

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y DE ENERGÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA



**“PROCESO DE REPARACIÓN INTEGRAL Y PUESTA EN
SERVICIO DE 01 TURBINA FRANCIS DOBLE DE 15.6 MW DE
UNA CENTRAL HIDROELÉCTRICA - LURIGANCHO CHOSICA”**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL PARA OPTAR EL
TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO MECÁNICO**

AUTOR: JUAN SEBASTIAN VARGAS TARAZONA

ASESOR: MG. DARIO VASQUEZ ALVA

Callao 2022

PERÚ

Document Information

Analyzed document	Trabajo de Suficiencia FIME - Vargas Tarazona Juan.docx (D182524118)
Submitted	2023-12-21 20:39:00 UTC+01:00
Submitted by	
Submitter email	investigacion.fime@unac.pe
Similarity	3%
Analysis address	investigacion.fime.unac@analysis.arkund.com

Sources included in the report

SA	Memoria ICM ASMAR Rpinilla.docx Document Memoria ICM ASMAR Rpinilla.docx (D171819628)		4
SA	UBILLUZ GARCES CARLOS ADRIAN.pdf Document UBILLUZ GARCES CARLOS ADRIAN.pdf (D55456188)		4
SA	Tesis TELENCHANA_BALSECA.docx Document Tesis TELENCHANA_BALSECA.docx (D47714791)		7
SA	14156-García Vargas, Arturo_.pdf Document 14156-García Vargas, Arturo_.pdf (D56457128)		1
SA	3241-Castillo Coronel, Jefersson Arnaldo.pdf Document 3241-Castillo Coronel, Jefersson Arnaldo.pdf (D78864932)		1

Entire Document

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y DE ENERGÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA

“PROCESO DE REPARACIÓN INTEGRAL Y PUESTA EN SERVICIO DE 01 TURBINA FRANCIS DOBLE DE 15.6 MW DE UNA CENTRAL HIDROELÉCTRICA - LURIGANCHO CHOSICA”

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO MECÁNICO

JUAN SEBASTIAN VARGAS TARAZONA

Callao 2022

PERÚ

DEDICATORIA Este informe está dedicado a mi padre Juan Vargas Barrera, a mi madre Haydee Toya Tarazona Espinoza y a mis dos hermanos Hans Alexander Vargas Tarazona y Angel Matthias Vargas Tarazona, por todo lo brindado en estos tiempos.

INFORMACIÓN BÁSICA

FACULTAD: FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ENERGÍA

ESCUELA PROFESIONAL: ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA

TÍTULO: “PROCESO DE REPARACIÓN INTEGRAL Y PUESTA EN SERVICIO DE 01 TURBINA FRANCIS DOBLE DE 15.6 MW DE UNA CENTRAL HIDROELÉCTRICA – LURIGANCHO CHOSICA”

EJECUTORES: VARGAS TARAZONA JUAN SEBASTIAN
CODIGO: 1327120099
DNI: 73123879

ASESOR: MG. DARIO VASQUEZ ALVA

HOJA DE REFERENCIA DEL JURADO Y APROBACIÓN

MIEMBROS DEL JURADO DE SUSTENTACIÓN:

- Dr. Tezen Campos José Hugo : **Presidente**
- Dr. Mamani Calla Pablo : **Secretario**
- Mg. Lizandro Bernaldo Rosales Puño : **Vocal**

ASESOR:

- Mg. Darío Vasquez Alva

N° de Libro: 001

N° de Folio: 155

N° de Acta: 107/2022

Fecha de Aprobación de Tesis: 25 de setiembre del 2022

**ACTA DE EXPOSICIÓN DE INFORME DE TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL
DEL I CICLO TALLER PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
MECÁNICO E INGENIERO EN ENERGIA**

**LIBRO 001, FOLIO N° 155, ACTA N° 107 DE EXPOSICIÓN DE INFORME DE TRABAJO DE
SUFICIENCIA PROFESIONAL DEL I CICLO TALLER PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
PROFESIONAL DE INGENIERO MECÁNICO**

A los 25 días del mes setiembre del año 2022, siendo las **16:10 pm horas**, se reunieron, en la sala meet: [https:// meet.google.com/orf-nvrq-cnt](https://meet.google.com/orf-nvrq-cnt), el **JURADO DE EXPOSICION** del **I CICLO TALLER DE TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL 2022** para la obtención del TÍTULO profesional de Ingeniero Mecánico de la Facultad de Ingeniería Mecánica y de Energía, conformado por los siguientes docentes ordinarios de la Universidad Nacional del Callao:

- | | | |
|---------------------------------------|---|------------|
| ▪ Dr. Tezen Campos Jose Hugo | : | Presidente |
| ▪ Dr. Mamani Calla Pablo | : | Secretario |
| ▪ Mg. Lizandro Bernaldo, Rosales Puño | : | Vocal |
| ▪ Mg. Dario Vasquez Alva | : | Asesor |

Se dio inicio al acto de exposición de informe de trabajo para titulación del Bachiller **VARGAS TARAZONA JUAN SEBASTIAS**, quien habiendo cumplido con los requisitos para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico sustenta su informe titulado **"PROCESO DE REPARACIÓN INTEGRAL Y PUESTA EN SERVICIO DE 01 TURBINA FRANCIS DOBLE DE 15.6 MW DE UNA CENTRAL HIDROELÉCTRICA - LURIGANCHO CHOSICA"**, cumpliendo con la exposición en acto público, de manera no presencial a través de la Plataforma Virtual, en cumplimiento de la declaración de emergencia adoptada por el Poder Ejecutivo para afrontar la pandemia del Covid- 19, a través del D.S. N° 044-2020-PCM y lo dispuesto en el DU N° 026-2020 y en concordancia con la Resolución del Consejo Directivo N°039-2020-SUNEDU-CD y la Resolución Viceministerial N° 085-2020-MINEDU, que aprueba las "Orientaciones para la continuidad del servicio educativo superior universitario".

Con el quórum reglamentario de ley, se dio inicio a la sustentación de conformidad con lo establecido por el Reglamento de Grados y Títulos vigente. Luego de la exposición, y la absolución de las preguntas formuladas por el Jurado y efectuadas las deliberaciones pertinentes, acordó: Dar por **APROBADO** con escala de calificación cuantitativa **14 (Catorce)** y calificación cualitativa **BUENO** en el presente informe de **TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL**, conforme a lo dispuesto en el Art. 27 del Reglamento de Grados y Títulos de la UNAC, aprobado por Resolución de Consejo Universitario N° 099-2021-CU del 30 de Junio del 2021.

Se dio por cerrada la Sesión a las **16:50 pm** del día 25 de setiembre del 2022.


.....
Dr. Jose Hugo Tezen Campos
Presidente de Jurado


.....
Dr. Pablo Mamani Calla
Secretario de Jurado


.....
Mg. Lizandro Bernaldo Rosales Puño
Vocal de Jurado

.....
Mg. Dario Vasquez Alva
Asesor

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y DE ENERGÍA

JURADO EVALUADOR

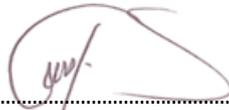
Visto el informe final del **TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL** titulado “**PROCESO DE REPARACIÓN INTEGRAL Y PUESTA EN SERVICIO DE 01 TURBINA FRANCIS DOBLE DE 15.6 MW DE UNA CENTRAL HIDROELÉCTRICA - LURIGANCHO CHOSICA**”, presentado por el Bachiller en Ingeniería Mecánica **VARGAS TARAZONA JUAN SEBASTIAN**.

A QUIEN CORRESPONDA:

El Presidente del Jurado Evaluador **I CICLO TALLER DE TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL 2022** manifiesta que la sustentación del **TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL** se realizó el día 25 de setiembre del 2022 a 16:10 horas y en la que se realizaron observaciones; luego de la revisión respectiva, se da por aprobado el levantamiento de las observaciones.

Se emite el presente informe para los fines pertinentes.

Bellavista, 01 de diciembre del 2022



Dr. José Hugo Tezen Campos
PRESIDENTE DEL JURADO

DEDICATORIA

Este informe está dedicado a mi padre Juan Vargas Barrera, a mi madre Haydee Toya Tarazona Espinoza y a mis dos hermanos Hans Alexander Vargas Tarazona y Angel Matthias Vargas Tarazona, por todo lo brindado en estos tiempos.

AGRADECIMIENTOS

A mis maestros por contribuir en mi formación profesional. A los profesionales que formaron parte en la realización de este informe.

ÍNDICE

I. ASPECTOS GENERALES	7
1.1. Objetivos	10
1.1.1. Objetivo general	10
1.1.2. Objetivos específicos.....	10
1.2. Organización de la empresa o institución	11
1.2.1. Antecedentes históricos	11
1.2.2. Filosofía empresarial.....	12
1.2.3. Estructura organizacional	13
1.2.4. Cargo, funciones y responsabilidades en la empresa	13
1.2.5. Actividades desarrolladas por la empresa.....	14
II. FUNDAMENTACIÓN DE LA EXPERIENCIA PROFESIONAL	15
2.1. Marco Teórico	15
2.1.1. Antecedentes	15
2.1.2. Bases Teóricas	17
2.1.3. Aspectos normativos	30
2.1.4. Simbología Técnica.....	30
2.2. Descripción de las actividades desarrolladas	32
2.2.1. Etapas de las actividades	32
2.2.2. Diagrama de flujo	33
2.2.3. Cronograma de actividades	34
III. APORTES REALIZADOS	35
3.1. Planificación, ejecución y control de las etapas	35
3.2. Evaluación técnica-económica	65
3.3. Análisis de resultados	67
IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	67
4.1. Discusión.....	67
4.2. Conclusiones	68
V. RECOMENDACIONES	69
VI. BIBLIOGRAFÍA	69
ANEXOS	71

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1. Desgaste por erosión y cavitación en rodete Francis doble	8
Figura N° 2. Desgaste por erosión avanzada en álabes directrices	9
Figura N° 3. Organigrama del Servicio Hidráulicas de Confipetrol Andina S.A.	13
Figura N° 4. Configuración interna de una Central Hidroeléctrica convencional	17
Figura N° 5. Presa Tablachaca – Centro de Producción del Mantaro	18
Figura N° 6. Toma de agua de la Central Hidroeléctrica Moyopampa	19
Figura N° 7. Desarenador de C.H. San Gabán II	19
Figura N° 8. Cámara de carga de C.H. Callahuanca	20
Figura N° 9. Tuberías forzadas de la C.H. Santiago Antúnez de Mayolo ..	21
Figura N° 10. Válvula mariposa con contrapeso de tubería forzada	21
Figura N° 11. Válvula esférica al final de la tubería forzada	22
Figura N° 12. Rango de operación de los rodetes hidráulicos	23
Figura N° 13. Rango de operación de los rodetes hidráulicos	23
Figura N° 14. Rodete Francis doble de 13 álabes por lado	24
Figura N° 15. Rodete Kaplan de 4 álabes de la C.H. Saratov - Rusia	25
Figura N° 16. Desgaste por erosión en la aguja del introductor de rodete Pelton	27
Figura N° 17. Desgaste producto de la cavitación en rodete Francis	28
Figura N° 18. Inspección hidráulica de rodete Pelton	28
Figura N° 19. Fractura de álabe de rodete Pelton	29
Figura N° 20. Composición química del acero ASTM A743 CA6-NM	29
Figura N° 21. Grupo generador hidráulico N° 1 de la Central Hidroeléctrica en estudio	32
Figura N° 22. Diagrama de flujo de actividades por etapas	33
Figura N° 23. Cronograma de actividades de cada etapa	34
Figura N° 24. Estado inicial del rodete Francis doble de 26 álabes	37
Figura N° 25. Remoción del óxido superficial del rodete	38
Figura N° 26. Mapeo de defectos iniciales del rodete	38
Figura N° 27. Control dimensional de distancia entre álabes del mismo lado	39
Figura N° 28. Control dimensional de la abertura de los álabes en la salida del agua	39
Figura N° 29. Plantillado del perfil de cada álabe del rodete	40
Figura N° 30. Prueba de tintes penetrantes en el rodete	41
Figura N° 31. Revelado de zonas con soldadura austenítica	42
Figura N° 32. Reparación con soldadura del rodete Francis	42
Figura N° 33. Plantillado del perfil hidráulico del rodete	43
Figura N° 34. Control de dureza de rodete post-soldadura	43
Figura N° 35. Control dimensional del rodete post-soldadura	44
Figura N° 36. Pesado del rodete post-soldadura	44

Figura N° 37. Diagrama del Proceso de Tratamiento Térmico Post Soldadura del Rodete	46
Figura N° 38. Horno industrial para el tratamiento térmico de rodete Francis	46
Figura N° 39. Rodete Francis esmerilado y pulido	47
Figura N° 40. Estado inicial de los álabes directrices	49
Figura N° 41. Mapeo de desgastes de los álabes directrices	49
Figura N° 42. Pre-maquinado inicial de muñones y caras laterales de álabe directriz	50
Figura N° 43. Aporte de soldadura en 01 álabes directriz	51
Figura N° 44. Enderezado de álabe directriz	52
Figura N° 45. Disposición de los álabes directrices dentro del horno	53
Figura N° 46. Posicionamiento de los álabes directrices en cada álabe directriz	53
Figura N° 47. Diagrama del Proceso de Tratamiento Térmico Post Soldadura de los álabes directrices	54
Figura N° 48. Control de dureza post tratamiento térmico	54
Figura N° 49. Maquinado final de muñones y caras laterales	55
Figura N° 50. Fresado de los asientos de hermeticidad	55
Figura N° 51. Fresado de los asientos de hermeticidad	56
Figura N° 52. Control dimensional y de tintes penetrantes final	56
Figura N° 53. Vista isométrica de tapa de turbina con su blindaje angular y de fondo	59
Figura N° 54. Pre-montaje del rodete Francis en su eje	60
Figura N° 55. Pre-montaje de álabes directrices en las tapas de turbina	61
Figura N° 56. Control de luces entre los álabes directrices en posición de cierre	61
Figura N° 57. Movilización de componentes reparados desde taller hacia casa de máquinas	62
Figura N° 58. Desmontaje de rodete y componentes desgastados	63
Figura N° 59. Estado de álabes directrices y tapa de turbina salientes	63
Figura N° 60. Montaje de componentes reparados del grupo generador N° 1	64
Figura N° 61. Grupo generador N° 1 puesto en marcha	65
Figura N° 62. Mediciones de operación del grupo generador N° 1	65

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1. Especificación técnica para tratamiento térmico del rodete ..	45
Tabla N° 2. Especificación técnica para balanceo dinámico del rodete....	48
Tabla N° 3. Análisis de costos integral	66

I. ASPECTOS GENERALES

En el mundo, la energía eléctrica es una de las principales necesidades de los seres humanos, ya que es un pilar fundamental para el desarrollo y progreso de un país. La energía hidroeléctrica aporta aproximadamente el 17% de la generación mundial de energía (Krishna, 2022), siendo así un protagonista importante en la matriz energética mundial quien, en conjunto con demás energías limpias, tales como la eólica o solar, generan energía eléctrica con un mínimo de impacto medioambiental en comparación a las termoeléctricas o termonucleares. Entre los principales países que apuestan por la energía hidroeléctrica tenemos a China, EEUU, Canadá, Rusia y la India, cuyas centrales están diseñadas para utilizar rodets hidráulicos tipo Francis y Pelton principalmente. Entre los principales problemas que aquejan estos rodets y demás componentes, son la erosión y la cavitación; el primero se produce debido al limo o sólidos en suspensión que contiene y transporta el agua derivada, el cual no llega a ser purificado en su totalidad, llegando así a afectar y desgastar la superficie de los componentes hidromecánicos, por otra parte, la cavitación es otro enemigo presente en el ciclo de vida de los componentes hidromecánicos, como señala Toapanta (2019), es un fenómeno físico no deseado, que provoca vibraciones, disminución de la eficiencia y rendimiento, inestabilidad operativa, producción de ruidos y daños a la superficie del material de los componentes de la turbina, después de algunos años de operación.

A nivel Latinoamérica, los países que más apuestan en la generación hidroeléctrica son Brasil y Venezuela, los cuales tienen las más grandes centrales hidroeléctricas de la zona, destacando la Central Hidroeléctrica de Itaipú, que tiene una potencia de 14000 (MW). En Sudamérica, la construcción de grandes centrales hidroeléctricas ha generado impactos sociales y ambientales, lo cual ha marcado una percepción negativa ante la población. A pesar de ello, la energía más factible y con mayor recurso por explotar en la zona es la hidroeléctrica. Por otro lado, en esta zona del mundo, el agua captada de los ríos suele estar muy contaminada, sea por factores naturales (trasporte de escombros y limo en temporadas de lluvia, maleza, etc.) o por factores humanos (contaminación de las aguas con residuos mal segregados).

En el Perú, la central hidroeléctrica más destacable es el complejo Hidroeléctrico del Mantaro que llega a tener una capacidad de generación de 1000 MW. En nuestro país el problema de la contaminación de las aguas es un problema que lleva años agudizándose, producto de la actividad minera, petrolera y los residuos que las poblaciones arrojan indiscriminadamente, esto hace que un gran porcentaje de los ríos no puedan ser desviados para la generación de energía eléctrica en la franja costera. Aquellas aguas que son captadas no logran ser filtradas en su totalidad, en consecuencia, se produce un desgaste abrasivo más agresivo en los componentes de las turbinas en comparación a centrales hidráulicas de otras regiones.

La zona donde se ubica la central hidroeléctrica en estudio, suele tener aguas muy contaminadas, sobre todo en épocas de lluvias, donde eventualmente suele presentarse huaycos por consecuencia el nivel de contaminantes en suspensión en el agua es mayor de lo normal, lo cual hace que a través del tiempo el nivel de desgaste de los componentes de la turbina se acelere, por lo que es importante efectuar una inspección hidráulica de forma periódica para un mejor control y poder actuar a tiempo.

Figura N° 1.

Desgaste por erosión y cavitación en rodete Francis doble



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 2.

Desgaste por erosión avanzada en álabes directrices



Fuente: Elaboración propia

Por lo que la formulación del problema se planteó de la siguiente manera:

¿Cómo efectuar el proceso de reparación integral y puesta en servicio de 01 turbina Francis doble de 15,6 MW de una Central Hidroeléctrica en el distrito de Lurigancho Chosica, para reestablecer la operatividad del sistema motriz?

El presente informe ha sido desarrollado en base a la experiencia obtenida en el proyecto y se ha dividido en los siguientes capítulos:

Capítulo I, Aspectos generales:

Se enuncia el objetivo general y los objetivos específicos. Adicionalmente, se detalla el organigrama de la organización, la reseña histórica de la empresa, declaraciones estratégicas (política, misión, visión y valores), el cargo y las funciones que desempeña el autor en la organización y las actividades desarrolladas por la empresa.

Capítulo II, Fundamentación de la experiencia profesional

Se detalla el marco teórico del cual se sustenta el presente informe, los antecedentes nacionales e internacionales y el marco normativo correspondiente al tema del informe.

Capítulo III, Aportes realizados:

Abarca las evidencias de los procesos seguidos para la reparación y puesta en servicio de la turbina Francis doble.

Capítulo IV, Discusión y conclusiones

En esta parte del informe se detallan las discusiones, conclusiones y lo aportado con el cumplimiento de los objetivos.

Capítulo V, Recomendaciones

Se detallan las recomendaciones que surgen como lecciones aprendidas al concluir con los trabajos.

Capítulo VI, Bibliografía

Se lista los textos, normas, informes, etc., que se utilizaron para tener un mayor universo de información en aras de una adecuada planificación y ejecución de los trabajos.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo general

Ejecutar el proceso de reparación integral y puesta en servicio de 01 turbina Francis doble de 15.6 MW de una Central Hidroeléctrica en el distrito de Lurigancho Chosica, a fin de continuar con la generación de energía eléctrica y operatividad del sistema motriz.

1.1.2. Objetivos específicos

- Definir los alcances del proceso de reparación y puesta en servicio de 01 turbina Francis doble de 15.6 MW con el fin de efectuar la planificación de actividades.
- Ejecutar el proceso de reparación y puesta en servicio de 01 turbina Francis doble de 15.6 MW.
- Realizar el monitorio y control de los avances correspondientes a la reparación y puesta en marcha de 01 turbina Francis doble de 15.6 MW para cumplir con la línea base de tiempo y costo.

1.2. Organización de la empresa o institución

1.2.1. Antecedentes históricos

La empresa Confipetrol, fue fundada en 2005, bajo la necesidad de una figura de negocio en el área de Operación y Mantenimiento Integral, capaz de poder superar a las empresas tradicionales existentes en esos años en Colombia y Latinoamérica. La idea de Confipetrol S.A.S se basó inicialmente como consorcio a través de la figura temporal de Consorcio Confipetrol, con la cual se participó en procesos licitatorios, de los cuales se ganaron contratos y se ejecutaron de manera segura en armonía con el ambiente y las comunidades, obteniendo resultados óptimos en el área técnica y económica.

Los buenos resultados a nivel de ventas superaron las expectativas en los dos primeros años, causa que motivó al fundador, a convertir la marca de consorcio CONFIPETROL a una figura de sociedad anónima llamada CONFIPETROL S.A.S, el objetivo de la nueva figura comercial radica en una figura legal estable constituida con un amplio alcance en actividades de Operación y Mantenimiento Integral para los sectores Minero, Energético e Hidrocarburos, a través de la cual se buscaba darle más confianza a los clientes y proyectar el negocio de manera sostenible en el tiempo, enfocados a permanecer en el mercado por muchos años.

Confipetrol Andina S.A. representa la fusión estratégica de dos empresas líderes en Servicios de Operación y Mantenimiento en la región, Skanska del Perú y Confipetrol S.A.S. Esta fusión, además de integrar la experiencia de ambas, combina las capacidades organizativas, tecnológicas y soporte técnico en un Modelo de Servicio Especializado en el rubro, trasladando los beneficios de esta integración a nuestras operaciones y clientes. Se constituye como la empresa líder y pionera en brindar servicios tercerizados de operación y mantenimiento en el sector energético en el Perú, con sólido posicionamiento en el sector minero, energía e hidrocarburos.

Actualmente cuenta con una oficina principal ubicada en el distrito de San Isidro, ciudad de Lima, en el cual se encuentran sus oficinas administrativas y de Ingeniería, Mantenimiento y Confiabilidad (IMC).

1.2.2. Filosofía empresarial

Misión

Brindar satisfacción a nuestros clientes, dándoles valor a sus activos, incrementando su producción como socio estratégico, solucionando y mitigando los problemas técnicos, restableciendo y garantizando la integridad de sus activos a través de sus servicios de alto desempeño en lo que corresponde a la Operación y Mantenimiento integral, con la aplicación de modernas e innovadoras técnicas en confiabilidad y predictivas de diagnóstico, llegando a ser socialmente responsable con el medioambiente, teniendo máximo cumplimiento de la legislación vigente aplicable, dirigido a los sectores tales como Hidrocarburos, Industrial, Minero y Energético.

Visión

Confipetrol será reconocida a nivel mundial, como una empresa que agregará valor e incrementará la producción a sus clientes siendo líder, dándoles la garantía respecto a la integridad de sus activos a través de los servicios de Operación y Mantenimiento integral, con la aplicación de modernas e innovadoras técnicas en Confiabilidad y predictivas de diagnóstico, destacará por ser la compañía preferida por el mercado, será la compañía de su confianza, aumentará la competitividad innovando y mejorando de forma continua y sostenida; y será responsable con el medioambiente.

Valores empresariales

En Confipetrol Andina S.A se cultiva a todo el grupo de trabajo los siguientes valores empresariales:

- Trabajo en equipo
- Honestidad

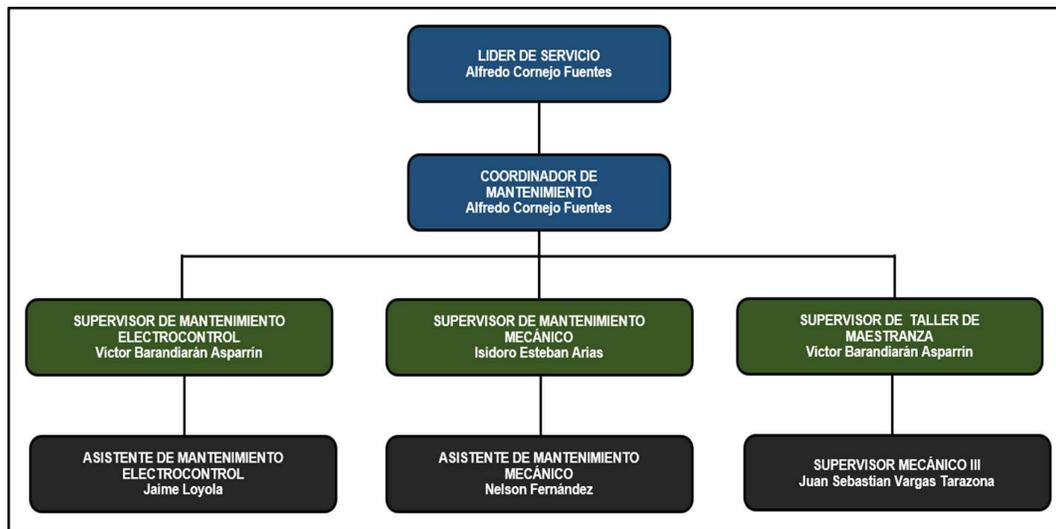
- Responsabilidad
- Abnegación
- Transparencia
- Comunicación efectiva
- Respeto

1.2.3. Estructura organizacional

Confipetrol Andina S.A. integra un grupo de trabajo interdisciplinario altamente calificado para lograr el cumplimiento de los objetivos estratégicos en todos sus servicios a nivel nacional como internacional, específicamente en el Servicio de Hidráulicas se tiene la siguiente estructura organizacional:

Figura N° 3.

Organigrama del Servicio Hidráulicas de Confipetrol Andina S.A.



Fuente: Elaboración Propia

1.2.4. Cargo, funciones y responsabilidades en la empresa

El autor del presente trabajo de suficiencia profesional desempeña el cargo de Supervisor Mecánico Nivel III en la empresa Confipetrol Andina S.A., donde tiene las siguientes responsabilidades y funciones a su cargo:

- Supervisión de los trabajos de mantenimiento mecánico en las 05 centrales hidroeléctricas designadas.

- Supervisión de las reparaciones de los equipos electromecánicos e hidromecánicos en el Taller de Maestranza (componentes de turbinas Pelton y Francis, componentes de sistemas auxiliares y demás elementos estructurales).
- Planificación, programación y supervisión de las paradas de planta y grandes reparaciones (elaboración del WBS, diagrama de Gantt, gestión de adquisiciones, coordinaciones con el cliente, informes diarios del avance, curva S, entre otros).
- Elaboración de memorias de cálculo de equipos y componentes hidromecánicos.
- Gestión de los Permisos de Trabajo, Análisis de Trabajo Seguro (AST), IPERC, IAAS y Ordenes de Trabajo de las áreas de Mantenimiento Mecánico y Taller de Maestranza.
- Gestión de adquisición de repuestos, consumibles y cualquier otro suministro mecánico, revisión de stocks, repuestos críticos.
- Coordinación y supervisión de trabajos tercerizados a empresas externas.

1.2.5. Actividades desarrolladas por la empresa

La empresa Confipetrol Andina S.A. brinda servicios de mantenimiento a la empresa generadora dueña de los activos estudiados en el presente informe de experiencia laboral desde el año 2016, producto de la fusión de las empresas Skanska del Perú y Confipetrol S.A.S., líderes en actividades de operación y mantenimiento en Latinoamérica.

La organización ha llevado a cabo importantes trabajos de mantenimiento y reparaciones de gran magnitud de los equipos de las centrales hidroeléctricas a su cargo, los cuales se listan a continuación:

- Reparación integral de válvula esférica del grupo N° 2B de una central hidroeléctrica de una potencia 18 MW.
- Maniobra de desmontaje y montaje de 02 rodetes Pelton del grupo N° 2 de una central hidroeléctrica de una potencia 18 MW.

- Inspecciones hidráulicas de rodetes Pelton para la identificación de discontinuidades superficiales o rajaduras.
- Trabajos de inspección y soldadura en tubería forzada de las centrales hidroeléctricas a su cargo.
- Fabricación de estructuras metálicas.
- Mantenimiento de intercambiadores de calor de haces de tubos.
- Mantenimiento de bombas centrífugas y válvulas de purga.
- Reparación integral de turbinas tipo Pelton y Francis.
- Pruebas hidrostáticas de equipos hidrodinámicos.

II. FUNDAMENTACIÓN DE LA EXPERIENCIA PROFESIONAL

2.1. Marco Teórico

2.1.1. Antecedentes

Antecedentes Internacionales

C. Cañizares y J. Quinchuela (2017), en su tesis de pregrado titulada “Tecnologías para la recuperación por soldadura de álabes de turbinas hidráulicas construidas de acero inoxidable martensítico ASTM A743 CA-6NM (UNS J91540)”, en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica, Ecuador. Tiene como objetivo definir procedimientos de soldadura e inspección para la recuperación de álabes de turbinas hidráulicas construidas de acero inoxidable ASTM A743 CA-6NM. En conclusión, para la recuperación de los álabes se pueden emplear tres procedimientos de soldadura (SMAW-GMAW-GTAW), luego se hace un alivio de tensiones mediante tratamiento térmico para bajar los niveles de dureza a niveles que recomiendan los fabricantes.

C. Ubilluz (2019), en su tesis de pregrado titulada “Estandarización del proceso de recuperación del rodete tipo Francis de la Central Hidroeléctrica San Francisco”, en la Universidad Tecnológica Indoamérica, Facultad de Ingeniería y Tecnologías de la Información y la Comunicación, Ecuador. Tiene como objetivo estandarizar los procedimientos y controles para el proceso de recuperación de un rodete tipo Francis. En conclusión, se requiere de controles de calidad

intermedios en el proceso en general y en el subproceso de soldadura, al cual se le considera como crítico.

Y. Balseca y A. Telenchana (2019), en su tesis de pregrado titulada “Procedimiento de reparación e inspección del rodete Francis de la Central Hidroeléctrica San Francisco mediante sustitución de material de los álabes por insertos metálicos prefabricados”, en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica, Ecuador. Tiene como objetivo realizar el control de calidad del rodete en las etapas de reparación tales como plantillaje, ensayos destructivos, no destructivos y metalografía, así como llevar a cabo el control de calidad de los insertos prefabricados y evaluar las transformaciones microestructurales de los aceros inoxidable martensíticos ASTM A743 CA-6NM y ASTM A182 F6NM durante el proceso de reparación. En conclusión, se determinó que el mecanismo de desgaste presente en los álabes es la cavitación y desprendimiento de material por erosión, por otra parte, la fisuración y desprendimiento del metalizado aceleró el desgaste por erosión abrasiva erosión por cavitación.

Antecedente Nacionales

L. Zavala (2018), en su tesis de pregrado titulada “Diseño e implementación de un taller especializado de reparación de rodete Francis, para disminuir sus costos en la Central Hidroeléctrica Cerro del Águila”, en la Universidad Cesar Vallejo, Facultad de Ingeniería, Perú. Tiene como principales objetivos específicos la determinación del tamaño y distribución de planta de Taller mecánico y el desarrollo de un procedimiento de trabajo para la reparación de rodetes del tipo Francis. Se concluye que los procedimientos desarrollados deberán obedecer y sustentarse netamente en aspectos técnicos y de estándares de calidad de nivel mundial, con márgenes de errores permisibles cercanos al cero.

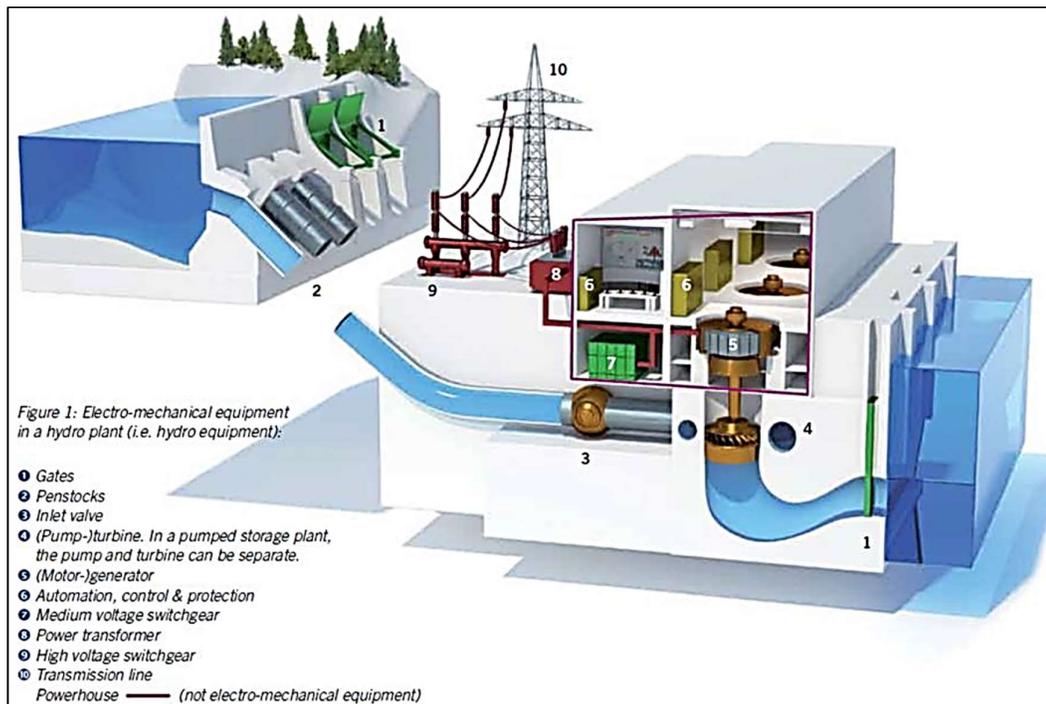
2.1.2. Bases Teóricas

Central Hidroeléctrica

Es un centro productivo en donde se logra aprovechar la energía almacenada en una masa de agua ubicada a una determinada altura, la cual se transforma en energía eléctrica, todo esto se logra mediante la conducción del agua desde un nivel superior hacia un nivel inferior, en donde la energía potencial se va convirtiendo en energía cinética. Al llegar el agua al nivel inferior, esta interactuará con una o más turbinas hidráulicas, de acuerdo al diseño o configuración de la planta, en donde la energía cinética se irá convirtiendo en energía mecánica, consiguiendo con ello el giro del eje de cada turbina y mediante este giro en el generador se produce la transformación de la energía mecánica en energía eléctrica.

Figura N° 4.

Configuración interna de una Central Hidroeléctrica convencional



Fuente: Elaboración propia

Componentes de una Central Hidroeléctrica

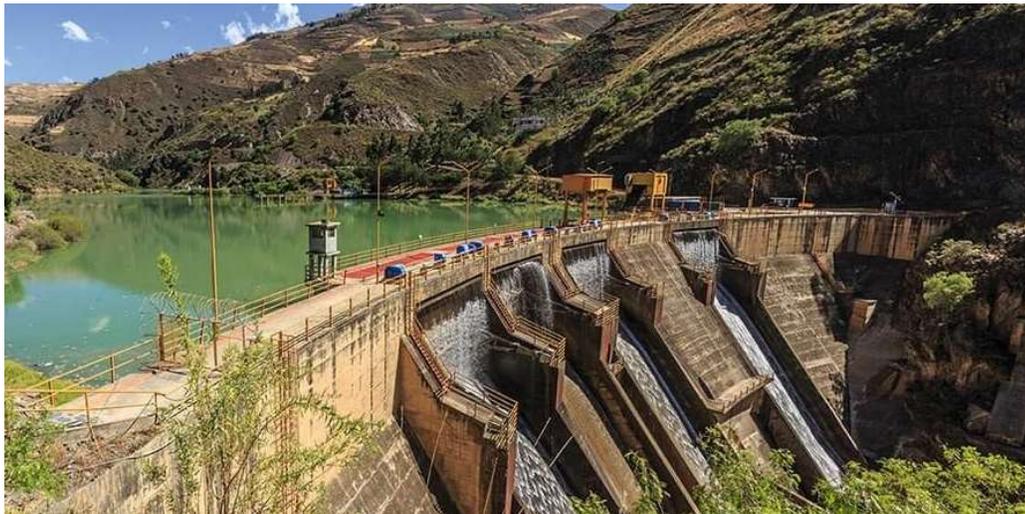
Los componentes principales de una Central Hidroeléctrica pueden separarse en dos grupos: obras o componentes civiles y componentes electromecánicos, los cuales se detallan a continuación:

Componentes civiles

- **Presas:** Estructura que se eleva sobre el nivel del río y se encuentra en forma perpendicular al flujo de sus aguas, esto con el fin de poder almacenar grandes volúmenes de agua para su posterior derivación en dirección a la casa de máquinas. Existen varios tipos de presas, donde varía su diseño y material de construcción, todo dependerá de la configuración o diseño de la central hidroeléctrica.

Figura N° 5.

Presas Tablachaca – Centro de Producción del Mantaro



Fuente: Elaboración propia

- **Tomas de agua:** Estructura civil que es utilizada para la captación y derivación de un volumen constante de agua que van dirigidas hacia las turbinas hidráulicas, principalmente para las épocas de estiaje, donde al haber menores o nulos caudales de agua en los ríos, se aprovecha el agua almacenada por las lagunas artificiales y presas para darle continuidad a la producción de energía eléctrica.

Figura N° 6.

Toma de agua de la Central Hidroeléctrica Moyopampa



Fuente: Elaboración propia

- **Desarenadores:** El agua que se capta en dirección a la casa de máquinas por lo general transportan sólidos en suspensión, los cuales, al pasar a través de las tuberías de presión, válvulas, turbinas y demás componentes producen un nivel de desgaste que se va agudizando en el transcurso del tiempo, lo cual tiene una dependencia directa con el tamaño, peso, velocidad y dureza del material en suspensión. Por ello, resulta importante la presencia de los desarenadores, los cuales son unas instalaciones que reducen la velocidad del flujo de agua con el objetivo de que la mayor cantidad de partículas en suspensión asienten en el fondo de estas estructuras producto de la gravedad.

Figura N° 7.

Desarenador de C.H. San Gabán II



Fuente: (Osinergmin, 2021)

- **Cámara de carga:** Se la utiliza en las centrales hidroeléctricas con canales de conducción de agua a cielo abierto, su principal función es entregar el volumen necesario de agua a la tubería forzada de tal manera que se pueda contrarrestar las ondas de presión que viajan en sentido contrario al flujo de agua (golpes de ariete), que se ocasionan producto de una apertura o cierre brusco de los reguladores o válvulas de las turbinas hidráulicas. Asimismo, la cámara de carga tiene como función amortiguar las variaciones de carga durante unas pocas horas, para lo cual se estima un volumen que pueda cubrir los requerimientos de caudal de la planta durante el transcurso del día. Finalmente, está funciona como un segundo desarenador, ya que mientras almacena el volumen de agua requerido, hace que caigan por suspensión las partículas que no lograron filtrarse en los desarenadores.

Figura N° 8.

Cámara de carga de C.H. Callahuanca



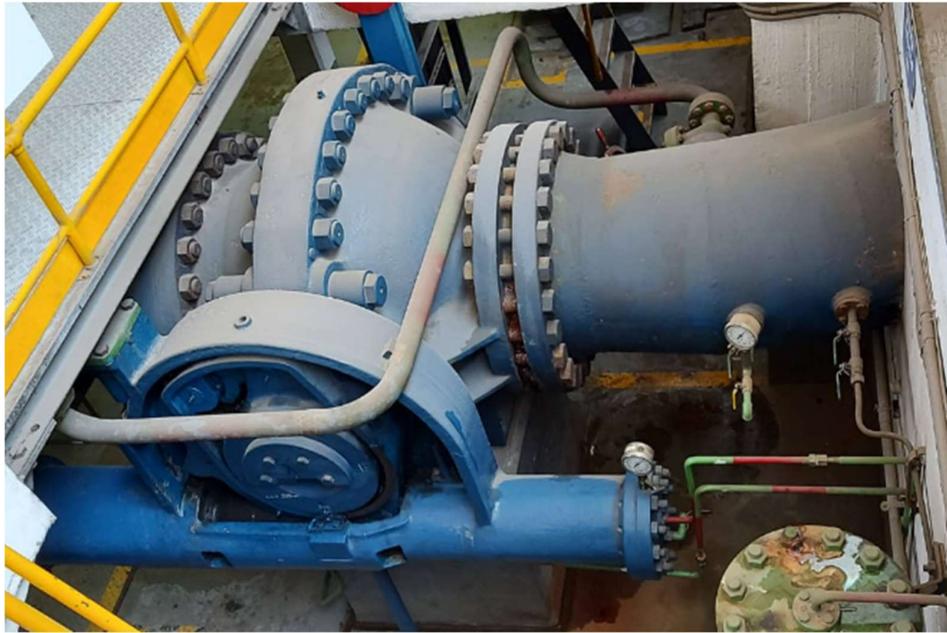
Fuente: Elaboración propia

- **Tubería forzada:** Las tuberías forzadas, también llamadas tuberías de presión, tienen como principal función el conducir el agua proveniente de la cámara de carga hasta un nivel inferior en donde se encuentra la casa de máquinas. En el interior de cada tubería el agua va transformando su energía potencial gravitatoria en energía cinética. Al ser un componente crítico, ya que ante una ruptura el impacto medioambiental y de la casa de máquinas sería alto, este debe ser lo más confiable posible por eso se utilizan tubos de

- **Válvula esférica:** Las válvulas esféricas son válvulas de maniobra que cortan el flujo de agua a los introductores, cerrando el paso del agua en la cota más baja de la tubería forzada. El principal inconveniente de estas válvulas es que su cierre no es rápido, por lo que no son utilizados como mecanismos de seguridad.

Figura N° 11.

Válvula esférica al final de la tubería forzada

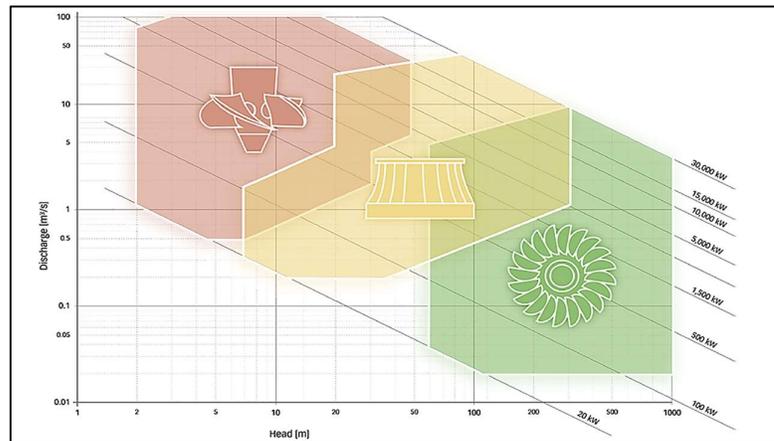


Fuente: Elaboración propia

- **Rodetes hidráulicos:** Es el componente principal de toda central hidroeléctrica, ya que este convierte la energía cinética del agua en energía mecánica rotacional, el cual a su vez se une mediante un eje de forma solidaria al generador eléctrico. El material más empleado a nivel mundial para su fabricación es el acero inoxidable martensítico ASTM A743 CA 6NM, el cual brinda y combina unas adecuadas propiedades mecánicas (dureza, soldabilidad, etc), resistencia a la cavitación, corrosión y erosión. Entre los tipos de rodets hidráulicos más utilizados se tiene al rodete Pelton, Francis y Kaplan, su selección dependerá de factores tales como el caudal y los saltos de altura del agua.

Figura N° 12.

Rango de operación de los rodetes hidráulicos

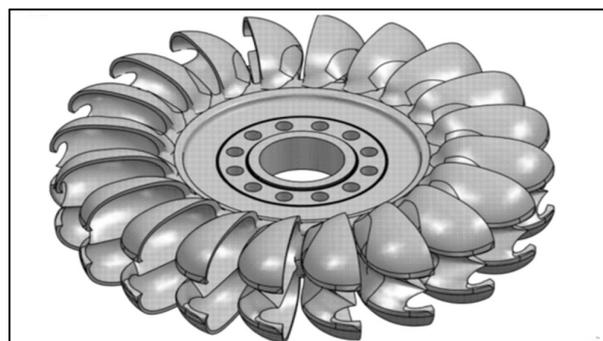


Fuente: (Kumar, 2021)

Rodete Pelton: Es un tipo de turbina de acción, ya que aprovecha la energía cinética del agua y trabaja a presión atmosférica. Son ideales para centrales hidroeléctricas donde existen grandes saltos de altura y bajos niveles de caudal, están formados por un disco macizo con una cierta cantidad de cucharas o cazoletas en su periferia, sobre las cuales impactan los chorros de agua provenientes de los inyectores fijos, este flujo de agua puede ser regulado modificando la posición de la aguja que se desplaza de forma axial en la interna del inyector. Este tipo de rodete puede trabajar con el eje en posición horizontal o vertical, donde la más común es la posición horizontal.

Figura N° 13.

Rango de operación de los rodetes hidráulicos



Fuente: Elaboración propia

Rodete Francis: Es un tipo de turbina que se le denomina de tipo reacción, ya que aprovecha principalmente la energía potencial del agua y trabaja a una presión menor a la atmosférica. En este tipo de rodetes, se transporta y reparte todo el caudal de forma homogénea en toda la periferia del rodete, es importante destacar la existencia de unos álabes fijos en la carcasa del rodete que direccionan y canalizan adecuadamente el flujo de agua, asimismo entre estos álabes fijos y el rodete trabajan unos álabes directrices móviles que en conjunto conforman el denominado anillo distribuidor y se accionan de forma simultánea, estos álabes permiten regular el caudal que ingresa a la turbina de forma suave y controlada.

Figura N° 14.

Rodete Francis doble de 13 álabes por lado



Fuente: Elaboración propia

Rodete Kaplan: Es un tipo de turbina del tipo reacción, utilizados para saltos de agua de poca altura ($< 50m$) y caudales medianos - grandes ($15 m^3/s$). Está conformado por una pequeña cantidad de álabes, los cuales son regulables permitiendo operar a un rendimiento óptimo en diferentes condiciones de caudal y carga. Asimismo, la separación entre cada álabe es mayor a comparación del tipo Francis o Pelton. Por lo general se instala su eje en posición vertical pese a tener la posibilidad de poder colocarla en posición horizontal.

Figura N° 15.

Rodete Kaplan de 4 álabes de la C.H. Saratov - Rusia



Fuente: (Voith Hydro, 2022)

Características de una Central Hidroeléctrica

Las Centrales Hidroeléctricas tienen una clasificación especial y particular según el servicio que brindan:

- **Centrales Base:** Su función es suministrar energía eléctrica en forma permanente, suelen estar en marcha durante largos periodos de tiempo y no deben sufrir interrupciones. Generalmente se tratan de Centrales Hidroeléctricas de derivación a pelo libre (de agua fluyente).
- **Centrales de Media Base:** Son las centrales que suministran energía cuando la demanda supera a la entregada por las centrales de base. Generalmente se trata de las Centrales Térmicas.
- **Centrales de Punta:** Tienen como principal función cubrir la demanda de energía eléctrica cuando existen picos de consumo. Trabajan en espacios cortos de tiempo durante determinadas horas, su funcionamiento es periódico, debiendo ser de alta potencia. Generalmente son las centrales hidráulicas de derivación a presión que tienen un gran volumen de regulación.

Otro factor importante para las Centrales Hidroeléctricas y que influyen en su producción es el comportamiento hidrológico de las cuencas, pudiendo diferenciar lo siguiente:

- **Avenida o crecida:** Es la elevación del nivel de un curso de agua significativamente mayor que su flujo medio. Durante la época de crecida, el caudal de un curso de agua aumenta en tales proporciones que el lecho del río puede resultar insuficiente para contenerlo, desbordándolo e invadiendo el lecho mayor, también llamado lecho aluvial.
- **Estiaje:** Es el nivel de caudal mínimo que alcanza un río o laguna en algunas épocas del año, debido principalmente a la sequía. El término se deriva de estío o verano, debido a que, en la región del Mediterráneo, el estiaje es la época de menor caudal de los ríos debido a la mayor escasez de precipitaciones en esta estación.

Clasificación de las Centrales Hidroeléctricas

Para la transformación de la energía cinética y potencial en recurso hídrico en energía mecánica rotacional se usan a las turbinas hidráulicas acopladas solidariamente mediante un eje con el generador eléctrico, imprimiéndole el movimiento de giro suficiente para la producción de energía eléctrica. Estas centrales se clasifican fundamentalmente de la siguiente manera:

Por la Potencia Instalada:

- **Micro centrales:** $P < 100 \text{ kW}$
- **Minicentrales:** $100 \leq P \leq 500 \text{ kW}$
- **Centrales de Media Potencia:** $1 \leq P \leq 10 \text{ MW}$
- **Centrales de Gran Potencia:** $P \geq 10 \text{ MW}$

Por la Altura del Salto:

- **Centrales de Alta Presión:** Engloba a todas las centrales cuyo salto hidráulico es mayor a los 200 m, con caudales relativamente pequeños, de la orden de 20 m³/s por cada máquina. Por lo general, utilizan turbinas Pelton y Francis.

- **Centrales de Mediana Presión:** Engloba a todas las centrales cuyo salto hidráulico se encuentra entre los 20 – 200 m, con caudales del orden de 200 m³/s por turbina. Por lo general, se utiliza turbinas Francis y Kaplan, y en algunas ocasiones turbinas Pelton para saltos grandes.
- **Centrales de Baja Presión:** Engloba a todas las centrales cuyo salto hidráulico es menor a 20 m, con caudales que pueden superar los 300 m³/s. Por lo general, se utiliza turbinas tipo Francis y principalmente Kaplan.

Desgastes en los Rodetes Hidráulicos

A. Cavitación

La cavitación es un problema muy común e inevitable en los rodetes hidráulicos, que se produce como consecuencia a la formación de burbujas en el agua derivada para la turbina, estas burbujas se generan cuando el agua circula por zonas donde adquiere gran velocidad, en donde la presión estática absoluta se ubica por debajo de la presión de vapor, cambiando a fase líquida de una manera brusca. Específicamente en los rodetes del tipo reacción, el fenómeno de cavitación se presenta en las zonas de baja presión, como las zonas convexas de los álabes y las zonas laterales aledañas a la salida del agua en el rodete. Las consecuencias principales del fenómeno de la cavitación son la presencia de ruido, vibraciones, pérdida de eficiencia y desgaste erosivo en los álabes.

Figura N° 16.

Desgaste por erosión en la aguja del introductor de rodete Pelton



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 17.

Desgaste producto de la cavitación en rodete Francis



Fuente: Elaboración propia

Debido a que el desgaste en las superficies de los rodetes es inevitable, se debe tener un mapeo periódico de la superficie de los álabes, por ello por lo general se programa de forma trimestral una inspección hidráulica, la cual consiste en una inspección visual y prueba de tintes penetrantes (según norma internacional europea CCH 70-4 / PT 70-4). En caso no se lleven a cabo estas inspecciones periódicas o se ejecuten de forma inadecuada existe el riesgo que las discontinuidades superficiales (porosidades o cavidades que se forman producto de la cavitación) se conviertan en fisuras o peor aún, que llegue a fracturarse una parte del álabe.

Figura N° 18.

Inspección hidráulica de rodete Pelton



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 19.

Fractura de álabe de rodete Pelton



Fuente: Elaboración propia

Materiales constructivos de rodetes hidráulicos

El material más utilizado a nivel mundial para la fabricación de rodetes Pelton y Francis es el acero inoxidable martensítico COR 13.4 con denominación estándar ASTM A743 grado CA6 – NM, este material brinda una excelente combinación entre las propiedades mecánicas, la resistencia a la cavitación y corrosión.

Debido a su bajo contenido de carbono posee una buena soldabilidad, sin embargo, luego de los trabajos de soldadura es necesario llevar a cabo el proceso de tratamiento térmico para el alivio de tensiones, afinar la micro estructura y propiedades mecánicas con el fin de recuperar las características afines a las del material original.

La composición química del acero inoxidable martensítico ASTM A743 grado CA6 – NM lo define el estándar ASTM A743/A 743M-19:

Figura N° 20.

Composición química del acero ASTM A743 CA6-NM

Grade	Type	Composition, %													
		Carbon, max	Manganese, max	Silicon, max	Phosphorus, max	Sulfur, max	Chromium	Nickel	Molybdenum	Columbium	Selenium	Copper	Tungsten, max	Vanadium, max	Nitrogen
CA-6NM	12 Chromium, 4 Nickel	0.06	1.00	1.00	0.04	0.03	11.5–14.0	3.5–4.5	0.40–1.0	...	...	...	...	...	...

Fuente: (ASTM, 2021)

2.1.3. Aspectos normativos

Para el proceso de reparación y puesta en servicio de la turbina Francis de la central hidroeléctrica en estudio se utilizaron las siguientes normativas:

- Norma Europea CCH 70-4: Especificación para la inspección de fundiciones de acero para máquinas hidráulicas.
- Norma Americana ASTM A743: Especificación para piezas de fundición, hierro-cromo, hierro-cromo-níquel resistente a la corrosión para aplicaciones generales.
- Norma ISO 1940-1 G 6.3: Especificación y verificación de tolerancias para el balanceo turbinas hidráulicas.
- Norma ISO 10816-5: Especificación para evaluación y medición de vibraciones en equipos de máquinas con potencia hidráulica y plantas generadoras.

2.1.4. Simbología Técnica

En el presente apartado se detallan algunas definiciones que serán útiles para una adecuada comprensión del presente trabajo:

Casquete de Cojinete: Protector o cubierta del cojinete que asegura el correcto funcionamiento del cojinete.

Cavitación: Fenómeno producido cuando el agua cambia de estado líquido a gaseoso, debido al cambio brusco de velocidad cuando esta choca con las cazoletas del rodete Pelton. Durante este proceso se producen burbujas que explotan al quedar sometidas a la presión del sistema.

Cojinete: Elemento del sistema motriz que permite el giro del eje, que une al rodete Pelton con el alternador, con un coeficiente de fricción bajo y que contrarresta el empuje axial producido.

Ensayo de Tintes Penetrantes: Ensayo no destructivo utilizado para la detección de imperfecciones existentes en la superficie de materiales no porosos mediante la aplicación de un líquido de alto poder humectante, el cual gracias a la capilaridad penetrará entre las discontinuidades, donde con una posterior

limpieza y aplicación del revelador se podrá localizar fácilmente la localización de las mismas.

Ensayo de Partículas Magnéticas: Ensayo no destructivo utilizado para la detección de posibles imperfecciones o discontinuidades en la superficie de materiales ferromagnéticos.

Fisuras: Fallo mecánico en cualquier material como consecuencia de las tensiones internas o externas, las cuales sobrepasan el máximo permisible.

Interferencia: Cuando dos o más contratistas van a ejecutar una actividad en una misma área de trabajo, equipo o sistema, los cuales impactan en el desarrollo de los procesos.

Instructivo/Procedimiento de Trabajo: Documento de referencia utilizado para los trabajos de mantenimiento a efectuarse, en donde se detallan las actividades a realizarse de forma secuencial, así como los materiales o consumible a utilizar.

Parada de Planta: Trabajo de mantenimiento de gran envergadura, en el cual se ejecutan, de forma secuencial y sistemática, trabajos asociados principalmente a un sistema o equipo crítico de la planta, al cual no se le puede realizar los trabajos de mantenimiento cuando está en operación y principalmente está relacionado al reemplazo de componentes que ya cumplieron su tiempo de vida útil.

Protocolo de Control: Documento en el cual se registra controles dimensionales, inspecciones visuales o alguna prueba que se realice correspondiente a algún trabajo.

Puesta en Marcha: Acción de poner en operación una de las máquinas rotativas de la casa de máquinas tales como: rodetes, generador, bombas, etc.

Revisión Hidráulica: Actividad de mantenimiento en la que se hace una inspección visual al rodete y se realiza el ensayo de tintes penetrantes y/o partículas magnéticas.

Rodete de reserva: Rodete utilizado para el reemplazo de algún rodete que sale de operación para su mantenimiento.

2.2. Descripción de las actividades desarrolladas

El presente trabajo se desarrolló en una central hidroeléctrica conformado por 02 grupos generadores hidráulicos de 17 MW cada uno.

Figura N° 21.

Grupo generador hidráulico N° 1 de la Central Hidroeléctrica en estudio



Fuente: Elaboración propia

2.2.1. Etapas de las actividades

En el presente trabajo, se estableció la siguiente secuencia de actividades que la empresa Confipetrol Andina S.A realizó:

Etaa 1: Planificación de Actividades

Planificación del proceso de reparación integral

- Elaboración del diagrama de Gantt.
- Estimación de precios.
- Gestión de adquisiciones de repuestos y consumibles.
- Gestión de servicios externos.
- Elaboración de memorias de cálculo.
- Elaboración de documentación de seguridad (PT, IPERC, IIAS, planes de izaje, inspección de equipos y herramientas, etc).
- Revisión y recopilación de instructivos de trabajo.

Planificación del proceso de la puesta en servicio

- Elaboración del diagrama de Gantt.

- Conformación de equipos de trabajo.
- Elaboración de documentación de seguridad (PT, IPERC, IIAS, planes de izaje, inspección de equipos y herramientas, etc).
- Revisión y recopilación de instructivos de trabajo.

Etapa 2: Ejecución de Actividades

Ejecución del proceso de reparación integral.

Ejecución del proceso de la puesta en servicio.

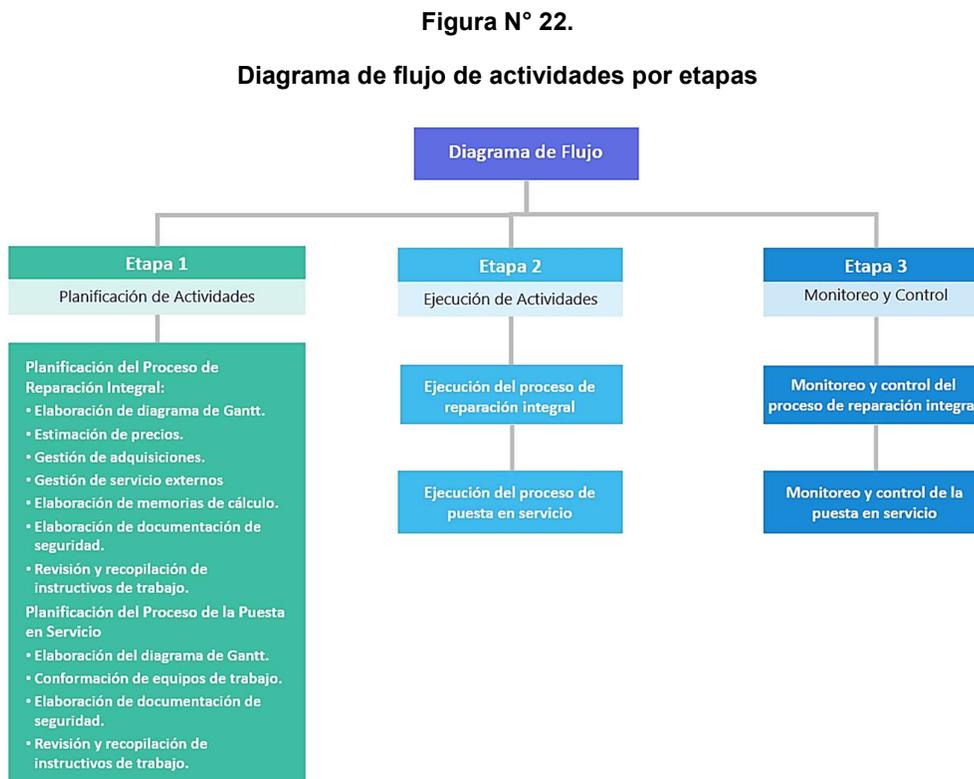
Etapa 3: Monitoreo y Control

Monitoreo y control del proceso de reparación integral.

Monitoreo y control de la puesta en servicio.

2.2.2. Diagrama de flujo

Se muestra a continuación el esquema de actividades de cada una de las etapas.



Fuente: Elaboración propia

III. APORTES REALIZADOS

3.1. Planificación, ejecución y control de las etapas

Las etapas detalladas en el presente informe, engloba una serie de actividades entrelazadas secuencialmente, en donde el autor participó en cada una de ellas realizando las coordinaciones iniciales con el cliente, participando en la planificación de actividades y la supervisión de la ejecución de la reparación y puesta en servicio de la turbina Francis de una central hidroeléctrica en el distrito de Lurigancho-Chosica.

Etapas 1: Planificación de actividades

Como parte de la programación anual del mantenimiento y en base a las inspecciones hidráulicas preliminares, se tenía previsto efectuar el cambio de turbina y componentes del grupo generador N° 1 para julio del 2021.

Por ello se tuvo la reunión de kick off en el mes de julio del 2020, entre la contratista Confipetrol Andina S.A, de ahora en adelante llamada “contrata”, y el cliente para mostrar lo que se espera de la reparación y puesta en servicio de la turbina y con ello hacer que ambas partes tengan la misma visión.

Etapas 1.1: Planificación del proceso de reparación integral

En una segunda reunión en donde participó por parte de la contrata: los supervisores de mantenimiento, el coordinador de mantenimiento y el líder del servicio; por parte del cliente participó: el área de planificación del mantenimiento, el área de ingeniería y los supervisores de mantenimiento; en esta reunión se realizó una lluvia de ideas por parte de todos los asistentes para definir el conjunto de actividades a realizar, en base al contexto y escenario que se tenía.

Quedó definido que el área de Taller de Maestranza de la contrata debería efectuar la reparación de los siguientes componentes de la turbina:

- Rodete Francis doble de 26 álabes.
- 18 álabes directrices.
- 02 codos de descarga.

- Eje de la turbina.
- Tapas de la turbina (lado alternador y lado regulador de velocidad).

En base a ello y teniendo en cuenta que se debería efectuar el cambio para el mes de julio del 2021, se conformó el equipo de trabajo conformado por:

- 01 supervisor de mantenimiento mecánico.
- 01 supervisor HSEQ.
- 02 técnicos operadores de torno y fresadora.
- 04 técnicos soldadores.
- 04 técnicos mecánicos.

Etapa 1.2: Planificación del proceso de puesta en servicio

Según las coordinaciones efectuadas entre el cliente y la empresa contratista, se definió que la puesta en servicio deberá durar 15 días ya que es la cantidad de días que el grupo generador estará fuera de servicio, por ello se estableció los grupos de trabajo y la secuencia de actividades a realizar para la puesta en servicio del grupo generador.

El equipo de trabajo quedó conformado por:

- 02 supervisores de mantenimiento mecánico.
- 01 supervisor HSEQ.
- 08 técnicos mecánicos.

Etapa 2: Ejecución de actividades

Esta etapa corresponde a la ejecución de las actividades definidas para el proceso de reparación integral y puesta en servicio del grupo generador N° 1.

Etapa 2.1: Ejecución del proceso de reparación integral

En esta etapa se rehabilitaron los componentes de la turbina, a continuación, se detalla las actividades que se desarrollaron.

Reparación del rodete Francis

El rodete Francis que estaba en servicio llevaba cerca de 100 000 horas de operación por lo que correspondía ya su cambio, esto se corroboró con las inspecciones hidráulicas efectuadas en donde se verificó que el rodete presentaba desgastes avanzados (desprendimiento de material, fisuras y espesores alarmantes de los álabes del rodete). Por ello se comenzó con la reparación del rodete de reserva con denominación “L”, este rodete Francis provenía del fabricante Hydro Vevey S.A, el cual tenía 13 álabes en cada lado y su material de fabricación era el acero inoxidable martensítico ASTM A743 grado CA6 – NM, las actividades para su reparación fueron las siguientes:

- **Limpieza superficial del rodete y remoción de la capa de óxido**

Como primera actividad que se llevó a cabo fue la limpieza superficial del rodete de reserva, en donde se removió el polvo superficial y manchas de suciedad con la aplicación de thinner acrílico o conocido también como diluyente. Posterior a ello, se removió el óxido superficial con discos lamerales de ϕ 80 mm grano 60, para poder evaluar el estado superficial del rodete y hacer un primer diagnóstico.

Figura N° 24.

Estado inicial del rodete Francis doble de 26 álabes



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 25.

Remoción del óxido superficial del rodete



Fuente: Elaboración propia

- **Inspección visual del estado del rodete**

Una vez limpia y libre de óxido la superficie del rodete se efectuó una inspección visual para mapear los defectos y evaluar el grado de desgaste.

Figura N° 26.

Mapeo de defectos iniciales del rodete



Fuente: Elaboración propia

- **Controles dimensionales iniciales (medición de espesores, abertura de los álabes en la salida del agua y distancia entre álabes)**

Para complementar la evaluación del grado de desgaste se procedió a efectuar los controles dimensionales iniciales del rodete, el cual consistió en la medición de los espesores en 3 puntos en cada uno de los 26 álabes, distancia entre álabes opuestos en cada lado del rodete y mediante plantillas circulares se midió la abertura de los álabes en la salida del agua. Finalmente se hizo el plantillado del perfil de cada álabe para evidenciar el desgaste de cada uno de ellos.

Figura N° 27.

Control dimensional de distancia entre álabes del mismo lado



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 28.

Control dimensional de la abertura de los álabes en la salida del agua



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 29.

Plantillado del perfil de cada álabe del rodete



Fuente: Elaboración propia

- **Control inicial de tintes penetrantes**

Se efectuó el control de tintes penetrantes en toda la superficie del rodete para evidenciar la existencia de fisuras, porosidades o cualquier discontinuidad superficial. La norma de referencia es la CCH 70-3 PT-3 y la ASTM SE-165, el agente químico fue del tipo II (visible), método de aplicación es con spray y el proceso de remoción fue con solvente. La marca del solvente, líquido penetrante y revelador fue MAGNAFLUX.

El proceso constó en limpiar la superficie con el solvente químico, luego se aplicó el líquido penetrante por un lapso de 10 minutos para que penetre en todas las cavidades superficiales, posteriormente se limpió toda la superficie para la remoción el excedente del líquido penetrante y finalmente se aplicó el líquido revelador y se esperó un lapso de 10 minutos para poder hacer la evaluación y mapeo de las discontinuidades que se fueron evidenciando.

Figura N° 30.

Prueba de tintes penetrantes en el rodete



Fuente: Elaboración propia

- **Evaluación y remoción de soldadura austenítica**

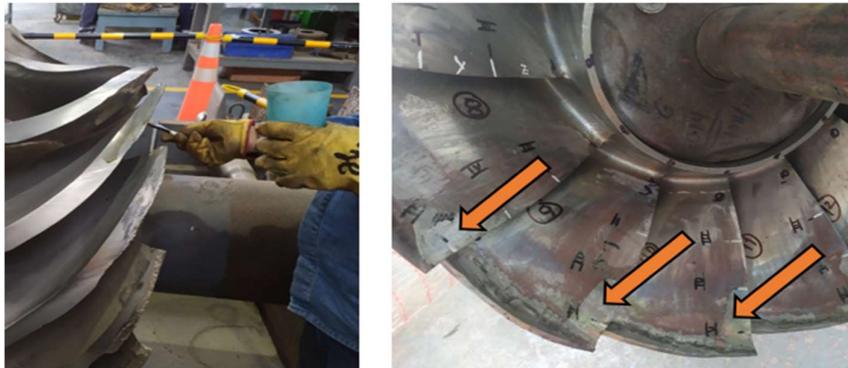
Durante el tiempo de funcionamiento u operación de todo rodete hidráulico se hacen reparaciones en sitio de los defectos superficiales, que son relativamente críticos, que se vayan encontrando en cada inspección hidráulica. Estas reparaciones no requieren desmontar el rodete, simplemente en sitio se efectúa la reparación mediante la aplicación de soldadura inoxidable austenítica, esto con el fin de alargar temporalmente la vida útil del rodete.

El rodete que se reparó tenía zonas donde se había colocado soldadura inoxidable austenítica, lo cual se removió ya que la superficie del rodete solo debe ser de acero inoxidable martensítico, esto con el fin de evitar fisuras o rotura del material al momento de efectuar el tratamiento térmico del rodete.

Para la identificación de las zonas donde había soldadura inoxidable austenítica se aplicó un revelador químico especial.

Figura N° 31.

Revelado de zonas con soldadura austenítica



Fuente: Elaboración propia

- **Control de dureza inicial**

Con el objetivo de tener un registro inicial de la dureza del rodete, se efectuó el control de dureza a cada álabe del rodete, en donde los valores se encontraban dentro del rango recomendado por el fabricante (265 – 300 HB).

- **Reparación con soldadura AWS A5.4: E410NiMo-15**

Una vez preparada la superficie del rodete, se procedió a reparar con soldadura AWS A5.4: E410 NiMo-15, conocido comercialmente con Citochrom 134 de la marca OERLIKON, con electrodos de 1/8". Para evitar que se deformen o se cierren la abertura entre álabes adyacentes, se soldaron pernos entre cada álabe.

Figura N° 32.

Reparación con soldadura del rodete Francis



Fuente: Elaboración propia

- **Proceso de plantillado**

Para verificar que la soldadura aportada en la superficie del rodete será lo suficiente, se efectuó el proceso de plantillado.

Figura N° 33.

Plantillado del perfil hidráulico del rodete



Fuente: Elaboración propia

- **Control de dureza post-soldadura**

Una vez culminado el proceso de reparación con soldadura se efectuó la medición de la dureza de las zonas que fueron soldadas con el objetivo de tener mapeado el rango de durezas con el que el rodete irá al proceso de tratamiento térmico, es lógico que los valores de dureza que se midieron estén por encima de los 300 HB ya que el rodete ha sido sometido a un proceso de soldadura y la estructura interna de la superficie del rodete tiene que pasar por un alivio de tensiones para que la dureza baje hasta el rango de 265 – 300 HB.

Figura N° 34.

Control de dureza del rodete post-soldadura



Fuente: Elaboración propia

- **Controles dimensionales post-soldadura**

Se efectuaron los controles dimensionales del rodete, tales como control de espesores de álabes, control de la distancia entre álabes del mismo lado del rodete, distancia entre puntas de álabes hacia la línea centro del nervio central.

Figura N° 35.

Control dimensional del rodete post-soldadura



Fuente: Elaboración propia

- **Pesado post-soldadura con dinamómetro**

Para tener un control del peso del rodete luego del proceso de soldadura y poder llevar el control de la cantidad final (en kilogramos) de soldadura que se aportó en el rodete se efectuó el pesado con ayuda de un dinamómetro digital de 10 ton de capacidad, el cual arrojó un valor de 1840 Kg, que al restarle el peso de la herramienta de izaje llega a un valor de 1835 Kg.

Figura N° 36.

Pesado del rodete post-soldadura



Fuente: Elaboración propia

- **Proceso de pre-maquinado**

Con el objetivo de asegurar que se aportó la suficiente cantidad de soldadura en toda la superficie del rodete, se efectuó el proceso de pre-maquinado, donde se aproximó a 1 mm de la medida nominal.

- **Proceso de Tratamiento Térmico**

El proceso de tratamiento térmico se efectuó al rodete con el objetivo de efectuar un alivio de tensiones y modificar la dureza del material (modificación de las propiedades mecánicas). Esto se hace mediante un proceso de calentamiento y enfriamiento controlado, con lo cual se consigue modificar la estructura cristalina del acero inoxidable del material base y el material aportado mediante el proceso de soldadura.

El proceso en mención se tercerizó a una empresa especializada, la cual efectuó el proceso en un horno grande, en donde se le colocaron al rodete 6 termocuplas en cada lado, para un monitoreo constante de la temperatura en toda su superficie.

Se trabajó con la siguiente especificación técnica establecida por el cliente:

Tabla N° 1

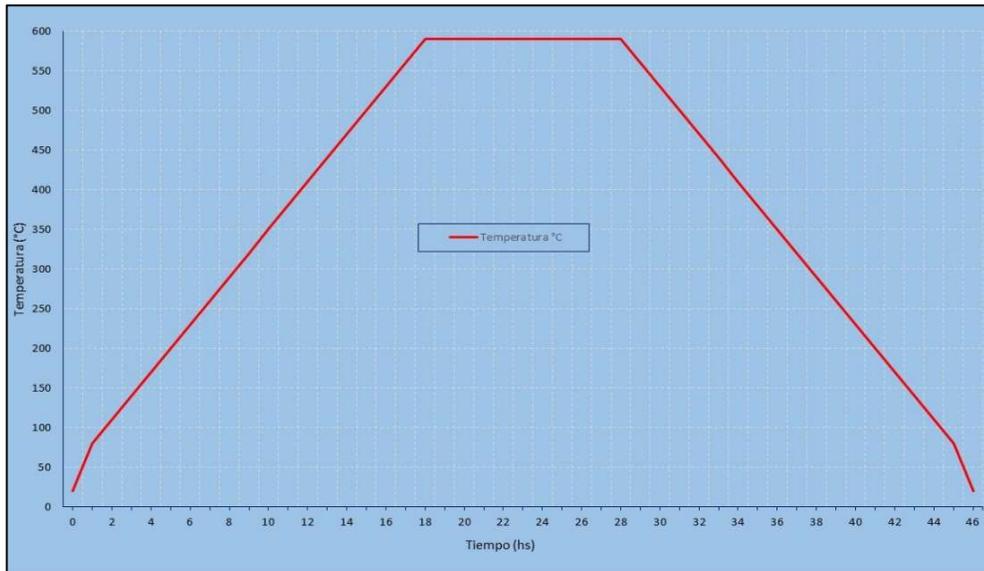
Especificación técnica para el tratamiento térmico del rodete

ESPECIFICACIÓN TÉCNICA PARA TT DE RODETE	
Velocidad de calentamiento	30°C/hora
Temperatura de recocido	580°C por un lapso de 10 horas
Velocidad de enfriamiento	30°C/hora (llegado a los 150°C abrir el horno y dejar que se enfríe a temperatura ambiente)
Dureza final	265 – 300 HB

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 37.

Diagrama del Proceso de Tratamiento Térmico Post Soldadura del Rodete



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 38.

Horno industrial para tratamiento térmico del rodete Francis



Fuente: Elaboración propia

- **Mecanizado final**

Se efectuó el proceso de mecanizado en un centro mecanizado CNC, en donde se maquinó toda la superficie del rodete hasta su medida nominal. Este servicio también fue tercerizado a una empresa especializada.

- **Esmerilado y pulido final**

Se efectuó el proceso de esmerilado y pulido final de todo el rodete, con el objetivo de reducir la fricción, dar una continuidad suave de toda la superficie y dar el acabado superficial recomendado por el fabricante. Para este proceso se utilizó los siguientes materiales: piedras esféricas de $\phi 45$ mm de la marca PFERD, disco lameral de $\phi 50$ y 80 mm de grano 60 de la marca PFERD, disco polifan de $4 \frac{1}{2}$ " de grano 60 de acero inoxidable de la marca PFERD.

Figura N° 39.

Rodete Francis esmerilado y pulido



Fuente: Elaboración propia

- **Balaneo dinámico**

Se efectuó el balanceo dinámico, según la norma ISO 1940, en donde se realizó la corrección computarizada del rodete en dos planos (izquierdo y derecho), corrigiendo el desequilibrio mecánico, mediante la colocación de pesas al interior del rodete, logrando con ello una distribución homogénea de toda la masa.

Tabla N° 2

Especificación técnica para el balanceo dinámico del rodete

Medidas de vibración del rodete (según norma ISO 1940)		
Valor Inicial	Tolerancias Permitidas	Valores Finales
Plano izquierdo 10.50 Kg.in	Plano izquierdo 2.50 Kg.in	Plano izquierdo 0.764 Kg.in
Plano derecho 11.40 Kg.in	Plano derecho 2.50 Kg.in	Plano derecho 0.656 Kg.in
Estático 18.00 Kg.in	Estático 5.00 Kg.in	Estático 0.155 Kg.in

Fuente: Elaboración propia

Como resultado del balanceo dinámico del rodete se pudo lograr un equilibrado con mediciones muy por debajo de lo aceptable, ambos planos con valores similares para un mejor desempeño axial.

- **Prueba de tintes penetrantes final**

Como parte de los controles finales, se efectuó la prueba de tintes penetrantes en donde no se evidenció la presencia de discontinuidades superficiales, por lo que en calidad de la reparación se da la conformidad.

- **Controles dimensionales finales.**

Como última actividad, se efectuó los controles dimensionales finales al rodete, donde se hizo un control de espesores a los álabes, control de abertura de álabes en la salida del agua, distancia del nervio central a las puntas de cada álabe.

Reparación de 18 álabes directrices

El grupo generador trabaja con 18 álabes directrices idénticos, los cuales regulan la cantidad de agua que ingresará al rodete Francis, por ello fue necesario su rehabilitación, cabe resaltar que el estado en el cual se recibieron los álabes fue crítico ya que presentaban un severo desgaste donde había desprendimiento de material en los muñones. Las actividades ejecutadas fueron las siguientes:

- **Limpieza superficial**

Como actividad inicial se efectuó la limpieza general de toda la superficie de los álabes directrices con desengrasante 274 de la marca CHESTERTON, para poder hacer un adecuado mapeo de desgastes.

Figura N° 40.

Estado inicial de los álabes directrices



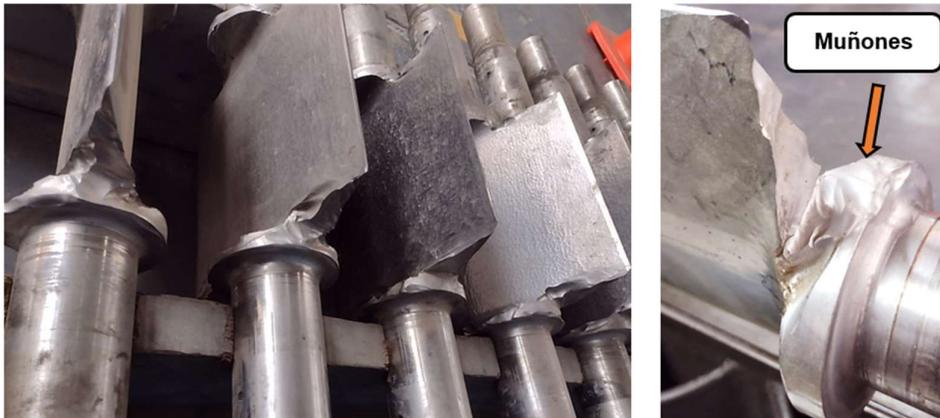
Fuente: Elaboración propia

- **Inspección inicial y mapeo de desgastes de cada álabe directriz**

Se identificó el grado de desgaste de los 18 álabes directrices, en donde se pudo apreciar un desgaste avanzado, principalmente en los muñones y caras laterales donde se observaba un gran porcentaje de desprendimiento de material.

Figura N° 41.

Mapeo de desgastes de los álabes directrices



Fuente: Elaboración propia

- **Controles dimensionales iniciales**

Se efectuaron los controles iniciales del diámetro de los muñones, distancia entre las caras laterales y diámetros de los semiejes.

- **Control inicial de tintes penetrantes**

Se efectuó la prueba de tintes penetrantes inicial con el fin de identificar alguna fisura que no se haya podido identificar en la inspección visual. En ninguno de los 18 álabes directrices se observó fisuras o grietas.

- **Control de dureza inicial**

Se efectuó el control de dureza de los 18 álabes directrices en los muñones, caras laterales y perfil de los álabes.

- **Pre-maquinado inicial de muñones y caras laterales**

Se realizó el pre-maquinado de los muñones y caras laterales con el objetivo de eliminar restos de soldadura austenítica y eliminar los filos vivos.

Figura N° 42.

Pre-maquinado inicial de muñones y caras laterales de álabe directriz



Fuente: Elaboración propia

- **Control del alineamiento**

Consiste en hacer una medición del dobléz y/o desalineamiento con el que llegan los semiejes de los álabes directrices. En los 18 álabes directrices se tuvo un desalineamiento en el rango de 0.00 – 0.08 mm.

- **Proceso de soldadura según procedimiento de trabajo**

Este proceso consiste en cubrir con soldadura toda la superficie de los muñones, caras laterales y perfil hidromecánico de los álabes directrices con soldadura inoxidable martensítico AWS A5.4 E410NiMo-15, comercialmente denominado Citochrom 134. De acuerdo al grado de desgaste se define la cantidad de pasadas de soldadura, para el caso de estos álabes directrices fueron necesarios efectuar unas 3 pasadas. Cabe resaltar que la medida final de las zonas de los álabes directrices reparadas con soldadura debe quedar unos 5 mm por encima de su medida nominal.

Figura N° 43.

Aporte de soldadura en 01 álabes directriz



Fuente: Elaboración propia

- **Control del alineamiento y enderezado inicial en la prensa hidráulica**

Al ser sometidos los álabes directrices a un proceso de soldadura, el calor liberado produce que se deformen sus semiejes, causando un desalineamiento considerable, lo cual tuvo que corregirse enderezándolos en una prensa

hidráulica, donde luego de ello el desalineamiento quedó en un rango de 0.00 – 0.03 mm, siendo ello aceptable.

Figura N° 44.

Enderezado de álabe directriz



Fuente: Elaboración propia

- **Pre-maquinado de los muñones y caras laterales post-soldadura**

Una vez corregida la línea centro de cada álabe, se procedió a efectuar el pre-maquinado de los muñones y caras laterales a 2 mm por encima de su medida nominal, esto con el fin de verificar que la cantidad de soldadura aportada fue la suficiente.

- **Control de dureza antes del tratamiento térmico**

Con el fin de poder hacer una comparativa entre el antes y después de la dureza de los álabes directrices al efectuar el proceso de tratamiento térmico, se efectuó el control de dureza, donde los valores estaban en el rango de 353 – 368 HB.

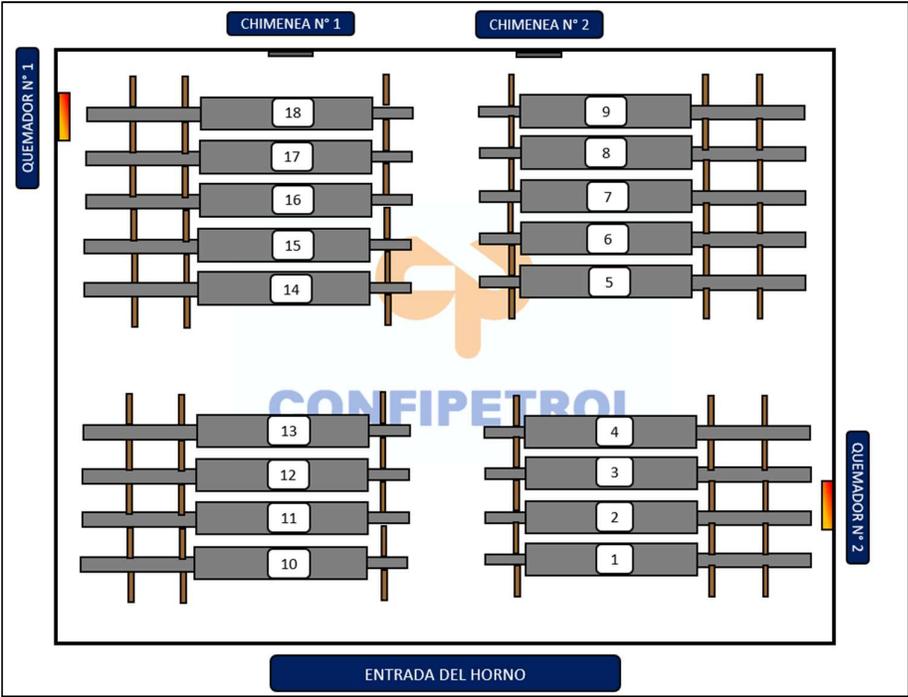
- **Proceso de tratamiento térmico**

Se efectuó el proceso de tratamiento térmico con una empresa especializada, en donde se colocaron de forma ordenada y en posición horizontal dentro del horno los 18 álabes directrices, estos a una distancia de 0.5 m respecto al piso, a cada álabe directriz se le colocó 06 termocuplas, según muestra la figura N° 43, para

senzar de forma continua la temperatura de toda su superficie durante todo el proceso. El proceso se realizó respetando la curva de alivio de tensiones dada por el cliente.

Figura N° 45.

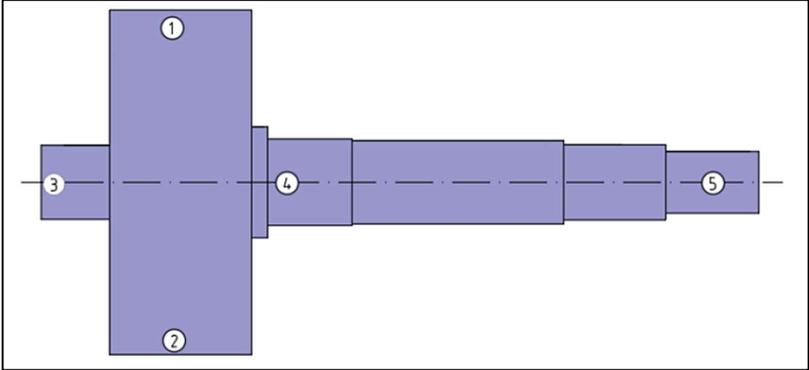
Disposición de los álabes directrices dentro del horno



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 46.

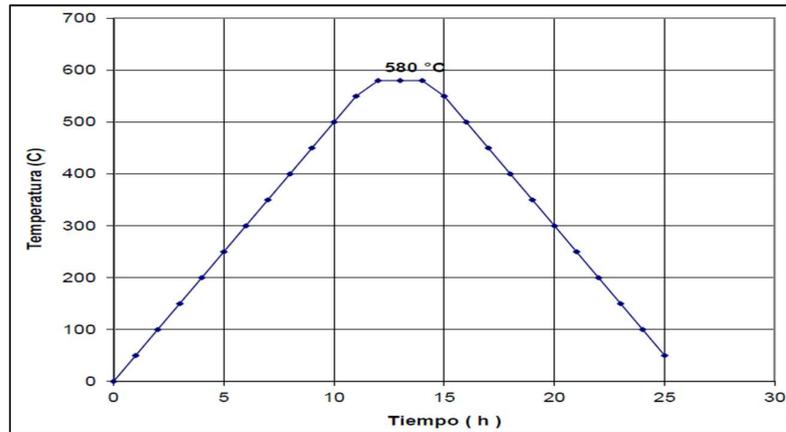
Posicionamiento de las termocuplas en cada álabes directriz



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 47.

Diagrama del Proceso de Tratamiento Térmico Post Soldadura de los álabes directrices



Fuente: Elaboración propia

- **Control de dureza luego del tratamiento térmico**

Luego del proceso de tratamiento térmico se efectuó el control de dureza en varios puntos, en donde los valores se encontraban dentro del rango recomendado de 265 – 300 HB.

Figura N° 48.

Control de dureza post tratamiento térmico



Fuente: Elaboración propia

- **Control del alineamiento**

Se efectuó el control del alineamiento luego del proceso de tratamiento térmico en los álabes directrices, en caso exista deformación de su línea centro, en este caso los valores se encontraban dentro del rango aceptable de 0.00 – 0.03 mm.

- **Maquinado en torno de muñones y caras laterales**

Se efectuó el maquinado final de los muñones (medida nominal del diámetro de los muñones = 120 mm) y caras laterales (medida nominal de la distancia entre caras laterales = 274.50 mm) en el torno.

Figura N° 49.

Maquinado final de muñones y caras laterales



Fuente: Elaboración propia

- **Fresado de los asientos de hermeticidad**

Se efectuó el fresado de los asientos de hermeticidad, los cuales son las zonas de contacto entre álabes que ofrecen la hermeticidad al rodete cuando estos están en posición de cierre.

Figura N° 50.

Fresado de los asientos de hermeticidad



Fuente: Elaboración propia

- **Esmerilado y pulido**

Se efectuó el proceso de esmerilado y pulido de todo el perfil hidrodinámico de los álabes directrices, con el fin de reducir su coeficiente de fricción y tener un acabado suave que pueda contrarrestar el desgaste erosivo del agua.

Figura N° 51.

Fresado de los asientos de hermeticidad



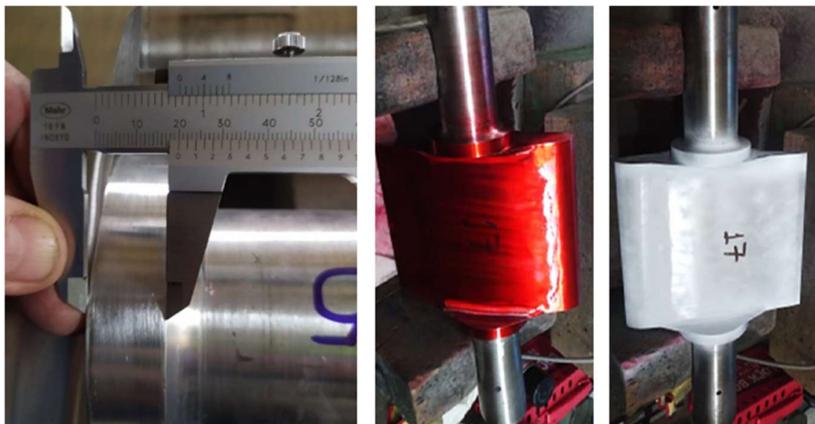
Fuente: Elaboración propia

- **Controles dimensionales y de tintes penetrantes finales**

Se efectuó el control dimensional y de tintes penetrantes de los álabes directrices donde se dio la conformidad.

Figura N° 52.

Control dimensional y de tintes penetrantes final



Fuente: Elaboración propia

Reparación de 02 codos de descarga

La turbina al tener un rodete Francis doble tiene 02 codos de descarga por donde el agua turbinada es expulsada para ser devuelta al río y siga su cauce normal.

El material base de los codos de descarga es fierro fundido, y cada codo en su interior cuenta con una cubierta de acero inoxidable el cual protege al material base de la erosión que pudiese ocasionar el flujo continuo del agua. Las actividades ejecutadas fueron las siguientes:

- Limpieza superficial de ambos codos.
- Desmontaje del blindaje circular en la entrada de los codos.
- Desmontaje del blindaje de acero inoxidable del interior de cada codo.
- Fabricación de pines guía y pernería.
- Montaje de los blindajes circulares nuevos.
- Maquinado de agujeros para pernos de amarre de los blindajes circulares.
- Reparación del material base de los codos (esmerilado y resane con soldadura supercito AWS A5.1: E-7018).
- Trazado y corte de planchas de acero inoxidable para el blindaje interior.
- Colocación de las planchas de acero inoxidable y adhesión con el material base mediante soldadura (AWS A.5.4: E316L-16).
- Proceso de esmerilado y pulido del blindaje interior.
- Proceso de montaje de ambas mitades de cada codo de descarga
- Proceso de enderezado.
- Controles dimensionales finales.
- Proceso de reparación con soldadura de las ventanas de inspección.
- Proceso de esmerilado y pulido de las ventanas de inspección
- Proceso de pintura.

Reparación del eje de la turbina

La turbina cuenta con un eje de 5471.5 mm de largo y un peso nominal de 4300 Kg, en donde va montado el rodete Francis. Las actividades ejecutadas fueron las siguientes:

- Limpieza superficial.
- Inspección visual y mapeo de defectos.
- Controles dimensionales iniciales.
- Proceso de metalizado de la zona de trabajo del rodete.
- Fabricación de las chavetas cónicas que fijan al rodete en el eje.
- Remoción del óxido superficial en la zona de trabajo del cojinete, proceso de engrase y proceso de embalaje.
- Control dimensional final.
- Prueba de tintes penetrantes final.

Reparación de las 02 tapas de la turbina

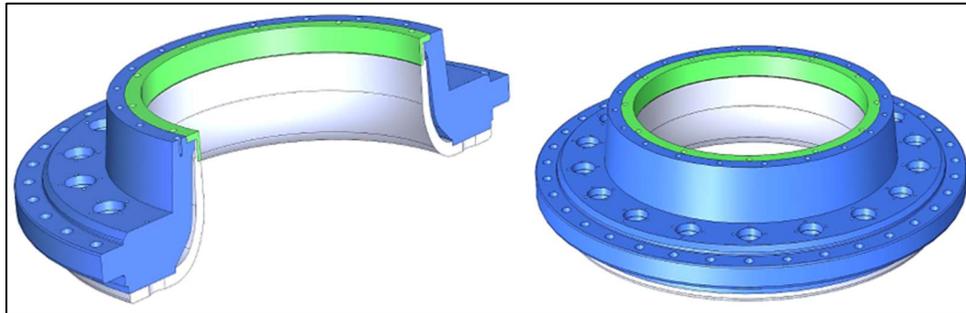
La turbina cuenta con dos tapas (lado regulador de velocidad y lado alternador), las cuales cubren al rodete y se unen con cada codo de descarga. El material base de cada tapa es fierro fundido, a su vez cada tapa cuenta con 02 blindajes de acero inoxidable, denominados blindaje angular y blindaje de fondo. Cada tapa cuenta 18 agujeros, en donde en una de las 02 tapas va montado en cada agujero una porta-bocinas y bocina en donde van montados los semi ejes de cada álabe directriz y en la otra tapa solo van montados las bocinas en cada agujero. Las actividades ejecutadas fueron las siguientes:

- Limpieza general de la superficie.
- Desmontaje de las porta-bocinas.
- Desmontaje del blindaje angular.
- Desmontaje del blindaje de fondo.
- Inspección visual y mapeo de defectos de cada tapa.
- Controles dimensionales iniciales.
- Proceso de reparación con soldadura del material base de cada tapa.
- Maquinado del material base de cada tapa.
- Controles dimensionales post-maquinado de cada tapa.
- Reparación mediante soldadura de las 18 porta-bocinas.
- Proceso de fabricación de las bocinas de acero inoxidable.

- Compra de bandas auto lubricantes que van montados en la interna de cada bocina de acero inoxidable.
- Control dimensional de las 18 porta-bocinas y de las 36 bocinas de acero inoxidable.
- Proceso de montaje de las bandas auto lubricantes en las bocinas.
- Proceso de montaje de 18 bocinas de acero inoxidable en las 18 porta-bocinas.
- Proceso de fabricación de los 02 blindajes de fondo.
- Proceso de fabricación de los 02 blindajes angulares.
- Proceso de montaje de los 02 blindajes de fondo en cada una de las tapas de la turbina.
- Proceso de montaje de los 02 blindajes angulares en cada una de las tapas de la turbina.
- Proceso de maquinado de las tapas con los blindajes de fondo y angular montados.
- Proceso de fresado de los agujeros donde se alojan los muñones de los álabes directrices.

Figura N° 53.

Vista isométrica de tapa de turbina con su blindaje angular y de fondo



Fuente: Elaboración propia

Pre-montaje de turbina reparada

Como parte final de proceso de reparación del rodete Francis de reserva y sus componentes, se efectuó el pre-montaje de los álabes directrices entre las 02 tapas de turbina, con el objetivo de verificar las luces entre el diámetro de los

muñones y el diámetro del agujero del blindaje de fondo de las tapas de la turbina donde encajan (se encontraron entre 0.10 – 0.25 mm), las luces entre las caras laterales de los álabes directrices en la cara del blindaje de fondo de las tapas de la turbina (se encontraron en el rango de 0.20 – 0.25 mm, por lo que se acepta), las luces entre los asientos de hermeticidad de álabes directrices en posición de cierre para asegurar una adecuada hermeticidad (se encontraron en el rango de 0.00 – 0.03 mm, por lo que se acepta), por otra parte este pre-montaje sirve para verificar que los álabes directrices tienen un giro suave simulando la manera en la que trabajarán cuando estén en servicio.

Asimismo, se efectuó el montaje del rodete Francis en su eje para poder ser transportada de esta manera a la casa de máquinas más adelante. El rodete se ajustó a su eje mediante 02 chavetas cónicas y se posicionó a una distancia de 2441 mm respecto a la cara exterior de la brida del eje según lo indicado en el plano del fabricante. Este pre-montaje se efectuó en taller de mantenimiento y se realizó con el objetivo que en caso se tenga algún contratiempo en el montaje se pueda solucionar en el taller y no en plena maniobra de montaje en la casa de máquinas el día que esté fuera de servicio el grupo generador N° 1, considerando que solo iba a estar fuera de servicio 15 días y el excedernos de ese tiempo es causal de penalidades y pérdida de producción.

Figura N° 54.

Pre-montaje del rodete Francis en su eje



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 55.

Pre-montaje de los álabes directrices en las tapas de turbina



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 56.

Control de luces entre los álabes directrices en posición de cierre



Fuente: Elaboración propia

Etapas 2.2: Ejecución del proceso de puesta en servicio

Una vez terminada la etapa de reparación integral, se procede con el inicio del proceso de cambio del rodete Francis y componentes del grupo generador N° 1

que están en servicio por los que han sido reparados. Las actividades realizadas fueron las siguientes:

- Se recopiló, elaboró y revisó toda la documentación de seguridad tales como procedimiento de trabajo, planes de izaje, IPERC, permiso de trabajo, charla de seguridad, AST, formato de inspección de elementos de izaje, formato de inspección de equipos (amoladoras, máquinas de soldar, extractor de humos, esmeril de eje flexible, etc), formato de inspección de herramientas manuales.
- Se efectuó la movilización de los componentes reparados de la turbina que entrará en servicio, desde el taller de reparaciones hasta la entrada de la casa de máquinas.

Figura N° 57.

Movilización de componentes reparados desde taller hacia casa de máquinas



Fuente: Elaboración propia

- Se efectuó los bloqueos de seguridad, con el objetivo de dejar aislado de cualquier energización o arranque de cualquier sistema o equipo de la central hidroeléctrica.
- Se efectuó la coordinación con el COES para el fuera de servicio o de operaciones del grupo generador N° 1.
- Se efectuó el vaciado de tubería forzada asociada al grupo generador N° 1.
- Se efectuó el desmontaje de los componentes de la turbina que va salir fuera de servicio, los cuales presentan desgaste superficial avanzado.

Figura N° 58.

Desmontaje de rodete y componentes desgastados



Fuente: Elaboración propia

- Se trasladaron los componentes desmontados al taller mecánico para su evaluación y futura reparación.

Figura N° 59.

Estado de los álabes directrices y tapa de turbina salientes



Fuente: Elaboración propia

- Se montaron los componentes que fueron reparados, siguiendo lo establecido en los procedimientos de trabajo.

Figura N° 60.

Montaje de componentes reparados del grupo generador N° 1



Fuente: Elaboración propia

- De forma paralela al montaje de los componentes, se efectuaron los controles correspondientes (control de luces u holguras, control de paralelismo, control de alineamiento, etc.)
- Una vez terminado las maniobras de montaje y de controles, se efectuó el retiro de los bloqueos y posterior a ello se comenzó con el llenado de la tubería forzada, el cual tuvo una duración aproximada de 6 horas.
- Se inició con la maniobra de arranque del grupo generador N° 1, el cual fue un arranque suave, gradual y controlado, donde la potencia generada llegó a su nominal de 15.6 MW.
- Una vez puesto en operación al grupo generador N° 1, se efectuó los controles de vibraciones y medición del ruido.

Figura N° 61.

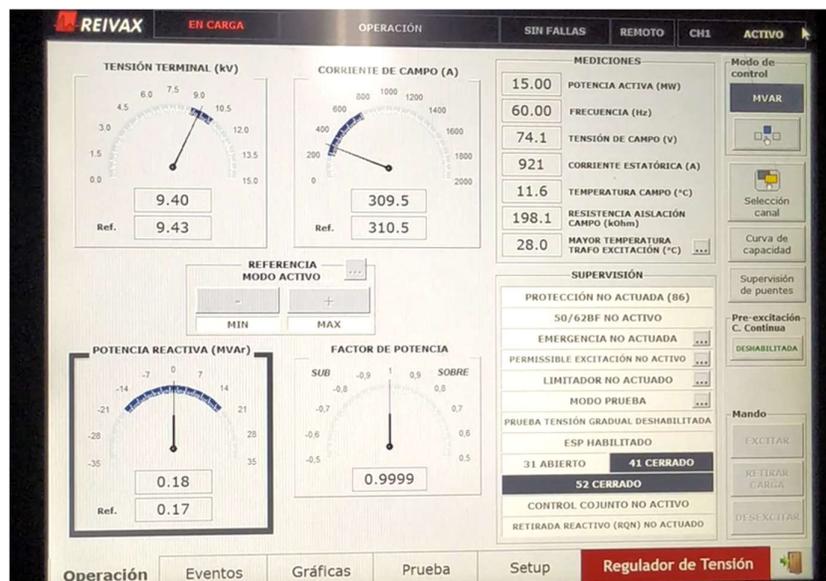
Grupo generador N° 1 puesto en marcha



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 62.

Mediciones de operación del grupo generador N° 1



Fuente: Elaboración propia

3.2. Evaluación técnica-económica

La empresa Confipetrol Andina S.A efectuó la valorización de todo el trabajo ejecutado, en donde se contabilizó las horas hombre, materiales, repuestos, insumos, servicios tercerizados y servicios de transporte.

Tabla N° 3
Análisis de costos integral

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNID	CANT	PRECIO UNITARIO	N° Personas	SUB. TOTAL
1.00	RECURSO HUMANO					S/435,100.00
1.10	Supervisor HSEQ	Mes	13	S/4,500.00	1	S/58,500.00
1.11	Supervisor de Mantenimiento Mecánico	Mes	14	S/5,500.00	1	S/77,000.00
1.12	Técnico operador de torno y fresadora	Mes	2	S/3,000.00	2	S/12,000.00
1.13	Técnico soldador	Mes	8	S/3,300.00	4	S/105,600.00
1.14	Técnico mecánico (reparación)	Mes	11	S/3,500.00	4	S/154,000.00
1.15	Técnico mecánico (puesta en servicio)	Mes	1	S/3,500.00	8	S/28,000.00
2.00	CONSUMIBLES					S/197,029.30
2.10	Soldadura Citochrom de 1/8"	Kg	386	S/300.00		S/115,800.00
2.11	Soldadura Citochrom de 3/32"	Kg	30	S/95.00		S/2,850.00
2.12	Soldadura Inoxidable BW de 1/8"	Kg	70	S/550.00		S/38,500.00
2.13	Soldadura Inoxidable BW de 3/32"	Kg	50	S/330.00		S/16,500.00
2.14	Lamerale de 50mm - grano 60	Kg	90	S/24.00		S/2,160.00
2.15	Lamerale de 80mm - grano 60	Kg	70	S/40.00		S/2,800.00
2.16	Lamerale de 6" - grano 60	Und	10	S/100.00		S/1,000.00
2.17	Discos polifan de acero inoxidable de 4 1/2"	Und	71	S/20.00		S/1,420.00
2.18	Piedras esféricas de 45 mm	Und	116	S/60.00		S/6,960.00
2.19	Fresas esféricas de 8mm	Und	4	S/16.00		S/64.00
2.20	Lima cuadrada grano bastardo de 10"	Und	1	S/20.00		S/20.00
2.21	Lima cuadrada grano medio de 10"	Und	1	S/26.00		S/26.00
2.22	Lima plana grano bastardo de 10"	Und	1	S/22.00		S/22.00
2.23	Lima plana grano medio de 10"	Und	1	S/24.00		S/24.00
2.24	Lima media caña grano bastardo de 10"	Und	1	S/30.80		S/30.80
2.25	Lima media caña grano medio de 10"	Und	1	S/32.50		S/32.50
2.26	Tintes penetrantes MAGNAFLUX	Kit	12	S/240.00		S/2,880.00
2.27	Thinner acrílico	galon	4	S/22.00		S/88.00
2.28	Gas propano	balón	10	S/30.00		S/300.00
2.29	Argon industrial	balón	1	S/200.00		S/200.00
2.30	Azul de prucia	Und	6	S/7.00		S/42.00
2.31	WD40 - Aflojatodo	Und	17	S/30.00		S/510.00
2.32	Plancha de acero inoxidable 316 de 1/8"x1200x2400mm	Und	2	S/2,400.00		S/4,800.00
3.00	SERVICIOS TERCEROS					S/445,600.00
3.10	Pre-maquinado de Rodete Francis	Und	1	S/12,000.00		S/12,000.00
3.11	Pesado de Rodete Francis	Und	1	S/2,000.00		S/2,000.00
3.12	Maquinado de Rodete Francis	Und	1	S/30,000.00		S/30,000.00
3.13	Tratamiento térmico de Rodete Francis	Und	1	S/48,000.00		S/48,000.00
3.14	Balanceo dinámico de Rodete Francis	Und	1	S/12,000.00		S/12,000.00
3.15	Tratamiento térmico de álabes directrices	Und	1	S/60,000.00		S/60,000.00
3.16	Metalizado del eje de turbina	Und	1	S/34,000.00		S/34,000.00
3.17	Fabricación de blindaje angular de tapa de turbina	Und	1	S/16,800.00		S/16,800.00
3.18	Fabricación de blindaje de fondo de tapa de turbina	Und	1	S/120,000.00		S/120,000.00
3.19	Fabricación de bocinas de acero inoxidable	Und	1	S/72,000.00		S/72,000.00
3.20	Fabricación de bandas autolubricación	Und	1	S/14,000.00		S/14,000.00
3.21	Maquinado de 02 tapas de turbina	Und	1	S/24,800.00		S/24,800.00
4.00	TRANSPORTE					S/45,200.00
4.10	Servicio de transporte de rodete Francis	Und	5	S/7,200.00		S/36,000.00
4.11	Servicio de transporte de álabes directrices	Und	2	S/2,800.00		S/5,600.00
4.12	Servicio de transporte de codos de descarga	Und	1	S/1,800.00		S/1,800.00
4.13	Servicio de transporte de eje de turbina	Und	1	S/1,800.00		S/1,800.00
TOTAL COSTO						S/1,122,929.30

Fuente: Elaboración propia

Se debe considerar que, en las bases del contrato firmada con el cliente, se tiene un precio fijo de S/. 1,500,000.00 para la reparación integral y puesta en servicio de 01 turbina Francis de la central hidroeléctrica en estudio, en donde el margen de ganancias para la empresa varía en función de cuan óptimo sea la utilización

de los recursos y tiempo que se emplee, para el caso en estudio, se tuvo un margen de ganancia de S/. 377,070.70.

En la reparación y puesta en servicio anterior a la estudiada, desarrollada en el año 2015, se tuvo un gasto de S/. 1,210,000.00 por lo que la ganancia para la empresa fue de S/. 290,000.00.

En esta ocasión el margen de ganancias fue mayor, ya que al tener una planificación más estructurada y con las lecciones aprendidas de reparaciones anteriores, se logró tener un menor consumo de soldadura y abrasivos, menor cantidad de horas hombre empleadas, menor cantidad de retrabajos y tiempos muertos.

3.3. Análisis de resultados

Se cumplieron las recomendaciones del fabricante en todos los procesos desarrollados tanto en el antes, durante y después, específicamente en los controles dimensionales, control de dureza, nivel de vibraciones.

IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Discusión

De acuerdo a lo observado tras la reparación integral y puesta en marcha del grupo generador N° 1 de la central hidroeléctrica en estudio es que se realiza una discusión en referencia a otras investigaciones realizadas con anterioridad e indicadas en los antecedentes de estudio tales como:

- Lo propuesto por C. Cañizares y J. Quinchuela en el año 2017 en su tesis de pregrado titulada “Tecnologías para la recuperación por soldadura de álabes de turbinas hidráulicas construidas de acero inoxidable martensítico ASTM A743 CA-6NM (UNS J91540)”, la cual armoniza con el presente trabajo ya que los procedimientos de reparación con soldadura y de inspección de los álabes de los rodets hidráulicos son afines, específicamente cuando el material base es el acero inoxidable martensítico ASTM A743 CA-6NM, asimismo también resaltan la importancia de efectuar el tratamiento térmico

para lograr un alivio de tensiones. Finalmente, dichos autores también se basan en la norma europea CCH 70-4.

- Por otra parte C. Ubilluz en el año 2019 en su tesis de pregrado titulada “Estandarización del proceso de recuperación del rodete tipo Francis de la Central Hidroeléctrica San Francisco”, está alineada con el presente trabajo ya que establece lo indispensable que son los controles de calidad intermedios en cada proceso y subproceso para una adecuada reparación del rodete Francis.
- Asimismo Y. Balseca y A. Telenchana en el año 2019 en su tesis de pregrado titulada “Procedimiento de reparación e inspección del rodete Francis de la Central Hidroeléctrica San Francisco mediante sustitución de material de los álabes por insertos metálicos prefabricados” sintoniza con el presente informe ya que resalta lo perjudicial que son la cavitación y erosión para los rodetes hidráulicos, asimismo para su reparación también efectúa procesos tales como plantillaje, ensayos no destructivos y soldadura.
- Finalmente, L. Zavala en el año 2018 en su tesis de pregrado titulada “Diseño e implementación de un taller especializado de reparación de rodete Francis, para disminuir sus costos en la Central Hidroeléctrica Cerro del Águila”, concuerda con el presente trabajo en que debe de respetarse los estándares de calidad y recomendaciones del fabricante en lo que corresponde al mantenimiento de rodetes Francis.

4.2. Conclusiones

- El definir de forma planificada y organizada la reparación integral y puesta en servicio del grupo generador N° 1 hizo que se cumpla con los 13 meses de tiempo que se tenía como limitante, considerando que el punto de inicio se dio en julio del 2020 y se debía poner en servicio en julio del 2021, cumpliéndose con ello el objetivo específico N° 1.
- Se ejecutó con éxito el proceso de reparación y puesta en servicio del grupo generador N° 1, en donde se cumplió con las recomendaciones del fabricante (dimensiones, luces/holguras, alineamiento, nivel de dureza) y procedimientos de trabajo, se tuvo cero accidentes, asimismo se brindó un servicio de calidad al cliente, cumpliéndose así el objetivo específico N° 2.

- Se efectuó el monitoreo y control en la ejecución de la reparación y puesta en servicio del grupo generador N° 1, con lo cual se aseguró que se trabaje de forma segura, que las métricas o controles realizados se encuentren dentro del rango aceptable y se cumplió con la línea base de tiempo y costo, cumpliéndose con ello el objetivo específico N° 3.

V. RECOMENDACIONES

- Es recomendable que toda empresa que se dedique a la reparación de componentes de turbinas hidráulicas tenga personal que se encuentre certificada y en constante capacitación técnica.
- Se recomienda tener calibrados los instrumentos de medición tales como vernier, alexómetro, micrómetro interior, micrómetro exterior, reloj comparador y manómetros. Asimismo, deberán estar certificadas los elementos de izaje tales como eslingas planas, tecles y cáncamos.
- Es recomendable tener un repositorio histórico de todas las reparaciones que se vayan efectuando, con el fin de sacar lecciones aprendidas de cada proceso y poder optimizar con ello tiempos y costos para futuros trabajos.
- Se recomienda una mayor difusión bibliográfica y realización de conferencias técnicas asociadas a la reparación de componentes de turbinas hidráulicas, con el fin de contar con mayor cantidad de profesionales especializados.
- Se recomienda una mayor rigurosidad en las inspecciones hidráulicas que se realicen, ya que con ellos se puede ir mapeando y controlando el nivel de desgaste de los componentes hidráulicos, tales como rodetes, álabes directrices, codos de descarga y eje.

VI. BIBLIOGRAFÍA

ASTM A743: Especificación para piezas de fundición, hierro-cromo, hierro-cromo-níquel resistente a la corrosión para aplicaciones generales. Pensilvania, 2000.

ISO 1940-1 G 6.3: Especificación y verificación de tolerancias para el balanceo turbinas hidráulicas. Suecia, 2003.

ISO 10816-5: **Especificación para evaluación y medición de vibraciones en equipos de máquinas con potencia hidráulica y plantas generadoras.** Ginebra, 2000.

Cahier Des Charges CCH70-4: **Especificación para la inspección de fundiciones de acero para máquinas hidráulicas.** Viena, 2014.

Cañizares, C. y Quinchuela, J. **Tecnologías para la recuperación por soldadura de álabes de turbinas hidráulicas construidas de acero inoxidable martensítico ASTM A743 CA-6NM (UNS J91540).** Tesis para optar el título de Ingeniero Mecánico. Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2017.

Balseca, Y. y Telenchana, A. **Procedimiento de reparación e inspección del rodete Francis de la Central Hidroeléctrica San Francisco mediante sustitución de material de los álabes por insertos metálicos prefabricados.** Tesis para optar el título de Ingeniero Mecánico. Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2019.

Ubilluz, C. **Estandarización del proceso de recuperación del rodete tipo Francis de la Central Hidroeléctrica San Francisco.** Tesis para optar el título de Ingeniero Industrial. Ecuador: Universidad Tecnológica Indoamérica, 2019.

Zavala, L. **Diseño e implementación de un taller especializado de reparación de rodete Francis, para disminuir sus costos de mantenimiento en la Central Hidroeléctrica Cerro del Águila.** Tesis para optar el título de Ingeniero Mecánico Electricista. Perú: Universidad César Vallejo, 2018.

Krishna, K. **Una revisión de la operación y mantenimiento de las plantas hidroeléctricas.** *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. Febrero, 2022.

Toapanta, M. **Plan de control y aseguramiento de la calidad para la recuperación de un rodete de turbina Francis de una central hidroeléctrica.** Enero, 2019.

ANEXOS

Anexo 1. Ficha técnica de Soldadura AWS A5.4: E410 NiMo-15.

Anexo 2. Ficha técnica de Soldadura AWS A5.4: E316L-16.

Anexo 3. Norma europea CCH 70-3.

Anexo 4. Estándar ISO 10816-5.

Anexo 5. Estándar ASTM-A743.

Anexo 6. WPS (Especificación del procedimiento de soldadura).

Anexo 7. PQR (Registro de calificación del procedimiento de soldadura).

Anexo 8. WPQR (Registro de calificación del rendimiento del soldador).

Anexo 9. Instructivo operativo del tratamiento térmico del rodete post soldadura.

Anexo 10. Instructivo operativo del tratamiento térmico de álabes directrices post soldadura.

Electrodo tipo básico para unir y recubrir aceros al 13% Cr y 4% Ni. El material depositado es un acero inoxidable martensítico y se endurece al aire. Presenta gran resistencia a los desgastes por erosión y cavitación, así como, resistencia a la corrosión por ácidos y a altas temperaturas (encima de los 800°C). Respetar las recomendaciones para el precalentamiento, temperatura de interpase, post-calentamiento y/o tratamiento térmico del material base.

Clasificación	
AWS A5.4 / ASME-SFA 5.4	E410NiMo-15

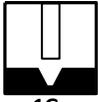
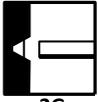
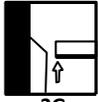
Análisis Químico del Metal Depositado (valores típicos) [%]

C	Mn	Si	P	S	Mo	Ni	Cr	Cu	Otros
0,04	0,60	0,30	máx. 0,030	máx. 0,020	0,5	4,0	11,0 12,5		

Propiedades Mecánicas del Metal Depositado

Tratamiento Térmico	Resistencia a la Tracción [MPa (psi)]	Límite de Fluencia [MPa (psi)]	Elongación en 2" [%]	Energía Absorbida ISO-V (+20°C) [J]
Tratamiento térmico	760 - 950 (110 200 - 137 750)	> 580 (84 100)	> 15	> 55

Conservación del Producto
<ul style="list-style-type: none"> Mantener en un lugar seco y evitar humedad. Almacenamiento bajo horno: 125°C. Resecado de 250°C a 300°C por 1,5 horas.

Posiciones de Soldadura			
P, H, Va, Sc.			
			
1G	2G	3G	4G

Parámetros de Soldeo Recomendados

Para corriente alterna(AC) o continua (DC): Electrodo al polo positivo DCEP							
Diámetro	[mm]	1,60	2,50	3,25	4,00	5,00	6,30
	[pulgadas]	1/16	3/32	1/8	5/32	3/16	1/4
Amperaje mínimo		-	65	80	120	150	-
Amperaje máximo		-	95	130	180	220	-

Pre-calentamiento y Tratamiento Térmico

- Pre-calentamiento 150°C y temperaturas de interpase en caso de piezas gruesas 150°C - 175°C. Máximo calor de entrada (heat input), 15 000 J/cm.
- Tratamiento térmico 580-620°C, 8.0 hrs. (AWS A5.9).

TABLA DE TRATAMIENTO TÉRMICO (*)		
TEMPERATURA	GRADIENTE	TIEMPO
25 a 580 °C	2,3 °C/min.	4,2 h
580 °C	-	8,0 h
580 a 210°C	0,5 °C/min.	12,3 h

(*) Curva recomendada para el cupón de soldadura

Aplicaciones

- Es utilizado para reconstruir componentes de centrales hidroeléctricas como turbinas Pelton, turbinas Francis, agujas, asientos, escudos, etc. expuestos a desgastes por cavitación y/o erosión.
- Recuperación de piezas que han sufrido desgaste por corrosión a causa de ácidos, así como a las altas temperaturas, como ejes, rodillos de colada continua, bombas, válvulas, etc.
- Especial para soldar aceros COR 134.
- Diseñado para soldar aceros tipos AISI 410NiMo, 414, 416 y 420.
- Para soldar aceros X4 Cr Ni 13 4, G-X 5 Cr Ni 13 4, G-X 5 Cr Ni 13 6, G-X CrNiMo 12 4, G-X CrNiMo 13 4.

Electrodo extra de bajo contenido de carbono para aceros inoxidable al CrNiMo y resistentes a los ácidos.

Especificación

AWS A 5.4	AWS A 5.4M	EN 1600
E316L-16	E316L-16	E 19 12 3 L R 3 2

Campo de aplicación

UTP 316L se usa primordialmente para la soldadura de unión y de revestimiento en aceros inoxidables al bajo carbono, del tipo 19/12/3 CrNiMo. Puede utilizarse también, para soldar aceros resistentes al ataque de productos químicos tanto estabilizados como no estabilizados; así como para aceros de la misma composición química. UTP 316L se aplica ventajosamente en los aceros indicados a continuación:

Campo	AISI	DIN	No de Material base
Bajo Contenido de carbono	316L	X 2 CrNiMo 1810	1.4404
	308L	....	1.4316
	316L	X 5 CrNiMo 1810	1.4401
	308L	....	....
	304	X 5 CrNiMo1812	1.4436
	....	GX 10 CrNiMoNb 18 9	1.4410
No Estabilizado	316 Ti	X 10 CrNiMoTi 18 10	1.4571
	....	X 10 CrNiMoTi 18 12	1.4573
	318	X 10 CrNiMo Nb 1810	1.4580
	347	....	....
	202	X 8 CrMnNiN 18 9	1.4371
	302	X 12 CrNi 18 8	1.4300
	304 L	X 2 CrNi 18 9	1.4306
	304	X 5 CrNi 18 9	1.4301
	....	X 10 Cr Ni 18 8	1.4312

Características

UTP 316L se suelda en todas las posiciones excepto en la vertical descendente. Tiene un arco estable y se suelda sin salpicaduras. Fácil encendido y reencendido. Fácil desprendimiento de escoria. La superficie del cordón posee un aspecto liso y fino, sin socavaciones.

Análisis estándar del depósito (% en peso)

C	Cr	Ni	Mo	Mn	Si	Cu
< 0.04	17.00 - 20.00	11.00 - 14.00	2.00 - 3.00	0.50 - 2.50	< 1.00	< 0.75

Propiedades mecánicas típicas del depósito

Resistencia a la tracción MPa	Alargamiento (l = 4d) %
> 490	> 30

Instrucciones para soldar

Limpiar la zona por soldar, desengrasándola perfectamente. Use electrodos secos y soldar con arco corto. Depositar cordones en forma recta o con un ligero vaivén. No sobrecalentar los cordones. Electrodo húmedos por haber estado expuestos al ambiente, se deben secar a una temperatura entre 250 y 300 °C de 2 a 3 h.

Posiciones de soldadura

Tipos de corriente



Corriente Directa / Electrodo Positivo (DC/EP) (= +)
Corriente Alterna (~)

Parámetros recomendados

Electrodo	Ø x L (mm)	2.4 x 300	3.2 x 350	4.0 x 400	5.0 x 450
Amperaje	(A)	60 - 80	80 - 100	100 - 130	130 - 180

Presentaciones

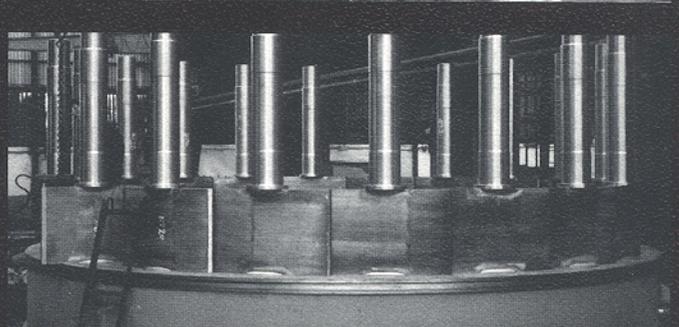
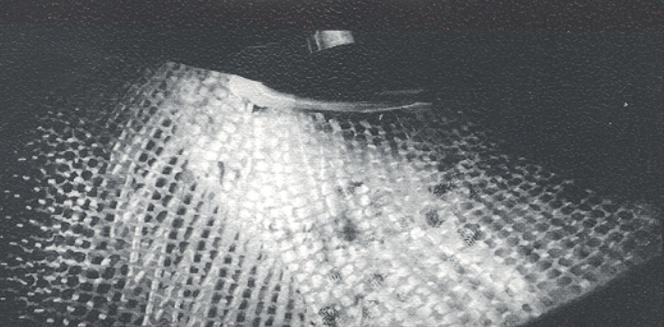
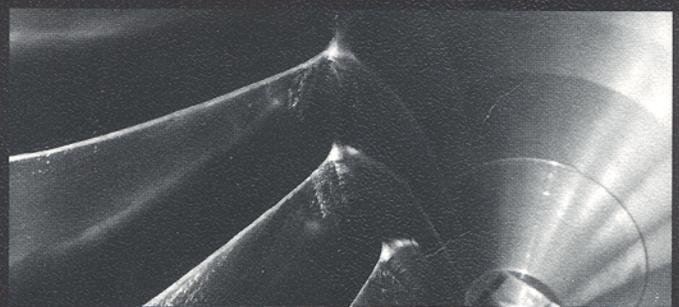
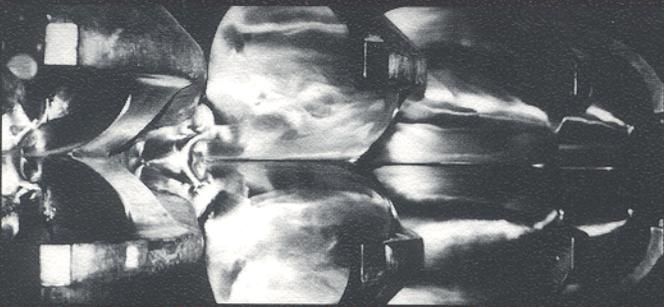
StaPac (caja de cartón)	VacPac (caja de 20 kilos con 4 cajas al alto vacío)	CanPac (caja de cartón con 3 latas)
Caja de cartón de 5 kg	Pregunte a nuestro Representante Técnico la disponibilidad de esta presentación.	13.620kg / 3 latas de 4.540 kg

Los datos e información contenidos en esta ficha técnica son exclusivamente para dar orientación acerca de la aplicación de ciertos productos. El usuario es totalmente responsable de la debida utilización de dichos productos para dar cumplimiento con los estándares, especificaciones, procedimientos de mantenimiento y códigos de construcción, fabricación, montaje o reparación aplicables.

CAHIER DES CHARGES

CCH 70-3

SPECIFICATION FOR INSPECTION OF STEEL CASTINGS FOR **HYDRAULIC** MACHINES



ENGLISH TRANSLATION

TECHNICAL SPECIFICATION FOR LIQUID PENETRANT INSPECTION

1 - OBJECTIVE AND FIELD OF APPLICATION

Liquid penetrant inspection is intended for the detection of defects open to the surface.

This method is generally limited to the inspection of finished castings. It may however be applied at earlier stages, especially for the inspection of excavations.

2 - SURFACE PREPARATION

It is essential that the surfaces to be inspected are clean and dry. That means that rust, scale, welding flux, spatter, grease, oil, water, dust, paint .. etc. are removed from the surface and the defects to be inspected.

Table 1
The surfaces shall be prepared according to acceptance criteria.

classes	Ra µm	Reference Plates			
		BNIF 359-01	Roughness test Nr 2 (LCA - CEA) Grinding	Roughness test Nr 3 (LCA - CEA) Grit blasting	ASTM A802
1	≤ 6,3	1S2, 2S2	≤ N9	prohibited	not applicable
2 to 3	≤ 12,5	1S1, 2S1 3S2, 4S2, 5S2	≤ N10	prohibited	not applicable
4 to 5	≤ 12,5	4S1, 5S1, 6S1	≤ N10	prohibited (*)	not applicable

(*) Sanding or grit blasting may be acceptable, subject to the Designer's approval.

In case of superficial mechanical treatment (e. g. scratching, hammering, shot blasting) which may dull the casting surface and thus hinder the penetration of the dye, the dye penetrant inspection should be preceded by a grinding of the surfaces to be inspected.

If magnetic particle inspection with liquid ink is intended, it is recommended to perform liquid penetrant inspection first.

3 - METHOD AND PROCESS

The general method uses a coloured water-washable liquid penetrant, visible in normal light, with which the surface to be inspected is wetted. The excess of penetrant will be washed of and the part dried. The examination is made after application of a coat of developer, suspended in a liquid. The products used shall be of high sensitivity.

The products generally available on the market and the operation methods described hereafter can be used within a temperature range of about 10 to 40° C of the surface to be inspected. Beyond these limits, the efficiency of the products and of the process must be proved at the temperature at which the inspection is intended to be carried out.

Any other method may be applied after previous agreement.



3.1 CLEANING

Rust, scale, welding flux, spatter, paint etc. shall be removed by means of a wire brush or by grinding. Then any traces of dust or grease have to be eliminated from the surface by means of a solvent or by means of steamed water under pressure. The products used must meet the requirements of National legislation with regard to the environment.

3.2 DRYING

It is essential that the surface to be examined is completely dried prior to application of the penetrant.

3.3 APPLICATION OF THE PENETRANT

The penetrant may be applied by dipping, brushing or by spraying (Aerosol or compressed air-type apparatus). Minimum penetration (soaking) time is 10 minutes, but longer penetration times may be necessary on polished surfaces, narrow discontinuities or at temperatures below 15 °C.

Generally, soaking times will be 10 to 20 minutes. It must be assured that the surface is kept wet during this period.

3.4 EXCESS PENETRANT REMOVAL

After the required penetration time, excess penetrant is removed by means of a wet cloth (sponge), by water rinsing or water spraying, at a water temperature below 40 °C and at a water pressure of less than 3.5 bar. The water jet shall be at least 30 cm from the surface. Then the part will be immediately dried with a dry, clean and lint free rag. The drying may be accelerated by using dry non oily compressed air at a pressure of less than 2 bar.

3.5 DEVELOPMENT

The developer must be applied **immediately** after the part to be examined is dry.

As developer, a suspension of powder in a solvent is used. It is recommended to apply the developer by a pistol immediately after preparation (mixing, shaking) to enforce uniform suspension. Other application methods (eg. aerosol spray) may be used as well, if they assure a thin and even film of developer, without flushing the penetrant within the discontinuities. Thick coats of developer are unacceptable. Drying is produced by natural evaporation.

3.6 EXAMINATION

Due to the rapid diffusion of the dye in the developer, it is recommended to observe the evolution of indications since application of the developer. After a developing time of 10 to 20 minutes, the indications will be compared with the acceptance criteria. Lighting should be higher than 500 Lux.

4 - INTERPRETATION OF RESULTS

4.1 DEFINITIONS

«Indications» are any detectable bleedouts after application of the developer

«Relevant» indications are those resulting from discontinuities.

«Rounded» indications are those which are more or less elliptic and their length is less than three times the average width.

«Linear» indications are those, in which the maximum length represents more than three times the average width extension.

«Aligned» indications are **groups** of three or more indications, aligned side by side, with a distance from edge to edge of less than **2 mm.**

The «indications density» is the quotient (in 0/00)
$$\frac{\text{Total surface of indications taken into account}}{\text{Reference surface (1 dm}^2\text{)}}$$

4.2 EVALUATION OF INDICATIONS

The threshold for **taking the indications into account** is defined for each class.

Surface imperfections, such as tool marks or other superficial surface conditions, are likely to produce indications. Any equivocal indication must **be regarded as a** defect and shall be re-examined, to verify whether or not real defects are present. Surface conditioning should precede the re-examination.

Broad areas of pigmentation are unacceptable without agreement of the Designer.

4.3 ACCEPTANCE CRITERIA

The inspected area Will be evaluated and classified by comparison with the enclosed criteria which define five classes, numbered from 1 to 5 in decreasing order.

The reference surface of 1 dm², taken into consideration for this comparison, may be a square or a rectangle anyway, its length may not exceed 250 mm) depending on the morphology and the dimension of the inspected area or according to the most disadvantageous repartition of indications within the area concerned.

Cases of special indications or linear indications, which obviously are impossible to class, should be subject to an additional investigation for each particular case.

5 - INSPECTION REPORT

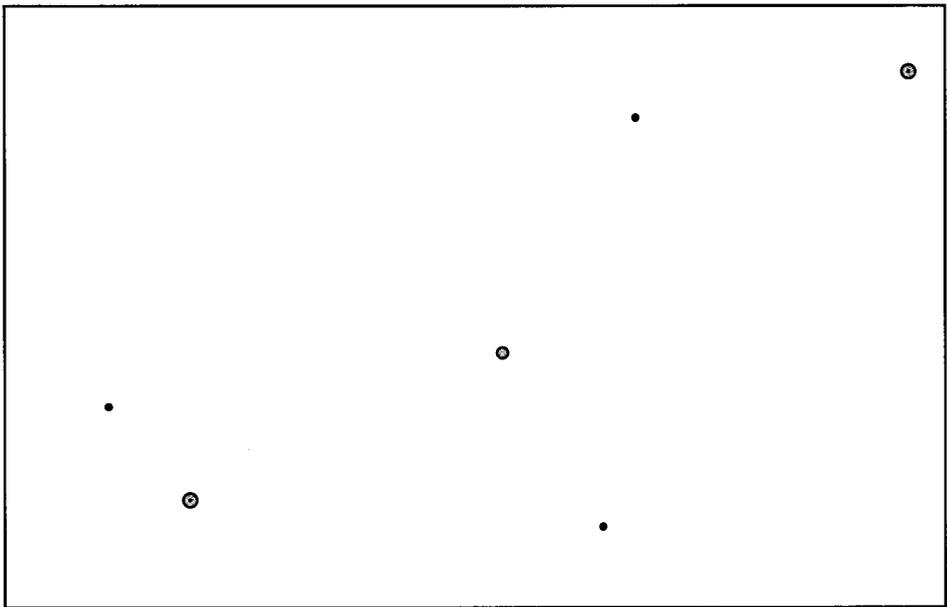
The inspection report shall include :

- Identification of the Founder, the Manufacturer or the Designer
- Identification of the casting (Heat Nr., traceability)
- Steel grade of the casting
- Designation of examination documents used: reference to the present specification, Quality sheet.
- Stage of manufacture at inspection
- Mode of surface preparation
- Designation of the products used
- Conditions of the inspection
- Inspected areas
- Results of inspection
- Name, signature and certification of inspector
- Identification of the firm in charge of inspection, if sub-contracted
- Date of inspection and signature of the responsible person for inspection

CLASS 1

Acceptance criteria : (density 0,63 o/oo)

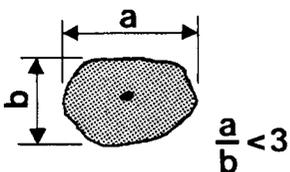
- 1) Threshold of accountability : $a = 0,5$ mm.
- 2) No rounded indication with a dimension of $a > 2$ mm.
- 3) No «linear» indication.
- 4) No «aligned» indication.
- 5) Total surface of the indications in the range of 6 to 7 mm².



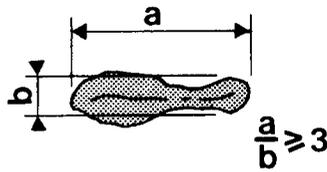
Note : As a reference, the above example contains 6 indications, all taken into consideration. ($a > 0,5$ mm).
The total surface thus taken into account is of 6,3 mm².

Definition of indications : (See PT 70-3 paragraph 4.1)

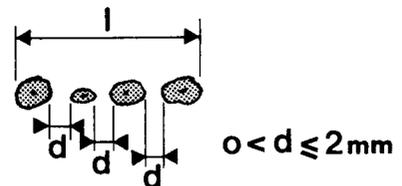
rounded



linear



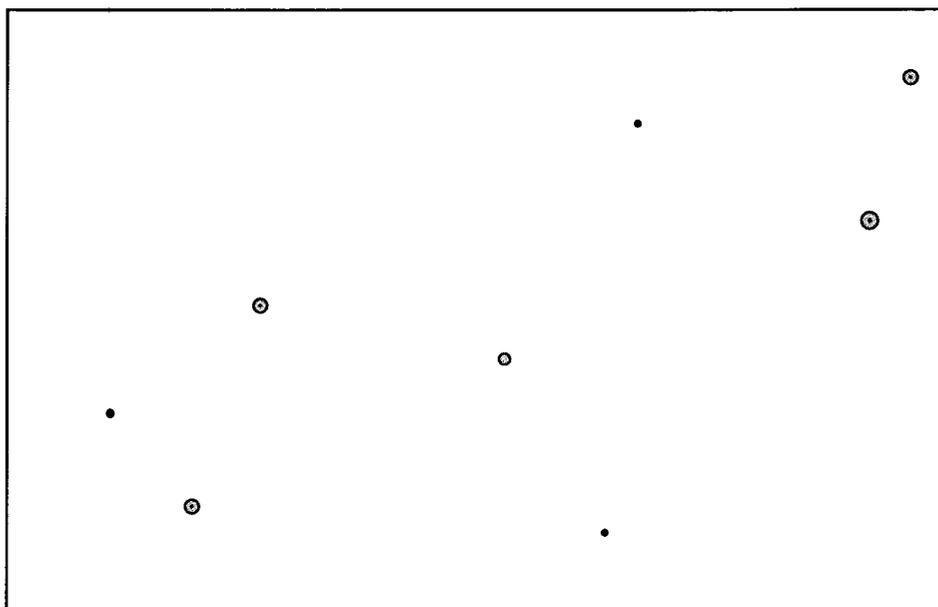
aligned



CLASS 2

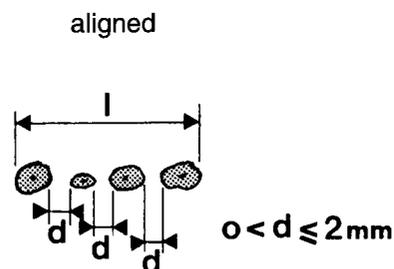
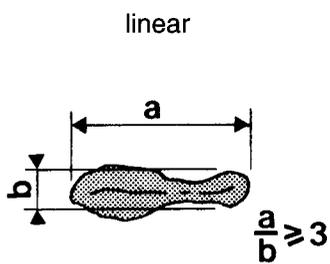
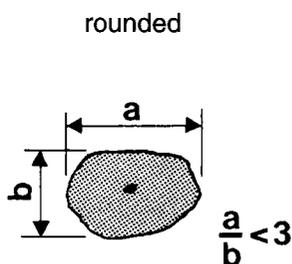
Acceptance criteria : (density 1,6 o/oo)

- 1) Threshold of accountability : a = 1 mm.
- 2) No rounded indication with a dimension of a > 3 mm.
- 3) No «linear» indication.
- 4) No «aligned» indication.
- 5) Total surface of the indications in the range of 16 mm².



Note : As a reference, the above example contains 8 indications, 3 of which aren't taken into account. (a < 1 mm)
The total surface thus taken into account is of 16 mm².

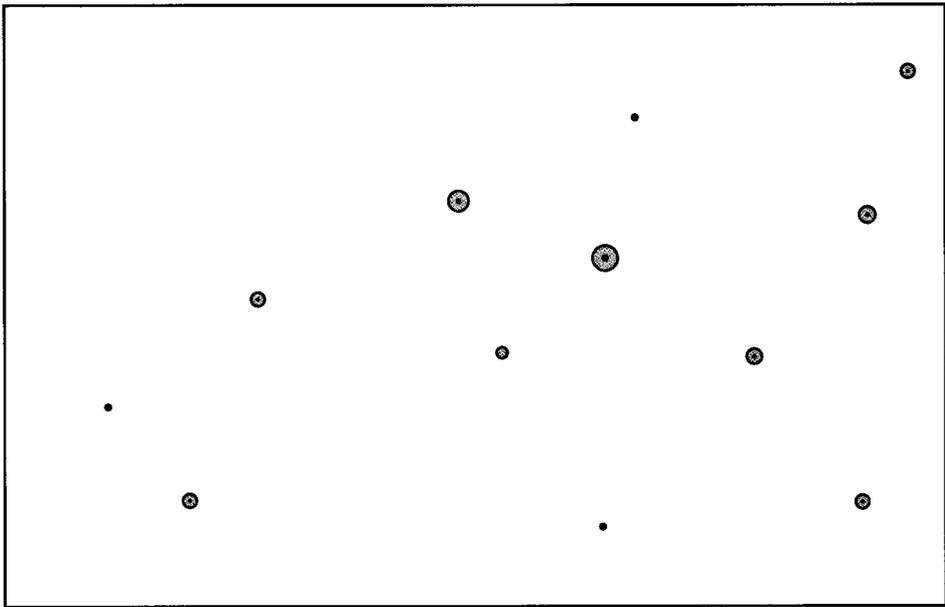
Definition of indications : (See PT 70-3 paragraph 4.1)



CLASS 3

Acceptance criteria : (density 4,0 o/oo)

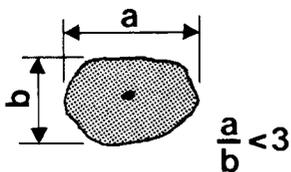
- 1) Threshold of accountability : $a = 1,5$ mm.
- 2) No rounded indication with a dimension of $a > 4$ mm.
- 3) No «linear» indication.
- 4) No «aligned» indication.
- 5) Total surface of the indications in the range of 40 mm^2 .



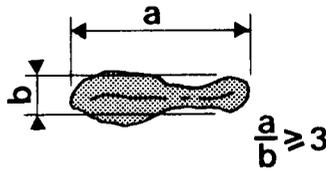
Note : As a reference, the above example contains 12 indications, 4 of which aren't taken into account. ($a < 1,5$ mm)
The total surface thus taken into account is of 40 mm².

Definition of indications : (See PT 70-3 paragraph 4.1)

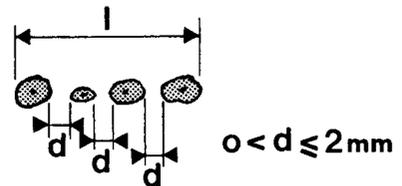
rounded



linear



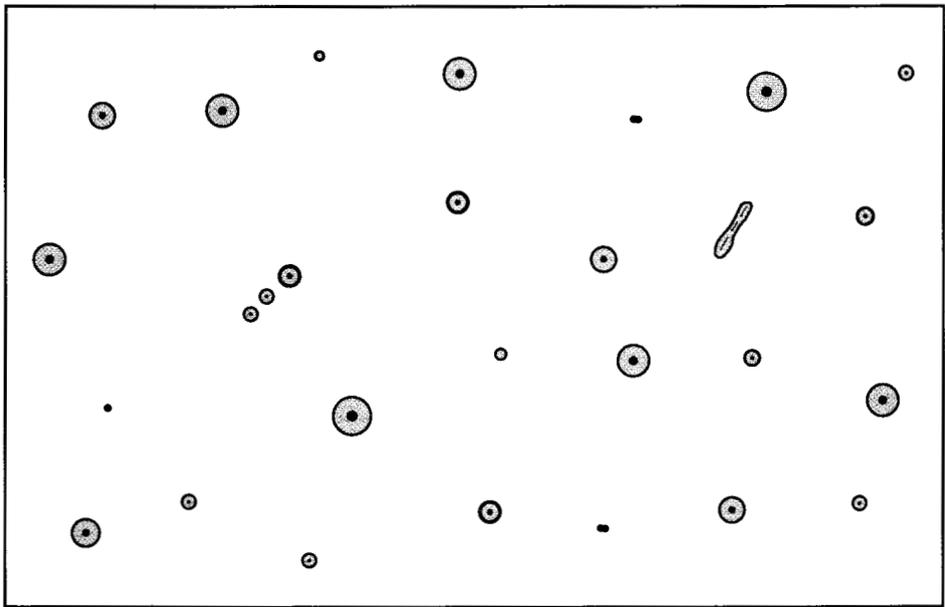
aligned



CLASSE 5

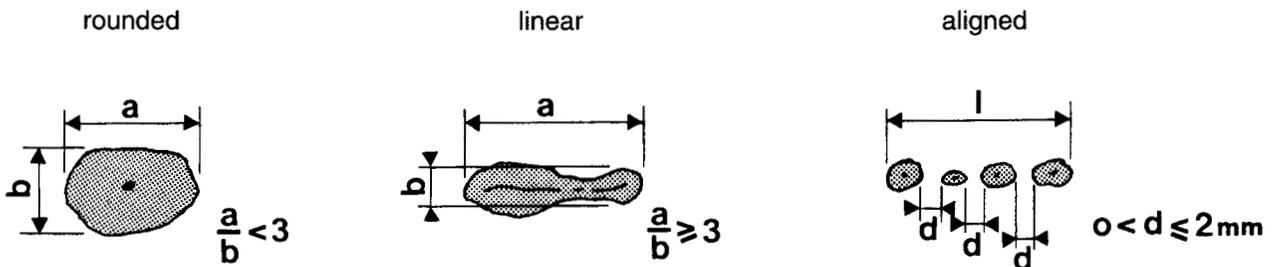
Acceptance criteria : (density 25 o/oo)

- 1) Threshold of accountability : a = 2 mm.
- 2) No rounded indication with a dimension of a > 8 mm.
- 3) No «linear» indication of a > 7 mm.
- 4) No «aligned» indication of l > 16 mm.
- 5) Total surface of the indications in the range of 250 mm².



Note : As a reference, the above example contains 28 indications, 7 of which aren't taken into account. (a < 2 mm)
The total surface thus taken into account is of 250 mm².

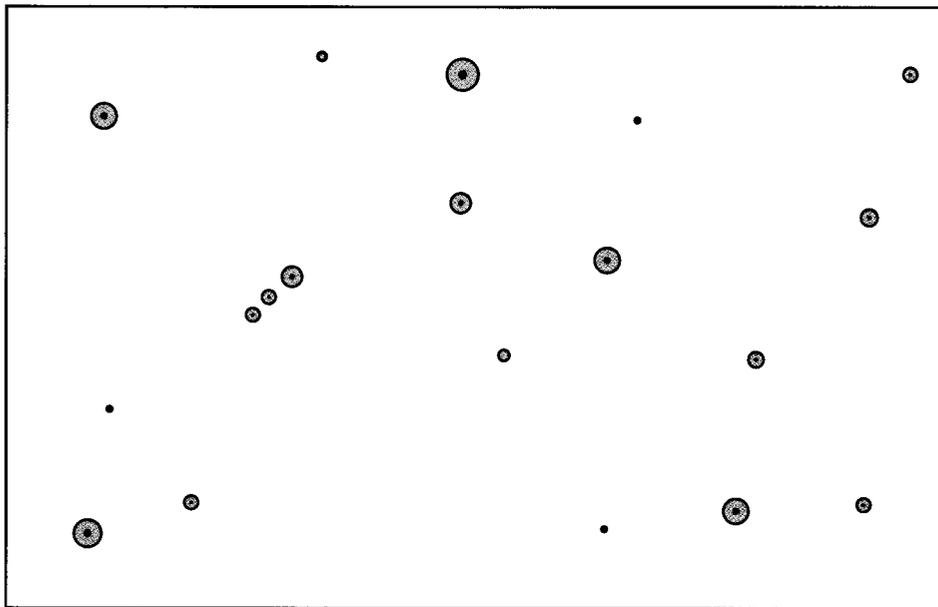
Definition of indications : (See PT 70-3 paragraph 4.1)



CLASS 4

Acceptance criteria : (density 10 o/oo)

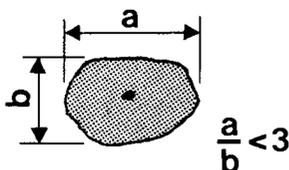
- 1) Threshold of accountability : $a = 1,5 \text{ à } 2 \text{ mm}$.
- 2) No rounded indication with a dimension of $a > 6 \text{ mm}$.
- 3) No «linear» indication.
- 4) No «aligned» indication of $l > 10 \text{ mm}$.
- 5) Total surface of the indications in the range of 100 mm^2 .



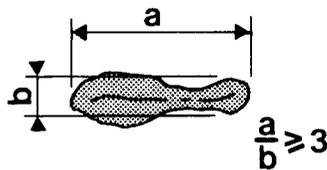
Note : As a reference, the above example contains 19 indications, 6 of which aren't taken into account. ($a < 1,5 \text{ to } 2 \text{ mm}$)
The total surface thus taken into account is of 100 mm².

Definition of indications : (See PT 70-3 paragraph 4.1)

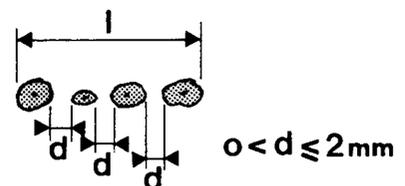
rounded



linear



aligned



INTERNATIONAL
STANDARD

ISO
10816-5

First edition
2000-04-01

**Mechanical vibration — Evaluation
of machine vibration by measurements
on non-rotating parts —**

Part 5:
**Machine sets in hydraulic power generating
and pumping plants**

*Vibrations mécaniques — Évaluation des vibrations des machines par
mesurages sur les parties non tournantes —*

*Partie 5: Groupes générateurs de puissance et installations de pompage
hydrauliques*



Reference number
ISO 10816-5:2000(E)

Contents	Page
Foreword.....	iv
Introduction	v
1 Scope	1
2 Normative references	2
3 Machine arrangements.....	2
4 Measurement procedures and conditions	7
4.1 General.....	7
4.2 Measurement type	8
4.3 Measurement locations and directions	8
4.4 Measurement equipment	9
4.5 Operational conditions.....	10
5 Evaluation.....	10
5.1 General.....	10
5.2 Criterion I: Vibration magnitude.....	10
5.3 Evaluation zone limits	10
5.3.1 Turbine operating conditions.....	10
5.3.2 Pump operating conditions	11
5.3.3 Special operating conditions.....	11
5.3.4 Axial vibration	11
5.4 Criterion II: Change in vibration magnitude.....	12
5.5 Operational limits.....	12
5.5.1 General.....	12
5.5.2 Setting of ALARMS.....	12
5.5.3 Setting of TRIPS.....	13
5.5.4 Special operating conditions.....	13
5.6 Supplementary procedures/criteria	13
5.7 Evaluation based on vibration vector information.....	13
Annex A (normative) Evaluation zone boundaries	14
Annex B (informative) Special features of bearing housing vibration of hydraulic machine sets	16
Annex C (informative) Analysis procedure and applied regression technique.....	18
Bibliography	19

Foreword

ISO (the International Organization for Standardization) is a worldwide federation of national standards bodies (ISO member bodies). The work of preparing International Standards is normally carried out through ISO technical committees. Each member body interested in a subject for which a technical committee has been established has the right to be represented on that committee. International organizations, governmental and non-governmental, in liaison with ISO, also take part in the work. ISO collaborates closely with the International Electrotechnical Commission (IEC) on all matters of electrotechnical standardization.

International Standards are drafted in accordance with the rules given in the ISO/IEC Directives, Part 3.

Draft International Standards adopted by the technical committees are circulated to the member bodies for voting. Publication as an International Standard requires approval by at least 75 % of the member bodies casting a vote.

Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this part of ISO 10816 may be the subject of patent rights. ISO shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard ISO 10816-5 was prepared by Technical Committee ISO/TC 108, *Mechanical vibration and shock*, Subcommittee SC 2, *Measurement and evaluation of mechanical vibration and shock as applied to machines, vehicles and structures*.

ISO 10816 consists of the following parts, under the general title *Mechanical vibration — Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts*:

- *Part 1: General guidelines*
- *Part 2: Large land-based steam turbine generator sets in excess of 50 MW*
- *Part 3: Industrial machines with nominal power above 15 kW and nominal speeds between 120 r/min and 15 000 r/min when measured in situ*
- *Part 4: Gas turbine driven sets excluding aircraft derivatives*
- *Part 5: Machine sets in hydraulic power generating and pumping plants*
- *Part 6: Reciprocating machines with power ratings above 100 kW*

Annex A forms a normative part of this part of ISO 10816. Annexes B and C are for information only.

Introduction

ISO 10816-1 is the basic document which describes the general requirements for evaluating vibration of various machine types when the vibration measurements are made on non-rotating parts. This part of ISO 10816 provides specific guidance for assessing the severity of vibration measured at the bearings, bearing pedestals or bearing housings of machine sets in hydraulic power generating and pumping plants when measurements are made *in situ*.

Two criteria are provided for assessing the machine vibration. One criterion considers the magnitude of observed vibration; the second considers changes in the magnitudes. It must be recognized, however, that these two criteria do not form the only basis for judging the severity of vibration. For most machine types it is also common to judge the vibration based on measurements taken on the rotating shaft. Shaft vibration measurement requirements and criteria are addressed in separate documents, ISO 7919-1 and ISO 7919-5.

Mechanical vibration — Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts —

Part 5: Machine sets in hydraulic power generating and pumping plants

1 Scope

This part of ISO 10816 gives guidelines for applying bearing housing vibration evaluation criteria measured under normal operating conditions at the bearings, bearing pedestals or bearing housings of the main machine sets in hydraulic power generating and pumping plants. These guidelines are presented in terms of both steady-state running vibration and any amplitude changes which may occur in these steady values. The numerical values specified are not intended to serve as the only basis for vibration evaluation, since, in general, the vibratory condition of a machine is assessed by consideration of both the bearing housing vibration and the associated shaft vibration (see introduction of ISO 10816-1 and ISO 7919-1).

This part of ISO 10816 is applicable to machine sets in hydraulic power generating and pumping plants where the hydraulic machines have speeds from 60 r/min to 1800 r/min, shell or shoe type sleeve bearings and a main engine power of 1 MW and more. The position of the shaft line may be vertical, horizontal or at an arbitrary angle between these two directions.

Machine sets covered by this part of ISO 10816 may be combined from

- hydraulic turbines and generators,
- pumps and electrical machines operating as motors, or
- pump-turbines and motor-generators.

Auxiliary equipment (e.g. starting turbines or exciters lying in the shaft line) is included. Evaluation criteria are at present only given for the main bearings of the machine set.

This part of ISO 10816 is applicable also to single turbines or pumps connected to generators or electrical motors over gears or/and radially flexible couplings. However, electrical machines of this type should in principal be evaluated according to the criteria specified in ISO 10816-3.

This part of ISO 10816 is not applicable to the following:

- pumps in thermal power plants or industrial installations (for these machines, see ISO 10816-3);
- hydraulic machines or machine sets having rolling element bearings.

Consistent with clause 1 of ISO 10816-1:1995, bearing housing vibration of machine sets in hydraulic power generating and pumping plants may be determined with regard to following tasks:

- task A: monitoring changes in vibrational behaviour;
- task B: prevention of excessive kinetic load.

ISO 10816-5:2000(E)

The criteria are applicable mainly for the vibration produced by the machine set itself. Special considerations should be made when necessary for vibration transmitted to the machine set from external sources.

2 Normative references

The following normative documents contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this part of ISO 10816. For dated references, subsequent amendments to, or revisions of, any of these publications do not apply. However, parties to agreements based on this part of ISO 10816 are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent editions of the normative documents indicated below. For undated references, the latest edition of the normative document referred to applies. Members of ISO and IEC maintain registers of currently valid International Standards.

ISO 10816-1:1995, *Mechanical vibration — Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts — Part 1: General guidelines.*

IEC 60994, *Guide for field measurement of vibrations and pulsations in hydraulic machines (turbines, storage pumps and pump-turbines).*

3 Machine arrangements

Significant differences in design and arrangement of hydraulic machine sets require a separation into four principal groups with regard to the radial bearing stiffness, as follows.

Group 1: Horizontal machine sets with pedestal or end-shield bearings mounted on a rigid foundation, usually with operational speeds of above 300 r/min.

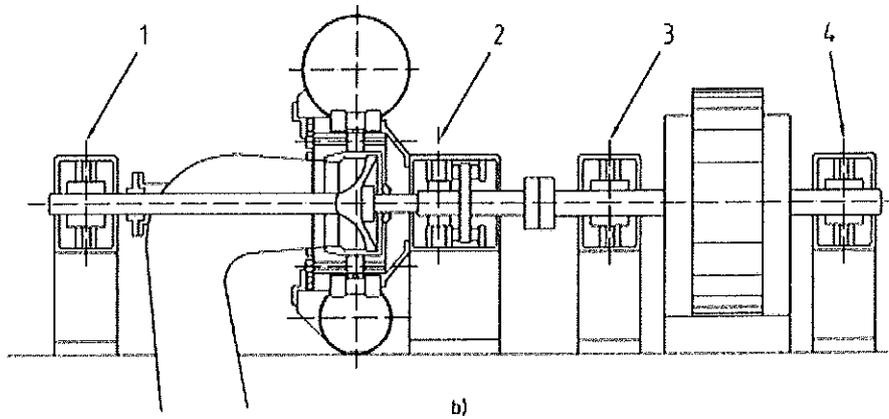
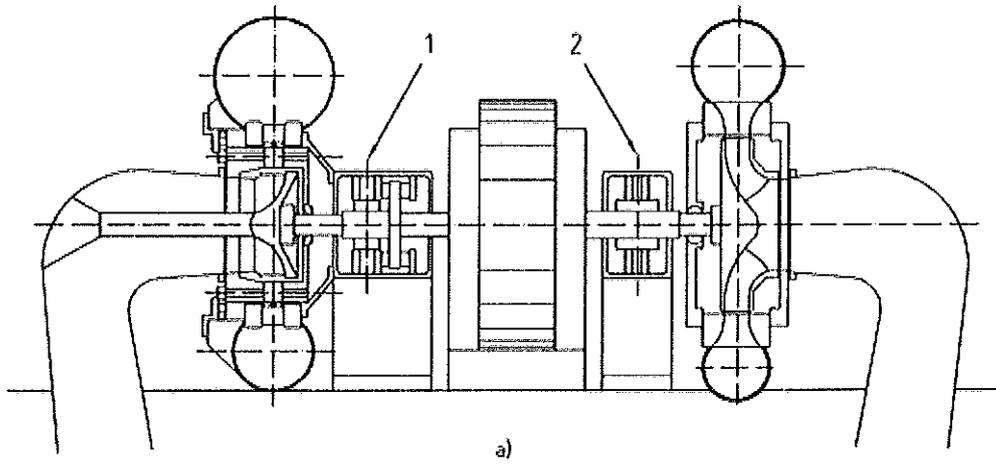
Group 2: Horizontal machine sets with bearing housings which are only braced against the casing of the hydraulic machine, usually with operational speeds of less than 300 r/min.

Group 3: Vertical machine sets with bearing housings which are all braced against the foundation, usually with operational speeds of between 60 r/min and 1 800 r/min.

Group 4: Vertical machine sets with lower bearing housings braced against the foundation and upper bearing housings braced against the generator stator only, usually with operational speeds of between 60 r/min and 1 000 r/min.

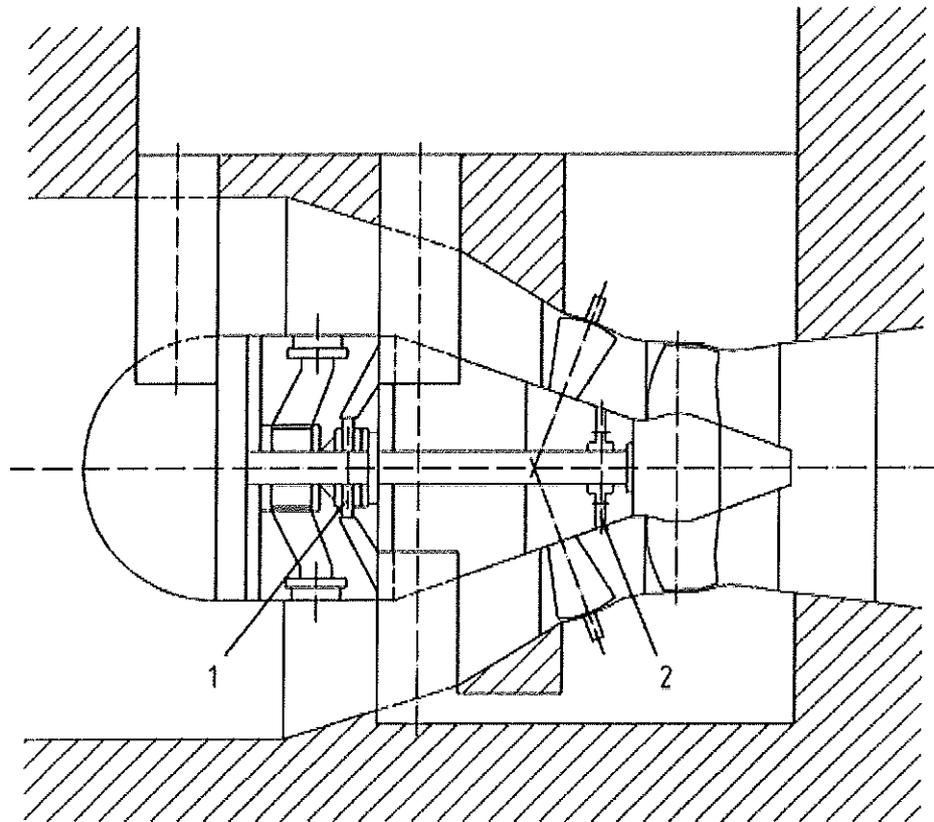
NOTE Umbrella-type machines belong to Group 4.

Figures 1 to 4 show examples for each group.



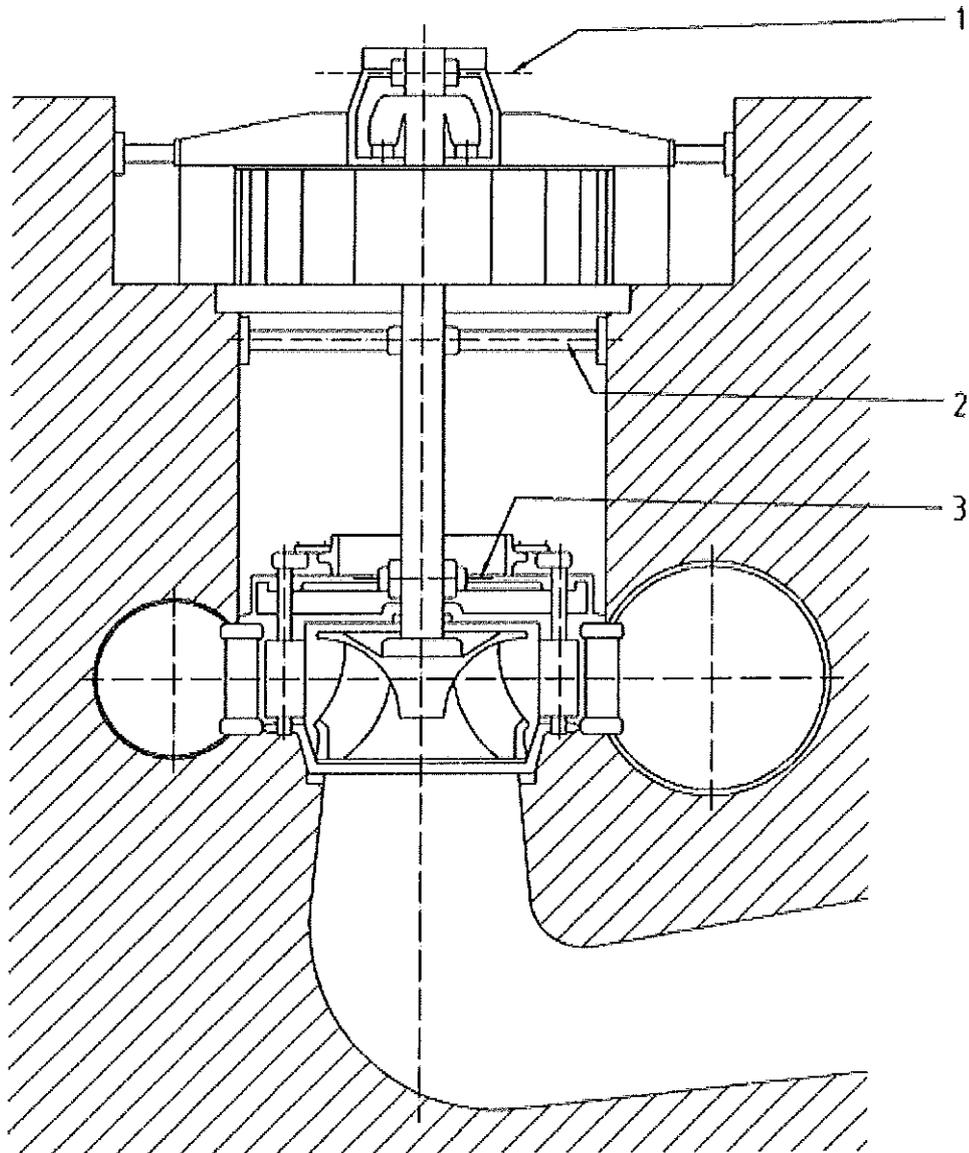
NOTE The numbers indicate measurement locations.

Figure 1 — Measurement locations for Group 1 machine sets with horizontal shaft and pedestal or end-shield bearings mounted on rigid foundation, usually with operational speeds of above 300 r/min



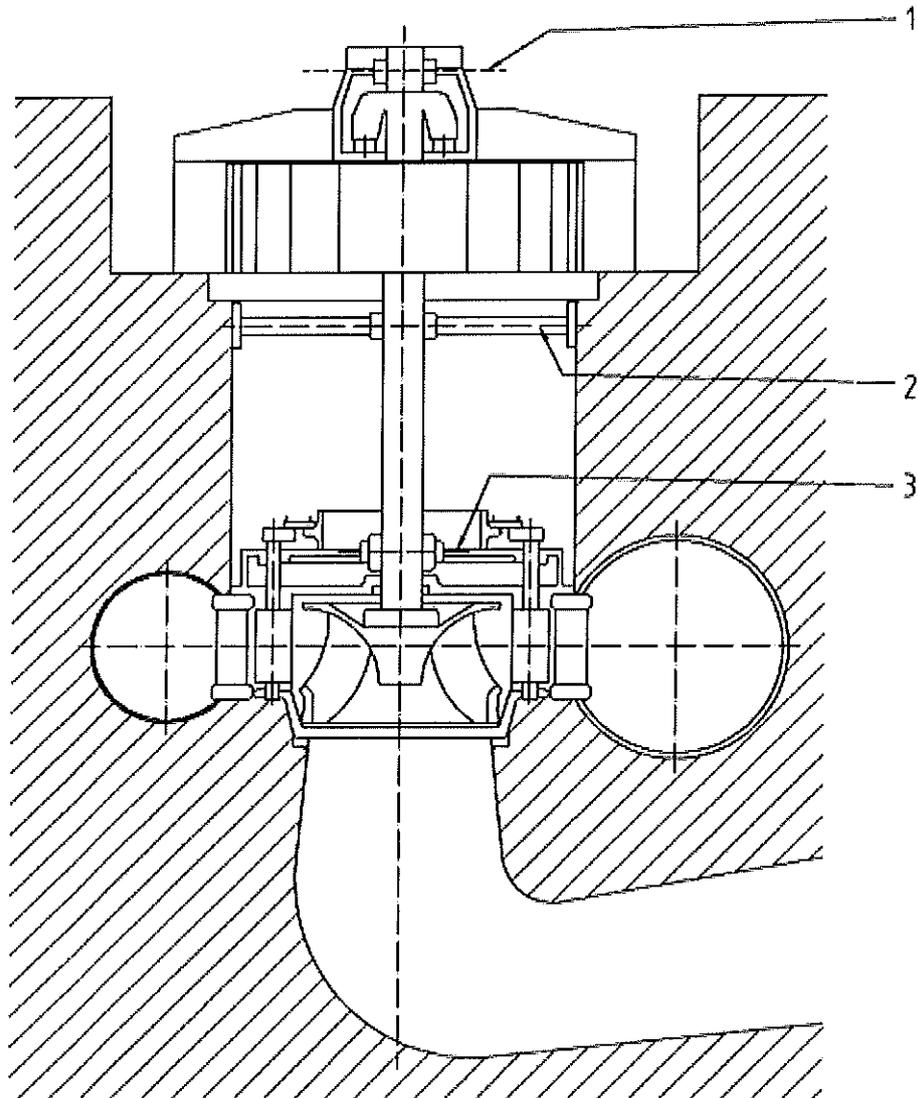
NOTE The numbers indicate measurement locations.

Figure 2 — Measurement locations for a Group 2 machine set with horizontal shaft and bearing housings which are only braced against the casing of the hydraulic machine, usually with operational speeds of less than 300 r/min



NOTE The numbers indicate measurement locations.

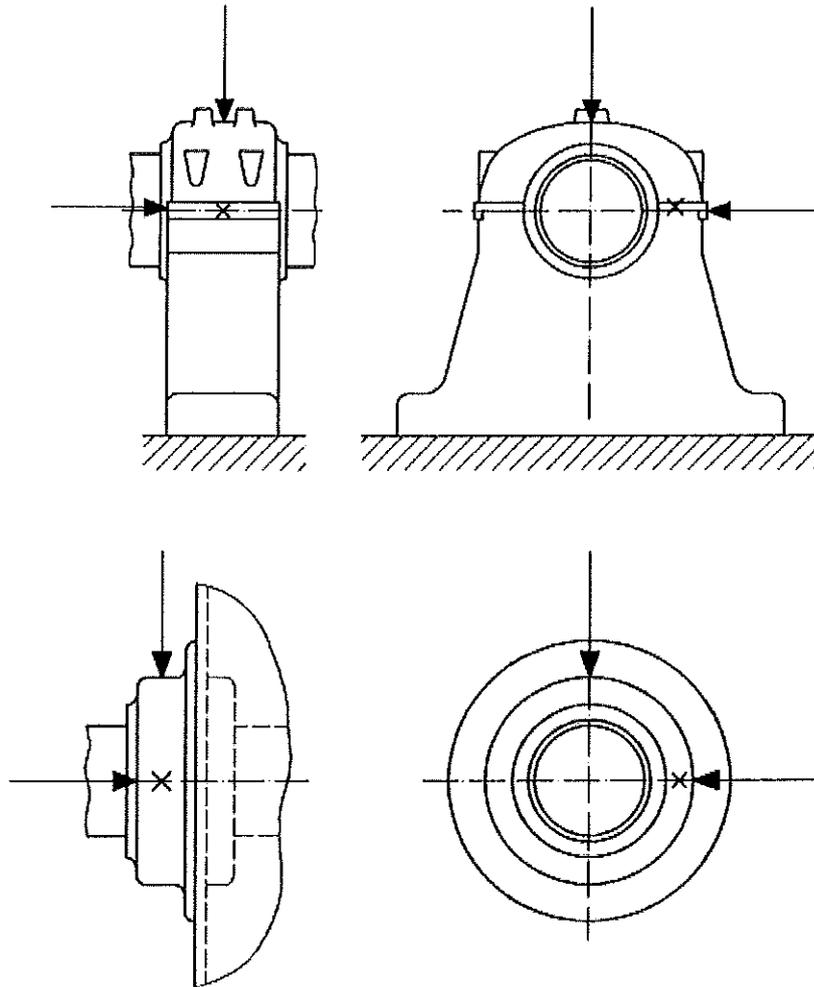
Figure 3 — Measurement locations for a Group 3 machine set with vertical shaft and bearing housings which are all braced against the foundation, usually with operational speeds of between 60 r/min and 1 800 r/min



NOTE 1 The numbers indicate measurement locations.

NOTE 2 Umbrella-type machines belong to this group.

Figure 4 — Measurement locations for a Group 4 machine set with vertical shaft, lower bearing housings braced against the foundation and upper bearing housing braced against the generator stator only, usually with operational speeds of between 60 r/min and 1 000 r/min



NOTE It is recommended that the location for horizontal measurements should be on the bearing pedestal and not on the bearing cap, whenever possible.

Figure 5 — Measurement locations and directions at pedestal or end-shield bearings

4 Measurement procedures and conditions

4.1 General

Follow the general procedures given in ISO 10816-1 and IEC 60994, subject to the recommendations given in 4.2 to 4.5.

4.2 Measurement type

Absolute bearing housing vibration measurements are commonly made on hydraulic machine sets using seismic transducers measuring the vibration velocity v_{rms} in millimetres per second or, after electronic integration, the vibration displacement s_{p-p} in micrometres. The vibration displacement s_{p-p} can also be measured directly as a relative quantity using displacement transducers in the case where a rigid non-vibrating support can be found.

Because of the special nature of the vibratory behaviour of hydraulic machines and their different speed ranges, these quantities have favoured ranges of application as follows:

- a) For low-speed machines (below 300 r/min), the preferred measurement quantity is the vibration displacement s_{p-p} . If the spectrum is expected to contain high-frequency components, the evaluation should normally be based on broad-band measurements of both displacement and velocity.
- b) For medium- and high-speed machines (300 r/min to 1 800 r/min), the preferred measurement quantity is the vibration velocity v_{rms} . If the spectrum is expected to contain low-frequency components, the evaluation should normally be based on broad-band measurements of both velocity and displacement.

4.3 Measurement locations and directions

Measurement tasks A and B (see clause 1) require measurements to be taken on exposed parts of the machine that are normally accessible and are representative locations for the so-called force flow in the supporting structure, for example on all main bearings of the machine set. Typical examples of measurement locations for hydraulic machines are shown in Figures 1 to 5.

Care shall be taken in this context to ensure that measurements reasonably represent the vibration of the bearing housings and do not include any local resonance or amplification. The locations and directions for vibration measurements shall be such that they provide adequate sensitivity to the dynamic forces of the machine under various operating conditions. Typically, this will often require two orthogonal radial measurement directions on each bearing cap, pedestal or housing. For low-speed machines with a horizontal shaft axis, such as bulb-turbines as shown in Figure 2, the measurement locations and directions shall be determined with great care.

CAUTION: The vibration measured at the lower guide bearings of vertical machines may sometimes be misinterpreted; the vibration level measured at such bearings and their surrounding supports which are rigidly embedded in the buildings is sometimes produced by hydraulic forces, directly transmitted from the hydraulic machine via the foundation. Such vibrations do not necessarily give a correct image of the vibration of the rotating shaft system.

For horizontal machines when using portable measuring instrumentation, take measurements in the vertical and horizontal directions 90° apart (perpendicular to the shaft axis) and, if possible, in the axial direction (parallel to the shaft axis) as shown in Figure 5.

A single transducer may be used on a bearing cap or pedestal in place of the more typical pair of orthogonal transducers if it is known to provide adequate information about the magnitude of the machine vibration. However, caution should be observed in evaluating vibration from a single transducer at a measurement location, because it may not be oriented to provide a reasonable approximation to the maximum value at that location.

In the case of vertical or inclined machine sets, the locations and directions that give maximum vibration readings shall be used, for example the stiff and the elastic axis (this is important for cases with spider arm support constructions), and the specific location and direction shall be recorded with the measurement. If possible, the setting of the transducers at different bearings should be in line. For vertical machines, the preferred measurement directions are upstream and 90° to that.

For monitoring purposes (task A) only, in some cases measurement locations may be reduced to the most important ones, mainly at machine sets with four or more bearings. The selection should be based on vibration performance analyses, simulating all types of faults or disturbing effects. Preferred measuring locations should be those where possible disturbing events produce significant bearing housing amplitudes (velocity or displacement).

The installation of one single transducer at the bearing pedestal or housing in horizontal or slightly inclined position is commonly considered adequate for continuous monitoring of Group 1 or 2 machine sets. For monitoring axial vibration of the machine, one transducer mounted on the thrust bearing is often sufficient.

4.4 Measurement equipment

The measurement equipment shall be capable of broad-band measurement of vibration with flat response within the following frequency ranges:

- from at least a quarter of the nominal rotational frequency up to the product of three times the rotational frequency times the number of buckets or blades, if the measurement quantity is the vibration displacement s_{pp} ;
- from 2 Hz to 1 000 Hz if the measurement quantity is the vibration velocity v_{rms} .

NOTE If the measurement equipment is also to be used for diagnostic purposes, an upper frequency limit higher than that specified may be necessary (e.g. higher than 1 000 Hz in the case of vibration velocity measurements).

Vibration displacement can be measured as an absolute quantity with special seismic transducers or accelerometers. If standard equipment is applied, particular attention should be taken to ensure that the measuring instrumentation is fitted with specific electronic compensation to obtain a flat response over the specified frequency range.

For machines with nominal speeds lower than or equal to 300 r/min, vibration displacement is often measured as relative quantity (relative to the foundation) using contact or non-contact displacement transducers. These transducers shall be installed on rigid bars or frames fixed to rigid parts of the foundation. It is necessary to ensure that the natural frequencies of these elements are at least higher than ten times the nominal rotational frequency, and also they should not be a multiple of this frequency.

Vibration velocity shall be measured as an absolute quantity with seismic transducers or accelerometers. If seismic transducers are used, attention should be taken to ensure that the measuring instrumentation is fitted with specific electronic compensation to obtain a flat response over the total frequency range from 2 Hz to 1 000 Hz.

Transducers for absolute vibration measurements shall be mounted on rigid parts of the bearing housing or adjacent surrounding structures which can be classified to give a representative vibration response of the machine. Particular attention shall be given to ensure that transducer mounting complies with specifications from the transducer manufacturer. If additional elements for mounting such transducers are necessary, it shall be ensured that the natural frequencies of those elements are at least higher than ten times the nominal rotational frequency, and also they should not be a multiple of this frequency.

The characteristics of the measuring system shall be known with regard to the effects of the environment, including the following:

- temperature variations;
- magnetic fields;
- sound fields;
- power source variation;
- transducer cable length;
- transducer orientation.

Particular attention shall be given to ensuring that the vibration sensing transducers are correctly mounted and do not affect the vibration response characteristics of the machine.

4.5 Operational conditions

Measurements shall be carried out when the rotor and the main bearings have reached their normal steady-state operating temperatures and with the machine running under steady-state conditions.

5 Evaluation

5.1 General

ISO 10816-1 provides a general description of the two evaluation criteria used to assess vibration severity on various classes of machines. One criterion considers the magnitude of vibration observed by broad-band measurement; the second considers changes in magnitude, irrespective of whether they are increases or decreases.

5.2 Criterion I: Vibration magnitude

The reliable and safe running of a machine under normal operating conditions requires that the vibration magnitude should remain below certain limits consistent with, for example, acceptable kinetic loads and acceptable vibration transmission into the support structure and foundation. Generally, this criterion will be taken as the basis for the evaluation of machines in the absence of any other established knowledge of the satisfactory running characteristics for machines of that type (e.g. for new machine types).

The maximum vibration magnitude observed at each bearing pedestal or housing is assessed against the evaluation zones defined below.

Zone A: The vibration of newly commissioned machines would normally fall within this zone.

Zone B: Machines with vibration within this zone are normally considered acceptable for unrestricted long-term operation.

Zone C: Machines with vibration within this zone are normally considered unsatisfactory for long-term continuous operation. Generally, the machine may be operated for a limited period in this condition until a suitable opportunity arises for remedial action.

Zone D: Vibration values within this zone are normally considered to be of sufficient severity to cause damage to the machine.

Numerical values assigned to the zone boundaries are not intended to serve as acceptance specification, which shall be subject to agreement between the machine manufacturer and the customer. However, the zone boundaries provide guidelines for ensuring that gross deficiencies or unrealistic requirements are avoided. In certain cases, there may be specific features associated with a particular machine which would require different zone boundary values (higher or lower) to be used. In such cases, it is normally the responsibility of the machine manufacturer to explain the reason for this and, in particular, to confirm that the machine would not be endangered by operating with higher vibration values.

NOTE Vibration magnitudes for recommissioned units with increased output, usually characterized as "uprated", may be located in zone A or B. The choice of zone A or B depends, however, on the relation between the new excitation forces and the capacity of the new and re-used components to withstand long-term dynamic exposure.

5.3 Evaluation zone limits

5.3.1 Turbine operating conditions

Recommended values for the zone boundaries are given in Tables A.1 to A.4 for the four machine groups covered by this part of ISO 10816. Application of these criteria is valid for measurements in a radial direction on bearing pedestals or housings of machine sets with nominal speeds between 60 r/min and 1 800 r/min operating within the contractually permissible steady-state range, as well as at other load conditions if the machine has been made suitable for these particular conditions. Higher values of vibration may be permitted under the conditions specified in annex B.

Zone boundary values are specified for both measurement quantities. If both quantities, vibration velocity and displacement, are measured and compared to the corresponding values in Tables A.1, A.3 and A.4, the evaluation which is most restrictive shall apply.

The limiting values are applicable for all types of machine sets belonging to one group, independent of head and power, except for the restrictions given in clause 1. For hydrodynamically smoother running machines, normally lower bearing housing vibration may be expected.

In the case of pump-turbines, increased bearing housing vibration amplitudes may occur because of the runner design criteria, which are a compromise between the optimal design for a turbine and a pump runner.

The values in Tables A.1 to A.4 are based on statistical analyses of collected measurement data from more than 1 400 samples, collected worldwide from machine sets with different powers and speeds within all four groups. A brief description of the analysis procedure and the applied regression technique is given in annex C.

NOTE 1 In general, an overall judgement of the vibratory state of the machine is made on the basis of both the bearing housing vibration as defined above and the measurements performed on the shaft (see ISO 7919-5).

NOTE 2 As explained in annex C, the given limiting values are based on a statistical procedure and the defining of predictive limits; this was necessary due to the wide spread of the measured data. Therefore it should not be assumed that a correct correlation between zone boundaries and possible faults or troubles at the observed machine will exist in all cases.

5.3.2 Pump operating conditions

At present, sufficient data are not available to prepare criteria for machine sets in pump operating conditions. They will be incorporated in a future edition of this part of ISO 10816 when available.

5.3.3 Special operating conditions

Attention should be paid to the following operating conditions:

- steady-state operating conditions at low partial load, at overload, and the frequent transient operating conditions during start-up and shut-down;
- rare transient operating conditions such as emergency shut-down, no-discharge operation, and running through the brake quadrant with pumps and pump-turbines.

The evaluation of such processes is much more difficult than that of operation in the specified load range. At present there are insufficient data and experience available to establish limiting curves for these operating conditions. The less the operating condition corresponds to the nominal conditions, the more the flow within the hydraulic machine is disturbed; disturbances such as separation and swirl generate violent stochastic excitation. Due to the density of water, the forces caused by the stochastic excitation are much greater than in thermal turbo machines. Therefore during operation outside the specified load range, the bearing or structure vibrations caused by mass unbalance are, as a rule, totally masked by the stochastic components. Because of these large stochastic components under extraordinary operating conditions, less reliance should be given to the instantaneous value and more to the mean value over a representative measurement period.

5.3.4 Axial vibration

It is not common practice to measure axial vibration on main radial load-carrying bearings during continuous operational monitoring. Such measurements are primarily used during periodic vibration surveys or for diagnostic purposes. At thrust bearings, axial vibration in general correlates with axial pulsations which could cause damage to the axial load-carrying surfaces. Criteria for axial vibration of bearings cannot be given at present because of the lack of measured data.

5.4 Criterion II: Change in vibration magnitude

This criterion provides an assessment of a change in vibration magnitude from a previously established reference value when operating under steady-state conditions. A significant change in broad-band vibration magnitude may occur which requires some action even though the alarm zone C of Criterion I has not been reached. Such changes can be instantaneous or progressive with time and may indicate that damage has occurred or be a warning of an impending failure or some other irregularity. Criterion II is specified on the basis of change in broad-band vibration magnitude occurring under steady operating conditions. Steady operating conditions should be interpreted to include small changes in the machine power or operational conditions.

When Criterion II is applied, the vibration measurements being compared shall be taken at the same transducer location and orientation, and under approximately the same machine operating conditions. Obvious changes in the normal vibration magnitudes, regardless of their total amount, should be investigated, because a dangerous situation could then be avoided. When changes in vibration magnitude exceed 25 % of the upper boundary value of zone B (defined as B/C in Tables A.1 to A.4), such changes should be considered significant, particularly if they are sudden. Diagnostic investigations should be initiated to ascertain the reason for the change and to determine what further actions are appropriate.

NOTE The 25 % value is considered significant regardless of whether it is an increase or decrease in vibration. The 25 % value is provided as a guideline, but other values may be used based on experience with a specific machine.

5.5 Operational limits

5.5.1 General

For long-term operation, it is common practice to establish operational vibration limits. These limits take the form of ALARMS and TRIPS.

ALARMS: To provide a warning that a defined value of vibration has been reached or a significant change has occurred, at which remedial action may be necessary. In general, if an ALARM situation occurs, operation can continue for a period whilst investigations are carried out to identify the reason for the change in vibration and define any remedial action.

TRIPS: To specify the magnitude of vibration beyond which further operation of the machine may cause damage. If the TRIP value is exceeded, immediate action should be taken to reduce the vibration or the machine should be shut down.

Different operational limits, reflecting differences in dynamic loading and support stiffness, may be specified for different measurement positions and directions.

5.5.2 Setting of ALARMS

The ALARM values may vary considerably, up or down, for different machines. The values chosen will normally be set relative to a baseline value determined from experience for the measurement position or direction for that particular machine.

It is recommended that the ALARM value should be set higher than the baseline by an amount equal to 25 % of the upper limit of zone B. If the baseline is low, the ALARM may be below zone C.

Where there is no established baseline (for example with a new machine) the initial ALARM setting should be based either on experience with other similar machines or relative to agreed acceptance values. After a period of time, the steady-state baseline value will be established and the ALARM setting should be adjusted accordingly.

In either case it is recommended that the ALARM value should not normally exceed 1,25 times the upper limit of zone B (this limit is defined as B/C in Tables A.1 to A.4).

If the steady-state baseline changes (for example after a machine overhaul), the ALARM setting should be revised accordingly. Different ALARM settings, reflecting differences in dynamic loading and support stiffness, may exist for different measurement locations and directions.

5.5.3 Setting of TRIPS

The TRIP values will generally relate to the mechanical integrity of the machine and be dependent on any specific design features which have been introduced to enable the machine to withstand abnormal dynamic forces. The values used will, therefore, generally be the same for all machines of similar design and would not normally be related to the steady-state baseline value used for setting ALARMS.

There may, however, be differences for machines of different design and it is not possible to give clear guidelines for absolute TRIP values. In general, the TRIP value will be within zone C or D, but it is recommended that the TRIP value should not exceed 1,25 times the upper limit of zone C (this limit is defined as C/D in Tables A.1 to A.4).

5.5.4 Special operating conditions

When the machine is operating outside the normal load range and during all transient operating conditions, ALARM and possibly TRIP contacts shall be blocked for these conditions. If the machine should be monitored during these operating conditions too, a second set of ALARM and TRIP values shall be selected according to the maximum vibration values accepted during commissioning of the machine.

5.6 Supplementary procedures/criteria

The measurement and evaluation of machine vibration given in this part of ISO 10816 may be supplemented by shaft vibration measurements and the applicable criteria given in ISO 7919-5. It is important to recognize that there is no simple way to relate bearing housing vibration to shaft vibration, or vice versa. Thus, when the criteria of this part of ISO 10816 and those of ISO 7919-5 are both applied in vibration-severity assessment, independent shaft and bearing pedestal or housing vibration measurement shall be made. If application of the different criteria leads to different assessments of the machine vibration severity, the more restrictive zone classification is considered to apply.

5.7 Evaluation based on vibration vector information

The evaluation considered in this part of ISO 10816 is limited to broad-band vibration without reference to frequency components or phase. This will, in most cases, be adequate for acceptance testing and operational monitoring purposes. However, for long-term condition monitoring purposes and for diagnostics, the use of vibration vector information is particularly useful for detecting and defining changes in the dynamic state of the machine. In some cases, these changes would go undetected when using only broad-band vibration measurements (see, for example, ISO 10816-1). The specification of criteria for this, however, is beyond the scope of this part of ISO 10816.

Annex A (normative)

Evaluation zone boundaries

Recommended values for the zone boundaries are given in Tables A.1 to A.4 for the four principal machine groups covered by this part of ISO 10816. They apply to the broad-band r.m.s. values of vibration velocity and the peak-to-peak values of vibration displacement when measured with equipment as specified in 4.4 on the bearing pedestals or housings in the radial direction. They are valid only for turbine operation within the contractually permissible steady-state range as well as at other load conditions, if the machine set has been made suitable for these particular conditions (for restrictions, see 5.3.1 to 5.3.3).

NOTE 1 Limiting values are defined by statistical evaluation of measured data (see annex C). They are not derived from an evaluation of the operational behaviour (e.g. occurrence of faults) of individual machines.

For some machine groups, recommended zone boundary values have to be subdivided corresponding to the differences in radial bearing stiffness. Separate values are given for the different measurement locations shown in Figures 1 to 4.

Zone boundary values are specified for both measurement quantities. If both quantities (vibration velocity and displacement) are measured and compared to the corresponding values in Tables A.1, A.3 and A.4, the evaluation which is most restrictive shall apply.

NOTE 2 Machines with Francis turbines might have higher vibration values at the bearing housings when there are draft tube excitations. Experience has shown that this excitation can occur even under standard operating conditions. In the case of heavy draft tube excitations at Francis turbines, the zone boundary values specified in Tables A.1, A.3 and A.4 have limited applicability. At present, insufficient measurement data are available to specify limits for machines with heavy draft tube excitations.

Table A.1 — Recommended evaluation zone boundaries for machines of Group 1: Horizontal machine sets with pedestal or end-shield bearings mounted on rigid foundation, usually with operational speeds of above 300 r/min

Zone boundary	At measurement location 1, 2, 3 and 4	
	Peak-to-peak displacement μm	R.m.s. velocity mm/s
A/B	30	1,6
B/C	50	2,5
C/D	80	4,0

NOTE Vibration levels of two-jet Pelton machines are strongly influenced by the orientation of the resulting steady-state force vector and the operating jet (lower or upper) under part-load conditions.

Table A.2 — Recommended evaluation zone boundaries for machines of Group 2: Horizontal machine sets with bearing housings which are only braced against the casing of the hydraulic machine, usually with operational speeds of less than 300 r/min

Zone boundary	At measurement location 1 and 2	
	R.m.s. velocity mm/s	
A/B	2,5	
B/C	4,0	
C/D	6,4	

NOTE Displacement values cannot at present be given for this machine group since vibrations of the bulb with very low frequencies and high displacement amplitudes are frequently transmitted to the machine bearings. They may disguise at these parts all vibration displacement values originating from the machine itself. The recommended zone boundary values are not applicable to the evaluation of bulb vibration amplitudes.

Table A.3 — Recommended evaluation zone boundaries for machines of Group 3: Vertical machine sets with bearing housings which are all braced against the foundation, usually with operational speeds of between 60 r/min and 1 800 r/min

Zone boundary	At all main bearings	
	Peak-to-peak displacement μm	R.m.s. velocity mm/s
A/B	30	1,6
B/C	50	2,5
C/D	80	4,0

Table A.4 — Recommended evaluation zone boundaries for machines of Group 4: Vertical machine sets with lower bearing housings braced against the foundation and upper bearing housings braced against the generator stator only, usually with operational speeds of between 60 r/min and 1 000 r/min

Zone boundary	At measurement location 1		At all other main bearings	
	Peak-to-peak displacement μm	R.m.s. velocity mm/s	Peak-to-peak displacement μm	R.m.s. velocity mm/s
A/B	65	2,5	30	1,6
B/C	100	4,0	50	2,5
C/D	160	6,4	80	4,0

NOTE 1 If a machine has a lower generator bearing without bracing against the foundation, the vibration should be evaluated according to measurement location 1.

NOTE 2 Umbrella-type machines belong to this group. evaluation zone boundaries are those for the main bearings.

Annex B **(informative)**

Special features of bearing housing vibration of hydraulic machine sets

B.1 General

The principles of the mechanics of bearing housing vibration are explained in ISO 10816-1. They are based mainly on a broad spectrum of theoretical and experimental investigations on horizontal shaft machines. Until now, not as much attention has been paid to machines with vertical shafts which are more common for hydraulic machine sets.

For hydraulic machines, bearing housing vibration may occur over a wide range of frequencies. Possible causes of vibration are given in B.2 to B.4.

B.2 Mechanical causes

These are incorrect shaft alignment, bearing anisotropy, loose assemblies in rotating or stationary parts, and residual unbalance in the runner or impeller, the generator or the exciter rotor.

Frequencies to be expected are the frequency of rotation and its harmonics.

B.3 Electrical causes

These are inadequately equalized magnetic pull in the rotor of the coupled electrical machines.

Frequencies to be expected are the frequency of rotation and its harmonics.

B.4 Hydraulic causes

B.4.1 Flow through the waterways

Frequencies to be expected are the frequency of rotation, frequency of the blade or bucket passing, or various combinations of these.

B.4.2 Draft tube flow instabilities

These occur in Francis turbines even during steady-state operation outside the optimum efficiency range.

Frequencies to be expected are those below the frequency of rotation, often down to one-third to one-quarter of it. Resonance with hydraulic structures or with the grid might occur, aggravating the phenomenon.

B.4.3 Cavitation

This is due to incorrect flow conditions around the runner or impeller blade profiles, and occurs mostly within the higher load ranges. Another important reason for cavitation is a change in tail water level.

Frequencies to be expected are usually high ones, as for bursts.

B.4.4 Hydroelastic vibration

This can be due to incorrectly shaped discharge edges of hydraulic profiles (blades, buckets, stayvanos, etc.).

Frequencies to be expected are from below 100 Hz to several kilohertz (depending on profile dimensions and flow velocities). Often a pronounced beat character is observed.

B.4.5 Self-excited vibrations

These occur where the movement of mechanical parts (seals, clearances) influences the flow around or through them.

Frequencies to be expected are those slightly above the frequency of rotation, often coinciding with the bending natural frequencies of the rotating system.

In machines of type Group 3 and 4 at part-load or overload, higher vibration may occur due to hydraulic vortices. Provided that such machine conditions with restricted operational periods do not effect fatigue of main structural members (even with higher vibration levels but lying below the recommended limiting zones), the machine set may be made suitable also for these particular operating conditions.

B.5 Additional excitations

During regular transient operating conditions such as start-up and shut-down, additional excitation forces interact with the runner, inducing a wider spectrum and higher amplitudes. During load rejections, even Kaplan turbines can be subjected to draft tube instabilities (see B.4.2) with considerable subsynchronous bearing vibration amplitudes. Under similar conditions (especially for rotor arrangements with only two radial bearings) resonance phenomena can be observed at certain speeds while decelerating, with bearing vibration amplitudes containing one or more of the rotor's natural frequencies corresponding to the instantaneous speed.

At frequent transient operating conditions, such as start-up and shut-down, random excitations with broad-band spectra are dominant. In the case of extreme transients, occurring for example at a failure of a shut-off valve, the intensity of this broad-band excitation spectrum increases even more.

In contrast to thermal machines, hydraulic machines can normally be started-up and shut-down or power can be changed rapidly and frequently. Hydraulic machines are therefore often used for peak-load supply or for frequency and power control. Since such operations also involve frequent starts and stops, and often rapid changeover from one operational state to the other, these machines are exposed to enhanced vibration and stress. For peak-load or pump-storage equipment, transient operating conditions can become so frequent that the sum of the time intervals of increased vibration amounts to more than 1 % of the overall operating time. These frequent transient operating conditions should then be evaluated separately with respect to the additional stress and fatigue on the bearings and other involved parts of the machine.

Annex C
(informative)

Analysis procedure and applied regression technique

Using data (measured quantiles on bearing housings or pedestals) collected from 11 countries, two databases were established (data from different machine types with vertical or horizontal shaft orientation and different speeds). The databases were structured as follows:

- measured bearing housing displacement s_{p-p} versus rotational speed of the machine;
- measured bearing housing velocity v_{rms} versus rotational speed of the machine.

On some of the submitted rough data, modifications were necessary because of incompatibility. With the improved data sets the following steps in the described procedure (using a software package for statistical analysis) were performed (see reference [5]):

- a) proof of data distribution within the specified speed range;
- b) regression analysis using a "Multiplicative model" $Y = a \cdot X^b$ with transformed data in a log-log scaled database with the dependent variable *displacement* or *velocity* and the independent variable *rotational speed*;
- c) computation and plot of
 - analysis of variance,
 - lack of fit and pure error test,
 - mean value regression curve with a defined 98 % probability limit and prediction limits (between 60 % and 95 % in steps of 5 %),
 - residuals,
 - normal plot of cumulative residuals,
 - *F*-test (for significance of regression model);
- d) linearization of computed prediction curves (mainly near the boundaries, in the low- and high-speed range) in a double logarithmic scale;
- e) definition of the prediction limit curve 85 % as zone boundary B/C, which implies that 92,5 % of all collected measurement data are below this evaluated prediction curve;
- f) the ratios between the zone boundaries A/B, B/C and C/D were found through intensive discussions within the working group and with experts in other working groups about safety margins and trip or alarm settings.



Standard Specification for Castings, Iron-Chromium, Iron-Chromium-Nickel, Corrosion Resistant, for General Application¹

This standard is issued under the fixed designation A 743/A 743M; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ε) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

^{ε1} NOTE—Section S12 was corrected editorially in May 1999.

1. Scope

1.1 This specification covers iron-chromium and iron-chromium-nickel alloy castings for general corrosion-resistant application. The grades covered by this specification represent types of alloy castings suitable for broad ranges of application which are intended for a wide variety of corrosion environments.

NOTE 1—For alloy castings for severe corrosion-resistant service, reference should be made to Specification A 744/A 744M. For general heat-resistant alloy castings, reference should be made to Specification A 297/A 297M. For nickel alloy castings for corrosion-resistant service, reference should be made to Specification A 494/A 494M.

1.2 The values stated in either inch-pound units or SI units are to be regarded separately as standard. Within the text, the SI units are shown in brackets. The values stated in each system are not exact equivalents; therefore, each system must be used independently of the other. Combining values from the two systems may result in nonconformance with the specification. Inch-pound units are applicable for material ordered to Specification A 743 and SI units for material ordered to Specification A 743M.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

A 262 Practices for Detecting Susceptibility to Intergranular Attack in Austenitic Stainless Steels²

A 297/A297M Specification for Steel Castings, Iron-Chromium and Iron-Chromium-Nickel, Heat-Resistant, for General Application³

A 370 Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products²

¹ This specification is under the jurisdiction of ASTM Committee A-1 on Steel, Stainless Steel, and Related Alloys and is the direct responsibility of Subcommittee A01.18 on Castings.

Current edition approved Sept. 10, 1998. Published December 1998. Originally published as A 743 – 77. Last previous edition A 743/A 743M – 98.

² Annual Book of ASTM Standards, Vol 01.03.

³ Annual Book of ASTM Standards, Vol 01.02.

A 447/A447M Specification for Steel Castings, Chromium-Nickel-Iron Alloy (25-12 Class), for High-Temperature Service³

A 494/A494M Specification for Castings, Nickel and Nickel Alloy³

A 744/A744M Specification for Castings, Iron-Chromium-Nickel, Corrosion Resistant, for Severe Service³

A 781/A781M Specification for Castings, Steel and Alloy, Common Requirements, for General Industrial Use³

3. General Conditions for Delivery

3.1 Material furnished to this specification shall conform to the requirements of Specification A 781/A 781M, including any supplementary requirements that are indicated on the purchase order. Failure to comply with the general requirements of Specification A 781/A 781M constitutes nonconformance with this specification. In case of conflict between the requirements of this specification and Specification A 781/A 781M, this specification shall prevail.

4. Ordering Information

4.1 Orders for material to this specification should include the following, as required, to describe the material adequately:

4.1.1 Description of the casting by pattern number or drawing,

4.1.2 Grade,

4.1.3 Heat treatment,

4.1.4 Options in the specification, and

4.1.5 Supplementary requirements desired, including the standards of acceptance.

5. Process

5.1 The steel shall be made by the electric furnace process with or without separate refining such as argon-oxygen decarburization (AOD).

6. Heat Treatment

6.1 Castings shall be heat treated in accordance with the requirements in Table 1.

TABLE 1 Heat Treatment Requirements

Grade	Heat Treatment
CF-8, CG-3M (J92999), CG-8M, CG-12, CF-20, CF-8M, CF-8C, CF-16F, CF-16Fa, CH-10, CH-20, CE-30, CK-20	Heat to 1900°F [1040°C] minimum, hold for sufficient time to heat casting to temperature, quench in water or rapid cool by other means. Heat to 2000°F [1093°C] minimum, hold for sufficient time to heat casting to temperature, quench in water or rapid cool by other means.
CA-15, CA-15M, CA-40, CA-40F	(1) Heat to 1750°F [955°C] minimum, air cool and temper at 1100°F [595°C] minimum, or (2) Anneal at 1450°F [790°C] minimum.
CB-30, CC-50	(1) Heat to 1450°F [790°C] minimum, and air cool, or (2) Heat to 1450°F [790°C] minimum, and furnace cool.
CF-3, CF-3M, CF-3MN	(1) Heat to 1900°F [1040°C] minimum, hold for sufficient time to heat casting to temperature, and cool rapidly. (2) As cast if corrosion resistance is acceptable.
CN-3M (J94652)	Heat to 2150°F [1175°C] minimum, hold for sufficient time to heat casting to temperature, quench in water or rapid cool by other means.
CN-3MN	Heat to 2100°F [1150°C] minimum, hold for sufficient time to heat casting to temperature, quench in water or rapid cool by other means.
CN-7M, CG-6MMN	Heat to 2050°F [1120°C] minimum, hold for sufficient time to heat casting to temperature, quench in water or rapid cool by other means.
CN-7MS	Heat to 2100°F [1150°C] minimum, 2150°F [1180°C] maximum, hold for sufficient time (2 h minimum) to heat casting to temperature and quench in water.
CA-6NM	Heat to 1850°F [1010°C] minimum, air cool to 200°F [95°C] or lower prior to any optional intermediate temper and prior to the final temper. The final temper shall be between 1050°F [565°C] and 1150°F [620°C].
CA-6N (J91541)	Heat to 1900°F [1040°C], air cool, reheat to 1500°F [815°C], air cool, and age at 800°F [425°C], holding at each temperature sufficient time to heat casting uniformly to temperature.
CF10SMnN	Heat to 1950°F [1065°C] minimum, hold for sufficient time to heat casting to temperature, quench in water or rapid cool by other means.
CA-28MWV	(1) Heat to 1875–1925°F [1025–1050°C], quench in air or oil, and temper at 1150°F [620°C] minimum, or (2) Anneal at 1400°F [760°C] minimum.
CK-3MCuN	Heat to 2100°F [1150°C] minimum, hold for sufficient time to heat casting to temperature, quench in water or rapid cool by other means.
CK-35MN	Heat to 2100–2190F [1150–1200C], hold for sufficient time to heat casting to temperature, quench in water or rapid cool by other means.
CB-6 (J91804)	Heat between 1800°F [980°C] and 1920°F [1050°C], forced air, cool to 120°F [50°C] maximum, and temper between 1100°F and 1160°F [595°C and 625°C].

TABLE 2 Chemical Requirements

NOTE 1—CD-4MCu has been deleted from A 743/A 743M and added to A 890/A 890M. CD-4MCu may now be supplied and purchased in compliance with A 890/A 890M. The chemical and mechanical property requirements of CD-4MCu were identical in A 743/A 743M and A 890/A 890M at the time of removal from A 743/A 743M.

Grade	Type	Composition, %													
		Carbon, max	Manganese, max	Silicon, max	Phosphorus, max	Sulfur, max	Chromium	Nickel	Molybdenum	Columbium	Selenium	Copper	Tungsten, max	Vanadium, max	Nitrogen
CF-8	19 Chromium, 9 Nickel	0.08	1.50	2.00	0.04	0.04	18.0–21.0	8.0–11.0	...	...	...	...	...	...	...
CG-12	22 Chromium, 12 Nickel	0.12	1.50	2.00	0.04	0.04	20.0–23.0	10.0–13.0	...	...	...	...	...	...	...
CF-20	19 Chromium, 9 Nickel	0.20	1.50	2.00	0.04	0.04	18.0–21.0	8.0–11.0	...	...	...	...	...	...	...
CF-8M	19 Chromium, 10 Nickel, with Molybdenum	0.08	1.50	2.00	0.04	0.04	18.0–21.0	9.0–12.0	2.0–3.0	...	...	...	...	...	...
CF-8C	19 Chromium, 10 Nickel, with Columbium	0.08	1.50	2.00	0.04	0.04	18.0–21.0	9.0–12.0	...	A	...	...	...	...	...
CF-16F	19 Chromium, 9 Nickel, Free Machining	0.16	1.50	2.00	0.17	0.04	18.0–21.0	9.0–12.0	1.50 max	...	0.20–0.35	...	...	...	...
CF-16Fa	19 Chromium, 9 Nickel, Free Machining	0.16	1.50	2.00	0.04	0.20–0.40	18.0–21.0	9.0–12.0	0.40–0.80	...	...	...	...	...	...
CH-10	25 Chromium, 12 Nickel	0.10	1.50	2.00	0.04	0.04	22.0–26.0	12.0–15.0	...	...	...	...	...	...	...
CH-20	25 Chromium, 12 Nickel	0.20	1.50	2.00	0.04	0.04	22.0–26.0	12.0–15.0	...	...	...	...	...	...	...
CK-20	25 Chromium, 20 Nickel	0.20	2.00	2.00	0.04	0.04	23.0–27.0	19.0–22.0	...	...	...	...	...	...	...
CE-30	29 Chromium, 9 Nickel	0.30	1.50	2.00	0.04	0.04	26.0–30.0	8.0–11.0	...	...	...	...	...	...	...
CA-15	12 Chromium	0.15	1.00	1.50	0.04	0.04	11.5–14.0	1.00 max	0.50 max	...	...	...	...	...	...

TABLE 2 *Continued*

Grade	Type	Composition, %													
		Carbon, max	Manganese, max	Silicon, max	Phosphorus, max	Sulfur, max	Chromium	Nickel	Molybdenum	Columbium	Selenium	Copper	Tungsten, max	Vanadium, max	Nitrogen
CA-15M	12 Chromium	0.15	1.00	0.65	0.040	0.040	11.5–14.0	1.0 max	0.15–1.0	...	...	...	...	...	...
CB-30	20 Chromium	0.30	1.00	1.50	0.04	0.04	18.0–21.0	2.00 max	...	...	...	^B	...	...	...
CC-50	28 Chromium	0.50	1.00	1.50	0.04	0.04	26.0–30.0	4.00 max	...	...	...	...	...	...	...
CA-40	12 Chromium	0.20–0.40	1.00	1.50	0.04	0.04	11.5–14.0	1.0 max	0.5 max	...	...	...	...	...	...
CA-40F	12 Chromium, Free Machining	0.20–0.40	1.00	1.50	0.04	0.20–0.40	11.5–14.0	1.0 max	0.5 max	...	...	...	...	...	...
CF-3	19 Chromium, 9 Nickel	0.03	1.50	2.00	0.04	0.04	17.0–21.0	8.0–12.0	...	...	...	...	...	...	...
CF10SMnN	17 Chromium, 8.5 Nickel with Nitrogen	0.10	7.00–9.00	3.50–4.50	0.060	0.030	16.0–18.0	8.0–9.0	...	...	...	...	...	...	0.08–0.18
CF-3M	19 Chromium, 10 Nickel, with Molybdenum	0.03	1.50	1.50	0.04	0.04	17.0–21.0	9.0–13.0	2.0–3.0	...	...	...	...	...	...
CF-3MN	19 Chromium, 10 Nickel, with Molybdenum, and Nitrogen	0.03	1.50	1.50	0.040	0.040	17.0–22.0	9.0–13.0	2.0–3.0	...	...	...	...	...	0.10–0.20
CG6MMN		0.06	4.00–6.00	1.00	0.04	0.03	20.5–23.5	11.5–13.5	1.50–3.00	0.10–0.30	...	...	...	0.10–0.30	0.20–0.40
CG-3M (J92999)	19 Chromium, 11 Nickel, with Molybdenum	0.03	1.50	1.50	0.04	0.04	18.0–21.0	9.0–13.0	3.0–4.0	...	...	...	...	...	...
CG-8M	19 Chromium, 11 Nickel, with Molybdenum	0.08	1.50	1.50	0.04	0.04	18.0–21.0	9.0–13.0	3.0–4.0	...	...	...	...	...	...
CN-3M (J94652)		0.03	2.0	1.0	0.03	0.03	20.0–22.0	23.0–27.0	4.5–5.5	...	...	...	...	...	...
CN-3MN	21 Chromium, 24 Nickel with Molybdenum and Nitrogen	0.03	2.00	1.00	0.040	0.010	20.0–22.0	23.5–25.5	6.0–7.0	...	...	0.75 max	...	...	0.18–0.26
CN-7M	20 Chromium, 29 Nickel, with Copper and Molybdenum	0.07	1.50	1.50	0.04	0.04	19.0–22.0	27.5–30.5	2.0–3.0	...	...	3.0–4.0	...	...	...
CN-7MS	19 Chromium, 24 Nickel, with Copper and Molybdenum	0.07	1.00	2.50–3.50	0.04	0.03	18.0–20.0	22.0–25.0	2.5–3.0	...	...	1.5–2.0	...	...	...
CA-6NM	12 Chromium, 4 Nickel	0.06	1.00	1.00	0.04	0.03	11.5–14.0	3.5–4.5	0.40–1.0	...	...	...	...	...	...
CA6N	11 Chromium, 7 Nickel	0.06	0.50	1.00	0.02	0.02	10.5–12.5	6.0–8.0	...	...	...	...	...	...	...
CA-28MWV	12 Chromium, with Molybdenum, Tungsten and Vanadium	0.20–0.28	0.50–1.00	1.0	0.030	0.030	11.0–12.5	0.50–1.00	0.90–1.25	...	...	...	0.90–1.25	0.20–0.30	...
CK-3MCuN	20 Chromium, 18 Nickel, with Copper and Molybdenum	0.025	1.20	1.00	0.045	0.010	19.5–20.5	17.5–19.5	6.0–7.0	...	...	0.50–1.00	...	...	0.180–0.240
CK-35MN	23 Chromium, 21 Nickel, with Molybdenum and Nitrogen	0.035	2.00	1.00	0.035	0.020	22.0–24.0	20.0–22.0	6.0–6.8	...	...	0.40	...	...	0.21–0.32
CB-6 (J91804)	16 Chromium, 4 Nickel	0.06	1.00	1.00	0.04	0.03	15.5–17.5	3.5–5.5	0.5 max	...	...	...	...	...	...

^A Grade CF-8C shall have a columbium content of not less than eight times the carbon content and not more than 1.0%. If a columbium-plus-tantalum alloy in the approximate Cb:Ta ratio of 3:1 is used for stabilizing this grade, the total columbium-plus-tantalum content shall not be less than nine times the carbon content and shall not exceed 1.1%.

^B For Grade CB-30 a copper content of 0.90 to 1.20% is optional.

NOTE 2—Proper heat treatment of these alloys is usually necessary to enhance corrosion resistance and in some cases to meet mechanical properties. Minimum heat treat temperatures are specified; however, it is sometimes necessary to heat treat at higher temperatures, hold for some minimum time at temperature and then rapidly cool the castings in order to enhance the corrosion resistance and meet mechanical properties.

7. Chemical Requirements

7.1 The chemical requirements are shown in Table 2.

8. Repair by Welding

8.1 Repair welding of Grade CA-28MWV is not permitted unless by agreement between the manufacturer and the purchaser.

8.2 When methods involving high temperature are used in the removal of discontinuities, castings shall be preheated in accordance with Table 3. Weld repairs shall be subject to the same quality standards as are used to inspect the castings.

8.3 Post weld heat treatment, if required, shall be in accordance with Table 1.

8.3.1 The martensitic grades CA-6NM, CA-15, CA-15M, CB-6, and CA-40 shall be retempered after weld repairing, except that local tempering will be permitted if, in the opinion of the manufacturer, furnace heat treating will be damaging to

the finished surface of a machined casting. Heat treatment, other than tempering, of grades CA-6NM, CA-15, CA-15M, CB-6, and CA-40 after weld repairing shall be performed only when agreed upon between the manufacturer and the purchaser. Weld repair on Grade CA-40F is not recommended because of the risk of local hardening and possible cracking in the heat affected zone.

8.3.2 Post weld heat treatment is not required on the other grades of this specification. When post weld heat treatment is believed necessary for adequate corrosion resistance in the service environment, castings should be ordered in accordance with Specification A 744/A 744M.

9. Product Marking

9.1 Castings shall be marked for material identification with the ASTM specification number (A 743/A 743M) and grade symbol, that is, CF-8, CA-15, CB-30, etc. In addition, the manufacturer's name or identification mark and the pattern number shall be cast or stamped using the low-stress stamps on all castings. Small-size castings may be such that marking must be limited consistent with the available area. The marking of heat numbers on individual castings shall be agreed upon between the manufacturer and the purchaser. Marking shall be in such position as not to injure the usefulness of the casting.

10. Keywords

10.1 corrosion resistant; iron-chromium; iron-chromium-nickel; steel castings

TABLE 3 Minimum Preheat Temperatures

Grade	Minimum Preheat Temperatures	
	°F	°C
CA-15, CA-15M CA-40, CA-28MWV	400	[205]
Others	50	[10]

SUPPLEMENTARY REQUIREMENTS

The following supplementary requirements shall not apply unless specified in the purchase order. A list of standardized supplementary requirements for use at the option of the purchaser is included in Specification A 781/A 781M. Those which are ordinarily considered suitable for use with this specification are given below. Others enumerated in A781/A 781M may be used with this specification upon agreement between the manufacturer and purchaser.

S1. Magnetic Particle Examination

S2. Radiographic Examination

S3. Liquid Penetrant Examination

S4. Ultrasonic Examination

S5. Examination of Weld Preparation

S6. Certification

S7. Prior Approval of Major Weld Repairs

S11. Intergranular Corrosion Test

S11.1 An intergranular corrosion test shall be performed in accordance with the appropriate practice for the particular grade involved, as listed in Practices A 262, or as agreed upon with the purchaser. Intergranular corrosion tests on stabilized or 0.03 % carbon maximum grades (CF-3, CF-3M, CF-8C, and

CG-3M) shall be made on sensitized specimens. On all other grades of chromium-nickel steels, intergranular corrosion tests shall be made on specimens representative of the as-shipped condition.

S12. Tension Test

S12.1 Tensile properties shall be determined from material representing each heat. The bar from which the test specimen is taken shall be heat treated in production furnaces to the same procedure as the castings it represents. The results shall conform to the requirements specified in Table S12.1.

S12.2 Test bars shall be poured in separately cast keel blocks similar to Fig. 1 or Fig. 2 or Fig. 3 of A 781.

S12.3 Tension test specimens may be cut from heat-treated castings, or from as-cast castings if no heat treatment is specified for the castings, instead of from test bars, when agreed upon between the manufacturer and the purchaser.

S12.4 Test specimens shall be machined to the form and

TABLE S12.1 Tensile Requirements

Grade	Type	Tensile Strength, min		Yield Strength, min		Elongation in 2 in. [50 mm], min, % ^A	Reduction of Area, min, %
		ksi	[MPa]	ksi	[MPa]		
CF-8	19 Chromium, 9 Nickel	70 ^B	[485] ^B	30 ^B	[205] ^B	35	...
CG-12	22 Chromium, 12 Nickel	70	[485]	28	[195]	35	...
CF-20	19 Chromium, 9 Nickel	70	[485]	30	[205]	30	...
CF-8M	19 Chromium, 10 Nickel, with Molybdenum	70	[485]	30	[205]	30	...
CF-8C	19 Chromium, 10 Nickel with Columbium	70	[485]	30	[205]	30	...
CF-16F and CF-16Fa	19 Chromium, 9 Nickel, Free Machining	70	[485]	30	[205]	25	...
CH-20 and CH-10	25 Chromium, 12 Nickel	70	[485]	30	[205]	30	...
CK-20	25 Chromium, 20 Nickel	65	[450]	28	[195]	30	...
CE-30	29 Chromium, 9 Nickel	80	[550]	40	[275]	10	...
CA-15 and CA-15M	12 Chromium	90	[620]	65	[450]	18	30
CB-30	20 Chromium	65	[450]	30	[205]	...	...
CC-50	28 Chromium	55	[380]	...	...	...	...
CA-40	12 Chromium	100	[690]	70	[485]	15	25
CA-40F	12 Chromium, Free Machining	100	[690]	70	[485]	12	...
CF-3	19 Chromium, 9 Nickel	70	[485]	30	[205]	35	...
CF10SMnN	17 Chromium, 8.5 Nickel with Nitrogen, 9 Nickel	85	[585]	42	[290]	30	...
CF-3M	19 Chromium, 10 Nickel, with Molybdenum	70	[485]	30	[205]	30	...
CF-3MN	19 Chromium, 10 Nickel, with Molybdenum, and Nitrogen	75	[515]	37	[255]	35	...
CG6MMN	Chromium-Nickel-Manganese-Molybdenum	85	[585]	42	[290]	30	...
CG-3M (J92999)	19 Chromium, 11 Nickel, with Molybdenum	75	[515]	35	[240]	25	...
CG-8M	19 Chromium, 11 Nickel, with Molybdenum	75	[520]	35	[240]	25	...
CN-3M (J94652)	19 Chromium, 11 Nickel, with Molybdenum	63	[435]	25	[170]	30	...
CN-3MN	21 Chromium, 24 Nickel, with Molybdenum, and Nitrogen	80	[550]	38	[260]	35	...
CN-7M	20 Chromium, 29 Nickel, with Copper and Molybdenum	62	[425]	25	[170]	35	...
CN-7MS	19 Chromium, 24 Nickel, with Copper and Molybdenum	70	[485]	30	[205]	35	...
CA-6NM	12 Chromium, 4 Nickel	110	[755]	80	[550]	15	35
CA-6N (J91541)	11 Chromium, 7 Nickel	140	[965]	135	[930]	15	50
CA-28MWV ^C	12 Chromium, with Molybdenum, Tungsten, and Vanadium	140	[965]	110	[760]	10	24
CK-3MCuN	20 Chromium, 18 Nickel, with Copper and Molybdenum	80	[550]	38	[260]	35	...
CK-35MN	23 Chromium, 21 Nickel, with Molybdenum and Nitrogen	83	[570]	41	[280]	35	...
CB-6 (J91804)	16 Chromium, 4 Nickel	115	[790]	85	[580]	16	35

^A When ICI test bars are used in tensile testing as provided for in this specification, the gage length to reduced section diameter ratio shall be 4:1.

^B For low ferrite or nonmagnetic castings of this grade, the following values shall apply: tensile strength, min, 65 ksi [450 MPa]; yield point, min, 28 ksi [195 MPa].

^C These mechanical properties apply only when heat-treatment (1) has been used.

dimensions of the standard round 2-in. [50-mm] gage length specimen shown in Fig. 4 and 5 of Test Methods and Definitions A 370, and shall be tested in accordance with Test Methods and Definitions A 370.

S12.5 If the results of the mechanical tests for any heat, lot, or casting do not conform to the requirements specified, retests are permitted as outlined in Test Methods and Definitions A 370. At the manufacturer's option, castings may be reheat-treated and retested. When castings are reheat-treated, they may not be reaustenitized more than three times without the approval of the purchaser. Testing after reheat treatment shall consist of the full number of specimens taken from locations complying with the specification or order.

S12.6 If any test specimen shows defective machining or develops flaws, it may be discarded and another specimen substituted from the same heat.

S13. Post Weld-Heat Treatment

S13.1 Weld repairs shall be considered major in the case of a casting which has leaked on hydrostatic test or when the depth of the cavity after preparation for repair exceeds 20 % of

the actual wall thickness, or 1 in. [25 mm], whichever is smaller, or when the extent of the cavity exceeds approximately 10 in.²[65 cm²]. All other weld repairs shall be considered minor.

S13.2 Grades CF-8, CG-3M, CG-8M, CG-12, CF-20, CF-8M, CF-8C, CF-16F, CF-16Fa, CH-10, CH-20, CE-30, CK-20, CF-3, CF-3M, CF-3MN, CN-7M, CN-7MS, CN-3MN, CB-30, CC-50, CA-6N, and CK-3MCuN shall be heat treated after major weld repairs, but it is not required after minor repairs except by agreement between the manufacturer and the purchaser.

S14. Hardness Tests

S14.1 Brinell tests on non-austenitic grades shall be conducted. Grades CA-15, CA-15M, CB-30, and CC-50 shall have a Brinell hardness of 241 HB maximum. Grade CA-6NM shall have a Brinell hardness of 285 HB maximum, Grade CA-40 and CA-40F, 269 HB maximum, and Grade CA-28MWV, 302–352 HB, except for the annealed condition, when the Brinell hardness of this grade shall not exceed 269 HB.

S14.2 The location where the Brinell hardness reading is to

be taken and the frequency of such Brinell hardness inspection of the castings shall be established by agreement between the manufacturer and the purchaser.

required, the mechanical property requirements and volume fraction of ferrite as determined by S 31, A 890/A 890M, shall be by agreement between the manufacturer and the purchaser.

S15. Low Ferrite in CF-8

S15.1 When low ferrite or non-magnetic properties are

The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428.



ESPECIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)
(De acuerdo a AWS B2.1)

WPS

HOJA:	1 de 1
EMISIÓN:	25/05/2021
REVISIÓN:	1

ESPECIFICACIÓN DEL PROCESO DE SOLDADURA (WPS)

Nombre de la Compañía:	Confipetrol Andina S.A.	Identificación:	CONFIPETROL/WPS01-21
Proceso(s) de soldadura:	SMAW	Revisión:	0
N° de soporte de PQR:	PQR-001	Fecha:	25-May-21
DISEÑO DE LA JUNTA USADA		Autorizado por:	Ing. Alfredo Alcántara
Tipo: De Relleno (Build Up)		Tipo:	Manual <input checked="" type="checkbox"/> Semi-automático <input type="checkbox"/> Máquina <input type="checkbox"/> Automático <input type="checkbox"/>
Simple <input type="checkbox"/> Doble <input type="checkbox"/>		POSICIÓN	
Repaldo: Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>		Posición de Relleno: Horizontal y Plana Filete: —	
Material de respaldo: —		Progresión vertical: Ascendente Descendente	
Abertura de raíz: — Tamaño cara de raíz: —		CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS	
Ángulo de la ranura: — Radio (J-U): —		Modo de transferencia (GMAW):	
Soldadura de respaldo: Si <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/>		Cortocircuito <input type="checkbox"/> Pulverizado <input type="checkbox"/>	
Esmerilado de raíz: —		Globular <input type="checkbox"/> Pulsado <input type="checkbox"/>	
METAL BASE		Corriente: CA <input type="checkbox"/> CCEP <input checked="" type="checkbox"/> CCEN <input type="checkbox"/>	
Especificación del material: COR 13.4		Otro: —	
N° M: —		Electrodo de Tungsteno (GTAW):	
Espesor (T): Desde 25.0 hasta ilimitado		Tamaño: —	
Diámetro (tubo): —		Tipo: —	
METAL DE APORTE		TÉCNICA	
Especificación AWS: A 5.4		Arrastre u oscilación: Oscilación corta (Cordones delgados)	
Clasificación AWS: E410NiMo-15		Pasada simple o múltiple (por cara): Simple	
F-N°: 5		Número de electrodos: UNO	
Espesor de soldadura depositado (t): 10 mm		Espaciado de Electrodo:	
Número de Capas: 4		Longitudinal: —	
PROTECCIÓN		Lateral: —	
Flujo: — Gas: —		Ángulo: —	
Composición: —		Distancia de contacto del tubo a la pieza de trabajo: —	
PRECALENTAMIENTO		Forjado: —	
Temperatura de precalentamiento (mínima): 120 °C		Limpieza entre pasadas: Esmerilado y/o Escobillado	
Temperatura entre pases (máxima): 180 °C		TRATAMIENTO TÉRMICO POST-SOLDADURA	
		Temperatura: 580 - 600 °C	
		Tiempo: 10 - 12 Horas	

PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA

Capa	Proceso	Metal de Aporte		Corriente		Voltaje (V)	Velocidad de avance (cm/min)	Detalles de la Junta
		Clase	Diám (mm)	Tipo y polaridad	Amperaje (A)			
1-N	SMAW	E410NiMo-15	4	CC E(+)	110 - 140	24 - 27	15 - 17	

[Signature]

[Signature]

[Signature]
 Ing. Alfredo Alcántara
 Confipetrol Andina S.A.

ELABORADO POR: Juan Vargas HSEQ: Ing. Alfredo Alcántara Coordinador: Ing. Cesar Pinto Líder: Ing. Alfredo Cornejo

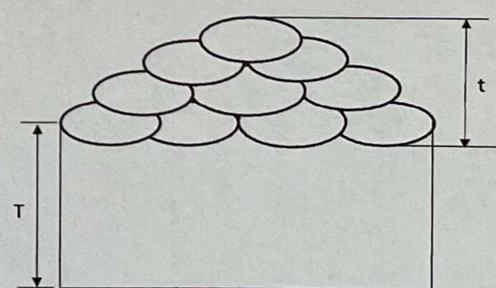


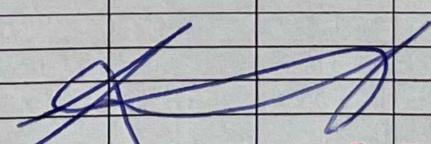
Luis Salvador Meneses Davila
 CWI 17051921
 QC1 EXP. 5/1/2023

ESPECIFICACIÓN DEL PROCESO DE SOLDADURA (WPS)

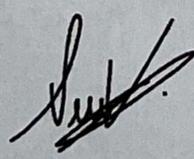
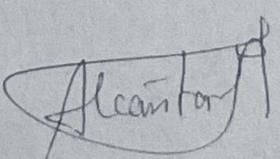
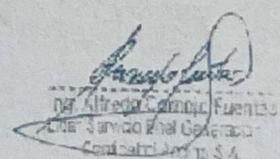
Nombre de la Compañía:	Confipetrol Andina S.A.	Identificación:	CONFIPETROL/WPS01-21
Proceso(s) de soldadura:	SMAW	Revisión:	0
N° de soporte de PQR:	PQR-001	Autorizado por:	Ing. Alfredo Alcántara
DISEÑO DE LA JUNTA USADA Tipo: De Relleno (Build Up) Simple <input type="checkbox"/> Doble <input type="checkbox"/> Repaldo: Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Material de respaldo: --- Abertura de raíz: --- Tamaño cara de raíz: --- Ángulo de la ranura: --- Radio (J-U): --- Soldadura de respaldo: Sí <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/> Esmerilado de raíz: ---		Fecha: 25-May-21 Tipo: Manual <input checked="" type="checkbox"/> Semi-automático <input type="checkbox"/> Máquina <input type="checkbox"/> Automático <input type="checkbox"/>	
METAL BASE Especificación del material: COR 13.4 N° M: --- Espesor (T): Desde 25.0 hasta ilimitado Diámetro (tubo): ---		POSICIÓN Posición de Relleno: Horizontal y Plana Filete: --- Progresión vertical: Ascendente Descendente	
METAL DE APORTE Especificación AWS: A 5.4 Clasificación AWS: E410NiMo-15 F-N°: 5 Espesor de soldadura depositado (t): 10 mm Número de Capas: 4		CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS Modo de transferencia (GMAW): Cortocircuito <input type="checkbox"/> Pulverizado <input type="checkbox"/> Globular <input type="checkbox"/> Pulsado <input type="checkbox"/> Corriente: CA <input type="checkbox"/> CCEP <input checked="" type="checkbox"/> CCEN <input type="checkbox"/> Otro: --- Electrodo de Tungsteno (GTAW): Tamaño: --- Tipo: ---	
PROTECCIÓN Flujo: --- Gas: --- Composición: ---		TÉCNICA Arrastre u oscilación: Oscilación corta (Cordones delgados) Pasada simple o múltiple (por cara): Simple Número de electrodos: UNO Espaciado de Electrodo: Longitudinal: --- Lateral: --- Ángulo: --- Distancia de contacto del tubo a la pieza de trabajo: --- Forjado: --- Limpieza entre pasadas: Esmerilado y/o Escobillado	
PRECALENTAMIENTO Temperatura de precalentamiento (mínima): 120 °C Temperatura entre pases (máxima): 180 °C		TRATAMIENTO TÉRMICO POST-SOLDADURA Temperatura: 580 - 600 °C Tiempo: 10 -12 Horas	

PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA

Capa	Proceso	Metal de Aporte		Corriente		Voltaje (V)	Velocidad de avance (cm/min)	Detalles de la Junta
		Clase	Diám (mm)	Tipo y polaridad	Amperaje (A)			
1-N	SMAW	E410NiMo-15	4	CC E(+)	110 - 140	24 - 27	15 - 17	



Luis Salvador Meneses Davila
CWI 17051921
QC1 EXP. 5/1/2023

			
---	---	---	--

REGISTRO DE CALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO (PQR)

Análisis Químico

Especímen	%C	%Si	%Mn	%Cr	%Ni	%Mo	%P	%S	Resultado
COR 134	0.052	0.5	0.61	12.22	3.90	0.8	0.01	0.01	---
CITOCROM 134	0.055	0.37	0.59	12.07	4.16	0.47	---	0.011	ACCEPTABLE

PRUEBA DOBLEZ GUIADO

Especímen Nro.	Tipo DobleZ Transversal	Resultado	Observaciones
D1	LADO	Aceptable	---
D2	LADO	Aceptable	---

INSPECCIÓN VISUAL

Apariencia: Buena
 Socavación: Ninguna
 Porosidad: Ninguna
 Convexidad: Ninguna
 Presenciada por: CWI Juan Guardia Gallegos

PRUEBA DE TINTES PENETRANTES

Entre capas
 1 ACCEPTABLE
 2 ACCEPTABLE
 3 ACCEPTABLE

LABORATORIO EXSA - SOLDEXA

REPORTE N°. CQ-EXSA-2008-53 // CTSol-LCH-D022-2008

Nombre del Soldador: **SALOME JAUREGUI, MIGUEL**

DNI: **09760871**

Prueba conducida por: **CWI Leonardo Rodríguez**




Luis Salvador Meneses Davila
CWI 17051921
QC1 EXP. 5/1/2023



REGISTRO DE CALIFICACION DEL SOLDADOR (WPQR)
De acuerdo con AWS B2.1/B2.1M Ed. 2014

WPQR
HOJA : 1 de 1
EMISION : 04/01/2016
REVISION: 01

REGISTRO DE CALIFICACION DE SOLDADOR (WPQR)

Nombre : SILVONIO MAURY LUIS TITO	DNI : 10175083	N° Estampa: W-01	WPQ N°: 001
Procedimiento de soldadura (WPS): SKANSKA / WPS-01		Revisión : 00	Fecha: 13/02/2019
Variables	Valores usados en la calificación	Rango Calificado	
Proceso / Transferencia	SMAW	SMAW	
Electrodo (simple o multiple)	simple	Simple	
Corriente / Polaridad	DCEP	DCEP	
Posición	2C	Para Recubrimientos: Plana y Horizontal	
Progresión de soldadura	-----	-----	
Respaldo (Backing weld)	-----	-----	
Material Base / N° - M	COR134	COR134	
Metal Base	-----	-----	
Espesor (plancha) :			
A tope :	---	---	
Filete :			
Espesor // Diametro (tubería) :	-----	-----	
A tope:	-----	-----	
Filete :	-----	-----	
Espesor:	-----	-----	
Hardfacing:	-----	-----	
Cladding:	25 mm	Desde 10 mm a ilimitado	
Metal de Aporte (Espesor depositado):	10 mm	---	
N° Especificación :	AWS A5.4	---	
Clase :	E410NiMo-15	---	
F-N°:	4	4	
Gas de Protección :	-----	-----	
Otros : Nombre Comercial	-----	-----	

INSPECCION VISUAL

Aceptable: Si No

ENSAYO DE MACOGRAFIA

Tipo	Resultado	Tipo	Resultado
W01 -DL01-TRANSVERSAL DE LADO	CONFORME	---	---
W01 -DL02-TRANSVERSAL DE LADO	CONFORME	---	---
Interpretado por :	LUIS MALDONADO GRANDE	Prueba N° : LMG-21-2019	
Organización :	SOLDEX S.A.	Fecha : 13/02/2019	
Resultado de pruebas de filete:			
Apariencia :	---	Dimensión filete :	
Prueba fractura penetración raíz :	---	Macro ataque	
Inspeccionado por :	---	Numero de Ensayo:	---
Organización :	---	Fecha:	---


Ken Ricardo Antonio Andrade
CWI 17002871
QC.I EXP. 6/1/2020

Resultado de prueba radiográfica:

Identificación Placa	Resultado	Observaciones	Identificación Placa	Resultado	Observaciones
---	---	---	---	---	---
Interpretado por :	---		Prueba N° :		---
Organización :	---		Fecha		---

Nosotros, los abajo firmantes, certificamos que los datos registrados son correctos y que las probetas fueron preparadas, soldadas y ensayadas de acuerdo a los requerimientos del código de referencia AWS B2.1/B2.1M Ed. 2014

V° B° SUPERVISOR	V° B° SUPERVISION
------------------	-------------------

	INSTRUCTIVO OPERATIVO	VERSIÓN	002
	TRATAMIENTO TÉRMICO DE RODETE FRANCIS POST SOLDADURA	CÓDIGO	IO-02002
		FECHA ELAB	30/07/2020
		Página	1 de 4

TRATAMIENTO TÉRMICO DE RODETE FRANCIS POST SOLDADURA (SERVICIO TERCERIZADO)

CONFIPETROL



Elaborado por	Fecha de Elaboración	Revisado por	Fecha de Revisión
Bach. Juan Vargas Tarazona	30/07/2020	Ing. Alfredo Cornejo CIP 55551	30/07/2020

	INSTRUCTIVO OPERATIVO	VERSIÓN	002
	TRATAMIENTO TÉRMICO DE RODETE FRANCIS POST SOLDADURA	CÓDIGO	IO-02002
		FECHA ELAB	30/07/2020
		Página	2 de 4

1. Objetivos del documento

Este instructivo define las actividades adoptadas por Confipetrol Andina para garantizar la correcta ejecución del tratamiento Térmico de alivio de tensiones para el rodete Francis doble de las Centrales Hidroeléctricas a cargo.

2. Unidades a cargo del documento

Responsable del desarrollo del documento:

- Supervisor de Mantenimiento Mecánico

Responsable de autorizar el documento:

- Jefatura de Mantenimiento

3. Referencias

- Plano de fabricación de rodete Francis

4. Posición del proceso organizativo en la taxonomía de procesos

Macroproceso: Gestión del Mantenimiento

Proceso: Tratamiento térmico de rodete Francis

5. Ubicación

El ciclo o los ciclos de tratamiento térmico serán realizados en hornos previstos para este fin por un proveedor o empresa externa que pueda cumplir con los requerimientos técnicos para efectuar el tratamiento térmico.

6. Alcances

Esta especificación es aplicable al rodete Francis doble de las centrales hidroeléctricas a carga que han sido recuperadas con soldadura. El material base de los rodetes es acero inoxidable ASTM A743 grado CA6 – NM y la dureza deberá quedar en el rango de 265 – 300 HB.

7. Descripción

	INSTRUCTIVO OPERATIVO	VERSIÓN	002
	TRATAMIENTO TÉRMICO DE RODETE FRANCIS POST SOLDADURA	CÓDIGO	IO-02002
		FECHA ELAB	30/07/2020
		Página	3 de 4

- Se deberá tener en cuenta las dimensiones y pesos nominales según plano de fabricación.
- El horno deberá contar con termocuplas debidamente calibradas para el control de la temperatura.
- El posicionamiento del rodete dentro del horno de tratamiento térmico será realizado cuando la temperatura de éste se encuentre por debajo de los 150 °C, caso contrario se esperará a que el horno esté por debajo de esta temperatura.
- El rodete deberá ser posicionado con el agujero interior en forma vertical debidamente nivelado y estará apoyado sobre un soporte en la parte inferior del agujero central de tal manera que los álabes del rodete no tengan contacto con la base del horno.
- El rodete deberá quedar posicionado en la parte central del horno en sus tres dimensiones, largo-ancho-altura, manteniendo una distancia de 0.5 m respecto al piso del horno.
- El rodete dentro del horno deberá estar a 0.5 m de distancia de los quemadores del horno, de no tener espacio del horno, deberán ser colocadas planchas deflectoras de tal manera que se evite la incidencia directa de la llama sobre la superficie de los álabes.
- Se verificará la dureza del rodete antes de ingresar al horno y registrado en el formato del Control de Dureza antes del Tratamiento térmico.
- Se verificará la dureza del rodete antes de ingresar al horno y registrado en el formato del Control de Dureza antes del Tratamiento térmico.
- La temperatura de sostenimiento será de 580 +/- 10°C por un periodo de 2 horas. Tanto la velocidad de calentamiento como la de enfriamiento en el horno no deberá exceder los 50 +/- 5 °C / hora.

8. Recursos necesarios

- El proveedor deberá contar con un horno para tratamientos térmicos que permita alcanzar la temperatura de sostenimiento cumpliendo con las velocidades de calentamiento/enfriamiento y nivel de dureza indicadas en la presente especificación.

	INSTRUCTIVO OPERATIVO	VERSIÓN	002
	TRATAMIENTO TÉRMICO DE RODETE FRANCIS POST SOLDADURA	CÓDIGO	IO-02002
		FECHA ELAB	30/07/2020
		Página	4 de 4

- Se debe controlar la dureza del rodete antes y después del tratamiento térmico para evaluar la efectividad del tratamiento térmico.
- Después del tratamiento térmico de alivio de tensiones, la dureza del rodete Francis debe encontrarse entre $265 \text{ HB} \geq x \leq 300 \text{ HB}$ controlados a una temperatura ambiente de 20°C , estos valores deben ser verificado y aprobados por el cliente para dar conformidad al servicio.

9. Coordinación de ejecución de actividades

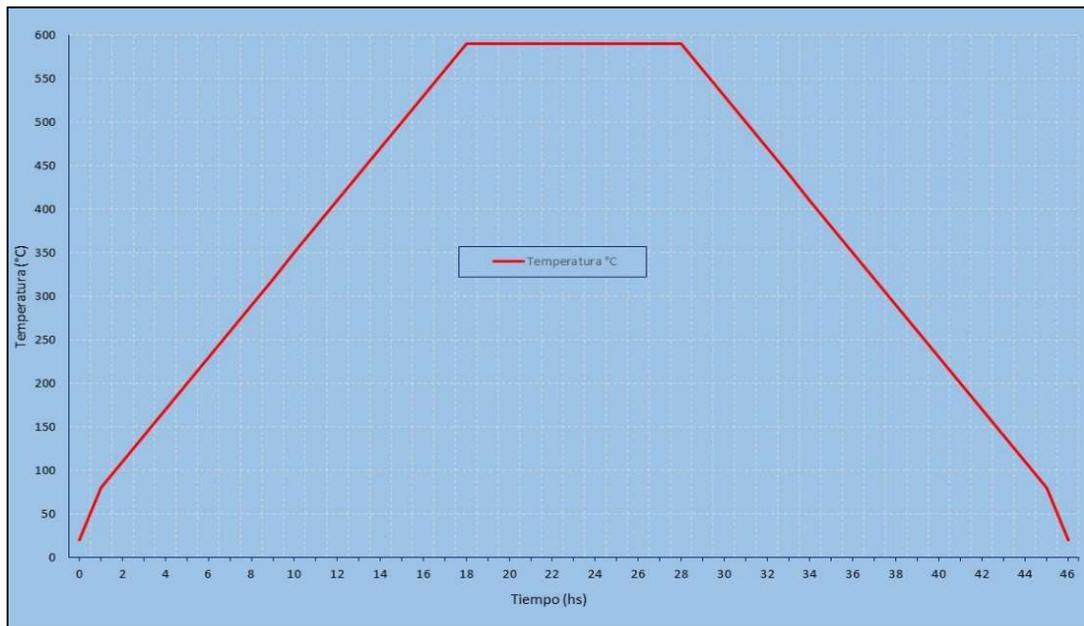
La supervisión y coordinación para el cumplimiento de los trabajos será efectuada por un inspector designado por el cliente.

10. Condiciones generales

El plazo para la realización del servicio de tratamiento térmico del rodete Francis es de 03 semanas.

11. Anexo

- Diagrama del proceso de tratamiento térmico post soldadura



	INSTRUCTIVO OPERATIVO	VERSIÓN	001
	TRATAMIENTO TÉRMICO DE ÁLABES DIRECTRICES POST SOLDADURA	CÓDIGO	IO-02001
		FECHA ELAB	30/07/2020
		Página	1 de 5

TRATAMIENTO TÉRMICO DE ÁLABES DIRECTRICES POST SOLDADURA (SERVICIO TERCERIZADO)

CONFIPETROL



Elaborado por	Fecha de Elaboración	Revisado por	Fecha de Revisión
Bach. Juan Vargas Tarazona	30/07/2020	Ing. Alfredo Cornejo CIP 55551	30/07/2020

	INSTRUCTIVO OPERATIVO	VERSIÓN	001
	TRATAMIENTO TÉRMICO DE ÁLABES DIRECTRICES POST SOLDADURA	CÓDIGO	IO-02001
		FECHA ELAB	30/07/2020
		Página	2 de 5

1. Objetivos del documento

Este instructivo define las actividades adoptadas por Confipetrol Andina para garantizar la correcta ejecución del tratamiento Térmico de alivio de tensiones para los álabes directrices de las Centrales Hidroeléctricas a cargo.

2. Unidades a cargo del documento

Responsable del desarrollo del documento:

- Supervisor de Mantenimiento Mecánico

Responsable de autorizar el documento:

- Jefatura de Mantenimiento

3. Referencias

- Plano de fabricación de los álabes directrices

4. Posición del proceso organizativo en la taxonomía de procesos

Macroproceso: Gestión del Mantenimiento

Proceso: Tratamiento térmico de álabes directrices

5. Ubicación

El ciclo o los ciclos de tratamiento térmico serán realizados por un proveedor o empresa externa que pueda cumplir con los requerimientos técnicos para efectuar el tratamiento térmico.

6. Alcances

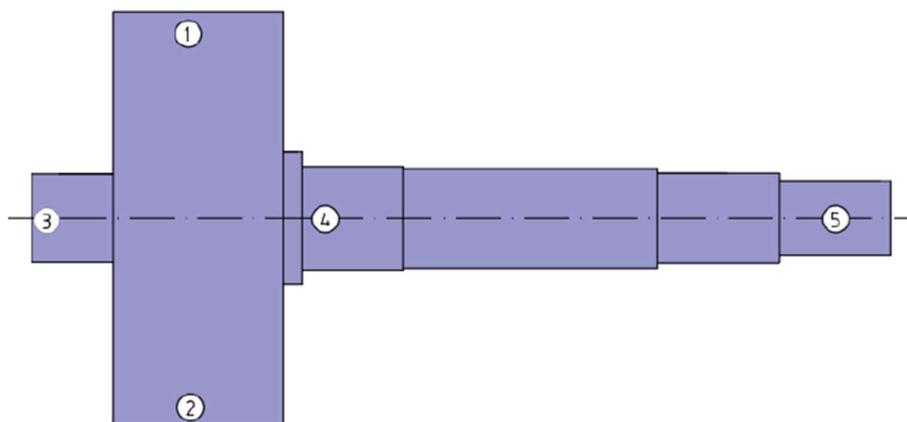
Esta especificación es aplicable a todos los álabes directrices de las centrales hidroeléctricas a cargo que han sido recuperadas con soldadura. El material base de estos álabes es X5CrNi13.4.

7. Descripción

- Se deberá tener en cuenta las dimensiones y pesos nominales según plano de fabricación.

	INSTRUCTIVO OPERATIVO	VERSIÓN	001
	TRATAMIENTO TÉRMICO DE ÁLABES DIRECTRICES POST SOLDADURA	CÓDIGO	IO-02001
		FECHA ELAB	30/07/2020
		Página	3 de 5

- El horno deberá contar con termocuplas de control de la temperatura de ambiente.
- El posicionamiento de los álabes dentro del horno de tratamiento térmico será realizado cuando la temperatura de éste se encuentre por debajo de los 150 °C, caso contrario se esperará a que el horno esté por debajo de esta temperatura.
- Los álabes deberán ser posicionados en forma horizontal correctamente nivelados y estarán apoyados en tres puntos como mínimo en la línea de eje y en dos puntos como mínimo en la línea del perfil hidráulico o en todo caso sobre parrillas siempre apoyados sobre ladrillos refractarios.
- Los álabes al ser posicionados en forma horizontal deberán estar como mínimo a una distancia de 0.5 m. del piso del horno.
- Los álabes dentro del horno deberán estar a 0.5 m de distancia de los quemadores del horno, de no tener espacio del horno, deberán ser colocadas planchas deflectoras de tal manera que se evite la incidencia directa de la llama sobre la superficie de los álabes.
- Una vez ubicados los álabes en el horno podrán ser colocadas termocuplas debidamente calibradas con su certificado de calibración vigente.
- Tres serán los álabes que controlar por horno, estarán ubicados en forma equidistante, los puntos de control por alabe son 5 identificados según esquema.



	INSTRUCTIVO OPERATIVO	VERSIÓN	001
	TRATAMIENTO TÉRMICO DE ÁLABES DIRECTRICES POST SOLDADURA	CÓDIGO	IO-02001
		FECHA ELAB	30/07/2020
		Página	4 de 5

- Deberá garantizarse la fijación de las termocuplas de manera que estas no se caigan a o se desprendan durante la ejecución del ensayo.
- La temperatura de sostenimiento será de 580 +/- 10°C por un periodo de 2 horas. Tanto la velocidad de calentamiento como la de enfriamiento en el horno no deberá exceder los 50 +/- 5 °C / hora.
- La temperatura considerada en el sostenimiento será la temperatura del instante en que el último termopar alcance el mínimo de la temperatura de sostenimiento. El tiempo de sostenimiento pasa a ser contado a partir de ese momento.

8. Recursos necesarios

- El proveedor deberá contar con un horno para tratamientos térmicos que permita alcanzar la temperatura de sostenimiento cumpliendo con las velocidades de calentamiento y enfriamiento indicadas en la presente especificación.
- Los valores de temperatura deberán ser registradas en un registrador gráfico propio del horno en el que pueda identificarse los diferentes niveles de temperatura, en caso no exista este registrador deberán llenarse planillas donde se registre la temperatura cada media hora.
- Se debe controlar la dureza de todas las paletas antes y después del tratamiento térmico para evaluar la efectividad del tratamiento térmico.
- Después del tratamiento térmico de alivio de tensiones, la dureza de las paletas debe encontrarse entre 265 HB \geq x \leq 300 HB controlados a una temperatura ambiente de 20°C, estos valores deben ser verificado y aprobados por el cliente para dar conformidad al servicio.

9. Coordinación de ejecución de actividades

La supervisión y coordinación para el cumplimiento de los trabajos será efectuada por un inspector designado por el cliente.

10. Condiciones generales

El plazo para la realización del servicio de tratamiento térmico de los álabes directrices es de 01 semana.

	INSTRUCTIVO OPERATIVO	VERSIÓN	001
	TRATAMIENTO TÉRMICO DE ÁLABES DIRECTRICES POST SOLDADURA	CÓDIGO	IO-02001
		FECHA ELAB	30/07/2020
		Página	5 de 5

11. Anexo

- Diagrama del proceso de tratamiento térmico post soldadura

