



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA
INDOAMÉRICA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍAS DE LA
INFORMACIÓN Y LA COMUNICACIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

TEMA:

**“ESTANDARIZACIÓN DEL PROCESO DE RECUPERACIÓN DEL
RODETE TIPO FRANCIS DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA SAN
FRANCISCO”**

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Industrial bajo la modalidad de Propuesta Metodológica.

Autor:

Ubilluz Garcés Carlos Adrián

Tutor:

Ing. Cuenca Navarrete Leonardo Guillermo, Mg.

AMBATO-ECUADOR
2019

**AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL AUTOR PARA LA CONSULTA,
REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN
ELECTRÓNICA DEL TRABAJO DE TÍTULACIÓN**

Yo, Ubilluz Garcés Carlos Adrián, declaro ser autor del Trabajo de Titulación con el nombre **“ESTANDARIZACIÓN DEL PROCESO DE RECUPERACIÓN DEL RODETE TIPO FRANCIS DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA SAN FRANCISCO”**, como requisito para optar al grado de Ingeniero Industrial y autorizo al Sistema de Bibliotecas de la Universidad Tecnológica Indoamérica, para que con fines netamente académicos divulgue esta obra a través del Repositorio Digital Institucional (RDI-UTI).

Los usuarios del RDI-UTI podrán consultar el contenido de este trabajo en las redes de información del país y del exterior, con las cuales la Universidad tenga convenios. La Universidad Tecnológica Indoamérica no se hace responsable por el plagio o copia del contenido parcial o total de este trabajo.

Del mismo modo, acepto que los Derechos de Autor, Morales y Patrimoniales, sobre esta obra, serán compartidos entre mi persona y la Universidad Tecnológica Indoamérica, y que no tramitaré la publicación de esta obra en ningún otro medio, sin autorización expresa de la misma. En caso de que exista el potencial de generación de beneficios económicos o patentes, producto de este trabajo, acepto que se deberán firmar convenios específicos adicionales, donde se acuerden los términos de adjudicación de dichos beneficios.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Ambato, a los 9 días del mes de septiembre de 2019, firmo conforme:

Autor: Ubilluz Garcés Carlos Adrián

Firma:

Número de Cédula: 1803408523

Dirección: Tungurahua, Ambato, Ficoa, calle Las Limas y Fresas

Correo Electrónico: adrianubi@yahoo.com

Teléfono: 0987040854

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Titulación “**ESTANDARIZACIÓN DEL PROCESO DE RECUPERACIÓN DEL RODETE TIPO FRANCIS DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA SAN FRANCISCO**” presentado por Ubilluz Garcés Carlos Adrián, para optar por el Título de Ingeniero Industrial.

CERTIFICO

Que dicho trabajo de investigación ha sido revisado en todas sus partes y considero que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del Tribunal Examinador que se designe.

Ambato, 9 de septiembre de 2019

.....
Ing. Cuenca Navarrete Leonardo Guillermo, Mg.

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Quien suscribe, declaro que los contenidos y los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación, como requerimiento previo para la obtención del Título de Ingeniero Industrial, son absolutamente originales, auténticos y personales y de exclusiva responsabilidad legal y académica del autor.

Ambato, 9 de septiembre de 2019

.....
Ubilluz Garcés Carlos Adrián

CC: 1803408523

APROBACIÓN TRIBUNAL

El trabajo de Titulación, ha sido revisado, aprobado y autorizada su impresión y empastado, sobre el Tema: **“ESTANDARIZACIÓN DEL PROCESO DE RECUPERACIÓN DEL RODETE TIPO FRANCIS DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA SAN FRANCISCO”**, previo a la obtención del Título de Ingeniero Industrial, reúne los requisitos de fondo y forma para que el estudiante pueda presentarse a la sustentación del trabajo de titulación.

Ambato, 9 de septiembre de 2019

.....

Ing. Naranjo Mantilla Olga Marisol, Mg.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

.....

Ing. Tierra Arévalo José Marcelo, M.Sc.
VOCAL

.....

Ing. Espinosa Pinos Carlos Alberto, Mg.
VOCAL

DEDICATORIA

Al padre eterno, que me ha protegido siempre.

A mi esposa Jimena por su aliento constante, por su ayuda desinteresada, a mis hijas Camila, Salomé e Isabella por su apoyo, comprensión y amor.

A mis padres quienes me inculcaron el ímpetu de superación y consecución de logros.

Carlos Adrián

AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento a la Facultad de Ingeniería y Tecnologías de la Información y la Comunicación de la Universidad Tecnológica Indoamérica por prepararme como profesional y ser humano.

A los docentes de la carrera de Ingeniería Industrial por compartir sus conocimientos experiencias en el ámbito profesional, fueron de gran aporte a mi crecimiento.

A CELEC EP Hydroagoyán, a sus profesionales por apoyarme en el desarrollo de la presente propuesta metodológica.

A todas las personas que en su momento me brindaron su apoyo para cumplir una meta más en mi formación académica.

GRACIAS

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

Portada	i
AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL AUTOR PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TRABAJO DE TÍTULACIÓN	ii
APROBACIÓN DEL TUTOR.....	iii
DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD.....	iv
APROBACIÓN TRIBUNAL.....	v
DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xii
ÍNDICE DE GRÁFICOS	xiii
ÍNDICE DE IMÁGENES	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS	xv
RESUMEN EJECUTIVO.....	xvi
ABSTRACT	xvii

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

Tema:	1
Introducción.....	1
Antecedentes	3
Justificación.....	5
Objetivo General.....	6
Objetivos Específicos.....	6

CAPITULO II
INGENIERÍA DEL PROYECTO

Diagnóstico de la situación actual	7
Proceso de recuperación actual del rodete tipo Francis	11
Inspección in situ	14
Verificación de factibilidad	14
Elaboración de proforma, cronograma	15
Transportar al rodete hasta el CIRT	15
Realizar una limpieza general del rodete recibido	15
Control de Calidad Inicial	16
Corte de sección de álabes	18
Maquinado	19
Soldadura para la reparación áreas desgastadas	20
Desbaste de soldadura	21
Montaje de insertos metálicos	22
Desbaste de soldadura de insertos	23
Tratamiento Térmico	24
Pulido final	25
Maquinado final	25
Control de calidad Final	25
Balanceamiento Estático del rodete	26
Opciones para la reparación del rodete tipo Francis	27
Reparación del rodete tipo Francis en el exterior	27
Reparación del rodete en el país	27
Selección del método de reparación	28
Área de estudio	29

Modelo operativo.....	29
Desarrollo del modelo operativo	30

CAPÍTULO III

PROPUESTA Y RESULTADOS ESPERADOS

Descripción de la turbina tipo Francis	35
Rodete.....	37
Plan Piloto	40
Estandarización del proceso de recuperación del rodete tipo Francis de la Central Hidroeléctrica San Francisco.....	43
Datos Informativos de la Empresa.....	43
Antecedentes	43
Objetivo:.....	45
Alcance:	45
Desarrollo:	45
Descripción de formatos	68
Formatos Fase 1: Gestión del Proyecto de recuperación de turbina.....	70
Formatos Fase 2: Procedimientos y formatos para la estandarización del proceso de recuperación del rodete tipo Francis	72
Indicadores de Control de Calidad	72
Resultados esperados	76
Costo y Administración	81

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones:	82
---------------------	----

Recomendaciones:	83
Bibliografía.....	84
ANEXOS.....	86

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Distribución del tiempo en procedimientos de recuperación.	51
Tabla 2: Actividades en la Inspección Inicial in situ.	52
Tabla 3: Inspección Inicial in situ.	53
Tabla 4: Actividades de Control de Calidad Inicial.	54
Tabla 5: Control de Calidad Inicial.	55
Tabla 6: Actividades para el pulido.	56
Tabla 7: Pulido inicial o desbaste de material fatigado.	57
Tabla 8: Actividades para soldadura.	58
Tabla 9: Soldadura del rodete.	59
Tabla 10: Actividades para el Mecanizado	60
Tabla 11: Mecanizado.	61
Tabla 12: Actividades para Tratamiento Térmico.	62
Tabla 13: Tratamiento Térmico.	63
Tabla 14: Actividades para el Balanceamiento Estático.	64
Tabla 15: Balanceamiento estático.	65
Tabla 16: Actividades para pruebas finales de Control de Calidad.	66
Tabla 17: Pruebas finales de control de calidad.	67
Tabla 18: Lista de formatos actuales.	70
Tabla 19: Matriz de Indicadores de Control y de Calidad	73
Tabla 20: Resultados esperados.	77
Tabla 21: Cuadro comparativo del proceso de recuperación del rodete.	78
Tabla 22: Cronograma de actividades enero a junio 2019.	80
Tabla 23: Costo de la propuesta.	81

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Modelo operativo.	29
Gráfico 2: Proceso actual de soldadura de rodete tipo Francis	41
Gráfico 3: Proceso propuesto de soldadura de rodete tipo Francis	42
Gráfico 4: Cadena de Valor CIRT	46
Gráfico 5: Procesos agregadores de Valor CIRT	47
Gráfico 6: Procesos agregadores de Valor CIRT	48
Gráfico 7: Responsables de Operaciones del CIRT	49
Gráfico 8: Flujograma de la Recuperación de rodets tipo Francis.....	50
Gráfico 9: Manejo del proyecto de recuperación de rodete tipo Francis	68

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1: Nave Industrial del CIRT.....	8
Imagen 2: Laboratorios del CIRT.....	9
Imagen 3: Vista aérea de la nave industrial del CIRT.....	9
Imagen 4: Rodete Francis en la Central Hidroeléctrica de origen.....	14
Imagen 5: Desgaste por cavitación en álabes del rodete.....	16
Imagen 6: Comparación del desgaste con plantillas.....	16
Imagen 7: Ensayo de Partículas Magnéticas.....	18
Imagen 8: Corte de secciones fatigadas de álabes fijos.....	19
Imagen 9: Maquinado del rodete Francis con el torno vertical.....	20
Imagen 10: Soldadura de relleno en talón de álabe y el filo de la corona del rodete.....	21
Imagen 11: Desbaste de soldadura en filo de la corona del rodete Francis.....	21
Imagen 12: Juntas biseladas para soldadura de insertos de álabes fijos.....	22
Imagen 13: Soldadura de insertos metálicos en el rodete.....	23
Imagen 14: Desbaste de soldadura de insertos.....	24
Imagen 15: Rodete Francis en el horno para tratamiento térmico.....	24
Imagen 16: Prueba de ultrasonido en el rodete Francis.....	26
Imagen 17: Balanceamiento estático del rodete Francis.....	26
Imagen 18: Turbina Francis de eje vertical y horizontal.....	36
Imagen 19: Partes de una Turbina tipo Francis.....	37
Imagen 20: Rodete tipo Francis.....	38
Imagen 21: Situación generalizada de una Turbina Francis.....	39
Imagen 22: Partes del rodete tipo Francis.....	78

ÍNDICE DE ANEXOS

- Anexo 1:** Guión de entrevista
- Anexo 2:** Formato para el seguimiento del proyecto
- Anexo 3:** Formato para presupuesto del proyecto
- Anexo 4:** Formato de lista de tareas
- Anexo 5:** Formato de seguimiento de errores
- Anexo 6:** Formato de control de horas
- Anexo 7:** Formato de gestión de riesgos
- Anexo 8:** Formato panel de gestión de proyectos
- Anexo 9:** Procedimiento para Inspección inicial
- Anexo 10:** Procedimiento para Ensayos no destructivos
- Anexo 11:** Procedimiento para Pulido inicial o desbaste de material fatigado
- Anexo 12:** Procedimiento para Soldadura del rodete
- Anexo 13:** Procedimiento para Mecanizado
- Anexo 14:** Procedimiento para Tratamiento térmico
- Anexo 15:** Procedimiento para Balanceamiento estático.
- Anexo 16:** Procedimiento para Pruebas finales de control de calidad.
- Anexo 17:** Estándares de calidad manejados en el CIRT

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍAS DE LA
INFORMACIÓN Y LA COMUNICACIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

TEMA: “ESTANDARIZACIÓN DEL PROCESO DE RECUPERACIÓN DEL RODETE TIPO FRANCIS DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA SAN FRANCISCO”

AUTOR: Ubilluz Garcés Carlos Adrián

TUTOR: Ing. Cuenca Navarrete Leonardo Guillermo, Mg.

RESUMEN EJECUTIVO

Para la estandarización del proceso de recuperación del rodete tipo Francis de la Central Hidroeléctrica San Francisco, se partió de la situación actual, en la cual si bien es cierto ya existen procedimientos para dicho proceso, pero son de forma generalizada para lo que se refiere a la reparación de turbinas y partes industriales. Por ello se planteó como objetivos con base en el diagnóstico de la situación actual, realizar un análisis comparativo de opciones de reparación del rodete y determinar los procedimientos y controles estandarizados para el proceso específico de recuperación de dicho rodete. Mediante una metodología de investigación de campo se recopiló la información existente y necesaria, tomando en cuenta las experiencias vividas por los trabajadores en anteriores mantenimientos; así como la revisión de documentos y registros existentes hasta ese momento, con ello se optimizaron los procedimientos mediante reuniones sostenidas con los usuarios directos, llegando a estructurar los estándares de tal forma que sean claros, concisos y abarquen todos los aspectos técnicos y económicos necesarios para planear oportunamente la recuperación de turbinas Francis, haciendo énfasis en las recomendaciones del PMI en la primera fase y de las 5M's en la segunda fase del proceso de recuperación del rodete de la turbina Francis. Una importante conclusión es saber los beneficios que traerá el contar con procedimientos, formatos de registro de control e indicadores de calidad estandarizados bajo normativas como la CCH 70-4, en la optimización de recursos reflejados en la parte de Gestión Integral del CIRT. Lo que permitirá un ahorro en tiempo de aproximadamente de cuatro meses en el caso de reparación en el exterior y en el caso de adquirir un nuevo de cuarenta y dos meses; en el aspecto económico un ahorro de 800.000.00 dólares en el primer caso y de 3.860.000.00 dólares en el segundo caso.

DESCRIPTORES: Central hidroeléctrica, estandarización, recuperación del rodete, turbina.

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍAS DE LA
INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

THEME: “STANDARDIZATION OF THE FRANCIS-TYPE RODETE RECOVERY PROCESS OF THE SAN FRANCISCO HYDROELECTRIC PLANT”

AUTHOR: Ubilluz Garcés Carlos Adrián

TUTOR: Ing. Cuenca Navarrete Leonardo Guillermo, Mg.

ABSTRACT

For the standardization of the recovery process of the Francis-type impeller of the San Francisco Hydroelectric Power Plant, the investigation was based on its current situation, in which although it is true that there are already procedures, it is also true that regarding the repair of turbines and industrial parts they are mostly generalized. Therefore, the objectives were based on the diagnosis of the current situation, carrying out a comparative analysis of options for repairing the impeller and determining the standardized procedures and controls for the specific recovery process of such impeller. Through a field research methodology, taking into account the experiences lived by the workers in previous maintenance, the existing and necessary information was collected; as well as the review of existing documents and records up to that time; with this, the procedures were optimized through meetings held with direct users, structuring the standards in such a way that they are clear, concise and cover all the technical and economic aspects necessary to promptly plan the recovery of Francis turbine, also emphasizing the recommendations of the PMI (Project Management Institute) in the first phase and the 5M's in the second phase of the Francis turbine impeller recovery process. An important conclusion is to know the benefits of having procedures, control registration formats and standardized quality indicators under regulations such as CCH 70-4, in the optimization of resources reflected in the Integral Management part of the CIRT (“*Centro de Investigación y Recuperación de Turbinas Hidráulicas y Partes Industriales*”). What will allow saving time, approximately four months in the case of repairing it abroad, and forty-two months in the case of acquiring a new one; in the economic aspect there is a saving of 800,000.00 dollars in the first case and 3,860,000.00 dollars in the second case.

KEYWORDS: hydroelectric power plant, impeller recovery, standardization, turbine.

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

Tema:

“Estandarización del proceso de recuperación del rodete tipo Francis de la Central Hidroeléctrica San Francisco”.

Introducción

“La Corporación Eléctrica del Ecuador CELEC EP, fundó el Centro de Investigación y Recuperación de Turbina Hidráulicas y Partes Industriales CIRT, con el objetivo de proporcionar servicios especializados en ingeniería, debido también a la progresiva demanda del sector eléctrico del Ecuador, a las existentes en la actualidad y a futuras centrales de generación eléctrica, basados en políticas gubernamentales que buscan fomentar la soberanía, ser más eficientes y apoyar el cambio de la matriz energética con el desarrollo y el uso de tecnologías, prácticas ambientales amigables, limpias y sanas” (CELEC EP, 2017).

“El crecimiento de la industria energética, especialmente de las hidroeléctricas, hace predecir que a corto o mediano plazo, los componentes de las turbinas hidráulicas obligadamente deberán pasar por un proceso de reparación o recuperación de sus componentes desgastados o en su integridad puedan existir daños ocasionados por los mecanismos de fatiga o por haber cumplido con su ciclo de vida útil” (CELEC EP, 2017).

“En la innovación hacia el desarrollo, el CIRT actualmente se encuentra realizando esfuerzos profundos para solventar la problemática que provoca el desgaste de los componentes, que es una condición que no se puede evitar desde que comienza su funcionamiento, sumados a esto el surgimiento de ciertos fenómenos como la cavitación, la erosión, las picaduras “pitting”, la corrosión; entre otros, que llevan a una disminución del periodo de sus componentes y que pueden comprometer la integridad del componente y en sí de la máquina (Turbina) por el surgimiento de defectos como las fisuras que son ocasionadas esencialmente por la fatiga del material” (CELEC EP, 2017).

El aparecimiento de nuevas tecnologías en la construcción de rodetes que combina la fundición de partes con otros componentes fabricados que más tarde son soldados entre sí. Así mismo, en ciertas áreas los rodetes son recubiertos con materiales cerámicos como lo es el carburo de tungsteno que buscan proporcionar mayor resistencia al desgaste. Entre los materiales que son utilizados para el diseño y fabricación de rodetes de las turbinas se tiene el ASTM A743 GR. CA6NM, que es un acero inoxidable martensítico 13-4, que suministra una buena soldabilidad, resistencia a la cavitación y alta resistencia mecánica.

Al manejar un material de aporte martensítico para poder soldar sobre este tipo de material, se requiere de una elevada temperatura de precalentamiento y de un tratamiento térmico post-soldadura para de esta manera evitar el agrietamiento debido principalmente a la generación de tensiones. Se puede realizar reparaciones en campo utilizando material de soldadura austenítica con un mínimo de precalentamiento y sin realizar tratamiento térmico post-soldadura; no obstante, el material depositado no va a tener la misma resistencia mecánica que el CA6NM.

Para que se pueda determinar la factibilidad y fiabilidad de un proyecto de reparación o recuperación de un rodetes deteriorado, es necesario aplicar y cumplir estrictamente con un plan de control y aseguramiento de la calidad.

Antecedentes

Los trabajos de recuperación de los rodetes hidráulicos de la Unidad de Negocios Hidroagoyán se lo realizaba en otros países con el consecuente costo por trabajo de recuperación, de importación y el transporte (envió/recepción del rodete), o en otros casos se lo reemplazaba por un nuevo con altos precios y costos de importación.

En el año 2017 se inauguró el CIRT (Centro de Investigación y Recuperación de Turbinas Hidráulicas y partes Industriales), perteneciente a la Unidad de Negocios Hidroagoyán del CELEC EP ubicado en el cantón Baños, en este centro se realizan investigaciones y trabajos con el objetivo de recuperar o mejorar las propiedades de los rodetes.

Estos trabajos de recuperación se realizan bajo normas internacionales y requerimientos de cada Unidad de Negocios sin que existan al momento documentos y formatos oficiales que permitan obtener indicadores con los cuales sea posible demostrar que existe una ventaja al realizar los trabajos de recuperación en el país, con estos formatos se podrá implementar un proceso estandarizado que permita evidenciar que la recuperación constituye un ahorro, una medida preventiva para un gasto mayor futuro.

Cabe mencionar que todas las partes principales de una turbina están sujetas a depreciación contable, dependiendo de qué central proviene, tiene un rango de depreciación; por ejemplo el rodete de la central hidroeléctrica Agoyán se está depreciando alrededor de 6 a 7 años, donde al cabo de ese tiempo el rodete tiene un precio contable de 0 (cero), por lo que antes lo único que se hacía es cambiar por un rodete nuevo; el mismo que se tenía que comprar con mucho tiempo de anticipación y esos costos eran inflados, ya que no era el costo real del rodete sino también iba incluido el costo de lucro cesante (lo que se dejaría de percibir si el rodete no se entregaría).

Los rodetes de todas las hidroeléctricas son específicos, no son producidos en línea sino bajo pedido, por eso se demora entre 2 a 3 años con todos los gastos de internación. Eso significa que una unidad fuera de servicio 1 año, el lucro cesante es enorme, en ese caso lo que se hacía era solicitar la fabricación del rodete con anticipación, se depreciaba con anterioridad y los rodetes salían de funcionamiento declaradas chatarra; por eso se consideró el proyecto del CIRT, el fin del proyecto de recuperación está tomando en cuenta como el costo de un nuevo rodete.

En Latinoamérica no existe un taller que garantice que los trabajos de recuperación de un rodete se asimile a un rodete nuevo, por eso no existe datos de recuperación integral, se probó en una ocasión la recuperación de un rodete tipo Francis de la central Agoyán en un taller en Chile, pero no se obtuvo los resultados deseados, ya que se realizó unos trabajos de recuperación que se tenía que rectificar en cada mantenimiento trimestral de la Unidad.

La idea es que siempre se está tomando en cuenta un rodete nuevo, pero si se quiere tomar en consideración una reparación lo más práctico, sería mandarlo a Europa y lo que significa mandar un rodete a ese continente en cuestión de tiempo y gastos, primero de lucro cesante y después de transportación es relativamente grande.

Si es que se enviara a recuperar en Europa se debería tomar en cuenta una empresa grande como ANDRITZ, ya que se hizo una consulta para la recuperación de un rodete en \$1.500.000, en el CIRT se lo recuperaría en \$500.000, y este rodete nuevo tiene un costo de \$3.500.000.

En el CIRT, su horizonte de recuperación está tomando en consideración como un rodete nuevo (costo de oportunidad), lo que costaría uno nuevo, ya que la política del CELEC es comprar un rodete nuevo y lo que se hace en el CIRT en la recuperación son los primeros pasos en miras para ser fabricantes de rodetes.

Una vez realizado el estudio se obtendrá resultados que permitirán demostrar a través de indicadores la eficiencia operativa que prevendrá pérdidas y permitirán mayor ahorro, con el objetivo de que no se considere al mantenimiento como un gasto.

Justificación

La falta de un proceso y la documentación del mismo para la aplicación de estándares en la recuperación del rodete de la central hidroeléctrica San Francisco provoca que dicho proceso de reparación no llegue al nivel adecuado (100%), por eso la **importancia** de la realización de la presente propuesta para la recuperación de un rodete en el cual se estandarice los procesos y se unifique acciones, sirviendo de guía para el mejoramiento continuo del CIRT.

Una vez que se cuente con los procesos y formatos aplicados en la realidad del trabajo de mantenimiento del rodete tipo Francis de la central hidroeléctrica San Francisco se podrá contar con información acerca de los costos, tiempos e incremento de la calidad y con el paso del tiempo una **utilidad** que se reflejará en el prestigio que ganará el CIRT, incluso se podrá ofertar estos trabajos a países vecinos, dando la oportunidad de adiestrarse al talento humano nacional.

Los **beneficios** serán: Al CIRT, al tener estandarizados y documentado sus procesos para la reparación de rodetes tipo Francis que servirá como línea base para la reparación de otros rodetes de mayor o menor potencia, la experiencia que se va a adquirir y la satisfacción de realizar trabajos de igual o mejor calidad que los realizados en otros países.

También se verá beneficiada la Unidad de Negocio Hidroagoyán, por ser la pionera en crear un proyecto de una nave industrial donde se realiza investigaciones para la reparación de turbinas hidráulicas. Y por conseguir una meta que se verá reflejada en el incremento de sus índices de gestión.

Este trabajo es **factible** de ser desarrollado por que se cuenta con el apoyo por parte de los directivos de la empresa, se cuenta con el presupuesto y los conocimientos de los técnicos en cuanto a los procesos de reparación de los rodets. De igual manera se cuenta con el acceso a documentación y el testimonio del personal con mayor experiencia en el CIRT.

Objetivo General

Estandarizar el proceso de recuperación del rodete tipo Francis de la Central Hidroeléctrica San Francisco.

Objetivos Específicos

- Diagnosticar la situación actual del proceso de recuperación del rodete tipo Francis de la Central Hidroeléctrica San Francisco.
- Realizar un análisis comparativo de opciones de reparación para un rodete Francis de la Central hidroeléctrica San Francisco.
- Determinar los procedimientos y controles estandarizados para el proceso de recuperación del rodete tipo Francis de la Central Hidroeléctrica San Francisco, ejecutado por el CIRT.

CAPITULO II

INGENIERÍA DEL PROYECTO

Diagnóstico de la situación actual

El Centro de Investigación y Recuperación de Turbinas Hidráulicas y partes Industriales CIRT fue inaugurado el 22 de mayo de 2017.

Es el único Centro de Investigación en el Ecuador, cuenta con tecnología de punta y mano de obra nacional muy capacitada en donde se reparan partes de turbinas que en el pasado se lo realizaba fuera del país con altos costos y por largos periodos de tiempo representando un ahorro económico aproximado del 65.6% del precio al enviarlos al extranjero para su recuperación sin contar con los gastos de envío, seguro; ya que el costo de recuperación fuera del país es de un \$1.440.000, y el costo de recuperación en el CIRT es de \$640.000. De esta manera se evidencia el ahorro y también la reducción de los tiempos de entrega, evitando que las unidades generadoras se paralicen por más tiempo en los mantenimientos. (CELEC EP, 2017)

Misión del CIRT: “Investigamos y desarrollamos soluciones para la reparación, mejoramiento y construcción de turbinas hidráulicas y partes industriales garantizando la disponibilidad, confiabilidad y eficiencia en las piezas intervenidas, apoyándonos en altos estándares de calidad y eficiencia, con el aporte de su talento humano comprometido y competente, actuando responsablemente con la comunidad y el medio ambiente”. (CELEC EP, 2017)

Visión: “Ser una empresa pública líder en la investigación, desarrollo, innovación y fabricación de turbinas hidráulicas y partes industriales para alcanzar la independencia tecnológica del Ecuador”. (CELEC EP, 2017)

Objetivos Corporativos: “El CIRT tiene como objetivo general proponer al sector eléctrico, a la industria privada del país un servicio especializado, con equipamiento de última tecnología y personal joven plenamente capacitado. Y propiciar de esta manera uno de los objetivos del Gobierno que es la desagregación tecnológica”. (CELEC EP, 2017)

Edificio: La infraestructura del CIRT se encuentra distribuida en un área total de 1400 metros cuadrados, con un ancho útil de 24 metros y longitud de 42 metros y está construida bajo diseño de nave industrial como se observa en la Imagen 1.



Imagen 1: Nave Industrial del CIRT.

Laboratorios: El CIRT cuenta con laboratorios de metalografía y microscopia de barrido electrónico. Ver Imagen 2.



Imagen 2: Laboratorios del CIRT.

Lugar del programa o proyecto: El Centro de Investigación y Recuperación de Turbinas Hidráulicas y partes Industriales “CIRT” de la Unidad de Negocio Hidroagoyán CELEC EP, se localiza en el Km 5 ½ Vía Baños-Puyo, en el cantón Baños de Agua Santa, Provincia de Tungurahua. Ver Imagen 3.



Imagen 3: Vista aérea de la nave industrial del CIRT.

Información Tecnológica: Dentro de la nave se desarrolla procesos de ingeniería de recuperación con software especializados CAD (Ingeniería inversa y Diseño Asistido por Computadora), CAM (Manufactura Asistida por Computadora) y CAE (Ingeniería Asistida por Computadora).

Clientes: Los principales clientes son las Unidades de negocio que poseen centrales hidroeléctricas que son empresas públicas además de las centrales hidroeléctricas privadas.

Beneficiarios: El Estado ecuatoriano y la empresa privada.

Servicio: La recuperación de rodets de turbinas que ofrece el CIRT es muy útil para la producción de energía eléctrica del país ya que se minimiza al máximo el tiempo recuperación y montaje al contar con la mejor tecnología y profesionalismo al alcance de todas las Centrales Hidroeléctricas del Ecuador. Estos trabajos de recuperación se lo realizan con procedimientos acorde con normas internacionales.

En lo que va transcurrido desde la puesta en marcha del CIRT, Se han recuperado 5 rodets, de las cuales 3 son tipo Pelton, 1 perteneciente a la central Paute y 2 a Pucará; también se han recuperado 2 rodets tipo Francis: 1 de la central Alao y 1 de Termopichincha.

Al momento se encuentran 3 rodets tipo Francis en proceso de recuperación, de las centrales Coca Codo Sinclair, Agoyán y San Francisco.

El CIRT ha prestado servicio a las siguientes centrales y empresas de generación.

Coca Codo Sinclair, Manduriacu, Delsitanisagua, Termopichincha, Daule Peripa, (Marcel Laniado de Wind), Empresa Eléctrica Ambato, Empresa Eléctrica Quito, Empresa Eléctrica Riobamba, Fundireciclar y Tiazhmash (Rusia).

“CELEC EP Hidroagoyán, a través de su Centro de Investigación y Recuperación de turbinas hidráulicas y partes industriales CIRT, hizo la entrega del rodete Pelton recuperado integralmente a la central hidroeléctrica Pucará, el mismo que fue instalado y se encuentra en operación, entregando 36.5MW de energía

eléctrica al Sistema Nacional Interconectado”. (Corporación Eléctrica del Ecuador , 2018)

“La recuperación del rodete, realizado en un período de seis meses, significa un importante ahorro para el país. Según un análisis de costos, solo se empleó un 30% del valor de un rodete nuevo, es decir, se economizó el 70%”. (Corporación Eléctrica del Ecuador , 2018)

“Los técnicos realizaron trabajos como: macro ataque para identificación de material de soldadura anterior, ensayos de tintas penetrantes, partículas magnéticas y ultrasonido con arreglo de fases, escaneado total para levantar el perfil antes de ser intervenido y compararlo con el perfil nominal, saneamiento de los defectos encontrados, pulido, soldadura de relleno para recuperación del perfil nominal y pulido para obtener el acabado correspondiente según planos, tratamiento térmico y balanceamiento estático; estos y otros procesos adicionales lograron la mejora de la eficiencia del rodete y extendieron su vida útil 10 años más”. (Corporación Eléctrica del Ecuador , 2018)

Al momento, en el CIRT está reparando los rodetes Francis de las centrales Agoyán, San Francisco y de la central Lumbaqui; y el rodete Pelton de la central Molino, todos estos pertenecientes a las Unidades de Negocio de CELEC EP.

Proceso de recuperación actual del rodete tipo Francis

Antes de la existencia del CIRT las empresas generadoras de energía eléctrica se veían en la obligación de contratar servicios de reparación y recuperación de turbinas y partes industriales fuera del país; En centros especializados de Brasil, Chile, Alemania o Japón, lo que ocasionaba una inversión económica muy considerable con un tiempo de espera de aproximadamente de 12 meses, o en su defecto incurrir en la compra de un nuevo rodete.

A partir de la creación del CIRT en el año 2017 la reparación y recuperación de rodets se han venido realizando en dichas instalaciones siguiendo procedimientos en forma general establecidos bajo normas internacionales. Sin embargo no se cuenta con procedimientos específicos de control y cumplimiento de planificación, tiempo, costo y calidad lo que podría ocasionar una pérdida de competitividad y credibilidad, haciendo que se vuelva a realizar dichas reparaciones en otros países, o la adquisición de nuevos rodets.

A continuación en el Gráfico 1, se describe el proceso actual de recuperación del rodete tipo Francis, en el que se podrá observar la ausencia de controles y registros del proceso.

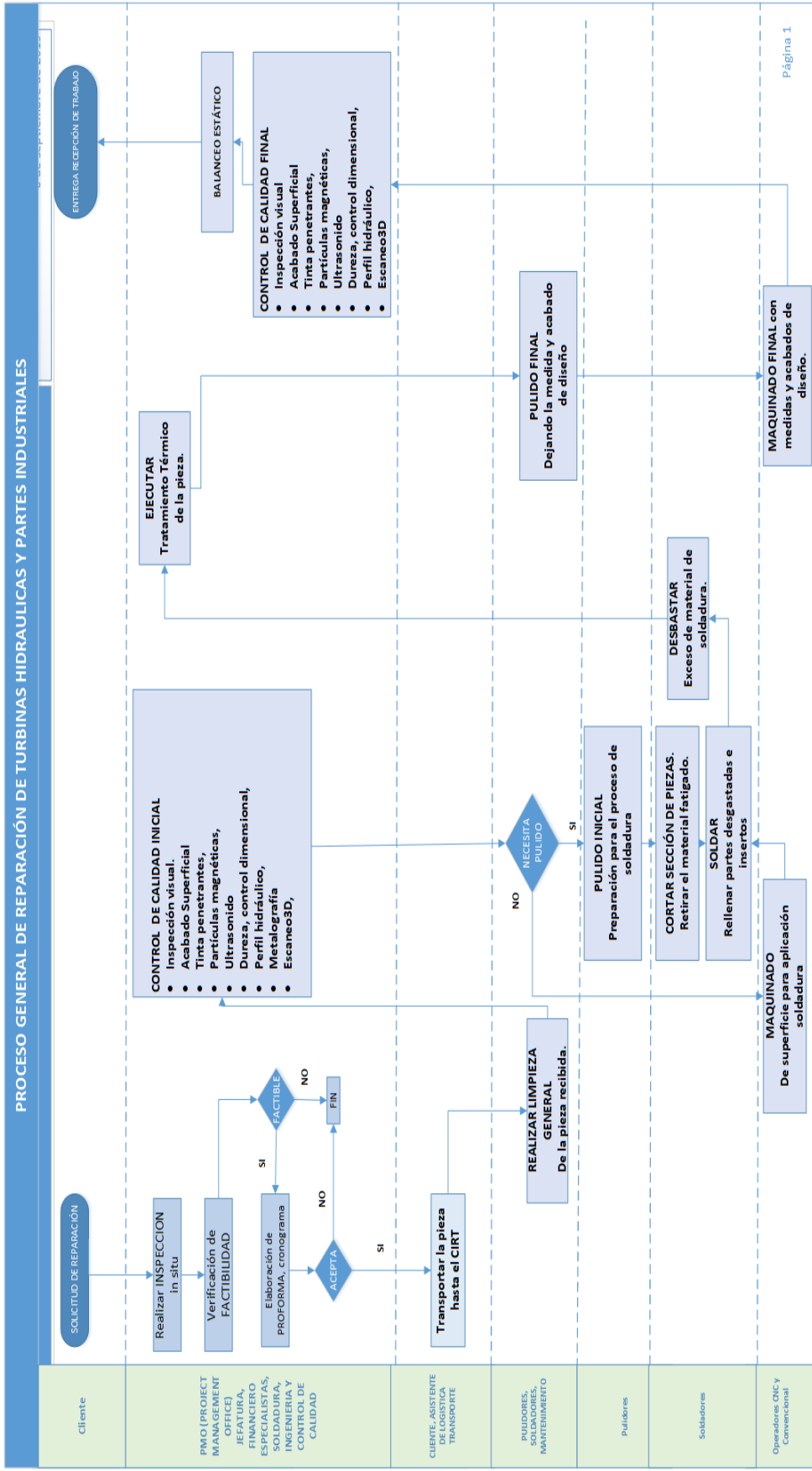


Gráfico 1: Proceso Actual de la recuperación de turbinas y partes industriales.
Elaborado por: Carlos Ubilluz

Inspección in situ

En esta inspección sirve para observar cual es la condición en la que se encuentra el rodete, tomando en cuenta parámetros relevantes para programar los trabajos a realizar.

En la inspección se prioriza la siguiente información:

- Tipo de rodete
- Diámetro, peso y altura máxima de rodete. (Este dato servirá para verificar que el trabajo de reparación sea factible de realizarlo en el CIRT, así como para la logística del transporte).
- Numero de alabes fijos.

En la Imagen 4, se puede observar un rodete tipo Francis, al cual se realizó inspección in situ.



Imagen 4: Rodete Francis en la Central Hidroeléctrica de origen.

Verificación de factibilidad

Una vez realizada la inspección in situ se procede a sacar un modelo digital del rodete a reparar con base en un escaneo 3D; aplicando ingeniería inversa en donde se compara mediante simulación el modelo escaneado con respecto a las

dimensiones del plano original, el cual permitirá dimensionar el desgaste y tomar la decisión de factibilidad de reparación de dicha pieza.

Elaboración de proforma, cronograma

Si se presenta la factibilidad de recuperación del rodete a reparar se procede a elaborar la proforma, detallando los costos y el tiempo en base a un cronograma valorado.

Transportar al rodete hasta el CIRT

Si existe la aceptación por parte de los interesados, se procede al transporte del rodete desde el sitio de origen hasta las instalaciones del CIRT.

Realizar una limpieza general del rodete recibido

Primero el rodete debe estar sobre soportes para tener acceso a todas sus partes, se debe preparar la superficie del rodete para iniciar con el trabajo de recuperación, debe estar libre de material graso, polvo e impurezas. Lo más importante es el retiro de cerámicos moleculares, recubrimiento metalizado colocados en mantenimientos que puedan interferir en la colocación de las plantillas.

En la Imagen 5, se puede observar la superficie de uno de los álabes fijos del rodete tipo Francis sin recubrimiento cerámico, el mismo que fue retirado mediante el sponge jet y por lo que se puede apreciar los efectos de cavitación.



Imagen 5: Desgaste por cavitación en álabes del rodete.

Control de Calidad Inicial

Se parte del control de las dimensiones del rodete, para lo cual se ubican las plantillas en donde los planos lo indiquen, estas zonas deben estar libre de materiales adheridos y señaladas de acuerdo al plano de ubicación para verificar y cuantificar el desgaste, se debe marcar la zona donde exista imperfecciones del material como se puede observar en la Imagen 6, la comparación de superficie del rodete Francis con las plantillas.



Imagen 6: Comparación del desgaste con plantillas.

Se realizan además ensayos de control de calidad para identificar estado inicial del rodete antes de ser intervenido.

- Análisis de la microestructura: Identificar la microestructura presente en los materiales.
- Espectrometría: Identificar composición de materiales y caracterizar el material como línea base.
- Control dimensional: Verificar las medidas comparadas según planos.
- Perfil hidráulico: Verificar a través del uso de plantillas.
- Cuantificación del desgaste: En base a la comparación entre lo nominal y real sacar la cantidad de soldadura por aportar en kg.
- Escaneo 3D.

En la realización de END (Ensayos no destructivos) según norma CCH70-4 se practican las siguientes pruebas:

- Inspección visual VT (Visual Testing): Se realiza verificación de desgaste por erosión, cavitación, fisuras, pérdidas de metalizado.
- Tintas penetrantes PT (Penetrant Testing): Se identifica defectología superficial.
- Partículas magnéticas MT (Magnetic Particle Testing): Se identifica defectología sub-superficial.
- Ultrasonido UT (Ultrasonic testing): Se identifica defectología interna.
- Dureza: Verificar las medidas de dureza según materia.

En la Imagen 7, se observa el ensayo de Partículas Magnéticas aplicado en el rodete Francis.

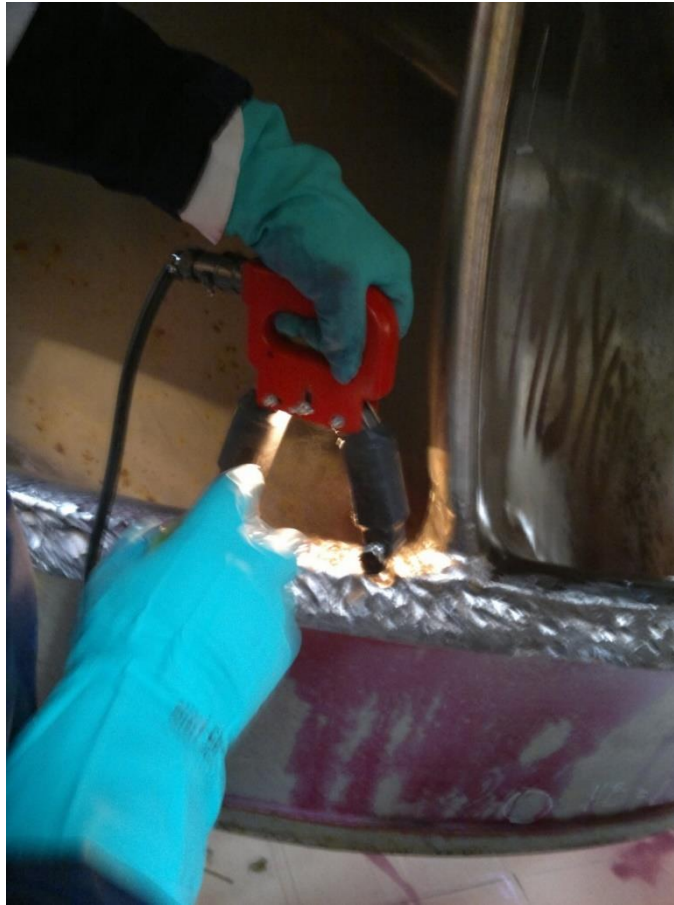


Imagen 7: Ensayo de Partículas Magnéticas.

Una vez realizado el control inicial se realiza el pulido y se procede al corte de sección de álabes deterioradas y que requieren de insertos. Si no requiere de pulido y se necesita desbastar se procede a realizar el maquinado.

Corte de sección de álabes

Es el proceso en donde se retira el material fatigado de los alabes mediante el corte de secciones tomando en cuenta las siguientes actividades.

- Establecer puntos de referencia para el corte de álabes: Se marcan puntos de las zonas a ser reemplazadas y marcarlas con referencia a los ensayos realizados de control de calidad inicial (END). Ya que depende de parámetros

que constan en la normativa para tomar la decisión de reemplazar o no a los álabes fijos del rodete.

- Corte de sección de álabes a cambiar: Luego de tener definido que álabes y las zonas por donde se va a realizar los cortes en las zonas fatigadas dejando sobre medida en los bordes de 5mm para que no se afecte la zona a soldar. Para este proceso se usará cortadora de plasma.
- Remoción de discontinuidades detectadas con END: Se retira el material fatigado residuos del corte y el material de sobremedida dejado en el paso anterior mediante el desbaste.

En la Imagen 8, se observa el rodete Francis sin algunas secciones de álabes fijos los cuales no pasaron las pruebas de END.



Imagen 8: Corte de secciones fatigadas de álabes fijos.

Maquinado

Mecanizado aplicando tolerancias de planos: Se realiza el mecanizado de la banda, la corona y secciones circulares en el torno vertical previo al montaje de los anillos de desgaste.

En la Imagen 9, se observa el mecanizado de secciones circulares del rodete Francis.



Imagen 9: Maquinado del rodete Francis con el torno vertical.

Soldadura para la reparación áreas desgastadas

Con la ayuda del puente grúa y los soportes para asentar el rodete de manera que este pueda ser movido para que pueda realizarse el proceso de soldadura a continuación se detalla:

- Soldadura de reparación de áreas desgastadas: Reparación en las partes desgastadas que pueden ser los filos de la banda, la corona, caras de los alabes y laberintos donde se reparan las zonas afectadas por erosión y cavitación aprovechando el acceso de equipos al tener cortados algunas secciones de los alabes.

En la Imagen 10, se observa el proceso de soldadura TIG aplicado en el filo de la corona del rodete Francis.



Imagen 10: Soldadura de relleno en talón de álabe y el filo de la corona del rodete.

Desbaste de soldadura

En el desbaste de la soldadura empleada en el proceso anterior se quita el exceso de material de aporte en rellenos de áreas desgastadas donde siempre se tiene que comparar con plantillas.

En la Imagen 11, se observa el desbaste de exceso de material de aporte en el proceso de soldadura del rodete Francis.



Imagen 11: Desbaste de soldadura en filo de la corona del rodete Francis.

- Preparación de juntas de soldadura en álabes cortados: Se realizan trabajos de desbaste como en el proceso anterior pero ahora en las zonas donde se realizó los cortes de las secciones fatigadas de los álabes fijos se debe realizar biseles para acoplamiento de soldadura con los insertos como se puede apreciar en la Imagen 12.



Imagen 12: Juntas biseladas para soldadura de insertos de álabes fijos.

Montaje de insertos metálicos

Para el desarrollo de este proceso se tiene que seguir los siguientes pasos:

- Preparación de insertos metálicos: Se mecaniza los insertos metálicos en función de las pruebas y estado de alabes del rodete, por lo que se procede de la siguiente manera:
- Montaje de insertos metálicos: Se colocan los insertos sobre los topes del pre-montaje asegurándolos para iniciar el procedimiento de soldadura.

- Soldadura de insertos metálicos: Soldadura de inserto con la parte del alabe correspondiente, soldadura del álabe en la base de la corona, soldadura del inserto con la base del cono.

El proceso de soldadura de insertos se lo puede observar en la Imagen 13.



Imagen 13: Soldadura de insertos metálicos en el rodete.

Desbaste de soldadura de insertos

Se realiza el desbaste grueso de los cordones de soldadura por lo que se debe realizar lo siguiente:

- Desbastar la soldadura de insertos metálicos, sobre-espesor de +1 mm: Se realiza desbaste fino para llevar al perfil a medidas de 1mm sobre medidas de diseño.
- Verificar con el uso de plantillas: Verificar el perfil de los alabes considerando la sobremedida de 1mm y conservando el perfil de plantillas.

En la Imagen 14 se puede observar el desbaste de la soldadura que se realiza en la colocación de los insertos metálicos.



Imagen 14: Desbaste de soldadura de insertos.

Tratamiento Térmico

Se realiza el tratamiento térmico del rodete con el objetivo de aliviar de tensiones producidas por el proceso de soldadura, según carta de tratamiento establecido para alivio de tensiones residuales.

En la Imagen 15 se puede observar el tratamiento térmico aplicado al rodete Francis.



Imagen 15: Rodete Francis en el horno para tratamiento térmico.

Pulido final

Se realiza el pulido final de las partes intervenidas para dejar con las medidas y acabados propios del diseño original, según planos.

Maquinado final

Se realiza el maquinado final en los sectores intervenidos para dejar medidas y acabados precisos acorde al diseño original. Este proceso se lo realiza en el torno CNC donde éste compara dimensiones reales con las dimensiones del modelado 3D digitalmente.

Control de calidad Final

Se realiza las pruebas de control de calidad para ajustarse a los estándares solicitados en los planos y las normas establecidas para esta reparación.

En este proceso se realizan las pruebas del proceso de control de calidad inicial como son:

- Inspección visual
- Tintas penetrantes
- Partículas magnéticas
- Ultrasonido
- Dureza
- Verificar microestructura
- Verificar perfil hidráulico
- Escaneo 3D

En la Imagen 16, se observa la prueba de ultrasonido en los álabes del rodete Francis.



Imagen 16: Prueba de ultrasonido en el rodete Francis.

Balanceamiento Estático del rodete

Se realiza el balanceamiento estático para la distribución de las masas en forma uniforme, para lo cual se debe realizar lo siguiente:

- **Cuantificar el desbalance:** Se realizan las pruebas de balanceamiento estático con la ayuda de pesos imantados para determinar la cantidad de desbalance en caso de existir como se puede observar la Imagen 17.
- **Pulir para balancear:** Se pule el material en exceso en las áreas identificadas en el proceso de balanceamiento.



Imagen 17: Balanceamiento estático del rodete Francis.

Opciones para la reparación del rodete tipo Francis

Para tomar la decisión de reparación se deben considerar algunos factores; tales como el tiempo de reparación del rodete y los costos que conllevaría.

Se presentan dos alternativas para realizar la recuperación del rodete, una es el envío del rodete al exterior; en donde existe la suficiente tecnología y el personal capacitado para hacer el trabajo y la otra es realizarlo en un centro especializado en el país que posea la infraestructura, los equipos e implementos suficientes y necesarios para realizar la reparación del rodete y de los demás componentes de las turbinas. Además de poder capacitar al personal para que sea capaz de desarrollar este tipo de trabajos.

Reparación del rodete tipo Francis en el exterior

La reparación de los rodetes tipo Francis en el exterior, se ha venido realizando, enviando los rodetes y a técnicos de las centrales para que sean parte del proceso y que puedan adquirir los conocimientos técnicos de cómo realizar la reconstrucción del rodete. Pero no ha sido posible este último, ya que los técnicos pudieron participar sólo en actividades del proceso, debido especialmente a que el tiempo que se necesita para la reparación total del rodete es considerable.

Reparación del rodete en el país

La segunda alternativa de reparación del rodete tipo Francis es realizarlo en un Centro especializado que este equipado y que cuente con el conocimiento, la tecnología, con el personal y con el proceso adecuado para la reparación de grandes piezas mecánicas de centrales de generación hidroeléctrica del país. Por lo que el único centro con el que cuenta actualmente el país es el CIRT.

Adicional a la infraestructura y equipamiento se debe capacitar al personal para que aplicando criterios técnicos realicen este tipo de reparación. Para ello, es

necesario contratar una empresa consultora experta en el tema, que ofrezca todos los conocimientos que se requieren para elaborar los procedimientos para tener una mano de obra bien calificada para realizar el trabajo en el país. De esta manera se tendría documentado los pasos a seguir para que todos los técnicos del CIRT tengan clara la idea de cómo se debe efectuar la reparación.

Selección del método de reparación

Años atrás en el Ecuador nadie poseía los conocimientos técnicos específicos para llevar adelante la reparación total de un rodete; además de que no se contaba con un taller especializado en donde se pueda efectuar el trabajo.

Por ello, la reparación de los rodetes se ha venido realizando fuera del país, no obstante, se evidenció que la eficiencia en la generación de energía no era la que se esperaba al momento de entrar en operación nuevamente. El objetivo de reparar un rodete es que éste vuelva a tener la misma eficiencia de cuando entró en funcionamiento por primera vez y evitar cuantiosas pérdidas en la generación de energía en la central hidroeléctrica.

Si se toman en consideración los costos de fabricación e importación y el tiempo que demanda la compra de un rodete nuevo, se puede constatar que representan valores monetarios muy altos y un costo de oportunidad bastante significativo para cualquier central hidroeléctrica en el país. El ahorro de reparar un rodete y comprar uno nuevo puede variar entre el 50% al 80%, un rodete nuevo cuesta 4,5 millones, mientras que una reparación va de 600 mil a 700 mil dólares.

La construcción de un rodete nuevo toma alrededor de 3 años, sin embargo el proceso completo para que el rodete arribe a la central es de aproximadamente 4 años, debido a trámites burocráticos como contratos, presupuestos institucionales con los que se debe cumplir. En tanto que la reparación de un rodete varía de 4 a 7 meses, lo cual dependerá del deterioro y del tamaño del rodete a reparar.

Área de estudio

Dominio:	Tecnología y Sociedad
Línea de Investigación:	Empresarial y Productividad
Campo:	Ingeniería Industrial
Área:	Estandarización de Procesos
Aspecto:	Productividad
Objetivo de estudio:	Estandarización de Procesos y Productividad
Periodo de análisis:	2018 – 2019

Modelo operativo

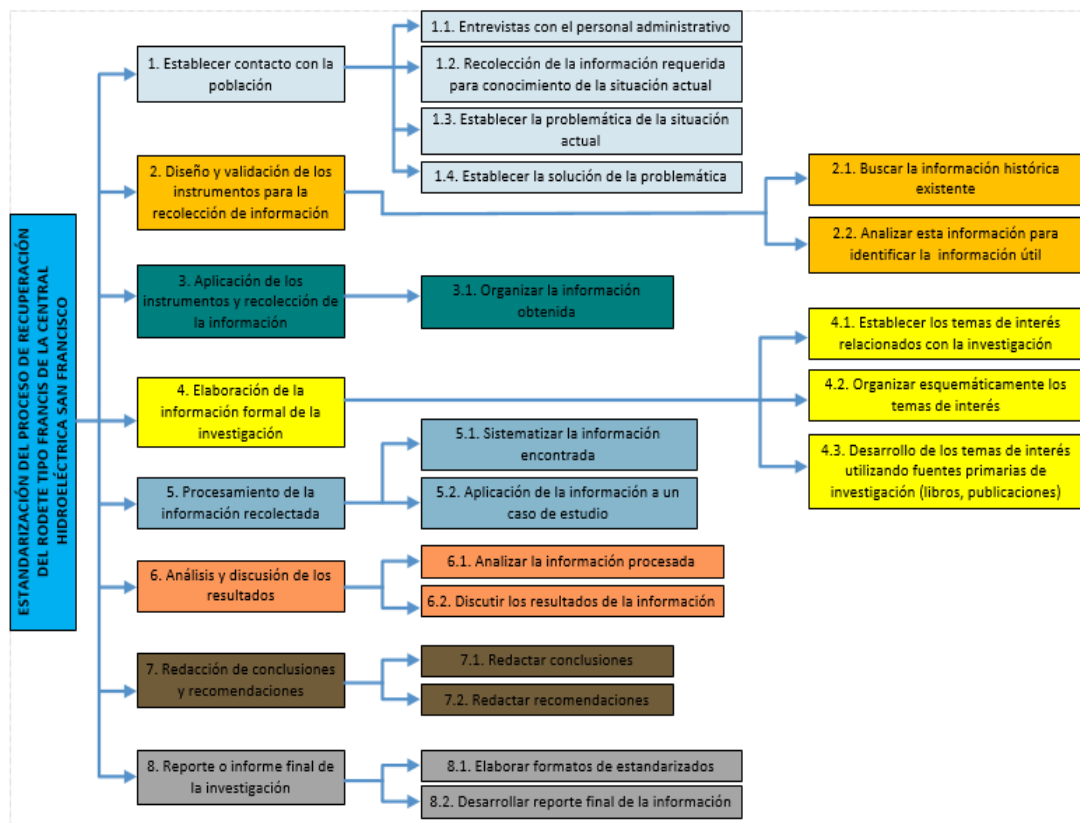


Gráfico 1: Modelo operativo.
Elaborado por: Carlos Ubilluz

Desarrollo del modelo operativo

Se procede a describir el modelo operativo, mismo que se lo puede visualizar en el Gráfico 1.

Establecer contacto con la población

Es el requisito y fundamento central de la investigación, método tradicional de la investigación en la que se establece contacto con la población de quienes se obtendrá la información para satisfacer los objetivos del estudio.

Entrevistas con el personal administrativo

Se realizará una entrevista a la persona responsable del Centro de Investigación y Recuperación de Turbinas Hidráulicas y partes Industriales CIRT, el Ing. Gonzalo Altamirano. Quien proporcionará información primaria para la realización del presente proyecto. (Guión de entrevista Anexo 1).

Recolección de información requerida para conocimiento de la situación actual

Se recolectará toda la información necesaria para definir el estado actual del proceso de recuperación de rodets tipo Francis en el CIRT, ya sea por constatación visual, mediante una entrevista o por documentación accesible.

Establecer la problemática de la situación actual

El problema más latente que se identificó en el proceso de recuperación del rodete tipo Francis, fueron los reproceso, lo que ocasiona el incremento del tiempo planificado, lo que a su vez conlleva al incremento de costos de reparación. Todo ello ocasiona la pérdida de competitividad antes las alternativas de reparación fuera del país o la adquisición de un nuevo rodete.

Establecer la solución a la problemática

La solución sería la optimización de procedimientos en forma específica, con base en cada uno de los subprocesos identificados en el proceso de recuperación del rodete tipo Francis; y con base en estos rediseñar los formatos de seguimiento y control de dicho proceso, así como el establecer indicadores en concordancia con las normativas aplicadas.

Diseño y validación de los instrumentos para la recolección de información

Este proceso se lo realiza en la fase de desarrollo del trabajo de campo en donde se evidencia y se aplica los instrumentos de recolección de la información (Entrevista).

Buscar la información histórica existente

La información disponible desde que entró en funcionamiento por que el CIRT se inauguró en el 2017. (CELEC EP, 2017)

Analizar esta información para identificar la información útil

Existe información de reparación y recuperación de turbinas pero se enfocará en información de recuperación de rodetes tipo Francis (Observación).

Aplicación de los instrumentos y recolección de la información

Mediante la observación, entrevista con el Jefe del CIRT, la revisión de registros, flujogramas, documentos, tesis elaboradas existentes en el Centro de Investigación, se pudo recopilar la información para sustento del trabajo investigativo.

Organizar la información obtenida

La información obtenida de diversos puntos debe ser organizada desde la más relevante.

Elaboración de la información formal de la investigación

Durante el desarrollo de la investigación es necesario conformar un marco teórico específico sobre el objeto de la investigación para satisfacer el proceso, análisis y la discusión de resultados de la investigación.

Establecer los temas de interés relacionados con la investigación

Los temas de interés deben ir acordes con los procesos de Recuperación de Rodetes tipo Francis.

Organizar esquemáticamente los temas de interés

Se realizarán organizadores gráficos con los conceptos de los principales términos utilizados en la propuesta.

Desarrollo de los temas de interés utilizando fuentes primarias de investigación (libros, publicaciones)

Los temas de interés se desarrollarán extrayendo información de libros, publicaciones relacionados y/o documentos proporcionados por la empresa, entre otros.

Procesamiento de la información recolectada

Se realizará un análisis del proceso actual de recuperación de rodetes y se utilizará la herramienta de la entrevista con preguntas donde los funcionarios proporcionen información necesaria.

Sistematizar la información encontrada

Se ordenara la información resultante del análisis del proceso y de las respuestas de la entrevista.

Aplicación de la información a un caso de estudio

La información sobresaliente sobre la estandarización del proceso de recuperación del rodete tipo Francis se aplicará en la propuesta.

Análisis y discusión de los resultados de la información recolectada

Analizar la información procesada

Se realizará el análisis de los resultados de la información recolectada.

Discutir los resultados de la información

Se discutirá con los involucrados los resultados de la información.

Redacción de conclusiones y recomendaciones

Redactar conclusiones

Se emitirán las conclusiones en función de los resultados de la información procesada.

Redactar recomendaciones

Por cada conclusión se generaran recomendaciones que mejoren el proceso y que sean aplicables completamente.

Reporte o informe final de la investigación

En el informe final se plasmará toda la información obtenida en la presente investigación.

Elaborar formatos de estandarizados

Se realizaran formatos estandarizados con base en la descripción de los subprocesos para la aplicación en el proceso de recuperación del rodete tipo Francis.

Desarrollar reporte final de la investigación

De acuerdo a los resultados, conclusiones y recomendaciones se desarrollara el informe final de la investigación.

CAPÍTULO III

PROPUESTA Y RESULTADOS ESPERADOS

Para poder desarrollar la propuesta, es necesario conocer ciertos criterios en referencia a la turbina Francis con sus componentes; especialmente de los rodets.

Descripción de la turbina tipo Francis

El campo de aplicación de este tipo de Turbina es muy extenso debido al avance tecnológico por efectos de diseño y construcción. Pueden ser utilizadas para centrales de saltos intermedios (entre 10 y 200 m aproximadamente) y caudales grandes.

Son conocidas como turbinas de sobre presión, o de admisión total, por ser variable la presión en las zonas del rodete, y encontrarse sometida a la acción directa del agua en toda su periferia respectivamente.

Las turbinas Francis pueden ser instaladas con el eje en posición horizontal o vertical, ver Imagen 18, siendo esta disposición última la más generalizada por estar experimentada ampliamente, principalmente en el caso de unidades de gran potencia.

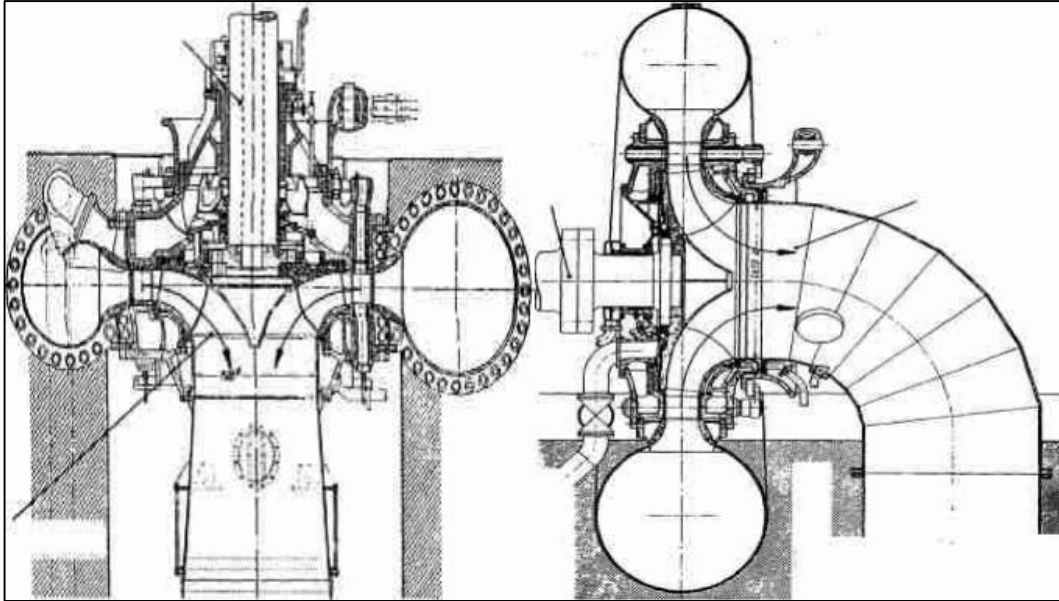


Imagen 18: Turbina Francis de eje vertical y horizontal.
Fuente: Rodríguez Camilo, 2017

Clasificación de las turbinas Francis

Se puede tener una clasificación muy extensa de las Turbinas Francis, siendo una de las más importantes, según la velocidad específica del rodete, cuyo número de revoluciones depende de las características del salto.

- Turbina Francis lenta; saltos de gran altura (alrededor de 200 m o más).
- Turbina Francis normal ; saltos de altura media (entre 200 y 20 m)
- Turbinas Francis rápidas y extra rápidas; saltos de pequeña altura (inferiores a 20 m).

Partes y componentes

Los componentes fundamentales, según el sentido de circulación del agua por la turbina es la siguiente. Ver imagen 19.

- Cámara Espiral
- Rodete
- Tubo de Aspiración
- Álabes fijos

- Álabes directrices
- Tubo de succión

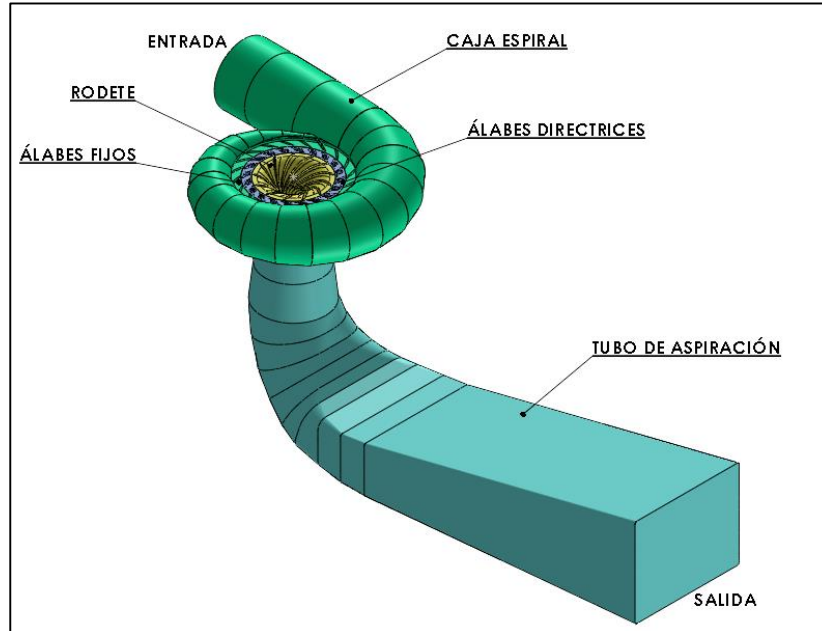


Imagen 19: Partes de una Turbina tipo Francis.
Fuente: CIRT

Rodete

Es la pieza fundamental ya que es donde se convierte la energía cinética del agua en la energía mecánica necesaria para hacer girar el rotor del generador y convertirla en energía eléctrica.

“El rodete puede ser construido en bronce o de diversas aleaciones, para evitar los efectos anómalos como son cavitación, erosión, corrosión etc. Está conformado por un núcleo central en donde se dispone un determinado número de palas o alabes del rodete de superficie alabeada, las cuales se encuentran unidas en su parte inferior mediante una banda de las mismas características obteniendo un solo cuerpo o pieza entre el núcleo, alabes y banda sin uniones ni fijaciones o accesorios. El número de alabes, inclinación y disposición en el rodete depende del caudal, velocidad específica y de la altura del salto” (Játiva Almeida, y otros, 2013). Ver Imagen 20.

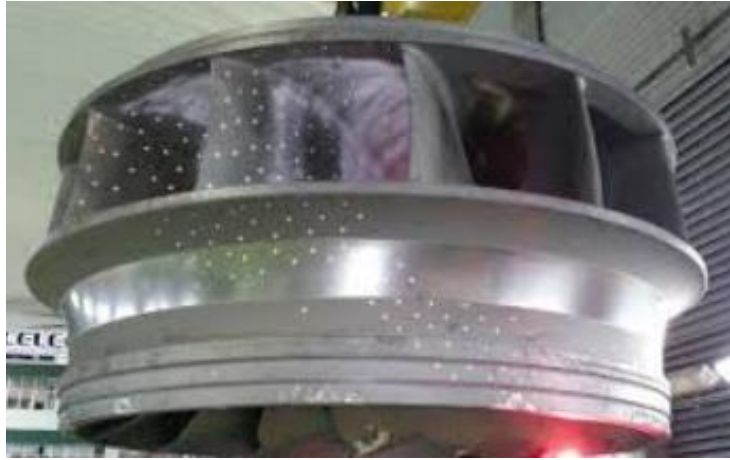


Imagen 20: Rodete tipo Francis.
Fuente: CELEC EP. (2017)

Se ha determinado que el número de álabes del rodete debe ser diferente al número de alabes directrices ya que se produciría vibraciones al coincidir en el espacio entre ambos conjuntos de álabes.

“El rodete se encuentra rígidamente acoplado en la parte inferior del eje de turbina, y concéntrico al distribuidor así como al difusor que se encuentra en la parte inferior del rodete. El difusor es un cuerpo metálico, de forma tronco cónica, colocado en posición invertida, es decir su parte mayor anclado a la parte inferior del eje, cuya única función es el direccionar las masas de agua que salen a través de los alabes del rodete disminuyendo su velocidad y evitando choques de las mismas entre sí o contra sus propios alabes, lo que podría originar remolinos u otros efectos hidráulicos que se vería reflejado en el rendimiento de la máquina y en su conservación” (EQUIPO2FAE, 2012).

Funcionamiento de las turbinas Francis

Las Turbinas Francis son instaladas en centrales donde su recurso hídrico, es embalsado con el objetivo de utilizar su energía potencial que es almacenada y convertirla en energía cinética en el recorrido del agua por los túneles o galerías de carga hacia el distribuidor.

“El agua llega hasta una cámara de forma espiraloidea o caracol, la cual fluye por los alabes estacionarios que corresponden a un predistribuidor; al ingresar el fluido por los alabes estacionarios disminuye su presión, adquiriendo velocidad por la disminución de presión en los alabes, esto produce el giro del rodete al incidir sobre sus alabes el resto de presión existente en las masas de agua así como su energía cinética” (Caicedo Urresta, 2009).

“Dicha energía cinética se transforma en energía mecánica de rotación a través de la turbina, que mediante un eje acciona un generador que es el que se encarga de convertirla en energía eléctrica” (Caicedo Urresta, 2009).

“Otra particularidad, que determina el funcionamiento es que, la ubicación del caracol, distribuidor, rodete, tubo de succión se encuentran en una cota inferior a la alcanzada por el agua a la descarga al río, por lo que podríamos considerar una columna de agua continua, permaneciendo el rodete sumergido (Caicedo Urresta, 2009), ver Imagen 21.

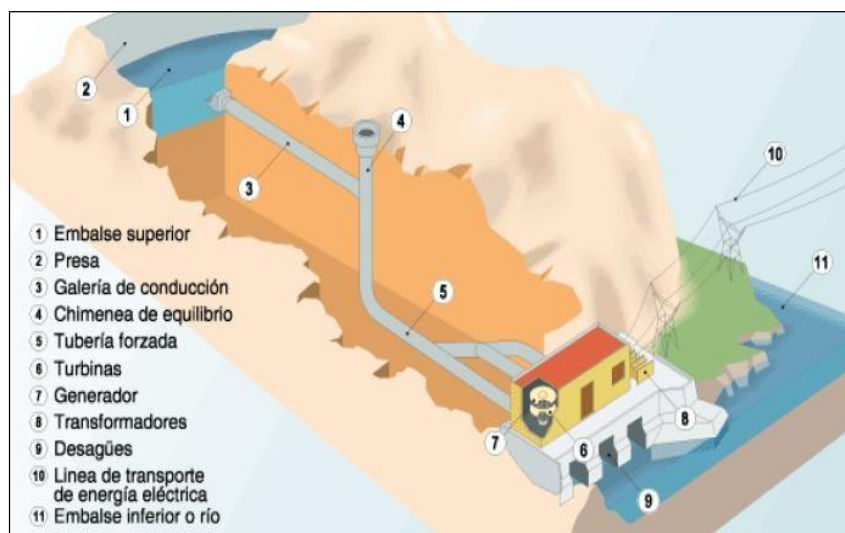


Imagen 21: Situación generalizada de una Turbina Francis.

Fuente: <http://www.sectorelectricidad.com/16510/como-funciona-una-central-hidroelectrica>

Aplicaciones

“Las grandes turbinas Francis se diseñan de forma individual para cada emplazamiento, a efectos de lograr la máxima eficiencia posible, habitualmente más del 90%” (EQUIPO2FAE, 2012).

Son muy costosas de diseñar, fabricar e instalar, pero pueden operar durante décadas.

“Adicionalmente a la producción de electricidad, pueden ser usadas para el bombeo y almacenamiento hidroeléctrico, donde un embalse superior es llenado por la turbina (en este caso funcionando como bomba) durante los períodos de baja demanda eléctrica, y luego es usada como turbina para generar energía durante los períodos de alta demanda eléctrica” (EQUIPO2FAE, 2012).

Se fabrican micro turbinas Francis baratas para la producción individual de energía para saltos mínimos de 3 metros.

Plan Piloto

Cabe destacar que se aplicó la estandarización de los procedimientos con un plan piloto de tres semanas en el proceso de soldadura, considerado como uno de los que más tiempo e impacto tiene en referencia al proceso total de recuperación, lo que se puede evidenciar en la Tabla 1. Por ello se procede a explicar la optimización lograda con la puesta en marcha de dicho plan.

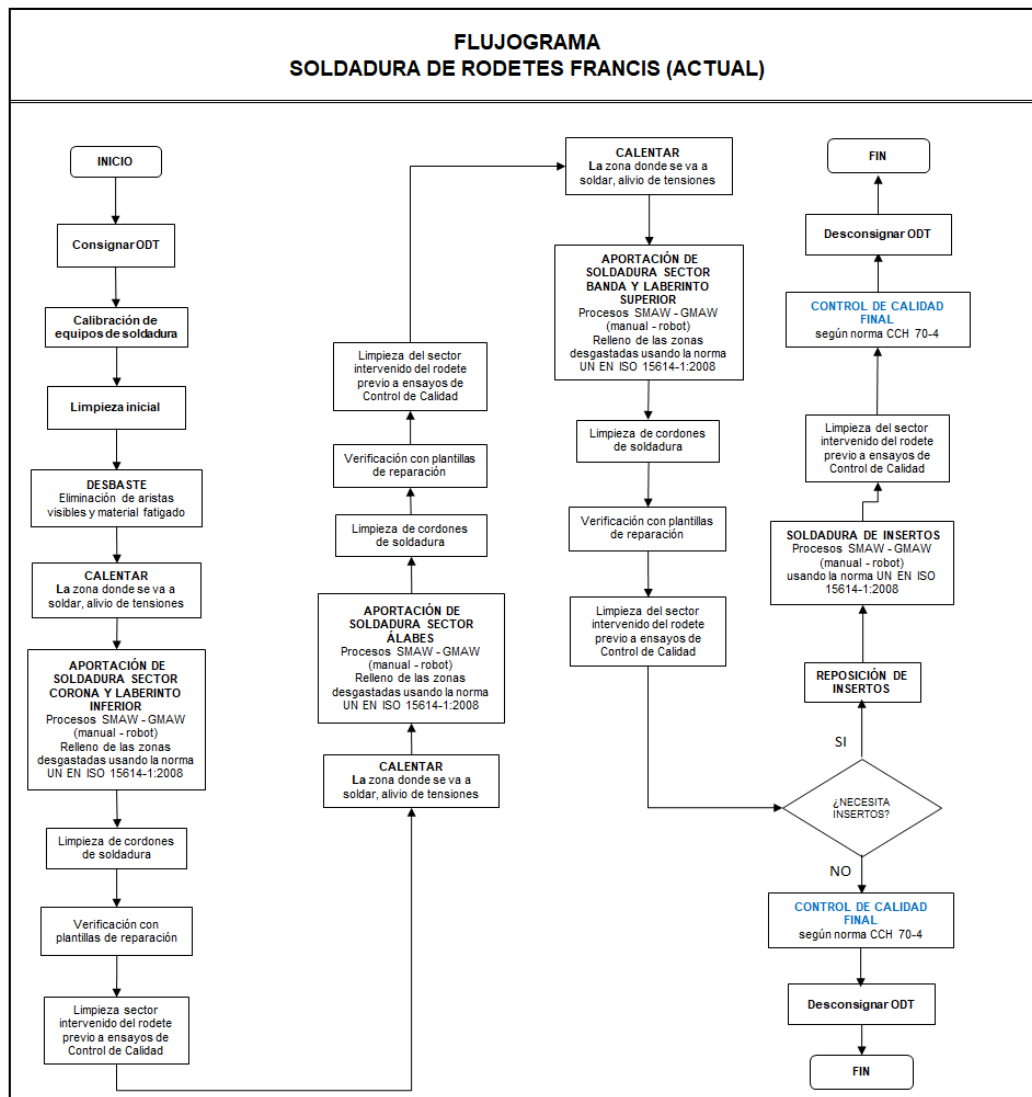


Gráfico 2: Proceso actual de soldadura de rodete tipo Francis
Elaborado por: Carlos Ubilluz

El proceso de soldadura actual Gráfico 2, tomando como línea base su ejecución en 30 días, luego de lo cual se realiza el control de calidad al final de dicho proceso por un lapso de 3 días aproximadamente; con lo cual se detectó el incumplimiento de las normativas de calidad, lo que ocasionó que se tenga que retirar el material soldado aproximadamente en 15 días y luego volver a realizar la soldadura. Esto ha conllevado a que se tenga que realizar un reproceso y en total se ha requerido de 78 días para realizar el proceso de soldadura del rodete a recuperar.

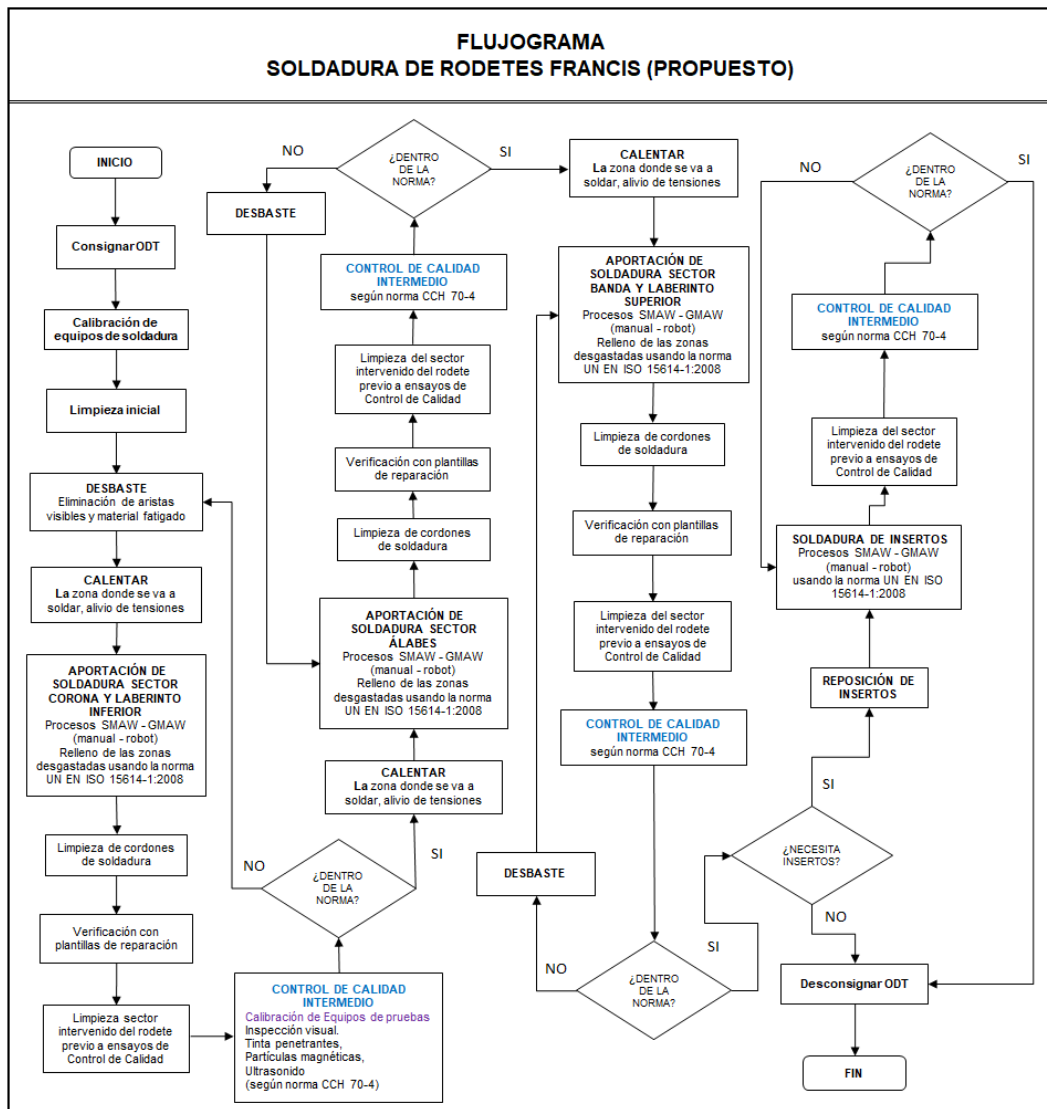


Gráfico 3: Proceso propuesto de soldadura de rodete tipo Francis
Elaborado por: Carlos Ubilluz

Con el procedimiento propuesto Gráfico 3, tomando como referencia la misma línea base, se procedió a realizar la soldadura del rodete por 10 días en sector de álabes, se aplicó una inspección intermedia de control de calidad de 1 día, donde los mismos fueron satisfactorios acorde con las normas de calidad; luego de lo cual se soldó por 10 días más en el sector de banda se aplicó otra inspección de calidad por 1 días, de igual manera está dentro de los estándares de calidad, por lo que a continuación se continúa con el proceso de soldadura del sector de la corona del rodete por 10 días más y al finalizar se realiza la última inspección intermedia de control de calidad por 1 día con un reproceso de 10 días; realizando la suma de

estos días se llegó a realizar el proceso de soldadura del rodete en 43 días. Si se comparan los tiempos del proceso actual que fue de 78 días y del proceso mejorado que fue de 43 días; se obtiene un ahorro del 45% en tiempo y por ende en recursos.

Una vez determinado los resultados que se espera obtener con la puesta en marcha de la propuesta, se procede a realizar el cronograma de actividades que serían necesarias para la ejecución de la estandarización del proceso de recuperación del rodete tipo Francis en la Central Hidroeléctrica San Francisco realizada por el CIRT, el mismo que se lo puede observar en la Tabla 22.

Estandarización del proceso de recuperación del rodete tipo Francis de la Central Hidroeléctrica San Francisco

Datos Informativos de la Empresa

Empresa: CIRT
Provincia: Tungurahua
Cantón: Baños de Agua Santa
Dirección: Km. 5 ½ vía al Puyo
Beneficiarios: Empresas de generación eléctrica

Antecedentes

El CIRT es parte de CELEC EP Hydroagoyán, está ubicado en el Km 5 ½ de la Vía Baños-Puyo, en la ciudad de Baños de Agua Santa, Tungurahua Ecuador.

Este Centro de Investigación cumple de manera objetiva con las políticas del gobierno Ecuatoriano en cuanto al cambio de la matriz energética y productiva, al prestar sus servicios a las centrales de generación eléctrica, así como también del sector industrial del Ecuador, este centro se identifica por su aporte técnico, tecnológico de investigación y desarrollo de conocimiento en los procesos de

recuperación de piezas y partes, minimizando la problemática de la dependencia tecnológica, desarrollando ingeniería inversa industrial, con el cumplimiento de normas y estándares internacionales.

Su estructura funcional en cuanto a la distribución del personal y funciones así como la infraestructura y equipamiento se ha implementado en relación a los procesos de recuperación y manufactura como soldadura, mecanizado, metrología, control de calidad e ingeniería tomando en cuenta el impacto socioeconómico, ambiental que forman parte de los objetivos planteados y ejecutados por CELEC EP y su Unidad de Negocio Hidroagoyán.

El CIRT, tiene un impacto nacional en el sector eléctrico, específicamente en el de generación ya que aporta con la industrialización del mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo de centrales hidroeléctricas, disminuyendo tiempos y costos en la entrega de partes o piezas, rompiendo de esta manera la dependencia tecnológica, creando nuevas actividades económicas para el sector industrial, tomando como base la investigación y creación. Por otra parte los equipos de última tecnología así como la experiencia del personal permitirán brindar el aporte de soluciones tecnológicas, de servicios e investigación a la industria ecuatoriana en general.

Para su funcionamiento el CIRT posee una nave industrial de 1400 metros cuadrados con un centro de carga con una potencia de 2600 KW.

Dentro de la nave se desarrolla:

- Procesos de ingeniería de recuperación con software especializados CAD, CAM y CAE, procesos de manufactura y recuperación donde se realizan actividades de pulido, soldadura, maquinado y metalizado.
- Procesos de control de calidad como tintas penetrantes, partículas magnéticas y ultra sonido para máxima calidad de procesos de

recuperación el CIRT cuenta con laboratorios de metalografía y microscopía de barrido electrónico.

Objetivo:

Estandarizar el proceso de recuperación del rodete tipo Francis de la Central Hidroeléctrica San Francisco.

Alcance:

La presente propuesta de estandarización se ha considerado en dos fases:

Fase 1: Estandarización del diseño y control de los proyectos CIRT (Documentación).

Fase 2: Estandarización de procedimientos y registros del proceso de recuperación del rodete tipo Francis.

Desarrollo:

Se procede a desarrollar la propuesta de estandarización del proceso de recuperación del rodete tipo Francis, para lo cual se parte con la elaboración de la Cadena de Valor que se refiere al conjunto de actividades y procesos que se ejecutan en la empresa y que generan valor para el producto (rodete), servicio (recuperación del rodete), cliente (Centrales Hidroeléctricas) convirtiéndose en una poderosa acción estratégica del Centro de Investigación y Recuperación de Turbinas y partes industriales (CIRT), lo que se puede observar en los Gráficos 4, 5 y 6 adjuntos.

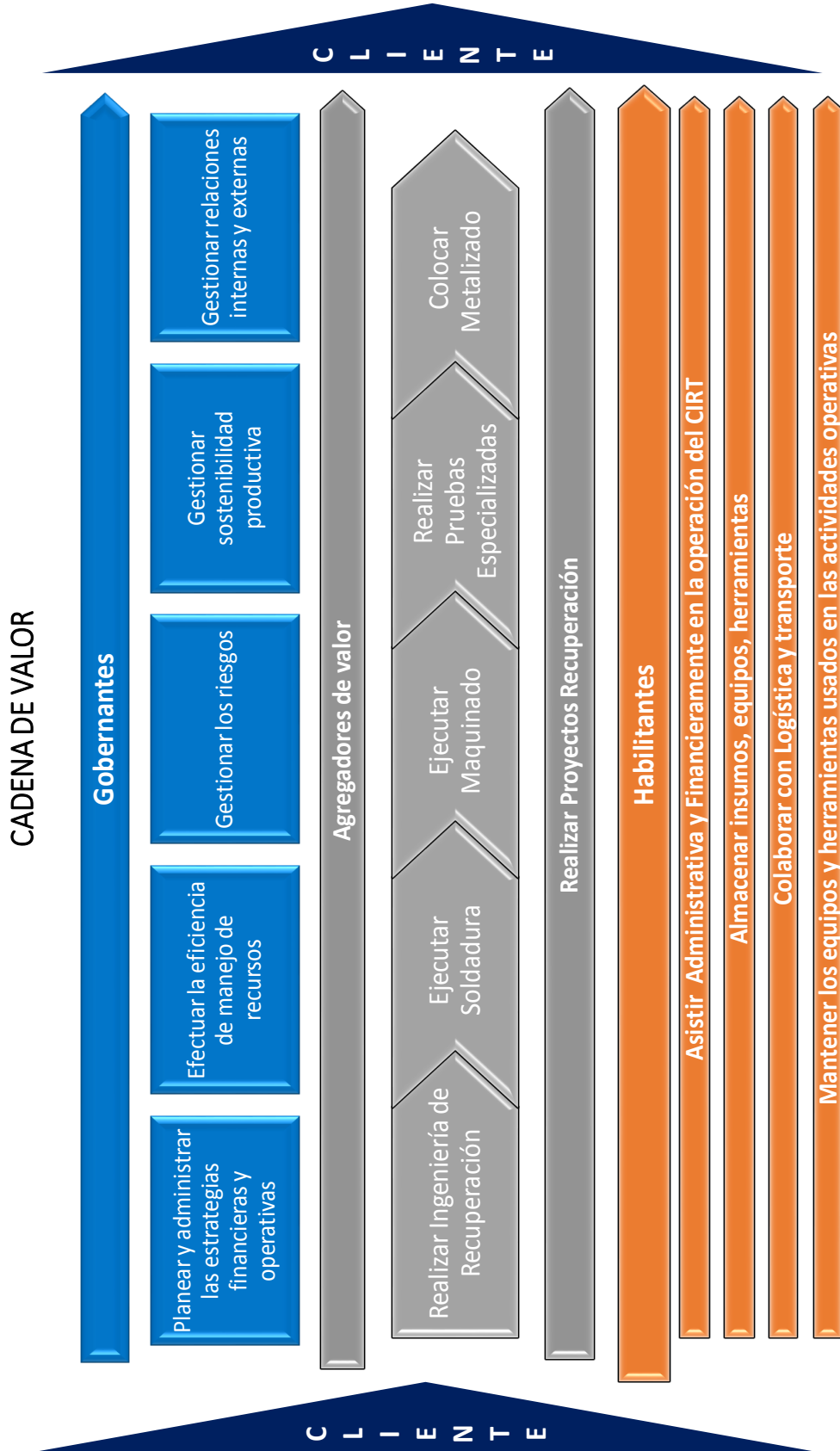


Gráfico 4: Cadena de Valor CIRT
Elaborado por: Carlos Ubilluz
Fuente: CIRT

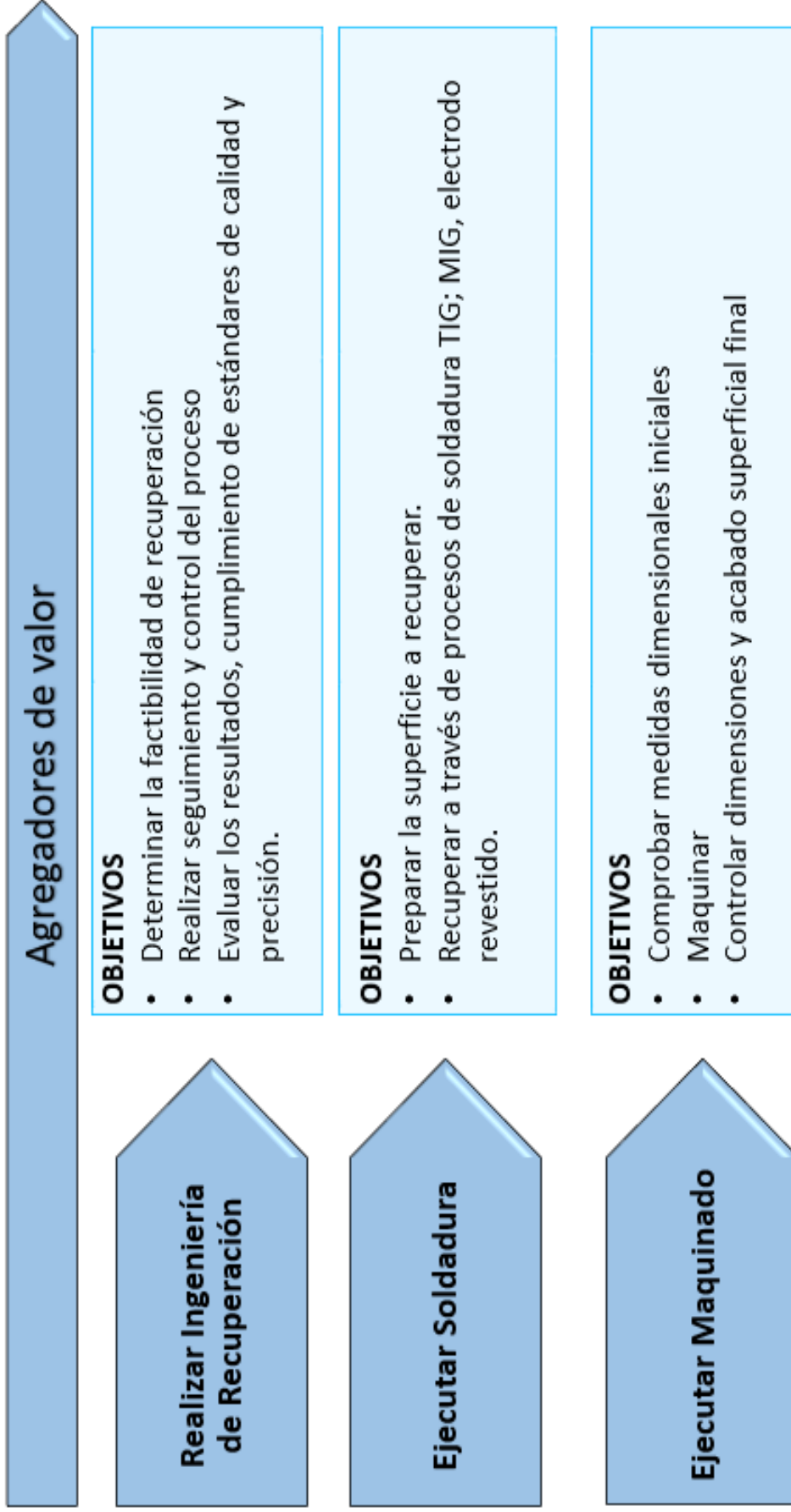


Gráfico 5: Procesos agregadores de Valor CIRT
Elaborado por: Carlos Ubilluz

Agregadores de valor

Realizar Pruebas Especializadas

OBJETIVOS

- Aplicar Ultrasonido
- Aplicar Partículas magnéticas
- Realizar pruebas de Dureza
- Examinar Estructura metalográfica del material
- Verificar Rugosidad

Colocar Metalizado

OBJETIVOS

Se prevé para el futuro la instalación de un centro de metalizados con procesos robotizados y técnicos especializados para el recubrimiento metálico especial para que la pieza soporte fenómenos de erosión y alargar la vida útil de las mismas, de igual manera dará servicio de metalizado de piezas nuevas que requieran este servicio.

Gráfico 6: Procesos agregadores de Valor CIRT
Elaborado por: Carlos Ubilluz

Aplicando el Ciclo de Deming, se procede a indicar a los responsables de las operaciones que se ejecutan en el CIRT. Ver Gráfico 7.

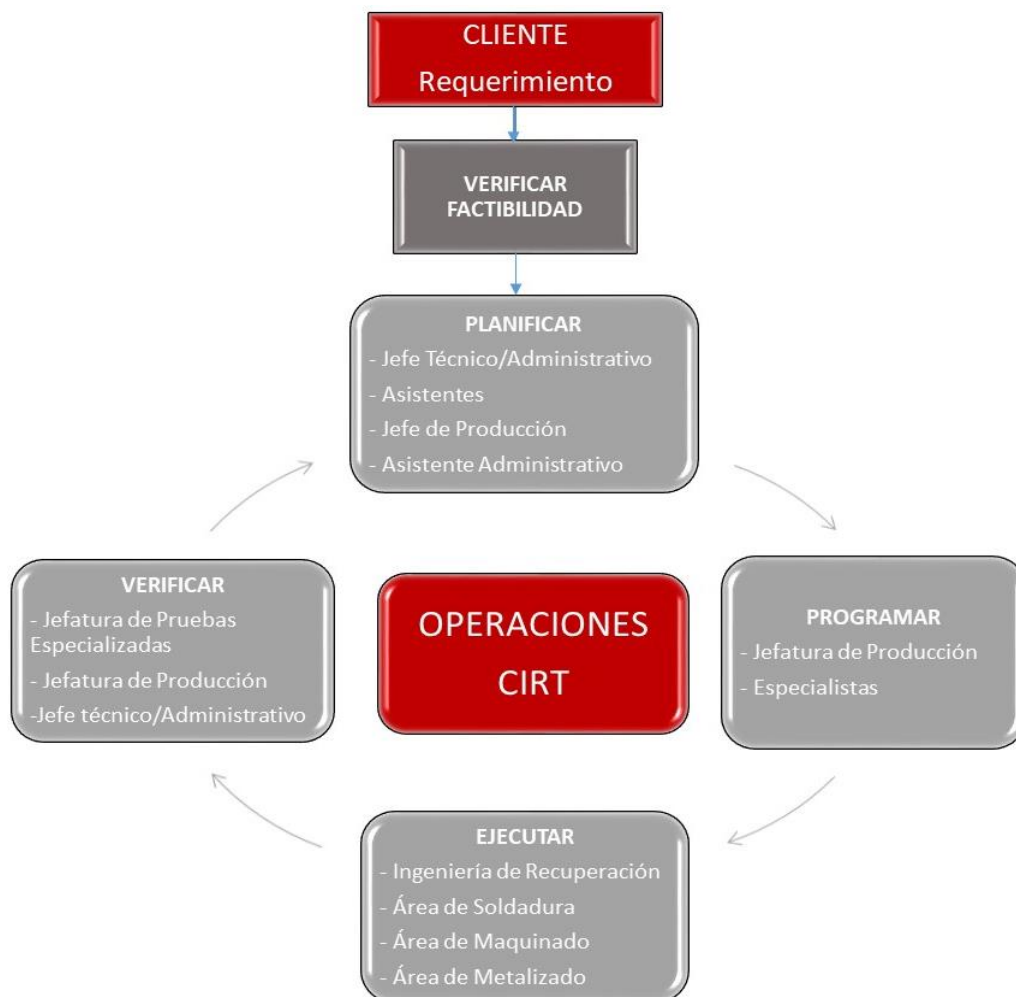


Gráfico 7: Responsables de Operaciones del CIRT
Elaborado por: Carlos Ubilluz
Fuente: Naranjo Borja, 2015

Cabe recalcar que los dos procesos considerados como Macros dentro del CIRT son la Gestión del Proyecto (Fase 1) y el proceso de Recuperación de Turbinas Francis (Fase 2).

A continuación se detalla específicamente el procedimiento para la recuperación de rodets de turbinas tipo Francis en el CIRT, mediante el respectivo flujograma. Ver Gráfico 8.

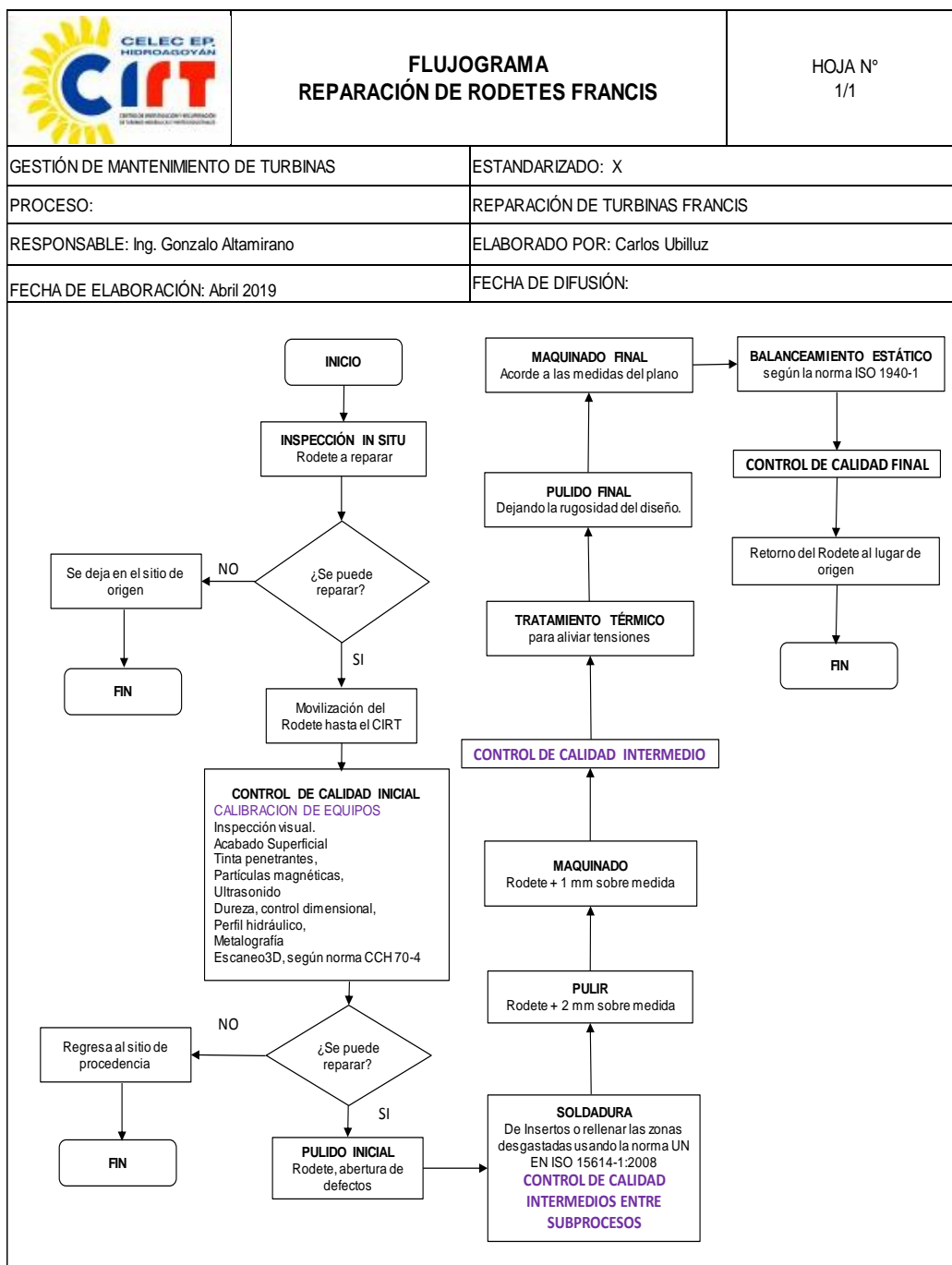


Gráfico 8: Flujograma de la Recuperación de rodetes tipo Francis.
Elaborado por: Carlos Ubilluz

Dependiendo de la potencia y de las particularidades de desgaste y daños del rodete se programa las actividades de recuperación y para el caso del rodete de la Central Hidroeléctrica San Francisco se programó una intervención de 6 meses o 180 días según la inspección inicial, con la elaboración de la proforma y el

cronograma de planificación. Es importante señalar que en base a la experiencia y a trabajos de recuperación de rodetes, se distribuye el porcentaje de incidencia y el tiempo de ejecución aproximado para cada uno de los procedimientos a realizarse en dicho proyecto. Ver Tabla 1.

Tabla 1: Distribución del tiempo en procedimientos de recuperación.

PROCEDIMIENTO	PORCENTAJE DEL TIEMPO TOTAL DEL PROYECTO	TIEMPO EN DÍAS
Inspección Inicial	5%	9
Control de Calidad Inicial	5%	9
Pulido	20%	36
Soldadura	40%	72
Mecanizado	10%	18
Tratamiento Térmico	5%	9
Balanceo Estático	5%	9
Control de Calidad Final	10%	18
TOTAL	100%	180

Elaborado por: Carlos Ubilluz

Se describen a continuación cada una de las actividades que se realizan en el proceso de recuperación de turbinas Francis en el CIRT.

Tabla 2: Actividades en la Inspección Inicial in situ.

Inspección Inicial in situ			
Actividad	Descripción	Herramientas	Observaciones
1	Limpieza general de todo el rodete.	Agua a presión y desengrasante.	El rodete debe estar sobre base para tener acceso total.
2	Inspección de la corona (sector ingreso del agua).	Planos del rodete, marcador para metal y calibrador vernier.	
3	Inspección de la banda (sector ingreso del agua).	Planos del rodete, marcador para metal y calibrador vernier.	
4	Conteo del número de álabes del rodete.	Marcador para metal.	Cada álabe debe asignarle su numeración para su identificación.
5	Inspección de la superficie de álabes del rodete, sectores de soldadura de álabes con corona y en sector de soldadura de álabes con la banda en ingreso y salida del agua.	Planos del rodete, marcador para metal.	
6	Control dimensional del rodete.	Plano de ubicación de plantillas, plantillas, calibrador y flexómetro.	Se debe registrar el desgaste en cada sector del rodete para cuantificar el material que se necesita.
7	Control de dureza en tres sectores del rodete	Durómetro, registro de reparaciones anteriores.	La prueba se realiza en la corona, álabes y banda del rodete.
8	Levantamiento fotográfico de los sectores marcados y registro de reparaciones anteriores.	Cámara fotográfica	Realizar tomas de las partes mas afectadas del rodete.

Elaborado por: Carlos Ubilluz

Fuente: CIRT

En la Tabla 2, se describe las actividades que se realizan para la Inspección Inicial del rodete Francis que debe ser reparado. De igual forma en la Tabla 3 aplicando las 5M, se detalla la información relevante referente a este proceso.

Tabla 3: Inspección Inicial in situ.

INSPECCIÓN INICIAL	
	
OBJETIVO	Establecer las condiciones superficiales generales del rodete.
MAQUINARIA	<ul style="list-style-type: none"> - Plantillas con parámetros de fabricación del rodete tipo Francis. - Durómetro de campo, marca INSIZE, modelo ISHR-D121.
MÉTODO DE TRABAJO	Está documentado en el procedimiento CIRT-PROC01. (Anexo 9).
MANO DE OBRA	<p>El personal requerido para esta actividad debe tener los conocimientos generales y específicos de reparación, para ello se necesita:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Especialista de soldadura: que establecerá los daños del rodete a recuperar. • Técnico ayudante: Quien se encargará de la limpieza general. • Técnico de pulido: Quien asistirá al especialista con las herramientas y materiales necesarios para dicha actividad.
MEDIO AMBIENTE	Todos los procesos se realizan respetando las normas de seguridad y protección medioambiental establecidas por la ISO 14001.
MATERIA PRIMA	No necesario.
MEDICIÓN	<p>Se realizan mediciones con equipos convencionales de medición analógicos y digitales como son:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Flexómetro. • Calibrador Mitutoyo. • Durómetro de campo, marca INSIZE, modelo ISHR-D121.
TIEMPO ESTIMADO	5% del tiempo estimado para este caso: 9 días.

Elaborado por: Carlos Ubilluz

Fuente: CIRT

Tabla 4: Actividades de Control de Calidad Inicial.

Actividades para Control de Calidad (END)			
Actividad	Descripción	Herramientas	Observaciones
1	Limpieza general de todo el rodete.	Liencillo, desengrasante.	El rodete debe estar sobre base para tener acceso total.
2	Colocar protección en el piso.	Plástico.	El area del piso del rodete debe estar potegida para evitar que se ensucie.
3	Asignar numeración a cada álabe para su identificación.	Marcador para metal.	
4	CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE PRUEBA	PATRONES	Las calibraciones en laboratorio del CIRT
5	Ensayos No Destructivos : Espectometría, Inspección Visual, Rugosidad, Tintas Penetrantes, Partículas Magnéticas, Ultrasonido, Dureza, Control Dimensional, Perfil Hidráulico	Equipos propios para pruebas	Con base en la normativa CCH 70-4
6	Encerrar las imperfecciones o discontinuidades.	Marcador para metal.	Imperfecciones sujetas a verificación
7	Aceptación de las discontinuidades según la Norma CCH 70-4	Indicadores	Si cabe en la normativa es factible la reparación.

Elaborado por: Carlos Ubilluz

Fuente: CIRT

En la Tabla 4 se describe las actividades que se realizan para el Control de Calidad en el rodete Francis que debe ser reparada. De igual forma en la Tabla 5 aplicando las 5M, se detalla información relevante referente a este proceso.

Tabla 5: Control de Calidad Inicial.

CONTROL DE CALIDAD INICIAL	
	
OBJETIVO	Determinar las condiciones específicas a detalle del estado superficial, sub superficial e interno del rodete a recuperar para tener un conocimiento preciso de su condición actual.
MAQUINARIA	<p>Para este proceso se utiliza:</p> <ul style="list-style-type: none"> • PUENTE GRÚA 30 Ton. • INSPECCIÓN VISUAL: • KIT DE TINTAS PENETRANTES: fisuras, porosidad • EQUIPO DE PARTÍCULAS MAGNÉTICAS: fisuras • DURÓMETRO DE CAMPO: Dureza del acero • RUGOSÍMETRO: Acabado Superficial • MEDIDOR DE ULTRASONIDO: fisuras, porosidad • ESCÁNER 3D: Control Dimensional • PLANTILLAS: Perfil Hidráulico: • MICROSCOPIO DE BARRIDO ELECTRÓNICO: Análisis Metalográfico <p>Según norma CCH 70-4</p>
MÉTODO DE TRABAJO	Está documentado en el procedimiento CIRT-PROC02 (Anexo 10).
MANO DE OBRA	<p>El personal requerido:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Especialista en control de calidad con nivel II en ensayos no destructivos. • 2 Ayudantes Técnicos en control de calidad: Quienes se encargará de asistir al especialista de control de calidad en la realización de los ensayos respectivos.
MEDIO AMBIENTE	Todos los procesos se realizan respetando las normas de seguridad y protección medioambiental establecidas por la ISO 14001.
MATERIA PRIMA	<ul style="list-style-type: none"> • Rodete
MEDICIÓN	<p>Se realizan mediciones con equipos calibrados con certificación y con tecnología de punta.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Durómetro de campo, marca INSIZE, modelo ISHR-D121. • Escáner 3D, marca CREAFORM, modelo HANDYSCAN 700. • Espectómetro BRIKER Q4M • Kit de tintas penetrantes SPOTCHECK • Equipo Partículas Magnéticas MAGNAFLUX • Microscopio barrido electrónico STRUERS
TIEMPO ESTIMADO	5% del tiempo estimado para este caso: 9 días.

Elaborado por: Carlos Ubilluz

Fuente: CIRT

Tabla 6: Actividades para el pulido.

Actividades de Pulido			
Actividad	Descripción	Herramientas	Observaciones
1	Preparar los equipos a utilizar	Amoladoras, rectificadoras, convertidor de alta frecuencia.	Los equipos que se van a utilizar deben estar accesible
2	Colocación de los EPP's	EPP's	Colocarse los EPP's necesarios de acuerdo al riesgo presente.
3	Apertura de los defectos encontrados en los ensayos no destructivos.	Rectificadoras, fresas cilíndricas, esféricas, triangulares, cortas y largas.	
4	Pulido de la parte externa de la corona y la banda con amoladoras angulares.	Amoladoras angulares, lijas rotativas circular grano 80 Ø= 50mm, grano 60 Ø= 50mm, grano 40 Ø= 30mm.	Según pruebas de Control de Calidad Inicial norma CCH 70-4. Preparación para procesos de soldadura
5	Pulido de las partes donde se observan desgastes profundos.	Rectificadoras, fresas cilíndricas, esféricas, triangulares, cortas y largas	
6	Pulido de la zona de soldadura de los álabes con la corona y banda.	Amoladora angular, lija rotativa plana grano 40.	

Elaborado por: Carlos Ubilluz

Fuente: CIRT

En la Tabla 6 se describe las actividades que se realizan para el pulido inicial o desbaste de material fatigado del rodete Francis que debe ser reparada. De igual forma en la Tabla 7 aplicando las 5M, se detalla información relevante referente a este proceso.

Tabla 7: Pulido inicial o desbaste de material fatigado.

PULIDO INICIAL O DESBASTE DE MATERIAL FATIGADO	
	
ETIVO	Pulir y preparar la superficie para la aplicación de soldadura la cual se puede realizar manualmente o con máquina CNC.
MAQUINARIA	<ul style="list-style-type: none"> • Puente Grúa 30 Ton. • Torno Vertical 3 ejes, marca BOST. • Pulidoras angulares, marca MILWAUKEE, modelo AP12E. • Rectificadora Mototool, marca DEWALT, modelo DW4887.
MÉTODO DE TRABAJO	Está documentado en el procedimiento CIRT-PROC03 (Anexo 11).
MANO DE OBRA	<p>El personal requerido:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 4 Técnicos Pulidores. • 1 Especialista operador Torno Vertical. • 1 Supervisor de Soldadura.
MEDIO AMBIENTE	Todos los procesos se realizan respetando las normas de seguridad y protección medioambiental establecidas por la ISO 14001.
MATERIA PRIMA	<ul style="list-style-type: none"> • Rodete
MEDICIÓN	Las mediciones del proceso de pulido y desbaste se realizan con la utilización de plantillas en base a planos de diseño y la utilización de sistemas de medición propias de las máquinas CNC.
TIEMPO ESTIMADO	20% del tiempo estimado para este caso: 36 días.

Elaborado por: Carlos Ubilluz

Fuente: CIRT

Tabla 8: Actividades para soldadura.

Actividades para Soldadura			
Actividad	Descripción	Herramientas	Observaciones
1	Preparar los equipos a utilizar	Soldadora, soldadura TIG, robot y electrodos. cilindro de argón con su indicador de presión.	Los equipos que se van a utilizar deben estar accesible.
2	Colocación de los EPP's	EPP's	Colocarse los EPP's necesarios de acuerdo al riesgo presente.
2	Calibrar la máquina de soldar.	Soldadoras	
3	Colocar al rodete sobre soportes del lado de la corona.	Soporte de 0,6m de alto	
4	Calentar la zona donde se va a soldar hasta unos 50° C.	Mechero, cilindro de gas, antorcha para calentar y pirómetro.	Calentar de manera uniforme la zona donde se va a rellenar con soldadura.
5	Rellenar con soldadura TIG en la zona del laberinto de la corona donde se realizó el pulido puntual con las fresas.	Soldadora TIG, electrodo de tungsteno y aporte TIG de acero inoxidable ER 410NiMo 3/32 x 36"	Controlar la temperatura de la superficie del rodete no exceda de los 90° C.
6	Rellenar con soldadura TIG alrededor de los álabes fijos en la unión con la corona y la banda.	Soldadora TIG, electrodo de tungsteno y aporte TIG de acero inoxidable ER 410 NiMo 3/32 x 36"	Controlar la temperatura de la superficie del rodete no exceda de los 90° C.
7	Luego del relleno con soldadura TIG con electrodo en la zona del laberinto de la corona, debe quedar con una sobremedida de 3 mm de la nominal del rodete.	Soldadora de electrodo, electrodo E410 NiMo-15, Ø= 3,25mm.	Controlar la temperatura de la superficie del rodete no exceda de los 90° C.
8	Soldar con electrodo 120 mm desde el filo de la entrada en la parte de la corona hacia la parte interior del laberinto de forma perpendicular a la entrada del agua.	Soldadora de electrodo, electrodo E410 NiMo-15, Ø= 3,25mm.	Controlar la temperatura de la superficie del rodete no exceda de los 100° C.
9	Colocar el rodete sobre los soportes de 1,25 m asentado del lado de la corona	Soportes de 1,25 m.	
10	Soldar la parte interna de los álabes desde el filo hacia la parte de entrada del agua una franja de 150mm.	Soldadora de electrodo, electrodo E410 NiMo-15, Ø= 3,25mm.	Controlar la temperatura de la superficie del rodete no exceda de los 90° C.
11	Colocar el rodete de manera vertical sobre soportes de madera.	Soportes de madera	
12	Soldar los álabes del lado de la corona, laberinto parte superior y banda.	Soldadora de electrodo, electrodo E410 NiMo-15, Ø= 3,25mm.	
13	REALIZAR PRUEBAS DE CONTROL DE CALIDAD DESPUÉS DE CADA INTERVENCIÓN POR SECTOR	EQUIPOS PARA ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS	CON ESTO SE EVITA REPROCESOS

Elaborado por: Carlos Ubilluz

Fuente: CIRT

En la Tabla 8 se describe las actividades que se realizan para la soldadura de las partes deterioradas del rodete Francis que debe ser reparada. De igual forma en la Tabla 9 aplicando las 5M, se detalla información relevante referente a este proceso.

Tabla 9: Soldadura del rodete.

SOLDADURA DEL RODETE	
	
OBJETIVO	Recuperar los perfiles hidráulicos y partes desgastadas o fatigadas, mediante relleno de cavidades a través de diferentes procesos de soldadura.
MAQUINARIA	<p>Soldadura manual a través de:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Soldadora, equipada para multiprocesos SMAW Y GTAW, marca LINCOLN, modelo ASPECT 375. • Soldadora para electrodo revestido, marca LINCOLN, modelo S 350. <p>Soldadura automática:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Brazo robótico de soldadura MIG, marca KUKA, modelo KR30 L16.
MÉTODO DE TRABAJO	Está documentado en el procedimiento CIRT-PROC04 (Anexo 12)
MANO DE OBRA	<p>El personal requerido:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Técnico Pulidor. • Especialista operador del CNC. • Especialista en tecnología de materiales y soldadura. • Técnico Soldador.
MEDIO AMBIENTE	Todos los procesos se realizan respetando las normas de seguridad y protección medioambiental establecidas por la ISO 14001.
MATERIA PRIMA	<ul style="list-style-type: none"> • Rodete
MEDICIÓN	<p>Las mediciones del proceso de soldadura se realizan con la utilización de plantillas en base a planos de diseño.</p> <p>Las mediciones de temperatura se las realiza con: Pirómetro digital, marca FLUKE, modelo FLK-62MAX.</p>
TIEMPO ESTIMADO	40% del tiempo estimado para este caso: 72 días.

Elaborado por: Carlos Ubilluz

Fuente: CIRT

Tabla 10: Actividades para el Mecanizado

Actividades para el Mecanizado			
Actividad	Descripción	Herramientas	Observaciones
1	Encender tomo Vertical.	Tomo Vertical BOST.	
2	Fijar la pieza en el tomo vertical.	Tomo Vertical BOST.	
3	Programar codigos para tomo vertical	Tomo Vertical BOST.	
4	Iniciar el proceso de torneado en las zonas donde se rellenó con soldadura con + 1 mm sobre medida nominal.	Tomo Vertical BOST, planos del rodete.	Ingresar datos del diseño del rodete en CAD para que el tomo pueda trabajar con las medidas exactas del rodete
5	Verificar medidas con sistema medición propias del tomo vertical	Tomo Vertical BOST, sistema interno de medición	

Elaborado por: Carlos Ubilluz

Fuente: CIRT

En la Tabla 10 se describe las actividades que se realizan para el Mecanizado de las partes intervenidas en el proceso de soldadura del rodete Francis que debe ser reparado. De igual forma en la Tabla 11 aplicando las 5M, se detalla información relevante que se refiere al Mecanizado.

Tabla 11: Mecanizado.

MECANIZADO	
	
OBJETIVO	Desbastar material fatigado a través de máquinas CNC de gran capacidad. Obtener dimensiones y acabados superficiales adecuados.
MAQUINARIA	<ul style="list-style-type: none"> • Puente Grúa 30 Ton. • Torno Vertical 3 ejes, marca BOST. • Centro de mecanizado CNC de 4 ejes, marca HASS, modelo VF-9/50. • Centro de mecanizado CNC de 4 ejes marca ROMI, modelo E320.
MÉTODO DE TRABAJO	Está documentado en el procedimiento CIRT-PROC05 (Anexo 13).
MANO DE OBRA	El personal requerido: <ul style="list-style-type: none"> • Especialista operador del CNC. • Especialista en diseño y simulación. • Jefe de ingeniería de diseño y optimización.
MEDIO AMBIENTE	Todos los procesos se realizan respetando las normas de seguridad y protección medioambiental establecidas por la ISO 14001.
MATERIA PRIMA	<ul style="list-style-type: none"> • Rodete
MEDICIÓN	Sistemas de medición con palpadores y señales infrarrojos instalados en las máquinas CNC.
TIEMPO ESTIMADO	10% del tiempo estimado para este caso: 18 días.

Elaborado por: Carlos Ubilluz

Fuente: CIRT

Tabla 12: Actividades para Tratamiento Térmico.

Actividades para Tratamiento Térmico			
Actividad	Descripción	Herramientas	Observaciones
1	Ingresar el rodete en el Horno	Horno de tratamientos Térmicos	Ingresar lentamente el rodete al horno con la ayuda del puente grúa.
2	Programar el horno la rampa de incremento de temperatura de 50°C/h partiendo desde la temperatura ambiente.	Horno de tratamientos Térmicos	
3	Verificar que la temperatura se mantenga en ascenso constante hasta llegar a 20° menos del último tratamiento térmico.	Horno de tratamientos Térmicos	En caso de que sea la primera vez que se realice el tratamiento térmico, la temperatura a llegar será de 590°C.
4	Programar el horno la rampa de descenso de temperatura de 50°C/h hasta llegar a la temperatura ambiente.	Horno de tratamientos Térmicos	Mantener al rodete en el horno hasta que se enfíe y llegue a la temperatura ambiente.
5	Elaborar el certificado de tratamiento térmico.		El rodete no puede tener mas de 2 Tratamientos Térmicos para poder ser intervenido

Elaborado por: Carlos Ubilluz

Fuente: CIRT

En la Tabla 12 se describe las actividades que se realizan para el tratamiento térmico de las partes intervenidas con soldadura para alivio de tensiones ocasionadas por los procesos de soldadura en el rodete de la turbina Francis. De igual forma en la Tabla 13 aplicando las 5M, se detalla información relevante sobre el proceso de Tratamiento Térmico.

Tabla 13: Tratamiento Térmico.

TRATAMIENTO TÉRMICO	
	
OBJETIVO	Realizar alivio de tensiones producidos por el proceso de soldadura.
MAQUINARIA	<ul style="list-style-type: none"> • Puente Grúa 30 Ton. • Horno de tratamiento térmico, 480V/3Ø, 30 Ton. Max, 650°C.
MÉTODO DE TRABAJO	El método de trabajo está documentado en el procedimiento CIRT-PROC06 (Anexo 14).
MANO DE OBRA	El personal requerido: <ul style="list-style-type: none"> • Técnico pulidor. • Especialista en soldadura y materiales. • Especialista de control de calidad y laboratorio.
MEDIO AMBIENTE	Todos los procesos se realizan respetando las normas de seguridad y protección medioambiental establecidas por la ISO 14001.
MATERIA PRIMA	<ul style="list-style-type: none"> • Rodete
MEDICIÓN	Las mediciones del proceso se realizan mediante sensores de temperatura, los mismos que tiene sensores que están distribuidos en la parte interna tanto en el horno como en el rodete.
TIEMPO ESTIMADO	5% del tiempo estimado para este caso: 9 días.

Elaborado por: Carlos Ubilluz

Fuente: CIRT

Tabla 14: Actividades para el Balanceamiento Estático.


Actividades para el Balanceamiento Estático.			
Actividad	Descripción	Herramientas	Observaciones
1	Colocar al rodete en forma Horizontal.	Puente grúa.	
2	Introducir el eje en el rodete por el lado de la banda.	Eje	Eje macizo de 2m de largo y diámetro variable de acuerdo al peso del rodete que se va a izar.
3	Insertar dos bridas en el eje, una por el lado de la corona y la segunda por el lado de la banda.	2 bridas.	Asignar un número para identificación de las planchas para las bridas son de acero al carbono dependiendo del peso son de 40, 30 o 20mm de espesor.
4	Regular la simetría del eje con una tolerancia de ± 30 mm.	Eje, flexómetro.	
5	Colocar los espárragos en las bridas del lado de la corona y banda cada 90°, entre brida y banda deben estar desfasados a 45°.	Bridas, espárragos.	Se colocan con desfase de 45° para tener un mejor ajuste. Los pernos son de $\varnothing 20$ mm.
6	Colocar fajas a ambos lados del eje para izar el rodete.	Eje, fajas.	
7	Transportar el conjunto sobre el sistema de balanceamiento estático en el inicio de los rieles.	Puente grúa.	
8	Colocar el conjunto sobre el sistema de balanceamiento estático en el inicio de los rieles.	Sistema de balanceamiento estático.	Debe estar ubicado al inicio de las barras del sistema.
9	Hacer girar el rodete hasta la mitad de las barras.	Sistema de balanceamiento estático.	
10	Dejar al rodete en la mitad de las barras y permitirlo girar libremente.	Sistema de balanceamiento estático.	
11	Marcar el lado donde está más pesado	Sistema de balanceamiento estático.	El lado más pesado es el que necesite balanceo.
12	A 180° del lugar marcado se colocan pesos en la parte de la banda para equiparar el peso del rodete.	Sistema de balanceamiento estático, imanes de 1-5Kg, pesos.	
13	Pulir la parte pesada, del lado de la corona externa hasta 10mm de profundidad en franja de 200mm de largo.	Amoladora angular, lija rotativa grano 60.	
14	Elaborar un certificado de balanceamiento estático.		

Elaborado por: Carlos Ubilluz

Fuente: CIRT

En la Tabla 14 se describe el procedimiento de las actividades que se realizan para el balanceamiento estático del rodete de la turbina Francis. De igual forma en la Tabla 15 aplicando las 5M, se detallan dichas actividades.

Tabla 15: Balanceamiento estático.

BALANCEAMIENTO ESTÁTICO	
	
OBJETIVO	Asegurar que el material producto de la soldadura haya sido ubicado uniformemente en todo el rodete evitando que exista exceso de material en ciertas partes lo que ocasionaría que el rodete gire en forma irregular y pueda ocasionar vibraciones y por ende baja eficiencia.
MAQUINARIA	<ul style="list-style-type: none"> • Puente Grúa 30Ton. • Balanceador estático, tipo BARRAS PARALELAS. • Pulidoras angulares, marca MILWAUKEE, modelo AP12E.
MÉTODO DE TRABAJO	Está documentado en el procedimiento CIRT-PROC07 (Anexo 15).
MANO DE OBRA	El personal requerido: <ul style="list-style-type: none"> • Técnico Pulidor. • Especialista en soldadura y materiales. • Especialista de control de calidad y laboratorio.
MEDIO AMBIENTE	Todos los procesos se realizan respetando las normas de seguridad y protección medioambiental establecidas por la ISO 14001.
MATERIA PRIMA	- Rodete
MEDICIÓN	Se usan: <ul style="list-style-type: none"> • Nivel de precisión, marca INZISE, modelo 4903-200A. • Balanza digital, marca GRAM, modelo ZFOC-30.
TIEMPO ESTIMADO	5% del tiempo estimado para este caso: 9 días.

Elaborado por: Carlos Ubilluz

Fuente: CIRT

Tabla 16: Actividades para pruebas finales de Control de Calidad.

Actividades para Pruebas Finales de Control de Calidad			
Actividad	Descripción	Herramientas	Observaciones
1	Limpieza general de todo el rodete.	Liencillo, desengrasante.	El rodete debe estar horizontal sobre base para tener acceso total.
2	Colocar protección en el piso.	Plástico.	El area del piso del rodete debe estar protegida para evitar que se ensucie.
3	Inspección de la corona (sector ingreso del agua).	Planos del rodete, marcador para metal y calibrador vernier.	
4	Inspección de la banda (sector ingreso del agua).	Planos del rodete, marcador para metal y calibrador vernier.	
5	Control de dureza en tres sectores del rodete	Durómetro, registro de reparaciones anteriores.	La prueba se realiza en la corona, álabes y banda del rodete.
6	Calentar la lámpara UV y realizar prueba de Partículas Magnéticas	Equipo de partículas magnéticas	
7	Prueba de tintas penetrantes	Kit de tintas penetrantes	
8	Control metalográfico final	Laboratorio portátil de metalografía.	
9	Control de rugosidad	Rugosímetro	comparar con niveles admisibles.
10	Prueba de Ultrasonido	Equipo de ultrasonido	
11	Elaborar un certificado de CC		

Elaborado por: Carlos Ubilluz

Fuente: CIRT

En la Tabla 16 se describe las actividades que se realizan para las pruebas finales de Control de Calidad del rodete de la turbina Francis. En la Tabla 17 aplicando las 5M, muestra todo lo relacionado al trabajo final que revele que el rodete está recuperado cumpliendo con los estándares requeridos.

Tabla 17: Pruebas finales de control de calidad.

PRUEBAS FINALES DE CONTROL DE CALIDAD	
	
OBJETIVO	Verificar que el trabajo de recuperación cumpla con los estándares de calidad establecidos.
MAQUINARIA	<p>EQUIPOS:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Durómetro de campo, marca INSIZE, modelo ISHR-D121. • Equipo de Partículas magnéticas, MAGNAFLUX, modelo ZB. • Laboratorio portátil de metalografía. • Kit de tintas penetrantes, marca SPOTCHECK. • Rugosímetro, marca INZISE, modelo ISR-C100. • Equipo de ultrasonido, marca OLYMPUS, modelo OmniScan MX2.
MÉTODO DE TRABAJO	Está documentado en el procedimiento CIRT-PROC08 (Anexo 16).
MANO DE OBRA	<p>El personal requerido:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Técnico Pulidor. • Especialista en soldadura y materiales. • Especialista de control de calidad y laboratorio.
MEDIO AMBIENTE	Todos los procesos se realizan respetando las normas de seguridad y protección medioambiental establecidas por la ISO 14001.
MATERIA PRIMA	<ul style="list-style-type: none"> • Rodete
MEDICIÓN	Los equipos específicos utilizados poseen calibración y marcan valores en sus indicadores, los valores se comparan con las máximas tolerancias especificadas en planos de diseño.
TIEMPO ESTIMADO	10% del tiempo estimado para este caso: 18 días.

Elaborado por: Carlos Ubilluz

Fuente: CIRT

Descripción de formatos

Todos los trabajos de investigación, reparación y desarrollo que se realizan en el CIRT son manejados como proyectos. Estos proyectos están basados según los lineamientos del PMI (Instituto de Manejo de Proyectos) donde recomiendan:

- Para manejar un proyecto debe basarse por procesos donde se consideran **Entradas, Proceso (herramientas - técnicas) y Salidas** para su desarrollo.
- Todo el proceso está basado en el círculo de Deming (PHVA) – círculo de la calidad.

Siempre en un proyecto existe: **ENTRADA – PROCESO – SALIDA**. Ver Gráfico 9.

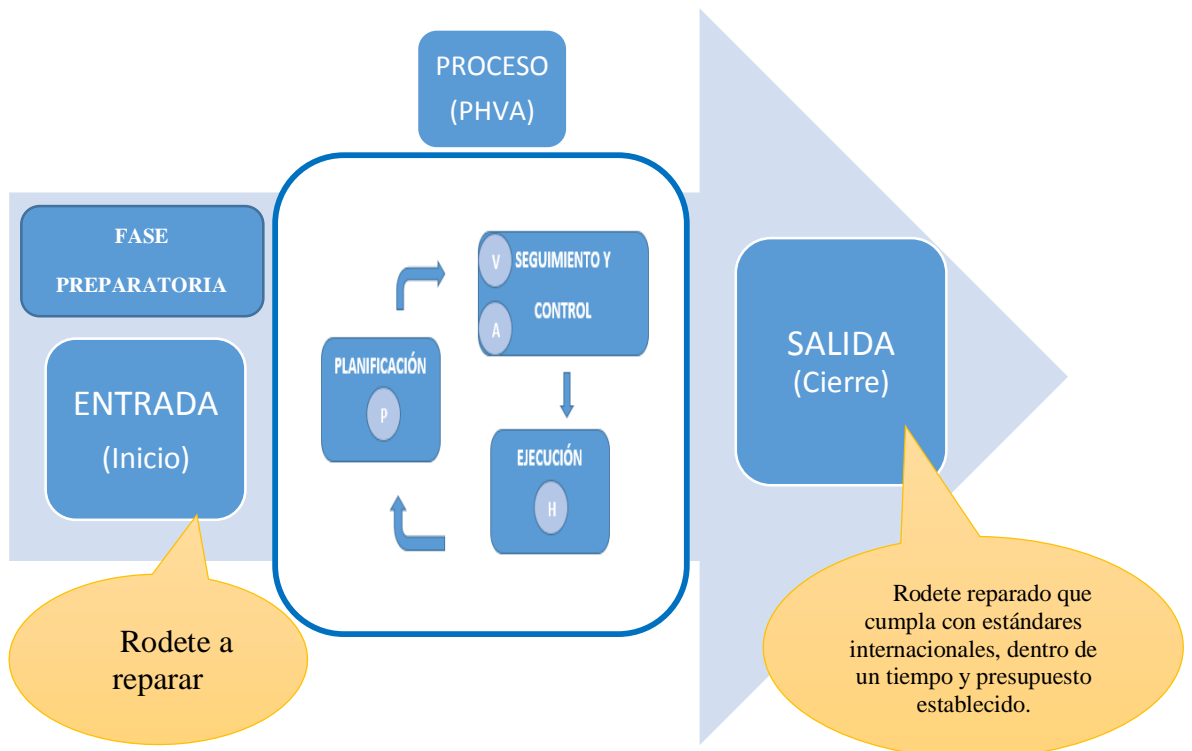


Gráfico 9: Manejo del proyecto de recuperación de rodete tipo Francis
Elaborado por: Carlos Ubilluz

Si en la SALIDA:

- El rodete no cumple con los estándares de calidad, este fracasará en cualquier momento en su funcionamiento.
- Si sobrepasa el costo y tiempo de reparación planificada será una pérdida para la empresa.

Para evitar lo antes descrito y cumplir con el objetivo de reparación se debe hacer una buena Planificación; Ejecutar con base a la Planificación, donde la Ejecución debe tener un Seguimiento y Control comparando que este proceso cumpla con lo propuesto.

En la ENTRADA:

El CIRT no puede intentar reparar cualquier rodete, sólo podrá reparar rodetes que sean factibles en cuanto a la parte técnica y financiera, si no cumple con estos requisitos la reparación no se la realizará. Por ejemplo: Si un rodete que se piensa reparar está muy deteriorado físicamente, los costos de reparación son tan elevados o técnicamente sean imposibles de reparar, lo más indicado para la parte interesada sería adquirir un rodete nuevo.

Para tomar la decisión de reparar o no, existe una etapa anterior a la del proceso de Inicio que se llama etapa o fase Preparatoria donde se realiza un análisis de Pre-factibilidad realizando dos evaluaciones: Técnica y económica, con base en estos dos parámetros puede ser o no admisible el proceso de reparación del rodete.

Existen formatos para el proceso de Inicio, para el proceso de Planificación y Ejecución pero no para el proceso de Seguimiento y Control y Proceso de cierre, los cuales se lo va a diseñar. Los formatos existentes son muy generales y redundantes entre sí, para lo cual se va a optimizar su diseño para su eficaz aplicación, los mismos tendrán una secuencia para los diferentes procesos y así obtener una base importante dentro de la recuperación del rodete.

Formatos Fase 1: Gestión del Proyecto de recuperación de turbina

A continuación en la Tabla 18, se presentan los formatos que se manejan actualmente en el CIRT en cada etapa, además en las observaciones se muestra como aquella información se sintetiza y optimiza en los nuevos formatos.

Tabla 18: Lista de formatos actuales.

GRUPO DE PROCESO	FORMATO	NOMBRE	OBSERVACIONES
ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD (Fase Preparatoria)	A0	Inspección en campo	Formato 7
	A1	Factibilidad del proyecto	Formatos 2, 3, 5, 7
	A2	Propuesta del proyecto	
	A3	Proforma	
A4	-----		
INICIO	A5	Acta de constitución del proyecto	
	A6	Registro de interesados	
PLANIFICACIÓN	A7	Alcance	
	A8	Creación EDT	
	A9	Lista de actividades	
	A10	-----	
	A11	Lista de actividades	
	A12	Estimación de costos	Formato 7
	A13	Plan de gestión de la calidad	Formato 7
	A14	Plan de gestión de recursos humanos	Formato 5
	A15	Plan de gestión de comunicaciones	Formato 7
A16	Plan de gestión del riesgo	Formato 6	
EJECUCIÓN	A17	Asignaciones del personal para el proyecto y calendario de recursos	Formato 2, 7
	A18	Plan auditoría de proyecto	Formato 1, 4, 7
	A19	Lista verificación auditoría de proyecto	Formato 1, 7
	A20	Informe auditoría de proyecto	Formato 4, 7
	A21	Solicitudes de cambio	Formato 7
	A22	Evaluaciones de desempeño del equipo	Formato 1, 4, 7
	A23	Solicitudes de cambio	Formato 7
	A24	Comunicaciones, presentaciones y registros del proyecto	Formato 7
A25	-----		
CONTROL Y SEGUIMIENTO	-----	-----	Formato 1, 2, 4, 5, 6, 7
CIERRE	A26	Lista de cierre del proyecto	Formato 7
	A27	Encuesta de evaluación con el interesado posterior A la terminación del proyecto	Formato 7

Elaborado por: Carlos Ubilluz

Para realizar una evaluación técnica y económica se utiliza los siguientes formatos:

- A-00 (Inspección Inicial) Se realiza la inspección física de campo o de taller.
- A-01 (Factibilidad del Proyecto) Se analiza la factibilidad del proyecto.
- A-02 (Propuesta del Proyecto) Se determina recursos y actividades.
- A-03 (Proforma – Determinación de los Costos de Reparación)
- A-05 (Acta de Constitución del Proyecto) – Cronograma.
- A-06 (Registro de Interesados) Matriz de interesados.
- Formato de planificar costo, tiempo y calidad

Los formatos existentes no se ajustan a los requerimientos del CIRT por lo que se los tiene que reestructurar desde el inicio para que la información que vaya en los formatos sea efectiva, precisa y que no se repita entre los demás formatos como ha estado sucediendo, por lo que el personal a cargo ha perdido tiempo en tratar de hacer constar la información que se solicitaba en dichos formatos.

Es por eso que se va a estructurar (Estructura de control de calidad general) para saber exactamente cuáles son los formatos que se tienen que hacer de acuerdo a la cadena del proceso, donde se va a definir cuáles son los procesos que van a causar retrasos (tiempo, costo y la calidad) y en base a eso se va a establecer formatos que tengan información adecuada (Estandarización de los procesos).

Otro factor de retraso son las firmas de documentos entre responsables del proyecto y altos mandos por lo que se hace el trámite engorroso, entonces se quiere quitar firmas (responsabilidades) para que los procesos se agilicen y complementar el proceso con el diseño de los nuevos formatos; acorde a las recomendaciones del PMI, que sugiere se agilite el flujo de documentación con responsabilidades directas de jefes y supervisores del proyecto.

Si bien es cierto se han diseñado algunos formatos en el CIRT, pero sin tomar en consideración a todos los Stakeholders del proceso. Actualmente en el CIRT solo

se está manejando los formatos hasta el A-06 en otras palabras, el resto de formatos son deficientes e inusuales. Ante lo cual en los nuevos formatos se incorpora información concisa que esté relacionada con el resto de formatos nuevos.


Formatos Fase 2: Procedimientos y formatos para la estandarización del proceso de recuperación del rodete tipo Francis


Para lo que concierne a la Fase 2, que es el proceso de recuperación de rodetes de la turbina Francis existían procedimientos generales; por lo que se proponen procedimientos de control en los subprocesos como parte medular de la estandarización de dicho proceso. (Anexos 9, 10,11, 12, 13, 14, 15 y 16).


Indicadores de Control de Calidad

Para el control del proceso (Fase 1: Control del Proyecto) y (Fase 2: Control del proceso de recuperación del rodete tipo Francis); es necesario establecer indicadores que contribuyan con el control de calidad de dichos procesos y de esta manera cumplir con los parámetros establecidos por normativas. En la matriz que se presenta a continuación se describen los elementos sustanciales que debe tener un indicador de calidad, se lo puede evidenciar en la Tabla 19 adjunta.

Tabla 19: Matriz de Indicadores de Control y de Calidad

CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y RECUPERACIÓN DE TURBINAS Y PARTES INDUSTRIALES CIRT		MATRIZ DE INDICADORES DE CONTROL DE CALIDAD DEL PROCESO DE RECUPERACIÓN DEL RODETE TIPO FRANCIS								
		VERSIÓN:								
		FECHA DE EMISIÓN:								
CÓDIGO:		PAG. 1-3								
PROCESO RESPONSABLE:										
SUBPROCESO	OBJETIVO DE CALIDAD	NOMBRE DEL INDICADOR	OBJETIVO DEL INDICADOR	FÓRMULA MATEMÁTICA	UNIDAD DE MEDIDA	TIPO DEL INDICADOR	RESPONSABLE DE LA MEDICIÓN	META	RANGO DE GESTIÓN	FRECUENCIA DE LA MEDICIÓN
FASE 1: CONTROL DEL PROYECTO	Desempeño del Proyecto	Determinar la eficiencia del Proyecto	Índice de Desempeño del Trabajo por Completar (TCP1)	Mide la relación entre lo que hace falta trabajar y los fondos económicos restantes.	$TCP1 = \frac{(BAC - EV)}{(BAC - AC)}$	Porcentaje	Eficiencia	100%	0 ≤ 1	Mensual
	Desempeño del Proyecto	Determinar el cumplimiento de cotos	Índice de cumplimiento de costos	Muestra el avance en la evolución de los costos reales de la obra.	Presupuesto ejecutado / Presupuesto Inicial	Porcentaje	Eficiencia	100%	0 ≤ 1	Mensual
	Avance del Proyecto	Controlar los recursos físicos de la obra	Índice de Avance Físico	Medir la cantidad de obra ejecutada.	$IAF = AFR / AFP$	Porcentaje	Eficiencia	100%	0 ≤ 1	Mensual

CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y RECUPERACIÓN DE TURBINAS Y PARTES INDUSTRIALES CIRT		MATRIZ DE INDICADORES DE CONTROL DE CALIDAD DEL PROCESO DE RECUPERACIÓN DEL RODETE TIPO FRANCIS									
											
CÓDIGO:		FECHA DE EMISIÓN:									
PROCESO RESPONSABLE:		PAG.2-3									
VERSIÓN:											
SUBPROCESO	OBJETIVO DE CALIDAD	NOMBRE DEL INDICADOR	OBJETIVO DEL INDICADOR	FÓRMULA MATEMÁTICA	UNIDAD DE MEDIDA	TIPO DEL INDICADOR	RESPONSABLE DE LA MEDICIÓN	META	RANGO DE GESTIÓN	FRECUENCIA DE LA MEDICIÓN	
FASE 2: CONTROL DEL PROCESO DE RECUPERACIÓN DEL RODETE TIPO FRANCIS	Inspección Visual	Determinar la viabilidad de recuperación del rodete tipo Francis y calidad de reparación.	Acabado superficial	Comparar el acabado superficial y desgaste del rodete en referencia a los planos de diseño.	Instrumentación	µm	Rugosidad Ra	Jefe de control de calidad	0	Según CCH 70-4, zona I-X: ≤6,3 µm - ≤12,5 µm	2 veces por proyecto
	Inspección Visual	Determinar la viabilidad de recuperación del rodete tipo Francis	Dureza	Comparar los parámetros de dureza del acero del rodete en función de la norma CCH 70-4.	Instrumentación	HB (brinell hardness)	Dureza del material	Jefe de control de calidad	270	230-300	2 veces por proyecto
	Inspección Visual	Determinar la viabilidad de recuperación del rodete tipo Francis	Análisis de Microestructura	Comparar los parámetros de microdureza, morfología y el tamaño de grano en función de la norma CCH70-4.	Inspección microscópica	Adimensional	Forma del grano	Jefe de control de calidad	Forma poligono regular	ACERO INOXIDABLE MARTENSÍTICO ASTM A743 CA-6NM	2 veces por proyecto

CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y RECUPERACIÓN DE TURBINAS Y PARTES INDUSTRIALES CIRT		MATRIZ DE INDICADORES DE CONTROL DE CALIDAD DEL PROCESO DE RECUPERACIÓN DEL RODETE TIPO FRANCIS								
		VERSIÓN: _____ FECHA DE EMISIÓN: _____								
CÓDIGO: _____		PAG. 3-3								
PROCESO RESPONSABLE: _____										
SUBPROCESO	OBJETIVO DE CALIDAD	NOMBRE DEL INDICADOR	OBJETIVO DEL INDICADOR	FÓRMULA MATEMÁTICA	UNIDAD DE MEDIDA	TIPO DEL INDICADOR	RESPONSABLE DE LA MEDICIÓN	META	RANGO DE GESTIÓN	FRECUENCIA DE LA MEDICIÓN
Tintas penetrantes	Determinar la viabilidad de recuperación del rodete tipo Francis y calidad de reparación	Porosidad	Comparar niveles de porosidad y fisuras según CCH 70-4	Área total de indicaciones relevantes / 100 mm ²	%	Densidad de porosidad	Jefe de control de calidad	0	Según CCH 70-4: Clase 1 relevante= Ø0,5mm, área total = 6,5 mm ² /100 mm ²	2 veces por proyecto
		Fisuras				Longitud de fisuras		0	Según CCH 70-4 1mm / 100 mm ²	
Partículas Magnéticas	Determinar la viabilidad de recuperación del rodete tipo Francis y calidad de reparación	fisuras	Comparar niveles de fisuras según los parámetros de la CCH 70-4	Instrumentación	mm	Longitud de fisuras	Jefe de control de calidad	0	Según CCH 70-4. Max long=3 mm, suma max long.= 18 mm, distancia entre fisuras = 10 L(10 veces longitud de fisura max). En probeta (100 mm ²)	2 veces por proyecto
Ultrasonido	Verificar que el trabajo de recuperación cumple con los estándares de calidad establecidos.	Porosidad	Verificar discontinuidades lineales y porosidades en función de las medidas de diseño del rodete tipo Francis.	Instrumentación	mm	Longitud de fisuras	Jefe de control de calidad	0	Según CCH 70-4. t= espesor t=18-60mm Lmax=t/3mm, t>60mm Lmax=20mm	1 vez por proyecto
				Instrumentación	mm	Diámetro de Poros		0	Según CCH 70-4. t= espesor t=6-50mm Ø 0,8mm, t>50mm Ø 1,5mm	


Elaborado por: Carlos Ubilluz

Resultados esperados

Como se puede observar en la Tabla 20, se presentan los formatos de la situación actual del proceso de recuperación de turbinas Francis y el proceso estandarizado; en el cual se evidencia el cambio realizado con respecto a las dos fases que maneja el CIRT.

La Fase 1, que se refiere a la Gestión de Proyectos de recuperación de turbinas y Partes Industriales y la Fase 2, que se refiere a la recuperación de los rodets en las turbinas tipo Francis.

Tabla 20: Resultados esperados.

 RESULTADOS ESPERADOS			
PROCESO ACTUAL		PROCESO ESTANDARIZADO	
FASE 1: Gestión del proyecto de recuperación de turbinas y partes industriales.		FASE 1: Estandarización del proceso	
FORMATO	NOMBRE	FORMATO	NOMBRE
A0	INSPECCIÓN EN CAMPO	1	SEGUIMIENTO DEL PROYECTO (Anexo 2)
A1	FACTIBILIDAD DEL PROYECTO	2	PRESUPUESTO DEL PROYECTO (Anexo 3)
A3	PROPUESTA DEL PROYECTO	3	LISTA DE TAREAS (Anexo 4)
A4	PROFORMA	4	SEGUIMIENTO DE ERRORES (Anexo 5)
A5	ACTA DE COSTITUCIÓN DEL PROYECTO	5	CONTROL DE HORAS (Anexo 6)
A6	REGISTRO DE INTERESADOS	6	GESTIÓN DE RIESGOS (Anexo 7)
A7	ALCANCE	7	PLAN DE GESTIÓN DE PROYECTOS (Anexo 8)
A8	CREACIÓN EDT		
A11	LISTA DE ACTIVIDADES		
A12	ESTIMACIÓN DE COSTOS		
A13	PLAN DE GESTIÓN DE LA CALIDAD		
A14	PLAN DE GESTIÓN DE RECURSOS HUMANOS		
A15	PLAN DE GESTIÓN DE COMUNICACIONES		
A16	PLAN DE GESTIÓN DEL RIESGO		
A17	ASIGNACIONES DEL PERSONAL PARA EL PROYECTO Y CALENDARIO DE RECURSOS		
A18	PLAN AUDITORÍA DE PROYECTO		
A19	LISTA VERIFICACIÓN AUDITORÍA DE PROYECTO		
A20	INFORME AUDITORÍA DE PROYECTO		
A21	SOLICITUDES DE CAMBIO		
A22	EVALUACIONES DE DESEMPEÑO DEL EQUIPO		
A24	COMUNICACIONES, PRESENTACIONES Y REGISTROS DEL PROYECTO		
A26	LISTA DE CIERRE DEL PROYECTO		
A27	ENCUESTA DE EVALUACIÓN CON EL INTERESADO POSTERIOR A LA TERMINACIÓN DEL PROYECTO		
FASE 2: Recuperación del rodete tipo Francis		FASE 2: Recuperación del rodete tipo Francis	
PROCEDIMIENTOS GENERALIZADOS		FORMATO	PROCEDIMIENTO OPTIMIZADOS
		CIRT-PROC01	INSPECCIÓN VISUAL
		CIRT-PROC02	ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS
		CIRT-PROC03	PULIDO INICIAL O DESBASTE DE MATERIAL FATIGADO
		CIRT-PROC04	SOLDADURA DEL RODETE
		CIRT-PROC05	MECANIZADO
		CIRT-PROC06	TRATAMIENTO TÉRMICO
		CIRT-PROC07	BALANCEAMIENTO ESTÁTICO
		CIRT-PROC08	PRUEBAS FINALES DE CONTROL DE CALIDAD

Elaborado por: Carlos Ubilluz

Cabe mencionar que la reparación de un rodete en el exterior implica costos adicionales como los que genera la logística de movilizar el rodete fuera del país.

Con la experiencia de técnicos que procedan con las reparaciones a los rodetes, y contando con tecnología avanzada, se espera que las centrales hidráulicas del país eviten las grandes inversiones que representan las compras de nuevos rodetes;

además del tiempo que se puede ahorrar, y opten por la reparación de los mismos aquí en el país. En la Tabla 21, se realiza una comparación en cuanto a costos y tiempos de recuperación de rodetes tipo Francis realizadas en el CIRT, en el exterior y lo que costaría los nuevos.

Tabla 21: Cuadro comparativo del proceso de recuperación del rodete.

RODETE DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA SAN FRANCISCO			
	REPARACION EN EL CIRT	REPARACIÓN EXTRANJERO	NUEVO
TIEMPO	6 meses	10 meses	4 años
COSTO	\$ 640.000	\$ 1.440.000	\$ 4.500.000

Elaborado por: Carlos Ubilluz

Como se dijo antes, para la estandarización de los procedimientos con un plan piloto en el proceso de soldadura, considerado como uno de los que más tiempo e impacto tiene en referencia al proceso total de recuperación. Por ello se procede a explicar la optimización lograda con la puesta en marcha de dicho plan, y para mejor entendimiento destacamos las partes que forman parte del rodete Francis y que son recuperados mediante suelda, ver Imagen 22.



Imagen 22: Partes del rodete tipo Francis.
Fuente: CELEC EP. (2017)

Como se mencionó anteriormente en el proceso de soldadura actual Gráfico 8, tomando como línea base su ejecución en 30 días, luego de lo cual se realiza el control de calidad al final de dicho proceso por un lapso de 3 días aproximadamente; con lo cual se detectó el incumplimiento de las normativas de calidad, lo que ocasionó que se tenga que retirar el material soldado aproximadamente en 15 días y luego volver a realizar la soldadura. Esto ha conllevado a que se tenga que realizar un reproceso y en total se ha requerido de 78 días para realizar el proceso de soldadura del rodete a recuperar.

De igual manera como se mencionó anteriormente en el procedimiento propuesto Gráfico 9, tomando como referencia la misma línea base, se procedió a realizar la soldadura del rodete por 10 días en sector de álabes, se aplicó una inspección intermedia de control de calidad de 1 día, donde los mismos fueron satisfactorios acorde con las normas de calidad; luego de lo cual se soldó por 10 días más en el sector de banda se aplicó otra inspección de calidad por 1 días, de igual manera está dentro de los estándares de calidad, por lo que a continuación se continúa con el proceso de soldadura del sector de la corona del rodete por 10 días más y al finalizar se realiza la última inspección intermedia de control de calidad por 1 día con un reproceso de 10 días; realizando la suma de estos días se llegó a realizar el proceso de soldadura del rodete en 43 días. Si se comparan los tiempos del proceso actual que fue de 78 días y del proceso mejorado que fue de 43 días; se obtiene un ahorro del 45% en tiempo y por ende en recursos.

Una vez determinado los resultados que se espera obtener con la puesta en marcha de la propuesta, se procede a realizar el cronograma de actividades que serían necesarias para la ejecución de la estandarización del proceso de recuperación del rodete tipo Francis en la Central Hidroeléctrica San Francisco realizada por el CIRT, el mismo que se lo puede observar en la Tabla 22.

Tabla 22: Cronograma de actividades enero a junio 2019.

TIEMPO	MES 1				MES 2				MES 3				MES 4				MES 5				MES 6			
ACTIVIDADES	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Presentación de la propuesta a Gerencia	X	X	X																					
Entrega de documentación de la propuesta				X	X	X																		
Socialización de la propuesta al personal operativo del CIRT							X	X	X	X	X													
Entrega de formatos de registros y control del proceso de recuperación del rodete tipo Francis												X	X	X	X	X								
Capacitación al personal en la estandarización del proceso de recuperación del rodete Francis																	X	X						
Retroalimentación																			X	X				
Ejecución de la propuesta																					X	X		

Elaborado por: Carlos Ubilluz**Fuente:** Investigación directa

Costo y Administración

En la Tabla 23 se presenta el costo que representa el poner en marcha la ejecución de la estandarización del proceso de recuperación del rodete tipo Francis en la Central Hidroeléctrica San Francisco realizada por el CIRT.

Tabla 23: Costo de la propuesta.

COSTO E IMPLEMENTACIÓN			
Descripción	Precio Unitario (\$)	Cantidad	Precio Total (\$)
Propuesta <ul style="list-style-type: none">Estandarización del proceso de recuperación del rodete tipo Francis de la Central Hidroeléctrica San Francisco.	1500,00	1	1500,00
Capacitación (Logística) <ul style="list-style-type: none">Socialización de la propuesta	300,00	2	600,00
Formatos (Material físico) <ul style="list-style-type: none">DiseñoTranscripciónImpresiónEncuadernación	30,00	12	360,00
SUBTOTAL			2460,00
Imprevistos 10%			246,00
COSTO TOTAL			2.906,00

Elaborado por: Carlos Ubilluz

Fuente: Investigación Directa

La administración de la presente propuesta estará a cargo del director del CIRT y del personal que interviene en el proceso de mantenimiento de turbinas. Siendo necesario el compromiso de cumplimiento de cada una de las disposiciones y sugerencias emitidos en la propuesta

Debe existir el cambio de actitud y el compromiso de trabajo en equipo para el éxito de la propuesta.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones:

- Al realizar el diagnóstico de la situación actual del proceso de recuperación del rodete tipo Francis de la Central Hidroeléctrica San Francisco, se pudo constatar que previo a establecer el proceso, se debió organizar los macro procesos del CIRT identificando dos fases que consistieron en la Gestión de proyectos de recuperación de turbinas y el proceso de recuperación del rodete propiamente dicho; con lo cual el Centro de Investigación gestionará sus procesos y procedimientos de una forma más técnica y controlada
- Se describió el proceso de recuperación del rodete de las turbinas Francis con base a la aplicación de las 5M en base a la opción de reparación en el CIRT, para un detalle más exhaustivo de las actividades de cada uno de los procesos identificados acorde a la normas de calidad que se aplican actualmente en el Centro (Anexo 17). Con lo que se da paso a que mediante ello se puedan generar los procedimientos, incluyendo controles de calidad intermedios en el proceso general y en el subproceso de soldadura considerado como crítico, la calibración de equipos de prueba en dichos controles; además de los formatos de registros de control y los indicadores de calidad en base a las normativas aplicadas en el CIRT.

- Una vez estandarizados los procedimientos que se debe llevar a cabo para la recuperación total del rodete Francis, se diseñaron los formatos estándares y los indicadores para el seguimiento y control de la Fase 1 y 2 del CIRT. Con la creación de estos procedimientos se ofrece una guía que servirá de referencia para los técnicos del taller de la Central; de esta manera podrán efectuar reparaciones óptimas que se verán reflejadas en el rendimiento de la turbina recuperada.

Recomendaciones:

- Ejecutar los procedimientos y formatos estandarizados para que el CIRT gestione y opere sus proyectos de recuperación de turbinas y partes industriales de una manera técnica y controlada; lo que se convertirá en un referente a nivel país.
- Se recomienda también rotular y etiquetar en cada una de las áreas en donde se lleva a cabo los procesos de recuperación de turbinas los procedimientos y proporcionar los instructivos para el manejo adecuado de dichos formatos. Se debe considerar además que para realizar un trabajo más eficiente en cada uno de los procesos tener en cuenta la calibración de equipos y herramientas a utilizar en los controles de calidad sugeridos.
- Se recomienda que cuando se efectúen los mantenimientos, se realice la mayor cantidad de reparaciones puntuales en las zonas más críticas del rodete, de esta manera la recuperación total del mismo será menos costosa debido a que el porcentaje de desgaste será menor. Y que los mismos se evidencien en los formatos de control de los procesos que lleva adelante el CIRT, cumpliendo además con los indicadores de calidad establecidos para el efecto.

Bibliografía

- **Betancourt, Diego. 2015.** Ingenioempresa.com. [En línea] 24 de Junio de 2015. [Citado el: 10 de Junio de 2018.]
<https://ingenioempresa.com/planificacion-tactica-caracterizar-proceso/>.
- **Caicedo Urresta, Mauricio Fernando. 2009.** *MANUAL TÉCNICO DE PROCEDIMIENTOS PARA LA EJECUCIÓN DE UN MANTENIMIENTO MAYOR DE UNA UNIDAD DE GENERACIÓN HIDROELÉCTRICA, TIPO FRANCIS DE EJE VERTICAL, DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA AGOYÁN.* Sangolqui : ESPE, 2009.
- **CELEC EP. 2017.** CELEC EP. *Corporación Eléctrica del Ecuador.* [En línea] CELEC EP, 2017. [Citado el: 18 de Mayo de 2019.]
<https://www.celec.gob.ec/rendicion-de-cuentas-2017/ver-2017/78-quienes-somos/395-se-inauguro-centro-de-investigacion-y-recuperacion-de-turbinas-hidraulicas-y-partes-industriales-cirt.html>.
- **—. 2017.** *PLAN DE NEGOCIO DEL CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y RECUPERACIÓN DE TURBINAS HIDRÁULICAS Y PARTES INDUSTRIALES.* Baños de Agua Santa, Tungurahua, Ecuador : s.n., 2017.
- **Corporación Eléctrica del Ecuador . 2018.** CELEC EP. [En línea] 14 de Noviembre de 2018. [Citado el: 30 de Agosto de 2019.]
<https://www.celec.gob.ec>.
- **CV, COMPUTACION APLICADA AL DESARROLLO S.A. DE. 2017.** Trabajo.com.mx. *Club Planeta.* [En línea] 2017. [Citado el: 10 de Junio de 2018.]
http://www.trabajo.com.mx/creando_tu_manual_de_procesos.htm.

- **Definista. 2018.** Concepto definicion.de. [En línea] 2018. [Citado el: 10 de Junio de 2018.] <http://concepto definicion.de/proceso/>.
- **EQUIPO2FAE. 2012.** WORDPRESS.COM. [En línea] 12 de 02 de 2012. [Citado el: 15 de 05 de 2019.] <https://equipo2fae.wordpress.com/turbinas-francis/>.
- **faeitch2012. 2012.**
<https://faeitch2012.wordpress.com/2012/02/29/turbinas-francis/>. [En línea] 29 de febrero de 2012. [Citado el: 17 de 05 de 2018.] wordpress.com.
- **Játiva Almeida, Fabián Enrique y Loor Carvajal, Edison David. 2013.**
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO PARA EL CONTROL AUTOMÁTICO DE VELOCIDAD PARA UN GRUPO DE 4 PLANTAS HIDROELÉCTRICAS TIPO FRANCIS DE 200KW CADA UNA PERTENECIENTES AL PROYECTO HIDROELÉCTRICO BORJA.
Sangolquí : ESPE, 2013.
- **Project Management Institute. 2013.** *Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (guía del PMBOK®) 5ta edición.* Newtown Square : s.n., 2013.
- **Betancur, J. G. (2006).** Caracterización de una turbina del tipo Francis utilizada por una empresa local de generación de energía. Medellín, Colombia.
- **Eduardo Briceño, R. E. (2008).** Manual de capacitación y mantenimiento de pequeñas centrales hidráulicas. Lima.
- **Ministerio de Electricidad y Energía Renovable. (2013).** El nuevo Sector Eléctrico Ecuatoriano. Ecuador.

ANEXOS

Anexo 1: Guión de entrevista.

GUIÓN DE ENTREVISTA

Nombre de la empresa: CELEC EP Hidroagoyán. (Centro de Investigación y Recuperación de Turbinas y partes Industriales CIRT)

Entrevistador: Carlos A. Ubilluz Garcés

Entrevistado: Ing. Gonzalo Altamirano, Ms.

Cargo: Jefe del CIRT

Lugar: Baños de Agua Santa

Fecha: 12-12-2018

Tiempo de duración de la entrevista: 30 minutos

Preguntas

1. ¿Qué procesos maneja actualmente el CIRT?
2. ¿Existen procedimientos, registros y controles de las actividades de los procesos que se llevan a cabo en el CIRT?
3. ¿El personal que labora actualmente en el CIRT, tiene las competencias para cada una de las áreas que maneja el CIRT?
4. ¿El CIRT posee el equipamiento y la tecnología para realizar el proceso de recuperación de turbinas?
5. ¿A su criterio que se debería estandarizar para un mejor control de los procesos que actualmente maneja el CIRT?
6. ¿Con dicha estandarización que lograría el CIRT?

GRACIAS POR SU COLABORACIÓN

Anexo 2: Formato para el seguimiento del proyecto.



Plantilla de seguimiento del proyecto

Proyectos				Producto finales			Costo/Horas			
Estado	Prioridad	Fecha de entrega	Tarea	Asignado	Descripción	Entregable	% Ejecutado	Costos fijos	Horas estimadas	Horas actuales
<input type="checkbox"/>			Nombre del proyecto					\$ -		
<input type="checkbox"/>								\$ -		
<input type="checkbox"/>								\$ -		
<input type="checkbox"/>			Nombre del proyecto							
<input type="checkbox"/>										
<input type="checkbox"/>										
<input type="checkbox"/>										
<input type="checkbox"/>			Nombre del proyecto							
<input type="checkbox"/>										
<input type="checkbox"/>										
<input type="checkbox"/>										
<input type="checkbox"/>			Nombre del proyecto							
<input type="checkbox"/>										
<input type="checkbox"/>										
<input type="checkbox"/>										
<input type="checkbox"/>			Nombre del proyecto							
<input type="checkbox"/>										
<input type="checkbox"/>										
<input type="checkbox"/>										
Realizado por:				Revisado por:						
Fecha:				Fecha:						

Anexo 3: Formato para presupuesto del proyecto.

Hoja de presupuesto del proyecto



Proyecto : _____
 Fecha de inicio: _____

Tarea	Mano de obra		Materiales		VIAJE	EQUIPO/ESPACIO	COSTO FIJO	OTROS	PRESUPUESTO	ACTUAL	BALANCE POR DEBAJO/POR ENCIMA
	HR	\$/HR	UNIDADES	\$/UNIDADES							
Proyecto											
Tarea											(470,00)
Tarea											80,00
Tarea											(450,00)
<i>Subtarea</i>											-
<i>Subtarea</i>											-
<i>Subtarea</i>											-
<i>Subtarea</i>											-
Tarea											-
Tarea											-
SUBTOTAL		\$240,00		\$1,050,00	0,0		\$150,00	0,0	600,00	\$1,440,00	(840,00)
Proyecto											
Tarea											
Tarea											
Tarea											
<i>Subtarea</i>											
<i>Subtarea</i>											
Tarea											
Subtotal		\$0,00		\$0,00	0,0		\$0,00	0,0	-	\$0,00	-
Realizado por:	Revisado por:										
Fecha:	Fecha:										

Anexo 4: Formato de lista de tareas.



Lista de tareas

Tarea	Estado	Prioridad	Fecha de entrega	Asignado	Notas
Tarea 1					
Tarea 2					
Tarea 3					
Tarea 4					
Tarea 5					
Realizado por:					Revisado por:
Fecha:					Fecha:

Anexo 6: Formato de control de horas.

Hoja de control de horas



Empleado: _____

Semana: _____

Día de la semana	Inicio	Fin	Horas regulares	Horas extra	Enfermedad	Vacación	Festivos	Otro	Total de horas
			0						0
			0						0
			0						0
			0						0
			0						0
			0						0
			0						0
Total de horas			0	0	0	0	0	0	0
Tarifa/Hr									
Total a pagar:			\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Realizado por:	Revisado por:								
Fecha:	Fecha:								

Anexo 7: Formato de gestión de riesgos.

Plantilla de gestión de riesgos



Estado de las tareas/Prioridad	Alta	Media	Baja	Total	% del Total
Total	0	0	0	0	0

No.	Descripción	Estado	Asignado	Nivel de riesgo	Fecha de entrega
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
Realizado por:			Revisado Por:		
Fecha:			Fecha:		

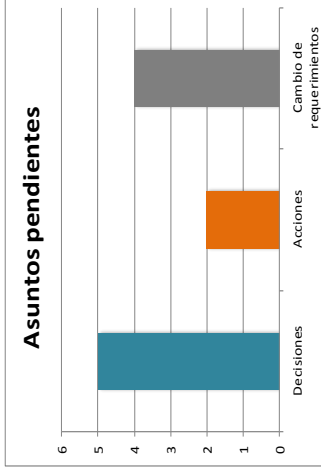
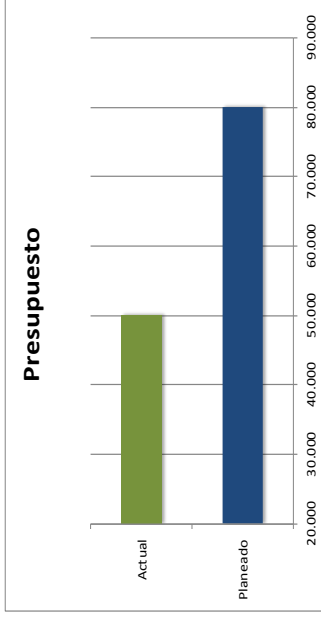
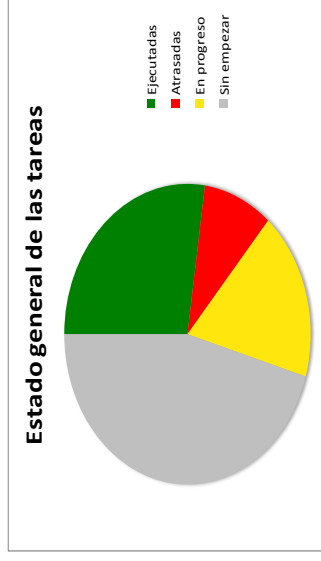
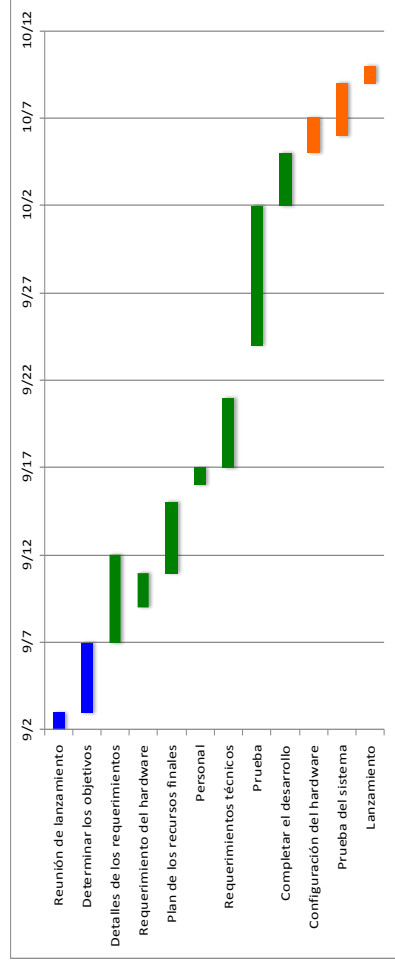
Anexo 8: Formato panel de gestión de proyectos.

Panel de gestión de proyectos

Nombre del proyecto: [Nombre]
 Fecha del informe: [Fecha]
 Estado del proyecto: **En curso**
 Ejecutado: 27%



Tarea	Asignado a	Prioridad	Estado
Reunión de lanzamiento	Gonzalo		Ejecutado
Determinar los objetivos	Jaime	★	Ejecutado
Detalles de los requerimientos	Carlos		Ejecutado
Requerimiento del hardware	Eduardo	★	Atrasado
Plan de recursos finales	Daniel		En progreso
Personal	Miguel	★	En progreso
Requerimientos técnicos	Pedro		Sin empezar
Prueba	Francisco	★	Sin empezar
Completar el desarrollo	Luis	★	Sin empezar
Configuración del hardware	Carlos		Sin empezar
Prueba del sistema	Angel	★	Sin empezar
Lanzamiento			





Realizado por:
 Fecha:

Revisado por:
 Fecha:



Anexo 9: Procedimiento para Inspección inicial.

		PROCEDIMIENTO PARA:		
		INSPECCIÓN INICIAL		
COD:		CIRT-PRO C01		
<input checked="" type="checkbox"/> Control de Calidad <input checked="" type="checkbox"/> Diseño y Recuperación <input checked="" type="checkbox"/> Manufactura y Recuperación		<input type="checkbox"/> Financiero <input type="checkbox"/> Factura <input type="checkbox"/> Calidad y Recuperación		REV#: 01 Original
				APROBADO POR: FECHA:
ITEM	ACTIVIDAD/DESCRIPCIÓN	REFERENCIAS Y/O OBSERVACIONES		
1	Consignar ODT	Se establecera la orden de trabajo una vez recibida la solicitud escrita		
2	Elaboración de la ficha de Inspección con el siguiente detalle:			
2.1	Fecha de Inspección	Se colocara la fecha de la colación de la inspección y la hora de la misma		
2.2	Ubicación de la inspección	Se establecera el lugar de la inspeccion o de la central a la que pertenece		
2.3	Tipo de pieza a reparar	Se realizara una descripción del tipoy trabajo que realiza		
2.4	Diámetro mayor de la pieza o del rodete	El diametro mayor aceptable son 5m		
2.5	Altura máxima de la pieza o del rodete	Se establecera una altura de tomeado máximo de 2,5m		
2.6	Número de alabe fijos	En el caso de rodetes esta información		
2.7	Peso	La capacidad máxima para realizar un trabajo será de 30ton.		
2.8	Materiales	El material se utilizara para determinar el presupuesto y material en el mercado		
3	Recolección de la información necesaria			
3.1	Planos de medidas dimensionales			
3.2	Plantillas	Requerimiento necesario, el mismo que será entregado por el fabricante		
3.3	Plano de ubicación de plantillas	Para la colocación de las plantillas y Curva original o del último TT. (Se aceptan maximo 2 TT)		
3.4	Curva de tratamiento térmico			
3.5	Histórico de reparación			
4	Cierre de ODT			
ELABORADO POR: Carlos Ubilluz		REVISADO POR: Ing. Gonzalo Altamirano		
FECHA: 25-06-2019		FECHA: 28-06-2019		


Anexo 10: Procedimiento para Ensayos no destructivos.

	PROCEDIMIENTO PARA: ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS (ITP)		
	COD:	CIRT-PRO C02	
<input checked="" type="checkbox"/> Control de Calidad <input type="checkbox"/> Diseño y Recuperación <input type="checkbox"/> Manufactura y Recuperación		<input type="checkbox"/> Financiero <input type="checkbox"/> Jefatura <input checked="" type="checkbox"/> Soldadura y Recuperación	
		REV#: 01	APROBADO POR:
		Original	FECHA:
ITEM	ACTIVIDAD/DESCRIPCIÓN	REFERENCIAS Y/O OBSERVACIONES	
1	Consignar ODT		
2	CALIBRAR EQUIPOS DE PRUEBA	<i>Calibración en laboratorio</i>	
3	Espectrometría	<i>Pruebas con equipo de campo</i>	
4	Inspección Visual		
5	Inspección de rugosidad superficial	<i>Inspección con equipo específico</i>	
6	Tintas Penetrantes		
7	Partículas Magnéticas	<i>Inspección con equipo específico</i>	
8	Inspección por Ultrasonido	<i>Inspección con equipo específico</i>	
9	Ensayo de Dureza	<i>Pruebas con equipo de campo</i>	
10	Control dimensional Convencional	<i>Control con scanner 3D</i>	
11	Control dimensional CNC	<i>Control con scanner 3D propio del CNC</i>	
12	Perfil hidráulico	<i>Comparado con planos de diseño</i>	
13	Levantamiento fotográfico	<i>Imágenes de apoyo en el proceso</i>	
14	Cierre de ODT		
ELABORADO POR: Carlos Ubilluz		REVISADO POR: Ing. Gonzalo Altamirano	
FECHA: 25-06-2019		FECHA: 28-06-2019	

Anexo 12: Procedimiento para Soldadura del rodete.

		PROCEDIMIENTO PARA:		
		SOLDADURA DEL RODETE		
		COD:	CIRT-PRO C04	
<input type="checkbox"/> Control de Calidad <input type="checkbox"/> Diseño y Recuperación <input checked="" type="checkbox"/> Manufactura y Recuperación		<input type="checkbox"/> Financiero <input type="checkbox"/> Jefatura <input checked="" type="checkbox"/> Soldadura y Recuperación		REV#: 01 Original APROBADO POR: FECHA:
ITEM	ACTIVIDAD/DESCRIPCIÓN	REFERENCIAS Y/O OBSERVACIONES		
1	Consignar ODT			
2	Calibración de equipos de soldadura			
3	Limpieza inicial	Cuantificar el estado de desgaste		
4	Preparación de la superficie para la colocación de soldadura	Desbaste		
4.1	Eliminación de aristas vivas			
4.2	Eliminación de material fatigado			
5	Calentar la zona donde se va a soldar	Hasta unos 50° C/ Alivio de tensiones		
6	Aportación de soldadura - Procesos SMAW - GMAW - soldadura robotizada	Sector de corona y laberinto inferior		
6.1	Limpieza de cordones de soldadura			
6.2	Verificación con plantillas de reparación			
6.2	Limpieza del sector intervenido del rodete previo a ensayos de C.C.			
9	Ensayos de control de calidad intermedio	Pruebas de Control de Calidad intermedio Norma CCH 70-4		
9.1	Inspección Visual			
9.2	Tinta penetrante			
9.3	Partículas magnéticas			
9.4	Inspección por Ultrasonido			
10	Calentar la zona donde se va a soldar	Hasta unos 50° C/ Alivio de tensiones		
11	Aportación de soldadura - Procesos SMAW - GMAW - soldadura robotizada	Sector de álabes		
12	Limpieza de cordones de soldadura			
13	Verificación con plantillas de reparación			
14	Limpieza del sector intervenido del rodete			
15	Ensayos de control de calidad intermedio	Pruebas de Control de Calidad intermedio Norma CCH 70-4		
16	Calentar la zona donde se va a soldar	Hasta unos 50° C/ Alivio de tensiones		
17	Aportación de soldadura - Procesos SMAW - GMAW - soldadura robotizada	Sector de banda y laberinto superior		
18	Limpieza de cordones de soldadura			
19	Verificación con plantillas de reparación			
20	Limpieza del sector intervenido del rodete			
21	Ensayos de control de calidad intermedio	Pruebas de Control de Calidad intermedio Norma CCH 70-4		
22	Reposición de partes faltantes o destruidas por completo o de material fatigado	Solo si se necesita INSERTOS		
22.1	Determinación de las medidas de la pieza reemplazada (Insertos)			
22.2	Preparación de Insertos para la colocación			
23	Soldadura de insertos			
24	Ensayos no destructivos			
25	Desconsignar ODT			
ELABORADO POR: Carlos Ubilluz		REVISADO POR: Ing. Gonzalo Altamirano		
FECHA: 25-06-2019		FECHA: 28-06-2019		

Anexo 14: Procedimiento para Tratamiento térmico.

	PROCEDIMIENTO PARA:		
	TRATAMIENTO TÉRMICO		
	COD:	CIRT-PROC06	
<input checked="" type="checkbox"/> Control de Calidad <input type="checkbox"/> Diseño y Recuperación <input type="checkbox"/> Manufactura y Recuperación		<input type="checkbox"/> Financiero <input type="checkbox"/> Jefatura <input type="checkbox"/> Soldadura y Recuperación	REV#: 01 Original APROBADO POR: FECHA:
ITEM	ACTIVIDAD/DESCRIPCIÓN	REFERENCIAS Y/O OBSERVACIONES	
1	Consignar ODT		
2	Pre calentamiento de la pieza en el horno a 23 ° C durante 10 horas para retirar humedad.	<i>La temperatura máxima a alcanzar será de -20 °C de la máxima temperatura de la curva de tratamiento térmico original</i>	
3	Colocación del rodete en el horno.	<i>En forma horizontal</i>	
4	Ascenso de temperatura con un gradiente de 50 °C/h	<i>Hasta temperatura ambiente.</i>	
5	Descenso de la temperatura con un gradiente de 50 °C/ h		
6	Extracción de la pieza del horno		
7	Limpieza de la pieza		
8	Ensayos no destructivos dureza, tintas penetrantes, partículas magnéticas, ultrasonido.	<i>Control de calidad</i>	
9	Pulido y maquinado a medidas nominales finales	<i>Dimensiones de diseño</i>	
10	Elaborar el certificado de tratamiento térmico		
11	Desconsignar ODT		
ELABORADO POR: Carlos Ubilluz		REVISADO POR: Ing. Gonzalo Altamirano	
FECHA: 25-06-2019		FECHA: 28-06-2019	

Anexo 15: Procedimiento para Balanceamiento estático.

	PROCEDIMIENTO PARA: BALANCEAMIENTO ESTÁTICO		
	COD:	CIRT-PROC07	
<input checked="" type="checkbox"/> Control de Calidad <input checked="" type="checkbox"/> Diseño y Recuperación <input checked="" type="checkbox"/> Manufactura y Recuperación	<input type="checkbox"/> Financiero <input type="checkbox"/> Jefectura <input type="checkbox"/> Soldadura y Recuperación	REV#: 01 Original	APROBADO POR: FECHA:
ITEM	ACTIVIDAD/DESCRIPCIÓN	REFERENCIAS Y/O OBSERVACIONES	
1	Consignar ODT		
2	Colocar al rodete en forma Horizontal.		
3	Introducir el eje en el rodete.		
3.1	Regular la simetría del eje con una tolerancia de $\pm 30\text{mm}$.		
4	Colocar los espárragos en las bridas del lado de la corona y banda.	Lado de la corona y banda cada 90° , entre	
5	Colocar fajas a ambos lados del eje	Para izar el rodete.	
6	Transportar el conjunto (rodete - eje) sobre el sistema de balanceamiento estático.	En el inicio de los rieles.	
6.1	Colocar el conjunto sobre el sistema de balanceamiento estático.	En el inicio de los rieles.	
6.2	Hacer girar el rodete hasta la mitad de las barras.		
6.3	Dejar al rodete en la mitad de las barras.	Dejarlo girar libremente.	
7	Marcar el lado donde está más pesado.		
8	Colocar pesos en la parte de la banda para equiparar el peso del rodete.	A 180° del lugar marcado	
9	Pulir la parte pesada, del lado de la corona externa	Hasta 10mm de profundidad en franja de	
10	Desconsignar la ODT		
11	Elaborar un certificado de balanceamiento estático.		
ELABORADO POR: Carlos Ubilluz FECHA: 25-06-2019		REVISADO POR: Ing. Gonzalo Altamirano FECHA: 28-06-2019	

Anexo 17: Estándares de calidad manejados en el CIRT.

ESTANDARES DE CALIDAD MANEJADOS EN EL CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y RECUPERACIÓN DE TURBINAS HIDRAULICAS CIRT					
ACTIVIDAD	NORMA	DESCRIPCIÓN	VERSION	ARTICULO /SECCIÓN	PARTE/NÚMERO
ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS (NDT)					
TINTAS PENETRANTES	CCH70	Specification for Inspection of Steel Castings of Hydraulic Machines	2004	PT 70-4	TODO
PARTICULAS MAGNETICAS	CCH70	Specification for Inspection of Steel Castings of Hydraulic Machines	2004	MT 70-4	TODO
ULTRASONIDO	CCH70	Specification for Inspection of Steel Castings of Hydraulic Machines	2004	UT 70-4	TODO
SOLDADURA MANUAL Y ROBOTIZADA	ASME BPVC IX	American Society of Mechanical Engineers. Boilers and Pressure Vessels		IX	QB-400
CALIFICACION DE PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA	ASME BPVC IX	American Society of Mechanical Engineers. Boilers and Pressure Vessels	2015	II	QW-200 a la 290
CALIFICACION DE SOLDADORES	ASME BPVC IX	American Society of Mechanical Engineers. Boilers and Pressure Vessels	2015	III	QW-300 a la 350
SOLDADURA ROBOTIZADA	ASME BPVC IX	American Society of Mechanical Engineers. Boilers and Pressure Vessels	2015	II,III	QW-200 a la 350
SIMBOLOGIA DE SOLDADURA	AWS 2.4	Simbolos y estandares para Soldaduras	2012	2.4	4.5.6....15
ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS PARA SOLDADURA	AWS 2.4	Simbolos y estandares para Soldaduras	2012	2.4	17
SOLDADURA DE ACEROS INOXIDABLES	AWS D1.6	STRUCTURAL WELDING CODE -STAINLESS STEEL	2012	D 1.6	4.5.6
BALANCEAMIENTO ESTATICO	ISO 1940-1	Balance quality requirements for rotors in a constant. (rigid) state	2003	1940-1	PARTE 1
PROCEDIMIENTO DE METALIZADO					
COLOCACION DE METALIZADO	ISO 14917	Defines processes and general terms for thermal spraying	2017	14917	TODO
CONTROL DE CALIDAD DE METALIZADO	ISO 14902-2	Thermal spraying -- Quality requirements of thermally sprayed structures -- Part 2: Comprehensive quality requirements	1999	14902-2	3,4
INGENIERIA DE RECUPERACION.					
Elaboración de planos dimensionales	ASME	Dimensionamiento y tolerancias	2009	Y	14,5 M
Escaneo y verificación Dimensional	IEC	Pruebas de aceptación de modelos de turbinas y bombas hidráulicas	1999	60193	TODO
TRATAMIENTO TERMICO	ASME VIII	Requerimientos para el TT post soldadura.	2004	DIVISION 1	5,5