

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



“PLAN DE MANTENIMIENTO PARA INCREMENTAR LA
DISPONIBILIDAD DEL ELECTROFILTRO HUMEDO DE LA PLANTA DE
ACIDO EN LA REFINERÍA ZINC CAJAMARQUILLA - NEXA
RESOURCES”

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

MAURO AÑAMURO APAZA

Callao, 2021

PERÚ

MAURO AÑAMURO APAZA

MSC. ING. PABLO MAMANI CALLA
CIP 32638

(Resolución N°156-2021-D-FIME)

**ACTA N° 054 DE EXPOSICIÓN DEL INFORME DE TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL DEL III
CICLO TALLER PARA LA OBTENCIÓN DE TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO MECÁNICO E
INGENIERO EN ENERGÍA**

**LIBRO 001 FOLIO No. 102 ACTA N° 054 DE EXPOSICIÓN DEL INFORME DE TRABAJO DE
SUFICIENCIA PROFESIONAL PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
MECÁNICO**

A los 12 días del mes noviembre, del año 2021, siendo las 15.35 horas, se reunieron, en la sala meet: <https://meet.google.com/ktf-ynee-ofn>, el **JURADO DE EXPOSICIÓN DEL INFORME DE TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL** 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**:

Mg. ARTURO PERCEY GAMARRA CHINCHAY	: Presidente
Mg. JUAN CARLOS HUAMÁN ALFARO	: Secretario
Mg. ADOLFO ORLANDO BLAS ZARZOSA	: Miembro
Mg. RENZO IVAN VILA ARCE	: Suplente

Se dio inicio al acto de exposición del informe de trabajo de suficiencia profesional del Bachiller **AÑAMURO APAZA, MAURO**, quien habiendo cumplido con los requisitos para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico, sustenta el informe titulado **"PLAN DE MANTENIMIENTO PARA INCREMENTAR LA DISPONIBILIDAD DEL ELECTROFILTRO HÚMEDO DE LA PLANTA DE ACIDO EN LA REFINERÍA DE ZINC CAJAMARQUILLA - NEXA RESOURCES"**, cumpliendo con la sustentación 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 exposición 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 la escala de calificación cualitativa **BUENO** y calificación cuantitativa **14 (CATORCE)**, la presente exposición, conforme a lo dispuesto en el Art. 27 del Reglamento de Grados y Títulos de la UNAC, aprobado por Resolución de Consejo Universitario N° 245-2018- CU del 30 de Octubre del 2018

Se dio por cerrada la Sesión a las 16:03 horas del día 12 del mes de noviembre y año en curso.


Mg. ARTURO PERCEY GAMARRA CHINCHAY
PRESIDENTE DE JURADO


Mg. JUAN CARLOS HUAMAN ALFARO
SECRETARIO DEL JURADO


Mg. ADOLFO ORLANDO BLAS ZARZOSA
VOCAL


Mg. RENZO IVAN VILA ARCE
MIEMBRO SUPLENTE


Dr. PABLO MAMANI CALLA
Asesor

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y DE ENERGÍA
III Ciclo Taller de Informe de Trabajo de Suficiencia Profesional 2021
Jurado de Exposición

I N F O R M E

Visto el Informe de Trabajo de Suficiencia Profesional titulado: “**PLAN DE MANTENIMIENTO PARA INCREMENTAR LA DISPONIBILIDAD DEL ELECTROFILTRO HÚMEDO DE LA PLANTA DE ACIDO EN LA REFINERÍA DE ZINC CAJAMARQUILLA - NEXA RESOURCES**”, presentado por el señor Bachiller en Ingeniería Mecánica **AÑAMURO APAZA, MAURO**

A QUIEN CORRESPONDA:

El Presidente del Jurado del señor bachiller en Ingeniería Mecánica **AÑAMURO APAZA, MAURO**, manifiesta que la Exposición de su Informe de Trabajo de Suficiencia Profesional, se realizó en forma virtual, mediante lasala <://meet.google.com/ktd-ynee-ofn> el día viernes 12 de Noviembre del 2021 a las 15:35 horas, no encontrándose observación alguna, ni correcciones que incluir, el mismo que en su oportunidad fue cuidadosamente evaluado por cada uno de los miembros del Jurado, no presentando ninguna observación en su estructura metodológica y contenido temático.

En tal sentido, en mi calidad de Presidente de Jurado, emito el presente informe favorable para los fines pertinentes.

Bellavista, 12 de Noviembre del 2021



Mg. ARTURO PERCEY GAMARRA CHINCHAY
Presidente de Jurado de Exposición

“PLAN DE MANTENIMIENTO PARA INCREMENTAR LA
DISPONIBILIDAD DEL ELECTROFILTRO HUMEDO DE LA PLANTA DE
ACIDO EN LA REFINERÍA DE ZINC CAJAMARQUILLA - NEXA
RESOURCES”

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico a mi padre que en vida me supo aconsejar y motivar a ser un profesional con principios. A mi Madre por su amor incondicional, por estar siempre en mi esquina dándome palabras de aliento ante cualquier adversidad de la vida

AGRADECIMIENTO

A mis padres por todo el sacrificio y esfuerzo que han realizado para darme una educación de calidad.

A todas las personas que me rodean, amigos y familiares que siempre me brindan el apoyo en todo momento.

A todos los docentes de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad del Callao por su excelente labor en clase.

A mi asesor, el Ing. Mamani por su apoyo y dedicación en cumplir el objetivo.

INTRODUCCIÓN

Actualmente la Refinería Cajamarquilla utilizan diferentes formas y métodos en la gestión del mantenimiento de los equipos, para brindar una alta disponibilidad mecánica, confiabilidad y eficiencia con el fin de cumplir con los objetivos trazados de Producción, Seguridad y Medio Ambiente.

Actualmente la operación de Planta está siendo afectada en la disminución del 10% de la capacidad de Producción y a su vez la contaminación de Gases (SO₂ y SO₃) que van contra la Seguridad y el Medio Ambiente es por eso que NEXA RESOURCES - Refinería de Cajamarquilla, realiza la intervención de Equipos Críticos con la finalidad de dar mantenimiento y mejoras a equipos, instalaciones y componentes de proceso que no pueden ser intervenidos durante la operación de la planta; así como también garantizando con estas actividades la continuidad de las operaciones.

Uno de los equipos importantes en la cadena de producción es el ELECTROFILTRO HUMEDO, el cual tiene problema en su normal funcionamiento la cual ocasiona la baja disponibilidad mecánica del equipo ocasionando paradas intempestivas y la baja captación ocasionando la disminución de producción.

Con el fin de mejorar la disponibilidad del equipo se opta en elaborar un conjunto de actividades con el fin de mejorar la operatividad del equipo la cual se genera un grupo responsable para realizar la planificación en coordinación con el Área de Mantenimiento de NEXA RESOURCES y la Empresa CONTRATISTA – INTECSA S.A, quienes se identificaron en todo momento con las políticas establecidas en NEXA RESOURCES para lograr todas las actividades Planificadas.

Debido a las constantes paradas intempestivas por diversas fallas en un periodo de 1 año, se ha optado en realizar un plan de mantenimiento con la finalidad de aumentar la disponibilidad de este equipo al 100%.

La metodología que se ha optado para realizar una correcta evaluación en el análisis de modos y efectos de en todo el equipo la cual nos ha permitido identificar las acciones a plasmar en nuestro Plan de Mantenimiento.

Para elaborar el Plan de Mantenimiento se requiere de una serie de acciones la cual se necesita plasmar la cantidad de recursos (materiales, repuestos, equipos, personal calificado, etc.) estas acciones tienen un tiempo límite de entrega de 5 meses con todos los responsables tanto de la parte técnica como el área de Planificación la cual se requiere tener para la elaboración de un Plan la cual incluye todas las actividades a realizar asignando el tiempo, recurso y el personal calificado.

En la elaboración se tiene en cuenta todas las actividades teniendo en cuenta ruta crítica en la cual se incluye actividades secundarias. El Plan de mantenimiento para su intervención es de 16 días.

ÍNDICE

I. ASPECTOS GENERALES	8
1.1 Objetivos	8
1.1.1 Objetivo General.....	8
1.1.2 Objetivos específicos	8
1.2 Organización de la Empresa o Institución	8
1.2.1 Antecedentes históricos	8
1.2.2 Filosofía empresarial	9
1.2.3 Estructura organizacional.....	10
II. FUNDAMENTACIÓN DE LA EXPERIENCIA PROFESIONAL	11
2.1 Marco Teórico	11
2.1.1 Antecedentes de Estudio:	11
2.1.2 Bases teóricas	12
• Sistemas de Mantenimiento	12
• Filosofía de Mantenimiento	13
• Planeación de mantenimiento	15
• Programación del mantenimiento	16
• Estrategias para el análisis de falla.....	16
• Teoría de fallas.....	19
• Análisis de Modos y Efectos de Fallas Funcionales	21
• Planta de Ácido Sulfúrico	23
• Electrofiltro Húmedo.....	25
2.1.3 Aspectos normativos	26
2.1.4 Simbología técnica	27
2.2 Descripción de las actividades desarrolladas	28
2.2.1 Cargos y funciones desempeñadas	28
2.2.2 Etapas de las actividades.....	30
2.2.3 Diagrama de flujo	31

2.2.4 Cronograma de actividades	31
III. APORTES REALIZADOS	32
3.1 Planificación, ejecución y control de etapas	32
3.1.1 ETAPA 1: Análisis y clasificación de fallas funcionales del Electrofiltro Húmedo	32
3.1.2 ETAPA 2: Clasificación de actividades de mantenimiento.....	38
3.1.3 ETAPA 3: Implementación del plan de Mantenimiento.....	41
3.1.4 ETAPA 4: Ejecución de actividades y medición de resultados .	46
3.2 Evaluación técnica – económica.....	63
3.3 Análisis de resultados	66
IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	67
4.1 Discusión.....	67
4.2 Conclusiones.....	68
V. RECOMENDACIONES	69
VI. BIBLIOGRAFÍA.....	70
VII. ANEXOS.....	72

TABLAS

Tabla 1. Lista de equipos depuración húmeda	24
Tabla 2. Cronograma de actividades	32
Tabla 3. Línea de tiempo – días de parada de planta	33
Tabla 4. Criterios de la evaluación para un diseño AMEF	34
Tabla 5. Análisis de modo de falla y sus efectos del EFH	34
Tabla 6. Alcance de actividades	39
Tabla 7. Lista de materiales para fabricación	39
Tabla 8. Lista de materiales para suministro	40
Tabla 9. Lista de recurso de mano de obra calificada	41
Tabla 10. Plan de adjudicación del EFH	42
Tabla 11. Descripción de materiales partes del equipo	42
Tabla 12. Lista de equipos y herramientas	47
Tabla 13. Porcentaje de Avance diario - Real vs planificado	59
Tabla 14. Valores sombrero chino de aisladores	61
Tabla 15. Medidas de estructura superior	61
Tabla 16. Medidas de tuberías de plomo (tubo colector)	61
Tabla 17. Medidas de deflector	62
Tabla 18. Medidas de ángulos de bastidor inferior	62
Tabla 19. Medidas de bastidor superior	62
Tabla 20. Medidas de bastidor inferior	63
Tabla 21. Costo por ejecución total del Mantenimiento	63
Tabla 22. Costo unitario por el servicio de reparación	63
Tabla 23. Costo unitario por el servicio de cambio de componentes	64
Tabla 24. Costo unitario por el servicio de suministro	64

Tabla 25. Capacidad de producción	64
Tabla 26. Perdida de producción.....	65
Tabla 27. Inversión del Mantenimiento.....	65
Tabla 28. Ahorro por Producción anual.....	66

FIGURAS

Figura 1. Organigrama de la empresa	10
Figura 2. Organigrama del Servicio	10
Figura 3. Sistema típico de mantenimiento.....	13
Figura 4. Resumen de las estrategias de mantenimiento.....	15
Figura 5. Curva de la Bañera	18
Figura 6. Diagrama de proceso depuración húmeda – Planta de Acido	24
Figura 7. Esquema Electrofiltro Húmedo	26
Figura 8. Línea de Tiempo	33
Figura 9. Rotura de soporte inferior del EFH	35
Figura 10. Rotura de soporte superior del EFH	35
Figura 11. Rotura de cubierta de plomo de base cónica del EFH	36
Figura 12. Rotura de electrodo del EFH	36
Figura 13. Rotura de ángulo de bastidor inferior del EFH	37
Figura 14. Rotura de cubierta de plomo en techo de EFH	37
Figura 15. Rotura de cubierta en ducto de salida de EFH.....	38
Figura 16. Fabricación de base cónica de EFH.....	43
Figura 17. Fabricación de techo superior de EFH	43
Figura 18. Fabricación de bastidor superior de EFH	44
Figura 19. Fabricación de bastidor inferior de EFH	44
Figura 20. Fabricación de canales superior de EFH.....	45
Figura 21. Fabricación de ángulos inferiores de EFH.....	45
Figura 22. Fabricación de ángulos inferiores de EFH.....	46
Figura 23. Zona de almacén temporal y centro de acopio.....	47
Figura 24. Retiro de aislador, electrodos y contrapesas.....	48

Figura 25. Retiro de techo de EFH	49
Figura 26. Cambio de piso cónico de parte inferior de EFH.....	50
Figura 27. Retiro de estructura interna EFH.....	51
Figura 28. Montaje de manhole lateral EFH.....	52
Figura 29. Limpieza de ases de tubo colector de EFH.....	53
Figura 30. Reparación piso espejo superior.....	53
Figura 31. Reparación techo espejo inferior (externo)	54
Figura 32. Reparación techo espejo inferior (interno)	54
Figura 33. Reparación del marco, ducto de salida	55
Figura 34. Reparación de marco del ducto de salida (terminado).....	55
Figura 35. Reparación ducto de ingreso del EFH	56
Figura 36. Montaje de techo del EFH	56
Figura 37. Montaje de sistema de inyección y drenaje del EFH	57
Figura 38. Alineamiento de electrodos y pesas.....	58
Figura 39. Montaje del ducto de salida.....	58
Figura 40. Montaje del ducto de salida.....	59
Figura 41. Curva S – Mantenimiento de EFH.....	60

ANEXOS

Anexo 1. Organigrama General de INTECSA	72
Anexo 2. Organigrama del Proyecto – Mantenimiento de EFH.....	73
Anexo 3. Diagrama de Flujo de Proceso de la Planta de Acido	74
Anexo 4. Diagrama de Flujo del Electrofiltro Húmedo	75
Anexo 5. Cronograma de actividades de las Etapas	76
Anexo 6. Lista de Materiales para la fabricación y suministro	77
Anexo 7. Plan de adjudicaciones de Fabricación y Suministro	78
Anexo 8. Plano de Fabricación del Bastidor Superior del EFH	79
Anexo 9. Plano de Fabricación del Bastidor Inferior del EFH.....	80
Anexo 10. Plano de Fabricación de Soporte Superior del EFH.....	81
Anexo 11. Plano de Fabricación de Base Cónica del EFH	82
Anexo 12. Plano de Fabricación de Manhole Inferior del EFH	83
Anexo 13. Plano de Fabricación de Manhole Superior del EFH	84
Anexo 14. Plano de Fabricación de Manhole Lateral del EFH	85
Anexo 15. Plano de Fabricación de Ducto de Salida del EFH	86
Anexo 16. Plano de Fabricación de Ducto de Entrada del EFH.....	87
Anexo 17. Plano de Fabricación de Tapa Superior del EFH	88
Anexo 18. Cronograma de Mantenimiento General	89
Anexo 19. Avance Diario del Mantenimiento – Curva S.....	93
Anexo 20. Registro de Medidas Post – Mantenimiento	94

I. ASPECTOS GENERALES

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo General

Elaboración del Plan de Mantenimiento para incrementar la disponibilidad del Electrofiltro Húmedo de la Planta de Acido en la Refinería de Zinc Cajamarquilla - Nexa Resources.

1.1.2 Objetivos específicos

- Definir las fallas comunes realizando el Análisis de Modo y Efectos de Falla.
- Elaborar el Plan de Mantenimiento para aumentar la producción y eliminando las paradas intempestivas del equipo.
- Ejecutar el plan de mantenimiento con el fin de incrementar la confiabilidad al equipo y recuperar su capacidad de producción.

1.2 Organización de la Empresa o Institución.

1.2.1 Antecedentes históricos

INTECSA S.A. es una empresa metal mecánica fundada el 02 de setiembre de 2012, y hace más de 9 años brinda soluciones integrales de calidad a través de la fabricación, reparación, mantenimiento y soldadura de estructuras metálicas y plantas de procesamiento de mineral.

Somos una empresa dedicada al servicio de fabricación, montaje y mantenimiento de estructuras metálicas y obras civiles en el sector industrial y minero. Nuestra capacidad competitiva se basa en el excelente cumplimiento de trabajos, para eso contamos con máquinas modernas y un sistema de gestión integrado en seguridad, calidad y medio ambiente.

A través del tiempo nos hemos consolidado como empresa y dentro nuestra cartera de clientes contamos los siguientes clientes:

- NEXA RESOURCES

- ETERNIT
- SANTA CATALINA
- CONFIPETROL
- GYPLAC
- ANITA FOOD
- CASAPALCA

1.2.2 Filosofía empresarial

El trabajo, constancia, orden y disciplina es el factor del éxito de nuestra empresa. Somos una empresa que nos esforzamos día a día para dar a nuestros clientes lo mejor de nosotros a fin de brindarle una buena y cordial atención y así copar todas sus necesidades dentro del rubro en el cual nos hemos desarrollado. Estamos dispuestos a emplear todo nuestro potencial, conocimiento y calidad humana para cumplir nuestros objetivos.

En INTECSA S.A. creemos que nuestros colaboradores son parte fundamental de nuestra organización, quienes están orientados a dar soluciones de manera segura, saludable y responsable, promoviendo la prevención, manteniendo un ambiente sano y seguro en el desarrollo toda actividad que se les encomiende.

Misión

Satisfacer las necesidades y expectativas de nuestros clientes brindando soluciones integrales sustentadas en los más altos estándares de calidad internacionales, procurando el bienestar de nuestros empleados junto con su desarrollo técnico y profesional, con respeto al ambiente y una mejora continua.

Visión

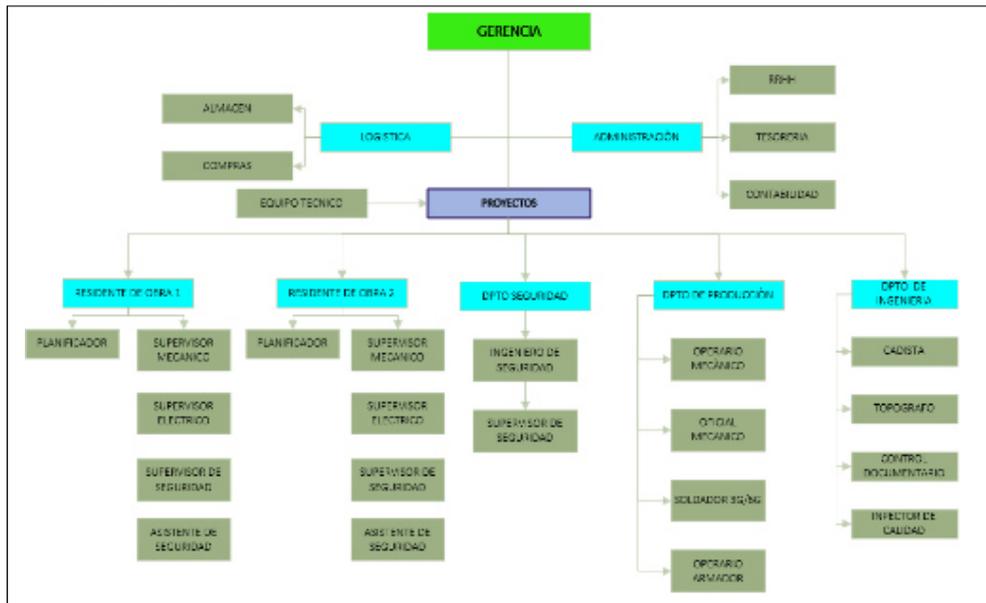
Ocupar una posición de liderazgo en la prestación de servicios mecánicos para los diferentes sectores productivos del país; en términos de calidad y entrega oportuna de los proyectos contratados, siendo esta la mayor cualidad por la cual somos y seguiremos siendo reconocidos; en un ambiente que promueve el trabajo en equipo, la mejora continua y bienestar de nuestros trabajadores, con

una actitud proactiva encaminada hacia la solución de las necesidades de nuestros clientes y el ambiente.

1.2.3 Estructura organizacional

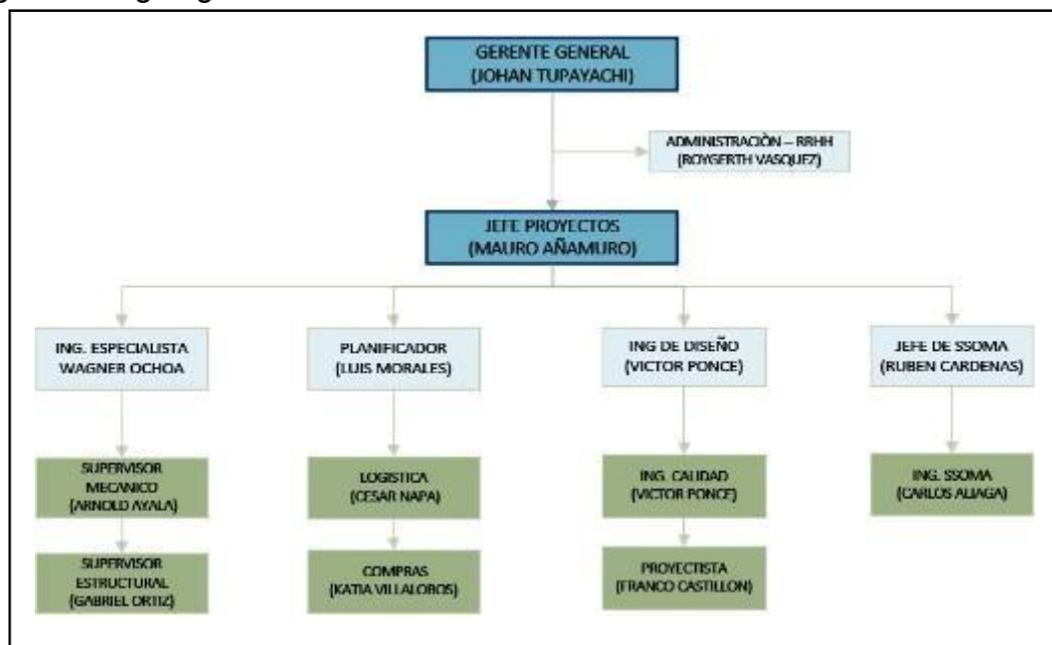
Dentro la organización se tiene como cabeza de Equipo al Gerente General y 3 Áreas de Soporte.

Figura 1. Organigrama de la empresa



Fuente: Elaboración propia

Figura 2. Organigrama del Servicio



Fuente: Elaboración propia

II. FUNDAMENTACIÓN DE LA EXPERIENCIA PROFESIONAL

2.1 Marco Teórico

2.1.1 Antecedentes de Estudio:

Nacional:

- (Mory, Montesinos, 2018) en su tesis titulado “**Diagnostico Operativo Empresarial de la Planta de Acido y Oxigeno de Southern Perú**”, describe como realizar mejoras operativas en la producción de cobre y creación de valor.
- (Quintanilla , 2015), en su tesis titulado “**Estudio Técnico de ocurrencia de cortocircuitos en la Electrodeposicion de Zinc para mejorar su eficiencia – Votorantim Metais S.A. - Cajamarquilla**”, describe el estudio de las ocurrencias de cortocircuito en electrodeposición de zinc con la finalidad de mejorar la eficiencia de corriente.
- (Huamaccto, Aurea, 2015), en su tesis titulado “**Efectos de las Variables de Proceso y Mantenimiento en Precipitadores Electrostáticos**”, describe el desarrollo de un diagnostico del deterioro de precipitadores Electrostáticos (Planta de acido y oxigeno SPCC) enfocado a los métodos de mantenimiento reactivo considerando cada variable delo proceso como efecto directo en corrosión, fluencia lenta y stress térmico.

Internacional:

- (Delgado, 2012) en su tesis titulado “**Evaluación de Sistema de limpieza de gases en el electrofiltro de los Silos en la Empresa comandante Ernesto Che Guevara**”, describe la evaluación de limpieza de gases en el Electrofiltro donde se empleó un procedimiento de calculo que tiene en cuenta las principales variables que influyen en su instalación.
- (Gajardo, 2018) en su tesis titulado “**Estudio y Evaluación del Precipitadores Electrostático en Cementos Bio Bio**”, describe el estudio del funcionamiento del electrofiltro teniendo en cuenta principios

de funcionamiento, sus características principales, factores que se puedan ver relacionados y deberán tener en cuenta para la correcta aplicación.

- (Carmona , 2019) en su tesis titulado “***Estrategia para la evaluación de las posibilidades de modificación de una planta de Acido Sulfúrico***”, evaluar las posibilidades de crecimiento de producciones de la industria química para ello se propone un procedimiento heurístico que incluye la posibilidad de una nueva inversión modernizar e intensificar una evaluación existente.

2.1.2 Bases teóricas

- **Sistemas de Mantenimiento**

(Duffuaa, y otros, 2002) El mantenimiento se define como la combinación de actividades mediante las cuales un equipo o un sistema se mantienen o se restablece a un estado en el que puede realizar las funciones designadas. Para producir con un alto nivel de calidad, el equipo de producción debe de operar dentro de las especificaciones técnicas las cuales se mantienen y alcanzan mediante las acciones oportunas de mantenimiento.

Un sistema de mantenimiento puede verse como un modelo sencillo de entrada y salida. Las entradas de dicho modelo son mano de obra, administración, herramientas, equipos, repuestos, etc., y la salida es equipo funcionado, confiable y bien reparado para lograr la operación planeada de la planta. Esto nos permite optimizar los recursos para aumentar al máximo los resultados de un sistema de mantenimiento. En la figura 3 se muestra un sistema típico de mantenimiento. Se muestra las actividades necesarias para hacer que el sistema sea funcional: planeación, organización y control para optimizar he incrementar sus salidas y así lograr la mejor utilización de los equipos y maquinas en operación.

Este sistema de mantenimiento a través de sus controles establecidos da la oportunidad de realizar un análisis de sus resultados para establecer oportunidad de mejoras (p.29-31).

Figura 3. Sistema típico de mantenimiento



Fuente: Libro Sistemas de mantenimiento, planeación y control

- **Filosofía de Mantenimiento**

(Duffuaa, y otros, 2002) La filosofía del mantenimiento es básicamente la de tener un nivel mínimo de personal de mantenimiento que sea consistente con la optimización de la producción, la confiabilidad y disponibilidad frente a fallas potenciales de acuerdo con las horas de funcionamiento o un calendario establecido. En la determinación de la frecuencia generalmente se necesitan conocimiento de la distribución de las fallas o la confiabilidad del equipo.

El objetivo de un mantenimiento es aumentar al máximo la disponibilidad y confiabilidad del equipo llevando a cabo un mantenimiento planeado. Para lograr esta filosofía, las siguientes estrategias pueden desempeñar un papel eficaz si se aplican en la combinación y forma correctas (p. 32).

Mantenimiento predictivo: (Duffuaa, y otros, 2002) mantenimiento que se lleva a cabo con base a las condiciones conocidas del equipo. La condición del equipo se determina vigilando los parámetros claves del equipo cuyos valores se ven afectados por la condición de este. Las técnicas de mantenimiento basado en las condiciones que se aplican más comúnmente son el análisis de vibraciones, el análisis de aceites lubricantes, la termografía, el ultrasonido, el monitoreo de efectos eléctricos y los líquidos penetrantes (p. 33).

Mantenimiento Preventivo: (Duffuaa, y otros, 2002) es el destinado a la conservación de equipos o instalaciones mediante realización de revisión y reparación que garanticen su buen funcionamiento y fiabilidad, donde estas actividades se realizan por tiempo, kilometraje, horas de funcionamiento, etc (p. 33).

Detección de fallas: (Duffuaa, y otros, 2002) es un acto o inspección que se lleva a cabo para evaluar el nivel de presencia inicial de fallas (p. 33).

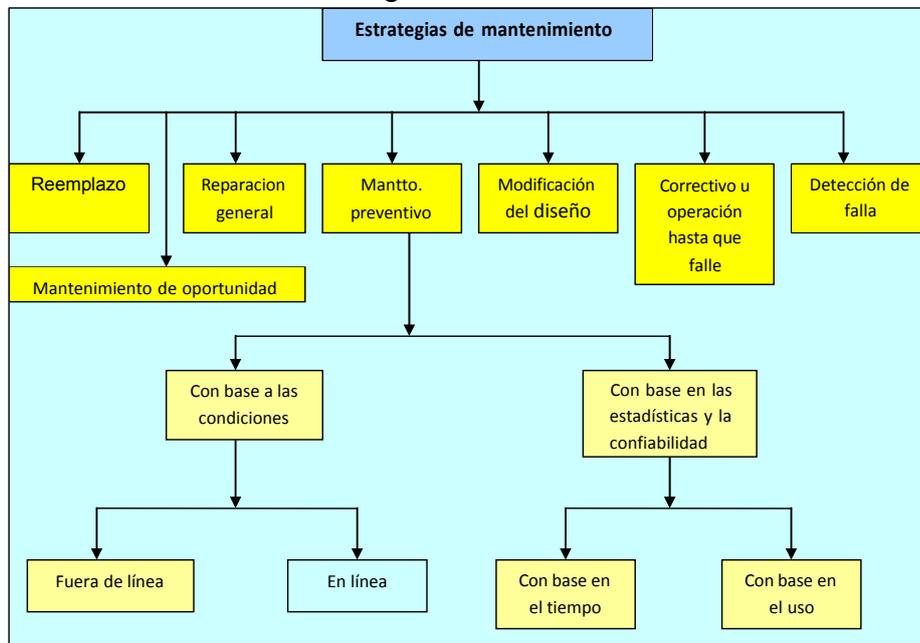
Modificación del diseño: (Duffuaa, y otros, 2002) se lleva a cabo para hacer que un equipo alcance una condición que sea aceptable en ese momento. Esta estrategia implica mejoras y ocasionalmente, expansión de fabricación y capacidad. La modificación del diseño por lo general requiere una coordinación con la función de ingeniería y otros departamentos dentro de la organización p. 33).

Reparación general (Overhaul): (Duffuaa, y otros, 2002) Es un examen completo y el restablecimiento de un equipo o sus componentes principales a una condición estable. Esta es generalmente una tarea de gran envergadura (p. 33).

Reemplazo: (Duffuaa, y otros, 2002) Esta estrategia implica reemplazar el equipo en lugar de darle mantenimiento principalmente por sus horas de operación acumuladas y antigüedad. Puede ser reemplazo planeado o un reemplazo ante una falla

Cada una de estas estrategias de mantenimiento tiene su función en operación de la planta. Es la mezcla óptima de estas estrategias la que da por resultado la filosofía de mantenimiento más eficaz. El tamaño de la planta y su nivel de operación planeado, junto con las estrategias de mantenimiento aplicable, puede ayudar a estimar la carga de mantenimiento o las salidas deseadas del sistema de mantenimiento (p. 34).

Figura 4. Resumen de las estrategias de mantenimiento



Fuente: Libro Sistemas de mantenimiento, planeación y control

- **Planeación de mantenimiento**

(Duffuaa, y otros, 2002) La planeación de mantenimiento determina los recursos necesarios para satisfacer la demanda de trabajos de mantenimiento. Estos recursos incluyen: la mano de obra, material, repuesto, equipo, herramientas e infraestructura. Debido a que la carga de mantenimiento es una variable aleatoria, no se puede determinar el número exacto de los diversos tipos de técnicos. Por lo tanto sin pronósticos razonablemente exactos de la demanda futura de trabajos no se puede planear la cantidad de personal a largo plazo. Esta menor cantidad de técnicos probablemente dará como resultado una acumulación de trabajos de mantenimiento pendientes, estos pueden

completarse haciendo que los trabajadores existentes laboren tiempo extra o buscando ayuda exterior de contratistas (p. 35-36).

- **Programación del mantenimiento**

(Duffuaa, y otros, 2002) La programación del mantenimiento es el proceso de asignación de recursos y personal para los trabajos que tienen que realizarse en ciertos momentos. Es necesario asegurar que los trabajadores, las piezas y los materiales requeridos estén disponibles antes de poder programar una tarea de mantenimiento.

La eficacia de un sistema de mantenimiento influye mucho del programa de mantenimiento que se haya desarrollado y su capacidad de adaptarse a los cambios (p. 36-37).

- **Estrategias para el análisis de falla**

(Denisis, y otros, 2012) En los últimos tiempos, se ha empezado a hablar del concepto de confiabilidad, en la medida que se comprendió que no era suficiente lograr una alta disponibilidad, sino también disminuir al mínimo la probabilidad de falla de las máquinas críticas durante la operación, es decir lograr conseguir una alta confiabilidad.

Las consecuencias de una falla pueden ir desde el lucro cesante o pérdida de producción, pasando por las horas hombre improductivas de operaciones, hasta la degradación y rotura de las propias máquinas.

Una alta disponibilidad no implica necesariamente una alta confiabilidad, pero una alta confiabilidad si implica una buena disponibilidad y seguridad, en la medida que la maquinaria, el proceso o equipos, presentan una baja probabilidad de falla. Para el caso de la maquinaria pesada, la confiabilidad será el producto de la confiabilidad individual de cada sistema que la compone.

Cuando hay una falla.

Cuando la pieza queda completamente inservible.

Cuando a pesar de que funciona no cumple su función satisfactoriamente. Cuando su funcionamiento es poco confiable debido a las fallas y presenta riesgos

Causas:

1. Mal diseño, mala selección del material.
2. Imperfecciones del material, del proceso y/o de su fabricación.
3. Errores en el servicio y en el montaje.
4. Errores en el control de Calidad, mantenimiento y reparación.
5. Factores ambientales, sobrecargas.

Generalmente una falla es el resultado de uno o más de los anteriores factores.

Deficiencia en el Diseño.

1. Errores al no considerar adecuadamente los efectos de las entallas.
2. Insuficientes criterios de diseño por no tener la información suficiente sobre los tipos y magnitudes de las cargas especialmente en piezas complejas (No se conocen los esfuerzos a los que están sometidos los elementos)
3. Cambios al diseño sin tener en cuenta los factores elevadores de los esfuerzos.

Deficiencias en la selección del material:

1. Datos poco exactos del material (ensayo de tensión, dureza).
2. Empleo de criterios erróneos en la selección del material.
3. Darle mayor importancia al costo del material que a su calidad.

Imperfecciones en el Material:

1. Segregaciones, porosidades, incrustaciones, grietas (generadas en el proceso del material) que pueden conducir a la falla del material

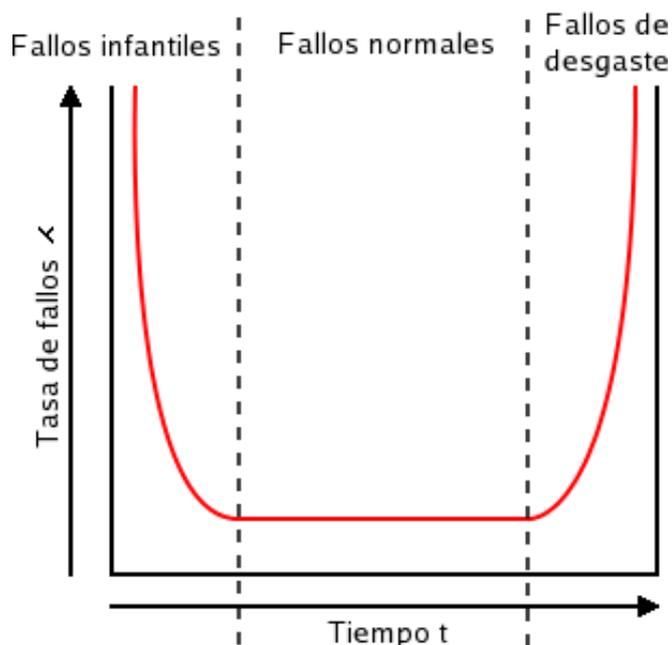
Deficiencias en el Proceso:

1. Marcas de maquinado pueden originar grietas que conducen a la falla.
2. Esfuerzos residuales causados en el proceso de deformación en frío o en el tratamiento térmico que no se hacen bajo las normas establecidas (Temperatura, Tiempo, Medio de enfriamiento, Velocidad).
3. Recubrimientos inadecuados.
4. Soldaduras y/o reparaciones inadecuadas.

Curva de la bañera.

La curva de la bañera, es una gráfica que representa los fallos durante el período de vida útil de un sistema o máquina. Se llama así porque tiene la forma una bañera cortada a lo largo.

Figura 5. Curva de la Bañera



Fuente: Monografias.com

- **Teoría de fallas.**

(Denisis, y otros, 2012) En ella se pueden apreciar tres etapas:

Fallos iniciales: esta etapa se caracteriza por tener una elevada tasa de fallos que desciende rápidamente con el tiempo. Estos fallos pueden deberse a diferentes razones como equipos defectuosos, instalaciones incorrectas, errores de diseño del equipo, desconocimiento del equipo por parte de los operarios o desconocimiento del procedimiento adecuado.

Fallos normales: etapa con una tasa de errores menor y constante.

Los fallos no se producen debido a causas inherentes al equipo, sino por causas aleatorias externas. Estas causas pueden ser accidentes fortuitos, mala operación, condiciones inadecuadas u otros.

Fallos de desgaste: etapa caracterizada por una tasa de errores rápidamente creciente. Los fallos se producen por desgaste natural del equipo debido al transcurso del tiempo.

Ésta es una de doce formas que se han tipificado sobre los modos de fallas de equipos, sistemas y dispositivos

Programa de Detección y Análisis de Fallas.

El programa de Detección analítica de Fallas DAF, proporciona las habilidades y destrezas para la solución y prevención de problemas en ambientes productivos, acompañando los esfuerzos de mejoramiento continuo.

Beneficios:

Algunos de los beneficios más evidentes del programa son:

- Reducción del tiempo de reparación.
- Minimización de tiempo de preparación y arranque de equipos.
- Disminución de fallas repetitivas.

- Aumento en la disponibilidad de equipos.
- Reducción de retrabajos y desperdicio.
- Reducción en la frecuencia de fallas.
- Mejora del mantenimiento preventivo.
- Reducción de costos por fallas de calidad.
- Mayor eficiencia en el trabajo en equipo.

Es indispensable que el departamento de conservación cuente invariablemente con un inventario de conservación, el cual es un listado de los recursos por atender, sean éstos equipos, instalaciones o construcciones; y que, además, se haya establecido el índice ICGM(RIME).

De esta forma, utilizando el código máquina y combinándolo con el principio de Pareto, obtenemos el inventario jerarquizado de conservación (vital, importante y trivial).

El análisis de falla es un examen sistemático de la pieza dañada para determinar la causa raíz de la falla y usar esta información para mejorar la confiabilidad del producto.

El análisis de falla está diseñado para:

- a) Identificar los *modos de falla* (la forma de fallar del producto o pieza).
- b) Identificar el *mecanismo de falla* (el fenómeno físico involucrado en la falla).
- c) Determinar la *causa raíz* (el diseño, defecto, o cargas que llevaron a la falla)
- d) Recomendar métodos de prevención de la falla.

Causas comunes de falla (la lista no es exhaustiva):

- Mal uso o abuso de los equipos.

- Errores de montaje.
- Errores de fabricación.
- Mantenimiento inadecuado.
- Errores de Diseño.
- Material inadecuado.
- Tratamientos térmicos incorrectos.
- Condiciones no previstas de operación.
- Inadecuado control o protección ambiental.
- Discontinuidades de colada.
- Defectos de soldadura.
- Defectos de forja.

- **Análisis de Modos y Efectos de Fallas Funcionales.**

(Denisis, y otros, 2012) Un A.M.E.F. funcional se basa en la estructura funcional del sistema en lugar de los componentes físicos que lo componen. Un A.M.E.F. de este tipo debe utilizarse sí cualquiera de los componentes no tienen identificación física o si el sistema es muy complejo. Es idéntico al A.M.E.F. normal, solo que los modos de fallas son expresados como fallas para desarrollar las funciones particulares de un sub-sistema.

Igualmente, el análisis funcional debe considerar las funciones primarias y secundarias, que quieren decir, las funciones para que el sub-sistema está provisto y las funciones que son solamente una consecuencia de la presencia del sub-sistema respectivamente.

Beneficios Del AMEF.

La eliminación de los modos de fallas potenciales tiene beneficios tanto a corto como a largo plazo. A corto plazo, representa ahorros de los costos de reparaciones, las pruebas repetitivas y el tiempo de paro. El beneficio a largo plazo es mucho más difícil medir puesto que se relaciona con la satisfacción del cliente con el producto y con su percepción de la calidad; esta percepción afecta las futuras compras de los productos y es decisiva para crear una buena imagen de los mismos.

Por otro lado, el AMEF apoya y refuerza el proceso de diseño ya que:

- Ayuda en la selección de alternativas durante el diseño Incrementa la probabilidad de que los modos de fallas potenciales y sus efectos sobre la operación del sistema sean considerados durante el diseño.
- Proporciona una información adicional para ayudar en la planeación de programas de pruebas concienzudos y eficientes.
- Desarrolla una lista de modos de fallas potenciales, clasificados conforme a su probable efecto sobre el cliente.
- Proporciona un formato documentado abierto para recomendar acciones que reduzcan el riesgo para hacer el seguimiento de ellas.
- Detecta fallas en donde son necesarias características de auto corrección o de leve protección.
- Identifica los modos de fallas conocidos y potenciales que de otra manera podrían pasar desapercibidos.
- Detecta fallas primarias, pero a menudo mínimas, que pueden causar ciertas fallas secundarias.
- Proporciona un punto de visto fresco en la comprensión de las funciones de un sistema.

- **Planta de Ácido Sulfúrico**

(Votorantim, 2007) La producción de ácido sulfúrico, mediante el tratamiento del SO₂ de los gases residuales del proceso de tostación.

La planta de ácido opera en condiciones auto-térmicas, es decir son autógenas y no necesitan de una fuente de calor externo sobre una concentración de SO₂ de 6.8% en volumen (en base seca) y un flujo de gas de entrada al Convertidor de 85,000 Nm³/h. Eventualmente, cuando la concentración de SO₂ es menor, se activa el sistema de precalentamiento para compensar la deficiencia de entalpía. Se obtiene un ácido con 98.5% de pureza.

El proceso catalítico de producción de ácido sulfúrico tiene las siguientes etapas básicas:

- Purificación y enfriamiento del SO₂ proveniente de los hornos de tostación para eliminar las trazas de polvo de calcina que arrastran los gases.
- Conversión catalítica del SO₂ a trióxido de azufre, en contacto con un catalizador pentaóxido de vanadio.
- Absorción del trióxido de azufre en ácido sulfúrico

Proceso de limpieza de gas húmedo:

El proceso de limpieza de gas forma parte de la planta calcinadora de zinc / de ácido sulfúrico de Refinería, Cajamarquilla, Perú.

En el proceso de limpieza de gas húmedo incluye principalmente lo siguiente:

- Depurador de enfriamiento y bombas de circulación
- Separador de gotas
- Torre de refrigeración de gas con intercambiador de calor plano y bombas de circulación
- **Precipitadores electrofiltro húmedo (W-ESP)**
- Depósito y bombas de enjuague
- Purificador de SO₂ y bombas de descarga
- Depósito decantador
- Sistema de dosificación de silicato de sodio

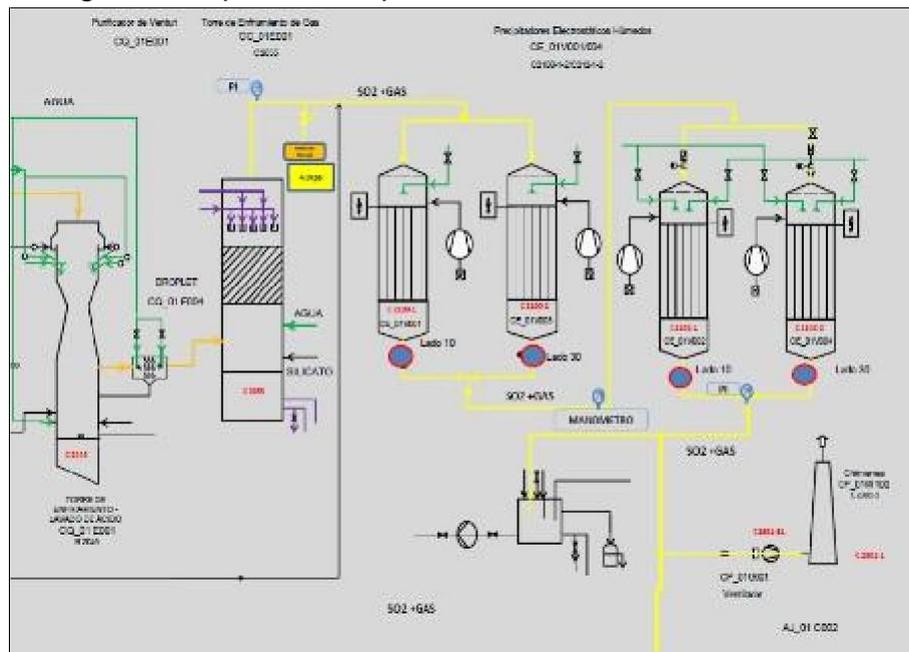
- Ventilador de puesta en marcha con pila

Tabla 1. Lista de equipos depuración húmeda

Número de equipo	Equipo	Proveedor, ciudad/pais
CC01 E002/003/004	Refrigeradores de ácido débil	APV, Kolding/Dinamarca
CQ_01 G001/2/3; CQ_01 G005/6/7; CC_01 G001/2/3; CE_01 G001/2/3	Bombas de ácido débil	Friatec, Wiesbaden/Alemania
CC_01 G004/5	Bomba de dosificación de Na ₂ SiO ₂	Sera, Immenhausen/Alemania
CE_01 V001/2/3/4	ESP (ElectroStatic Precipitator – precipitador electrostático) húmedo	GEA Bischoff, Essen/Alemania
CP_01 G001	Soplante de puesta en marcha	Rotamil, Siegen/Alemania
CQ_01 F004	Torre de refrigeración	Envimac, Oberhausen/Alemania
	Purificador de SO ₂	Envimac, Oberhausen/Alemania
CC_01 G006	Agitador de Na ₂ SiO ₂	Geppert, Erzhausen/Alemania Getriebbau Nord, Bargteheide/Alemania
	Toberas	Lechler, /Alemania
CQ_01 G008	Agitador de purificador	Geppert, Erzhausen/Alemania Getriebbau Nord, Bargteheide/Alemania

Fuente: Nexa Resources

Figura 6. Diagrama de proceso depuración húmeda – Planta de Acido



Fuente: Nexa Resources

- **Electrofiltro Húmedo**

(Votorantim, 2007) La instalación de depuración de los gases consta de cuatro Electrofiltros dispuestos en cuatro líneas en paralelo.

Cada electrofiltro consta de vestíbulos de entrada y salida, ubicados en la parte inferior y superior, respectivamente. Cada electro-filtro consta de un haz tubular que incluye 132 tubos de plomo de 244 mm de diámetro interior y 4,57 m de largo. La Temperatura de trabajo es de 50°C con una presión de 0.1 bar

Los vestíbulos son fabricados en acero con un revestimiento interno de plomo. Todas las piezas en contacto con el gas están revestidas en plomo.

En el centro de cada tubo hay un electrodo emisor, fabricado en Tantalio de 2,5 mm de diámetro. El electrodo se encuentra fijado a un marco instalado en el vestíbulo superior. En su extremo opuesto, el electrodo tiene un contrapeso de plomo.

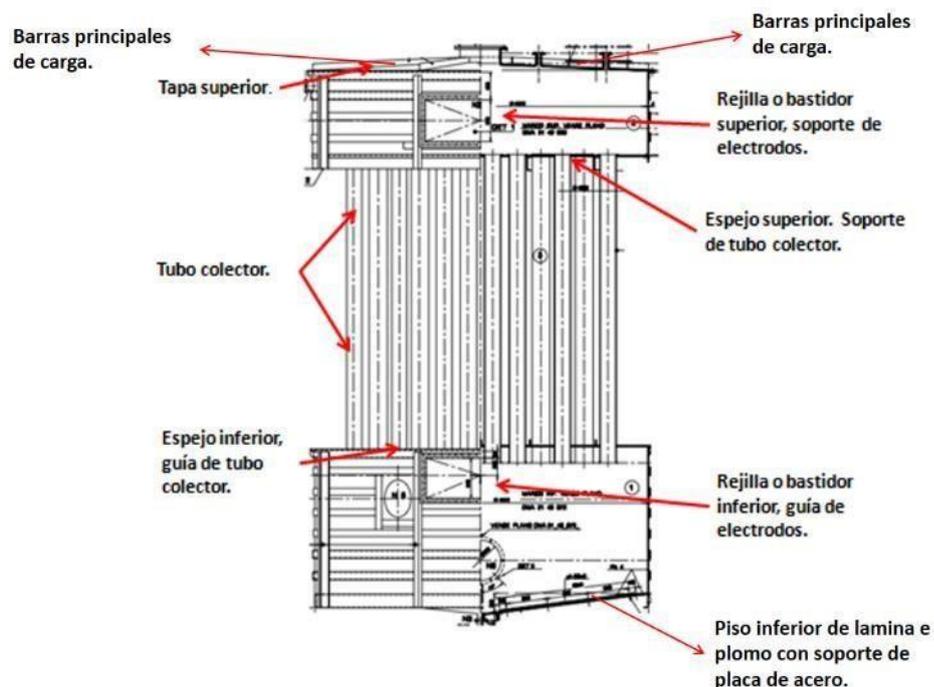
Un marco-guía colocado en el vestíbulo inferior mantiene los electrodos alineados en el centro de los tubos.

Los aisladores del marco soportante y del marco guía, así como el aislador superior de alta tensión, están instalados dentro de receptáculos que previenen todo contacto accidental. Los aisladores son calentados para evitar la condensación de humedad ambiental.

En operación, cada electro-filtro puede ser aislado del circuito de gases mediante el uso de una junta hidráulica, ubicada a la entrada y de una válvula mariposa, ubicada a la salida. La puesta fuera de servicio de un electro-filtro se lleva a cabo sin perturbar la marcha de la instalación o disminuir significativamente la remoción de neblina ácida.

Cada electro-filtro dispone además de un dispositivo de lavado que comprende una tubería interna de riego y 17 pulverizadores tipo spray de perfil lleno.

Figura 7. Esquema Electrofiltro Húmedo



Fuente: Nexa Resources

2.1.3 Aspectos normativos

- NORMA EUROPEA - EN 13306- 2017: Esta norma sirve como estándar para definir los tipos de mantenimiento que se pueden presentar en la operación de los equipos.
- NORMA UNE—EN 13460:2009: Esta norma propone el flujo de trabajo del mantenimiento y sirve como punto de partida para la elaboración de documentación necesaria. Teniendo así referencia de información técnica necesaria que se deberá de archivar y estar disponible para consulta para las correctas labores de mantenimiento.
- OHSAS 18001: Sistema de gestión que persigue como objetivo asegurar la salud y seguridad laboral en una organización (Occupational Health and Safety Assesment Series)
- Normas de Mantenimiento
- ISO 14001: Sistemas de Gestión Ambiental (SGA)
- ISO 9001: Sistemas de Gestión de la Calidad (SGA)
- ANSI: Instituto Nacional Estadounidense de Estándares

- ASME: Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos
- ASTM: American society for testing and materials.
- AISC 360: Specification for structural steel buildings.
- NTP: Norma técnica peruana.
- NACE: Asociación de Ingeniería de la corrosión.

2.1.4 Simbología técnica

- H_2SO_4 : Ácido Sulfúrico
- Gas SO_2 : El Dióxido de azufre (**SO2**) es uno de los causantes de la famosa lluvia ácida, ya que al reaccionar con el vapor de agua produciría ácido sulfúrico
- Gas SO_3 : Es generalmente un líquido incoloro. También puede existir en forma de cristales parecidos al hielo o a fibras o en forma de gas. Cuando el **SO3** se expone al aire, se hidrata rápidamente y **emite** vapores blancos. Puede reaccionar con agua para formar ácido sulfúrico.
- Concentración de acido: Concentración de una disolución es la proporción o relación que hay entre la cantidad de soluto y la cantidad de disolución.
- Depuración húmeda: Describe una variedad de dispositivos que eliminan los contaminantes presentes en gases de chimeneas de hornos, estufas u otros flujos de gases.
- Electrofiltro: Un precipitador electrostático es un dispositivo para el control de partículas que utiliza fuerzas eléctricas para movilizar las partículas de una corriente de emisión hacia las superficies de recolección. Al maximizar la fuerza del campo eléctrico, se maximiza la eficiencia de recolección.
- Contaminación de ambiente de trabajo: Es toda afectación nociva que se realiza, al aire, agua o suelo de un ambiente de trabajo producto de una actividad operativa.
- AMEF: Análisis de Modos y Efectos de Fallas Funcionales.

2.2 Descripción de las actividades desarrolladas

2.2.1 Cargos y funciones desempeñadas:

EMPRESA: INGENIERIA TECNICA SOCIOS ANONIMOS SAC

Es una empresa dedicada al servicio de fabricación, montaje y mantenimiento de estructuras metálicas y obras civiles en el sector industrial y minero.

Puesto: Jefe de Operaciones y Proyectos: (marzo 2019 –Actualidad)

Servicio: NEXA RESOURCES – Refinería Cajamarquilla

Responsable en liderar la ejecución, programación, planificación de las actividades de los diferentes proyectos en el Área de Ingeniería y Mantenimiento.

- Gestionar el estado del plazo del proyecto y las obras asignadas.
- Gestionar el estado del costo del proyecto y en las obras asignadas (controlar cronograma valorizado).
- Gestionar los procesos de licitación del proyecto y las obras de construcción asignadas.
- Gestionar la ejecución de especialidades del proyecto y de las obras asignadas, dentro de la calidad requerida.

EMPRESA: NEXA RESOURCES – REFINERÍA CAJAMARQUILLA

NEXA RESOURCES, es una empresa transnacional brasilera, líder del rubro minero dedicado a producción de Zinc Refinado y derivados. Inicia sus operaciones en Perú el 2004 y desde esa fecha se encuentra en pleno desarrollo y crecimiento.

Puesto: Supervisor de Mantenimiento: (marzo 2013 – agosto 2018)

Responsable en supervisar, ejecutar, programar, planificar, organizar y asignar actividades de mantenimiento preventivo, correctivo y predictivo de los equipos. Elaborar análisis de falla de equipos con mayor índice de averías.

EMPRESA: VOLCAN COMPAÑÍA MINERA – UNIDAD MINERA ANDAYCHAGUA

Volcan Compañía Minera es uno de los mayores productores mundiales de zinc, plomo y plata.

**Puesto: Supervisor de Mantenimiento de Planta Concentradora:
(marzo 2012 – marzo 2013)**

Responsable en supervisar, ejecutar, programar, planificar, organizar y asignar actividades de mantenimiento preventivo, correctivo y predictivo de los equipos. Elaborar análisis de falla de equipos con mayor índice de averías.

EMPRESA: COBRA PERÚ

Servicio: Planta de Almacenamiento de GLP REPSOL

Repsol es una multinacional energética y petroquímica española, con sede social en Madrid y Barcelona, que fue fundada en octubre de 1987.

Puesto: Supervisor de Mantenimiento: (abril 2010 – marzo 2012)

Responsable en supervisar, ejecutar, programar, planificar, organizar y asignar actividades de mantenimiento preventivo, correctivo y predictivo de los equipos. Cumplimiento de Indicadores de Mantenimiento (KPIs Backlogs, etc)

EMPRESA: QUIMPAC S.A. – Salinas Huacho

QUIMPAC es actualmente el único productor integrado de sal y productos químicos en el Perú, y uno de los cinco mayores productores de cloro-soda en Sudamérica.

Puesto: Supervisor de Mantenimiento: (agosto 2008 - abril 2010)

Responsable en supervisar, ejecutar, programar, planificar, organizar y asignar actividades de mantenimiento preventivo, correctivo de los equipos.

2.2.2 Etapas de las actividades

Para elaborar el Plan de Mantenimiento con la finalidad de incrementar su disponibilidad hemos clasificado en 4 Etapas, determinando en cada una de ellas actividades a desarrollar:

ETAPA 1: Análisis y clasificación de fallas funcionales del Electrofiltro Húmedo: En esta etapa se realiza la recopilación de las fallas con la finalidad de identificar todas las anomalías la cual se considera lo siguiente:

- Historial de fallas en línea de tiempo real
- Análisis de modo de falla y sus efectos.
- Identificación de fallas.

ETAPA 2: Clasificación de actividades de mantenimiento: Los tipos de falla a identificar y evaluar las actividades que se requiere para poder eliminar las fallas. Para la clasificación de considera los siguientes:

- Identificación de actividades por tipo de falla.
- Clasificación de los componentes a suministrar.
- Selección de recursos y mano de obra calificada.

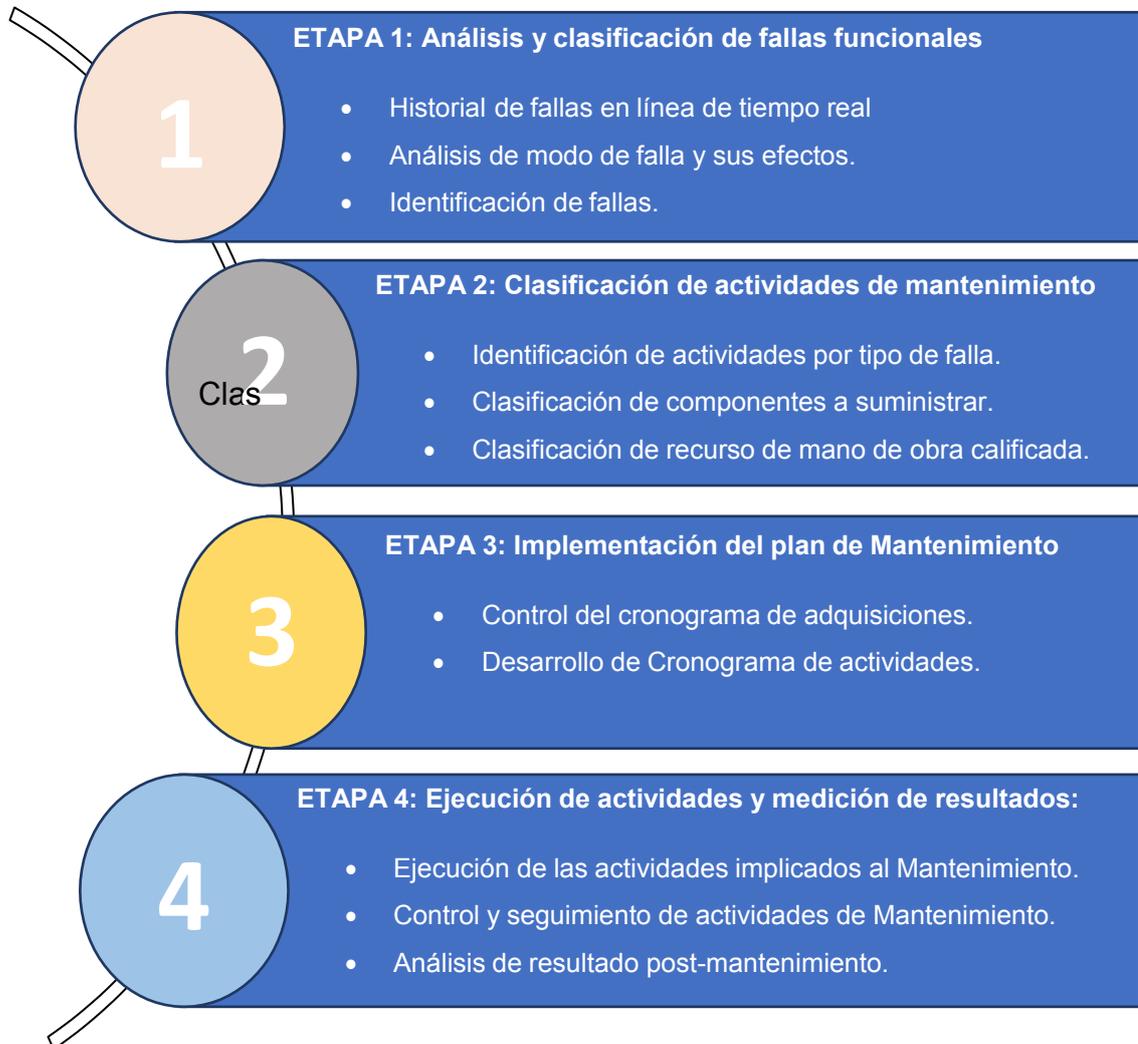
ETAPA 3: Implementación del plan de Mantenimiento: Contando con las actividades y recursos requeridos, vamos a realizar el control de los recursos para garantizar el desarrollo del cronograma de actividades.

- Control del cronograma de adquisiciones.
- Desarrollo de Cronograma de actividades.

ETAPA 4: Ejecución de actividades y medición de resultados: Para tener un buen resultado en la ejecución debemos garantizar un buen control para ello necesitamos garantizar tener los siguientes controles.

- Ejecución de las actividades implicados al mantenimiento.
- Control y seguimiento de actividades de mantenimiento
- Análisis de resultado post mantenimiento.

2.2.3 Diagrama de flujo



2.2.4 Cronograma de actividades

El cronograma para la elaboración del plan de mantenimiento se dio en un lapso de 5 meses la cual se dio teniendo en cuenta las siguientes etapas:

Tabla 2. Cronograma de actividades

Fuente: Elaboración propia

III. APORTES REALIZADOS

3.1 Planificación, ejecución y control de etapas

Los Electrofiltros húmedos, se encuentran con altos grados de corrosión en elementos internos y externos, lo cual genera fugas de dióxido de azufre comprometiendo la salud de las personas que laboran en el entorno, así como pérdidas de producción por disminución del ritmo de producción.

3.1.1 ETAPA 1: Análisis y clasificación de fallas funcionales del Electrofiltro Húmedo

- **Historial de fallas en línea de tiempo real**

Para realizar un análisis de falla de un equipo crítico se necesita el histórico de fallas y de tiempos perdidos de la línea de producción.

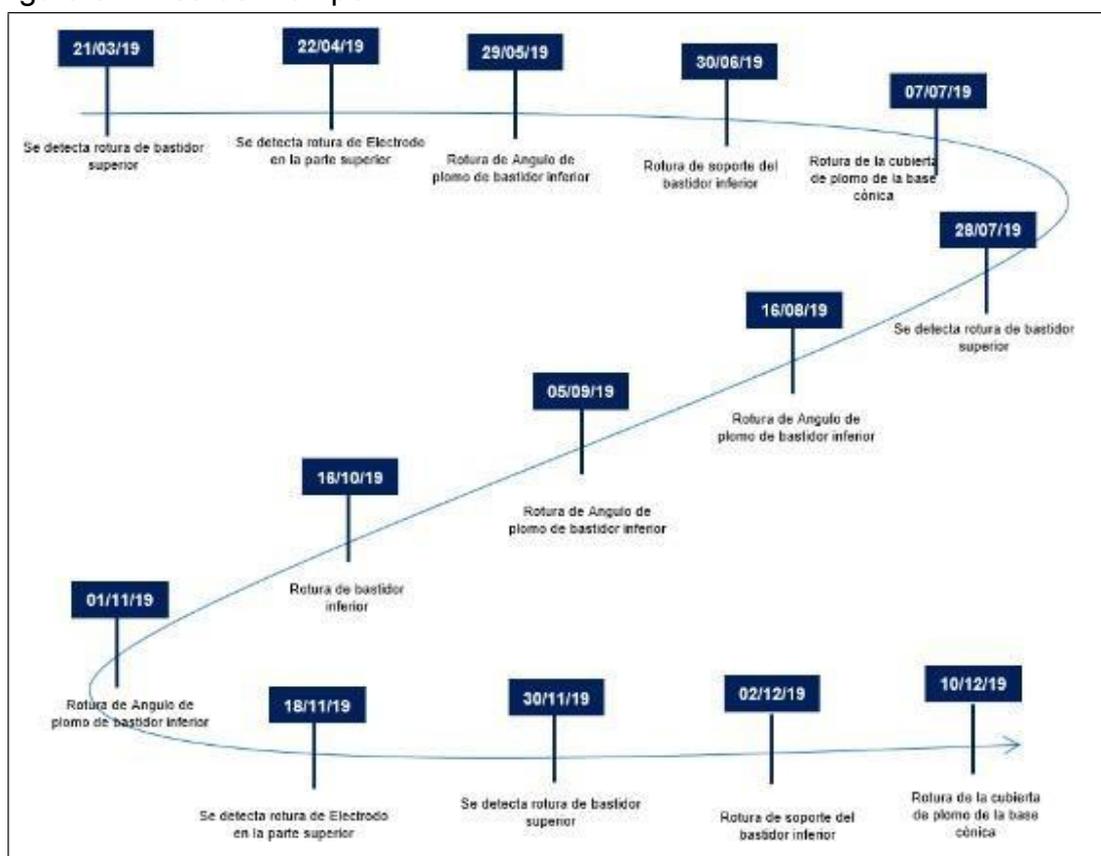
En la tabla 3 se muestra los días perdidos por falla en el Electrofiltro húmedo la cual asciende a 30 días de parada del equipo, hallando la disponibilidad del equipo obtenemos lo siguiente

$$\text{DISPONIBILIDAD} = \frac{\text{Días Trabajados (año)}}{\text{Días Totales (año)}}$$

$$\text{DISPONIBILIDAD} = \frac{330}{360} = 91.6\%$$

Se obtiene como resultado disponibilidad de 91.6%.

Figura 8. Línea de Tiempo



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3. Línea de tiempo – días de parada de planta

LINEA DE TIEMPO					
Item	Fallas de equipo	Consecuencia	Fecha	Consecuencia	Días de Parada
1	Rotura de soporte de bastidor superior	Cortocircuito	21/03/2019	Disminución de producción	3
2	Rotura de electrodo en la parte superior	Cortocircuito	22/04/2019	Disminución de producción	1
3	Rotura de ángulo de bastidor inferior	Cortocircuito	29/05/2019	Disminución de producción	2
4	Rotura de soporte del bastidor inferior	Cortocircuito	30/06/2019	Disminución de producción	3
5	Rotura de cubierta de plomo de base cónica	Emisión de gases	7/07/2019	Disminución de producción	1
6	Rotura de bastidor superior	Cortocircuito	28/07/2019	Disminución de producción	3
7	Rotura de ángulo de bastidor inferior	Cortocircuito	16/08/2019	Disminución de producción	3
8	Rotura de ángulo de bastidor inferior	Cortocircuito	5/09/2019	Disminución de producción	3
9	Rotura de bastidor inferior	Cortocircuito	16/10/2019	Disminución de producción	2
10	Rotura de ángulo de bastidor inferior	Cortocircuito	1/11/2019	Disminución de producción	2
11	Rotura de electrodo en la parte superior	Cortocircuito	18/11/2019	Disminución de producción	1
12	Rotura de soporte de bastidor superior	Cortocircuito	30/11/2019	Disminución de producción	3
13	Rotura de soporte del bastidor inferior	Cortocircuito	2/12/2019	Disminución de producción	2
14	Rotura de cubierta de plomo de base cónica	Emisión de gases	10/12/2019	Disminución de producción	1
Total de días (Parada de EFH)					30

Fuente: Elaboración propia

- **Análisis de modo de falla y sus efectos.**

Obteniendo las fallas en el transcurso del tiempo, se ha realizado el análisis de cada tipo de falla obteniendo criterios de la evaluación teniendo en cuenta el nivel de gravedad, ocurrencia y detección. El análisis nos permite tomar acciones con el fin de mejorar la disponibilidad y operatividad del Electrofiltro Húmedo.

Tabla 4. Criterios de la evaluación para un diseño AMEF

Efecto	Criterios: Severidad del efecto para AMEF	Calificacion
Alerta peligrosa	El incidente afecta la operación segura del producto o implica la no conformidad con la regulación del gobierno sin alarma.	10
Peligroso; con alarma	El incidente afecta la operación segura del producto o implica la no conformidad con la regulación del gobierno con la alarma.	9
Muy Arriba	El producto es inoperable con pérdida de función primaria.	8
Alto	El producto es operable, pero en el nivel reducido del funcionamiento.	7
Moderado	El producto es operable, pero el ítem(s) de la comodidad o de la conveniencia es inoperable.	6
Bajo	El producto es operable a un nivel reducido de funcionamiento.	5
Muy Bajo	La mayoría de los clientes notan los defectos.	4
De menor importancia	Los clientes medios notan los defectos.	3
Muy De menor importancia	El ajuste y el final o el chirrido y el ítem del traqueo no se conforma. Los clientes exigentes notan los defectos.	2
Ninguno	Ningún efecto	1

Fuente: monografias.com

Tabla 5. Análisis de modo de falla y sus efectos del EFH

ANÁLISIS DE MODOS DE FALLA Y SUS EFECTOS									
Nombre del Sistema (Título): Responsable (Dpto. / Área):			ELECTROFILTRO HUMEDO INGENIERIA Y MANTENIMIENTO						
Equipo	Componente	Modo de Fallo	Efecto	Causas	Método de detección	Gravedad	Ocurrencia	Detección	NPR inicial
Electrofiltro HUMEDO	Soporte Superior	Rotura	Cortocircuito	Falla en soldadura	Visual	8	5	9	360
	Bastidor Superior	Rotura	Cortocircuito	Falla en soldadura	Visual	8	5	9	360
	Techo superior	Fisura en cubierta de Plomo	Emisión de gases	Desgaste de Material	Visual	5	5	5	125
	Canal de Bastidor	Fisura en cubierta de Plomo	Baja Captación	Falla en soldadura	Visual	5	5	5	125
	Espejo superior	Fisura en cubierta de Plomo	Emisión de gases	Desgaste de Material	Visual	5	5	5	125
	Tubo de Electrodo	Fisura en cubierta de Plomo	Baja Captación	Desgaste de Material	Visual	5	5	5	125
	Electrodo	Rotura	Cortocircuito	Desgaste de Material	Visual	8	7	9	504
	Soporte intermedio	Rotura	Cortocircuito	Falla en soldadura	Visual	8	5	9	360
	Bastidor inferior	Rotura	Cortocircuito	Falla en soldadura	Visual	8	5	9	360
	Angulo inferior	Rotura	Baja Captación	Falla en soldadura	Visual	5	5	9	225
	Pesas de electrodo	Rotura	Baja Captación	Desgaste de Material	Visual	5	5	5	125
	Deflector Polipropileno	Rotura	Cortocircuito	Desgaste de Material	Visual	8	6	9	432
	Piso cónico	Fisura en cubierta de Plomo	Emisión de gases	Falla en soldadura	Visual	5	6	5	150
	Estructura	Fisura en cubierta de Plomo	Emisión de gases	Desgaste de Material	Visual	5	6	5	150

Fuente: Elaboración propia

- **Identificación de Falla del Electrofiltro Húmedo**

Realizando una inspección se observa fallas en los componentes del electrofiltro Húmedo donde se detalla las fallas más relevantes.

Falla en rotura de soporte inferior: Presenta desgaste de la cubierta de plomo la cual corroe a la parte de acero estructural provocando su ruptura.

Figura 9. Rotura de soporte inferior del EFH



Fuente: INTECSA

Falla en rotura de soporte superior: Presenta desgaste de la cubierta de plomo la cual corroe a la parte de acero estructural provocando su ruptura.

Figura 10. Rotura de soporte superior del EFH



Fuente: INTECSA

Falla en rotura de cubierta de plomo en base cónica: Presenta desgaste de la cubierta de plomo la cual corroe a la parte de acero estructural provocando su ruptura.

Figura 11. Rotura de cubierta de plomo de base cónica del EFH



Fuente: INTECSA

Falla por rotura de Electrodo: Presenta desgaste de electrodo de material de Tantalio la cual debido al desgaste produce la ruptura.

Figura 12. Rotura de electrodo del EFH



Fuente: INTECSA

Rotura de ángulo de bastidor inferior: Presenta desgaste de la cubierta de plomo la cual corroe a la parte de acero estructural provocando su ruptura.

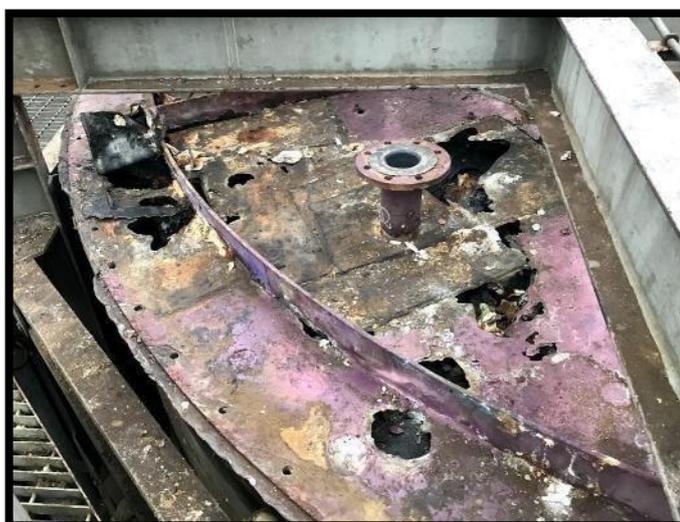
Figura 13. Rotura de ángulo de bastidor inferior del EFH



Fuente: INTECSA

Falla por rotura de cubierta de plomo en techo del EFH: Presenta desgaste de la cubierta de plomo la cual corroe a la parte de acero estructural provocando su ruptura.

Figura 14. Rotura de cubierta de plomo en techo de EFH



Fuente: INTECSA

Falla en rotura de cubierta de ducto de salida: Presenta desgaste de la cubierta de plomo la cual corroe a la parte de acero estructural provocando su ruptura.

Figura 15. Rotura de cubierta en ducto de salida de EFH



Fuente: INTECSA

3.1.2 ETAPA 2: Clasificación de actividades de mantenimiento

Los tipos de falla a identificar y evaluar las actividades que se requiere para poder eliminar las fallas.

- **Identificación de actividades por tipo de falla**

Realizar la reparación integral de los Electrofiltro húmedos en zonas internas y externas que conforman paredes, base, tapa y estructural.

A continuación, se resume las actividades a realizar:

Tabla 6. Alcance de actividades

Fuente: Elaboración Propia

- **Clasificación de componentes a fabricar y suministrar.**

Teniendo las actividades a desarrollar se realiza una lista de componentes a fabricar y suministrar con el fin de realizar el seguimiento respectivo.

Tabla 7. Lista de materiales para fabricación

MATERIALES PARA FABRICACION ELECTROFILTRO HUMEDO					
ITEM	FABRICACION	FECHA REVISION	DETALLES	MATERIAL	DESCRIPCION
1	Fabricación de bastidor superior	28-Ago	Con cubierto de plomo	9 rollos	plomo de 6mm
2	Fabricación de bastidor inferior	28-Ago	Con cubierto de plomo	6 rollos	plomo de 6mm
3	Fabricación de canales	28-Ago	Con cubierto de plomo	9 rollos	plomo de 6mm
4	Fabricación de ángulos	28-Ago	Con cubierto de plomo	6 rollos	plomo de 6mm
5	Fabricación de soporte Superior	28-Ago	Con cubierto de plomo	9 rollos	plomo de 6mm
6	Fabricación de soporte Inferior	28-Ago	Con cubierto de plomo	6 rollos	plomo de 6mm
7	Fabricación de base cónica	28-Ago	Con cubierto de plomo	9 rollos	plomo de 6mm
8	Fabricación de ducto de salida	28-Ago	Con cubierto de plomo	6 rollos	plomo de 6mm
9	Fabricación de ducto de entrada	28-Ago	Con cubierto de plomo	6 rollos	plomo de 6mm
10	Fabricación gancho intermedio	28-Ago	Con cubierto de plomo	6 rollos	plomo de 6mm
11	Fabricación gancho superior con pesas	28-Ago	Con cubierto de plomo	6 rollos	plomo de 6mm
12	Fabricación de contrapesas	28-Ago	Con cubierto de plomo	10 rollos	plomo de 6mm
13	Fabricación del techo	28-Ago	Con cubierto de plomo	28 rollos	plomo de 4mm
14	Canaletas base cónica	28-Ago	Con cubierto de plomo	3.5 rollos	plomo de 4mm
15	Espejo inferior	28-Ago	Con cubierto de plomo	7.5 rollos	plomo de 4mm

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 8. Lista de materiales para suministro

MATERIALES PARA SUMINISTRO ELECTROFILTRO HUMEDO					
ITEM	FABRICACION	FECHA REVISION	DETALLES	MATERIAL	DESCRIPCION
1	Contrapesas inferior con gancho DN 10 mm	28-Ago	En el extremo masa de plomo 10 kg	material Uranus	Solicitar proveedor
2	Electrodo superior con gancho DN 10 mm	28-Ago	En el extremo masa de plomo de 1 kg	material Uranus	Solicitar proveedor
3	Ganchos intermedios tipo S DN10 mm	28-Ago		9 rollos	Solicitar proveedor
4	Electrodo de tantalio DN 2.5 mm	28-Ago		6 rollos	Solicitar proveedor
5	Válvula mariposa DN50 de FE fundido	28-Ago		6 rollos	Marca Bray

Fuente: Elaboración Propia

- **Clasificación de recurso de mano de obra calificada.**

Para realizar el mantenimiento del Electrofiltro se requiere de personal de experiencia en cada puesto:

- Jefe de Proyecto: Profesional encargado de liderar el servicio.
- Planificador: Profesional que da soporte al Jefe proyecto la cual tiene como función realizar el cronograma de actividades seguimiento de recursos.
- Supervisor de Operaciones: Profesional que realiza actividades de ejecución en campo
- Mecánico – armador: Personal capaz de realiza actividades de desmontaje, montaje de equipos y habilitado de estructuras.
- Soldador de Plomo: Personal homologado en soldadura de plomo.
- Andamiero: Personal capacitado en armar andamios.
- Soldador Eléctrico: Personal homologado para soldadura eléctrica en 3G.

Tabla 9. Lista de recurso de mano de obra calificada

RECURSO DE MANO DE OBRA CALIFICADA								
ITEM	OCUPACION	CANTIDAD	EX.MEDICO	INDUCCION	H.PODER	CALIENTE	EECC	ALTURA
1	Jefe de Proyecto	1	x	x			x	x
2	Planeamiento	2	x	x			x	x
3	Supervisor Operaciones	3	x	x	x	x	x	x
4	Mecánico Armador	8	x	x	x	x	x	x
5	Soldador de Plomo	10	x	x	x	x	x	x
6	Andamiero	4	x	x	x	x	x	x
7	Soldador Electrico	6	x	x	x	x	x	x

Fuente: Elaboración Propia

3.1.3 ETAPA 3: Implementación del plan de Mantenimiento

Contando con las actividades a ejecutar y recursos requeridos, vamos a realizar el control de los recursos para garantizar el desarrollo del cronograma de actividades con la finalidad de optimizar tiempos.

- **Control del cronograma de adquisiciones.**

Se realiza un plan de adquisiciones la cual tiene la finalidad de realizar el seguimiento de la entrega de los equipos que está en proceso de fabricación y suministro de componentes. El control es importante porque depende mucho de la ejecución del cronograma de actividades.

El cronograma de adquisiciones tiene como tiempo de ejecución por 3 semanas

Tabla 10. Plan de adjudicación del EFH

PLAN DE ADJUDICACIONES - MANTENIMIENTO DE ELECTROFILTRO HUMEDO		UNIDAD		SEMANA 1							SEMANA 2							SEMANA 3						
ESPECIALIDAD	ACTIVIDADES	UNIDAD	CANTIDAD	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D
F A B R I C A C I O N P L E O S M T O R U C T U R A D E	Fabricación de bastidor superior	UND	1	X	X	X																		
	Fabricación de bastidor inferior	UND	1	X	X	X																		
	Fabricación de canales	UND	12				X	X	X	X														
	Fabricación de ángulos	UND	12				X	X	X	X														
	Fabricación de soporte Superior	UND	4								X	X	X	X										
	Fabricación de soporte inferior	UND	4								X	X	X	X										
	Fabricación de ducto de salida	UND	1											X	X	X								
	Fabricación de ducto de entrada	UND	1											X	X	X								
	Fabricación de manhole entrada de hombre	UND	2											X	X	X				X	X	X		
	Fabricación de manholes de ventilación	UND	4											X	X	X			X	X	X			
Fabricación de base cónica	UND	1		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Fabricación del techo	UND	1		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
S U M I N I S T R O	Contrapesos inferior con gancho DN 10 mm - material Uranus	m	18				X	X	X															
	Electrodo superior con gancho DN 10 mm - material Uranus	Und	13								X	X	X											
	Ganchos intermedios tipo S DN10 mm - material Uranus	Und	7										X	X	X	X								
	Electrodo de titanio DN 2.5 mm	Und	5								X	X	X	X	X	X								
	Válvula mariposa DN50 de FE fundido SANDERS	m	84															X	X	X				

Fuente: INTECSA

Fabricación de componentes internos del Electrofiltro Húmedo

Para la fabricación de las estructuras se han utilizado acero estructural DIN St 37.2 según las especificaciones den el siguiente cuadro:

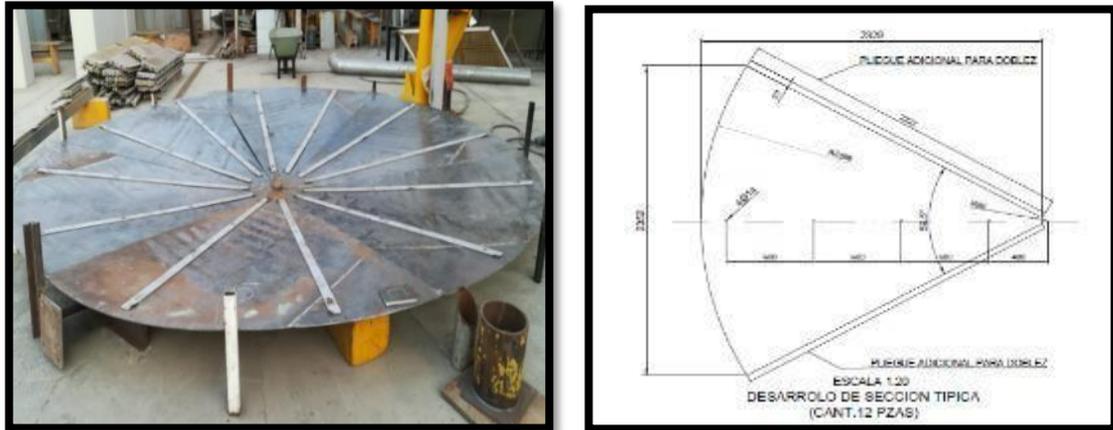
Tabla 11. Descripción de materiales partes del equipo

PARTE DE EFH	MATERIAL	DESCRIPCION
Base Cónica	St.37.2	Plancha metálica de 6.4x15000x6000mm
Techo superior	St.37.2	Plancha metálica de 6.4x15000x6000mm
Bastidor Superior	St.37.2	Tubo de 10mm, ø139.7
Bastidor Inferior	St.37.2	Tubo de 4mm, ø48.3
Canales Superiores	St.37.2	Viga canal C-12 UPN
Ángulos Inferiores	St.37.2	Angulo 50x50x5
Soporte Superior	St.37.2	Tubo de 2.9mm, ø60.3
Soporte Intermedio	St.37.2	Tubo SCH40, ø33.4
Toda la estructura	plomo	Plancha de plomo de 4mm

Fuente: INTECSA

Base Cónica: Ubicado en la parte inferior la cual tiene la función de contener los residuos de calcina mezclado con agua acida por un sistema de purga.

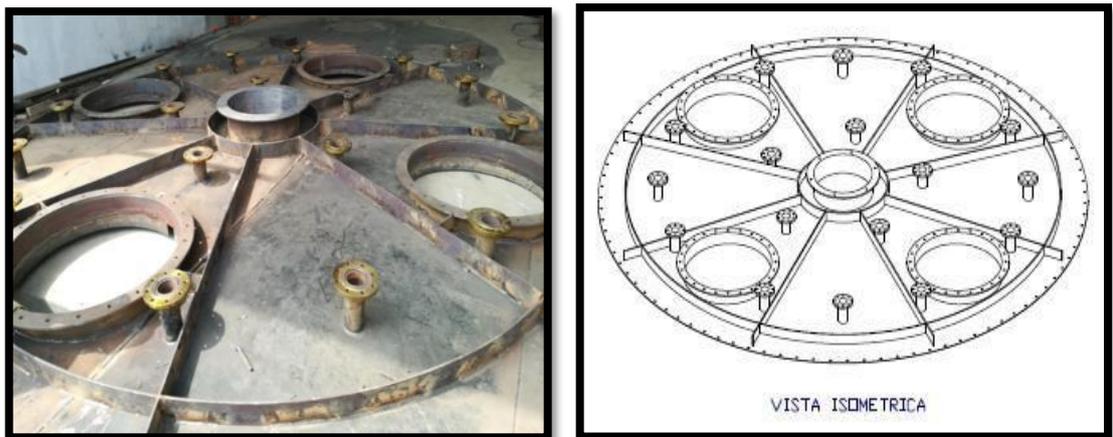
Figura 16. Fabricación de base cónica de EFH



Fuente: INTECSA

Techo superior: Ubicado en la parte superior del equipo donde también se aloja los inyectores de agua para el sistema de limpieza.

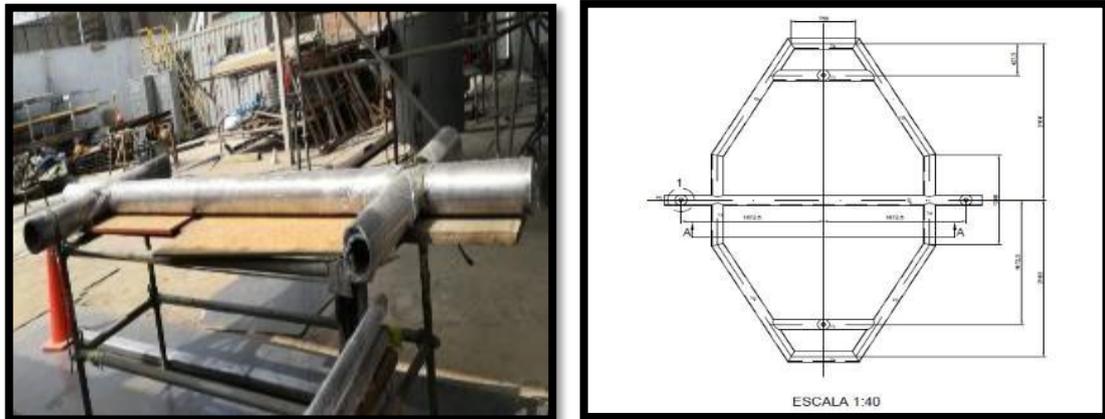
Figura 17. Fabricación de techo superior de EFH



Fuente: INTECSA

Bastidor Superior: Ubicado en la parte superior la función soportar los 12 canales con cubierta de plomo.

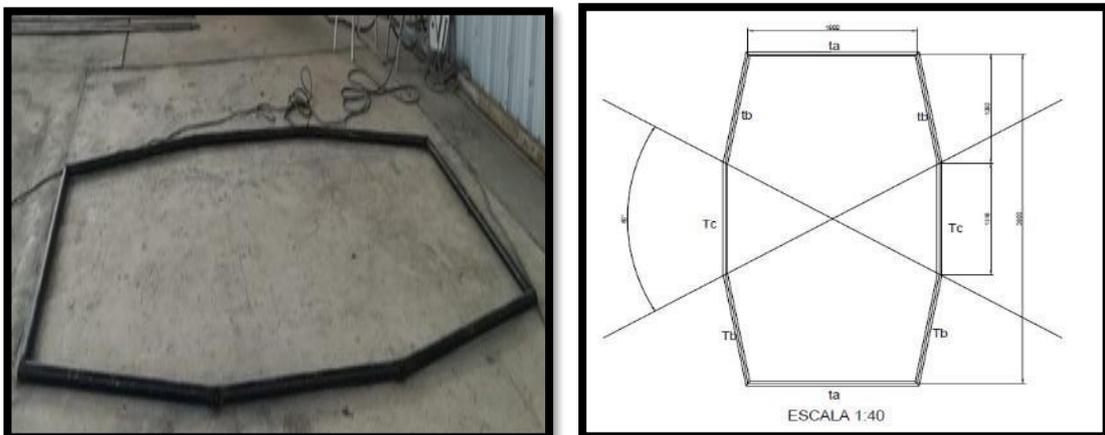
Figura 18. Fabricación de bastidor superior de EFH



Fuente: INTECSA

Bastidor Inferior: Ubicado en la parte inferior la función soportar los 12 ángulos con cubierta de plomo

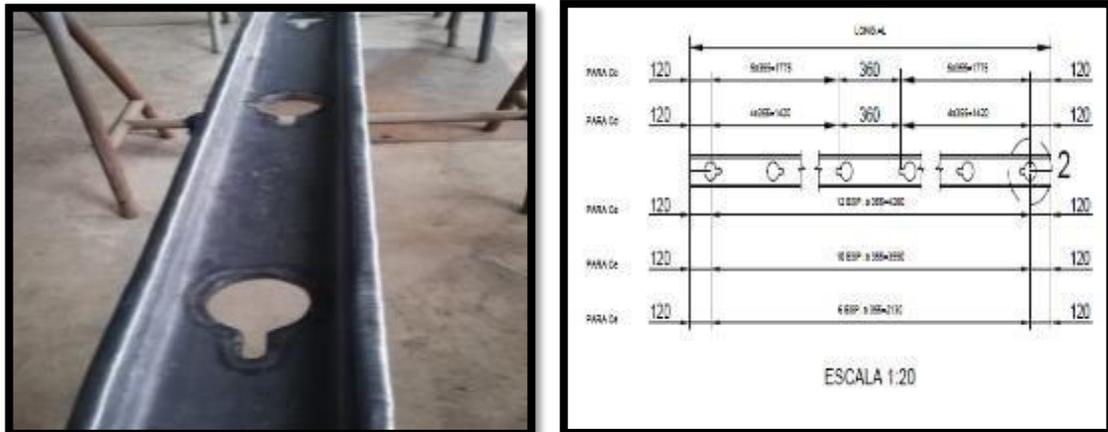
Figura 19. Fabricación de bastidor inferior de EFH



Fuente: INTECSA

Canales Superiores: Soporta las 128 pesas de plomo la cual se tiene un agujero la cual permite el fácil alineamiento de los electrodos.

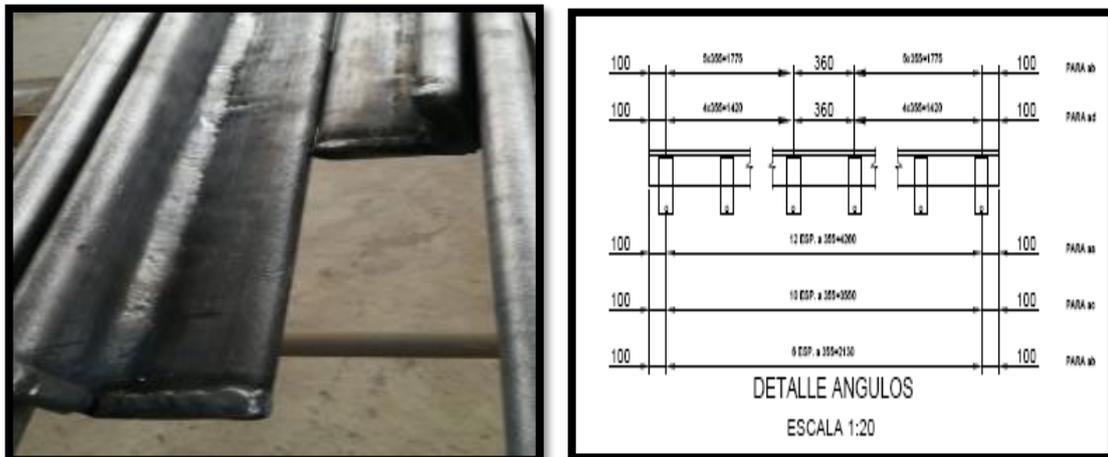
Figura 20. Fabricación de canales superior de EFH



Fuente: INTECSA

Ángulos Inferiores: Soporta las 128 contrapesas de plomo la cual se tiene guía para el alineamiento de los electrodos.

Figura 21. Fabricación de ángulos inferiores de EFH



Fuente: INTECSA

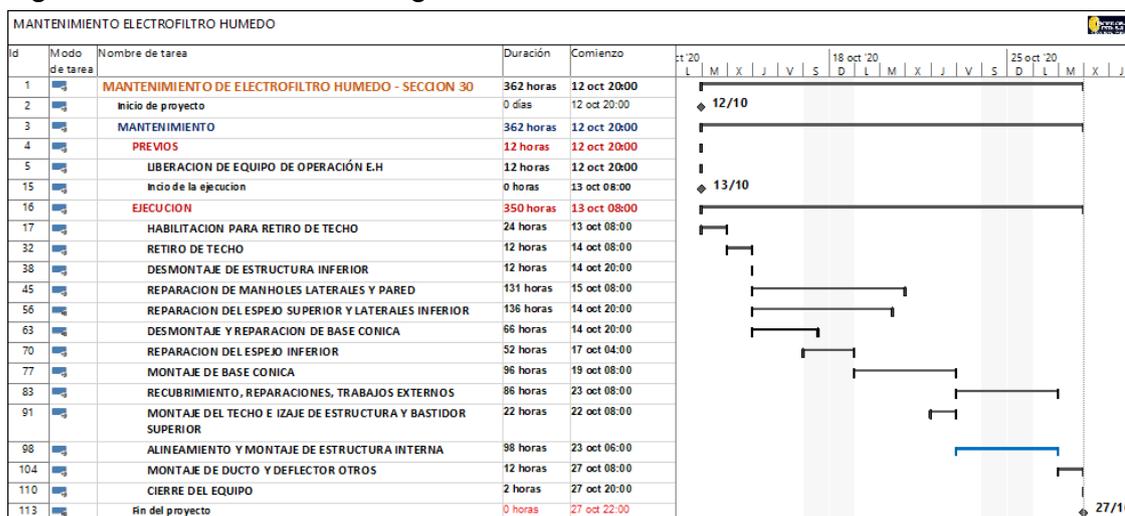
- **Desarrollo de Cronograma de actividades.**

Se realiza el cronograma de las actividades con duración de 16 días calendarios, donde se detalla las actividades previas y de ejecución.

Fecha de inicio: 12/10 – 8:00 pm

Fecha de termino: 27/10 – 10:00 pm

Figura 22. Fabricación de ángulos inferiores de EFH



Fuente: INTECSA

3.1.4 ETAPA 4: Ejecución de actividades y medición de resultados

Para tener un buen resultado en la ejecución debemos garantizar un buen control para ello necesitamos garantizar tener los siguientes controles.

- **Ejecución de las actividades implicados al mantenimiento.**

Antes de realizar la ejecución de las actividades de mantenimiento se elabora el procedimiento de trabajo con el fin de tener el paso a paso de las actividades a realizar con el fin de tener un norte en nuestras actividades cumpliendo con las normas de seguridad y medio ambiente.

- Procedimiento de Trabajo
- Procedimiento de Soldadura de Plomo
- Matriz IPERC

Luego de haber cumplido con la documentación respectivo procedemos a realizar las actividades de mantenimiento según secuencia:

Traslado de equipos y herramientas

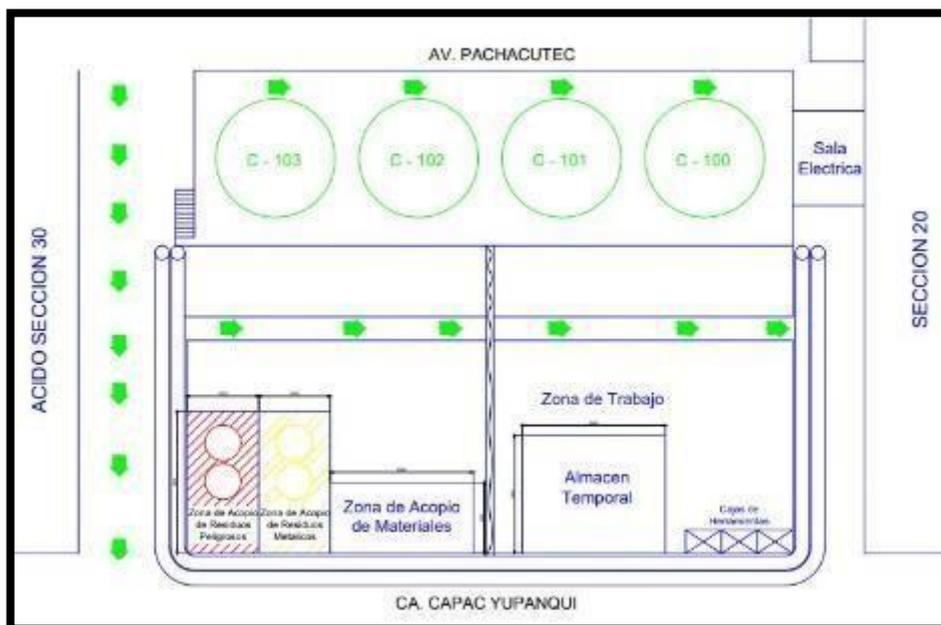
Se habilito un espacio para la recepción de los materiales, la lista se basó de acuerdo a las actividades realizadas.

Tabla 12. Lista de equipos y herramientas

Nº	Herramientas	Nº	Herramientas
1	Meza metalica	26	Martillo de bola
2	Cizallas	27	Estuche de herramienta
3	Caladoras	28	Juego de repuesto de piedra para chisperos
4	Gatas tipo botella 20TN	29	Chisperos
5	Teclé cabeza chica 1TN	30	Equipo de oxicorte
6	Soga de 100 m (5/8")	31	Equipo de soldadura autogena
7	Eslingas chicas 1m (1TN)	32	Manguera de 25m
8	Grilletes 5/8"	33	Mezcladores para soldado(chicos)
9	Tornillo de banco	34	Boquilla de soldado plomo 0.00
10	Esmeril de banco	35	Manometro oxigeno, acetileno
11	Esmeril de 4 1/2" y 7"	36	Retrollama (por caña)
12	Caña de corte (grande AGA)	37	Compas chicas
13	Boquilla de corte (AGA)	38	Compas grande
14	Es cofina plano, media caña, redonda	39	Coches
15	Extension de 20m, 220V (pulpa)	40	Escobillas de acero
16	Pulpas	41	Punto de centro
17	Tablero electrico (440v, 220v)	42	Caballetes tipo tripode para nivelar (armar)
18	Nivel de mano	43	Reflectores
19	Es cuadra de tope 12"	44	Manta ignifugas (2x3m)
20	Es cuadra 24"	45	Estractores 14" (referencia medir en campo)
21	Nivel laser	46	Plomada
22	Francesa de 12"	47	Cordel 20m
23	Cinzel	48	Tacos de madera 600*300*300MM
24	Raqueta	49	Tripley de madera 700*500*3/4
25	Wincha 5m	50	Tablas de madera 400*100*3/4

Fuente: INTECSA

Figura 23. Zona de almacén temporal y centro de acopio



Fuente: INTECSA

Retiro de materiales internos

Para dar inicio lo primero que se realizo fue el retiro de pernos de la parte superior (techo) del Electrofiltro para retirar con apoyo una grúa telescópica, luego se retira la parte interna (pesas, electrodos, deflector, contrapesas, etc.) y la parte externa inferior (tubería de drenaje (purga)).

Figura 24. Retiro de aislador, electrodos y contrapesas



Fuente: INTECSA

Retiro de techo

Una vez retirado todos los pernos del techo (tapa, tubería de inyección, tubería de calefacción, estructura, ducto de salida); se realiza el retiro con apoyo de la grúa telescópica.

Figura 25. Retiro de techo de EFH



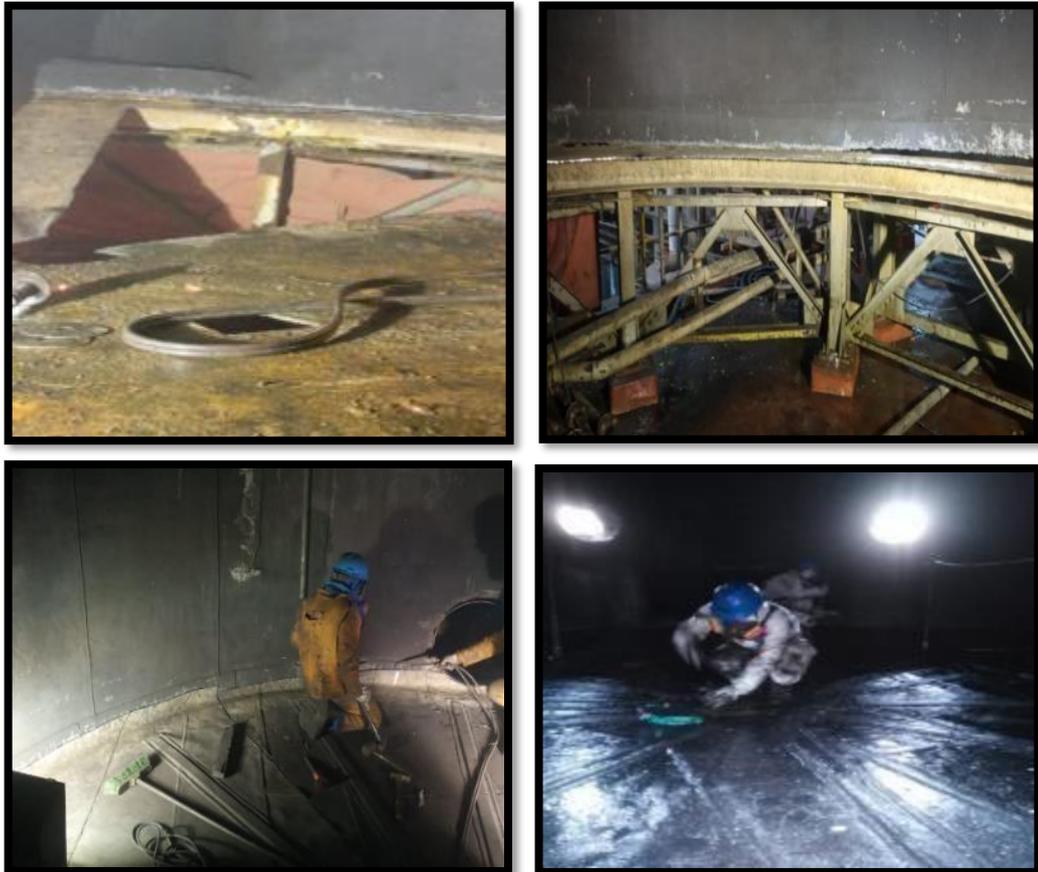
Fuente: INTECSA.

Cambio de piso del EFH

Retirado el techo y la estructura interna, se dio inicio al retiro de la base cónica, para ello se ingresó al espacio confinado de la parte inferior para retirar toda la superficie de plomo con martillo y cincel se realizó el corte y por el manhole entrada hombre se retiraba, una vez retirado se empezó con el corte de la base metálica con oxicorte por tramos, todo lo retirado se bajó con camión grúa al punto de acopio temporal. Terminado de retirar se limpió todo el marco de la base donde se aprovechó para reforzar la estructura que sostiene la base cónica ya que se encontraba corroída una vez reparado se instaló un soporte que servirá para levantar la base montada. Colocado el soporte se elevó las partes

de la base cónica con apoyo del camión grúa a la parte superior debajo del Electrofiltro una vez dejado se inició con el ensamblado apuntalando todas las partes hasta formar un cono, hecho ello se revisó que todo esté a la medida para luego soldar por arco eléctrico terminado se colocó en los cuatro lados del soporte, teclas de 2tn para elevar la base cónica hasta hacer contacto con el marco reparado luego se soldó todo el alrededor y por último se solo la parte cónica forrando toda la superficie.

Figura 26. Cambio de piso cónico de parte inferior de EFH



Fuente: INTECSA

Retiro de la estructura interna

Al destapar el techo del Electrofiltro húmedo se inició con el retiro de la estructura interna que corresponde al bastidor inferior, soportes intermedios, canales, ángulos. Para el retiro de los ángulos se retira por el manhole entrada hombre inferior llevándolo a un lado de para luego izarlo con el camión grúa al acopio

temporal e igualmente el resto de la estructura, para el soporte intermedio se tuvo que realizar cortes por tramos para poder retirarlos, una vez retirado la estructura interna y la base cónica se realizó el montaje de andamios en toda la superficie dentro y fuera del EFH para realizar las reparaciones de los espejos.

Figura 27. Retiro de estructura interna EFH



Fuente: INTECSA

Reparación de manholes laterales

El Electrofiltro cuenta con 4 manhole laterales que en su inicio tenían la función de templar la estructura interna, actualmente ya no realiza esa función por el cual de los cuatro que se realizó el mantenimiento dos de ellos se cambió por visores. El procedimiento fue retirar el manhole y fabricar uno similar con la misma medida a excepción de una brida que ajustara al vidrio templado como visor.

De la imagen cuadro abajo se muestra la reparación interna como externa en donde se colocó planchas de plomo de 4mm soldándolo con oxígeno/acetileno en posición vertical.

Figura 28. Montaje de manhole lateral EFH



Fuente: INTECSA

Reparaciones de paredes internas y espejo superior e inferior de los tubos colectores

Retirado el techo, la estructura interna y la base cónica se dio inicio a las reparaciones del cuerpo interno del EFH, en donde toda la reparación se basó en limpiar las zonas afectadas por la corrosión de la parte metálica sulfatada en otras las protecciones de plomo se desquebrajo por el exceso de corrosión ampliando la zona. Para ello se habilito plantillas de plomo de acuerdo al área

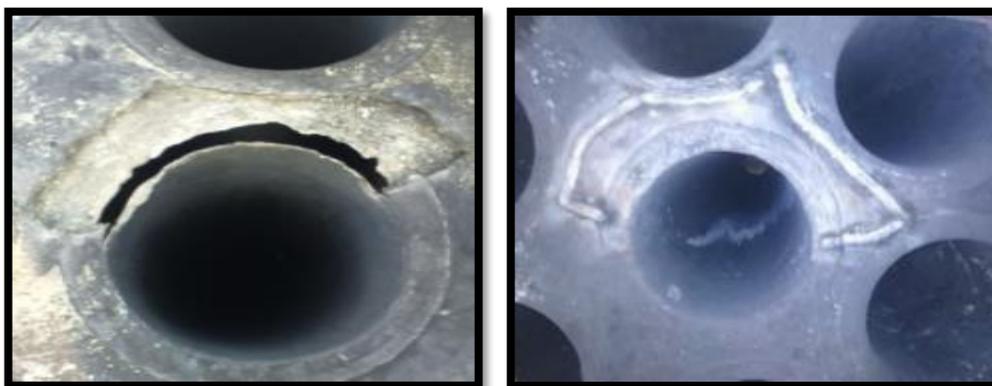
afectada dándole forma con la rasqueta de desbaste paralelamente se habilito varillas de electrodos para el soldeo teniendo ello se tapó la parte afectadas y se soldó. Las reparaciones internas se dividieron en dos el cual la primera fue el espejo superior siendo la parte más afectada el ducto de gas, el procedimiento es el mismo que en todos el cual es habilitar la plancha de plomo dándole forma y soldeo, lo segundo fue el piso del espejo inferior el cual se reparó interna y externamente para ello se armó andamios de un cuerpo, en techo del espejo inferior externo se cambió toda la superficie con planchas de plomo y soportes, en el espejo inferior interno se soldó algunas planchas de plomo

Figura 29. Limpieza de ases de tubo colector de EFH



Fuente: Intecsa S.A.

Figura 30. Reparación piso espejo superior



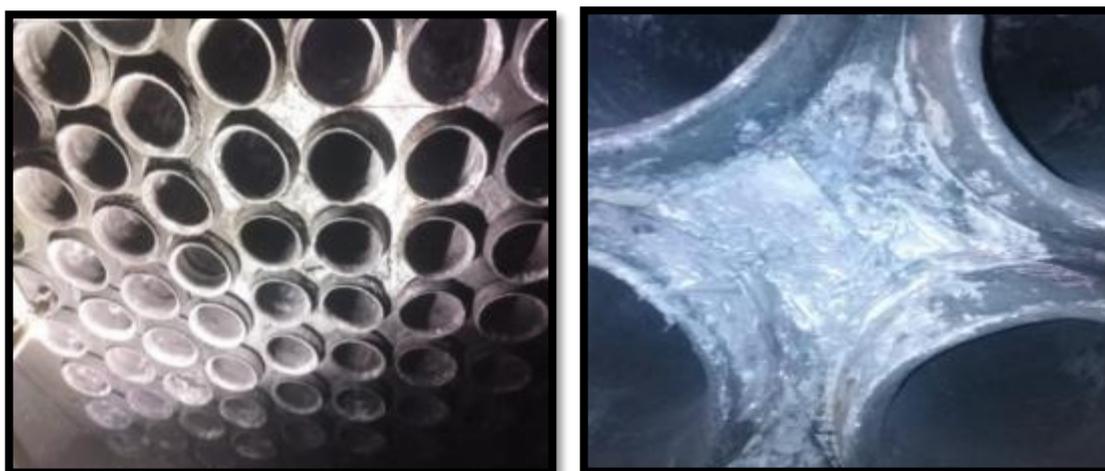
Fuente: Intecsa S.A.

Figura 31. Reparación techo espejo inferior (externo)



Fuente: INTECSA

Figura 32. Reparación techo espejo inferior (interno)



Fuente: INTECSA

Montaje del marco del ducto de salida

Al retirar el techo y realizar una limpieza, en el marco del ducto de salida, se observó un desgaste total de la estructura y del plomo, se tuvo que fabricar la estructura y forrar con plomo esto no está considerado en el plan inicial.

Figura 33. Reparación del marco, ducto de salida



Fuente: INTECSA

Figura 34. Reparación de marco del ducto de salida (terminado)



Fuente: INTECSA

Reparación del ducto de ingreso

Al realizar la limpieza en la parte interna inferior del EFH, se verifico un desgaste de las paredes del ducto de ingreso a tal punto que una parte estaba sin plomo, se encontró sellado con devcon (soldadura en frio) y sobresalía hacia la parte externa, se realizó una limpieza total extrayendo toda la masilla y se retiró parte de plomo de las paredes, se habilito planchas de plomo de 4mm, para su reparación.

Figura 35. Reparación ducto de ingreso del EFH



Fuente: INTECSA

Montaje del techo

Se realiza montaje del techo de igual manera se montó el sistema de calefacción, estructura y canales, antes del montaje se colocó en el borde de la tapa, empaquetadura sintética.

Figura 36. Montaje de techo del EFH



Fuente: INTECSA

Limpieza de pesas y montaje de los inyectores

Una vez montado el techo y la base cónica se inició con el montaje de los inyectores para ellos se realizó una limpieza e inspección visual luego se realizó el montaje del sistema de drenaje el cual se lavó e instaló válvulas nuevas.

Figura 37. Montaje de sistema de inyección y drenaje del EFH



Fuente: INTECSA

Alineamiento de estructura, soportes y electrodos

Montado la estructura se realizó primer alineamiento correspondiente al bastidor superior y soportes superiores, terminado de alinear el bastidor superior se forra con planchas de plomo de 4mm. Luego se coloca los soportes intermedio y montaje del bastidor inferior de igual manera se alinea el bastidor inferior luego se cubre las partes expuestas a los gases con planchas de plomo de 4mm. Terminado de alinear la estructura se coloca los ángulos y canales colocando de ahí los ganchos y tendido de electrodos, todos los electrodos deben pasar por tubería de plomo y verificar que pase por el centro. Antes de pasar los electrodos a las tuberías se pasó una machina con la finalidad de verifica el estado en la cual se encuentran. En la parte superior se coloca unos ganchos donde se coloca el electrodo y en el lado opuesto (parte inferior), se coloca unas pesas, conformado por un gancho de Uranus y cuerpo de plomo fundido, con la finalidad de tensar el electrodo.

Figura 38. Alineamiento de electrodos y pesas



Fuente: INTECSA

Montaje del ducto de salida

Se realiza el izaje para el montaje del ducto, con apoyo de la grúa telescópica. Logrado ello se colocó los pernos con su empaquetadura y se siguió con el ajuste.

Figura 39. Montaje del ducto de salida



Fuente: INTECSA

Montaje del deflector

Para la fabricación del deflector se tuvo que retirar el que estaba montado inicialmente para crear una copia idéntica ya que no cuenta con plano, uno de las primeras actividades fue retirar el deflector antes de, se tomó las medidas viendo cómo se encontraba inicialmente se retiró y traslado al taller para su fabricación.

Figura 40. Montaje del ducto de salida



Fuente: INTECSA

- **Control y seguimiento de actividades de mantenimiento**

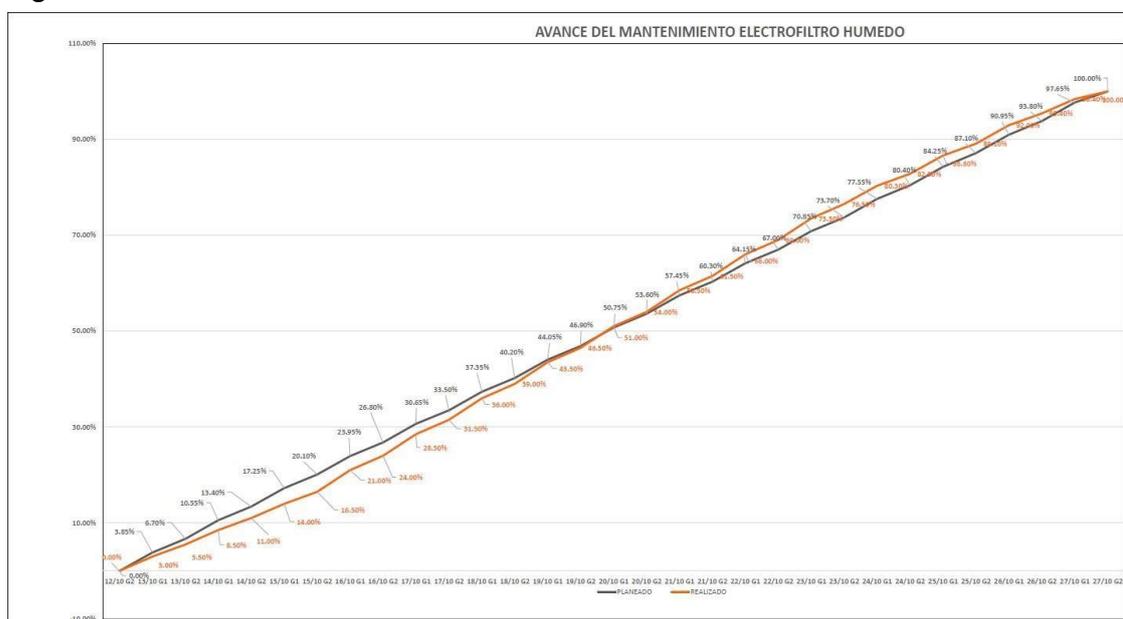
En la ejecución se realizó un control diario la cual se muestra en la tabla el porcentaje diario teniendo en cuenta el avance diario vs el avance real, tomando esos datos hacemos el grafico de la curva S, donde al inicio hemos tenido unos retrasos en el avance por problema de falta de condiciones debido al excesiva emisión de gases SO₂, la cual en transcurso del tiempo se ha podido dar la condición por parte del área Operativa de Planta.

Tabla 13. Porcentaje de Avance diario - Real vs planificado

PERÍODO	AVANCE PLANEADO	AVANCE REALIZADO	AVANCE PREVISTO ACUMULADO	AVANCE REALIZADO	20/10 G1	3.85%	4.50%	50.75%	51.00%
12/10 G2	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	20/10 G2	2.85%	3.00%	53.60%	54.00%
13/10 G1	3.85%	3.00%	3.85%	3.00%	21/10 G1	3.85%	4.50%	57.45%	58.50%
13/10 G2	2.85%	2.50%	6.70%	5.50%	21/10 G2	2.85%	3.00%	60.30%	61.50%
14/10 G1	3.85%	3.00%	10.55%	8.50%	22/10 G1	3.85%	4.50%	64.15%	66.00%
14/10 G2	2.85%	2.50%	13.40%	11.00%	22/10 G2	2.85%	3.00%	67.00%	69.00%
15/10 G1	3.85%	3.00%	17.25%	14.00%	23/10 G1	3.85%	4.50%	70.85%	73.50%
15/10 G2	2.85%	2.50%	20.10%	16.50%	23/10 G2	2.85%	3.00%	73.70%	76.50%
16/10 G1	3.85%	4.50%	23.95%	21.00%	24/10 G1	3.85%	3.80%	77.55%	80.30%
16/10 G2	2.85%	3.00%	26.80%	24.00%	24/10 G2	2.85%	2.50%	80.40%	82.80%
17/10 G1	3.85%	4.50%	30.65%	28.50%	25/10 G1	3.85%	3.80%	84.25%	86.60%
17/10 G2	2.85%	3.00%	33.50%	31.50%	25/10 G2	2.85%	2.50%	87.10%	89.10%
18/10 G1	3.85%	4.50%	37.35%	36.00%	26/10 G1	3.85%	3.80%	90.95%	92.90%
18/10 G2	2.85%	3.00%	40.20%	39.00%	26/10 G2	2.85%	2.50%	93.80%	95.40%
19/10 G1	3.85%	4.50%	44.05%	43.50%	27/10 G1	3.85%	3.00%	97.65%	98.40%
19/10 G2	2.85%	3.00%	46.90%	46.50%	27/10 G2	2.35%	1.60%	100.00%	100.00%
					PERÍODO	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%

Fuente: INTECSA

Figura 41. Curva S – Mantenimiento de EFH



Fuente: INTECSA

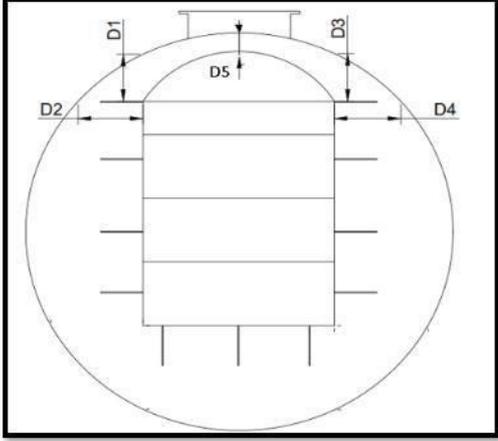
- **Análisis del resultado post mantenimiento.**

Al inicio de las actividades se ha tenido un retraso por condiciones de trabajo debido a presencia de gases la cual se refleja en el avance diario, luego del cuarto día se levantó la condición y se ha podido incrementar la productividad diario

Las actividades de mantenimiento se han realizado de acuerdo al plan teniendo como tiempo de ejecución 16 días.

Al termino de las actividades se realiza un check list de todas los componentes del equipo la cual se dio conformidad por la parte de Operaciones y Mantenimiento

Tabla 17. Medidas de deflector



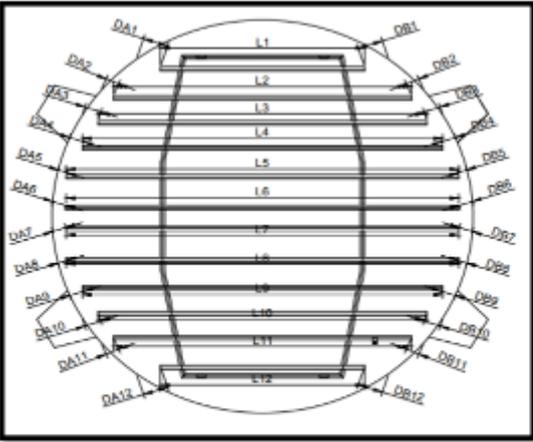
DIMENSIONES DEL DEFLECTOR	
D1	100
D2	700
D3	100
D4	700
D5	0

Observacion
Se coloco tal como se encontro inicialmente, respetando las medidas.



Fuente: INTECSA

Tabla 18. Medidas de ángulos de bastidor inferior

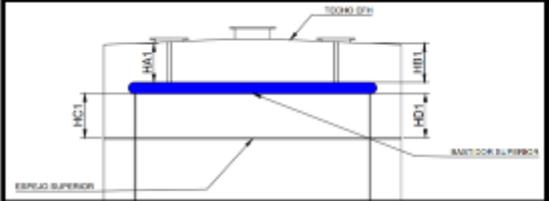


DIMENSIONES DE ANGULOS DEL BASTIDOR INFERIOR						
ANGULO 1	DA 1	330	L 1	2430	DB 1	390
ANGULO 2	DA 2	200	L 2	3400	DB 2	200
ANGULO 3	DA 3	250	L 3	3660	DB 3	290
ANGULO 4	DA 4	210	L 4	4100	DB 4	180
ANGULO 5	DA 5	190	L 5	4500	DB 5	185
ANGULO 6	DA 6	185	L 6	4480	DB 6	200
ANGULO 7	DA 7	185	L 7	4476	DB 7	185
ANGULO 8	DA 8	150	L 8	4500	DB 8	150
ANGULO 9	DA 9	200	L 9	4100	DB 9	210
ANGULO 10	DA 10	200	L 10	3660	DB 10	250
ANGULO 11	DA 11	230	L 11	3400	DB 11	190
ANGULO 12	DA 12	360	L 12	2340	DB 12	400

Observacion
La separacion de la pared a los extremos de los angulos se encuentra en el rango establecido, el cual esta alrededor de 150mm.

Fuente: INTECSA

Tabla 19. Medidas de bastidor superior

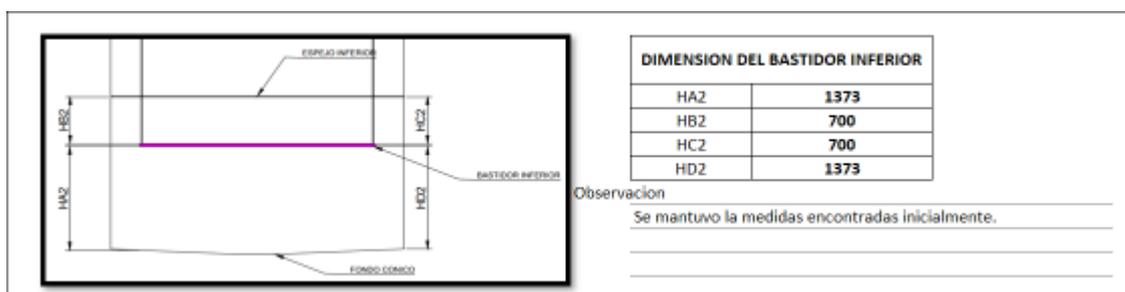


DIMENSION DEL BASTIDOR SUPERIOR	
HA1	778
HB1	780
HC1	400
HD1	400

Observacion
Se nivelo el bastidor superior y se coloco de acuerdo a la medida inicial.

Fuente: INTECSA

Tabla 20. Medidas de bastidor inferior



Fuente: INTECSA

3.2 Evaluación técnica – económica

Para realizar el servicio de mantenimiento del Electrofiltro húmedo se detalla los costos por el servicio de mantenimiento donde se detalla los costos según cuadro:

Tabla 21. Costo por ejecución total del Mantenimiento

Fuente: INTECSA

Tabla 22. Costo unitario por el servicio de reparación

Item	ALCANCE DE ACTIVIDADES - REPARACION	Cant.	Un	Suministro material (S/.)	Mano de obra - montaje (S/.)	Costo total Reparación
1	Limpieza y mantenimiento de los 04 aisladores de soporte y 01 aislador llegada	1	glb	S/ 2,127.00	S/ 4,646.00	S/ 6,773.00
2	Reparación externa del sello de agua (1 m2)	1	glb	S/ 597.00	S/ 3,555.00	S/ 4,152.00
3	Reparación de paredes del EFH parte interna (7 m2)	1	glb	S/ 1,656.00	S/ 12,334.00	S/ 13,990.00
4	Reparación y alineamiento de 08 alojamientos de inyectores de agua (externo e interno)	1	glb	S/ 2,293.00	S/ 10,747.00	S/ 13,040.00
5	Reparación del espejo superior con tubos colectores	1	glb	S/ 1,916.00	S/ 8,009.00	S/ 9,925.00
6	Reparación del espejo inferior con tubos colectores (2M2)	1	glb	S/ 1,866.00	S/ 10,144.00	S/ 12,010.00
7	Alineamiento de barras de carga, bastidores superior e inferior	1	glb	S/ 5,227.00	S/ 27,733.00	S/ 32,960.00
8	Cambio y alineamiento de los 128 electrodos	1	glb	S/ 1,812.00	S/ 8,858.00	S/ 10,670.00
9	Desmontaje, limpieza y montaje de las 128 pesas de electrodos	1	glb	S/ 1,114.00	S/ 4,361.00	S/ 5,475.00
10	Desmontaje y montaje del deflector de Polipropileno	1	glb	S/ 2,476.00	S/ 13,614.00	S/ 16,090.00
11	Limpieza del sistema de drenaje de agua acidulada.	1	glb	S/ 913.00	S/ 3,962.00	S/ 4,875.00
12	Reparación de 16 cinturones de platina del Tanque	1	glb	S/ 3,522.00	S/ 26,053.00	S/ 29,575.00
					TOTAL (S/.)	S/ 159,535.00

Fuente: INTECSA

Tabla 23. Costo unitario por el servicio de cambio de componentes

Fuente: INTECSA

Tabla 24. Costo unitario por el servicio de suministro

Item	ALCANCE DE MATERIALES A SUMINISTRAR	Cant.	Un	Precio unitario (S/.)	Costo total (S/.)
1	Contrapesas inferior con gancho DN 10 mm - material Uranus	128	pza	S/ 650.00	S/ 83,200.00
2	Electrodo superior con gancho DN 10 mm - material Uranus	128	pza	S/ 950.00	S/ 121,600.00
3	Ganchos intermedios tipo S DN10 mm - material Uranus	256	pza	S/ 400.00	S/ 102,400.00
4	Electrodo de titanio DN 2.5 mm	128	pza	S/ 250.00	S/ 32,000.00
5	Valvula mariposa DN50 de FE fundido SANDERS	2	pza	S/ 4,500.00	S/ 9,000.00
6	Plancha de plomo de 4mm x0.5m x2.5m	150	pza	S/ 1,500.00	S/ 225,000.00
				TOTAL (S/.)	S/ 573,200.00

Fuente: INTECSA

Para nuestra evaluación económica primera calculamos la capacidad de producción por Toneladas Métricas (TM) la cual debido a la falla del Electrofiltro húmedo la capacidad productiva de la planta a disminuido a un 90%.

Tabla 25. Capacidad de producción

CAPACIDAD DE PRODUCCION EN REFINERIA			
Producción	Capacidad (TM/hr)	Capacidad al 90% por falla (TM/hr)	Perdida de Producción (TM/hr)
Producción de Zinc	33	29.7	3.3
Producción de Acido	30	27	3

Fuente: Elaboración Propia

Según el cuadro la capacidad de la planta es de 33 TM/hr y 30TM/hr de producción de Zinc y acido respectivamente. Debido a la falla del Electrofiltro húmedo la capacidad de la planta a disminuido a 29.70 TM/hr, 27 TM/hr de

producción de zinc y ácido respectivamente. Debido a la falla del equipo la pérdida de producción es de 3.3 TM/hr, 3 TM/hr de zinc y ácido respectivamente.

Tabla 26. Pérdida de producción

Fuente: Elaboración Propia

Según los datos la pérdida de producción de zinc y ácido en el año 2019 asciende a S/. 9,504,000.00.

Tabla 27. Inversión del Mantenimiento

Fuente: Elaboración Propia

La inversión del mantenimiento se obtiene por la suma del costo por mantenimiento del Electrofiltro y por la pérdida de producción generada por los 16 días de intervención la cual asciende a S/. 6,467,845.00

3.3 Análisis de resultados

La pérdida de producción ocasionada por las fallas del Electrofiltro húmedo son de 30 días/año la cual tiene una pérdida económica de S/.9,504,000.00. por año.

La inversión por el servicio de mantenimiento del Electrofiltro húmedo por 16 días de intervención haciende a S/. 6,467,845.00

Teniendo el monto de pérdida de producción y el monto de la inversión por el mantenimiento del Electrofiltro húmedo obtenemos que dentro de un año se tendría un saldo a favor de S/3,036,155.00 por producción.

Tabla 28. Ahorro por Producción anual

Fuente: Elaboración Propia

IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Discusión

- En la tesis nacional titulado ***“Efectos de las Variables de Proceso y Mantenimiento en Precipitadores Electrostáticos”***, de Leguía Huamaccto, Vilma Aurea (Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga - 2015), describe el desarrollo de un diagnóstico del deterioro de precipitadores Electrostáticos (Planta de ácido y oxígeno SPCC) considera como efecto directo la corrosión de los tubos colectores debido a la grieta en los cordones de soldadura de plomo, En nuestro caso se ha verificado que unos principales motivos de corrosión de las estructuras proviene a la falla en los cordones de soldadura, la cual penetra a la estructura provocando la sulfatación del acero estructural.
- En la tesis nacional titulado ***“Estudio Técnico de ocurrencia de cortocircuitos en la Electrodeposición de Zinc para mejorar su eficiencia – Votorantim Metais S.A. – Cajamarquilla”*** de Quintanilla Mejía Luis Fernando (UNSA - 2015), analizan las ocurrencias de cortocircuito en electrodeposición de zinc en la etapa de Electrolisis. En nuestro caso, la ocurrencia de cortocircuito es en la etapa de limpieza de los gases en la planta de ácido la cual el Electrofiltro Húmedo hace cortocircuito debido a los problemas de corrosión de las estructuras internas la cual al desprendimiento hace contacto con la parte positiva (electrodo) la cual provoca el cortocircuito.
- En la tesis internacional de **Delgado Druvey Yodelkis**, (CUBA - 2012) en su tesis titulado ***“Evaluación de Sistema de limpieza de gases en el electrofiltro de los Silos en la Empresa comandante Ernesto Che Guevara”*** describe la evaluación de limpieza de gases en el Electrofiltro Seco donde la limpieza se realiza mediante golpeadores eléctricos, y neumáticos. En nuestro caso la limpieza de gases es un Electrofiltro húmedo se realiza mediante chorro de agua proveniente de los inyectores, la cual tiene como función decantar los restos de calcina impregnadas en las paredes de los tubos colectores.

4.2 Conclusiones

- Se observa un incremento de disponibilidad operativa del equipo del 91.6% al 96% en promedio dado el nivel obtenido en la de gestión del plan de mantenimiento, este valor se mantiene constante.
- Realizando el análisis de falla nos permitió poder facilitar la evaluación de prioridades y estrategias de mantenimiento, la cual se pudo realizar una lista de actividades con sus respectivas acciones.
- Con la implementación del plan de mantenimiento se logra recuperar la confiabilidad del equipo la cual ha recuperado su capacidad de producción de 22.5 a 30TN/hora. del Electrofiltro Húmedo.
- Desarrollando el plan de mantenimiento se elimina en su totalidad las paradas intempestivas obteniendo así que el equipo sea más confiable a través de su operación.
- Con los cambios realizados en el mantenimiento del Electrofiltro Húmedo se ha podido eliminar las fugas de dióxido de azufre (SO₂), la cual son perjudiciales a las personas y al medio ambiente.

V. RECOMENDACIONES

- Con la finalidad de mantener la disponibilidad del equipo se recomienda realizar un mantenimiento periódico la cual permita realizar una inspección general de las partes interna del equipo, esta a su vez se puede aprovechar en la Parada de Planta General que se realiza anualmente.
- Se recomienda cambiar el acero estructural DIN St 37 un acero inoxidable AISI 316L la cual tiene mayor resistencia al agente corrosivo que contiene el gas SO₂.

VI. BIBLIOGRAFÍA

- BEDRIC ARIEL MORY ALVISURI, DENILSON MONTESINOS PEREZ (PUCP - 2018), tesis titulada “Diagnostico Operativo Empresarial de la Planta de Acido y Oxigeno de Southern Perú”.
- Carmona Molina Jessica, (CUBA - 2019) en su tesis titulado “Estrategia para la evaluación de las posibilidades de modificación de una planta de Ácido Sulfúrico”.
- Charles, E. An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering. Boston, Massachusetts. Editorial Mc. Graw-Hill, 1997.
- Danien Leandro; Mantenimiento su Implementación y Gestión, Argentina, Editorial Universitas. 2da Edición (2005).
- Delgado Druvey Yodelkis, (CUBA - 2012) en su tesis titulado “Evaluación de Sistema de limpieza de gases en el electrofiltro de los Silos en la Empresa comandante Ernesto Che Guevara”.
- Gajardo Fonseca Moisés, (ESPAÑA - 2018) en su tesis titulado “Estudio y Evaluación del Precipitadores Electrostático en Cementos Bio Bio”.
- Ireson, G.; Coombs, C. Jr. y Moss, Richard. (1996). Handbook of Reliability Engineering and Management. New York. Editorial Mc. Graw-Hill.
- Kelly, A. (1994). Maintenance. England. Butterworth Heinemann.
- Leguia Huamaccto, Vilma Aurea (Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga - 2015), tesis titulada “Efectos de las Variables de Proceso y Mantenimiento en Precipitadores Electrostáticos”.
- Louribal Augusto Tavares, Administración Moderna de Mantenimiento, Río de Janeiro, Brasil, Novo Polo Publicacoes, 2001.
- Quintanilla Mejía Luis Fernando (UNSA - 2015), en su tesis titulado “Estudio Técnico de ocurrencia de cortocircuitos en la Electrodeposicion de Zinc para mejorar su eficiencia – Votorantim Metais S.A. - Cajamarquilla”.
- Raúl R. Prando; Manual Gestión de Mantenimiento a la Medida, Guatemala, Editorial Piedra Santa S.A., 1996
- Salih O. Duffuaa , A. Raouf y Jhon Dixon Campell. Sistema de Mantenimiento, Planeación y Control. México: Editorial Limusa, 2002.

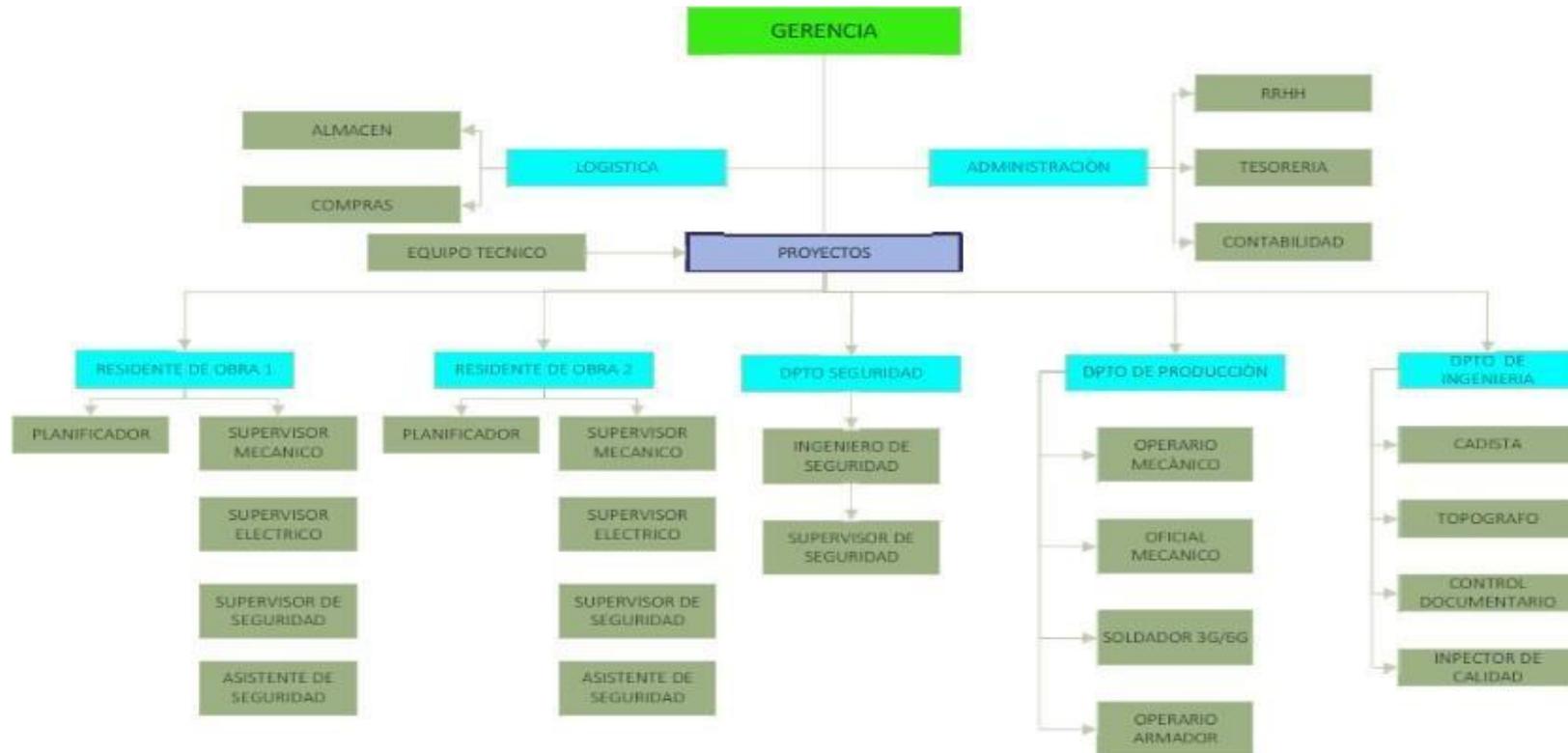
- Trejo E. (2002, Marzo). Análisis Causa Raíz y solución de problemas.
- Votorantin Metais, Expansión de la Planta de Acido; Manual de Operación. Peru, 2007

Publicaciones Web

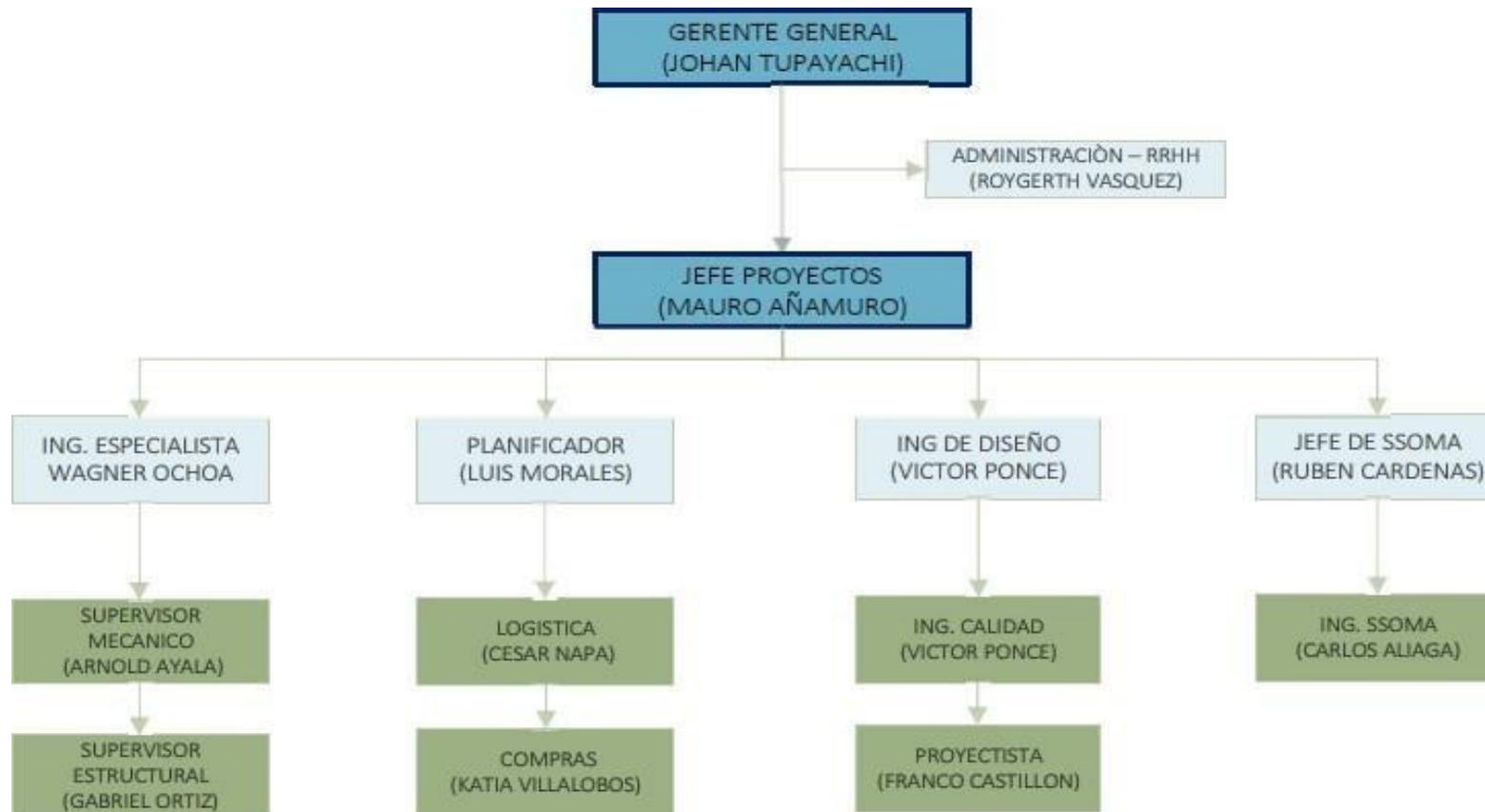
- Agosto de 2012. <https://www.monografias.com/trabajos94/deteccion-modos-efectos-y-analisis-fallas/deteccion-modos-efectos-y-analisis-fallas.shtml>.
- Fabiana Becerra, Gestión del Mantenimiento, Marzo 2008
- Luis Amandola Ph.D, Tendencia en la Administración Moderna Outsourcing, 10 abril 2007, luiam@dpi.upv.es, luiqipmm@yahoo.es
- Edgar A. Bernal Muñoz, La contratación del Mantenimiento, Enero 2007, bedgauqu@andinet.com
- Louribal Augusto Tavares, Gestión de Mantenimiento Enfocado a los Costos, Mayo 2007, Tavares@montreal.com.br
- Richard Blayden, Red de Mantenimiento Global, Junio 2008
- Nexa Resources, Octubre 2021, www.nexaresources.com.pe
- INTECSA.S.A., Octubre 2021, www.intecsa.pe
- INDEXMUNDI, Precios de mercado-Minerales, octubre 2021, www.indexmundi.com

VII. ANEXOS

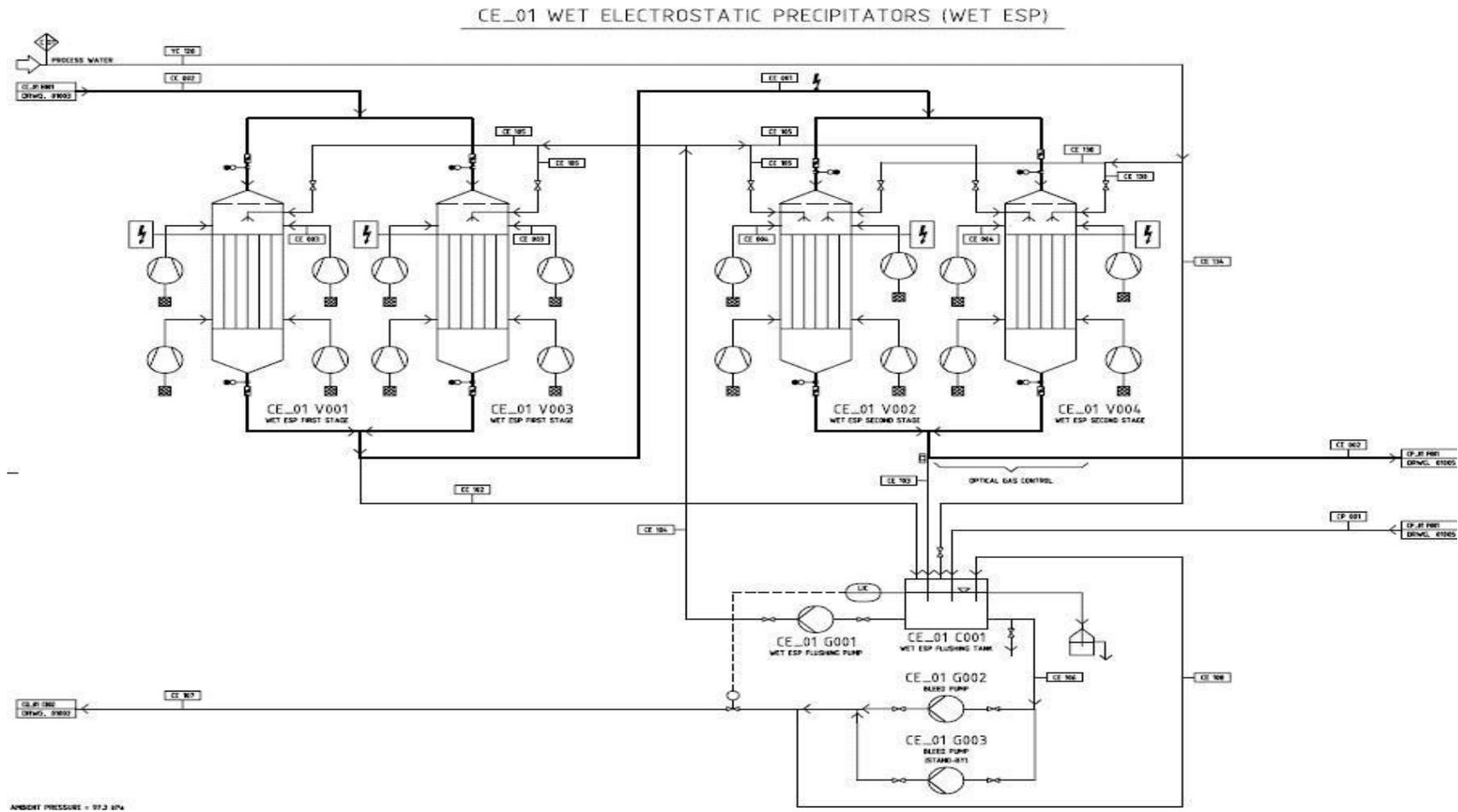
Anexo 1. Organigrama General de INTECSA.



Anexo 2. Organigrama del Proyecto – Mantenimiento de EFH



Anexo 4. Diagrama de Flujo del Electrofiltro Húmedo



Anexo 5. Cronograma de actividades de las Etapas

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES																						
ETAPA	ACTIVIDADES	MES 1				MES 2				MES 3				MES 4				MES 5				
		S1	S2	S3	S4																	
ETAPA 1	Análisis y clasificación de fallas funcionales del Electrofiltro Húmedo																					
	<i>Historial de fallas en línea de tiempo real</i>	X	X																			
	<i>Análisis de modo de falla y sus efectos</i>			X	X																	
	<i>Clasificación por tipos de fallas</i>					X	X															
ETAPA 2	Clasificación de actividades de mantenimiento																					
	<i>Identificación de actividades por tipo de falla.</i>						X	X														
	<i>Clasificación de los componentes a suministrar.</i>							X	X													
	<i>Selección de recursos y mano de obra calificad.</i>									X	X											
ETAPA 3	Implementación del plan de Mantenimiento																					
	<i>Control del cronograma de adquisiciones</i>												X	X	X							
	<i>Desarrollo de Cronograma de actividades</i>														X	X						
ETAPA 4	Ejecución de actividades y medición de resultados																					
	<i>Ejecución de las actividades implicados al mantenimiento</i>																	X	X			
	<i>Control y seguimiento de actividades de mantenimiento</i>																		X	X		
	<i>Análisis del resultado post mantenimiento</i>																			X	X	

Anexo 6. Lista de Materiales para la fabricación y suministro

MATERIALES PARA FABRICACION ELECTROFILTRO HUMEDO					
ITEM	FABRICACION	FECHA	DETALLES	MATERIAL	DESCRIPCION
1	Fabricación de bastidor superior	28-Ago	Con cubierto de plomo	9 rollos	plomo de 6mm
2	Fabricación de bastidor inferior	28-Ago	Con cubierto de plomo	6 rollos	plomo de 6mm
3	Fabricación de canales	28-Ago	Con cubierto de plomo	9 rollos	plomo de 6mm
4	Fabricación de ángulos	28-Ago	Con cubierto de plomo	6 rollos	plomo de 6mm
5	Fabricación de soporte Superior	28-Ago	Con cubierto de plomo	9 rollos	plomo de 6mm
6	Fabricación de soporte Inferior	28-Ago	Con cubierto de plomo	6 rollos	plomo de 6mm
7	Fabricación de base cónica	28-Ago	Con cubierto de plomo	9 rollos	plomo de 6mm
8	Fabricación de ducto de salida	28-Ago	Con cubierto de plomo	6 rollos	plomo de 6mm
9	Fabricación de ducto de entrada	28-Ago	Con cubierto de plomo	6 rollos	plomo de 6mm
10	Fabricación gancho intermedio	28-Ago	Con cubierto de plomo	6 rollos	plomo de 6mm
11	Fabricación gancho superior con pesas	28-Ago	Con cubierto de plomo	6 rollos	plomo de 6mm
12	Fabricación de contrapesas	28-Ago	Con cubierto de plomo	10 rollos	plomo de 6mm
13	Fabricación del techo	28-Ago	Con cubierto de plomo	28 rollos	plomo de 4mm
14	Canaletas base cónica	28-Ago	Con cubierto de plomo	3.5 rollos	plomo de 4mm
15	Espejo inferior	28-Ago	Con cubierto de plomo	7.5 rollos	plomo de 4mm

MATERIALES PARA SUMINISTRO ELECTROFILTRO HUMEDO					
ITEM	FABRICACION	FECHA	DETALLES	MATERIAL	DESCRIPCION
1	Contrapesas inferior con gancho DN 10 mm	28-Ago	En el extremo masa de plomo 10 kg	material Uranus	Solicitar porveedor
2	Electrodo superior con gancho DN 10 mm	28-Ago	En el extremo masa de plomo de 1 kg	material Uranus	Solicitar porveedor
3	Ganchos intermedios tipo S DN10 mm	28-Ago		9 rollos	Solicitar porveedor
4	Electrodo de tantalio DN 2.5 mm	28-Ago		6 rollos	Solicitar porveedor
5	Válvula mariposa DN50 de FE fundido	28-Ago		6 rollos	Marca Bray

Anexo 7. Plan de adjudicaciones de Fabricación y Suministro

		PLAN DE ADJUDICACIONES - MANTENIMIENTO DE ELECTROFILTRO HUMEDO																							
ESPECIALIDAD	PLAN DE ADJUDICACIONES			SEMANA 1							SEMANA 2							SEMANA 3							
	ACTIVIDADES	UNIDAD	CANTIDAD	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D	
F A B R I C A C I O N P L E O M T O R U C T U R A D E	Fabricación de bastidor superior	UND	1	X	X	X																			
	Fabricación de bastidor inferior	UND	1	X	X	X																			
	Fabricación de canales	UND	12				X	X	X	X															
	Fabricación de ángulos	UND	12				X	X	X	X															
	Fabricación de soporte Superior	UND	4								X	X	X	X											
	Fabricación de soporte Inferior	UND	4								X	X	X	X											
	Fabricación de ducto de salida	UND	1												X	X	X								
	Fabricación de ducto de entrada	UND	1												X	X	X								
	Fabricación de manhole entrada de hombre	UND	2												X	X	X	X	X	X					
	Fabricación de manholes de ventilación	UND	4												X	X	X	X	X	X					
	Fabricación de base cónica	UND	1		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	Fabricación del techo	UND	1		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
S U M I N I S T R O	Contrapesas inferior con gancho DN 10 mm - material Uranus	m	18					X	X	X															
	Electrodo superior con gancho DN 10 mm - material Uranus	Und	13								X	X	X												
	Ganchos intermedios tipo S DN10 mm - material Uranus	Und	7										X	X	X	X									
	Electrodo de titanio DN 2.5 mm	Und	5								X	X	X	X	X	X	X								
	Válvula mariposa DN50 de FE fundido SANDERS	m	84															X	X	X					

Anexo 8. Plano de Fabricación del Bastidor Superior del EFH

ESCALA 1:40

ESCALA 1:10

ESCALA 1:30

PARA CA

ESCALA 1:20

DETALLE 2
ESCALA 1:10

DETALLE 1

CANALES			
DESCRIPCION C/ALUMN			
MATERIAL: 6L37.2			
MARCA	L	CANT.	
Ca	4200	4	
Cb	4150	2	
Cc	3780	2	
Cd	3640	2	
Ca	2270	2	

FORROS PARA CANALES			
DESCRIPCION PL-ESP. 4 x 400			
MATERIAL: P/COM			
MARCA	L	CANT.	
Pc	4500	4	
Pd	4170	2	
Pe	3100	2	
Pf	3400	2	
Pg	2300	2	

FORROS PARA TUBOS			
DESCRIPCION TUBOS Ø 150 x 110			
MATERIAL: 6L37.2			
MARCA TUBO	MARCA FORRO	L	CANT.
Ta	T1	2275	1
Tb	T2	1675	4
Tc	T3	1250	2
Td	T5	410	4
Te	T6	650	2
Tf	T8	100	4

NOTAS:

- PLANO DE VERIFICACION: OR 25-40-011-02
- PLANCH DE A QUISO AÑO DE EJECUCION 1/17
- EL INTERIOR DE ACERO AIS
- TUBOS Ø150 x 110
- LAS NORMAS ASIM Y LA OIE DE VERIFICACION EN LA FABRICACION

DI	CD	CONFORME CONTROLADO	ENT	ERD	ERD	ERD	ERD	16/09/19
D	E	LIBERADO PARA CONSTRUCCION	ENT	ERD	ERD	ERD	ERD	16/09/19
B	C	APROBACION/COMENTARIOS	ENT	ERD	ERD	ERD	ERD	15/09/19
A	B	DISEÑO FINAL	ENT	ERD	ERD	ERD	ERD	12/09/19
REV	T.E.	DESARROLLO	DEL	VBR	APP	LIBER	DATE	

INTENCA IND. S.A.C.
FABRICACION MANTENIMIENTO MONTAJE

UNIDAD DE NEGOCIO
VMZ-CJM PERU

AREA: 01-TOSTACION-ACIDO

TITULO: ESTRUCTURA DE REJA SUPERIOR ELECTROFILTRO HUMEDO 1 PREC. ACIDO

7901-0130C100
7901-0130C101

ESCALA: 1:40
Nº. CONTRATO: 1094755
Nº. REV.: 01

INT-30-30-047

Anexo 9. Plano de Fabricación del Bastidor Inferior del EFH

ESCALA 1:40

ANGULO	
DESCRIPCION: L - 50 x 50 x 5	
MATERIAL: St 37.2	
MARCA	L
aa	4500
ab	4110
ac	3750
ad	3400
ae	2330

FORROS PARA ANGULOS		
DESCRIPCION: PL - 4 ESP. x 237		
MATERIAL: PLOMO		
ANGULO	MARCA	L
aa	Pa	4500
ab	Pb	4130
ac	Pc	3770
ad	Pd	3420
ae	Pe	2360

FORROS PARA TUBOS DE DIAMETRO Ø 48.3x2			
MATERIAL: St 37.2			
PARA TUBO	TIPO DE FORRO	DESCRIPCION	L
Tb	Pf	PL - 4 ESP. x 154	1400
Tc	Pg	PL - 4 ESP. x 154	1361
Td	Ph	PL - 4 ESP. x 154	1322
Te	Pi	PL - 4 ESP. x 154	220
Tf	Pj	PL - 4 ESP. x 154	361
Tg	Pk	PL - 4 ESP. x 100	100x202
Th	Pm	PL - 4 ESP. x 84	84x202
Ti	Pn	PL - 4 ESP. x 52	52x154
Tj	PO	PL - 4 ESP.	Ø48
Tk	Px	PL - 4 ESP. x 154	661

ESCALA 1:20

100	5x204x175	350	5x204x175	100	PARA aa
100	4x204x140	350	4x204x140	100	PARA ab
100	12 ESP. x 204x200				PARA ac
100	10 ESP. x 204x200				PARA ad
100	8 ESP. x 204x200				PARA ae

NOTAS:

- PLANO DE REFERENCIA: CM 31-40-012-04
- ANGULO DE A CERO (30°) DE 50x50x5mm
- EL MEDIR DE ACERO AIS
- TUBOS Ø48.3x2 EP
- LAS NORMAS SON EL LA QUE SE MEDIRAN EN LA FABRICACION

NO.	FECHA	DESCRIPCION	ELAB.	REV.	APR.	OTRO
01	0	CONFORME DISEÑO	IAE	EAQ	ERR	EAQ 16/09/19
02	0	LIBERADO PARA CONSTRUCCION	IAE	EAQ	ERR	EAQ 16/09/19
03	0	APROBACION CONDENSADO	IAE	EAQ	ERR	EAQ 13/09/19
04	0	LIBERADO PARA CONSTRUCCION	IAE	EAQ	ERR	EAQ 12/09/19

REVISIONES:

IAE (A) DISEÑO (B) APROBACION/CONDENSADO (C) LIBERADO PARA CONSTRUCCION (D) CONFORME CONDENSADO (E) CONFORME DISEÑO (F) CONFORME DISEÑO (G) PARA CONSTRUCCION (H) APROBADO (I) CANCELADO

UNIDAD DE NEGOCIO:

AREA: 01-TOSTACION-ACIDO

PROYECTO: ESTRUCTURA DE REJA INFERIOR ELECTROFILTRO HUMEDO-1 FREC. ACIDO

7901-0130C100
7901-0130C101

NO. NEGOCIO: INT-30-30-048

NO. IDENTIFICACION: 10947.53

NO. NEGOCIO: 01

Anexo 11. Plano de Fabricación de Base Cónica del EFH

COD. 42-BC-01

VISTA LATERAL
ESCALA 1:40

DESARROLLO DE CONO
VISTA DE PLANTA
ESCALA 1:40

DESARROLLO DE SECCION TIPICA
(CANT. 12 PZAS)
ESCALA 1:20

FORRO DE PLOMO 4mm
PLANCHA DE ACERO 7". A36

DETALLE: A
ESCALA 1:2

MATERIAL: ACERO ESTRUCTURAL A-36		
DESCRIPCION	CANTIDAD	DIMENSION
SECCION ANGULAR	6	PLA x 2352 x 2350
BASE CONICA	1	
MATERIAL PLOMO		
DESCRIPCION	CANTIDAD	DIMENSION
SECCION ANGULAR	6	PLA x 2352 x 2350
BASE CONICA	1	

REV.	T.E.	DESCRIPCION	EST.	VER.	APP.	USER.	DATE.
01	0	CONFIRME CONTROL	INT	EDS	EDS	EDS	10/09/11
02	E	SEÑAL PARA CONSTRUCCION	INT	EDS	EDS	EDS	10/09/11
03	C	APROXIMACION/CONDICIONES	INT	EDS	EDS	EDS	12/09/11
A	0	EMISS NEMA	INT	EDS	EDS	EDS	11/09/11

TE	(A) PROBLEMA	(C) APROXIMACION/CONDICIONES	(E) SEÑAL PARA CONSTRUCCION	(G) CONFIRME CONTROL
TPO DE ENCL	(1) CONOCIMIENTO	(2) PARA CONOCER	(3) APROVADO	(4) CANCELADO

UNIDAD DE NEGOCIO

01 - TOSTACION - ACIDO

BASE CONICA

ELECTROFILTRO HUMEDO 1 PREC. ACIDO

7901-01300100

7901-01300101

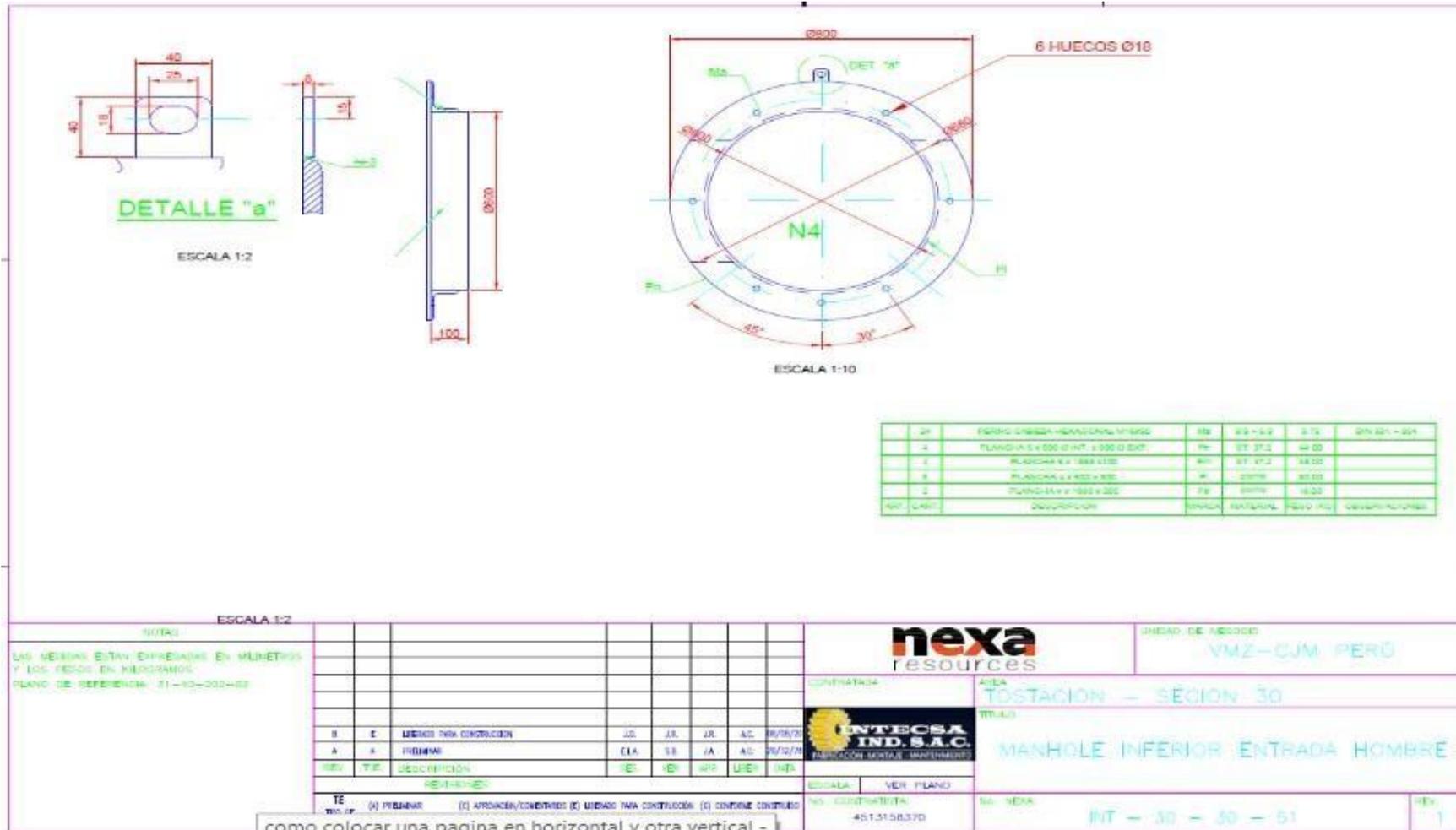
ESCALA: 1:40

NO. CONTRATO: 1094733

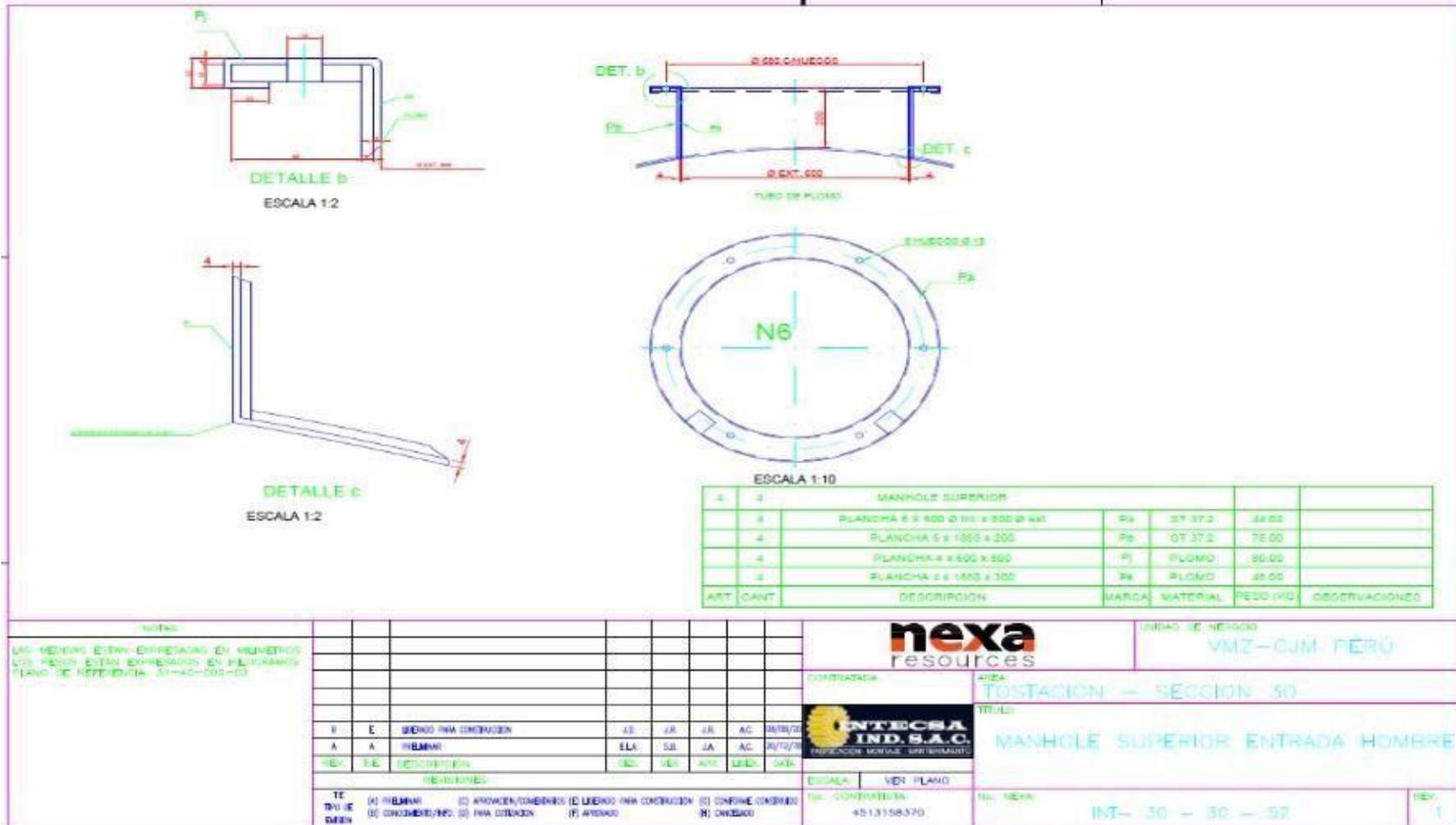
NO. NEMA: NT-30-10-050

REV: 01

Anexo 12. Plano de Fabricación de Manhole Inferior del EFH



Anexo 13. Plano de Fabricación de Manhole Superior del EFH



NOTAS:
LOS NÚMEROS ESTÁN EXPRESADOS EN NÚMEROS
LOS PESOS ESTÁN EXPRESADOS EN KILÓGRAMOS
PLANO DE REFERENCIA: 31-40-005-03

REV.	FECHA	DESCRIPCION	SEC.	VER.	APR.	ELAB.	DATA
B	E	LIBERADO PARA CONSTRUCCION	JE	JR	JR	AC	20/10/20
A	A	PRELIMINAR	ELA	SB	JA	AC	10/10/20
REVISIONES:							
TE	(A) PRELIMINAR	(C) APROBACION/CONCORDADO	(E) LIBERADO PARA CONSTRUCCION	(G) CONFINAR CONCORDADO			
TRU DE	(B) CONCORDADO/IMP.	(D) PARA CITACION	(F) APROBADO	(H) CANCELADO			

nexa resources

UNIDAD DE NEGOCIO: VMZ-CJM FERÚ

CONTRATADA: NTECSA IND. S.A.C. INFRAESTRUCTURA NACIONAL INTEGRADA

AREA: TOSTACION - SECCION 30

TITULO: MANHOLE SUPERIOR ENTRADA HOMBRE

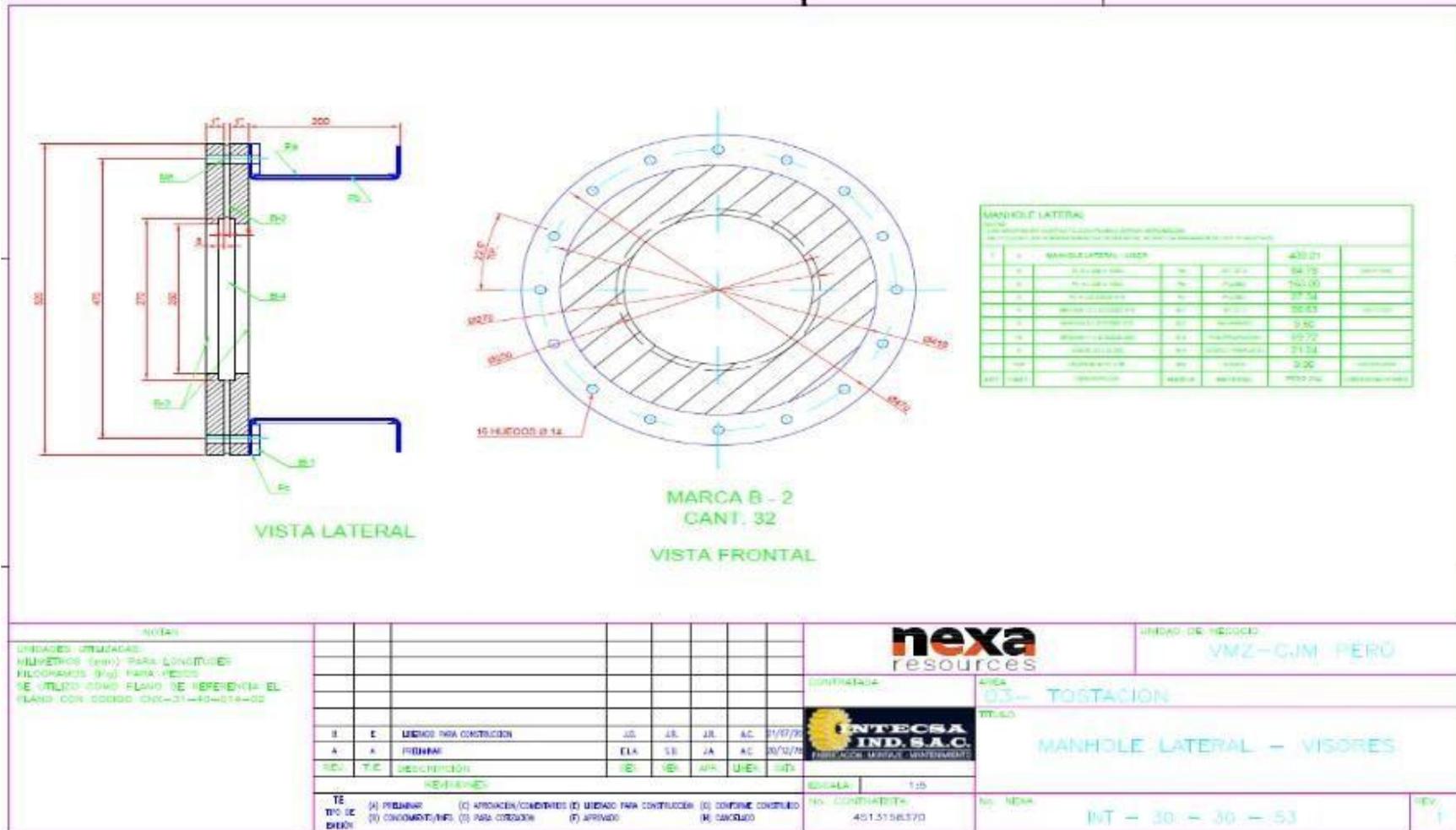
ESCALA: VER PLANO

TEL - COORDENADA: 4513158370

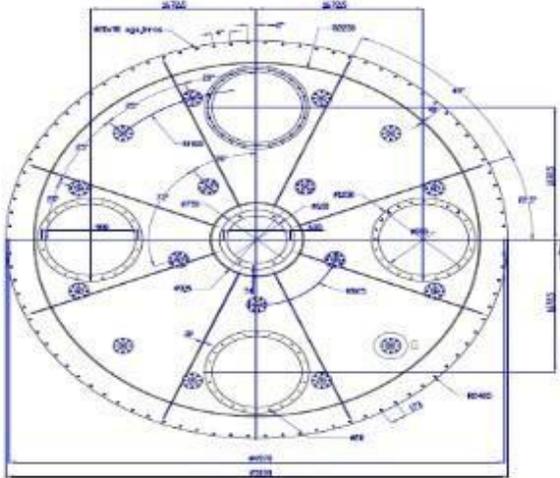
TEL: NEXA: INT- 30 - 30 - 52

REV: 1

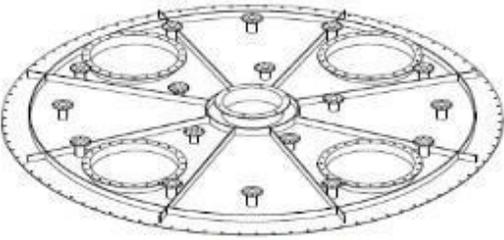
Anexo 14. Plano de Fabricación de Manhole Lateral del EFH



Anexo 17. Plano de Fabricación de Tapa Superior del EFH



VISTA DE PANTA

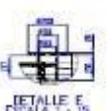


VISTA ISOMETRICA

CANT.	DESCRIPCION	UNIDAD	PESO (KG)	Observaciones
4	Placa 6 x 200 x 200	Placa	20,00	
8	Placa 10 x 200 x 1700	Placa	20,00	
1	Placa 40 x 200 x 400	Placa	20,00	
8	Placa 40 x 200 x 200	Placa	20,00	
8	Placa 6 x 40 x 200	Placa	20,00	
4	Placa 6 x 40 x 100	Placa	20,00	
8	Placa 6 x 20 x 1000	Placa	20,00	
8	Placa 6 x 40 x 200	Placa	20,00	
4	Placa 6 x 40 x 100	Placa	20,00	
20	Placa 6 x 40 x 200	Placa	20,00	
4	Placa 6 x 20 x 200	Placa	20,00	
1	Placa 10 x 40x400 = 40x100	Placa	20,00	
4	Placa 10 x 50 x 50	Placa	20,00	
2	Placa 8 x 40 x 40	Placa	20,00	
4	Placa 6 x 40 x 200	Placa	20,00	
1	Placa 10 x 40x400 = 400	Placa	20,00	
21	Placa 10 x 40x100 = 40x100	Placa	20,00	
1	Placa 10 x 400	Placa	20,00	
1	Tubo 400 x 40 x 200 Long.	Tubo	20,00	
24	Tubo 400 x 40 x 200 Long.	Tubo	20,00	
1	Alfiler 2 mm x 40x400 = 40x100	Alfiler	20,00	
1	Draca 2 mm x 40x400 = 40x100	Draca	20,00	
1	Parrota 400 mm. 40x400 = 400	Parrota	20,00	NO USAR
50	Parrota 400 mm. 40x400 = 400	Parrota	20,00	NO USAR
170	Parrota 400 mm. 40x400 = 400	Parrota	20,00	NO USAR
4	L. x = 200 x 200	Placa	20,00	
2	L. x = 200 x 200	Placa	20,00	
4	L. x = 200 x 200	Placa	20,00	
8	L. x = 200 x 200	Placa	20,00	
8	L. x = 200 x 200	Placa	20,00	
20	L. x = 200 x 200	Placa	20,00	
8	L. x = 200 x 200	Placa	20,00	
4	L. x = 200 x 200	Placa	20,00	
4	L. x = 200 x 200	Placa	20,00	
1	L. x = 200 x 200	Placa	20,00	
20	L. x = 200 x 200	Placa	20,00	
8	L. x = 200 x 200	Placa	20,00	



DETALLE G
ESCALA 1:10



DETALLE E
ESCALA 1:10



DETALLE G
ESCALA 1:10



SECCION B-B
ESCALA 1:40

NOTAS:

- Las medidas estan expresadas en milímetros (mm) y los pesos en kilogramos (kg) a menos que se indique lo contrario.
- Para más detalles ver planos de referencial.
- CNX-31-40-009-02
- CNX-31-40-010-02



UNIDAD DE MEDIDAS
VMZ-CJM PERU

AREA
TOSTACION - SECCION 30

TITULO
**TAPA DE ELECTROFILTROS HUMEDOS
C100, C101, C102 Y C103**

FECHA: 08/04/20

ELABORADO: ELA

REVISADO: REV

APROBADO: APRO

CONTRATISTA: 4013158370

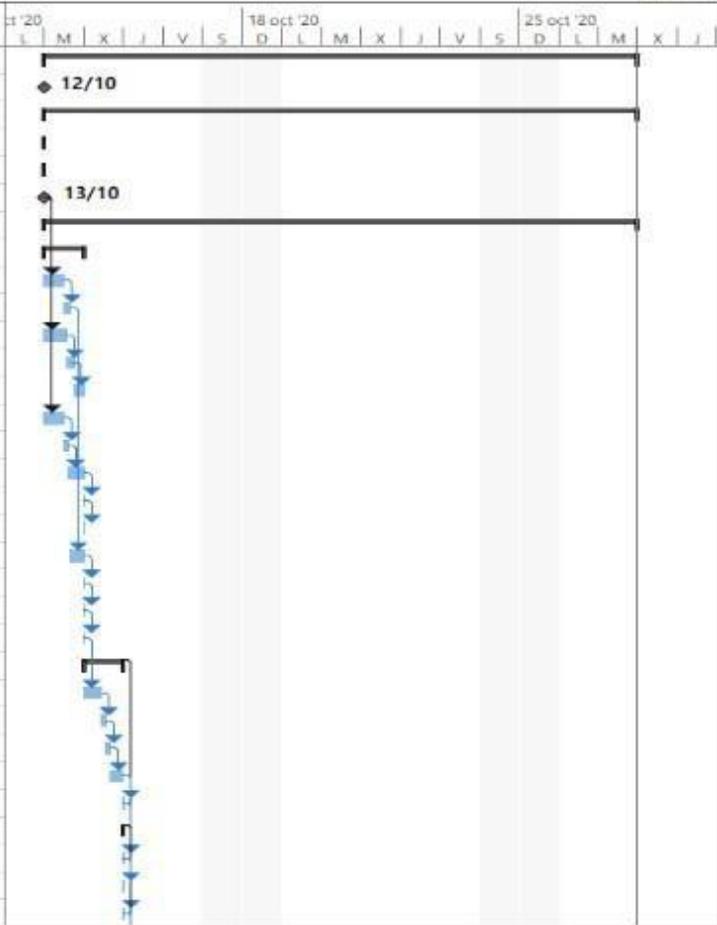
ESCALA: 1:40

REV. NEXA

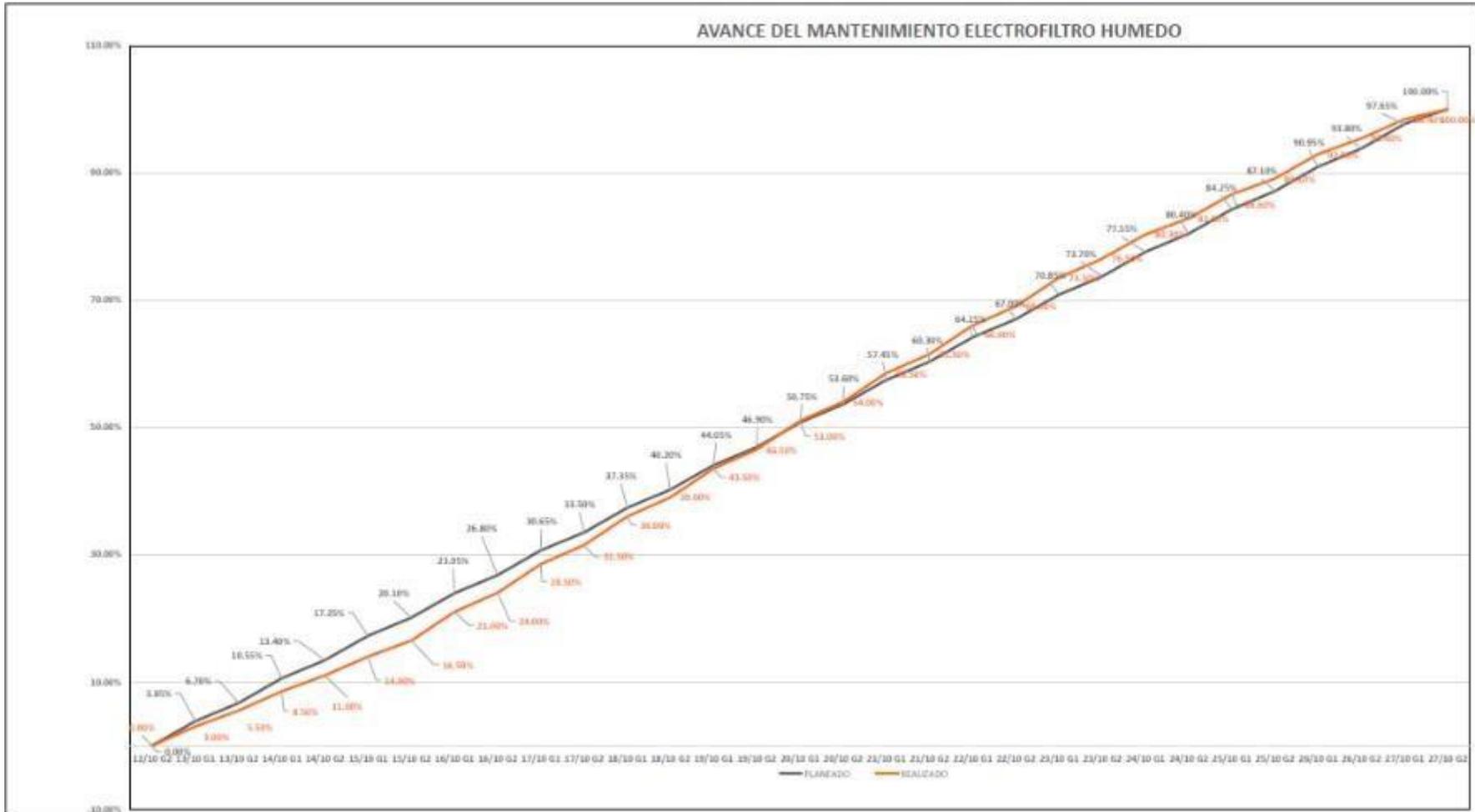
DT - 30 - 30 - 56

REV. 1

Anexo 18. Cronograma de Mantenimiento General

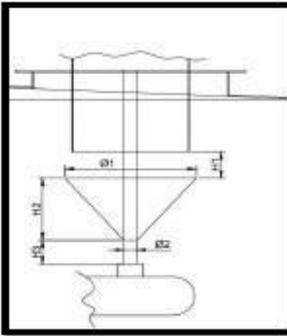
MANTENIMIENTO ELECTROFILTRO HUMEDO																									
Id	Modo de tarea	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	17 oct '20					18 oct '20					25 oct '20										
					L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J			
1		MANTENIMIENTO DE ELECTROFILTRO HUMEDO - SECCION 30	362 horas	12 oct 20:00	◆ 12/10																				
2		Inicio de proyecto	0 días	12 oct 20:00																					
3		MANTENIMIENTO	362 horas	12 oct 20:00	◆ 13/10																				
4		PREVIOS	12 horas	12 oct 20:00																					
5		LIBERACION DE EQUIPO DE OPERACIÓN E.H	12 horas	12 oct 20:00																					
15		Inicio de la ejecución	0 horas	13 oct 08:00																					
16		EJECUCION	350 horas	13 oct 08:00																					
17		HABILITACION PARA RETIRO DE TECHO	24 horas	13 oct 08:00																					
18		Habilitacion de sellado de ducto para retiro de ducto	4 horas	13 oct 08:00																					
19		Maniobra e izaje ducto de salida (GRUA TELESCOPICA)	4 horas	13 oct 12:00																					
20		Desmontaje y traslado del sistema de inyeccion	6 horas	13 oct 08:00																					
21		Desmontaje del sistema de calefaccion	4 horas	13 oct 14:00																					
22		retiro de aisladores	7.5 horas	13 oct 18:00																					
23		Retiro del sistema de drenaje	4 horas	13 oct 08:00																					
24		colocacion de tacos en bastidor superior	2.5 horas	13 oct 12:00																					
25		Retiro de pernos de tapa	5 horas	13 oct 14:30																					
26		Retiro de pernos de aisladores	4 horas	13 oct 19:30																					
27		Retiro de pernos de estructura	4 horas	13 oct 23:30																					
28		Retiro de deflectores del EFH	6 horas	13 oct 16:00																					
29		Retiro de 128 pesas, ganchos y electrodosparte inferior	3.5 horas	13 oct 22:00																					
30		Desmontaje de pesas superiores	2 horas	14 oct 01:30																					
31		Retiro de manhole laterales	4.5 horas	14 oct 03:30																					
32		RETIRO DE TECHO	12 horas	14 oct 08:00																					
33		Maniobra e izaje de los aisladores (GRUA TELESCOPICA)	2.5 horas	14 oct 08:00																					
34		Maniobra e izaje del sistema de inyeccion (GRUA TELESCOPICA)	3 horas	14 oct 10:30																					
35		Maniobra e izaje de la estructura del EFH (GRUA TELESCOPICA)	3 horas	14 oct 13:30																					
36		Maniobra e izaje de la tapa superior (GRUA TELESCOPICA)	2.5 horas	14 oct 16:30																					
37		Retiro de desechos a scopio temporal	1 hora	14 oct 19:00																					
38		DESMONTAJE DE ESTRUCTURA INFERIOR	12 horas	14 oct 20:00																					
39		Retiro de angulos del bastidor inferior	4 horas	14 oct 20:00																					
40		Desmontaje de bastidor inferior	8 horas	15 oct 00:00																					
41		Montaje de tablonos y manta en la parte superior (para soldar)	1.5 horas	14 oct 20:00																					

Anexo 19. Avance Diario del Mantenimiento – Curva S



Anexo 20. Registro de Medidas Post – Mantenimiento.

REGISTRO DE PRUEBAS DEL ELECTROFILTRO HUMEDO												
MANTENIMIENTO ELECTROFILTRO HUMEDO												
AREA	SECCION				CODIGO DEL EQUIPO							
PLANTA DE ACIDO	30											

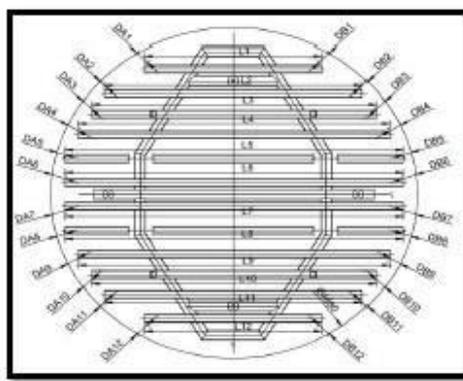


SOMBRERO CHINO DE AISLADORES					
	ø1 (440mm)	ø2 (61mm)	H1 (150mm)	H2 (180mm)	H3
SOMBRERO 1	430	230	170	183	90
SOMBRERO 2	445	230	173	183	95
SOMBRERO 3	430	230	175	180	90
SOMBRERO 4	445	230	170	180	90

Observacion:
Se coloco los gorros chinos de acuerdo a las medidas establecidas inicialmente.

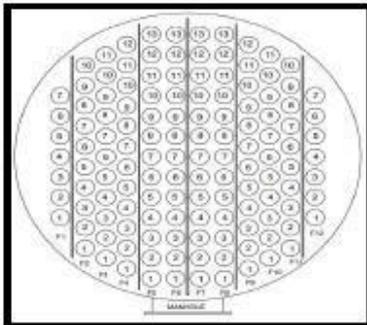
Nota: No hay comparacion con los gorros anteriores ya que su forma era distinta a lo establecido.





DIMENSIONES DEL ESPEJO SUPERIOR						
CANAL	DA	L	DB	DB	DB	DB
CANAL 1	DA 1	287	L 1	2375	DB 1	395
CANAL 2	DA 2	177	L 2	3460	DB 2	205
CANAL 3	DA 3	185	L 3	3800	DB 3	225
CANAL 4	DA 4	185	L 4	4140	DB 4	210
CANAL 5	DA 5	150	L 5	4495	DB 5	150
CANAL 6	DA 6	150	L 6	4510	DB 6	170
CANAL 7	DA 7	160	L 7	4495	DB 7	200
CANAL 8	DA 8	150	L 8	4450	DB 8	150
CANAL 9	DA 9	170	L 9	4140	DB 9	150
CANAL 10	DA 10	230	L 10	3800	DB 10	185
CANAL 11	DA 11	212	L 11	3445	DB 11	150
CANAL 12	DA 12	395	L 12	2404	DB 12	330

Observaciones
La distancia de separacion entre los bordes de los canales y las paredes de electrofiltros humedo, debe estar alrededor de los 150 mm.



TUBERIAS DE PLOMO DEL ELECTROFILTRO HUMEDO

Observaciones
Se volvio a repasar luego de una limpieza y se verifico 7 tubos obstruidos, se realizo la reparacion de los tubos.
Se logro pasar la maquina en todos los tubos por lo cual se puede confirmar la habilitacion de todos las tuberias.

Resumen
132 tuberias operativas

OPERATIVOS

NO OPERATIVOS

DEFORMADOS PERO OPERATIVOS

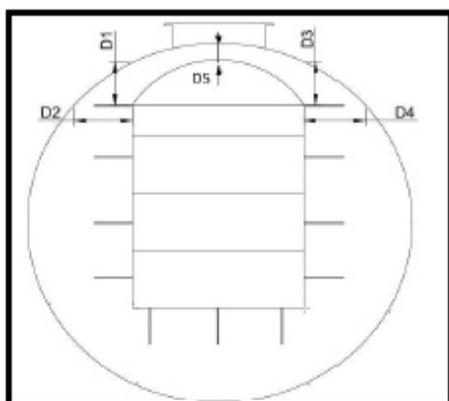
PLACA TUBULAR DE ELECTROFILTRO HUMEDO													
	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	TOTAL
OPERATIVOS	7/7	10/10	11/11	12/12	13/13	13/13	13/13	13/13	12/12	11/11	10/10	7/7	132
NO OPERATIVO													
DEFORMADO PERO OPERATIVO													
TOTAL													132

REGISTRO DE PRUEBAS DEL ELECTROFILTRO HUMEDO



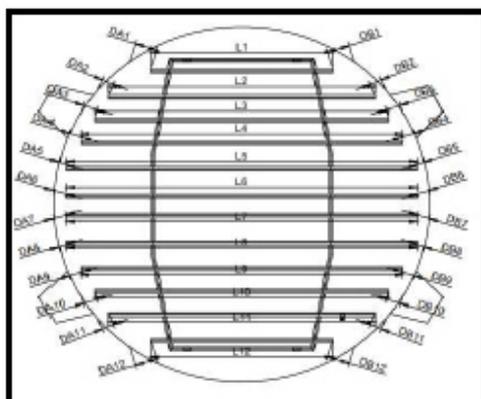
MANTENIMIENTO DE ELECTROFILTRO HUMEDO

AREA: PLANTA DE ACIDO SECCION: 30 CODIGO DEL EQUIPO: _____



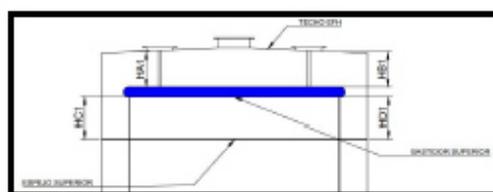
DIMENSIONES DEL DEFLECTOR	
D1	100
D2	700
D3	100
D4	700
D5	0

Observacion
Se coloco tal como se encontro inicialmente, respetando las medidas.



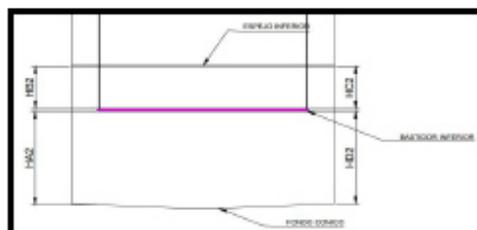
DIMENSIONES DE ANGULOS DEL BASTIDOR INFERIOR						
ANGULO 1	DA 1	330	L 1	2430	DB 1	390
ANGULO 2	DA 2	200	L 2	3400	DB 2	200
ANGULO 3	DA 3	250	L 3	3660	DB 3	290
ANGULO 4	DA 4	210	L 4	4100	DB 4	180
ANGULO 5	DA 5	190	L 5	4500	DB 5	185
ANGULO 6	DA 6	185	L 6	4480	DB 6	200
ANGULO 7	DA 7	185	L 7	4476	DB 7	185
ANGULO 8	DA 8	150	L 8	4500	DB 8	150
ANGULO 9	DA 9	200	L 9	4100	DB 9	210
ANGULO 10	DA 10	200	L 10	3660	DB 10	250
ANGULO 11	DA 11	230	L 11	3400	DB 11	190
ANGULO 12	DA 12	360	L 12	2340	DB 12	400

Observacion
La separacion de la pared a los extremos de los angulos se encuentra en el rango establecido, el cual esta alrededor de 130mm.



DIMENSION DEL BASTIDOR SUPERIOR	
HA1	778
HB1	780
HC1	400
HD1	400

Observacion
Se nivelo el bastidor superior y se coloco de acuerdo a la medida inicial.



DIMENSION DEL BASTIDOR INFERIOR	
HA2	1373
HB2	700
HC2	700
HD2	1373

Observacion
Se mantuvo la medidas encontradas inicialmente.
