓN DE COMPONENTES DE TURBINAS HIDROELÉCTRICAS: UNA REVISIÓN DEL ESTADO DEL ARTE.** del Grupo de Investigación **PRODUCCIÓN Y MATERIALES INDUSTRIALES** de conformidad con el Art. 114 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, concedo a favor de la Universidad Estatal de Milagro una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos. Conservo a mi favor todos los derechos de autor sobre la obra, establecidos en la normativa citada.

Así mismo, autorizo a la Universidad Estatal de Milagro para que realice la digitalización y publicación de esta Propuesta Tecnológica en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

El autor declara que la obra objeto de la presente autorización es original en su forma de expresión y no infringe el derecho de autor de terceros, asumiendo la responsabilidad por cualquier reclamación que pudiera presentarse por esta causa y liberando a la Universidad de toda responsabilidad.

Milagro, a los 10 días del mes de Diciembre del 2018



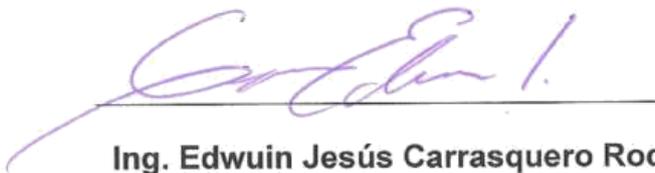
Quiñónez Morán Leonel Eduardo

CI: 1206317883

APROBACIÓN DEL TUTOR DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA

Yo, **Ing. CARRASQUERO RODRÍGUEZ EDWUIN JESÚS PhD**, en mi calidad de tutor de la Propuesta Tecnológica, elaborado por el estudiante **QUIÑÓNEZ MORÁN LEONEL EDUARDO**, cuyo tema de trabajo de titulación es **ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS EMPLEADAS PARA LA RECUPERACIÓN DE COMPONENTES DE TURBINAS HIDROELÉCTRICAS: UNA REVISIÓN DEL ESTADO DEL ARTE**, desarrollado a través del Grupo de Investigación en Caracterización, Procesamiento y Protección de Materiales (GICPPM), aportando a la Línea de Investigación de **PRODUCCIÓN Y MATERIALES INDUSTRIALES** a la obtención del Grado de **INGENIERO INDUSTRIAL**; considero que el mismo reúne los requisitos y méritos necesarios en el campo metodológico y epistemológico, para ser sometido a la evaluación por parte del tribunal calificador que se designe, por lo que lo **APRUEBO**, a fin de que el trabajo sea habilitado para continuar con el proceso de titulación de la alternativa de Propuesta Tecnológica de la Universidad Estatal de Milagro.

En la ciudad de Milagro, a los 10 días del mes de Diciembre del 2018.



Ing. Edwain Jesús Carrasquero Rodríguez PhD.
C.I.: 0961545613

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL CALIFICADOR

El tribunal calificador constituido por:

| | |
|------------|--|
| Presidente | Ing. Edwain Jesús Carrasquero Rodríguez PhD. |
| Secretario | Ing. Luis Ángel Bucheli Carpio MACI |
| Integrante | Ing. Byron Ramiro Romero Romero MACI |

Luego de realizar la revisión de la Propuesta Tecnológica, previo a la obtención del título (o grado académico) de Ingeniero Industrial presentado por el señor LEONEL EDUARDO QUIÑONEZ MORAN.

Con el título: Alternativas tecnológicas empleadas para la recuperación de turbinas hidroeléctricas: Una revisión del estado del arte.

Otorga a la presente propuesta tecnológica, las siguientes calificaciones:

| | |
|-----------------------|-----------|
| Propuesta Tecnológica | [72.00] |
| Defensa oral | [18.67] |
| Total | [90.67] |

Emite el siguiente veredicto: Aprobado.

Fecha: 10 de Diciembre de 2018.

Para constancia de lo actuado firman:

| | Nombres y Apellidos | Firma |
|------------|--|--|
| Presidente | Ing. Edwain Jesús Carrasquero Rodríguez PhD. |  |
| Secretario | Ing. Luis Ángel Bucheli Carpio MACI |  |
| Integrante | Ing. Byron Ramiro Romero Romero MACI |  |

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de investigación de manera muy grata a mis padres Egda Moran y Eduardo Quiñonez que siempre me han apoyado en las maneras posibles.

Así mismo a mi esposa Marjorie Mora quien está a mi lado de manera incondicional e hijos que de muchas maneras han sido mi empuje en esta etapa.

A mis hermanas Andrea y Ginger Quiñonez que de muchas maneras han sido mi empuje para culminar con mi carrera, a mi familia en general y amigos.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a DIOS por darme la vida y protegerme y darme fuerzas para superar obstáculos y dificultades a lo largo de toda mi vida.

A la Universidad Estatal de Milagro, a mis docentes por haberme transmitido sus conocimientos para desarrollarme en el campo profesional.

Finalmente agradezco al ingeniero Edwain Carrasquero Rodríguez quien me guió con sus conocimientos en el campo logrando terminando con éxito mi trabajo de titulación.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|-----|
| DERECHOS DE AUTOR..... | ii |
| APROBACIÓN DEL TUTOR DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA..... | i |
| APROBACIÓN DEL TRIBUNAL CALIFICADOR..... | i |
| DEDICATORIA | i |
| AGRADECIMIENTO | iii |
| ÍNDICE GENERAL | iv |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | i |
| ÍNDICE DE TABLAS | i |
| RESUMEN..... | 1 |
| ABSTRACT | 1 |
| CAPÍTULO 1 | 1 |
| 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 1 |
| 1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA..... | 2 |
| 1.3 DELIMITACION DEL PROBLEMA | 2 |
| 1.4 OBJETIVOS DE INVESTIGACION..... | 2 |
| 1.4.1 OBJETIVOS GENERALES | 2 |
| 1.4.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS | 3 |
| 1.5 JUSTIFICACION DE LA INVESTIGACION | 3 |
| CAPÍTULO 2 | 4 |
| 2.1 FUNDAMENTOS TEÓRICOS | 4 |
| 2.2 ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DE UNA TURBINA | 4 |
| 2.3 TIPOS DE TURBINAS POR SU GRADO DE REACCION | 5 |
| 2.4. TURBINA PELTON..... | 5 |
| 2.5 CONSTITUCIÓN DE TURBINA PELTON | 7 |
| 2.6 TURBINA FRANCIS..... | 7 |
| 2.7 TURBINAS KAPLAN | 9 |
| 2.8 DESGASTES USUALES EN TURBINAS..... | 9 |
| 2.9 FUNDAMENTOS DE EROSIÓN POR CAVITACIÓN | 11 |
| 2.9.1 CAVITACIÓN..... | 11 |

| | |
|---|----|
| 2.10 FUNDAMENTOS DE ACEROS INOXIDABLES | 15 |
| 2.10.1 CLASIFICACION DE LOS ACEROS INOXIDABLES | 15 |
| 2.10.2 ACEROS AUSTENÍTICO | 16 |
| 2.10.3 ACEROS DUPLEX | 18 |
| CAPÍTULO 3 | 20 |
| ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN | 20 |
| 3.1 SOLDADURA GMAW | 20 |
| 3.1.1 FUNDAMENTOS DEL PROCESO | 20 |
| 3.1.2 TIPOS DE TRANSFERENCIA DE METAL EN GMAW | 21 |
| 3.1.3 CONSUMIBLES | 22 |
| 3.1.4 VENTAJAS Y DESVENTAJAS | 23 |
| 3.2 MODIFICACIÓN SUPERFICIAL “SURFACING” | 23 |
| 3.2.1 TIPOS DE SURFACING | 24 |
| 3.2.2 ELECCIÓN DEL PROCESO | 25 |
| 3.2.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL SURFACING | 25 |
| 3.3 METALIZACIÓN | 26 |
| 3.3.2 VENTAJAS Y DESVENTAJAS | 28 |
| 3.4.1 MATRIZ DE DECISIÓN | 29 |
| DESARROLLO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA | 30 |
| 4.1 PROPOSITO | 30 |
| 4.2 OBJETIVO | 30 |
| 4.2.1 OBJETIVO GENERAL | 30 |
| 4.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 30 |
| 4.3 JUSTIFICACIÓN | 30 |
| 4.4 MANUAL DE PROCESO PARA METALIZACIÓN, ENFOCADO EN LA RECUPERACIÓN DE TURBINAS. | 33 |
| 4.5 ASPECTOS BASICOS DEL REVESTIMIENTO TERMICO | 35 |
| 4.6 CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DE LOS DISTINTOS PROCESOS DE METALIZACIÓN | 37 |
| 4.7 ENAYOS NO DESTRUCTIVOS | 37 |
| 4.8 RIESGOS Y PRECAUCIONES EN EL PROCESO DE TERMOROCIADO | 38 |
| 4.9 SELECCIÓN DEL EQUIPO DE TRABAJO PARA PROCESO DE METALIZACIÓN | 40 |
| 4.10 SEÑALIZACIÓN DE ÁREAS DE TRABAJO | 40 |

| | |
|--|----|
| ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA | 41 |
| 5.1 COSTOS DEL PROCESO DE METALIZACION | 41 |
| 5.2 COSTOS DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS | 42 |
| CONCLUSIONES | 43 |
| RECOMENDACIONES | 44 |
| BIBLIOGRAFÍA | 45 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| ILUSTRACIÓN 1 TURBINA PELTON RECUPERADO DE: (WKV INC, 2015) | 5 |
| ILUSTRACIÓN 2 ILUSTRACIÓN DE TURBINA PELTON CON EJE HORIZONTAL Y DOS CHORROS. RECUPERADO DE: (TRIPOD, 2017)..... | 6 |
| ILUSTRACIÓN 3 TURBINA PELTON DE EJE VERTICAL. RECUPERADA DE: (TRIPOD, 2017)RESISTENCIA AL DESGASTE POR..... | 7 |
| ILUSTRACIÓN 4 CONSTITUCIÓN DE UNA TURBINA PELTON. INFORMACIÓN RECUPERADA DE: (UCA, 2016) | 7 |
| ILUSTRACIÓN 5 ESPIRAL DE ENTRADA DE UNA TURBINA FRANCIS, PRESA GRAND COULEE. RECUPERADA DE: (UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA, 2015)GRA..... | 8 |
| ILUSTRACIÓN 6 RODETE DAÑADO POR CAVITACIÓN. RECUPERADO EN: (TORRES, 2016) | 12 |
| ILUSTRACIÓN 7 POSIBLES FORMAS DE COLAPSO DE LAS BURBUJAS. RECUPERADO DE: (TORRES, 2016)..... | 13 |
| ILUSTRACIÓN 8 REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DEL FENÓMENO DE NUCLEACIÓN, COLAPSO DE BURBUJAS Y LA EMISIÓN DE ONDAS DE CHOQUE. RECUPERADO DE: (LLOPIS MORALES, 2016)..... | 13 |
| ILUSTRACIÓN 9 DAÑOS POR CAVITACIÓN EN ÁLABES DE TURBINAS FRANCIS. RECUPERADO DE: (TORRES, 2016) | 14 |
| ILUSTRACIÓN 10 ESQUEMA DE LA CLASIFICACIÓN DE LOS ACEROS INOXIDABLES. ELABORACIÓN PROPIA, 2018..... | 15 |
| ILUSTRACIÓN 11 FUNDAMENTOS DEL PROCESO DE SOLDADURA GMAW. ELABORACIÓN PROPIA, 2018 | 20 |
| ILUSTRACIÓN 12 EQUIPO DE SOLDADURA POR ARCO DE METAL Y GAS (GMAW). RECUPERADO DE: (HERNÁNDEZ CANO, 2013)..... | 21 |
| ILUSTRACIÓN 13 EQUIPO PARA PROCESO DE SOLDADURA GMAW. RECUPERADO DE:..... | 22 |
| ILUSTRACIÓN 14 PROYECCIÓN DE TIPO DE SURFACING. RECUPERADO DE: (NEARYOU, 2014) | 24 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| TABLA 1 DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DE UNA TURBINA, BASADA EN INFORMACIÓN RECUPERADA DE: (SPTC, 2015) | 5 |
| TABLA 2 TURBINAS SEGÚN SU GRADO DE REACCIÓN. INFORMACIÓN RECUPERADA DE: (SPTC, 2015) | 5 |
| TABLA 9 TURBINA KAPLAN. RECUPERADO DE: (WKV INC, 2015) | 9 |
| TABLA 10 FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL DESGATE DE TURBINAS. INFORMACIÓN RECUPERADA DE: (SÖDERBERG, 2014) | 10 |
| TABLA 11 FASES DEL PROCESO DE CAVITACIÓN, INFORMACIÓN RECUPERADA DE: (TORRES, 2016)..... | 12 |
| TABLA 12 FACTORES DE RIESGO EN MÁQUINAS HIDRÁULICAS. INFORMACIÓN RECUPERADA DE: (TORRES, 2016)..... | 14 |
| TABLA 15 CARACTERÍSTICAS DE LOS ACEROS INOXIDABLES AUSENTICOS. ELABORACIÓN PROPIA, 2018..... | 16 |
| TABLA 16 PROCESOS PREVENTIVOS DE CORROSIÓN EN ACEROS AUSTÉNICOS | 17 |
| TABLA 17 CARACTERÍSTICAS DE LOS ACEROS DÚPLEX. ELABORACIÓN PERSONAL, 2018..... | 18 |
| TABLA 18 COMPARACIÓN DE LOS TIPOS DE ACEROS | 19 |
| TABLA 19 DESCRIPCIÓN DE LOS TIPOS DE TRANSFERENCIA DE METAL EN SOLDADURA GMAW | 21 |
| TABLA 20 VENTAJAS Y LIMITACIONES DE LA SOLDADURA GMAW. ELABORACIÓN PERSONAL, 2018. | 23 |
| TABLA 21 DIFERENTES TIPOS DE SOLDADURA CON PROCESO SURFACING. . | 25 |
| TABLA 22 PROCESO DE SURFACING, VENTAJAS Y DESVENTAJAS. ELABORACIÓN PROPIA, 2018 | 25 |
| TABLA 23 ESQUEMA DE METALIZACIÓN. RECUPERADO DE: | 26 |
| TABLA 24 GRUPOS REFERIDOS A LOS PROCESOS DE METALIZACIÓN, POR SU FUENTE DE CALOR. ELABORACIÓN PROPIA, 2018..... | 26 |
| TABLA 25 PROCESOS DE METALIZACIÓN EN CALIENTE. ELABORACIÓN PROPIA, 2018. | 27 |
| TABLA 26 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL PROCESO DE METALIZACIÓN. ELABORACIÓN PROPIA, 2018..... | 28 |
| TABLA 27 CRITERIOS DE ELECCIÓN PARA LAS ALTERNATIVAS. ELABORACIÓN PERSONAL, 2018. | 28 |

| | |
|--|----|
| TABLA 28 MATRIZ DE SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA. ELABORACIÓN PROPIA, 2018. | 29 |
| TABLA 29 TURBINAS FRANCIS Y PELTON A CARGO DE CELEC E.P | 31 |
| TABLA 30 TURBINAS FRANCIS Y PELTON A CARGO DE CELEC E.P | 31 |
| TABLA 31 PROCESO DE METALIZACIÓN. ELABORACIÓN PROPIA, 2018..... | 33 |
| TABLA 32 ETAPAS DE LA METALIZACIÓN. ELABORACIÓN PROPIA, 2018. | 34 |
| TABLA 33 PROCESO DE METALIZACIÓN ÓPTIMA. ELABORACIÓN PROPIA, 2018..... | 34 |
| TABLA 34 TEMPERATURA DE FUENTES DE CALOR PARA LOS DIFERENTES. ELABORACIÓN PROPIA, 2018..... | 35 |
| TABLA 35 ASPECTOS FÍSICOS DEL REVESTIMIENTO TERMINO. ELABORACIÓN PROPIA, 2018..... | 35 |
| TABLA 36 CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DE LOS DISTINTOS PROCESOS DE METALIZACIÓN. ELABORACIÓN PROPIA, 2018. | 37 |
| TABLA 37 ENSAYOS DESTRUCTIVOS. ELABORACIÓN PROPIA, 2018. | 37 |
| TABLA 38 RIESGOS EN EL PROCESO DE METALIZACIÓN. ELABORACIÓN PROPIA, 2018..... | 38 |
| TABLA 39 PRECAUCIONES EN EL PROCESO DE METALIZACIÓN. ELABORACIÓN PROPIA, 2018..... | 39 |
| TABLA 40 PRECAUCIONES EN EL PROCESO DE METALIZACIÓN. ELABORACIÓN PROPIA, 2018..... | 39 |
| TABLA 41 SELECCIÓN DEL EPP..... | 40 |
| TABLA 42 SEÑALIZACIÓN DE ÁREAS DE TRABAJO..... | 40 |

ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS EMPLEADAS PARA LA RECUPERACIÓN DE COMPONENTES DE TURBINAS HIDROELÉCTRICAS: UNA REVISIÓN DEL ESTADO DEL ARTE.

RESUMEN

Según Santos Corral (2013), la ciencia y la tecnología están íntimamente correlacionadas; y, además, afirma que: "El futuro no se puede predecir, pero sí diseñar", y es exactamente este tipo de afirmaciones que llevan a la ingeniería a estar en constante transformación; por lo que, la selección de alternativas tecnológicas es una fuente de nuevas opciones que transforman la ciencia, tecnología, y la vida humana.

Un país se mueve con energía eléctrica, este recurso, es vital como sector estratégico de la economía del Ecuador. Sin embargo, este recurso preciado, enfrenta diversas dificultades para su desarrollo; como la poca diversificación para procesos de recuperación de turbinas que todavía poseen vida útil, en este trabajo investigativo, se expone una propuesta tecnológica que se enfoca en un plan innovador de ingeniería de recuperación, para maquinas hidráulicas, turbinas.

El primer capítulo se enfoca en establecer los objetivos que se perseguirán durante el trabajo investigativo, delimitando de manera espacial, el alcance de este, mientras que en el capítulo dos, establece el marco teórico fundamental que existe en el contexto del mecanismo de la investigación. El capítulo tres expone las alternativas tecnológicas aplicables al problema expuesto y se procede a elegir la opción más viable, seguidamente en el capítulo cuatro se sigue el proceso de investigación de procesos para poder aplicarse mediante un manual de procedimientos; que finalmente en el capítulo cinco se justificara con su valor aproximado de aplicación.

PALABRAS CLAVE: metalización, innovación, recuperación, turbinas

TECHNOLOGICAL ALTERNATIVES USED FOR THE RECOVERY OF COMPONENTS OF HYDROELECTRIC TURBINES: A REVISION OF THE STATE OF ART.

ABSTRACT

According to Santos Corral (2013), science and technology are closely correlated; and, in addition, it affirms that: "The future can not be predicted, but it can be designed", and it is exactly this type of affirmations that lead engineering to be in constant transformation, for which, the selection of technological alternatives is a source of new options that transform science, technology, and human life.

A country moves with electric power, this resource is vital as a strategic sector of the economy of Ecuador. However, this precious resource faces several difficulties for its development; as the little diversification for processes of recovery of turbines that still have useful life, in this investigative work, a technological proposal is exposed that focuses on an innovative plan of engineering of recovery, for hydraulic machines, turbines.

The first chapter focuses on establishing the objectives that will be pursued during the research work, delimiting spatially, the scope of this, while in chapter two, establishes the fundamental theoretical framework that exists in the context of the research mechanism. Chapter three exposes the technological alternatives applicable to the exposed problem and proceeds to choose the most viable option, then in chapter four the process of process investigation is followed to be able to be applied through a procedure manual; that finally in chapter five will be justified with its approximate value of application.

KEY WORDS: metallization, innovation, recovery, turbines

CAPÍTULO 1

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La Revolución Industrial fue el mayor proceso de transformación económica, social y tecnológica de la historia humana, desde el Neolítico, inició en la segunda mitad del siglo XVIII, y su importancia recae en el impacto mundial que se dio con la transición de la economía rural, basada en el comercio y la agricultura, a una economía de carácter urbano, industrial y mecánico.

Como consecuencia del proceso de globalización, que trajo consigo la revolución industrial, las capacidades de innovación de la ingeniería y la generación de nuevos productos y procesos, los cambios organizacionales y las estrategias de mercado, se han convertido en una ventaja competitiva clave para su mantenimiento y crecimiento.

Bajo este planteamiento, podemos abordar la importancia de las turbinas, en el desarrollo de la tecnología, ya que estas se han utilizado durante siglos para convertir la energía mecánica libre, disponibles en ríos y el viento, en trabajo mecánico útil, por lo general mediante un eje rotatorio.

En Ecuador el uso de turbinas revolucionó el sector estratégico enfocado en la energía, permitiendo que el país redujera a niveles exponenciales los cortes de energía, que usualmente se daban continuamente durante los años. Sin embargo, con el pasar del tiempo estas turbinas debían someterse a procesos de mantenimiento o reemplazo; medidas que, debido a ciertos procesos arancelarios, son muy costosos y casi inviables.

Es aquí, donde la Ingeniería de Recuperación, entra en contexto, esta se define como: “La ingeniería de recuperación es el uso de la ciencia y los principios de la ingeniería para desarrollar soluciones que permitan la reutilización de dispositivos tecnológicos y sus piezas” (CELEC, 2016)

Existen diversos procesos que se aplican en la ingeniería de recuperación, pero es necesario aplicar estos procesos a los tipos de turbinas que se trabajan en Ecuador, estas son Francis, Kaplan, y Pelton. Es por ello, que existe la necesidad de investigar y plantear, el mejor método de recuperación que se pueda aplicar nacionalmente.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Desde el año 2007, con el inicio de un nuevo gobierno centralizado, nacionalmente se aplicaron nuevas políticas arancelarias, algunas beneficiaron la importación, pero otras afectaron la exportación. Con el ánimo de fomentar el uso de productos ecuatorianos, estos aranceles aumentaron y de este modo, se dificultó la exportación, en todo ámbito.

Sin una proyección a largo plazo, se afectó la exportación de piezas de ingeniería, necesarias para la proyección de los nuevos sectores estratégicos. Según el CELEC el cambio de la matriz energética abarca proyectos hasta el año 2021, estos permitirían al país la previsión de energía en un 93,55% con el uso de las nuevas centrales de generación hidroeléctrica (CELEC, 2016); desafortunadamente, a día de hoy, existe una dependencia de entes internacionales, para la provisión de piezas y repuestos de turbinas hidráulicas, lo que aumenta el costo de repuestos y servicios.

En el mercado nacional, se ha conservado tecnología que, comparada internacionalmente, esta desactualizada y obsoleta, dejando nuestro avance científico y tecnológico, muy precario; es este el principal motivo para indagar en las propuestas tecnológicas que se puedan desarrollar, con este proyecto se pretende encontrar una fuente de recuperación de componentes de turbinas hidroeléctricas, mediante la selección de métodos eficaces y eficientes.

1.3 DELIMITACION DEL PROBLEMA

País: Ecuador.

Provincia: Santo Domingo.

Distrito: Zonal 4

Línea de investigación: Producción y materiales industriales.

Área de investigación: Optimización de procesos productivos y logísticos.

1.4 OBJETIVOS DE INVESTIGACION

1.4.1 OBJETIVOS GENERALES

Elegir la alternativa tecnológica más conveniente, para el proceso de recuperación de componentes de turbinas hidroeléctricas usadas en Ecuador.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

1. Examinar la bibliografía existente, sobre ensayos y pruebas realizados para la verificación de daños en los componentes de las turbinas hidroeléctricas.
2. Examinar la bibliografía existente sobre las diferentes alternativas tecnológicas empleadas actualmente para la recuperación de equipos hidroeléctricos que han sufrido daño por desgaste y/o cavitación de sus componentes.
3. Determinar los estudios técnicos económicos factibles en el proceso de recuperación de componentes de turbinas hidroeléctricas.

1.5 JUSTIFICACION DE LA INVESTIGACION

El sector estratégico energético del país, tiene planes hasta 2021, es decir, que existe un objetivo a largo plazo, por ende, es necesario establecer una estrategia que mantenga este proyecto viable. Por ello es necesario encontrar una alternativa tecnológica que se ajuste a las necesidades que tiene el mercado nacional; se necesita innovar y aprovechar la información existente para poder entender los procesos que se alienen a las necesidades que se encuentren durante el proceso.

CAPÍTULO 2

2.1 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Turbina, es un motor rotativo que convierte en energía mecánica, la energía de una corriente de agua; el elemento básico de la turbina es la rueda o rotor, que cuenta con palas, hélices, cuchillas o cubos colocados alrededor de su circunferencia, de tal forma que el fluido en movimiento produce una fuerza tangencial que impulsa la rueda y la hace girar; esta energía mecánica se transfiere a través de un eje para proporcionar el movimiento de una máquina, un compresor, un generador eléctrico o una hélice (CALAMEO, 2016).

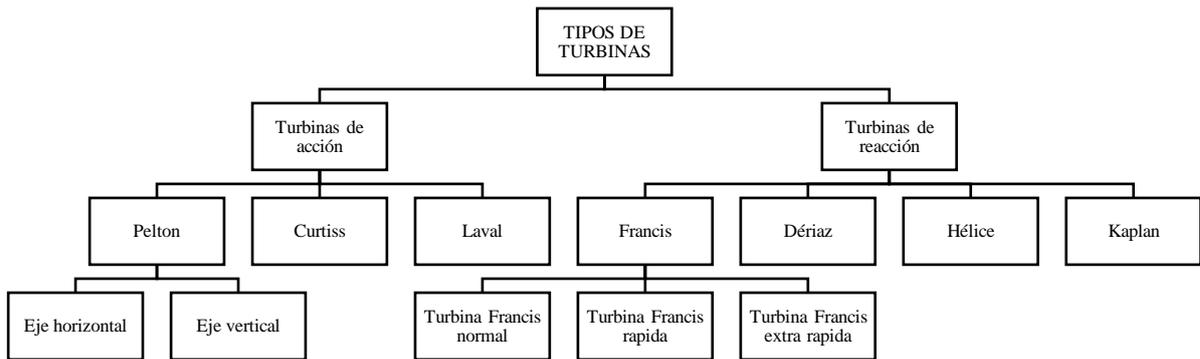
2.2 ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DE UNA TURBINA

| ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DE UNA TURBINA | |
|--|--|
| ELEMENTO | DESCRIPCION |
| Carcasa | Este elemento se encarga de cubrir y soportar a las partes de la turbina, tiene forma espiral. |
| Canal de llegada o tubería forzada | Lamina libre o flujo a presión. |
| Caja espiral | Transforma presión en velocidad. |
| Distribuidor | Acercar el flujo de agua al transformar total o parcialmente la energía potencial del agua en energía cinética. Dirigir el agua hacia el rodete, siguiendo una dirección adecuada. Actuar como un órgano regulador de caudal. |
| Rodete | La transformación de la energía hidráulica del salto en energía mecánica se produce en el rodete, mediante la aceleración y desviación, o por la simple desviación del flujo de agua a su paso por los álabes. |
| Tubo de aspiración | Recupera la altura entre la salida del rodete y el nivel del canal del desagüe. Recupera una parte de la energía cinética correspondiente a la velocidad residual del agua en la salida del rodete, a partir de un diseño del tipo difusor. |

Tabla 1 Descripción de los elementos constitutivos de una turbina, basada en información recuperada de: (SPTC, 2015)

2.3 TIPOS DE TURBINAS POR SU GRADO DE REACCION

Tabla 2 Turbinas según su grado de reacción. Información recuperada de: (SPTC, 2015)



Tipos de turbinas que existen en el Ecuador:

- *Pelton
- *Francis
- *Kaplan

2.4. TURBINA PELTON

Lester Allen Pelton, en 1880, patenta la turbina Pelton, bautizada así por su creador, haciendo hincapié en su apellido. Pelton buscaba oro en California, en su cruzada se inspiró, y concibió la idea de una rueda con cucharas periféricas que ayudarían aprovechar la energía cinética del agua, que pasaría a través de un tubería y actuaría sobre la rueda.

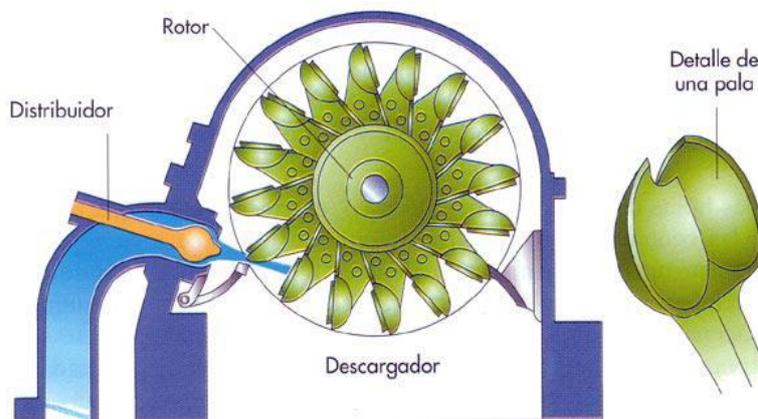


Ilustración 1 Turbina Pelton Recuperado de: (WKV Inc, 2015)

De tal manera que el chorro proveniente de la tubería golpea el centro de cada pala o cuchara con el fin de aprovechar al máximo el empuje del agua; estas se denominan alabes, tienen forma de doble cuchara, con una arista diametral en la que golpea el agua, esto produce una desviación axial, que apoya un equilibrio dinámico. El alabe, posee dimensiones proporcionales a los diámetros del chorro de agua, que impacta en él, a su vez, esta conjunción del diámetro de chorro y el alabe, aumenta la velocidad específica (TRIPOD, 2017).

DISPOSICIÓN HORIZONTAL

Las características de las turbinas Pelton, con disposición de eje horizontal, son, la disponibilidad que poseen para la instalación de uno o dos chorros como máximo, debido a una posible complicación en la instalación y su consecuente mantenimiento en los inyectores. Sin embargo, en esta posición, la inspección de la rueda en general es más sencilla, por lo que las reparaciones o desgastes se pueden solucionar sin necesidad de desmontar la turbina (CALAMEO, 2016).

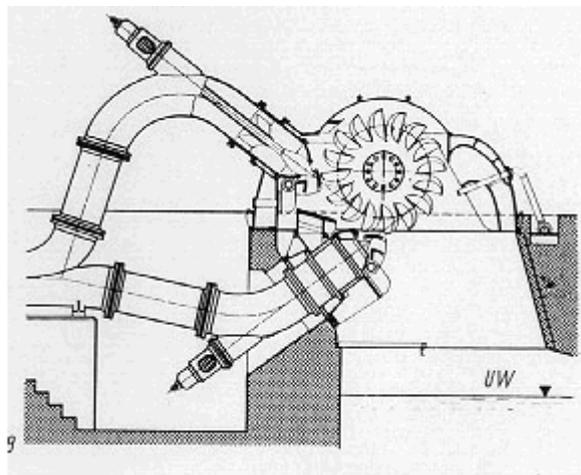


Ilustración 2 Ilustración de turbina Pelton con eje horizontal y dos chorros. Recuperado de: (TRIPOD, 2017)

DISPOSICIÓN VERTICAL

En este tipo de turbinas Pelton, el número de chorros por rueda, se reduce, usualmente a uno o dos, debido a su complejo estado de instalación en un plano vertical, para las tuberías de alimentación y las agujas de inyección. Este sistema de montaje puede aplicarse en

aquellos casos donde se poseen aguas sucias que producen deterioros o notable acción abrasiva; generalmente su mantenimiento es más costoso (Zuluaga Salazar, 2015).

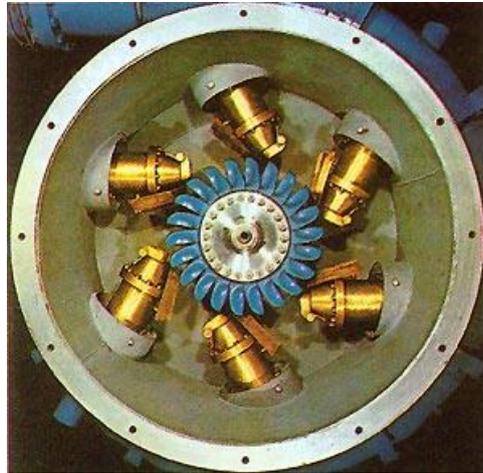


Ilustración 3 Turbina Pelton de eje vertical. Recuperada de: (TRIPOD, 2017)resistencia al desgaste por

2.5 CONSTITUCIÓN DE TURBINA PELTON

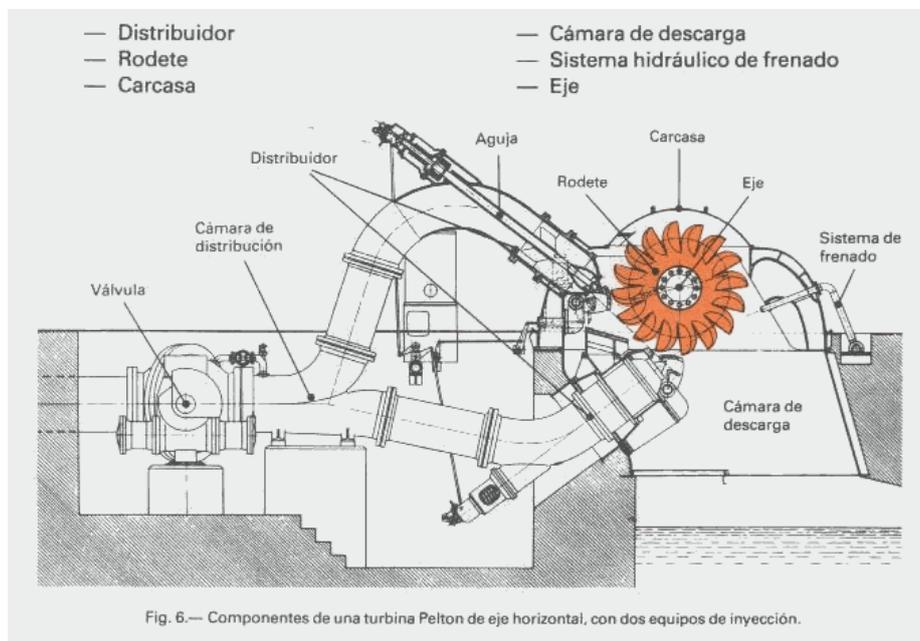


Ilustración 4 Constitución de una turbina Pelton. Información recuperada de: (UCA, 2016)

2.6 TURBINA FRANCIS

James B. Francis, diseño y patentó la turbina Francis en 1848. Este invento es una turbomáquina a reacción de flujo mixto, su diseño se encuentra enfocado para una amplia

escala de saltos y caudales, que sean capaces de operar en desniveles que pueden ir desde los dos metros hasta cientos de metros. Estas turbinas presentan un diseño hidrodinámico que provoca un alto índice de rendimiento, debido a las bajas pérdidas hidráulicas (Yepes Piqueras, 2013).

No es recomendable su instalación con alturas de agua mayores de 800 m ni cuando existen grandes variaciones de caudal. Asimismo, es muy importante controlar la cavitación

La eficiencia y versatilidad de la turbomáquina Francis la ha convertido en la más famosa y usada a nivel mundial, uno de los principales puntos a favor de este tipo de turbina es su capacidad para generar grandes cantidades de energía en centrales hidroeléctricas (Universidad politecnica de Valencia, 2015).

Estas turbinas suelen ser muy costosas de diseñar e instalar, sin embargo, representan una inversión a largo plazo, ya que estas turbinas pueden trabajar durante décadas sin necesitar un reemplazo, tan solo mantenimiento, el tipo de mantenimiento que necesitan las turbinas Francis, no es costoso, ni rutinario (Yepes Piqueras, 2013).

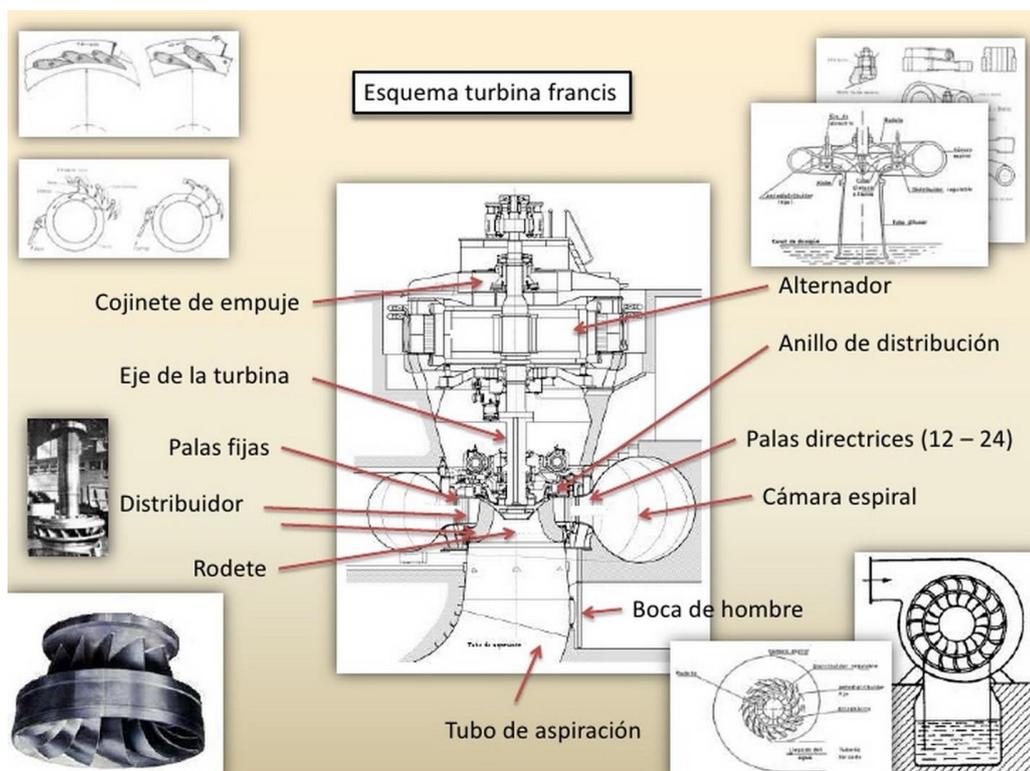
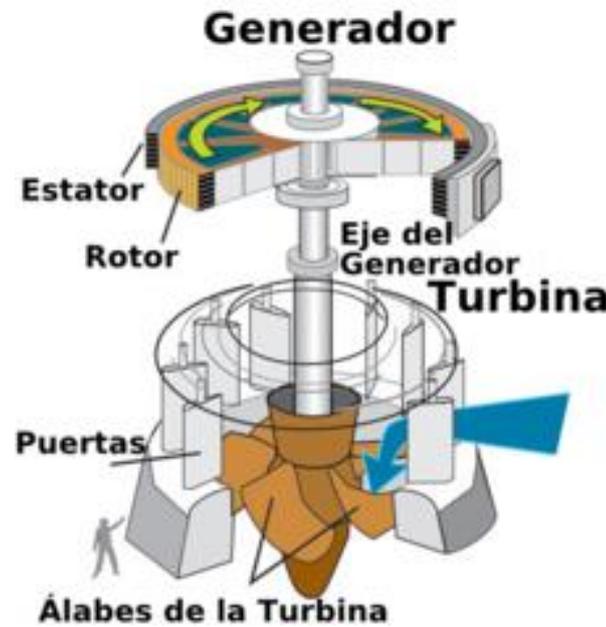


Ilustración 5 Espiral de entrada de una turbina Francis, Presa Grand Coulee. Recuperada de: (Universidad politecnica de Valencia, 2015)gra

2.7 TURBINAS KAPLAN

La turbina Kaplan es diseñada por el ingeniero austriaco Victor Kaplan en el año 1912, es una turbina de reacción, posee un eje vertical que suele utilizarse en caídas medias y bajas. Se emplean en saltos de pequeña altura, pero mucho caudal (aproximadamente de 15 m³/s en adelante). Las amplias palas o álabes de la turbina son impulsadas por agua a alta presión liberada por una compuerta.

Este tipo de turbinas son muy eficientes en cuanto a la reacción del flujo axial del agua, funcionan con un rodete que, asimila la función de la hélice de un barco. Las turbinas Kaplan, son similares a las Turbinas Francis, estas se diferencian tan solo por el tipo de rodete que utilizan y su volumen en general.

| ELEMENTOS CONSTITUYENTES DE UNA TURBINA KAPLAN | |
|--|--|
| Elemento |  <p>Tabla 3 Turbina Kaplan. Recuperado de: (WKV Inc, 2015)</p> |
| Cámara espiral | |
| Predistribuidor | |
| Distribuidor | |
| Rodete | |
| Tubo de aspiración | |

2.8 DESGASTES USUALES EN TURBINAS

Las turbomáquinas son enormes dispositivos mecánicos que se encargan de la generación de energía. El diseño y la instalación de estos, suele ser dificultoso, sin embargo, llegan a

operar sin problemas durante mucho tiempo, antes de presentar alguna falla. La operación de estos equipos debe mantenerse bajo un riguroso proceso de vigilancia continua, ya que, es necesario mantener los índices de fallas potenciales o incipientes que permitan programar su mantenimiento; esto con el fin de enfocarse en el aumento de su vida útil y confiabilidad.

Sin embargo, los procesos no solo se enfocan en la prevención de daños catastróficos, sino en el mantenimiento y la eficacia y rapidez, con la que se manejen estos eventos, puesto que, las turbomáquinas generan energía, y estas, deben ser reanudadas casi inmediatamente, para mantener el equilibrio de esta en el sector que provea.

Algunos estudios realizados en Estados Unidos indican que las estadísticas referentes al costo del mantenimiento de las turbinas, representa entre un 15 a 40% de los costos totales de la producción de las centrales de generación eléctrica. Otras estadísticas establecen que entre un 10% a 300% del total del tiempo perdido en las centrales de generación eléctrica, se deben a fallas en los equipos rotatorios.

Estas son las principales razones, por las cuales, es de vital importancia, conocer cuáles son los factores que intervienen en el deterioro que pueda sufrir la pieza de una turbina, de esta manera, podemos tomar medidas preventivas, que detengan estos procesos, y así evitar pérdidas innecesarias de tiempo para procesos de mantenimientos no programados, que reduzcan la eficiencia y la disponibilidad de energía provista por las centrales; y en el peor de los casos, accidentes catastróficos.

Existen diversos factores que pueden provocar desgastes en piezas de turbinas, principalmente, intervienen estos:

Tabla 4 Factores que intervienen en el desgaste de turbinas. Información recuperada de: (Söderberg, 2014)

| FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL DESGASTE DE PIEZAS DE TURBINAS. | |
|---|---|
| CONTENIDO Y DEL TIPO DE SÓLIDOS ABRASIVOS. | Relacionados con el tipo de agua con la que trabajan. |
| CAVITACIÓN | Generalmente establecida por los bajos índices de la presión del agua sobre las |

| | |
|---|---|
| | piezas, y la velocidad que pueda alcanzar valores máximos o presiones mínimas. |
| MATERIAL DE FABRICACIÓN DE LAS PIEZAS. | La materia necesariamente deberá poseer las características antidesgaste, adecuadas para las condiciones del trabajo. |
| DISEÑO ÓPTIMO DE LAS OBRAS. | Influyen directamente la selección de los equipos y sus materiales. |
| MANTENIMIENTO DE LOS SISTEMAS. | El mantenimiento debe enfocarse específicamente en dos factores: lubricación y enfriamiento. |

2.9 FUNDAMENTOS DE EROSIÓN POR CAVITACIÓN

La cavitación es un fenómeno de mucha importancia en la mecánica de fluidos, y de manera particular, en la influencia del funcionamiento de cualquier maquina hidráulica. Bajo determinadas condiciones, este fenómeno puede reducir la potencia suministrada y el rendimiento de las turbinas, además, estas también pueden producir vibraciones, ruido y la erosión de los materiales más cercanos.

La formación de cavitación se da en función de varios factores, interviene tanto el tipo de máquina y su diseño, su velocidad específica, entre otras variantes. Es de suma importancia evaluar estos detalles, con datos previamente establecido, suele ser positivo trabajar comparativamente en unidades con geometría similar, tanto como en unidades que posean diferentes velocidades. La evaluación debe ser auxiliada con estudios utilizando modelización y simulación para determinar el posible lugar de aparición de la cavitación (Torres, 2016).

2.9.1 CAVITACIÓN

La Cavitación es el proceso de nucleación repetida, crecimiento y colapso violento de burbujas de vapor en un líquido. Sucede cuando un líquido, se expone a tensiones de esfuerzo altas, este esfuerzo forma burbujas de vapor en vacío, o burbujas, dentro del líquido. Si un líquido que contiene burbujas es sometido a esfuerzos de compresión, aumentando la presión del fluido, estas burbujas tienden al colapso, generando los efectos de erosión sobre la superficie del sólido donde ocurre la explosión de las burbujas (Figueroa , 2016).



Ilustración 6 Rodete dañado por cavitación. Recuperado en: (Torres, 2016)

2.9.1.1 FASES DEL FENÓMENO DE LA CAVITACIÓN

Tabla 5 Fases del proceso de cavitación, Información recuperada de: (Torres, 2016)

| FASES DEL PROCESO DE CAVITACIÓN | |
|--|---|
| PRIMERA FASE | Aparición y crecimiento de cavidades llenas de vapor en el interior del líquido que son arrastradas por la corriente, pudiendo aparecer junto al contorno del sólido en contacto con el líquido. |
| | La velocidad de crecimiento será función de varios parámetros: el radio inicial de la cavidad, la presión exterior. |
| SEGUNDA FASE | La presión exterior a la cavidad es superior a la presión de vapor, y las burbujas colapsan violentamente, condensándose casi instantáneamente y pudiendo martillar la pared sólida con elevada amplitud que puede alcanzar valores instantáneos de 500 atm. (presión) y temperaturas de 800° C debido a las ondas de choque. |
| | El colapso propiamente dicho es muy rápido: del orden de nanosegundos. La intensidad de la implosión de la burbuja es función del tamaño de la misma y del gradiente local de presión. |
| | Si el proceso de colapso ocurre cerca de la superficie se generan vibraciones de alta frecuencia, ya que el tiempo de colapso es muy rápido y el proceso de generación de cavidades también es muy elevado. |

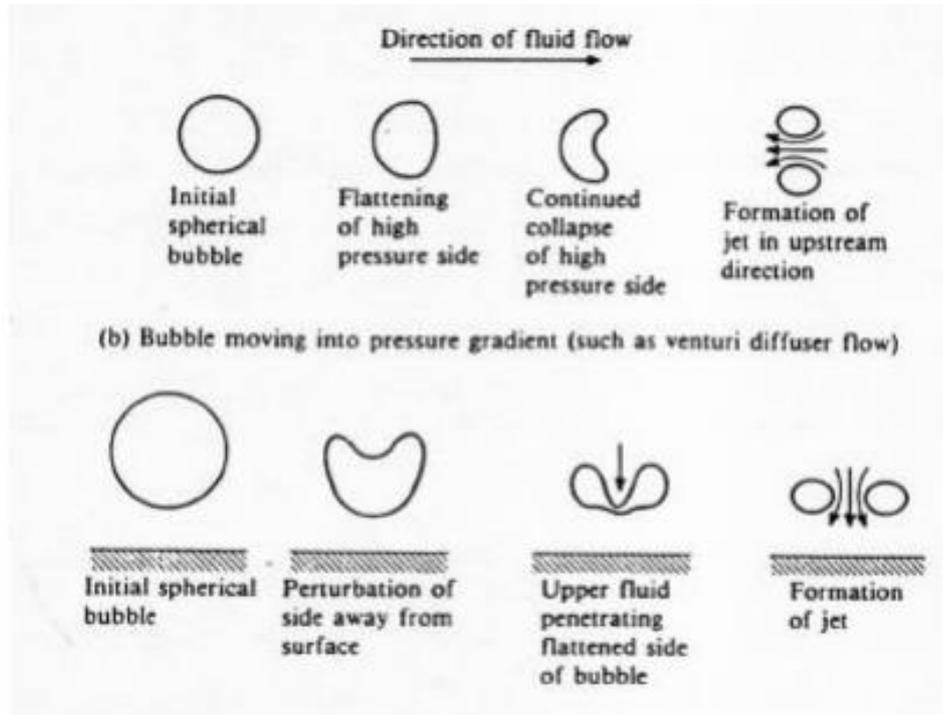


Ilustración 7 Posibles formas de colapso de las burbujas. Recuperado de: (Torres, 2016)

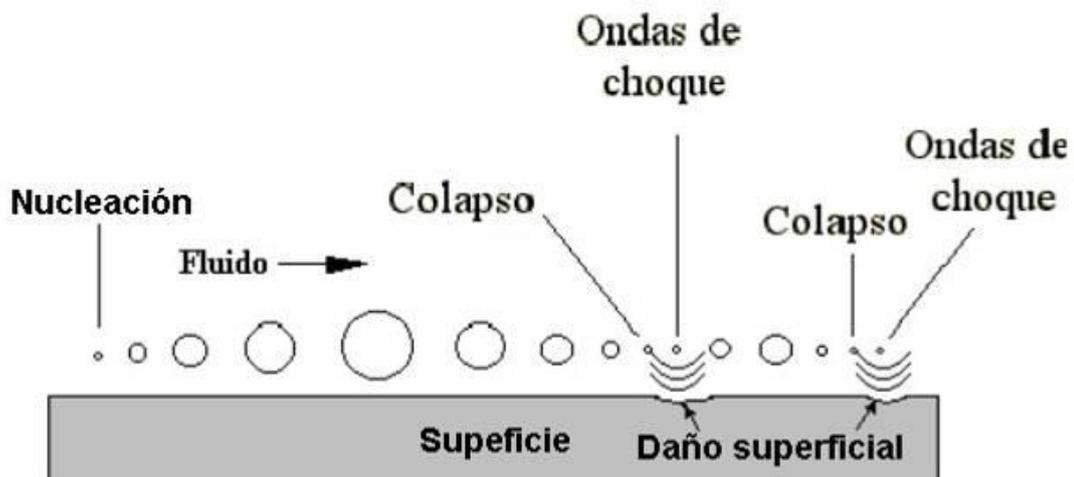


Ilustración 8 Representación esquemática del fenómeno de nucleación, colapso de burbujas y la emisión de ondas de choque. Recuperado de: (Llopis Morales, 2016)

2.9.1.2 DAÑOS EN MÁQUINAS HIDRÁULICAS

Las siguientes, son las consecuencias negativas más dañinas en una maquina hidráulica, que convierten en un factor de alto riesgo la presencia de cavitación.

Tabla 6 Factores de riesgo en máquinas hidráulicas. Información recuperada de: (Torres, 2016)

| CONSECUENCIAS EN MAQUINAS HIDRAULICAS | |
|--|---|
| CAUSA | EFECTO |
| La formación de inestabilidades de carga parcial | Como consecuencia del trabajo, con caudales inferiores al de diseño. |
| La formación de antorchas por sobrecarga | Caudales de funcionamiento superiores al de diseño. |
| Aparición de ruido y vibraciones. | Disminución de prestaciones de la máquina hidráulica, reduciendo la fiabilidad de nuestras instalaciones. |
| Desarrollo de procesos erosivos | Incremento en los gastos de mantenimiento. |



Ilustración 9 Daños por cavitación en álabes de turbinas Francis. Recuperado de: (Torres, 2016)

2.9.1.3 DISMINUCIÓN O ELIMINACIÓN DE LOS PROBLEMAS OCASIONADOS POR LA CAVITACIÓN

Los procesos preventivos, que ayudan a disminuir los problemas de cavitación, se relacionan con las características del material, estas características oscilan entre la dureza y la ductilidad

del material. Con estos factores actuando como variables, tenemos que; si la intensidad de la cavitación es baja y la corrosión es un factor acelerador significativo, alteraciones en el ambiente mediante el uso de inhibidores apropiados pueden ser útiles.

2.10 FUNDAMENTOS DE ACEROS INOXIDABLES

Podemos definir al acero como una aleación¹ de hierro y carbono, sin embargo, se debe cumplir, como regla general la siguiente regla: La cantidad de C, debe ser menor al 2%; este porcentaje puede oscilar entre un 0.05% y como tope máximo, 2%.

La principal característica de los aceros inoxidable es su comportamiento inmunitario frente a la corrosión, esta característica se presenta debido a su composición química y la presencia de un componente importante, el cromo (Cr). Siguiendo esta premisa, para que un acero cumpla la característica de resistencia a la corrosión, porcentaje deberá ser superior al 10,5% en peso, con un máximo del 1,2% de porcentaje en peso de carbono (C).

2.10.1 CLASIFICACION DE LOS ACEROS INOXIDABLES

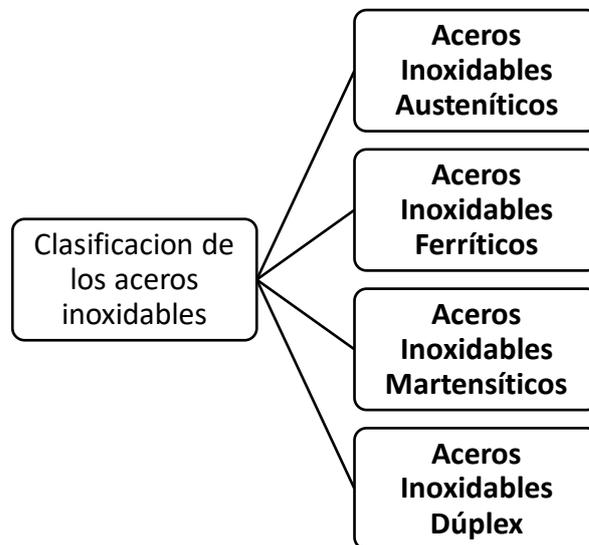


Ilustración 10 Esquema de la clasificación de los aceros inoxidables. Elaboración propia, 2018.

¹ Combinación o mezcla

2.10.2 ACEROS AUSTENÍTICO

Dentro de la clasificación de los aceros inoxidable, son los aceros austeníticos los que más aplicaciones, en las ramas de la ciencia y la tecnología, han tenido, se han empleado en diferentes ámbitos como:

- ✓ La industria alimentaria
- ✓ La industria farmacéutica
- ✓ La industria química
- ✓ La industria petroquímica
- ✓ Proceso de calderería
- ✓ Procesos de fabricación de tubos
- ✓ Procesos de fabricación de electrodomésticos
- ✓ Componentes de la industria aeronáutica
- ✓ Fabricación de elementos decorativos arquitectónicos
- ✓ Componentes de automóviles

Tabla 7 Características de los aceros inoxidables ausenticos. Elaboración propia, 2018.

| CARACTERISTICAS DE LOS ACEROS INOXIDABLES AUSTENICOS | | |
|---|------------------------------|--|
| AISI 304 (EN 1.4301), | | |
| Información técnica | Composición química | Se caracterizan por una adición importante de níquel (Ni) y/o también de manganeso (Mn), que son elementos gammágenos, cuyo efecto es contrario al del cromo, es decir, que la adición de níquel aumenta el rango térmico de estabilidad del acero según la forma austenítica. |
| | Propiedades mecánicas | Los aceros inoxidables austeníticos son amagnéticos y mantienen unas buenas propiedades mecánicas a temperaturas criogénicas. Asimismo, los aceros inoxidables austeníticos no sufren |

| | | |
|--|--|---|
| | | ninguna transformación desde su solidificación hasta temperatura ambiente por lo que no pueden ser endurecidos por tratamiento térmico. |
|--|--|---|

El proceso de sensibilización, este estrechamente ligado a los calentamientos a los que se ven sometidas aquellas zonas térmicamente afectadas, como consecuencia de un proceso de soldadura previo en los aceros; esto genera que el acero quede sensibilizado, y pueda sufrir corrosión intergranular, en ambientes donde normalmente no deberían tener ningún tipo de corrosión (Ingemecanica, 2017).

Otra desventaja del uso de los aceros inoxidable austeníticos es que son susceptibles a procesos de corrosión intergranular. Este proceso ocurre en los aceros austeníticos, cuando permanecen durante un cierto tiempo en temperaturas que oscilan entre los 600 y 800 °C, o en su defecto, cuando hayan sido enfriados lentamente durante este rango térmico.

Cuando este conjunto de variables se conjuga, se produce una precipitación intergranular, que se posiciona usualmente, entre las juntas de granos de austenita. de compuestos de carburos de cromo, consecuentemente las zonas adyacentes quedan muy empobrecidas en cromo, siendo su porcentaje en Cr menor al 12%, por lo que pierden su característica inoxidable, al carecer de la protección del cromo, finalmente quedan expuestos a la corrosión (ACERINOX, S.A, 2016).

Dentro de las alternativas para prevenir la corrosión en este tipo de aceros se muestran en la tabla 16.

Tabla 8 Procesos preventivos de corrosión en aceros austénicos

| PROCESOS PREVENTIVOS DE CORROSION EN ACEROS AUSTENICOS | |
|---|---|
| TIPOS DE PROCESOS MAS RECONOCIDOS | Procesos de enfriamientos bruscos en agua en el recocido de los aceros |
| | Procesos de aceros con bajo contenido de carbono (grados L, con un porcentaje de C < 0,03%). |
| | Uso de pequeñas adiciones de elementos fuertemente carburígenos, como el titanio, niobio o tántalo. |

2.10.3 ACEROS DUPLEX

Los aceros inoxidable dúplex o de estructura austeno-ferrítica combinan aspectos característicos y a la vez diferenciadores de las familias de aceros austeníticos y ferríticos. Como los aceros de la familia ferrítica, muestran una buena resistencia a la corrosión bajo tensión en medios que contienen cloruros. Asimismo, los aceros inoxidable dúplex poseen una ductilidad y tenacidad intermedia entre las de ambas familias y un límite elástico apreciablemente mayor que el de los aceros ferríticos y austeníticos. Es decir, en general combinan las ventajas, aunque también algunos inconvenientes de las dos familias, ferríticos y austeníticos, por lo que en ciertas aplicaciones prácticas puede ser una opción más ventajosa (ACERINOX, S.A, 2016).

Las características de los aceros Dúplex se muestran en la tabla 17.

Tabla 9 Características de los aceros Dúplex. Elaboración personal, 2018.

| CARCATERISTICAS DE LOS ACEROS DUPLEX | |
|---|---|
| Estructuras bifásicas. | Compuesta de ferrita y austenita ($\alpha+\gamma$), cuyas propiedades van a depender de las proporciones entre ambas fases. |
| Contenido típico. | En ferrita se sitúa entre un 40 y 60%. |
| Proporción. | Relativamente alta, que se sitúa en tres niveles, 18, 22 y 25%, mientras que el contenido en níquel varía entre el 3 y 7%. |
| Resistencia a la corrosión. | En general muy buena en virtud de su composición. |

El material de los aceros dúplex, han sido utilizados en diferentes ámbitos, como:

- ✓ fabricación de tuberías para intercambiadores térmicos
- ✓ tuberías para la conducción de petróleo
- ✓ plataformas de ultramar
- ✓ pozos de gas
- ✓ tuberías en línea
- ✓ cuerpos de válvulas para manejar agua de mar o bombas de fundición.

Los tipos y sus designaciones de aceros dúplex, son:

- ✓ S 2001 / EN 1.4482
- ✓ S 2304 / EN 1.4362

✓ S 2205 / EN 1.4462

Haciendo una comparación entre los aceros Duplex y austeníticos obtenemos:

| ACEROS INNOXIDABLES | | | | | | |
|----------------------------|----------------------------|-------------------------------------|----------------------------|--|---|--|
| TIPO | ACEROS AUSTENÍTICOS | | ACEROS DUPLEX | | | |
| DIFERENCIA | Menor Resistencia mecánica | Menor uso en rango de temperaturas. | Mayor resistencia mecánica | Mayor resistencia a la corrosión bajo tensión. | Resistencia a la tracción y punto de fluencia | Rango de temperaturas de entre -45 y 260 °C. |

Tabla 10 Comparación de los tipos de aceros

CAPÍTULO 3

ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

Es necesario proteger a largo plazo a las turbinas hidráulicas, debido a su importancia, en la generación de electricidad. Se han planteado tres alternativas de solución para este proyecto, se las explicara detalladamente individualmente, a continuación.

3.1 SOLDADURA GMAW

La soldadura GMAW, por sus siglas en inglés, Gas Metal Arc Welding², es también conocida como soldadura de tipo MIG; inicialmente tomo este nombre, debido a que, en la región americana, este tipo de soldaduras se utilizaba únicamente con gases inertes como el argón (Ar) y el helio (He). Sin embargo, debido a la alta demanda y oferta del acero y al elevado precio de los gases inertes, la tendencia cambió y se fue acrecentando su uso, consecuentemente los soldadores comenzaron a utilizar el proceso MAG, con dióxido de carbono (CO₂), ya que proliferaba el trabajo con aceros.

La soldadura GMAW se define como, un proceso de soldadura por arco que emplea un arco entre un electrodo continuo de metal de aporte y el charco de soldadura. El proceso se realiza bajo un escudo de gas suministrado externamente y sin aplicación de presión (Marin Herrera, 2015).

3.1.1 FUNDAMENTOS DEL PROCESO

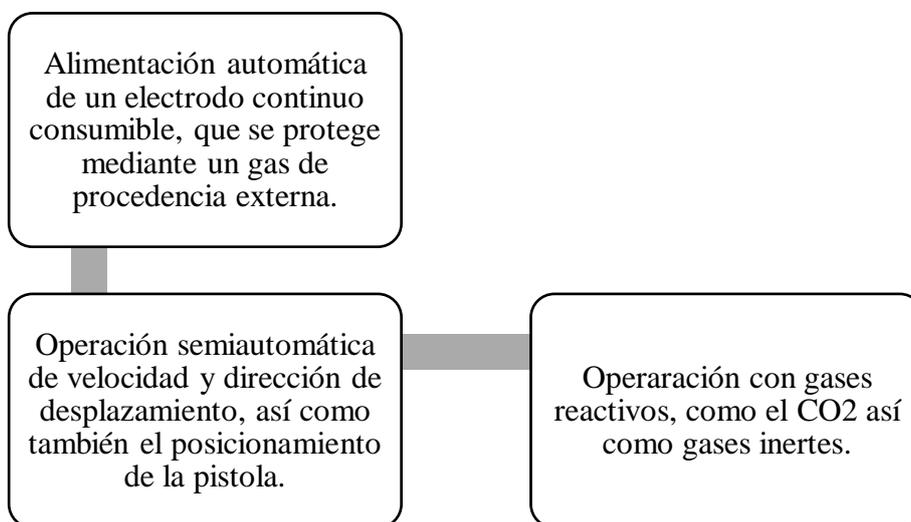


Ilustración 11 Fundamentos del proceso de soldadura GMAW. Elaboración propia, 2018

Este proceso puede ser usado con la mayoría de los metales comerciales, incluyendo aceros al carbono, aleaciones, aceros inoxidables, aluminio, magnesio, cobre, hierro, titanio y zirconio. Es el proceso preferido para la soldadura de aluminio, magnesio, cobre y muchas

² Soldadura por arco de metal y gas

de las aleaciones de metales reactivos. La mayoría de los hierros y aceros de baja aleación pueden ser satisfactoriamente unidos por este proceso de soldadura.

La soldadura puede ser semiautomática, usando una pistola por la cual el electrodo es alimentado automáticamente, o usando equipo totalmente automático (Ingemecanica, 2017).

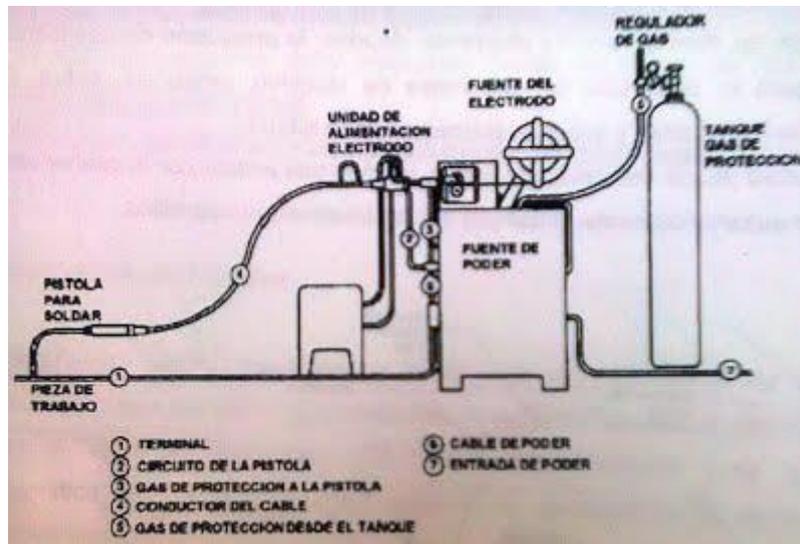


Ilustración 12 Equipo de soldadura por arco de metal y gas (GMAW). Recuperado de: (Hernández Cano, 2013)

3.1.2 TIPOS DE TRANSFERENCIA DE METAL EN GMAW

Tabla 11 Descripción de los tipos de transferencia de metal en soldadura GMAW

| TRANSFERENCIA DE METAL EN SOLDADURA GMAW | |
|--|--|
| TIPO DE TRANSFERENCIA | DESCRIPCION |
| TRANSFERENCIA POR CORTOCIRCUITO | Este tipo de transferencia puede emplear una mezcla de gas protector compuesta por Argón y CO ₂ o bien 100% CO ₂ . |
| TRANSFERENCIA GLOBULAR | La transferencia globular ocurre a más altos rangos de amperaje que el cortocircuito, aquí el metal fundido de aporte forma una bola de aproximadamente dos veces el diámetro del electrodo que al tocar la superficie del metal fundido, se funde y transfiere al chorro de metal, este tipo de transferencia no es comúnmente usado. |
| TRANSFERENCIA POR SPRAY | La transferencia por spray ocurre todavía a más altos amperajes que el globular, con diámetros grandes de alambre y una mezcla de gas rica en argón, el proceso genera gran cantidad de calor. |

| | |
|--|---|
| <p style="text-align: center;">TRANSFERENCIA POR SPRAY Y ARCO PULSADO</p> | <p>Este tipo de transferencia es una variación de la transferencia por spray, pero con arco “pulsado”, aquí la fuente de poder pulsa o varía el amperaje en un rango de corriente varios cientos de veces por segundo, a niveles de corriente altos se forma una pequeña gota de metal fundido que se transfiere a través del arco al charco.</p> |
|--|---|

El equipo básico para el proceso de soldadura GMAW, es el siguiente:

- ✓ Pistola (enfriada por aire o agua)
- ✓ Unidad de alimentación del electrodo
- ✓ Control de soldadura
- ✓ Fuente de potencia para soldadura
- ✓ Suministro regulado de gas protector
- ✓ Suministro de electrodo
- ✓ Cables y mangueras para interconexión
- ✓ Sistema de recirculación de agua (para pistolas enfriadas en agua) (Hernández Cano, 2013)



Ilustración 13 Equipo para proceso de soldadura GMAW. Recuperado de:

3.1.3 CONSUMIBLES

Los consumibles del proceso GMAW son los electrodos y los gases protectores. Estos son factores que influyen en la elección del gas protector y del electrodo:

- ✓ Metal base
- ✓ Propiedades que debe tener el metal de soldadura
- ✓ Condición y limpieza del metal base
- ✓ Tipo de servicio o requerimiento de especificación aplicable
- ✓ Posición de soldadura

- ✓ Modalidad de transferencia de metal que se piensa usar (Hernández Cano, 2013).

3.1.4 VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Tabla 12 Ventajas y limitaciones de la soldadura GMAW. Elaboración personal, 2018.

| SOLDADURA GMAW | |
|--|---|
| VENTAJAS | DESVENTAJAS |
| Tasas de deposición bastante más alta que con la soldadura por arco de metal protegido | El equipo de soldadura es más complejo, costoso y menos portable que el de SMAW. |
| Puede soldarse en todas las posiciones. | GMAW es más difícil de usar en lugares de difícil acceso. |
| No tiene restricción de tamaño de electrodo. | Los niveles relativamente altos de calor radiado y la intensidad del arco más alta. |
| Casi no requiere limpieza después de la soldadura. | El arco de soldadura debe protegerse contra corrientes de aire que puedan dispersar el gas protector. |
| Es posible depositar soldaduras largas sin parar | |

3.2 MODIFICACIÓN SUPERFICIAL “SURFACING”

Es un proceso que se utiliza para describir el proceso de alteración de las características de la superficie de un componente para lograr una mejora en las propiedades de la superficie. Uno de los objetivos es posibilitar el diseño y la fabricación de componentes con una combinación de propiedades a granel y de superficie que no se puedan obtener en un componente de material monolítico único.

Existen numerosos procesos de revestimiento que pueden usarse para depositar un recubrimiento o modificar la estructura de la superficie. Van desde la galvanoplastia más tradicional, superposición de soldadura, pulverización térmica y tratamientos termoquímicos (carburización, nitruración) hasta tecnologías más nuevas como la deposición física de vapor (PVD), deposición de vapor químico (CVD), implantación de iones, modificación de la superficie del láser, plasma tratamientos de difusión termoquímica y pulverización en frío.

El espesor del revestimiento varía desde varios milímetros para superposiciones de soldadura hasta algunas micras para revestimientos de PVD y CVD; mientras que la profundidad de modificación de la superficie puede variar desde 0,5 micras o menos para la implantación de iones, hasta más de un milímetro para la nitruración. Del mismo modo, las propiedades de recubrimiento pueden variar considerablemente. Por ejemplo, la dureza superficial se puede modificar a 1000 HV para aceros nitrurados y hasta 3500 HV con la deposición de un recubrimiento de PVD TiN.

Los recubrimientos y tratamientos disponibles son numerosos, y siguen aumentando, para que la selección sea una tarea difícil para los no especialistas. Varios tratamientos de superficie alternativos a menudo pueden proporcionar soluciones aceptables en una aplicación determinada. La selección final debe considerar el costo y los aspectos prácticos del tratamiento, teniendo en cuenta la composición, el tamaño y la forma del componente en cuestión (TWI GLOBAL, 2016).

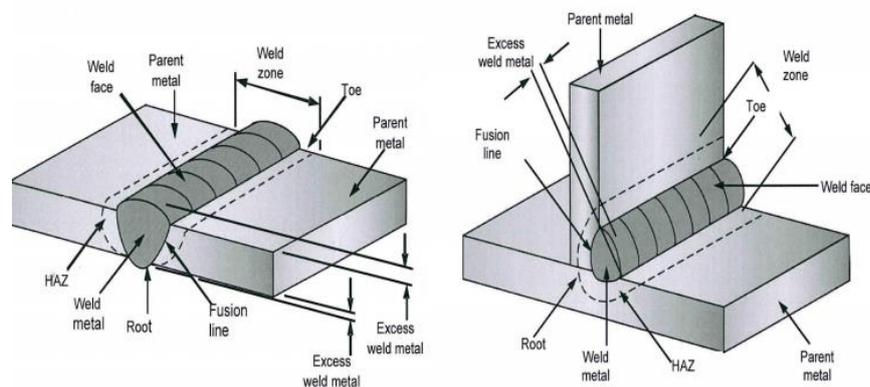


Ilustración 14 Proyección de tipo de surfacing. Recuperado de: (Nearyou, 2014)

3.2.1 TIPOS DE SURFACING

3.2.1.1 CLADDING

En el proceso de Cladding, una capa gruesa de un poco de metal de soldadura, como acero inoxidable, se coloca sobre una placa de acero de carbono o de baja aleación para que sea resistente a la corrosión. El revestimiento también debe resistir la corrosión localizada, como picaduras, corrosión en grietas, corrosión intergranular y agrietamiento por corrosión bajo tensión. Para el revestimiento, normalmente se utilizan acero inoxidable o una de las aleaciones a base de níquel, aunque las aleaciones a base de cobre, la plata y el plomo también se utilizan para algunas aplicaciones específicas.

Aunque la principal ventaja del revestimiento es la creación de una superficie resistente a la corrosión de bajo costo, pero también combina un material de alta resistencia como aceros de baja aleación para el respaldo con material resistente a la corrosión como el acero inoxidable. Sin embargo, como regla general, la fuerza del material de revestimiento no se tiene en cuenta en el diseño del componente.

El uso principal del revestimiento se realiza en la producción de buques para plantas químicas, de papel, de refinación de petróleo y de energía nuclear. Los reactores recubiertos de cobre se utilizan para la producción de cerveza que también es corrosiva, mientras que las plantas de procesamiento y envasado de alimentos hacen un uso extensivo de acero inoxidable para evitar la acción corrosiva de los alimentos (Artemenko, Feduykin, & Francis, 2014).

3.2.1.2 HARDFACING

Hardfacing, un metal se deposita sobre otra superficie para aumentar la dureza de la superficie y para que sea resistente a la abrasión, el impacto, la erosión, la excoiación y la cavitación. Al igual que en el revestimiento, la resistencia de la capa de refuerzo no se incluye en el diseño del componente.

La resistencia a la abrasión es la aplicación más importante de recargue. En general, se depositan un máximo de tres capas de aleaciones de recargue. Debido a que una dilución excesiva reduce la efectividad de la recargue, es esencial evitar la penetración excesiva y la mala unión de las perlas adyacentes. El diseño debe ser tal que proporcione un soporte adecuado para la superficie y, en la medida de lo posible, debe cargarse en compresión en

lugar de tensarse o cortarse. Bajo estas condiciones, el revestimiento rígido puede demostrar efectivamente sus ventajas económicas. Hardfacing encuentra un uso extensivo en equipos de construcción que incluyen hojas de bulldozer, hojas de raspadores y tolvas de roca, así como para equipos textiles y revestimientos de válvulas de motor (Nearyou, 2014).

3.2.1.4 BUTTERING

Buttering es el proceso de depositar una o más capas de un material entre aquellos materiales metalúrgicamente incompatibles que individualmente tienen compatibilidad con el material que forma la capa de buttering. Se usa especialmente para unir acero inoxidable a un metal base de acero al carbono o de baja aleación.

Si no se utiliza una capa de buttering, la resistencia a la corrosión del acero inoxidable se reducirá, pero si se deposita una capa de níquel o material de Ni-Cr sobre el metal bajo antes de depositar el acero inoxidable de alta aleación, no se observa deterioro de la resistencia a la corrosión. Un ejemplo común de este proceso se encuentra en la planta de energía nuclear para unir acero inoxidable revestido a una boquilla de acero de baja aleación untada con aleación de Ni-Cr-Fe a tuberías de acero inoxidable usando un metal de aporte de Ni-Cr-Fe. También se puede usar para unir acero al carbono a acero de baja aleación cuando se debe evitar el alivio de la tensión de la soldadura completa (TWI GLOBAL, 2016).

Tabla 13 Diferentes tipos de soldadura con proceso surfacing.

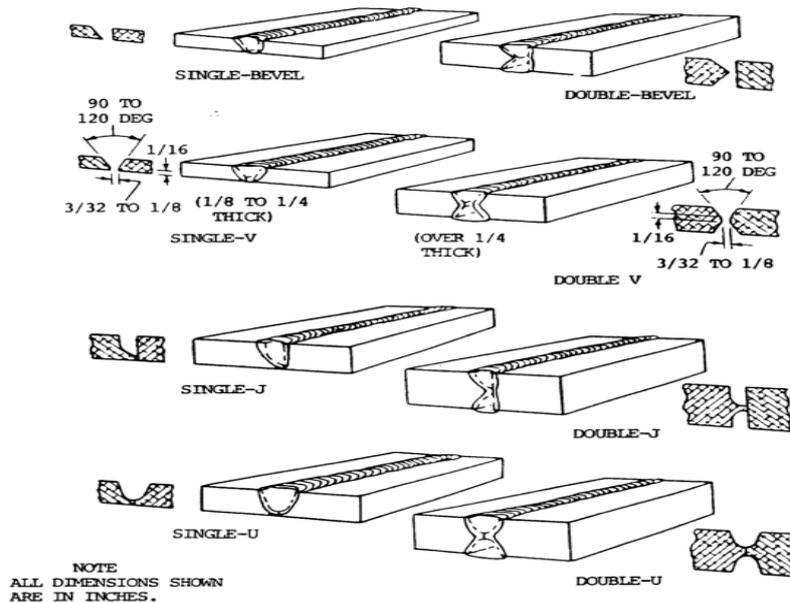


Figure 6-27. Types of groove welds.

3.2.2 ELECCIÓN DEL PROCESO

La selección de un proceso de recubrimiento depende del material del sustrato, tipo y naturaleza del depósito requerido, tasa de producción, tamaño y forma del componente a revestir, la condición del servicio al que se va a colocar y la disponibilidad del equipo.

3.2.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL SURFACING

Tabla 14 Proceso de Surfacing, ventajas y desventajas. Elaboración propia, 2018

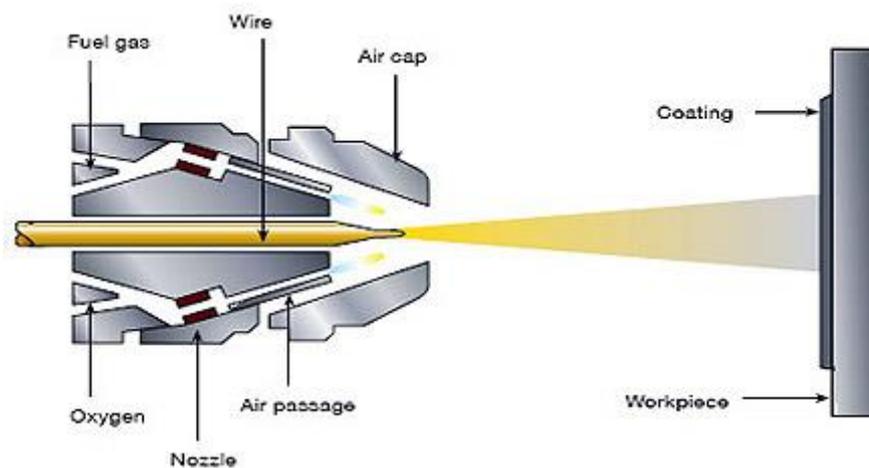
| |
|-----------------------------|
| PROCESO DE SURFACING |
|-----------------------------|

| VENTAJAS | DESVENTAJAS |
|---|---|
| Abrasión sin gran impacto, | Rodamiento, deslizamiento y contacto metal con metal, |
| Los bordes cortantes operan a temperaturas normales | Abrasión combinada y impacto pesado |
| Superficies sometidas a servicio a temperaturas elevadas. | Erosión y corrosión, |

3.3 METALIZACIÓN

La metalización es un proceso que permite la creación de recubrimientos funcionales, de manera superficial. Este revestimiento incluye material de revestimiento metálico, o en su defecto, de naturaleza no metálica, finamente dispuesto fundido sobre un sustrato, o material base; este proceso también es conocido, como “Rociado térmico”, “Termorociado” o “Thermal spray” (American Welding Society, 2017).

Tabla 15 Esquema de metalización. Recuperado de:



Existen diferentes tipos de procesos de metalización, se caracterizan por el método de generación de calor que utilizan, son:

3.3.1.1 METALIZACIÓN EN FRÍO

Los procesos de metalización en frío, utilizan la energía eléctrica, como su fuente de calor:

Tabla 16 Grupos referidos a los procesos de metalización, por su fuente de calor.
Elaboración propia, 2018.

| PROCESOS DE METALIZACION EN FRÍO | |
|---|-------------------------------------|
| GRUPO I: ELÉCTRICO | Arco Eléctrico, Arc Spray (TAFA) |
| | Arco Eléctrico con Propulsión (Jet) |

| | |
|-------------------------|-------------------------------------|
| GRUPO II: PLASMA | Plasma de Arco No-Transferido (PSP) |
| | Plasma de Arco Transferido (PTA) |

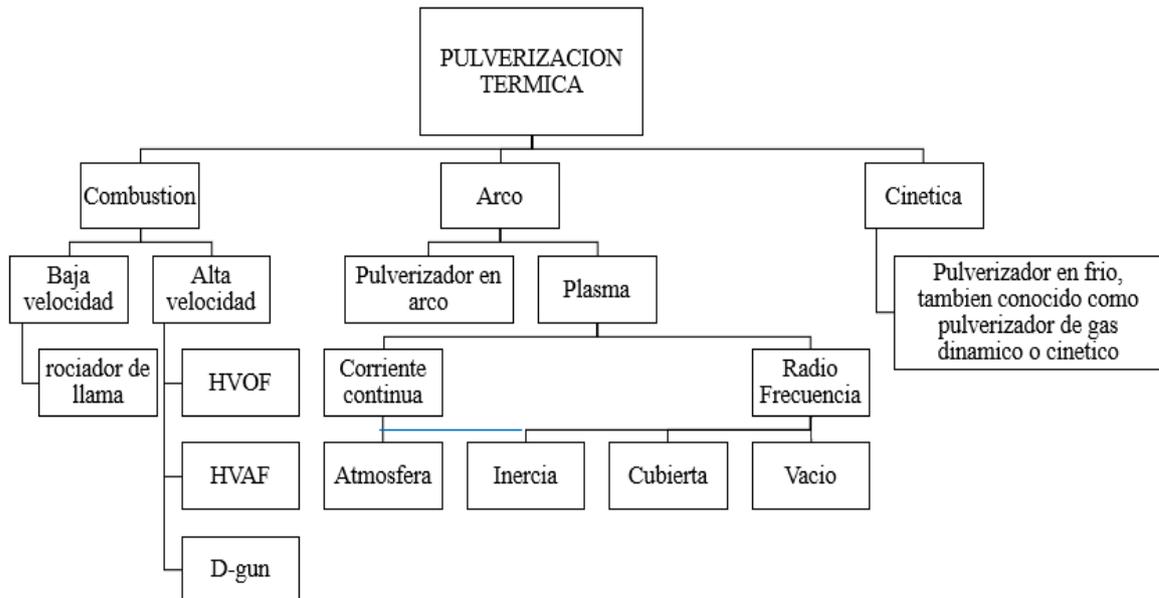
(Saña y Castañeda, 2013)

3.3.1.2 METALIZACIÓN EN CALIENTE

En el proceso de metalización en caliente, se utilizan gases combustibles como fuente de calor.

Tabla 17 Procesos de metalización en caliente. Elaboración propia, 2018.

(Begniss, 2016)



3.3.2 VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Tabla 18 Ventajas y desventajas del proceso de metalización. Elaboración propia, 2018.

| VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL PROCESO DE METALIZACIÓN | | | |
|--|--|---|-------------------------|
| VENTAJAS | | DESVENTAJAS | |
| RESISTENCIA AL DESGASTE POR CORROSIÓN: | RECUPERACIÓN DIMENSIONAL | PREPARACIÓN DEL SUBSTRATO O SUPERFICIE A METALIZAR. | RESISTENCIA AL DESGASTE |
| Solventes. | Recupera dimensiones de elementos mecánicos | No resiste esfuerzos cortantes. | Abrasión. |
| Gases sulfurosos. | El recubrimiento tendrá las mismas o mejores características que el material original. | Elevadas cargas puntuales podrían desprender el metalizado. | Erosión. |
| Altas temperaturas. | | Baja resistencia al impacto. | Fricción. |
| Ácidos. | | | Cavitación |

Para seleccionar la mejor alternativa, se establecen los criterios de selección, entre estos, tenemos los expuestos a continuación:

- ✓ **Complejidad:** nivel de dificultad para el desarrollo de la propuesta
- ✓ **Confiabilidad:** nivel de confianza que genere el desarrollo de la propuesta
- ✓ **Mantenibilidad:** nivel de mantenimiento necesario que necesite la propuesta
- ✓ **Durabilidad:** nivel de sostenibilidad que posee la pieza recuperada
- ✓ **Adaptabilidad:** nivel de confianza en el ambiente de desarrollo

Para la calificación de cada criterio, se empleará el método ordinal corregido de criterios ponderados de (Riba, 2015) Mediante este proceso se aplica la comparación entre cada una de las variables a tener en cuenta, se asigna a las misma un valor de importancia.

(Guintini, 2015)

Tabla 19 Criterios de elección para las alternativas. Elaboración personal, 2018.

| | |
|-------------|-------------------------|
| VALOR = 1 | CRITERIO a > CRITERIO b |
| VALOR = 0.5 | CRITERIO a = CRITERIO b |
| VALOR = 0 | CRITERIO a < CRITERIO b |

3.4.1 MATRIZ DE DECISIÓN

Opción A: Surfacing

Opción B: Metalización

Opción C: Soldadura GMAW

Tabla 20 Matriz de selección de la alternativa. Elaboración propia, 2018.

| CRITERIO DE SELECCIÓN | PONDERACIÓN | OPCION A | | OPCION B | | OPCION C | |
|------------------------------|--------------------|-----------------|------|-----------------|------|-----------------|------|
| COMPLEJIDAD | 0,23 | 2 | 0,46 | 5 | 1,15 | 5 | 1,15 |
| CONFIABILIDAD | 0,23 | 3 | 0,69 | 4 | 0,92 | 2 | 0,46 |
| MANTENIBILIDAD | 0,20 | 3 | 0,60 | 4 | 0,80 | 3 | 0,60 |
| DURABILIDAD | 0,17 | 2 | 0,34 | 4 | 0,68 | 4 | 0,68 |
| ADAPTABILIDAD | 0,17 | 3 | 0,51 | 4 | 0,68 | 2 | 0,34 |
| TOTAL | | 2,60 | | 4,23 | | 3.23 | |

CAPÍTULO 4

DESARROLLO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA

4.1 PROPOSITO

Alargar la vida útil de las turbinas hidráulicas ya que muchas veces son descartadas por fallas que pueden ser corregidas. El elevado costo de importación de las turbinas hidráulicas, además de la espera debido a la transportación.

4.2 OBJETIVO

4.2.1 OBJETIVO GENERAL

- ✓ Elegir la alternativa tecnológica más conveniente, para el proceso de recuperación de componentes de turbinas hidroeléctricas.

4.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Examinar la bibliografía existente, sobre ensayos y pruebas realizados para la verificación del comportamiento, de las diferentes alternativas tecnológicas.
- ✓ Comparar la normativa que rigen las pruebas de comportamiento, de las diferentes alternativas tecnológicas.

4.3 JUSTIFICACIÓN

Es necesario saber adaptar la ingeniería al medio en que se encuentra un problema. Si bien es cierto, en Ecuador, existe una tendencia a la recuperación de materiales, ya que el costo de la exportación representa para las pequeñas y grandes industrias, un gasto exorbitante que, en la mayoría de los casos, no puede ser cubierto. La ingeniería de recuperación nos permite abaratar costos, al tiempo que logra optimizar piezas y materiales para su uso a largo plazo.

Siendo el sector Hidroeléctrico, uno de los nuevos enfoques estratégicos para la economía del país, es necesario encontrar procesos que, consecuentemente, permitan evitar la chatarrería de piezas importantes, y que, al contrario, fomente la recuperación.

Este proyecto pretende encontrar un proceso adecuado para la recuperación de turbinas hidroeléctricas, tomando en cuenta las variables cualitativas y cuantitativas que se han presentado a lo largo de la revisión de la literatura; entendiendo la complejidad del problema espacialmente, y encontrado soluciones que se adapten al medio.

Realizando el análisis entre las tablas anteriores podemos concluir que las empresas a cargo de **CELEC E.P** son aquellas que disponen del 87.76% de potencia instalada a nivel nacional. De acuerdo con la Investigación, el número de centrales hidroeléctricas que

funcionan con turbinas Francis y Pelton a cargo de **CELEC E.P** se resume en la siguiente tabla (CELEC, 2016).

Tabla 21 Turbinas FRANCIS y PELTON a cargo de CELEC E.P

| CENTRALES HIDROELÉCTRICAS | TIPO DE TURBINA | |
|--------------------------------------|------------------------|----------------|
| | PELTON | FRANCIS |
| Paute – Molino | 10 | |
| San Francisco | | 2 |
| Marcel Laniado | | 3 |
| Mazar | | 2 |
| Agoyán | | 2 |
| Pucará | 2 | |
| | 12 | 9 |

(CELEC, 2016)

Tabla 22 Turbinas FRANCIS y PELTON a cargo de CELEC E.P

| PROYECTO | | Nº UNIDADES | POTENCIA (MW) | CLASE DE TURBINA |
|-----------------|-----------------------|------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| 1 | Coca Codo Sinclair | 8 | 1500 | PELTON |
| 2 | Minas | 3 | 285 | PELTON |
| 3 | Ocaña | 2 | 26 | PELTON |
| 4 | Topo | 2 | 17 | PELTON |
| 5 | Abanico | 2 | 15 | PELTON |
| 6 | Sigchos | 2 | 18 | PELTON |
| 7 | Pilalo 3 | 2 | 11 | PELTON |
| 8 | Victoria-Quijos | 2 | 10 | PELTON |
| 9 | San Jose De Minas | 2 | 7,5 | PELTON |
| 10 | Chorrillos | 1 | 3,2 | PELTON |
| 11 | Cuyuja | 2 | 20 | PELTON |
| 12 | Unión | 2 | 83,9 | FRANCIS |
| 13 | Sisimbe | 2 | 18 | FRANCIS |

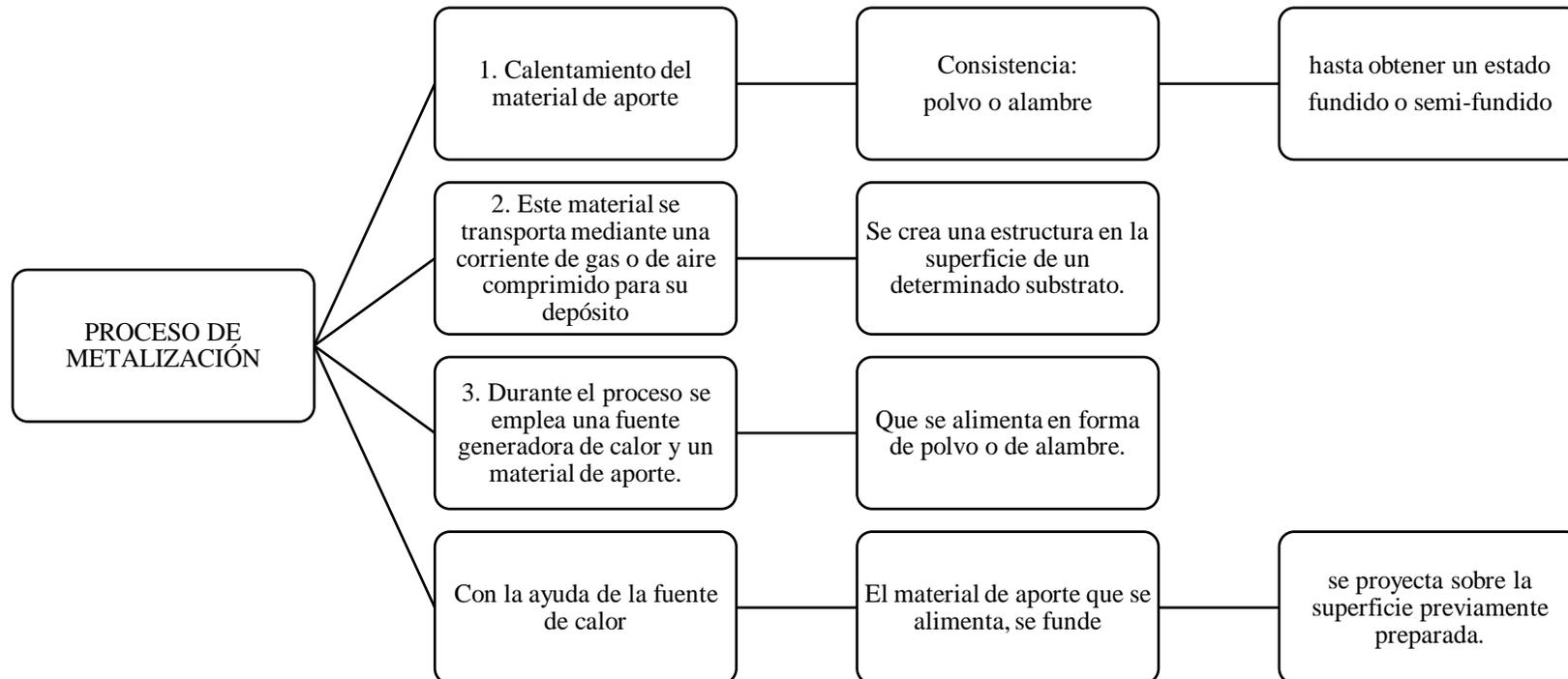
| | | | | |
|----|----------------------|-----------|---------------|---------|
| 14 | Calope | 2 | 15 | FRANCIS |
| 15 | Tumiguina-Papallacta | 2 | 1,8 | FRANCIS |
| 16 | Abitagua | 1 | 78 | FRANCIS |
| 17 | Baba | 2 | 45 | FRANCIS |
| 18 | Quijos | 2 | 39,6 | FRANCIS |
| 19 | Sabanilla | 2 | 19,9 | FRANCIS |
| 20 | Jondachi | 2 | 18,8 | FRANCIS |
| 21 | Pilaton San Carlos | 2 | 8 | FRANCIS |
| 22 | S.J Del Tambo | 2 | 7 | FRANCIS |
| 23 | La Delicia | 2 | 5,8 | FRANCIS |
| 24 | Guapulo | 2 | 3,2 | FRANCIS |
| 25 | La Esperanza | 4 | 6 | KAPLAN |
| 26 | Poza Honda | 2 | 3 | KAPLAN |
| | | 59 | 2265.7 | |

(CELEC, 2016)

Como conclusión en los cuadros anteriores tanto de las centrales pertenecientes a CELEC E.P como los futuros proyectos hidroeléctricos demuestran la existencia de una gran cantidad de elementos hidromecánicos de las turbinas Francis y Pelton de generación eléctrica que necesitan y necesitarán el servicio de reconstrucción una vez que dichos elementos se encuentren fuera de servicio.

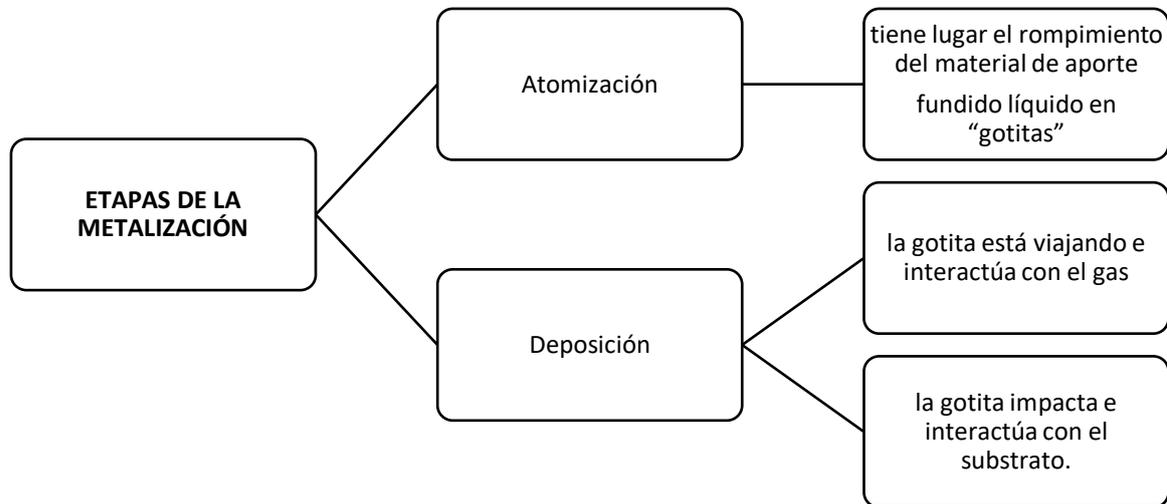
4.4 MANUAL DE PROCESO PARA METALIZACIÓN, ENFOCADO EN LA RECUPERACIÓN DE TURBINAS.

Tabla 23 Proceso de metalización. Elaboración propia, 2018.



(American Welding Society, 2017)

Tabla 24 Etapas de la metalización. Elaboración propia, 2018.



(Begnis, 2016)

La naturaleza de este proceso se define como sinérgica, es decir, que existen diferentes variables involucradas, estos actúan juntos y si están apropiadamente aplicados, producen un efecto armónico conocido como metalización óptima.

Tabla 25 Proceso de metalización óptima. Elaboración propia, 2018.

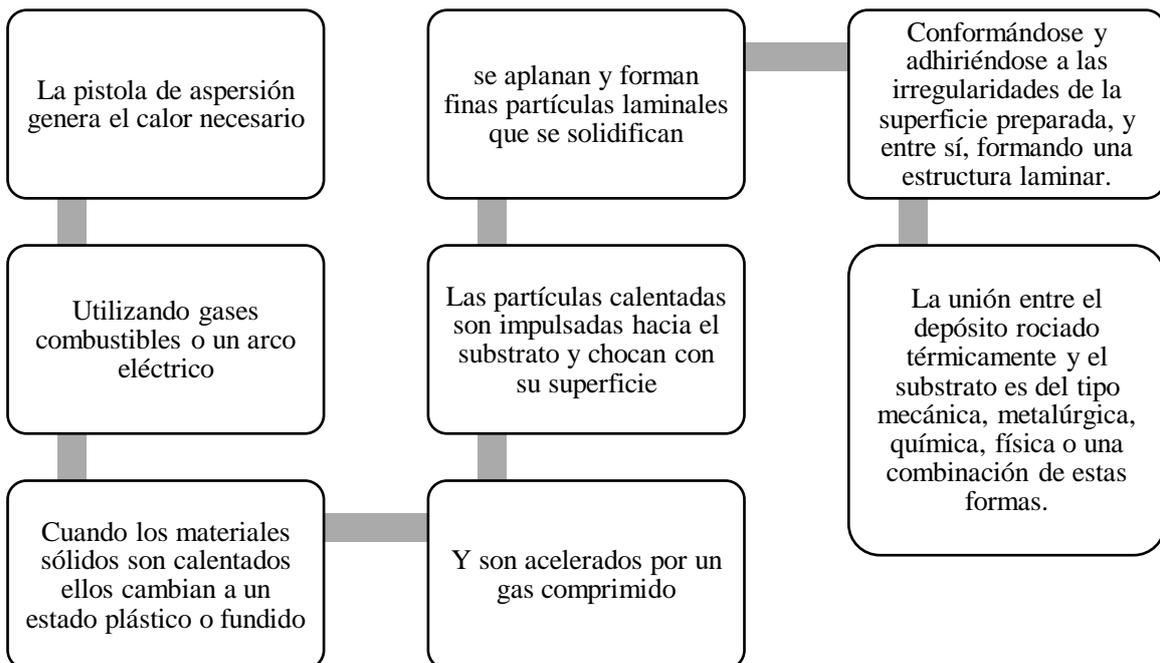


Tabla 26 Temperatura de fuentes de calor para los diferentes. Elaboración propia, 2018.

| FUENTE | TEMPERATURA °C |
|----------------------|----------------|
| PROPANO, OXIGENO | 2526 – 2640 |
| GAS NATURAL, OXIGENO | 2538 – 2735 |
| HIDROGENO, OXIGENO | 2660 – 2690 |
| PROPILENO, OXIGENO | 2843 |
| MAPP*, OXIGENO | 2927 |
| ACETILENO, OXIGENO | 3000 – 3100 |
| ARCO ELECTRICO | 2500 – 3000 |
| ARCO PLASMA | 2200 – 28000 |

(American Welding Society, 2017)

Existen variaciones de este proceso de rociado térmico, sucede en los materiales que se utilizan para la aspersión, calentamiento, y propulsión de los materiales hacia el sustrato.

Los revestimientos rociados térmicamente tienen tres aspectos básicos

4.5 ASPECTOS BASICOS DEL REVESTIMIENTO TERMICO

Tabla 27 Aspectos físicos del revestimiento termino. Elaboración propia, 2018.

| |
|---|
| ASPECTOS BASICOS DEL REVESTIMIENTO TERMICO |
|---|

| | | |
|---|--|--|
| <p align="center">SUBSTRATOS</p> | <p align="center">Incluyen metales, cerámicas, vidrios, polímeros y maderas.</p> | <p>La preparación del sustrato antes de la aspersión es requerida para todos los aspectos importantes, en la limpieza de la superficie, para eliminar la contaminación que disminuirá la unión del revestimiento al sustrato y el mantenimiento de rugosidad superficial o irregularidades que permitirán la adhesión del revestimiento y crear una mayor área de superficie efectiva.</p> |
| <p align="center">ENLACE DE UNIÓN</p> | <p>La unión entre el revestimiento y el sustrato puede ser mecánica, química</p> | <p>La adhesión depende de una serie de factores, tales como el material del revestimiento, condición del sustrato, grado de rugosidad de la superficie, limpieza, temperatura de la superficie antes y después de la aspersión y velocidad de impacto de la partícula.</p> |
| <p align="center">ESTRUCTURA DEL REVESTIMIENTO</p> | <p>La estructura depositada y la química del revestimiento rociado térmicamente al ambiente son diferentes de aquellas del mismo material en forma manufacturada antes de ser rociados térmicamente.</p> | <p>Las diferencias en la estructura y la química son debidas a la naturaleza del revestimiento, la reacción con los gases del proceso y la atmósfera en el entorno del material, cuando está en el estado fundido. En el caso de que el aire u oxígeno sean usados como gases del proceso, óxidos del material aplicado son formados y se hacen parte integral del revestimiento.</p> |

(Guintini, 2015)

4.6 CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DE LOS DISTINTOS PROCESOS DE METALIZACIÓN

Tabla 28 Características y propiedades de los distintos procesos de metalización.
Elaboración propia, 2018.

| | VELOCIDAD DE LA PARTICULA | ADHERENCIA | CONTENIDO DE OXIDO EN METALES % | POROSIDAD | VELOCIDAD DE DEPOSICION | ESPESOR TIPICO DEL PROCESO |
|---------------------|---------------------------|------------|---------------------------------|-----------|-------------------------|----------------------------|
| LLAMA | 40 | <8 | 10 – 15 | 10 – 15 | 1 10 | 0.2 – 10 |
| RC SPRAY | 100 | 10 – 30 | 10 – 20 | 5 – 10 | 6 - 60 | 0.2 – 10 |
| PLASMA | 200 – 300 | 20 – 70 | 1 – 3 | 5 – 10 | 1 - 5 | 0.2 - 2 |
| HVOF | 200 - 300 | >70 | 1 - 3 | 5 – 10 | 1 - 5 | 0.2 - 2 |

(Moreano Merchán, 2013)

4.7 ENAYOS NO DESTRUCTIVOS

Los ensayos no destructivos son aquellos ensayos que no alteran la forma ni las propiedades de un objeto. No producen ningún tipo de daño en él o e daño es prácticamente imperceptible. Este tipo de ensayos sirven para estudiar propiedades físicas, químicas o mecánicas de algunos materiales.

Tabla 29 Ensayos destructivos. Elaboración propia, 2018.

| ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS | |
|--------------------------------|---|
| INSPECCIÓN VISUAL. | Inspección visual de soldadura en fabricación (control de calidad del acabado, forma y tamaño). Inspección mecánica de todo tipo de soportes de tubería en el montaje y en la operación. |
| | Inspección en servicio de equipos y componentes, desde intercambiadores de calor hasta tornillería. |
| | Detección de fugas en sistemas de tuberías y juntas embridadas. |
| | Detección de corrosión, erosión y/o degradaciones propias del servicio en bombas, válvulas, tuberías, estructuras, etc |
| ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS | |
| | Consiste en atravesar el componente a ensayar con un haz de radiación electromagnética ionizante (rayos gamma o rayos X). |

| | |
|---------------------|--|
| RADIOGRAFIA. | Esta radiación será más o menos absorbida por las discontinuidades internas de la pieza, |
| | una vez revelada muestra la localización de dichas discontinuidades. |

| ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS | |
|--------------------------------|--|
| LIQUIDOS PENETRANTES. | Se caracteriza porque es prácticamente independiente de la forma de la pieza a ensayar |
| | El líquido penetrante halla su camino hacia discontinuidades pequeñas o aberturas mediante la “acción capilar” |
| | El aire atrapado es despejado por el líquido penetrante y se difunde desplaza hacia la superficie. |

| ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS | |
|--------------------------------|--|
| PARTICULAS MAGNETICAS | Tipo de ensayo aplicable a materiales ferromagnéticos como componentes acabados, palanquillas, barras laminadas en caliente, fundiciones y piezas forjadas. |
| | Es fundamental la presencia de magnetismo en la pieza que se va a examinar, aplicar el medio o las partículas para la inspección e interpretar los patrones que forman las partículas cuando se ven atraídas por las fugas de campo magnético causadas por discontinuidades de la pieza. |

4.8 RIESGOS Y PRECAUCIONES EN EL PROCESO DE TERMOROCIADO

Algunos riesgos en salud y seguridad están presentes en el rociado térmico. Esto incluye procesos de preparación y acabado, así como el proceso de aspersión en sí.

Tabla 30 Riesgos en el proceso de metalización. Elaboración propia, 2018.

| PELIGROS | FACTOR DE RIESGO | CONSECUENCIA | MEDIDAS APLICABLES |
|--------------------------|-------------------------|-------------------------|--|
| Atrapamiento | Mecánico | Fracturas | mantener la concentración durante el ejercicio de la tarea |
| Golpes Cefálicos | Mecánico | Traumas | utilizar el epp adecuado |
| Zona de carga y descarga | Mecánico | Arrollamientos y caídas | mantener la concentración durante el ejercicio de la tarea |

Tabla 31 Precauciones en el proceso de metalización. Elaboración propia, 2018.

| | | | | |
|------------------------|---------------------------------|--------|--------------------------------------|------------------------------------|
| PULIDO Y DEBASTE | Ruido | Físico | Sordera | Utilizar El Epp Adecuado |
| | Vibraciones | Físico | Estrés | Utilizar El Epp Adecuado |
| | Cortocircuitos | Físico | Desconocimiento De Primeros Auxilios | Mantenimiento De Cables Eléctricos |
| | Exposición A Altas Temperaturas | Físico | Quemaduras | Utilizar El Epp Adecuado |

Tabla 32 Precauciones en el proceso de metalización. Elaboración propia, 2018.

| | | | | |
|----------------|-----------------------|----------|-------------------------|--|
| ALMACENAMIENTO | Golpes Cefálico | Mecánico | Contusiones | Utilizar El Epp Adecuado |
| | Dirección De Camión | Mecánico | Arrollamiento | Mantener La Concentración Durante El Ejercicio De La Tarea |
| | Zona Carga Y Descarga | Mecánico | Caídas Y Arrollamientos | Mantener La Concentración Durante El Ejercicio De La Tarea |

| | | | | |
|---|--------------------|---------|------------------------------------|-----------------------------------|
| SOLDADURA, METALIZADO, MECANIZADO | Ruido | Físico | Sordera | Utilizar El Epp Adecuado |
| | Cortocircuito | Físico | Desconocimiento Ante La Emergencia | Mantenimiento De Cables Eléctrico |
| | Riesgo De Incendio | Físico | Quemaduras | Uso Adecuado De Extintores |
| | Sustancias Nocivas | Químico | Dificultad Al Respirar | Utilizar El Epp Adecuado |

4.9 SELECCIÓN DEL EQUIPO DE TRABAJO PARA PROCESO DE METALIZACIÓN.

Tabla 33 selección del EPP

| EQUIPOS DE PROTECCION INDIVIDUAL | | |
|----------------------------------|-------------------------------|---|
| CLASE | EQUIPO | TIPO DE PROTECCION |
| DE CABEZA | Casco | Contra Caída De Objetos Y Golpes |
| DE OJOS Y CARA | Gafas, Pantallas Faciales | Contra Proyecciones Y Salpicaduras |
| DE OIDOS | Protectores Auditivos | Contra El Ruido |
| DE VIAS RESPIRATORIAS | Respiradores | Contra Vapores Rganios Y Partículas |
| DE MANOS Y BRAZOS | Guantes | Contra Golpes, Cortaduras, Salpicaduras |
| DE CUERPO ENTERO | Ropa De Trabajo, Impermeables | Contra El Agua, Equipo De Salvamento |

4.10 SEÑALIZACIÓN DE ÁREAS DE TRABAJO.

Tabla 34 señalización de áreas de trabajo.

| AREA | SEÑALETICA | DESCRIPCIÓN |
|---|------------|--|
| ALMACENAMIENTO, MECANIZADO, METALIZADO, PULIMENTO | Obligación | Uso Obligatorio De: Guantes Caso De Seguridad Chaleco Reflejante Ropa De Trabajo Calzado De Seguridad |
| | Peligro | Peligro: Paso De Montacargas Camión Grúa Zona De Descarga |
| | Prohibido | Paso Al Personal No Autorizado |

CAPÍTULO 5

ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA

5.1 COSTOS DEL PROCESO DE METALIZACION

Los valores obtenidos se han obtenido a través de cotizaciones hechas en diferentes empresas.

| COSTOS PARA PREPARACION SUPERFICIAL EN PROCESO DE METALIZACION | | |
|--|--|--------|
| MATERIAL | GRANALLAS DE OXIDO DE ALUMINIO | \$ 500 |
| MATERIAL | POLVOS DE METALIZACION, MODULO DE 30 LB. | \$1550 |
| MANO DE OBRA | POR M2 DE PREPARACION | \$50 |

| COSTOS PARA CONSUMIBLES EN PROCESO DE METALIZACION | | |
|--|-------------------------|--------|
| MATERIAL | TANQUES DE OXIGENO | \$ 950 |
| MATERIAL | COMBUSTIBLE Y NITROGENO | \$850 |
| MATERIAL | MATERIAL METALOGRAFICO | \$850 |
| MATERIAL | TINTAS PENETRANTES | \$900 |
| MATERIAL | PARTICULAS MAGNETICAS | \$900 |
| TOTAL | | \$4450 |

| COSTOS PARA APLICACIÓN DEL PROCESO DE METALIZACION IN SITU | | |
|--|---|----------|
| ARRIENDO DE MAQUINARIA | COMPRESOR, EQUIPO DE GRANALLADO, MATERIAL DE PROTECCION | \$10.400 |
| TRANSPORTE | POLVOS DE METALIZACION, MODULO DE 30 LB. | \$565 |
| TOTAL | | \$10.965 |

5.2 COSTOS DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

| ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS | | |
|--------------------------|--|--------|
| ULTRASONIDO | INSPECCION HASTA 15M LINEALES DE SOLDADURA | \$ 300 |
| RADIOGRAFIA | EJECUCION DE 30 RADIOGRAFIAS | \$360 |
| TINTAS NO PENETRANTES | INSPECCION HASTA 30M LINEALES DE SOLDADURA | \$300 |

CONCLUSIONES

Revisar el estado del arte, que se presenta en el contexto de la investigación, nos ha permitido entender el aspecto nacional, se encuentran muchas opciones que validen la posibilidad de restauración de equipos, como turbinas, que mejoren los procesos sin necesidad de adquirir, mediante una fuerte inversión, maquinaria exportada. Por lo tanto, como propuesta tecnológica, recurrir al proceso de metalización, para la recuperación, es la mejor opción, ya que nos permite obtener funcionalidad a un costo, que no necesariamente nos representara una deuda.

La búsqueda fundamentada de opciones viables para el proyecto demostró que, mediante el proceso de Metalización, se permite, de manera efectiva, la recuperación de máquinas hidráulicas, este proceso, que se ha desarrollado durante la investigación, posee una fundamentación teórica y contextual bastante extensa, que he permitido establecer bases sólidas en la proyección de resultados positivos.

Ventajosamente, este proceso no solo aporta bases tecnológicas aplicables, sino que, genera un precedente en la poco conocida, ingeniería de recuperación; que representa para el país un puente económico que evita inversiones millonarias en exportaciones de piezas.

RECOMENDACIONES

- Realizar un estudio técnico situacional, previo al desarrollo de algún proceso de recuperación.
- Instaurar procesos de mantenimiento regulares para evitar que las maquinas colapsen ante fallas menores.
- Contar con personal capacitado para mantenimiento.
- Al revalorar nuestros recursos técnicos-económicos el país puede construir sus propias turbinas hidráulicas y dejar de depender de los países desarrollados.
- Inyectar valor tecnológico a los recursos que posee el país, para implementar nuevos emprendimientos que generen solvencia en la economía ecuatoriana.

BIBLIOGRAFÍA

- Sagñay Castañeda, B. (2013). Obtenido de <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/2439?mode=full>
- Yepes Piqueras, V. (2013). *Universidad politecnica de Valencia*. Obtenido de <https://victoryepes.blogs.upv.es/2017/01/16/turbina-francis/>
- ACERINOX, S.A. (2016). Obtenido de <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn102.html>
- American Welding Society. (2017). Obtenido de https://app.aws.org/forum/topic_show.pl?tid=14942
- Artemenko, Y., Fedyukin, S., & Francis, N. (2014). *Investigation of the processes of surfacing joint faces*.
- Atmosfera Comunicativa. (2015). Obtenido de <http://atmosferacomunicativa.blogspot.com/2012/05/quien-fue-leonardo-da-vinci-y-que.html>
- Begnis, S. (2016). Obtenido de <http://www.metalizadorasifone.com.ar/proceso.html>
- CALAMEO. (2016). *Turbinas Hidraulicas*. Obtenido de <https://es.calameo.com/read/001577264e733fda48f75>
- CELEC. (2016). Obtenido de <https://www.celec.gob.ec/hidroagoyan/index.php/cirt/ingenieria-de-recuperacion-diseno-y-optimizacion>
- Centro Historico de Cordoba. (2013). Obtenido de <http://www.cordobapatrimoniodelahumanidad.com/historia.php>
- Cordova, R. (2015). *Desde la ciencia*. Obtenido de <http://www.uca.edu.sv/deptos/ccnn/dlc/pdf/turbinas.pdf>
- EIA. (2016). *Historia de la rueda hidraulica*. España. Obtenido de http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/maquinashidraulicas/rueda_hidraulica/rueda_hidraulica.html
- Figuroa , F. (2016). *Procesos de cavitación*. Chile.
- Guintini, B. (2015). Obtenido de <https://maquinasyequipos.com.ar/wp-content/uploads/2018/06/Informe-especial-Metalizaci%C3%B3n-por-proyecci%C3%B3n-Edigar.pdf>

- Hernández Cano, H. (2013). *Site of google*. Obtenido de <https://sites.google.com/site/construyetuingenio2013/5-procesos-de-soldadura-y-corte/5-2-soldadura-por-arco-de-metal-y-gas-gmaw>
- Ingemecanica. (2017). *Ingemecanica*. Obtenido de <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn102.html>
- INSA. (2018). *THE MULTIMEDIA CORROSION GUIDE*. Obtenido de http://www.cdcorrosion.com/mode_corrosion/corrosion_erosion_gb.htm
- Llopis Morales, M. (2016). *Repositorio de la universidad de Cartagena*. Obtenido de <http://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/6658/tfg-llobub.pdf?sequence=1>
- Marin Herrera, A. (2015). *Soldaduras y estructuras*. Obtenido de <http://soldadurayestructuras.com/proceso-gmaw.html>
- Moreano Merchán, O. (2013). Obtenido de <https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/90119/D-79619.pdf>
- Nearyou, I. (2014). *Branch*. Obtenido de <http://nearyou.imeche.org/docs/default-source/hong-kong-branch/21-40.p>
- Ortiz , I. (2017). *EIA*. Obtenido de http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/maquinashidraulicas/rueda_hidraulica/rueda_hidraulica.html
- Riba. (2015). Obtenido de https://www2.uned.es/socioestadistica/Practicas_%20ejercicios_guia/practica6.pdf
- Shirit, J. (2016). *Surfacing of Metals: Meaning, Types and Selection | Metallurgy*. Obtenido de <http://www.yourarticlelibrary.com/welding/surfacing/surfacing-of-metals-meaning-types-and-selection-metallurgy/97691>
- Söderberg, A. (2014). *Desgastes usuales en turbinas hidráulicas*. Obtenido de [file:///C:/Users/Day/Downloads/1393541414-530fc126d0bfa%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/Day/Downloads/1393541414-530fc126d0bfa%20(2).pdf)
- Soto Acosta, L. (2015). *EIA*. Obtenido de <http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/interesantes/centraleshidroelectricassoto/centraleshidroelectricassoto.html>
- SPTC. (2015). Obtenido de <https://solucionespracticas.org.pe/cuales-son-las-partes-de-una-turbina-hidraulica>
- Torres, S. (2016). *Bitstream*. Obtenido de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/2632/31091-1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- TRIPOD. (2017). *TRIPOD*. Obtenido de http://members.tripod.com/mqhd_ita.mx/u3.htm
- TWI GLOBAL. (2016). Obtenido de <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/faq-what-is-surfacing/>
- UCA. (2016). Breve historia de las turbinas hidraulicas. *UCA*.
- Universidad politecnica de Valencia. (2015). *Turbinas Francis*. Valencia, España: Universidad politecnica de Valencia.
- WKV Inc. (2015). *WKV Inc*. Obtenido de <https://www.wkv-ag.com/es/contacto-y-servicio/declaracion-de-privacidad.html>
- Zuluaga Salazar, J. (2015). Obtenido de <http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/maquinashidraulicas/turbinas/turbinas.html>

Urkund Analysis Result

Analysed Document: FINAL DE PROPUESTA QUIÑÓNEZ MORÁN LEONEL
EDUARDO.docx (D42647403)
Submitted: 10/17/2018 1:31:00 AM
Submitted By: ecarrasqueror@unemi.edu.ec
Significance: 6 %

Sources included in the report:

TESIS COMPLETA.docx (D42647291)
Trabajo de Investigación en Turbinas.docx (D40779844)
<https://victoryepes.blogs.upv.es/2017/01/16/turbina-francis/>
<https://sites.google.com/site/construyetuingenio2013/5-procesos-de-soldadura-y-corte/5-2-soldadura-por-arco-de-metal-y-gas-gmaw>
<http://soldadurayestructuras.com/proceso-gmaw.html>
<https://solucionespracticas.org.pe/cuales-son-las-partes-de-una-turbina-hidraulica>
<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/2632/31091-1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
http://members.tripod.com/mqhd_ita.mx/u3.htm
<http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/maquinashidraulicas/turbinas/turbinas.html>

Instances where selected sources appear:



Milagro, 23 de octubre del 2018

REGISTRO DE ACOMPAÑAMIENTOS

Inicio: 10-07-2018 Fin 15-01-2019

FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERIA

CARRERA: INGENIERÍA INDUSTRIAL

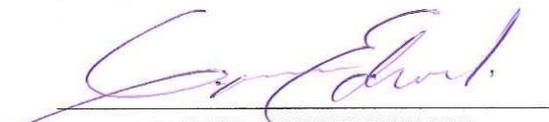
Línea de investigación: PRODUCCIÓN Y MATERIALES INDUSTRIALES

TEMA: "ALTERNATIVAS TECNOLOGICAS EMPLEADAS PARA LA RECUPERACIÓN DE COMPONENTES DE TURBINAS HIDROELECTRICAS: UNA REVISIÓN DEL ESTADO DEL ARTE"

ACOMPAÑANTE: CARRASQUERO RODRIGUEZ EDWUIN JESUS

| DATOS DEL ESTUDIANTE | | | |
|----------------------|-------------------------------|------------|-----------------------|
| Nº | APELLIDOS Y NOMBRES | CÉDULA | CARRERA |
| 1 | QUIÑONEZ MORAN LEONEL EDUARDO | 1206317883 | INGENIERÍA INDUSTRIAL |

| Nº | FECHA | HORA | | Nº HORAS | DETALLE |
|----|------------|--------------------|-----------------|----------|--|
| 1 | 2018-30-08 | Inicio: 11:00 a.m. | Fin: 13:00 p.m. | 2 | REVISIÓN DE TEMATICA A DESARROLLAR |
| 2 | 2018-24-09 | Inicio: 09:10 a.m. | Fin: 11:10 a.m. | 2 | REVISIÓN DE FUNDAMENTO TEORICO |
| 3 | 2018-26-09 | Inicio: 14:08 p.m. | Fin: 18:08 p.m. | 4 | REVISIÓN DE FUNDAMENTO TEÓRICO |
| 4 | 2018-04-10 | Inicio: 09:12 a.m. | Fin: 12:12 p.m. | 3 | REVISIÓN DE CAPITULO III |
| 5 | 2018-05-10 | Inicio: 15:34 p.m. | Fin: 17:34 p.m. | 2 | REVISIÓN DE MATRIZ DE DESICIÓN |
| 6 | 2018-08-10 | Inicio: 16:04 p.m. | Fin: 18:04 p.m. | 2 | REVISIÓN DE CAPITULO IV |
| 7 | 2018-09-10 | Inicio: 11:34 a.m. | Fin: 13:34 p.m. | 2 | REVISIÓN DE CAPITULO V |
| 8 | 2018-10-10 | Inicio: 18:34 p.m. | Fin: 21:34 p.m. | 3 | REVISIÓN DE CONCLUSIONES Y TRABAJO FINAL |


 CARRASQUERO RODRIGUEZ EDWUIN JESUS
 PROFESOR(A)


 BUCHELI CARPIO LUIS ANGEL
 DIRECTOR(A)


 QUIÑONEZ MORAN LEONEL EDUARDO
 ESTUDIANTE