

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



**“CONTROL DE CALIDAD DE LOS MÓDULOS DEL
SOBRECALENTADOR DEL CALDERO ACUOTUBULAR
DE RECUPERACIÓN DE CALOR DE LA UNIDAD DE
FCC DE LA REFINERÍA LA PAMPILLA DE MATERIAL
ASTM A213-T22”**

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

JOSUE ALEJANDRO REYES VILLANUEVA


Josue Reyes Villanueva
Dni: 47753563

Callao, Julio del 2021
PERÚ


MSC. Ing. Gustavo Ordoñez Cárdenas
Reg. CIP 30887
ASESOR.

(Resolución N°012-2021-C.F.-FIME. del 19 de enero de 2021)

ACTA N° 007 DE EXPOSICIÓN DE INFORME DE TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL DEL I CICLO TALLER PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO MECÁNICO E INGENIERO EN ENERGIA

LIBRO 001, FOLIO N° 055, ACTA N° 007 DE EXPOSICIÓN DE INFORME DE TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL DEL I CICLO TALLER PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO MECÁNICO

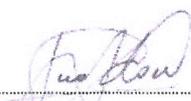
A los 08 días del mes julio, del año 2021, siendo las **18:21 horas**, se reunieron, en la sala meet: <https://meet.google.com/ypx-xsbx-dxh>, el **JURADO EVALUADOR DE INFORME FINAL** para la obtención del TÍTULO profesional de **Ingeniero Mecánico** de la **Facultad de Ingeniería Mecánica y de Energía**, conformado por los siguientes docentes ordinarios de la **Universidad Nacional del Callao**:

- | | | |
|--|---|------------|
| ▪ Dr. Palomino Correa, Juan Manuel | : | Presidente |
| ▪ Mg. Caldas Basauri, Alfonso Santiago | : | Secretario |
| ▪ Mg. Blas Zarzosa Adolfo Orlando | : | Vocal |
| ▪ Mg. Collante Huanto, Andrés | : | Suplente |

Se dio inicio al acto de exposición de informe de trabajo para titulación del Bachiller **REYES VILLANUEVA, JOSUE ALEJANDRO**, quien habiendo cumplido con los requisitos para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico sustenta la tesis titulada "**CONTROL DE CALIDAD DE LOS MÓDULOS DEL SOBREALENTADOR DEL CALDERO ACUOTUBULAR DE RECUPERACIÓN DE CALOR DE LA UNIDAD DE FCC DE LA REFINERÍA LA PAMPILLA DE MATERIAL ASTM A213-T22**", 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 sustentación de conformidad con lo establecido por el Reglamento de Grados y Títulos vigente. Luego de la exposición, y la absolución de las preguntas formuladas por el Jurado y efectuadas las deliberaciones pertinentes, acordó: Dar por **APROBADO** con la escala de calificación cualitativa **BUENO** y calificación cuantitativa **14 (Catorce)** la presente presente Tesis, 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 **18:59 horas** del día 08 de julio del 2021.


Dr. Juan Manuel Palomino Correa
Presidente de Jurado


Mg. Alfonso Santiago Caldas Basauri
Secretario de Jurado


Mg. Adolfo Orlando Blas Zarzosa
Vocal de Jurado


Mg. Andrés Collante Huanto
Suplente de jurado

DEDICATORIA

A mis padres Elias Reyes y Dalila Villanueva, por haberme dado la vida, por sus consejos y apoyo incondicional, todo lo que hoy soy es gracias a ellos.

A mi pareja Milagros Yupanqui por que su apoyo ha sido fundamental incluso en los momentos dificiles.

AGRADECIMIENTOS

A mi alma mater y a todas las personas que contribuyeron a mi formación profesional gracias a su apoyo pude lograr uno de mis objetivos.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	11
I. ASPECTOS GENERALES.....	12
Contexto de la realidad problemática.	12
1.1 Objetivos.....	12
1.1.1 Objetivo general.	12
1.1.2 Objetivos específicos.	12
1.2 Organización de la empresa o institución.	13
1.2.1 Antecedentes históricos.	13
1.2.2 Filosofía empresarial.	18
1.2.3 Estructura organizacional.	20
II. FUNDAMENTACIÓN DE LA EXPERIENCIA PROFESIONAL	24
2.1 Marco teórico.	24
2.1.1 Bases teóricas.....	24
2.1.2 Aspectos normativos.	76
2.1.3 Simbología técnica.	79
2.2 Descripción de las actividades desarrolladas.	84
2.2.1 Etapas de las actividades.....	84
2.2.2 Diagrama de flujo.....	86
2.2.3 Cronograma de actividades.....	88
III. APORTES REALIZADOS	89
3.1 Planificación, ejecución y control de etapas.	89
3.2 Evaluación técnica económica.	128
3.3 Análisis de resultados	131
IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	139
4.1 Discusión.	139
4.2 Conclusiones.	140
V. RECOMENDACIONES.....	141
VI. BIBLIOGRAFÍA.....	142
ANEXO.....	145

ÍNDICE DE FIGURAS.

FIGURA 1.1: LOGO DE LA EMPRESA ADEMINSAC.	13
FIGURA 1.2: LOGO DE LA EMPRESA INSPECTRA S.A.	14
FIGURA 1.3: LOGO DE LA EMPRESA SGS PERÚ.	15
FIGURA 1.4: LOGO DE LA EMPRESA INTERTEK PERÚ.	15
FIGURA 1.5: LOGO DE LA EMPRESA APPLUS NORCONTROL PERÚ.	16
FIGURA 1.6: LOGO DE LA EMPRESA OCA GLOBAL PERÚ.	17
FIGURA 1.7: LOGO DE LA EMPRESA CONTROL SERVICE GROUP.	18
FIGURA 1.8: ORGANIGRAMA DEL PROYECTO REPSOL.	23
FIGURA 2.1: DIAGRAMA DE PROCESO DE CRAQUEO CATALÍTICO FLUIDO.	26
FIGURA 2.2: CALDERA DE RECUPERACIÓN DE 3 PRESIONES.	28
FIGURA 2.3: DIAGRAMA DE PROCESOS DE UNA CALDERA DE RECUPERACIÓN DE CALOR.	29
FIGURA 2.4: ESQUEMA DE MÁQUINA DE TRACCIÓN, GRÁFICA Y PROBETAS PARA EL ENSAYO DE TRACCIÓN.	30
FIGURA 2.5: MEDICIÓN DE DUREZA CON DURÓMETRO PORTÁTIL SONODUR 3.	31
FIGURA 2.6: (A) ENSAYO DE COMPRESIÓN EN PROBETA CILÍNDRICA. (B) FRACTURA EN UN MATERIAL FRÁGIL. (C) LA COMPRESIÓN OCASIONA QUE EL MATERIAL SE EXPANDA.	32
FIGURA 2.7: ESQUEMA DE UN PROCESO TÍPICO DE REPLICAS METALOGRAFICAS.	33
FIGURA 2.8: ANÁLISIS DE REPLICAS METALOGRAFICAS POR MEDIO DE UN MICROSCOPIO PORTÁTIL.	33
FIGURA 2.9: ENSAYO DE FATIGA POR FLEXIÓN ROTATIVA.	34
FIGURA 2.10: INSPECCIÓN VISUAL DIRECTA.	36
FIGURA 2.11: INSPECCIÓN VISUAL REMOTA USANDO UN BOROSCOPIO GE INSPECTIONS XL VU.	36
FIGURA 2.12: INGRESO DEL PENETRANTE EN LA DISCONTINUIDAD.	37
FIGURA 2.13: PENETRANTE EXTRAÍDO A LA SUPERFICIE.	37
FIGURA 2.14: INSPECCIÓN POR TINTE PENETRANTE FLUORESCENTE.	38
FIGURA 2.15: INSPECCIÓN POR TINTE PENETRANTE VISIBLE.	38
FIGURA 2.16: DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO DE PENETRANTE LAVABLE CON AGUA.	39
FIGURA 2.17: DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO DE PENETRANTE POST-EMULSIFICABLE LIPOFÍLICO.	40
FIGURA 2.18: DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO DE PENETRANTE REMOVIBLE POR SOLVENTE.	41
FIGURA 2.19: DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO DE PENETRANTE POST - EMULSIFICABLE HIDROFÍLICO.	41
FIGURA 2.20: LÍNEAS DE FLUJO MAGNÉTICO.	43

FIGURA 2.21: INSPECCIÓN POR PARTÍCULAS SECAS.	43
FIGURA 2.22: INSPECCIÓN POR PARTÍCULAS HÚMEDAS.	44
FIGURA 2.23: INDICACIÓN DE DISCONTINUIDAD EN UNIÓN SOLDADA.	45
FIGURA 2.24: INSPECCIÓN POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS FLUORESCENTES.	45
FIGURA 2.25: PRINCIPIO DE LA INSPECCIÓN POR CORRIENTES INDUCIDAS.	46
FIGURA 2.26: INSPECCIÓN DE TUBOS DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR CON CORRIENTES INDUCIDAS.	47
FIGURA 2.27: ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO.	48
FIGURA 2.28: ESQUEMA DE UN TUBO DE RAYOS X.	49
FIGURA 2.29: TUBO DE RAYOS X.	50
FIGURA 2.30: PODER DE PENETRACIÓN DE LAS RADIACIONES.	50
FIGURA 2.31: DECAIMIENTO RADIOACTIVO DE UNA FUENTE DE CESIO.	51
FIGURA 2.32: FUENTE RADIOACTIVA DE IRIDIO-192.	54
FIGURA 2.33: PARTES DEL PORTAFUENTE.	54
FIGURA 2.34: MODELOS DE IRRADIADORES DE IRIDIO-192.	55
FIGURA 2.35: ESQUEMA FUENTE CATEGORÍA I.	56
FIGURA 2.36: ESQUEMA FUENTE CATEGORÍA II.	57
FIGURA 2.37: TIPO DE FUENTE CLASE P.	57
FIGURA 2.38: TIPO DE FUENTE CLASE M.	58
FIGURA 2.39: TIPO DE FUENTE CLASE F.	58
FIGURA 2.40: TELEMANDO PARA GAMMAGRAFÍA INDUSTRIAL.	59
FIGURA 2.41: TUBOS GUÍA PARA FUENTES DE GAMMAGRAFÍA INDUSTRIAL.	59
FIGURA 2.42: COLIMADORES PARA GAMMAGRAFÍA INDUSTRIAL.	60
FIGURA 2.43: TIPO DE DISCONTINUIDADES.	61
FIGURA 2.44: (1) LA ONDA VIAJA LIBREMENTE POR EL MATERIAL. (2) LA ONDA ES REFLEJADA POR EL DEFECTO INTERNO DEL MATERIAL.	62
FIGURA 2.45: ESQUEMA DEL MÉTODO DE CONTACTO.	63
FIGURA 2.46: ESQUEMA DEL MÉTODO DE INMERSIÓN.	63
FIGURA 2.47: ESQUEMA DE LA TÉCNICA PULSO-ECO.	64
FIGURA 2.48: INSPECCIÓN DE SOLDADURA MEDIANTE EL MÉTODO PHASED ARRAY.	65
FIGURA 2.49: TÉCNICA TOFD DE UN SOLO GRUPO.	65
FIGURA 2.50: REPRESENTACIÓN TIPO A (A-SCAN).	66
FIGURA 2.51: REPRESENTACIÓN TIPO B (B-SCAN).	67
FIGURA 2.52: REPRESENTACIÓN TIPO C (C-SCAN).	67
FIGURA 2.53: PRINCIPIO DE LA EMISIÓN ACÚSTICA.	68
FIGURA 2.54: CÁMARA TERMOGRÁFICA FLIR T440.	69
FIGURA 2.55: EMISIVIDAD, TRANSMISIÓN Y REFLEXIÓN.	69
FIGURA 2.56: TERMOGRAFÍA AL CALDERO DE RECUPERACIÓN DE CALOR DE FCC.	72
FIGURA 2.57: DETECCIÓN DE FUGAS POR EL MÉTODO DE BURBUJAS.	73

FIGURA 2.58: PRUEBA HIDROSTÁTICA LADO CASCO EN INTERCAMBIADOR 01E25B. ...	74
FIGURA 2.59: EQUIPOS DE ULTRASONIDO ACÚSTICO (UL 101 -CTRL SYSTEMS).....	74
FIGURA 2.60: IDENTIFICACIÓN POSITIVA DE MATERIAL (PMI) DE BRIDA.	75
FIGURA 2.61: POSICIÓN ESTÁNDAR DE LOS ELEMENTOS EN EL SÍMBOLO PARA EL ENSAYO NO DESTRUCTIVO	80
FIGURA 2.62: SIMBOLOGÍA DE EXAMINACIÓN EN EL LADO DE LA FLECHA.....	80
FIGURA 2.63: SIMBOLOGÍA DE EXAMINACIÓN EN AMBOS LADOS DE LA PIEZA.....	80
FIGURA 2.64: SIMBOLOGÍA DE COMBINACIÓN DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS.	81
FIGURA 2.65: SIMBOLOGÍA DE LA DIRECCIÓN DE LA RADIACIÓN.....	81
FIGURA 2.66: SIMBOLOGÍA DE EXAMINACIÓN DE SUPERFICIES PLANAS.	81
FIGURA 2.67: SIMBOLOGÍA DEL ENSAYO DE EMISIÓN ACÚSTICA.	82
FIGURA 2.68: SIMBOLOGÍA DE SEÑALIZACIÓN EN ZONAS DE RIESGO DE RADIACIÓN IONIZANTE.....	82
FIGURA 2.69: NUEVO SÍMBOLO DE ADVERTENCIA DE RADIACIÓN IONIZANTE. (ISO 21482:2007).....	83
FIGURA 2.70: SIMBOLOGÍA CUANDO EL ÍNDICE DE TRANSPORTE ES 0 (TI=0).....	83
FIGURA 2.71: SIMBOLOGÍA CUANDO EL ÍNDICE DE TRANSPORTES ESTA ENTRE $0 < TI < 1$	84
FIGURA 2.72: SIMBOLOGÍA CUANDO EL ÍNDICE DE TRANSPORTES ESTA ENTRE $1 < TI < 10$	84
FIGURA 2.73: DIAGRAMA DE FLUJO DE LAS ETAPAS DEL PROYECTO.....	87
FIGURA 2.74: CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....	88
FIGURA 3.1: MÓDULO DE SOBRECALENTADOR	90
FIGURA 3.2: MÓDULO DE EVAPORADOR Y ECONOMIZADOR.....	91
FIGURA 3.3: DIAGRAMA DE FLUJO DE LA INSPECCIÓN VISUAL	93
FIGURA 3.4: MÓDULOS NUEVOS DEL SOBRECALENTADOR.....	94
FIGURA 3.5: LIMPIEZA DE CORDONES DE SOLDADURA PARA LA EXAMINACIÓN VISUAL.	94
FIGURA 3.6: ESQUEMA DE LOS MÓDULOS DEL SOBRECALENTADOR.....	95
FIGURA 3.7: FALTA DE FUSIÓN EN LA UNIÓN DEL NIPLE INFERIOR Y EL TUBO N°5 DE LA FILA 3	96
FIGURA 3.8: RECHUPE EN UNIÓN DEL NIPLE INFERIOR Y EL TUBO N°11 DE LA FILA 3.	96
FIGURA 3.9: PORO EN UNIÓN NIPLE SUPERIOR Y TUBO N°7 DE LA FILA 3.....	97
FIGURA 3.10: ESQUEMA TÍPICO DE LOS MÓDULOS.....	98
FIGURA 3.11: PREPARACIÓN DE SUPERFICIE DEL NIPLE Y TUBO DEL MÓDULO 1.	102
FIGURA 3.12: ACABADO TIPO ESPEJO.....	102
FIGURA 3.13: APLICACIÓN DE LA PELÍCULA DE ACETATO DE CELULOSA.....	103
FIGURA 3.14: DIAGRAMA DE FLUJO DE EXAMINACIÓN DE ULTRASONIDO DE HAZ RECTO.	105

FIGURA 3.15: ESQUEMA DE ZONA DE MEDICIÓN DE ESPESORES	106
FIGURA 3.16: GRÁFICO RESUMEN DE ESPESORES MÓDULO N°1, FILA 1.	108
FIGURA 3.17: GRÁFICO RESUMEN DE ESPESORES MÓDULO N°1, FILA 3.	110
FIGURA 3.18: GRÁFICO RESUMEN DE ESPESORES MÓDULO N°2, FILA 1.	112
FIGURA 3.19: GRÁFICO RESUMEN DE ESPESORES MÓDULO N°2, FILA 3.	114
FIGURA 3.20: GRÁFICO DE ESPESORES MÓDULO N°3, FILA1.	116
FIGURA 3.21: GRÁFICO DE ESPESORES MÓDULO N°3, FILA 3.	118
FIGURA 3.22: GRÁFICA DE ESPESORES MÓDULO N°4, FILA 1.....	120
FIGURA 3.23: GRÁFICO DE ESPESORES MÓDULO N°4, FILA 3.	122
FIGURA 3.24: ESQUEMA DE POSICIÓN DE TOMA DE PLACA RADIOGRÁFICA.	125
FIGURA 3.25: POROS AGRUPADOS EN UNIÓN NIPLE-TUBO COLECTOR INFERIOR DEL MÓDULO N°2.	126
FIGURA 3.26: POROS AGRUPADOS EN UNIÓN NIPLE-TUBO COLECTOR INFERIOR DEL MÓDULO N°1.	126
FIGURA 3.27: ESQUEMA DE ZONAS EXAMINADAS POR RADIOGRAFÍA INDUSTRIAL....	127

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1.1: PRINCIPALES CLIENTES DE LA EMPRESA ADEMINSAC.....	21
TABLA 2.1: COMPOSICIÓN QUÍMICA (%) PARA LOS GRADOS PRINCIPALES.	25
TABLA 2.2: FACTOR DE ABSORCIÓN.....	52
TABLA 2.3: EQUIVALENCIA DE PELÍCULAS RADIOGRÁFICAS.	53
TABLA 2.4: ALGUNOS FACTORES DE PELÍCULA RADIOGRÁFICA MARCA AGFA.....	53
TABLA 2.5: IMPEDANCIA DE ALGUNOS MATERIALES.....	62
TABLA 2.6: TABLA DE EMISIVIDAD DE LOS MATERIALES MÁS IMPORTANTES.....	70
TABLA 2.7: SIGLAS DE LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS.	79
TABLA 3.1: RESULTADO DE DUREZA DEL MÓDULO N°1.....	98
TABLA 3.2: RESULTADO DE DUREZA DEL MÓDULO N°2.....	100
TABLA 3.3: RESULTADO DE DUREZA DEL MÓDULO N°3.....	100
TABLA 3.4: RESULTADO DE DUREZA DEL MÓDULO N°4.....	101
TABLA 3.5: VELOCIDAD ACÚSTICA EN MATERIALES DE INGENIERÍA.....	104
TABLA 3.6: ESPEORES MÓDULO N°1, FILA 1.....	107
TABLA 3.7: ESPEORES MÓDULO N°1, FILA 3.....	109
TABLA 3.8: ESPEORES MÓDULO N°2, FILA 1.....	111
TABLA 3.9: ESPEORES MÓDULO N°2, FILA 3.....	113
TABLA 3.10: ESPEORES MÓDULO N°3, FILA 1.....	115
TABLA 3.11: ESPEORES MÓDULO N°3, FILA 3.....	117
TABLA 3.12: ESPEORES MÓDULO N°4, FILA 1.....	119
TABLA 3.13: MEDICIÓN DE ESPEORES MÓDULO N°4, FILA 3.....	121
TABLA 3.14: RESULTADOS DE LA INSPECCIÓN POR ULTRASONIDO DE HAZ ANGULAR.	123
TABLA 3.15: CAPACIDAD INSTALADA.	128
TABLA 3.16: COSTO DEL ENSAYO DE DUREZA.....	129
TABLA 3.17: COSTO DEL ENSAYO DE RÉPLICAS METALGRÁFICAS.....	129
TABLA 3.18: COSTO DE LA MEDICIÓN DE ESPEORES.	129
TABLA 3.19: COSTO DE ULTRASONIDO DE HAZ ANGULAR.	130
TABLA 3.20: COSTO DE INSPECCIÓN POR RADIOGRAFÍA INDUSTRIAL.	130
TABLA 3.21: RESUMEN DE COSTOS.....	130
TABLA 3.22: LÍMITES DE DUREZA BRINELL PARA ACEROS EN SERVICIOS DE REFINADO	131
TABLA 3.23: RESULTADOS DE PLACAS GAMMAGRÁFICAS MÓDULOS N°1.....	135
TABLA 3.24: RESULTADOS DE PLACAS GAMMAGRÁFICAS MÓDULO N°2.	136
TABLA 3.25: RESULTADOS DE PLACAS GAMMAGRÁFICAS MÓDULO N°3.....	137
TABLA 3.26: RESULTADOS DE PLACAS GAMMAGRÁFICAS MÓDULO N°4.	138

INTRODUCCIÓN

El control de calidad en los equipos y sus partes en la industria de los hidrocarburos es fundamental debido a que una falla en servicio puede generar consecuencias graves como pérdidas humanas y contaminación ambiental, en adición un paro de emergencia genera sobrecostos en el mantenimiento del equipo. En los últimos años la refinería la pampilla sufre el paro de emergencia del caldero acuotubular y esto se debe a la falla repentina de los tubos del sobrecalentador, lo cual conlleva a paros de emergencia de la unidad de Craqueo Catalítico Fluido (FCC).

Por lo cual en el presente trabajo el objetivo es aplicar los diferentes tipos de ensayos destructivos y no destructivos en los tubos del caldero acuotubular los cuales deberían ser de material ASTM A213-T22 y garantizar la calidad del material y de las uniones soldadas.

Los ensayos no destructivos son pruebas utilizadas para poder detectar discontinuidades internas y superficiales o para determinar las propiedades selectas en materiales, soldaduras, componentes y sus partes, usando técnicas que no alteran el estado físico ni las propiedades químicas del material inspeccionado.

En el capítulo I, se desarrolla los aspectos generales como los objetivos y organización de la empresa.

En el capítulo II, se desarrolla la fundamentación de la experiencia laboral, marco teórico y la descripción de las actividades desarrolladas.

En el capítulo III, se realiza los aportes realizados.

En el capítulo IV, se desarrolla las discusiones y conclusiones.

En el capítulo V, se realiza las recomendaciones.

I. ASPECTOS GENERALES.

Contexto de la realidad problemática.

En los últimos años el problema principal del paro del caldero acuotubular de recuperación de calor de la unidad de Craqueo Catalítico Fluido de la Refinería la Pampilla se debe a la falla repentina de los tubos del sobrecalentador, lo cual conlleva a paros de emergencia de la unidad y generan un sobre costo en el mantenimiento.

Dicha fallas de los tubos del sobrecalentador se debe a los defectos en la soldadura de fabricación o en equivocación en la selección de material lo cuales no son los de diseño, estos módulos son fabricados por una empresa contratista y suministrados a Repsol para su montaje, ya que los paros de emergencia son frecuentes y generan pérdidas económicas Ademinsac presta el servicio de control de calidad en el recibimiento del módulo para poder dar fiabilidad y lograr que el caldero opere con normalidad hasta su próxima fecha de parada programada.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo general.

Aplicar los ensayos destructivos y no destructivos a los tubos de aceros ASTM A213-T22, para garantizar la calidad del material en el caldero acuotubular de recuperación de calor de la Refinería La Pampilla.

1.1.2 Objetivos específicos.

- Identificar las discontinuidades en la fabricación de los módulos de sobrecalentador.
- Identificar los puntos críticos para realizar los ensayos destructivos y no destructivos.
- Evitar el paro de emergencia del caldero.
- Reducción en el costo del mantenimiento del caldero.

1.2 Organización de la empresa o institución.

1.2.1 Antecedentes históricos.

ADEMINSAC

Es una empresa fundada en el Perú en 1985 por el ingeniero Alberto Reyna, que tiene como objetivo prestar servicios de mantenimiento predictivo, inspección mediante ensayos no destructivos y gestión integral de mantenimiento en todo tipo de industrias, con técnicas convencionales y emergentes.

La experiencia y la calidad de nuestros servicios nos permite ir más allá de nuestras fronteras y liderar los mercados de Ecuador, Chile, Colombia, Venezuela, Bolivia, Brasil, México, República Dominicana, Costa Rica, Panamá, Nicaragua, Puerto Rico, Portugal, Emiratos y los Estados Unidos. (ADEMINSAC)

- Razón social: AHORRO DE ENERGIA Y MANTENIMIENTO INDUSTRIAL S.A.C.
- RUC: 20111025739.
- Oficina Principal: Cal. Cerro Azul Nro. 479 Int. 101a, Santiago de Surco.

Figura 1.1: Logo de la empresa ADEMINSAC.



Fuente: <https://ademinsa.com/>

Otras empresas nacionales dedicadas al rubro de la inspección son las siguientes:

INSPECTRA S.A.

Desde 1996, la calidad de los servicios especializados de Ingeniería e Inspección que brinda INSPECTRA es reconocida por nuestros clientes y socios estratégicos de los sectores oíl, gas, minera, química y energía. INSPECTRA se

ha consolidado como la empresa peruana líder en servicios de consultoría, ingeniería de diseño básico y detallado, análisis de riesgo y Estudios de Impacto Ambiental. Nuestra línea de servicios en Ensayos no Destructivos e Inspección de tanques y tuberías mediante escaneo es reconocida como la mejor en el sector. (INSPECTRA S.A.)

- Razón social: INSPECTRA S.A.
- RUC: 20302083666.
- Oficina Principal: Av. Guardia Civil Nro. 686, San Isidro.

Figura 1.2: Logo de la empresa INSPECTRA S.A.



Fuente: <http://www.inspectraperu.com/>

SGS PERÚ.

El año 1986 empezaron a operar en la ciudad de Lima con un pequeño equipo de 40 empleados. Hoy, la sede peruana de SGS es una de las más importantes, donde todas las actividades de la región sudamericana son centralizadas y coordinadas.

En la actualidad, están presentes en 28 ciudades del Perú, con cerca de 2,000 empleados, ofreciendo un rango amplio de soluciones a prácticamente todo sector e industria existente, incluyendo medioambiente, agricultura, minería,

industrial, pesca, certificación de sistemas de gestión, productos de consumo, automotriz y, petróleo, gas y productos químicos. (SGS)

- Razón social: SGS DEL PERU S.A.C.
- RUC: 20100114349.
- Oficina Principal: Av. Elmer Faucett Nro. 3348 Z.I, Callao.

Figura 1.3: Logo de la empresa SGS PERÚ.



Fuente: <https://www.sgs.pe/>

INTERTEK PERÚ.

Intertek Perú opera desde 1985, siendo una empresa líder en servicios de inspección, auditorías, análisis y certificación de productos y/o servicios requeridos por empresas privadas e instituciones del Gobierno. Cuenta para ello con las más innovadoras tecnologías garantizando así que los productos adquiridos y sistemas bajo los que se producen cumplen los requisitos de calidad establecidos. (INTERTEK PERÚ)

- Razón social: INTERTEK TESTING SERVICES PERU S.A.
- RUC: 20106498386.
- Oficina Principal: Cal. Mariscal Jose de la Mar Nro. 200, San Luis.

Figura 1.4: Logo de la empresa INTERTEK PERÚ.



Fuente: <https://www.intertek.com.pe/>

APPLUS NORCONTROL PERÚ.

Applus+ es una de las empresas líderes mundiales en el sector de la inspección, los ensayos y la certificación. Son un grupo de confianza reconocido en el mercado, que ayuda a sus clientes a potenciar la calidad y la seguridad de sus activos, infraestructuras y operaciones, así como a potenciar su desempeño medioambiental. Nuestra capacidad técnica, de innovación y nuestro equipo humano altamente cualificado y motivado de más de 23.000 empleados nos permiten asegurar la excelencia operacional en sectores muy diversos en más de 70 países. (APPULS norcontrol)

- Razón social: APPLUS NORCONTROL PERU S.A.C.
- RUC: 20545868505.
- Oficina Principal: Av. el Derby Nro. 254 Int. 901, Santiago de Surco.

Figura 1.5: Logo de la empresa APPLUS NORCONTROL PERÚ.



Fuente: <https://www.applus.com/pe/es/>

OCA GLOBAL PERÚ.

El proyecto OCA fue creado en 2010, pero sus orígenes se remontan más de 40 años atrás, concretamente a 1979, cuando Ramon Fajula, fundó un proyecto empresarial pionero que revolucionó el sector español de la inspección y la certificación industrial: Grupo ECA.

OCA Global en Perú se posiciona actualmente como un referente en la industria de la inspección, certificación y ensayos, siendo la compañía del sector con un

mayor crecimiento orgánico en el país. Nuestro amplio portafolio de servicios permite brindar una cobertura nacional, dando soluciones para los sectores Oil & Gas, Energéticos, Industrial, Pesca, Minería y Medio Ambiente. (OCA GLOBAL)

- Razón social: CALIDAD MEDIO AMBIENTE Y SEGURIDAD DEL PERU S.A.C.
- RUC: 20602485332
- Oficina Principal: Av. Circunvalación Club Golf Nro. 134 Int. 405, Santiago de Surco.

Figura 1.6: Logo de la empresa OCA GLOBAL PERÚ.



Fuente: <https://ocaglobal.com/es/peru>

CONTROL SERVICE GROUP.

CONTROL SERVICE GROUP es una empresa peruana fue creada el 2004, dedicada principalmente al control de calidad e inspección en el sector industrial, son una empresa de servicios, dedicada a atender las necesidades de gestión de calidad mediante diferentes ensayos no destructivos y destructivos aplicadas en la ejecución de proyectos, fabricación, montaje, mantenimiento y reparaciones en los principales sectores productivos del país. (CONTROL SERVICE GROUP SAC)

- Razón social: CONTROL SERVICE GROUP SAC.
- RUC: 20509117480.
- Oficina Principal: Mz A. L-11 Lote. 41, Chorrillos.

Figura 1.7: Logo de la empresa CONTROL SERVICE GROUP.



Fuente: <https://www.controlservicegroup.com/>

1.2.2 Filosofía empresarial.

Misión.

Satisfacer las necesidades de nuestros clientes y superar sus expectativas, brindando servicios y/o productos de alta calidad y tecnología de última generación que nos diferencien y nos lleven a mantener el liderazgo del mercado. (ADEMINSAC)

Visión.

Ser la empresa líder en la prestación de servicios de mantenimiento predictivo-proactivo e inspecciones de ensayos no destructivos en el mercado regional y global, con proyecciones de crecimiento sostenido, garantizando la total satisfacción de nuestros clientes. (ADEMINSAC)

Cumplimientos de las leyes.

En Ademinsac somos respetuosos de la ley. Todos los trabajadores deberán cumplir las leyes y reglamentos a cabalidad. El desconocimiento de una ley o su reglamento no constituye excusa para no cumplirla. (Código de conducta)

Fortalezas.

La fortaleza de Ademinsac, es el equipo humano con el que cuenta, preocupándose de la capacitación constante en el área que se desarrolla, fomentando un clima laboral en el cual les permite desarrollar su máximo potencial. (Código de conducta)

Trabajo responsable.

En Ademinsac estamos comprometidos a cumplir con nuestro trabajo de forma responsable.

Cumplimos nuestras funciones con responsabilidad, dentro del marco de nuestra política del sistema integrado de gestión y el código de conducta y ética profesional. (Código de conducta)

Política de responsabilidad social y la no discriminación.

En Ademinsac somos respetuosos de la cultura, raza, género, situación económica, creencias y costumbres de nuestros trabajadores, así como de las personas y comunidades con las que tengamos contacto ya sea personal o en el ejercicio de nuestras funciones, comunidades a las que apoyaremos en acuerdo con las políticas y programas de nuestros clientes en las zonas de trabajo. (Código de conducta)

Medio ambiente.

En Ademinsac somos conscientes de la necesidad de preservar el Medio Ambiente, por ello nuestros trabajadores harán todo lo que este a su alcance para cuidar y velar por que sea preservado el Medio Ambiente. (Código de conducta)

Política de calidad, seguridad, salud en el trabajo y medio ambiente.

ADEMINSAC es una empresa que ofrece servicios de mantenimiento predictivo, inspección mediante ensayos no destructivos, calibración de equipos, certificación de tanques y Grúas y gestión de mantenimiento en todo tipo de industrias con técnicas convencionales y emergentes.

Satisfacer las necesidades de nuestros clientes, superando sus expectativas, brindando servicios con personal certificado en el momento oportuno y/o productos de alta calidad. Contamos con técnicas y equipos de última tecnología, que nos diferencia y garantiza el liderazgo del mercado, cumpliendo con altos estándares de calidad, seguridad, salud en el trabajo y medio ambiente, velando por la protección de nuestros trabajadores y clientes donde desarrollamos nuestras actividades. (Código de conducta)

Acoso.

Ademinsac prohíbe estrictamente el hostigamiento sexual. El hostigamiento sexual incluye insinuaciones de índole sexual, peticiones de favores sexuales, hacer comentarios obscenos, mostrar fotografías o imágenes pornográficas, pedir citas en forma reiterada a los compañeros de trabajo y cualquier otra conducta de naturaleza sexual sea escrita, verbal o física. (Código de conducta)

Sobornos.

Ademinsac no tolerará que un empleado reciba dinero, especies o favor alguno para influenciarlo en el cumplimiento de sus funciones o en la toma de sus decisiones. Ademinsac no efectuará pagos en dinero, especies u otorgará favores, con el fin de obtener beneficios por parte de funcionarios de empresas o autoridades para recibir favores o influenciar sus decisiones en beneficio de nuestra empresa. (Código de conducta)

Conflicto de interés.

Los trabajadores de Ademinsac no deben participar en actividades que puedan implicar un conflicto entre sus intereses personales, los de Ademinsac o sus clientes. Así mismo, ningún trabajador de Ademinsac podrá efectuar trabajos adicionales, personales o para compañías externas. (Código de conducta)

Confidencialidad.

El trabajador de Ademinsac protegerá la información confidencial, sea ésta de propiedad de Ademinsac o de sus clientes. Respetamos y valoramos la "Propiedad Intelectual" y la consideramos como un activo valioso, de propiedad de la persona o institución que la generó, por lo cual será custodiada. Nunca usaremos cualquier información confidencial que nos sea revelada para beneficio propio o el de un tercero. (Código de conducta)

1.2.3 Estructura organizacional.

El cargo que desarrollé en el proyecto que es tema del presente informe fue el de Supervisor, dentro de mis funciones están las siguientes actividades

- Coordinar la ejecución los trabajos de inspección en planta.
- Seguimiento y control de los trabajos para cumplir con el plan de inspección anual.
- Verificar que el trabajo ejecutado en campo cumpla con lo establecido en los alcances del proyecto.
- Redacción de informes de los trabajos de inspección.
- Actualización de los planes de inspección en SAP.
- Generación de planes de inspección en SAP.
- Verificar el cumplimiento de los procedimientos de trabajo seguro.
- Emitir informe de avance diario al ingeniero residente.
- Realizar las valorizaciones mensuales.

Los principales clientes de Ademinsac son los siguientes:

Tabla 1.1: Principales clientes de la empresa ADEMINSAC.

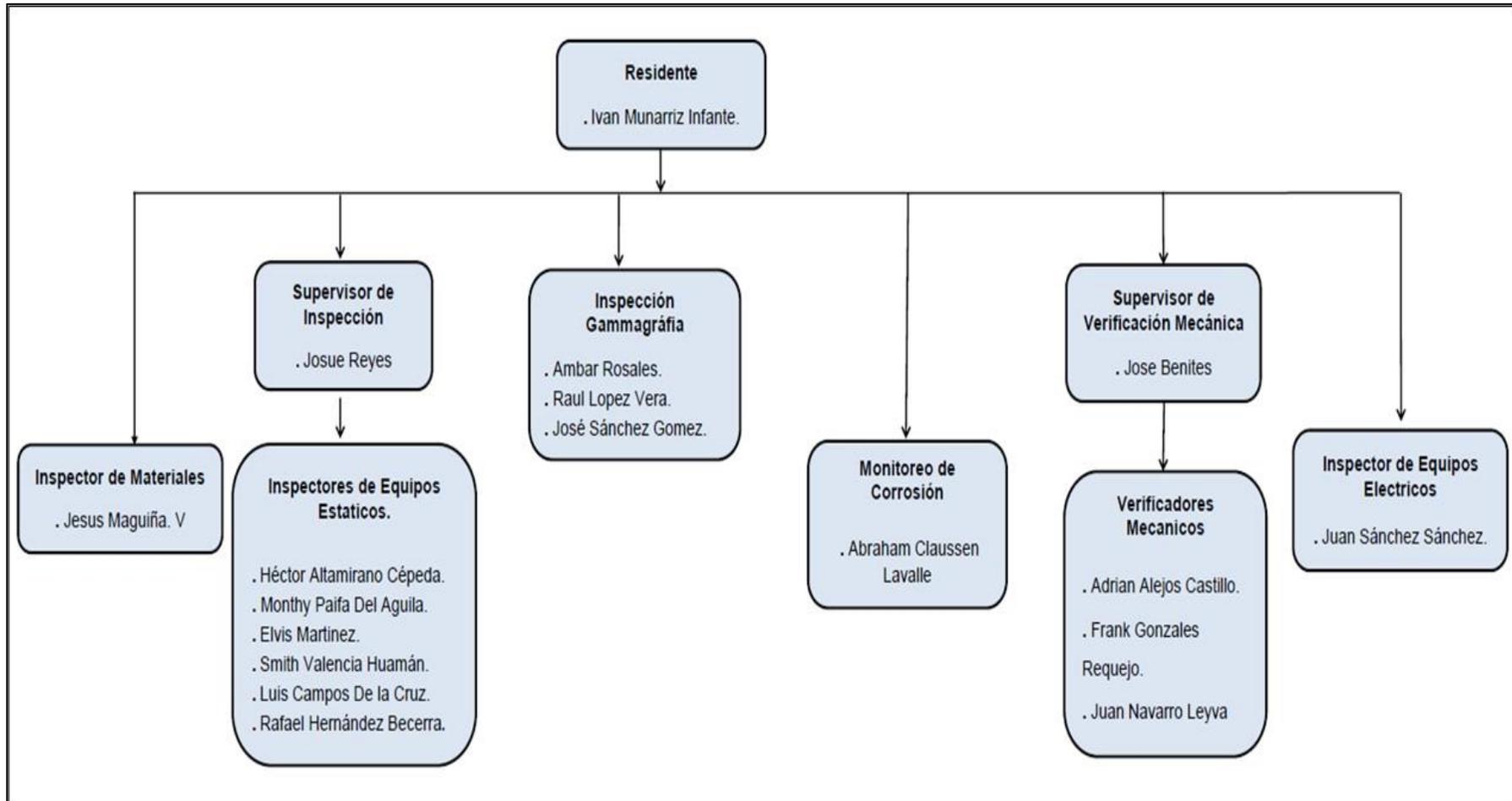
REPSOL	
ECOPETROL	
MILPO	
PLUSPETROL	

PETROECUADOR	
BARRICK	
YANACOCHA	
VALERO	
LAS BAMBAS	
CERRO VERDE	

Fuente: Elaboración propia

ORGANIGRAMA PROYECTO REPSOL

Figura 1.8: Organigrama del proyecto Repsol.



Fuente: Elaboración propia.

II. FUNDAMENTACIÓN DE LA EXPERIENCIA PROFESIONAL

2.1 Marco teórico.

2.1.1 Bases teóricas

Norma ASTM A213.

El ASTM A213-T22 es parte de la norma ASTM A213, la especificación SA213 son tubos fabricados sin soldadura de acero ferrítico al Cromo-Molibdeno e inoxidable austenítico para el uso de calderas, sobrecalentadores de vapor e intercambiadores, el grado T22 se usan para caldera de temperaturas elevadas en el rango de 540°C - 595 °C.

Este material es resistente a la corrosión y oxidación a altas temperaturas de hasta 540°C. (GRUPO ALMESA, 2015)

Las dimensiones que generalmente suministran son las siguientes.

Diámetro interno: 3.2mm (1/8") – 127mm (5").

Espesor de pared: 0.4mm (0.015") – 12.7mm (1/2").

Existen diferentes tipos de grados en la especificación ASTM A213, las cuales se diferencian en sus propiedades químicas tal como se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 2.1: Composición química (%) para los grados principales.

Grade	Composition, %									Other Elements
	Carbon	Manganese	Phosphorus, max	Sulfur, max	Silicon	Chromium	Molybdenum	Titanium	Vanadium, min	
T2 ^A	0.10-0.20	0.30-0.61	0.025	0.025	0.10-0.30	0.50-0.81	0.44-0.65	...	...
T5	0.15 max	0.30-0.60	0.025	0.025	0.50 max	4.00-6.00	0.45-0.65	...	...
T5b	0.15 max	0.30-0.60	0.025	0.025	1.00-2.00	4.00-6.00	0.45-0.65	...	...
T5c	0.12 max	0.30-0.60	0.025	0.025	0.50 max	4.00-6.00	0.45-0.65	^B	...	
T9	0.15 max	0.30-0.60	0.025	0.025	0.25-1.00	8.00-10.00	0.90-1.10	...	...
T11	0.05 min-0.15 max	0.30-0.60	0.025	0.025	0.50-1.00	1.00-1.50	0.44-0.65	...	...
T12 ^A	0.05 min-0.15 max	0.30-0.61	0.025	0.025	0.50 max	0.80-1.25	0.44-0.65	...	...
T17	0.15-0.25	0.30-0.61	0.025	0.025	0.15-0.35	0.80-1.25	...	...	0.15	
T21	0.05 min-0.15 max	0.30-0.60	0.025	0.025	0.50 max	2.65-3.35	0.80-1.06	...	...
T22	0.05 min-0.15 max	0.30-0.60	0.025	0.025	0.50 max	1.90-2.60	0.87-1.13	...	...
T23	0.04-0.10	0.10-0.60	0.030	0.010	0.50 max	1.90-2.60	0.05-0.30	...	0.20-0.30	W 1.45-1.75 Cb 0.02-0.08 B 0.0005-0.006 N 0.030 max Al 0.030 max
T24	0.05-0.10	0.30-0.70	0.020	0.010	0.15-0.45	2.20-2.60	0.70-1.10	0.06-0.10	0.20-0.30	B 0.0015-0.0020 N 0.012 max Al 0.020 max
T91	0.08-0.12	0.30-0.60	0.020	0.010	0.20-0.50	8.00-9.50	0.85-1.05	...	0.18-0.25	Cb 0.06-0.1 N 0.030-0.070 Ni 0.40 max Al 0.04 max
T92	0.07-0.13	0.30-0.60	0.020	0.010	0.50 max	8.50-9.50	0.30-0.60	...	0.15-0.25	W 1.5-2.00 Cb 0.04-0.09 B 0.001-0.006 N 0.03-0.07 Ni 0.40 max Al 0.04 max
T122	0.07-0.14	0.70 max	0.020	0.010	0.50 max	10.00-12.50	0.25-0.60	...	0.15-0.30	W 1.50-2.50 Cu 0.30-1.70 Cb 0.04-0.10 B 0.0005-0.005 N 0.040-0.100 Ni 0.50 max Al 0.040 max
T911	0.09-0.13	0.30-0.60	0.020	0.010	0.10-0.50	8.50-10.50	0.90-1.10	...	0.18-0.25	Ni 0.40 max Cb 0.060-0.10 B 0.0003-0.006 N 0.04-0.09 Al 0.04 max W 0.90-1.10
S44400	0.025 max	1.00 max	0.040	0.030	1.00 max	17.5-19.5	1.75-2.50	^C	...	N max 0.035 Ni + Cu max 1.00

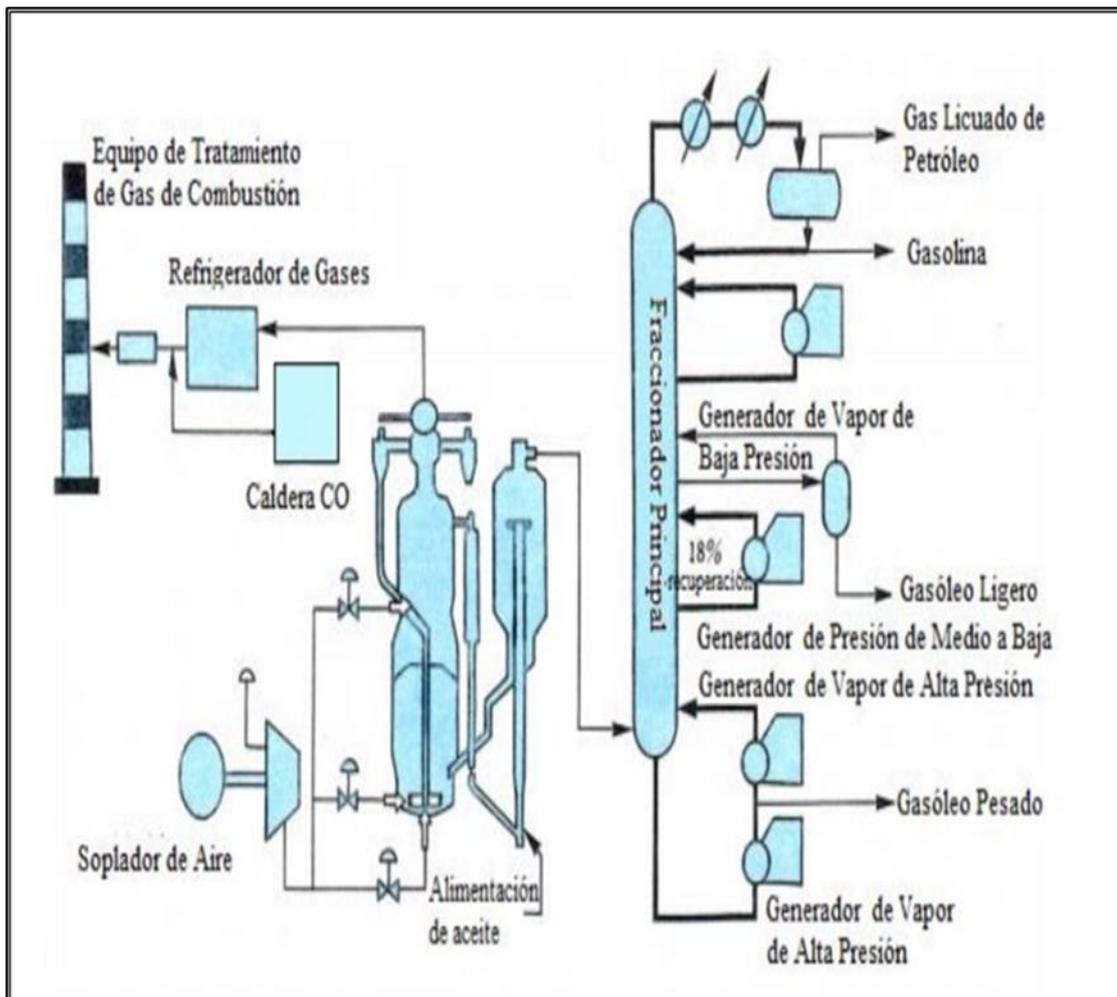
Fuente: ASTM A213 (<https://www.astm.org/Standards/A213.htm>)

FCC (Craqueo Catalítico de Fluido).

La unidad de FCC es a menudo la parte central de una refinería de petróleo. El proceso se diseña para "romper" la fracción gaseosa del petróleo en el proceso de destilación. La rotura se obtiene por medio de un catalizador que se comporta como un fluido cuando es ventilado con vapor.

Las fuentes típicas de alimentación de FCC son el gasóleo atmosférico, los fondos de la torre de vapor o el gasóleo de coque. La alimentación de calor se pone en contacto con el vapor y luego con el catalizador. Este proceso cambia la estructura molecular del carbono de más pesada a más liviana. Los productos de salida FCC son el propileno, isobutano, gasolina, combustible Diesel. (FLEXIM)

Figura 2.1: Diagrama de proceso de Craqueo Catalítico Fluido.



Fuente: <https://es.slideshare.net/luciapardo794/tb-craqueo-catalitico-de-fluidos>

Caldera acuotubular de recuperación de calor.

Las calderas acuotubulares son aquellas en que la circulación del agua es por el interior de los tubos y los humos de combustión por el lado exterior.

Las calderas de recuperación de calor son instalaciones que aprovechan el calor de los gases de escape de la salida de hornos, turbinas de gas y motores alternativos para poder producir vapor o vapor sobrecalentado. (AITESA)

La producción de vapor de la caldera de recuperación de calor de la unidad de FCC es de 40.0 t/h de vapor de alta presión (42.5 kg/cm² (g) y 371 °C) y 1.5 t/h de vapor de media presión (5 Kg/cm² (g) y saturado). (REPSOL, 2013)

Las partes principales de una caldera de recuperación de vapor son el economizador, evaporador, sobrecalentador, calderines.

- **Economizador:** Es un intercambiador de calor el cual permite recuperar parte del calor procedente de los gases del proceso, en el economizador se puede calentar el agua hasta alcanzar una temperatura cercana a la saturación (100°C). (AITESA)
- **Evaporador:** Es un intercambiador de calor en el cual el agua alcanza su temperatura de saturación y se vaporiza aprovechando la energía contenida en los gases de la caldera.
- **Sobrecalentador:** Es un intercambiador donde se eleva la temperatura del vapor, este intercambiador recibe el vapor procedente de los calderines y de la entrada de los humos del proceso los cuales están a una elevada temperatura.
- **Calderines:** Es un recipiente donde se separa el vapor de la emulsión de agua – vapor procedente del vaporizador. (AITESA)

El cálculo del espesor mínimo requerido en los tubos de un caldero se encuentra establecido en el código ASME sección I (PG-27.2.1) con la siguiente formula.

$$t = \frac{PD}{2SW + P} + 0.005D + e \quad (1)$$

Donde:

P = presión de diseño interna (psi)

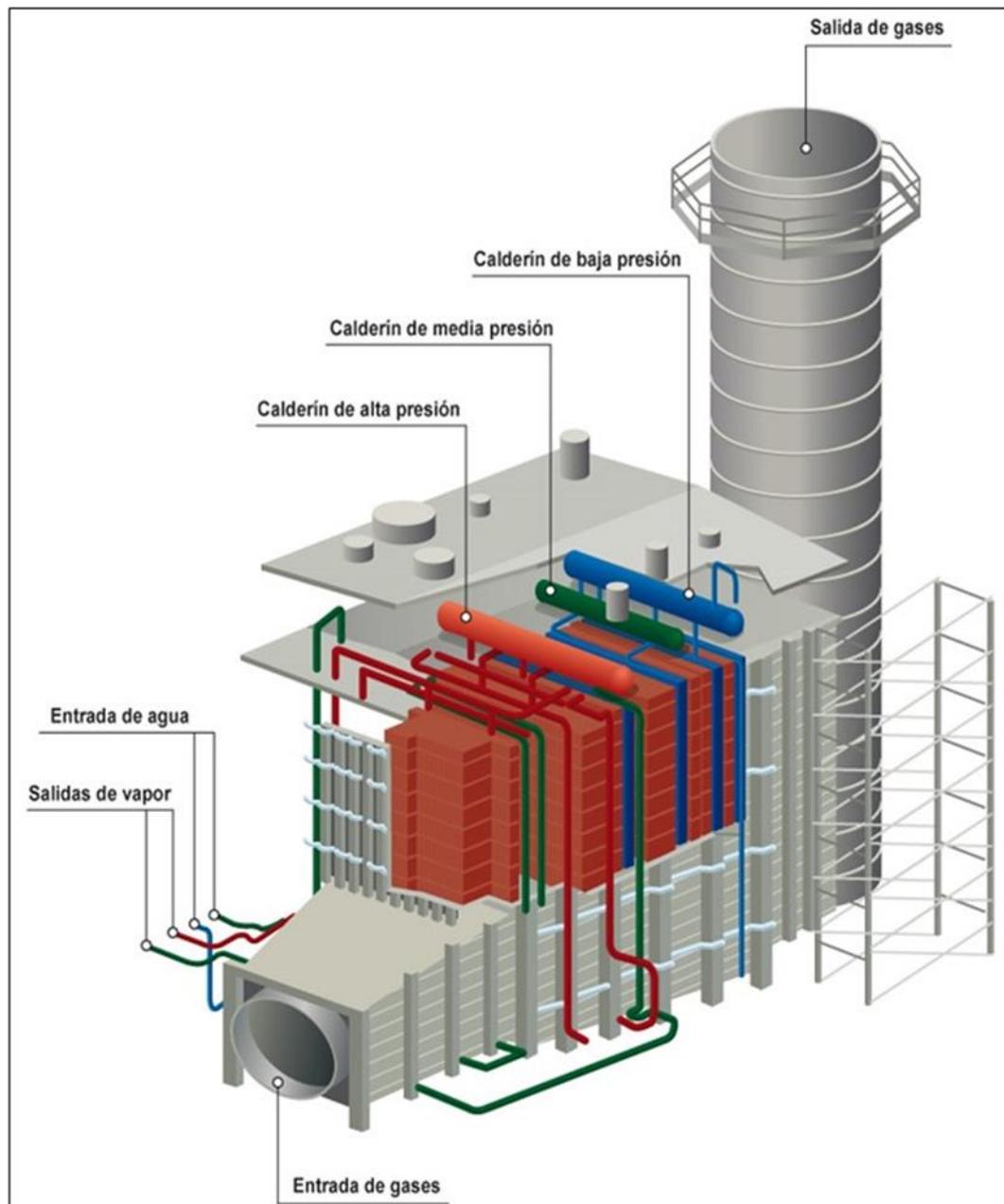
S = valor de esfuerzo del material (psi)

D = diámetro exterior (in)

w = Eficiencia de soldadura

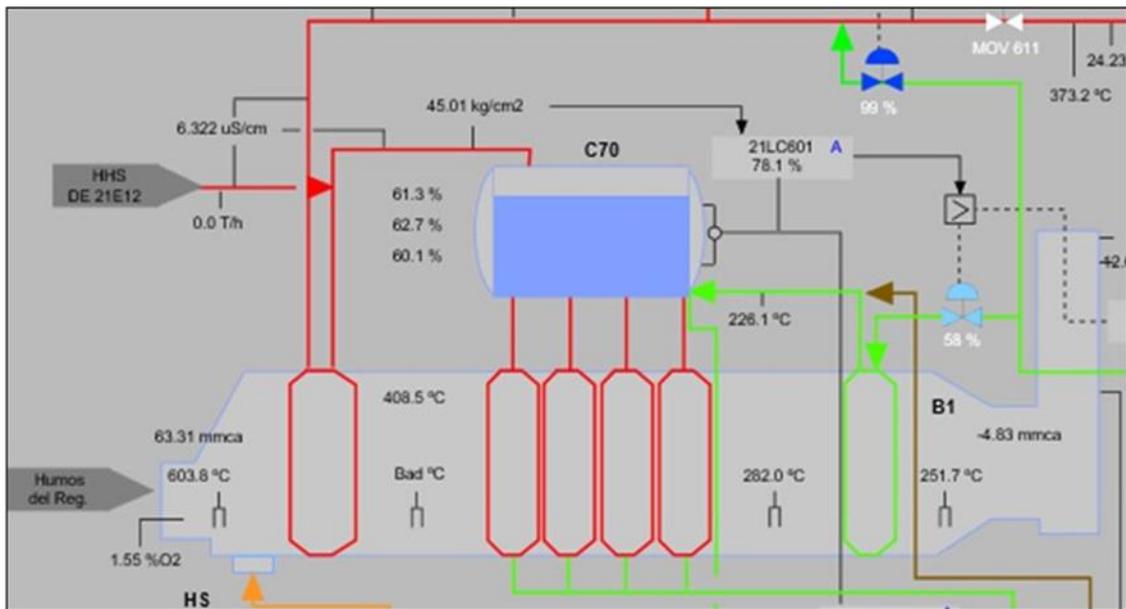
e = Factor de espesor para expansión de tubos

Figura 2.2: Caldera de recuperación de 3 presiones.



Fuente: Iberdrola

Figura 2.3: Diagrama de procesos de una caldera de recuperación de calor.



Fuente: Elaboración propia.

Ensayos destructivos.

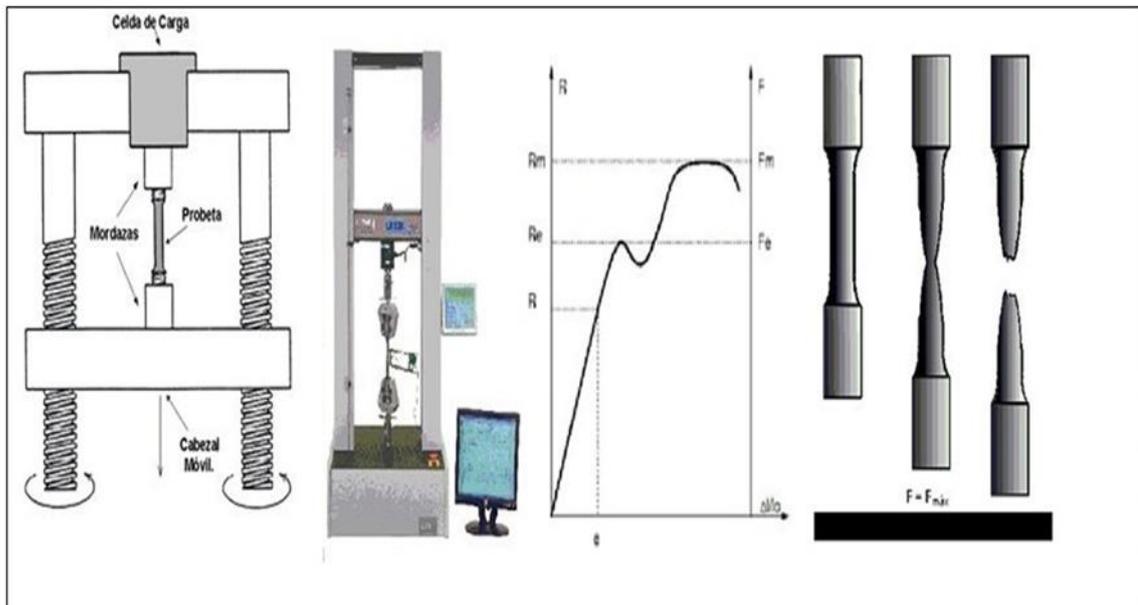
Los ensayos destructivos se definen como aquellas pruebas donde el material sufre una alteración irreversible de su composición mecánica, química o de su geometría dimensional, los ensayos destructivos son muy importantes ya que muestra como el material se desempeñaría en diferentes situaciones, las aplicaciones principales son los siguientes (LOS ADHESIVOS):

- Realizar ensayos comparativos entre distintos materiales.
- Conseguir las características y propiedades mecánicas del material.
- Simular las condiciones de envejecimiento del material durante su vida, con el objetivo de predecir su comportamiento.

Los ensayos destructivos más importantes son los ensayos de tracción, dureza, compresión, metalográfico y fatiga.

Ensayo de tracción: El ensayo de tracción consiste en aplicar un esfuerzo creciente en dirección axial a la probeta, generalmente hasta la rotura, con el fin de determinar una o más de sus características mecánicas. (Balvantín, 2016)

Figura 2.4: Esquema de máquina de tracción, gráfica y probetas para el ensayo de tracción.



Fuente: <https://www.areatecnologia.com/materiales/ensayo-de-traccion.html>

Ensayo de dureza: Dureza se suele entender a la resistencia que ofrece un material al ser rayado o penetrado por un cuerpo más duro. (Balvantín, 2016)

Este método consiste en producir una huella en el material ensayado, aplicando sobre él un penetrador (durómetro) con una presión determinada luego hallamos el índice de dureza en función a la presión ejercida y la profundidad o diámetro de la huella.

Los 3 métodos más utilizados son el ensayo de dureza Brinell, Rockwell y Vickers.

Figura 2.5: Medición de dureza con durómetro portátil SonoDur 3.

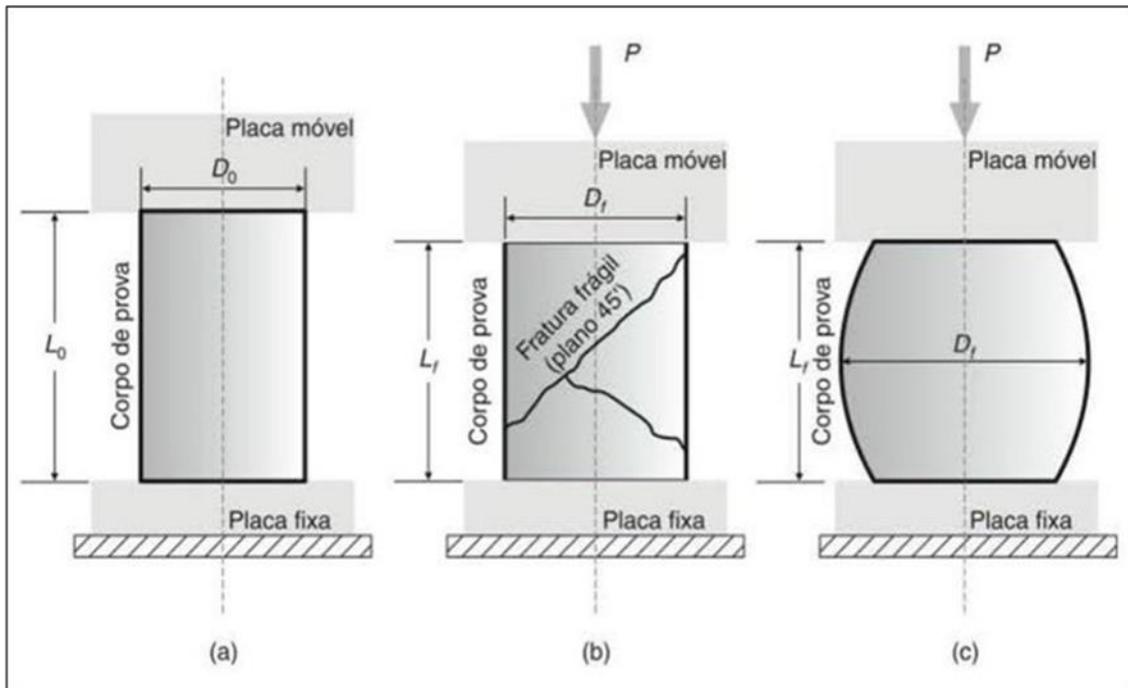


Fuente: https://www.neurtek.com/descargas/new_sonodur3_en.pdf

Ensayo de compresión: El ensayo de compresión generalmente se realiza en los materiales frágiles, tales como fundiciones y hormigones, es posible realizar el ensayo de compresión a materiales dúctiles, en el ensayo de compresión se aplican cargas estáticas en la probeta en dirección de su eje longitudinal, en caso de que la probeta llegue a la rotura (habitualmente en materiales frágiles), esta se produce en planos inclinados aproximadamente a 45° o en forma de grietas. (Balvantín, 2016)

Con el ensayo de compresión se puede determinar la tensión al límite de proporcionalidad, tensión al límite de aplastamiento, resistencia estática a la compresión, acortamiento y ensanchamiento porcentual.

Figura 2.6: (a) Ensayo de compresión en probeta cilíndrica. (b) Fractura en un material frágil. (c) La compresión ocasiona que el material se expanda.



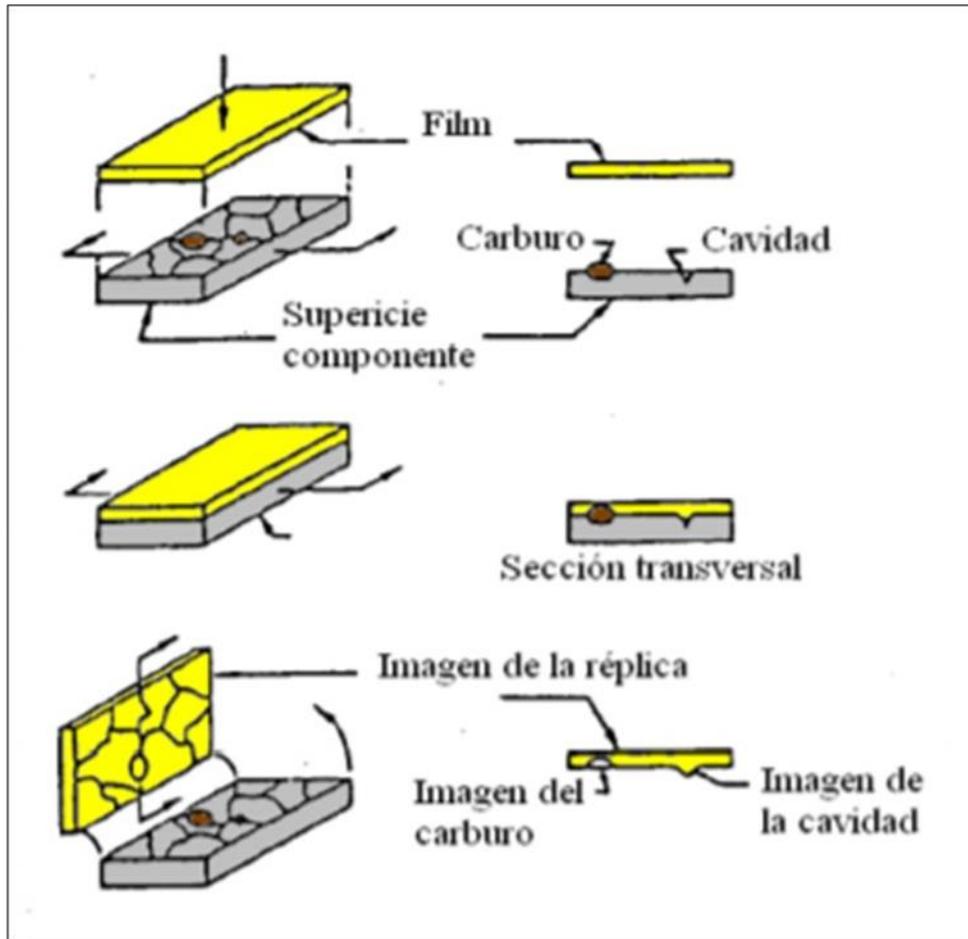
Fuente: <https://docplayer.es/95585799-Ensayo-de-compresion.html>

Ensayo metalográfico: La metalografía es el estudio de la microestructura de todos los tipos de aleaciones metálicas. Puede definirse con más precisión como la disciplina científica de observar y determinar la estructura química y atómica y la distribución espacial de los constituyentes, inclusiones o fases en aleaciones metálicas. Por extensión, estos mismos principios pueden aplicarse a la caracterización de cualquier material. (METALOGRAFÍA, 2019)

La preparación consiste en 4 pasos.

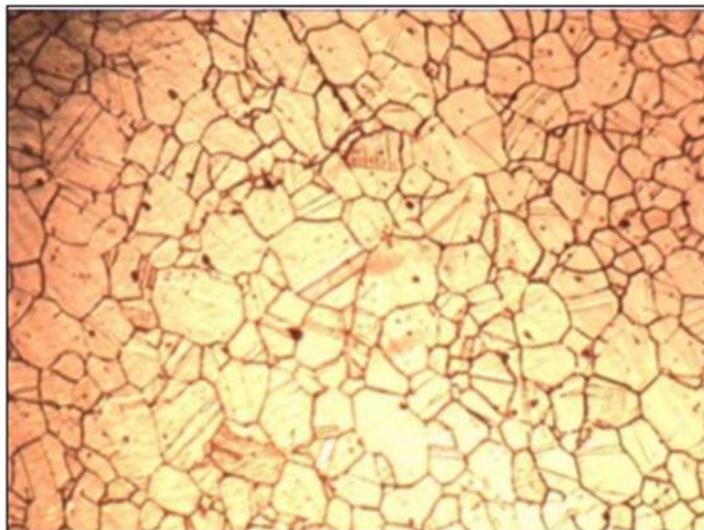
- Paso 1: Realizar el corte, montaje para un mejor manejo de muestra.
- Paso 2: Pulido, en este paso se realiza la preparación de la muestra, el objetivo es limpiar el material hasta dejarlo con un acabado espejo.
- Paso 3: En este se realiza el ataque químico a la muestra para poder para poder realizar el grabado de la estructura sobre un film de acetato de celulosa.
- Paso 4: En este último paso se analiza la muestra mediante el microscopio.

Figura 2.7: Esquema de un proceso típico de replicas metalográficas.



Fuente: <https://www.dspace.espol.edu.ec>

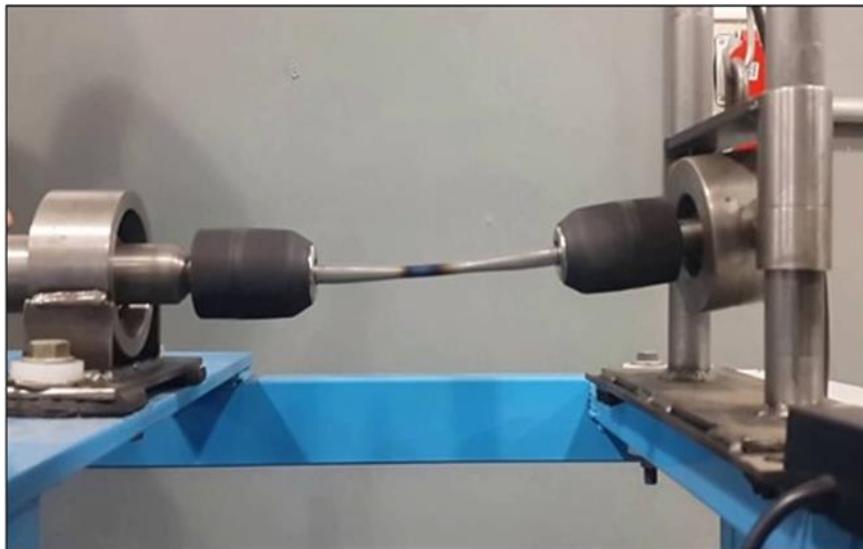
Figura 2.8: Análisis de replicas metalográficas por medio de un microscopio portátil.



Fuente: <https://ingenieriametalurgicacaracterizacion.weebly.com/blog/micrografias-laton-acero-y-cobre>

Ensayo de fatiga: Método para determinar el comportamiento de los materiales bajo cargas fluctuantes en el cual se le aplica a una probeta una carga media especificada (que puede ser cero) y una carga alternativa y se registra el número de ciclos requeridos para producir un fallo. Por lo general, el ensayo se repite con idénticas probetas y varias cargas fluctuantes. Las cargas se pueden aplicar axialmente, en torsión o en flexión, dependiendo de la amplitud de la carga media y cíclica, el esfuerzo neto de la probeta puede estar en una dirección a través del ciclo de carga o puede invertir la dirección. (INSTRON)

Figura 2.9: Ensayo de fatiga por flexión rotativa.



Fuente: <https://www.youtube.com/watch?v=K2pUluu1CxM>

Ensayos no destructivos (END).

Los ensayos no destructivos son métodos de ensayos tecnológicos utilizados en el Control de Calidad de materiales, aparatos y estructuras, como así también en el Aseguramiento de Calidad. Su nombre significa que el ensayo para la evaluación de propiedades, ubicación de discontinuidades, etc. se realiza sin producir marcas y sin destruir la pieza, o sea, no quitando aptitud para el servicio al objeto de ensayo. (CALERO RODRÍGUEZ, 2012 pág. 36)

Las aplicaciones de los ensayos no destructivos son los siguientes:

- Caracterización de estructura y microestructura.
- Evaluación de las propiedades mecánicas, físicas y químicas.

- Detección y evaluación de grietas.
- Dimensiones.

Los ensayos no destructivos se dividen en 3 grupos:

- Pruebas no destructivas superficiales.
- Pruebas no destructivas volumétricas.
- Pruebas no destructivas de hermeticidad.

Pruebas no destructivas superficiales.

Este tipo de pruebas nos brinda información del estado superficial del material inspeccionado, los principales métodos son inspección visual, líquidos penetrantes, partículas magnéticas y corrientes inducidas.

a) Inspección visual (VT).

La inspección visual es uno de los métodos más antiguos, básicos y principales de la inspección, esta técnica requiere que el inspector cuente con conocimientos acerca de las características de la pieza examinada y de las normas para poder evaluar los resultados conforme a los criterios de aceptación de las normas del código de referencia.

Según el (ASME SECCIÓN V, 2019), artículo 9, la inspección visual se utiliza generalmente para determinar cosas tales como el estado de la superficie de la pieza, la alineación de las superficies de contacto, la forma o la evidencia de fugas.

Existen la inspección visual directa y remota.

- **Inspección visual directa.**

Es cuando se puede tener acceso suficiente para situar el ojo a menos de 600 mm y en un ángulo no menor de 30° con respecto a la superficie a examinar. Se puede usar espejos para mejorar el ángulo de visión y lentes de aumento para facilitar la inspección. La intensidad mínima de la luz para realizar la inspección debe ser de 1000 lx.

Figura 2.10: Inspección visual directa.



Fuente: <https://www.tuv.com/peru/es/inspecci%C3%B3n-visual-de-soldaduras.html>

- **Inspección visual remota**

La inspección visual remota se utiliza cuando no se tiene acceso directo a la superficie a examinar, la inspección remota puede sustituir a la visual directa usando un telescopio, boroscopio, cámaras u otros instrumentos adecuados que cuenten con la resolución equivalente al ojo humano.

Figura 2.11: Inspección visual remota usando un boroscopio GE Inspections XL VU.



Fuente: <https://sapos.se/onewebmedia/XLVU%20Datablad%202017.pdf>

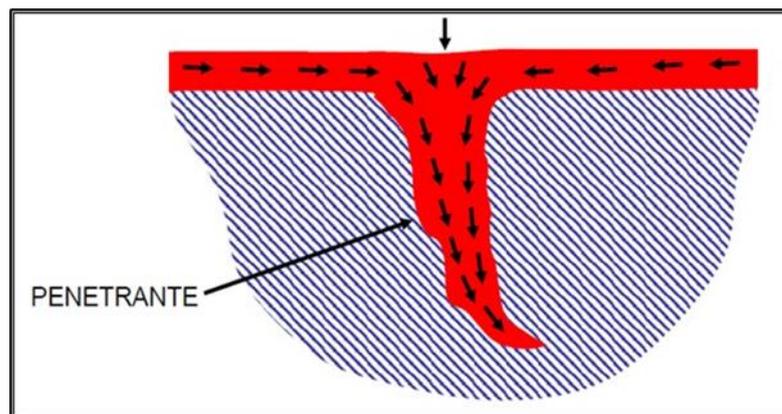
b) Líquidos penetrantes (PT).

La evaluación por líquidos penetrantes nos permite localizar discontinuidades abiertas a la superficie en materiales metálicos no porosos, metales ferrosos y no ferrosos y en materiales no metálicos como cerámicas vitrificadas, plásticos no porosos y vidrios en base a la acción capilar de los líquidos, las

discontinuidades típicas que se pueden detectar usando este método son las fisuras, las laminaciones, falta de fusión. (ENCARNACIÓN FRANCO, 2010)

En el método de líquidos penetrantes, el líquido penetrante es aplicado a la superficie de un espécimen, se requiere de un tiempo suficiente para permitir el ingreso en las discontinuidades, así sean pequeñas o angostas, como es el caso de una rajadura o picadura.

Figura 2.12: Ingreso del penetrante en la discontinuidad.

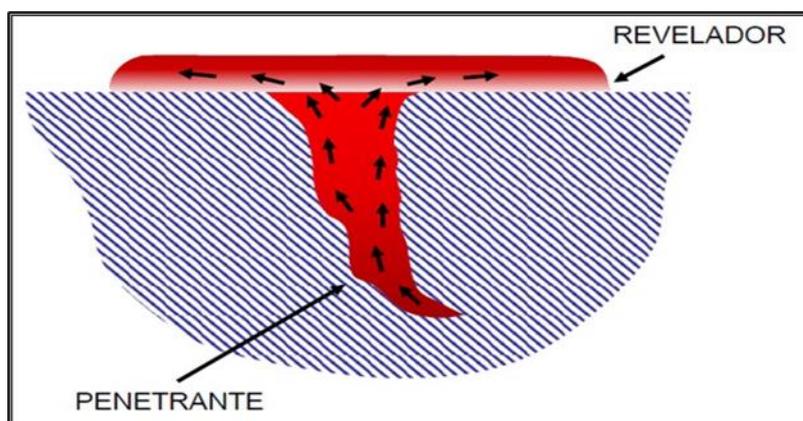


Fuente: Curso de líquidos penetrantes nivel II. Ademinsac

Luego que haya transcurrido el tiempo suficiente para que el penetrante ingrese en la discontinuidad se deberá limpiar la superficie con el exceso del penetrante.

Posteriormente con la ayuda de un revelador el cual aplicara la acción capilar para extraer el penetrante a la superficie y poder observar la discontinuidad.

Figura 2.13: Penetrante extraído a la superficie.



Fuente: Curso de líquidos penetrantes nivel II. Ademinsac

La inspección de líquidos penetrantes se pueden clasificar por tipo de penetrante y método de remoción del exceso de penetrante.

Clasificación por tipos de tintes penetrantes:

- **Tipo I (Penetrante fluorescente).**

Contiene pigmentos fluorescentes generalmente de color amarillo verdoso, los cuales son sensibles a una iluminación especial llamada luz negra, presentan una mayor sensibilidad en comparación de los penetrantes visibles y son capaces de detectar discontinuidades más finas.

Figura 2.14: Inspección por tinte penetrante fluorescente.



Fuente: <http://www.aigh.com.mx/723-2/>

- **Tipo II (Penetrante visible).**

Contienen en su composición química pigmentos coloreados los cuales son visibles a la luz natural o luz blanca artificial, generalmente son de color rojo que hace un mayor contraste con el revelador blanco.

Figura 2.15: Inspección por tinte penetrante visible.



Fuente: <http://www.gammaend.com.ar/servicios.html>

- **Tipo III (Penetrante de sensibilidad dual).**

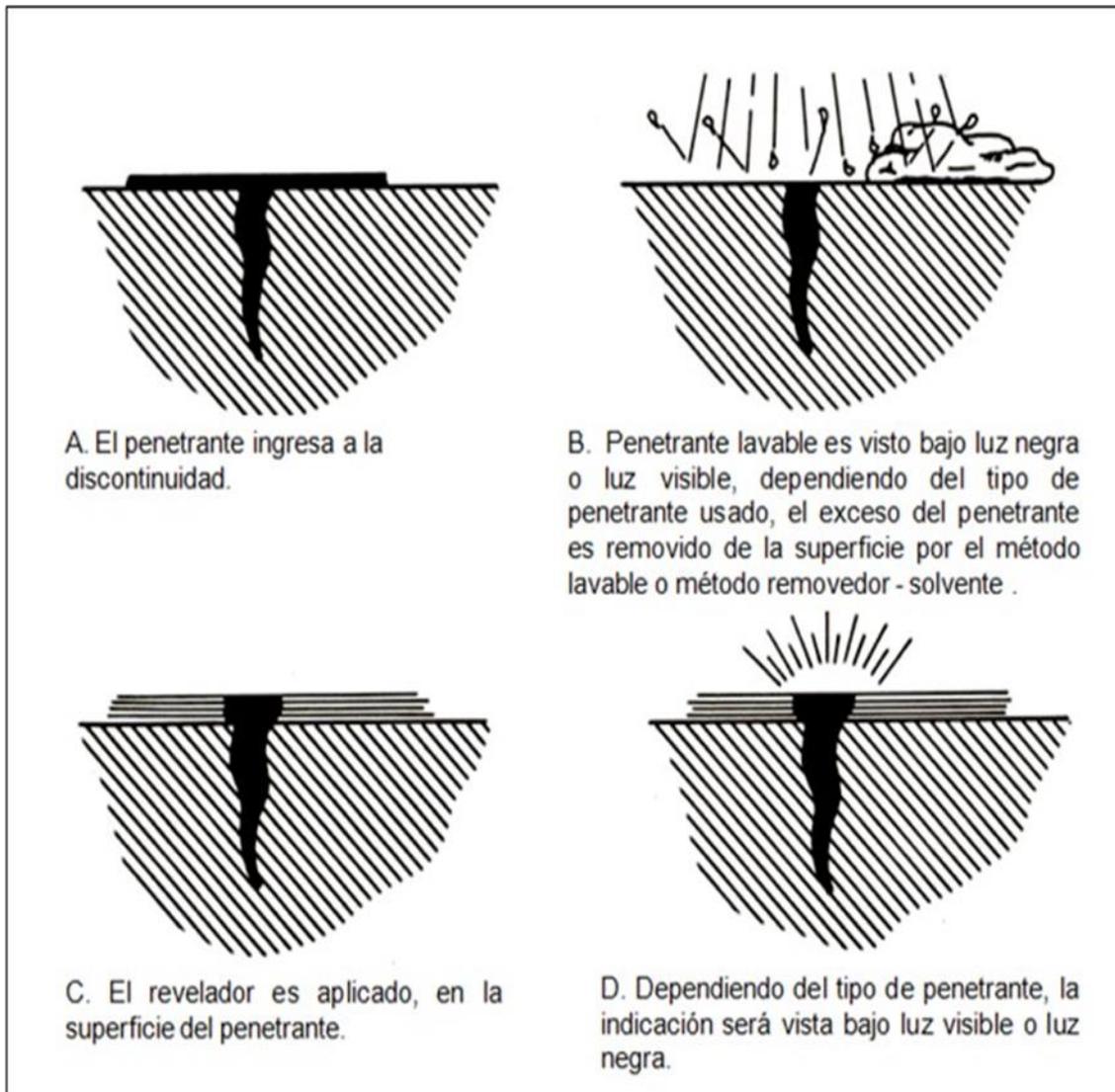
Contienen pigmentos fluorescentes y coloreados los cuales pueden ser observados bajo los dos tipos de luz (Luz negra, luz natural o luz blanca artificial).

Clasificación por métodos de remoción del penetrante:

- **Método A.**

Penetrante lavable con agua, los pasos a seguir para la aplicación de este método es el siguiente:

Figura 2.16: Descripción del ensayo de penetrante lavable con agua.

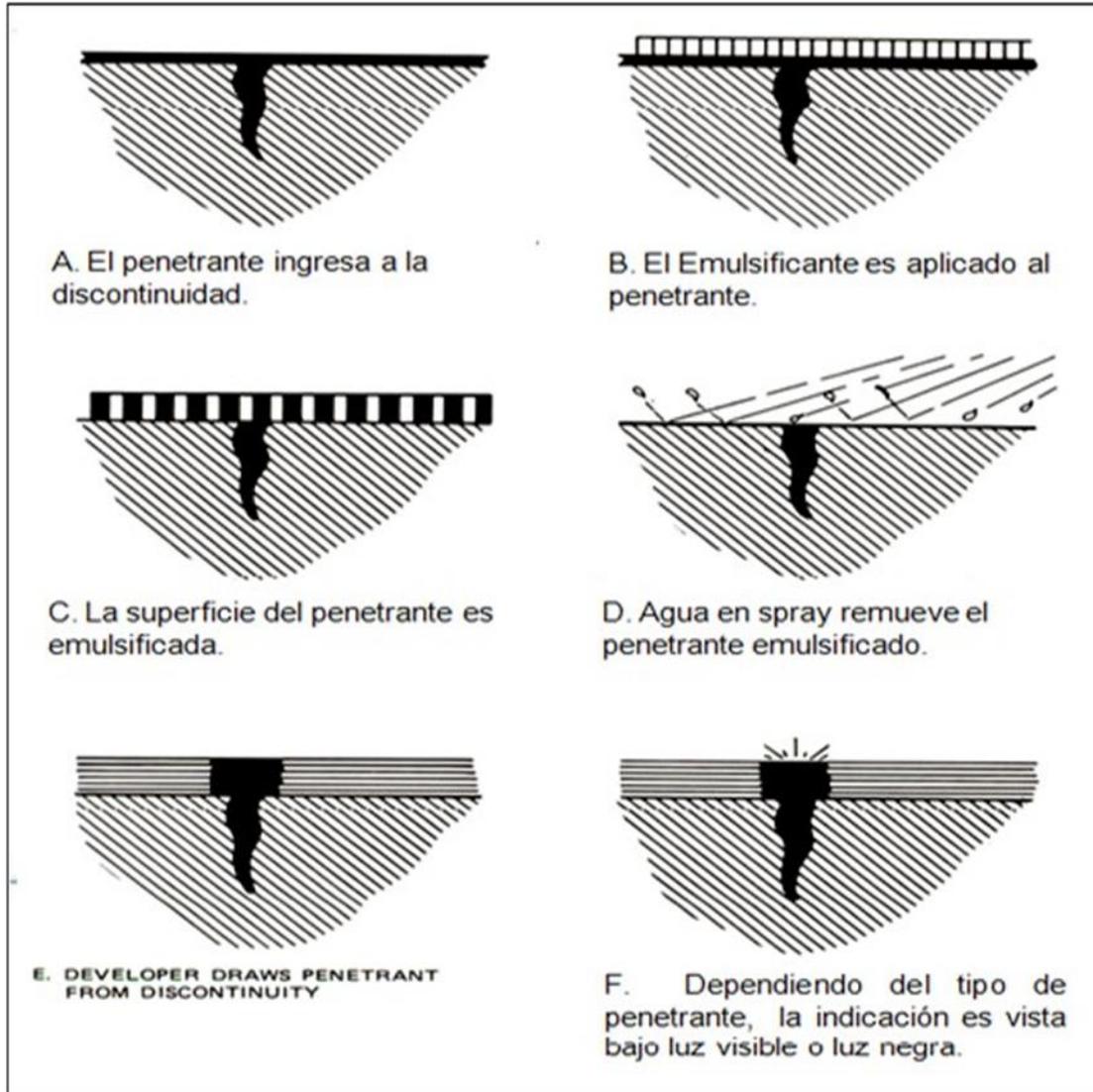


Fuente: Curso de líquidos penetrantes nivel II. Ademinsac

- **Método B.**

Penetrante Post- emulsificable lipofílico, requiere un emulsificador lipofílico (base de aceite) para hacer al penetrante soluble en agua.

Figura 2.17: Descripción del ensayo de penetrante Post - emulsificable lipofílico.

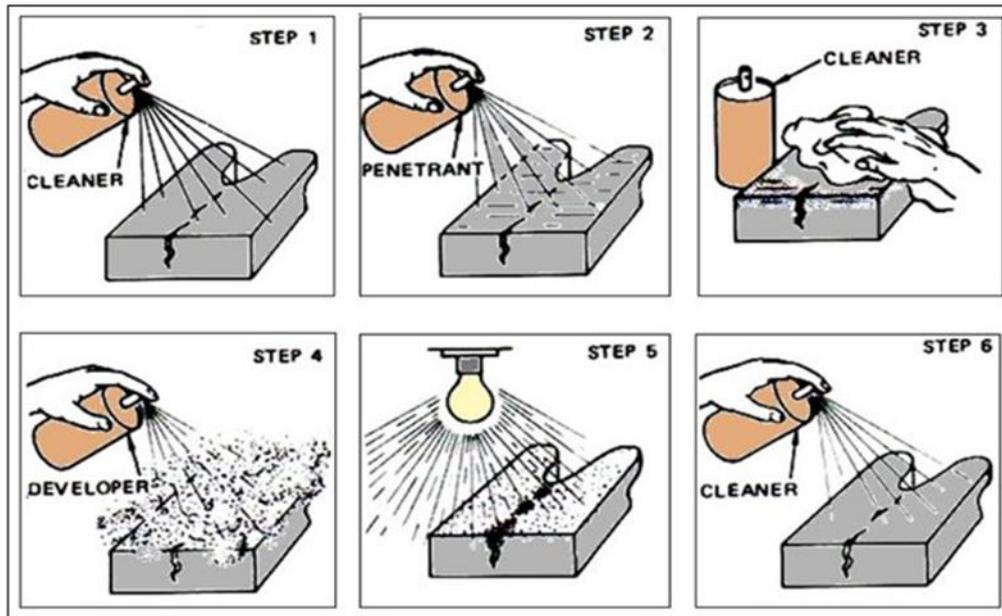


Fuente: Curso de líquidos penetrantes nivel II. Ademinsac

- **Método C.**

Penetrante removible por solvente, es el método más usado en las industrias, generalmente vienen en envases presurizados.

Figura 2.18: Descripción del ensayo de penetrante removible por solvente.

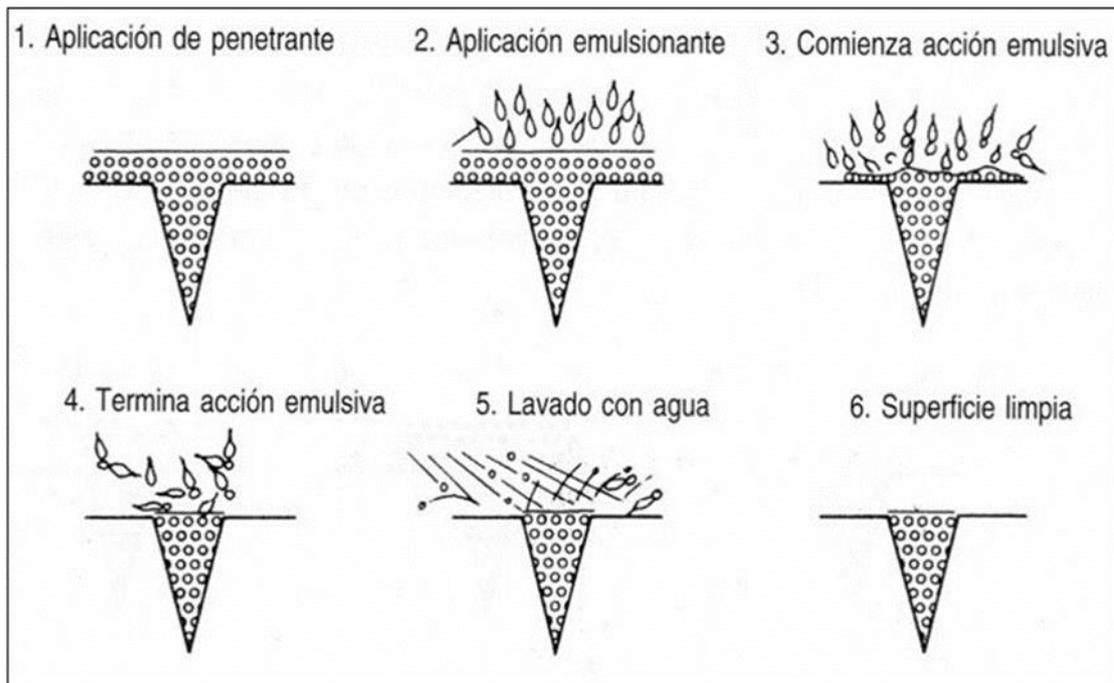


Fuente: Curso de líquidos penetrantes nivel II. Ademsac

- **Método D.**

Penetrante Post – emulsificable hidrofílico, requiere un emulsificador a base de agua para poder hacer al penetrante soluble en agua.

Figura 2.19: Descripción del ensayo de penetrante Post - emulsificable hidrofílico.



Fuente: Curso de líquidos penetrantes nivel II. Ademsac

Las ventajas de los líquidos penetrantes son las siguientes:

- Bajo costo comparado con otros métodos.
- Alta sensibilidad a discontinuidades pequeñas.
- Se puede inspeccionar piezas de forma compleja.
- Se necesita poco entrenamiento.
- Los aerosoles hacen la inspección más portátil.

Las desventajas de los líquidos penetrantes son las siguientes:

- Solo se puede inspeccionar discontinuidades abiertas a la superficie.
- La superficie debe estar limpia y libre de pintura, revestimiento, tierra y contaminantes.
- El inspector debe tener acceso a la superficie.
- No se puede realizar en superficies calientes.
- Aplicable solo en materiales no porosos.

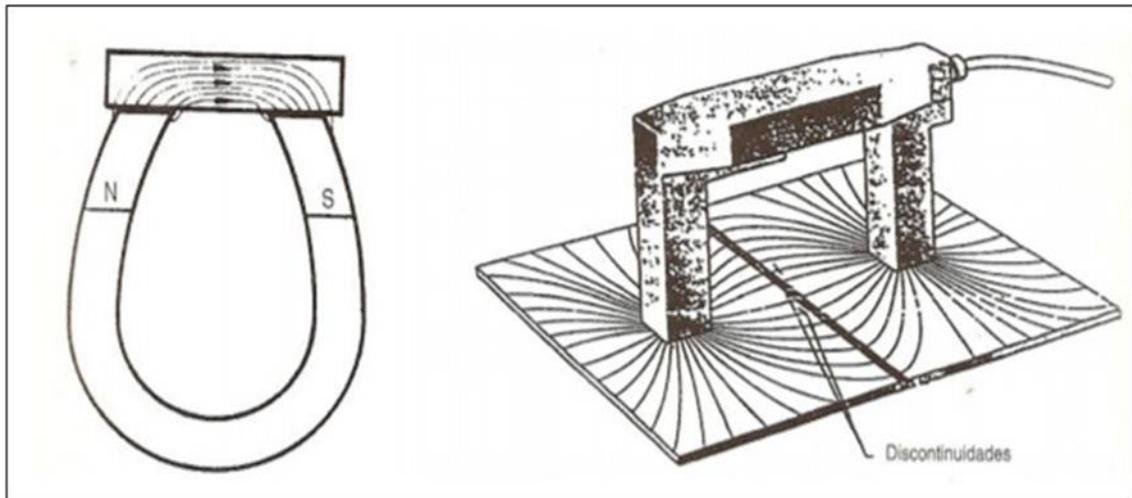
c) Partículas magnéticas (MT).

El técnica de examinación con partículas magnéticas es un procedimiento utilizado para la detección de discontinuidades superficiales o subsuperficiales (hasta 3 mm debajo de la superficie), este método tiene como principio la fuerza del campo magnético, la aplicación del método consiste en magnetizar la zona a examinar mediante el uso de un yugo magnético y aplicar partículas ferromagnéticas (polvo fino de limaduras de hierro) a la superficie, las de partículas se forman en la superficie donde el campo magnético es forzado a salir de la pieza y sobre las discontinuidades para causar un campo de fuga que atrae las partículas.

Es por ello que solo se puede examinar materiales con una alta permeabilidad magnética (ferromagnético) como los aceros en general, no siendo aplicado en aluminio, cobre, zinc o en aceros inoxidable austeníticos. (LLEDÓ)

La máxima sensibilidad será para las discontinuidades lineales orientadas perpendicularmente a las líneas de flujo.

Figura 2.20: Líneas de flujo magnético.



Fuente: Ilogsa, Principios de inspección por partículas magnéticas.

La inspección por partículas magnéticas puede ser clasificada por su forma de ser transportadas y según el contraste con la superficie:

Clasificación por los métodos de la forma de ser transportadas.

- **Partículas secas.**

El requisito principal para las partículas secas es que tengan las propiedades magnéticas adecuadas, las partículas secas dependen que el aire las lleve a las superficies por lo cual se puede utilizar pistolas, bulbos en forma de pera o tipo salero.

Figura 2.21: Inspección por partículas secas.



Fuente: Ilogsa, Principios de inspección por partículas magnéticas.

- **Partículas húmedas.**

En este método las partículas se encuentran suspendidas en agua o un destilado ligero de petróleo para verterlas en la superficie del material o como aerosol.

Figura 2.22: Inspección por partículas húmedas.



Fuente: ARCOWELD. (<http://arcoweld.pe/servicio/particulas-magneticas/>)

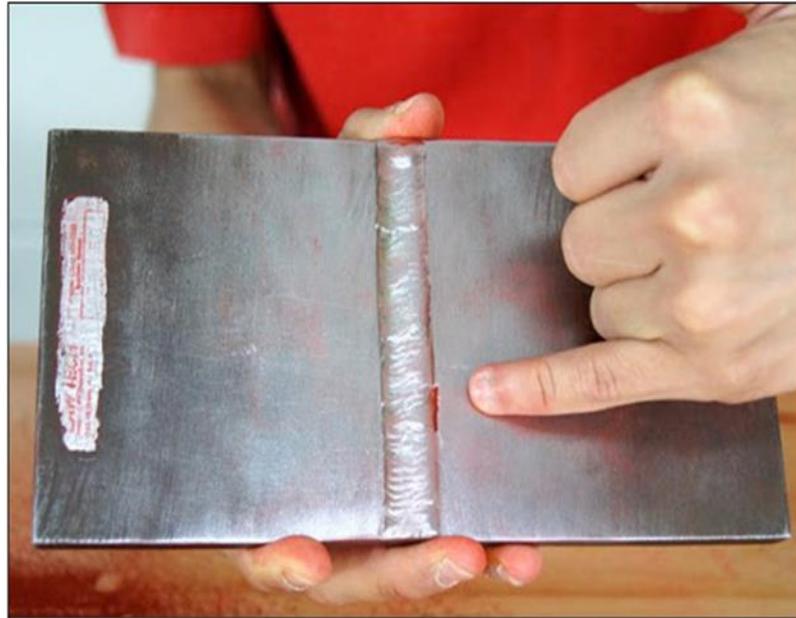
Clasificación por tipo de contraste con la superficie.

- **Partículas visibles.**

Estas partículas pueden ser examinadas con luz blanca (natural o artificial).

Algunas partículas son cubiertas con colores brillantes para proporcionar un mejor contraste con los colores naturales, generalmente se utiliza en conjunto con un revelador para proporcionar un mejor contraste en la superficie del material a inspeccionar, el espesor de la capa del revelador no debe ser mayor a 0.05 mm para no ocasionar interferencia con la formación de indicaciones. (LLEDÓ)

Figura 2.23: Indicación de discontinuidad en unión soldada.



Fuente: Ilogsa, Principios de inspección por partículas magnéticas.

- **Partículas fluorescentes.**

Estas partículas se encuentran cubiertas con pigmentos fluorescentes el cual proporciona un mayor contraste con el ojo humano convirtiéndolo en el método con mayor sensibilidad, la fluorescencia es la cualidad que tienen ciertas sustancias para emitir luz blanca cuando son iluminadas o expuestas bajo la luz ultravioleta.

Figura 2.24: Inspección por partículas magnéticas fluorescentes.



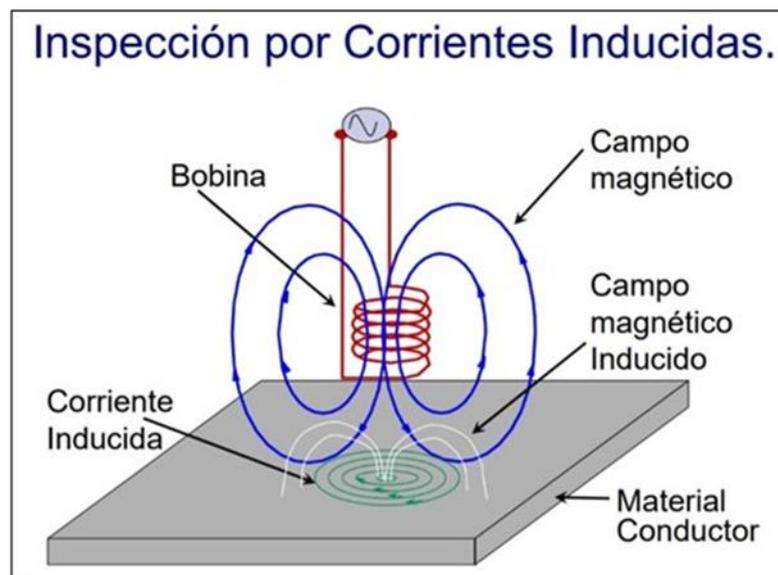
Fuente: Twilight (<https://twilight.mx/>)

d) Corrientes inducidas o eddy current (EC).

La metodología de este ensayo consiste en la aplicación de un campo de energía electromagnética en su interacción con materiales conductores de electricidad.

La generación del campo electromagnético se realiza por medio de unas bobinas electromagnéticas en las cuales fluye corriente alterna (AC) de alta frecuencia (100Hz a 10MHz). (Gómez de León, y otros)

Figura 2.25: Principio de la inspección por corrientes inducidas.



Fuente: Curso de resistencia de materiales y cálculo de estructuras.

La interpretación de los resultados se basa principalmente en el análisis de las modificaciones de la amplitud y fase de las tensiones que desarrollan la bobina.

Su mayor aplicación en las industrias es inspeccionar y comprobar la integridad de los tubos metálicos de una forma rápida y confiable.

El campo de aplicación de las corrientes inducidas son las siguientes:

- Detección de discontinuidades: Se refiere a la localización de poros, grietas, erosión, corrosión y/o deterioro de la superficie de la pieza inspeccionada.
- Propiedades del material: Con las corrientes inducidas se pueden determinar las propiedades del material tales como la medición de la conductividad, permeabilidad y clasificación de aceros.

- Mediciones dimensionales: se puede medir espesores con una buena exactitud si la pieza a examinar es de espesor pequeño, medir espesores de revestimiento como pintura o películas aislantes.

Figura 2.26: Inspección de tubos de un intercambiador de calor con corrientes inducidas.



Fuente: MESS MEDICIÓN

Pruebas no destructivas volumétricas.

Estos tipos de pruebas nos permiten tener información acerca parte interna de los materiales inspeccionados, los principales métodos son radiografía industrial, ultrasonido industrial, emisión acústica y termografía infrarroja.

a) Radiografía industrial.

La radiografía industrial es un método en la cual se usa la radiación electromagnética penetrante (rayos X o gamma), esta técnica es muy importante para la inspección y el control industrial de estructuras y componentes metálicos.

El principio se basa en la absorción diferenciada de la radiación penetrante de la pieza inspeccionada ya sea por la variación de los espesores, diferencia de densidades o en la composición del material las distintas regiones absorberán

diferentes cantidades de radiación la cual podrá ser detectada por medio de la película radiográfica dándonos a conocer la falla interna o defecto del material.

La radiación viaja formando paquetes discretos de energía llamado fotones, la energía de un fotón está relacionada con la longitud de onda electromagnética y la constante de Planck, con la siguiente ecuación.

$$E = h * \frac{C}{\lambda} \quad (2)$$

Donde:

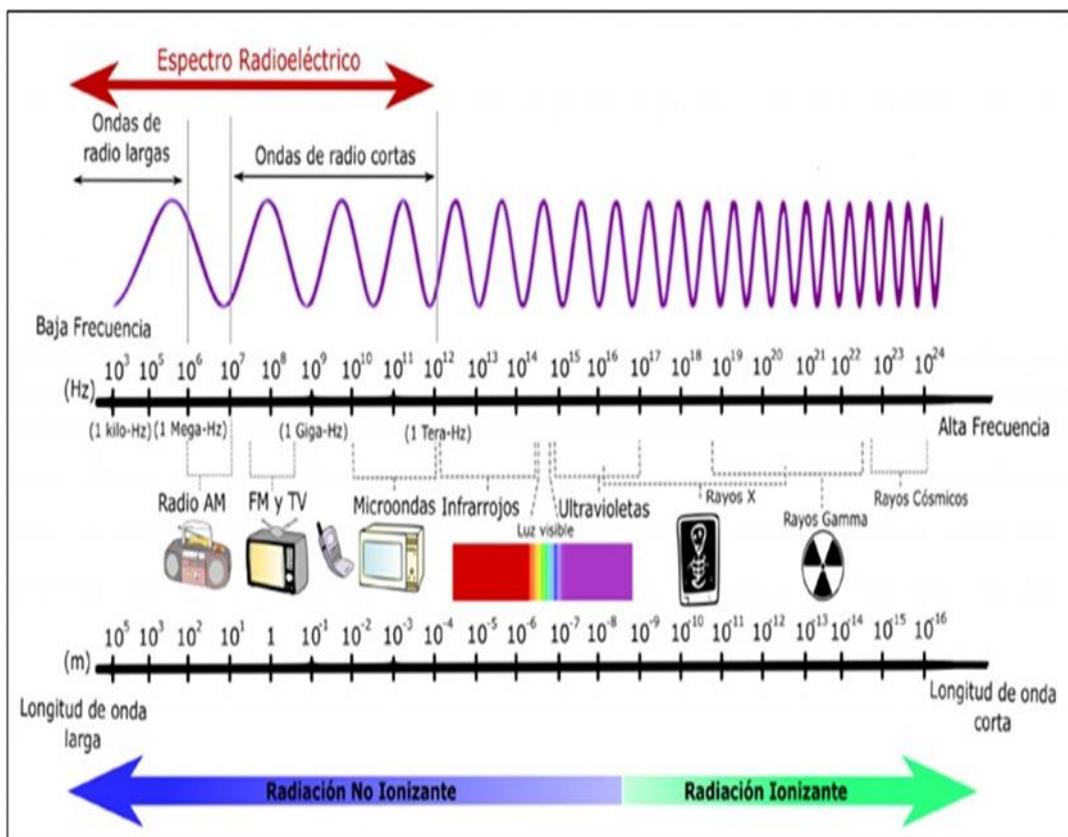
E= Energía cinética del fotón.

h= Constante de Planck (6.67 x 10⁻³⁴ Js).

C= Velocidad de la luz (3·10⁸ m/s).

λ= Longitud de onda.

Figura 2.27: Espectro electromagnético



Fuente: ESOP (https://iie.fing.edu.uy/proyectos/esopo/eem/)

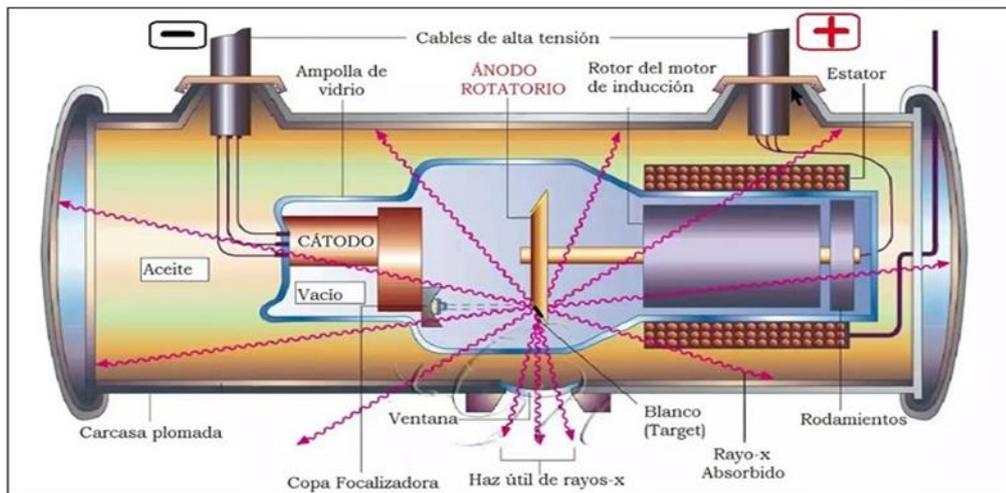
Existen dos maneras para generar la radiación penetrante necesaria, una de ellas son los rayos X el cual se obtiene mediante una maquina eléctrica generadora de radiación ionizante la otra forma son los rayos gamma los cuales se obtiene a partir de un isótopo radioactivo.

- **Rayos x.**

“Los rayos X son un tipo de radiación electromagnética los cuales se producen artificialmente en un tubo de rayos catódicos, donde un cátodo caliente emite electrones que luego son acelerados por una diferencia de potencial hasta golpear un blanco de metal a altas velocidades, y producir algunos rayos invisibles”. (NUPEX, 2012)

Estos rayos provienen en parte de la fluorescencia excitada en los átomos del metal y en parte del llamado efecto de la radiación de frenado, este efecto aparece como el resultado de los rápidos cambios de dirección de los electrones en las proximidades de los núcleos atómicos del metal.

Figura 2.28: Esquema de un tubo de Rayos X.

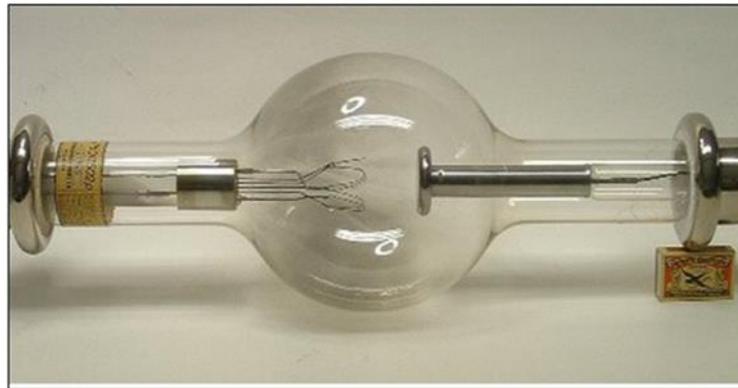


Fuente: Radiología básica (<https://radiologiabasica.weebly.com/>)

En un tubo de rayos X, los electrones se aceleran a energías de 30 a 150 keV y golpean un blanco de wolframio produciendo rayos X con energías de 1 eV a 150 keV con un espectro continuo de intensidad máxima en el centro y dos picos a 59 y 67 keV.

Para aplicaciones médicas, se utilizan rayos X de energías bajas por razones de seguridad. Para visualizar tejidos blandos, la energía típica de rayos X es de unos 20 keV que se usan por ejemplo en mamografías mientras que las energías más altas son alrededor de 150 keV se utilizan para tejidos duros como el hueso. (NUPEX, 2012)

Figura 2.29: Tubo de Rayos X.

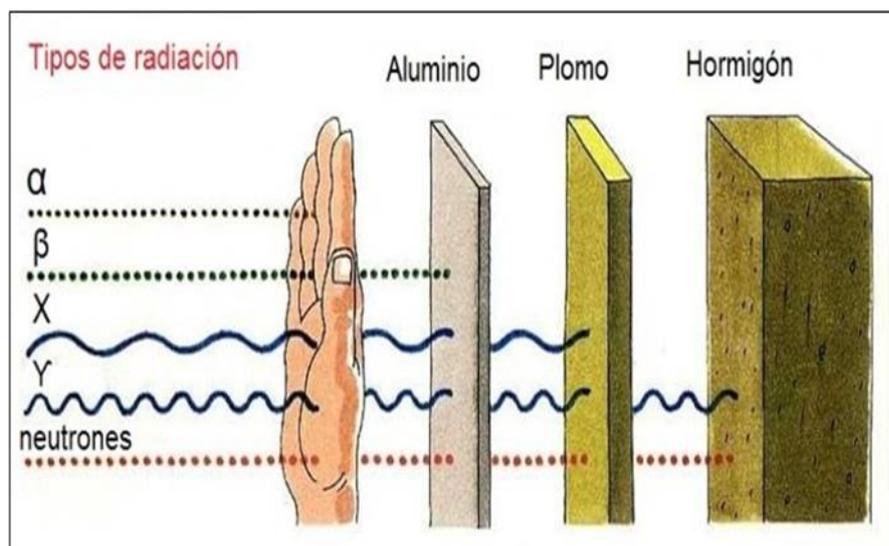


Fuente: Famaf (<https://www.famaf.unc.edu.ar/~pperez1/manuales/cdr/tubos-de-rayos-x.html>)

- **Rayos gamma.**

La radiación gamma es un flujo de ondas electromagnéticas de alta energía, los rayos gamma presentan un poder de ionización relativamente baja y debido a su pequeña longitud de onda una presenta una capacidad de penetración alta. (FEDERACIÓN DE ENSEÑANZA DE CC.OO DE ANDALUCIA, 2009)

Figura 2.30: Poder de penetración de las radiaciones.



Fuente: Full Química (<https://www.fullquimica.com/>)

El radioisótopo más utilizado en radiografía industrial es el ^{192}Ir , aunque también se pueden usar otros radioisótopos como el ^{60}Co , ^{137}Cs y ^{175}Se .

Debido a la inestabilidad del núcleo estos sufren una desintegración en el tiempo la cual está caracterizada por la constante de desintegración, con la siguiente ecuación:

$$A = A_0 e^{-\lambda(\Delta t)} \quad (3)$$

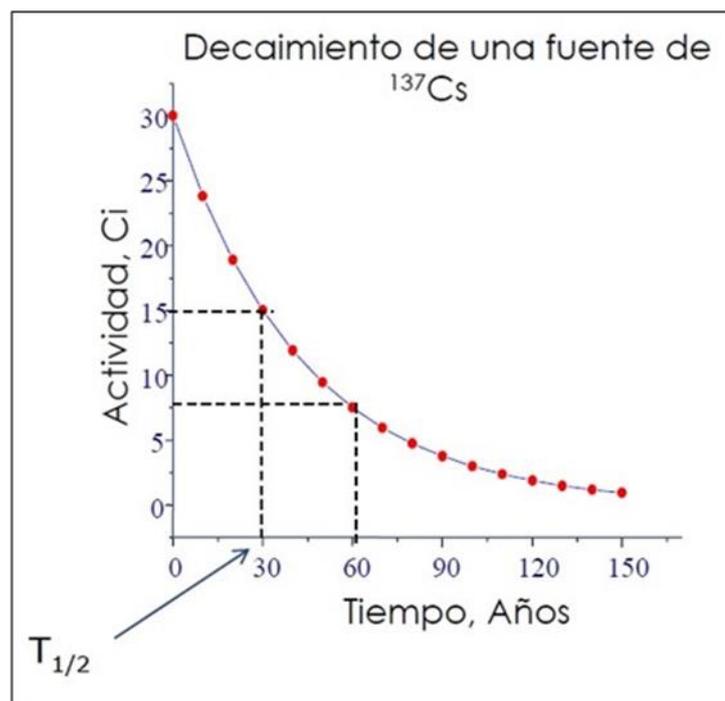
Donde:

A_0 = Actividad original.

$\lambda = 0.693 / \text{vida media del nucleido (constante de decaimiento)}$.

Δt = Variación del tiempo entre la primera medición y la postrera.

Figura 2.31: Decaimiento radiactivo de una fuente de Cesio.



Fuente: Instituto Peruano De Energía Nuclear.

Quando se realiza un trabajo de radiografía industrial se necesita calcular el tiempo de exposición de la fuente radioactiva para poder tener una buena calidad de imagen en la película radiográfica, para el cálculo del tiempo de exposición usamos la siguiente formula.

$$T_{expos} = \frac{(D_{ext})^2 * F_{abs} * F_{pel}}{Actividad * 1000} \quad (4)$$

Donde:

T_{expos} = Tiempo de exposición. (min)

D_{ext} = Diámetro externo. (cm)

F_{abs} = Factor de absorción.

F_{pel} = Factor de la película.

$Actividad$ = Actividad de la fuente

El factor de absorción está relacionado con el espesor y se obtiene de la siguiente tabla.

Tabla 2.2: Factor de absorción

Factor de Absorción							
Esp.	Fac.	Esp.	Fac.	Esp.	Fac.	Esp.	Fac.
1	3.2	19	7.4	37	16.5	55	32.7
2	3.4	20	7.7	38	17.2	56	34
3	3.55	21	8	39	17.8	58	36.5
4	3.7	22	8.5	40	18.5	60	39.5
5	3.9	23	8.8	41	19.3	62	42.5
6	4.08	24	9.5	42	20	64	46
7	4.3	25	9.7	43	20.8	66	49
8	4.46	26	10.2	44	21.5	68	53
9	4.7	27	10.7	45	22.3	70	58
10	4.9	28	11	46	23.2	75	68
11	5.1	29	11.6	47	24.2	80	83
12	5.4	30	12.2	48	25	85	103
13	5.6	31	12.7	49	26	90	123
14	5.9	32	13.4	50	27		
15	6.15	33	14	51	28		

16	6.2	34	14.6	52	29		
17	6.7	35	15.3	53	30		
18	7.1	36	16	54	31		

Fuente: Testing Service Group S.A.C

Existen diferentes películas radiográficas de diferentes fabricantes, en el siguiente cuadro se muestra las equivalencias de las películas radiográficas según el fabricante.

Tabla 2.3: Equivalencia de películas radiográficas.

FUJI	AGFA	KODAK
IX 150	D8	INDUSTREX CX
IX 100	D7	INDUSTREX AA400
IX 80	D5	INDUSTREX T200
IX50	D4	INDUSTREX MX125
IX30	D3	INDUSTREX M100
IX 25	D2	INDUSTREX DR50

Fuente: Tecnitest NDT (<https://www.tecnitestndt.net/>)

En este trabajo se usó la película radiográfica de la marca AGFA, la cual tiene un factor de película como se indica en la siguiente tabla.

Tabla 2.4: Algunos factores de película radiográfica marca AGFA

Factor de Pelicula	
D4	20
D5	9.5
D7	6

Fuente: Testing Service Group S.A.C

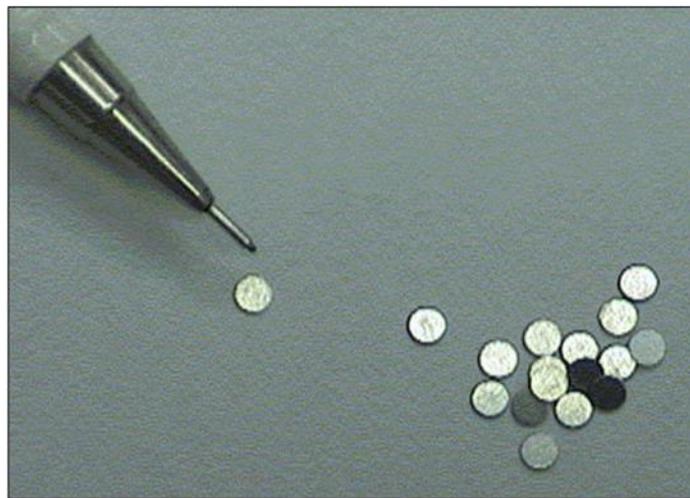
Los componentes principales de un equipo de gammagrafía industrial son la fuente radiactiva, contenedor blindado, telemando, tubo guía, colimadores.

1. Fuente radiactiva.

La fuente radiactiva es el radioisótopo el cual tiene forma de un disco, este disco tiene un diámetro de 1 a 3 mm los cuales son colocados dentro de una cápsula de acero inoxidable selladas herméticamente mediante soldadura.

La cápsula se fija delante de una portafuente de acero inoxidable flexible, la parte trasera de la portafuente tiene un sistema de acoplamiento que le permite conectar el cable del telemando.

Figura 2.32: Fuente radiactiva de Iridio-192.



Fuente: Instituto Peruano De Energía Nuclear

Figura 2.33: Partes del portafuente.



Fuente: Consejo de seguridad nuclear.

2. Contenedor blindado.

El contenedor generalmente es fabricado con acero inoxidable por la parte exterior para protegerlo de golpes y las condiciones ambientales, internamente contiene uranio empobrecido el cual actúa como blindaje de la radiación ionizante.

Internamente el contenedor presenta un canal donde se aloja la fuente radiactiva, ese canal puede tener forma recta o en curva tipo S, el contenedor cuenta con un asa metálica en la parte superior para su transporte, un sistema de conexión para el telemando y el tubo guía, una cerradura como dispositivo de seguridad, una placa metálica con señalizaciones del contenedor y del material radiactivo que contiene.

Figura 2.34: Modelos de irradiadores de Iridio-192.



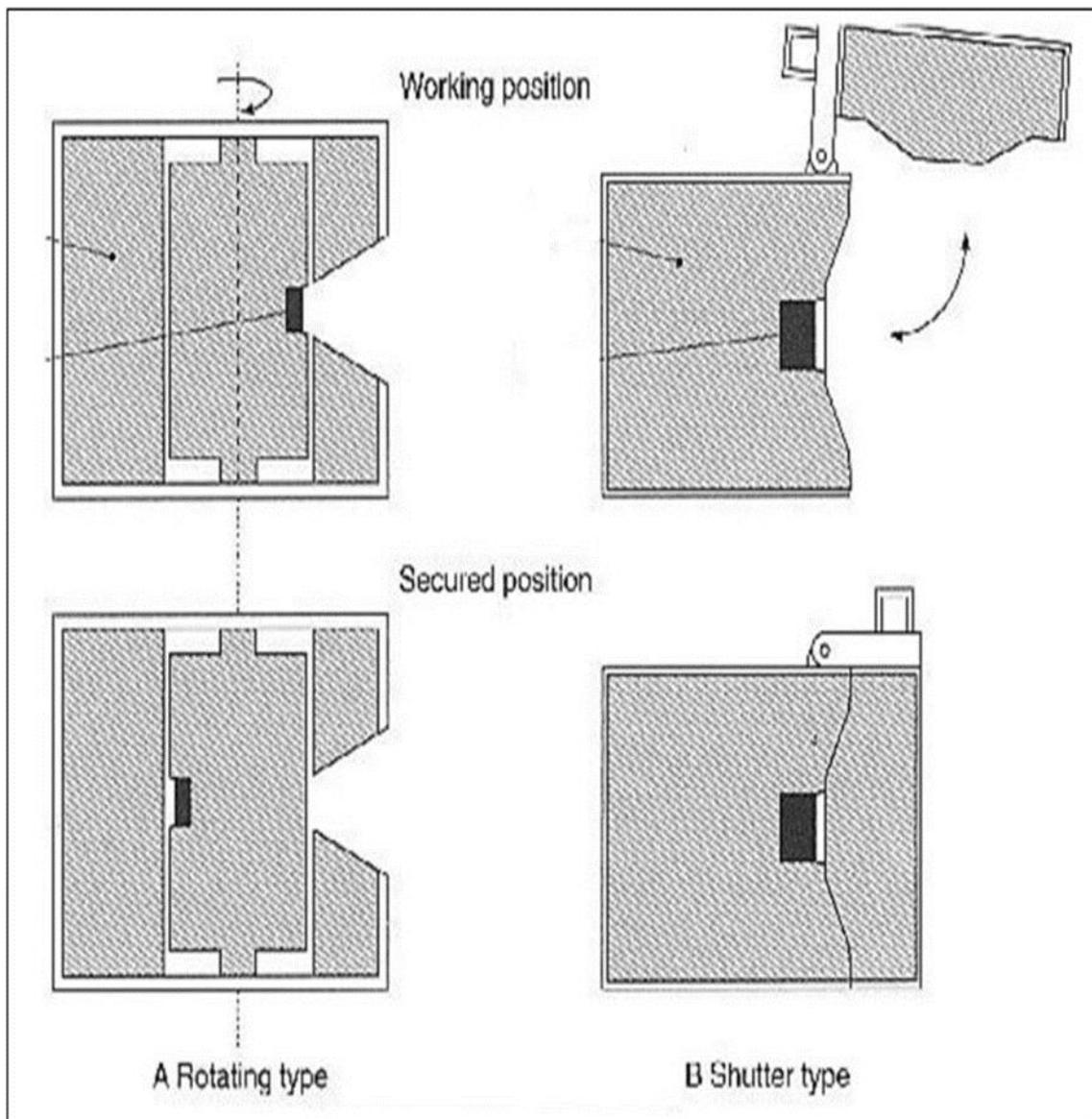
Fuente: Instituto Peruano De Energía Nuclear

Los contenedores se clasifican por la posición de la fuente y por la condición de movilidad.

- **Clasificación por la posición de la fuente.**

- Categoría I: La fuente radiactiva no es removida del contenedor blindado, por lo cual se usa un obturador u otro mecanismo para poder exponer la fuente.

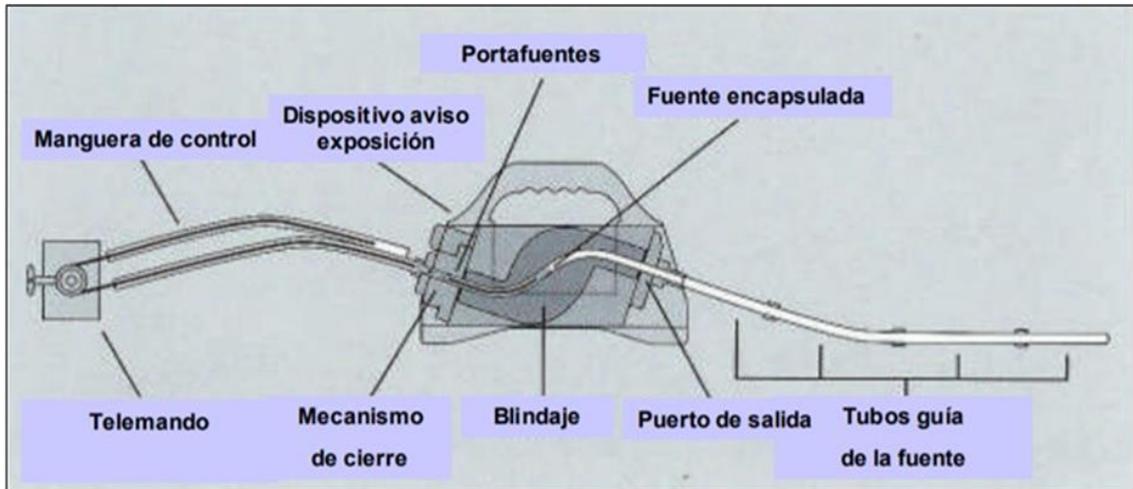
Figura 2.35: Esquema fuente categoría I.



Fuente: Instituto Peruano De Energía Nuclear

- Categoría II: La fuente radiactiva es proyectada fuera del contenedor blindado a través de un tubo guía dejando la fuente expuesta.

Figura 2.36: Esquema fuente categoría II.

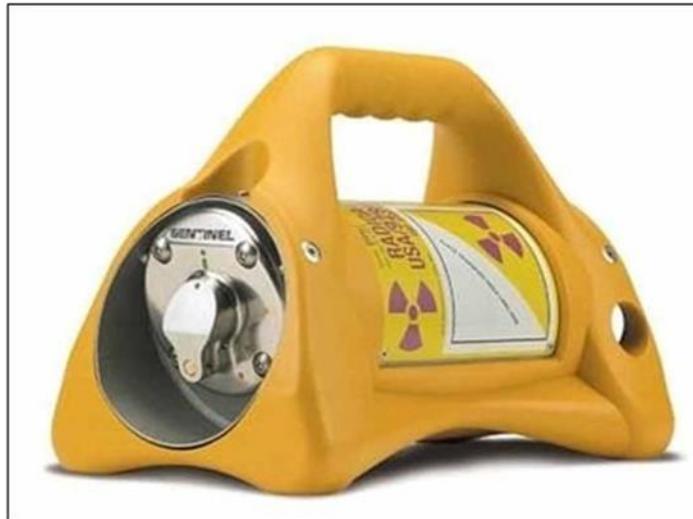


Fuente: Instituto Peruano De Energía Nuclear

- **Clasificación por la condición de movilidad.**

- Clase P: Es cuando el contenedor blindado es portátil y puede ser trasladado por una persona y cuyo peso no supere los 50Kg.

Figura 2.37: Tipo de fuente clase P.



Fuente: Consejo de seguridad nuclear.

- Clase M: Es cuando el contenedor blindado es móvil, cuenta con un mecanismo adecuado para su traslado.

Figura 2.38: Tipo de fuente clase M.



Fuente: Instituto Peruano De Energía Nuclear

- Clase F: Es cuando el contenedor blindado presenta una movilidad reducida a los límites de una zona controlada.

Figura 2.39: Tipo de fuente clase F.



Fuente: Instituto Peruano De Energía Nuclear

3. Telemando.

El telemando es un equipo mecánico utilizado para mover la fuente radiactiva de su posición de blindaje en el interior del contenedor, hasta el lugar de exposición y retornarla al contenedor por medio del tubo guía.

Figura 2.40: Telemando para gammagrafía industrial.



Fuente: Consejo de seguridad nuclear.

4. Tubo guía.

El tubo guía es un tubo flexible el cual se usa para guiar el recorrido de la porta fuente del contenedor hasta el punto de exposición.

El tubo guía flexible es compuesto por un tubo flexible que se enrolla internamente en acero inoxidable trenzado y, externamente, tiene una cubierta de goma.

Figura 2.41: Tubos guía para fuentes de gammagrafía industrial.



Fuente: Consejo de seguridad nuclear.

5. Colimadores.

Debido a que la radiación se propaga en todas las direcciones de forma uniforme es necesario el uso de colimadores para poder disminuir la radiación dispersa.

El colimador es un dispositivo de plomo que se sitúa a la salida del tubo guía y sirve para limitar el área irradiada.

Figura 2.42: Colimadores para gammagrafía industrial.



Fuente: Zhuzhou KJ Super Materials Co., Ltd.

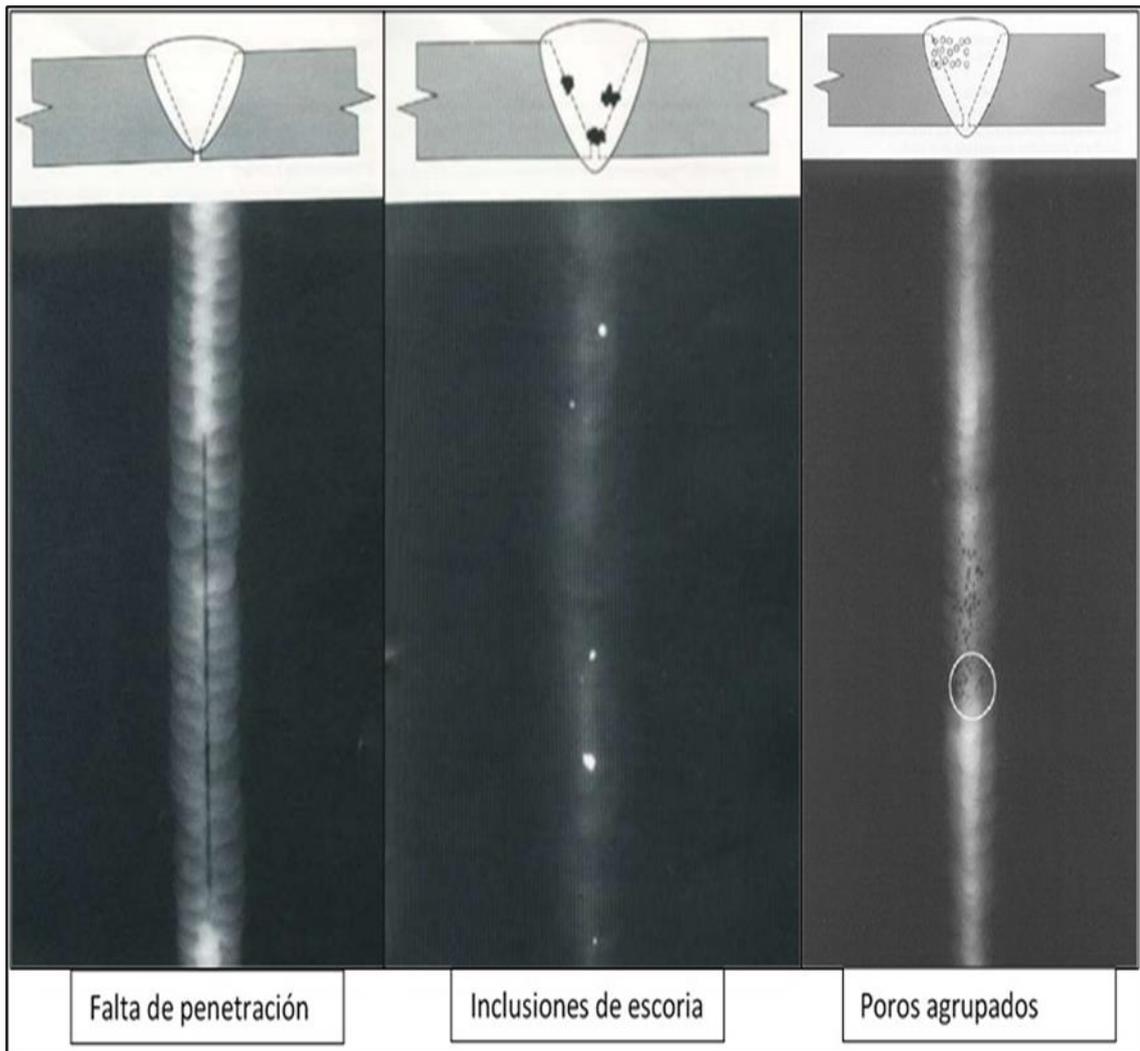
Nota: Existe un límite de dosis de radiación efectiva que está regulado en el Perú por el Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN), el cual son los siguientes:

- Ocupacional: 20 mSv por año como promedio en un periodo de 5 años, pero que no exceda 50 mSv en cualquier año.
- Público: La dosis efectiva es de 1 mSv por año.

Discontinuidades detectadas en radiografía.

Con la radiografía se pueden encontrar diferentes tipos de discontinuidades las más comunes son los poros agrupados, inclusión de escoria, rechupe, falta de penetración, socavación y penetración excesiva.

Figura 2.43: Tipo de discontinuidades.



Fuente: Discontinuidades y defectos en las uniones soldadas.

b) Ultrasonido industrial (UT).

El método de ultrasonido es muy usado en el ámbito de la industria por tener diferentes aplicaciones las principales son la detección y caracterización de discontinuidades internas y medición de espesores.

Este método se basa en la impedancia acústica, la cual se define como la resistencia que opone el medio de propagación de las ondas siendo igual a la densidad del medio multiplicado por la velocidad de la onda en el medio, la impedancia es una propiedad o constante de los materiales.

$$Z = \rho * V \quad (5)$$

Z= Impedancia del material.

ρ = Densidad del material. (g/cm^3)

V= Velocidad del sonido en el material. (cm/s)

En la siguiente tabla se muestra la impedancia de algunos materiales.

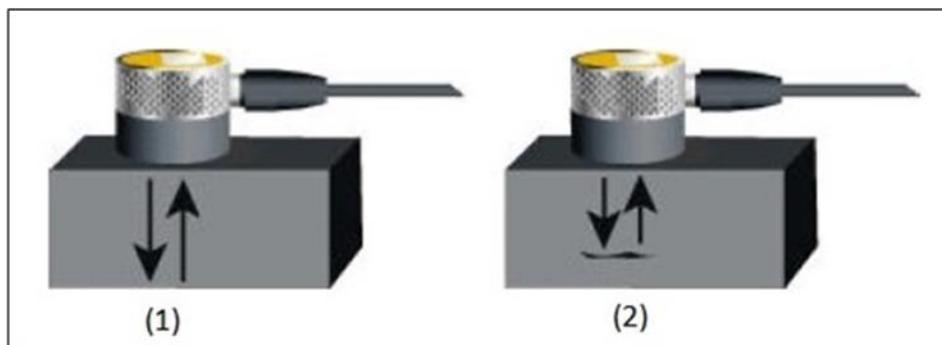
Tabla 2.5: Impedancia de algunos materiales.

MATERIAL	IMPEDANCIA ($g/cm^2 - s$)	VELOCIDAD SONIDO (cm/s)	DENSIDAD (g/cm^3)
AIRE	0.000033×10^6	0.33×10^5	0.001
AGUA	0.149×10^6	1.49×10^5	1.00
ALUMINIO	1.72×10^6	6.35×10^5	2.71
ACERO	4.56×10^6	5.85×10^5	7.8

Fuente: Curso de Ultrasonido nivel I, Ademinsac

Las ondas de sonido usadas están por encima del límite perceptible por el oído humano generalmente se encuentran en el rango de 500 kHz a 20 MHz la cual viaja a través de un medio sólido, líquido o gas. La cual cuando la onda encuentra una diferencia de impedancia la onda es reflejada.

Figura 2.44: (1) La onda viaja libremente por el material. (2) La onda es reflejada por el defecto interno del material.



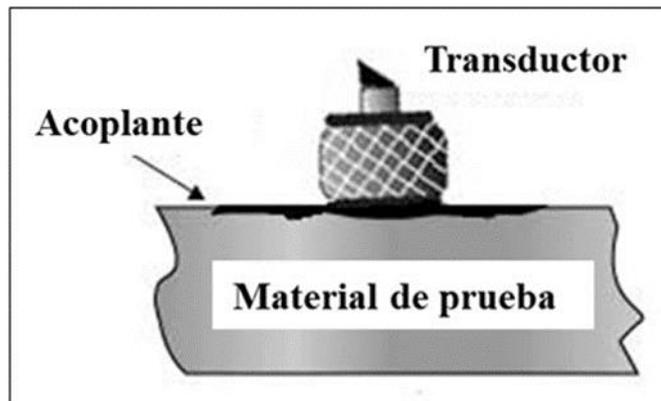
Fuente: Curso de Ultrasonido nivel I, Ademinsac

Este método se puede clasificar por el método de acoplamiento, técnica de inspección y método de presentación de información.

- **Clasificación por los métodos de acoplamiento.**

- Método de contacto: Es cuando el transductor es acoplado al material mediante una fina capa de acoplante.

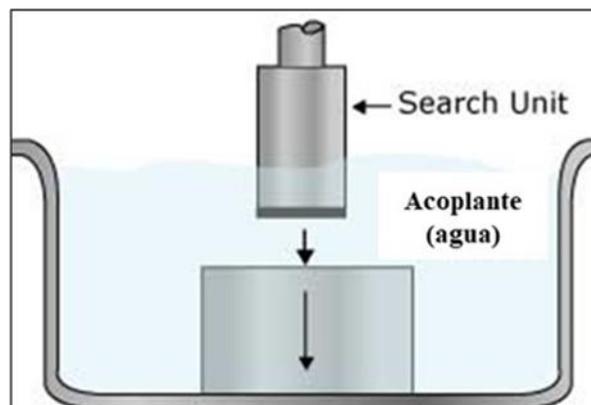
Figura 2.45: Esquema del método de contacto.



Fuente: Curso de Ultrasonido nivel I, Ademinsac

- Método de inmersión: En este método tanto el material como el transductor están inmersos en un tanque de acoplamiento que generalmente es agua.

Figura 2.46: Esquema del método de inmersión.



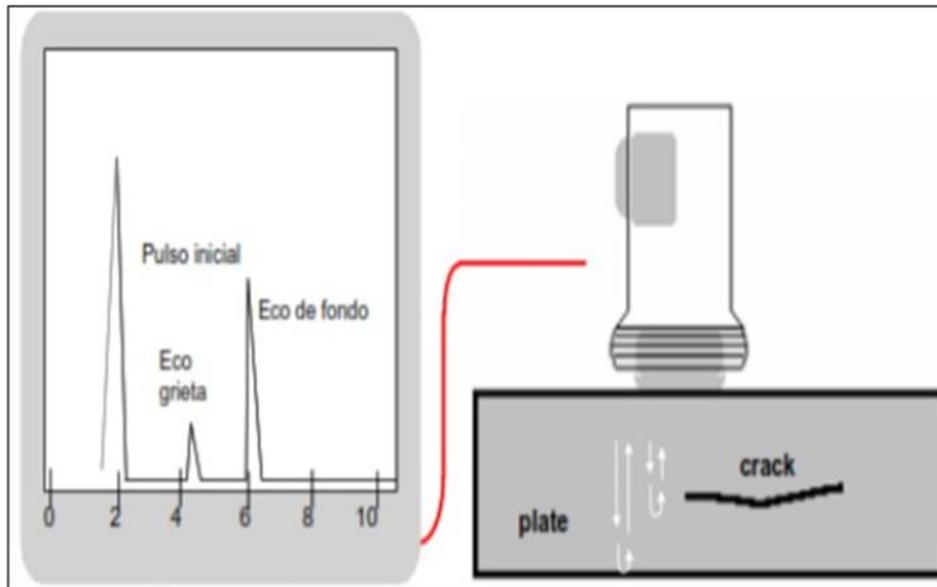
Fuente: <https://www.researchgate.net/>

- **Clasificación por las técnicas de inspección.**

- Técnica pulso-eco: Es la técnica más usada en las industrias el cual consiste en la emisión de pulsos de ondas ultrasónicas que son

transmitidas dentro del material inspeccionado, estos pulsos son reflejados desde las discontinuidades o desde la frontera del material, dicha reflexión es recibida y visualizada en los tubos de rayos catódicos.

Figura 2.47: Esquema de la técnica Pulso-Eco



Fuente: Tecnología Total Ingeniería en integridad y corrosión (Ultrasonido Industrial).

- Técnica phased array: El phased array es un método de ensayo no destructivo avanzado la cual mide directamente las características de la discontinuidad (distancia desde el transductor, profundidad y el camino de la señal acústica), además con este método se puede inspeccionar soldaduras y medir espesores de pared de manera efectiva.

Su efectividad proviene de la combinación de múltiples ángulos y profundidades focales mediante una sonda que realiza diversas inspecciones sin necesidad de modificar la configuración del transductor, la inspección se puede grabar y registra la posición, para su posterior análisis en gabinete y la elaboración de los informes, se puede utilizar en materiales convencionales y especiales como los austeníticos y los de alta aleación.

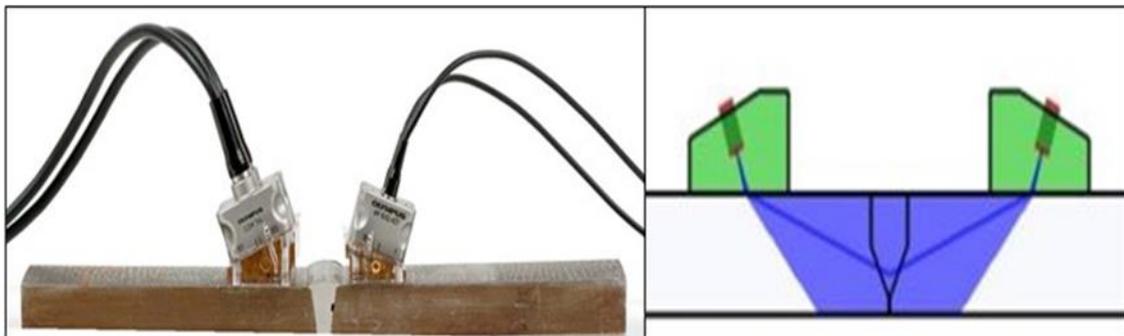
Figura 2.48: Inspección de soldadura mediante el método Phased Array.



Fuente: END Ingeniería Inspección y Consultoría (<http://endiicsac.com/>)

- Técnica TOFD: Se llama TOFD por sus siglas en inglés (TIME OF FLIGHT DIFFRACTION) o también llamado difracción del tiempo de vuelo, está destinada principalmente para inspeccionar de manera rápida cordones de soldaduras circunferenciales y axiales de gran espesor, esta técnica es muy utilizada en el sector petroquímico, nuclear y minero. La técnica de TOFD posee 2 zonas muertas (regiones de la raíz y cara de la soldadura) por lo que este ensayo a menudo está acompañado con las técnicas pulso-eco o el pase array.

Figura 2.49: Técnica TOFD de un solo grupo.

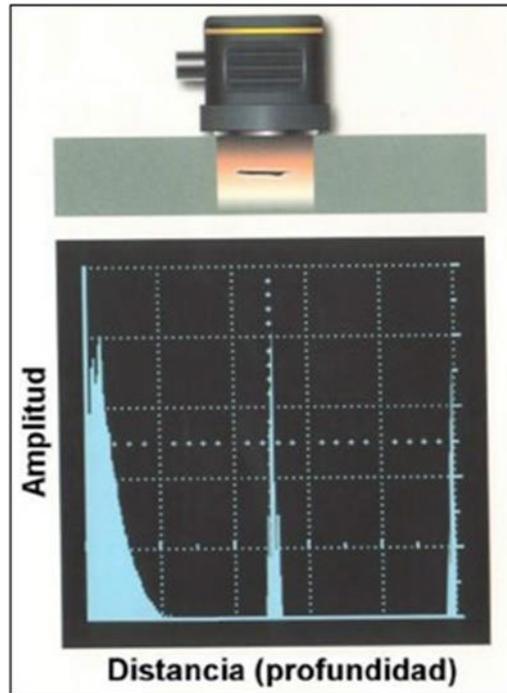


Fuente: OLYMPUS (<https://www.olympus-ims.com/es/applications/introduction-to-time-of-flight-diffraction-for-weld-inspection/>)

- **Clasificación por métodos de presentación de información.**

- Presentación tipo "A" (A-SCAN): Es una presentación de datos que utiliza una línea de base horizontal que indica la distancia, o el tiempo, y una desviación vertical que indica la amplitud, la lectura es de izquierda a derecha.

Figura 2.50: Representación Tipo A (A-Scan).



Fuente: http://biblioteca.upbbga.edu.co/docs/digital_21062.pdf

- Presentación tipo "B" (B-SCAN): Es una presentación de datos ultrasónicos que muestra una sección transversal del espécimen, las discontinuidades encontradas al interior del material inspeccionado se verán como puntos brillantes o líneas discontinuas que indica la longitud aproximada de los reflectores y sus posiciones relativas.

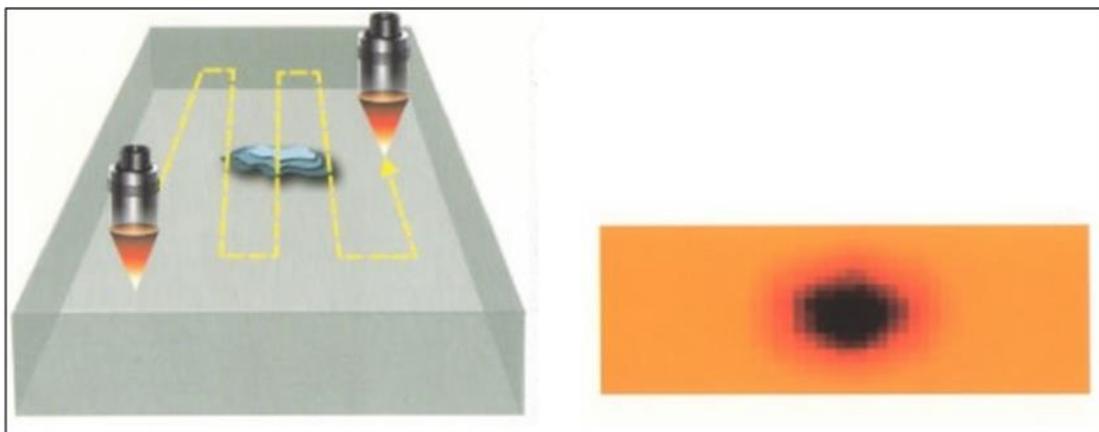
Figura 2.51: Representación Tipo B (B-Scan).



Fuente: SIUI

- Presentación tipo "C" (C-SCAN): Es una presentación en la cual permite estimar el tamaño (ancho y longitud) de la discontinuidad, dado que proporciona una vista de planta del objeto de prueba.

Figura 2.52: Representación Tipo C (C-Scan).



Fuente: http://biblioteca.upbbga.edu.co/docs/digital_21062.pdf

c) Emisión acústica (AE).

La Emisión Acústica en materiales es provocada por una serie de sucesos que ocurren en el interior del material, como pequeños movimientos sísmicos que generan breves ondas elásticas (impulsos) que se propagan a través del material y que pueden ser detectadas con sensores, la emisión acústica es una variación

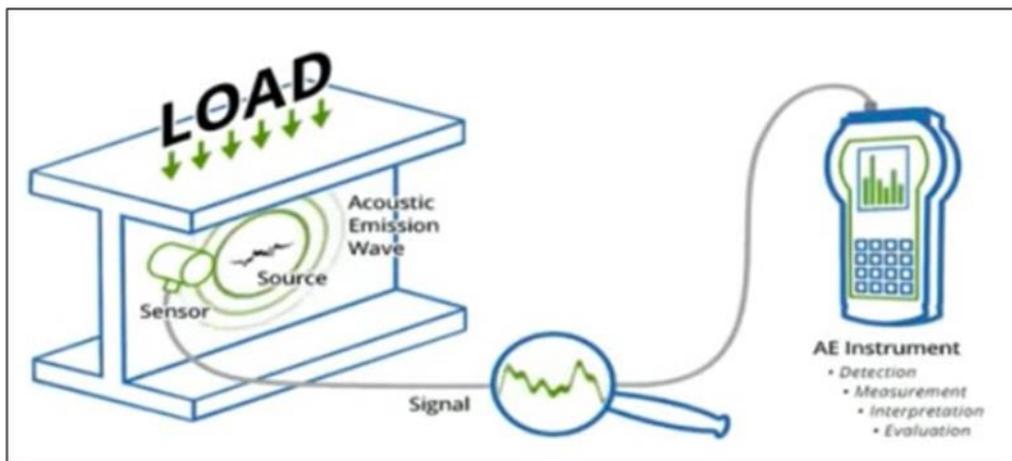
en el campo de tensiones generado en el interior del material dichas ondas son ultrasónicas y están en el rango de 100-300 kHz.

El método de emisión acústica es empleado para evaluar la integridad de recipiente a presión y atmosféricos. (GONZÁLEZ, 2014)

Las ventajas de la emisión acústica es la siguiente:

- La emisión acústica detecta los movimientos (otros ensayos no destructivos detectan las discontinuidades geométricas).
- La inspección se puede hacer con el equipo en servicio.
- Inspección de toda la estructura.
- Permite encontrar defectos significativos.
- Es un método no invasivo.

Figura 2.53: Principio de la Emisión Acústica



Fuente: Instituto Mexicano Del Transporte (<https://www.youtube.com/watch?v=AFm5KS431dc>)

d) Termografía infrarroja.

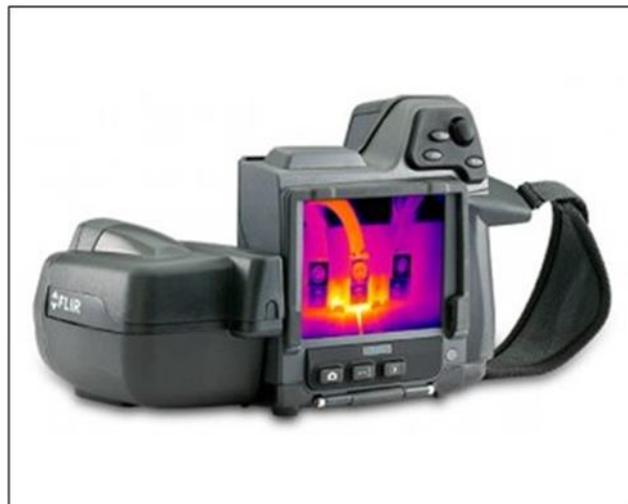
La termografía infrarroja es una técnica de inspección muy usada en las industrias para el mantenimiento predictivo, la cual nos permite detectar anomalías invisibles a simple vista y con la ayuda de las cámaras termográficas.

Las cámaras termográficas son una herramienta única que sirve para determinar cuándo y dónde se necesita mantenimiento, puesto que las instalaciones eléctricas y mecánicas suelen calentarse antes de fallar. Al descubrir estos puntos calientes con una cámara termográfica, se puede llevar a cabo una

medida preventiva. De este modo, es posible evitar costosas averías o, aún peor, incendios.

La termografía de infrarrojo es el arte de transformar una imagen de infrarrojos en una imagen radiométrica (termograma) que permita leer los valores de temperatura. Por tanto, cada píxel de la imagen radiométrica es, de hecho, una medición de temperatura.

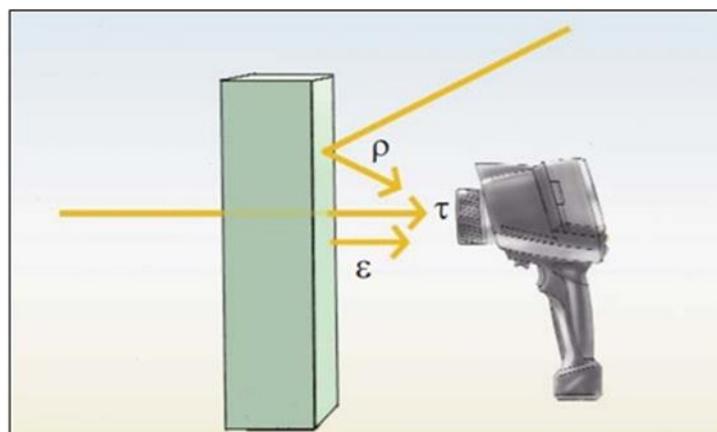
Figura 2.54: Cámara termográfica Flir T440



Fuente: Flir (<https://www.flir.com/>)

El principio de las cámaras termográfica registrar la radiación de la onda larga emitida, transmitida y reflejada que se manifiesta en los objetos presentes en el campo de visión de la cámara.

Figura 2.55: Emisividad, transmisión y reflexión.



Fuente: TESTO Termografía, guía de bolsillo

Emisividad. (ϵ)

La emisividad es la capacidad que tienen los cuerpos para emitir radiación infrarroja, esto depende en gran medida de las propiedades del material, la emisividad de los cuerpos reales generalmente son $\epsilon < 1$, y de un cuerpo negro es $\epsilon = 1$.

Tabla 2.6: Tabla de emisividad de los materiales más importantes.

Material	Temperatura	Emisividad
Aluminio laminado sin tratamiento	170 °C	0.04
Aluminio no oxidado	25 °C	0.02
Aluminio no oxidado	100 °C	0.03
Aluminio muy oxidado	93 °C	0.2
Aluminio muy pulido	100 °C	0.09
Algodón	20 °C	0.77
Hormigón	25 °C	0.93
Plomo	40 °C	0.43
Plomo oxidado	40 °C	0.43
Cromo	40 °C	0.08
Cromo pulido	150 °C	0.06
Hierro esmerilado	20 °C	0.24
Hierro decapado	100 °C	0.8
Hierro laminado	20 °C	0.77
Yeso	20 °C	0.9
Cristal	90 °C	0.94
Granito	20 °C	0.45
Caucho duro	23 °C	0.94

Caucho blando	23 °C	0.89
Hierro fundido	200 °C	0.64
Madera	70 °C	0.94
Cobre deslustrado	20 °C	0.04
Cobre oxidado	130 °C	0.76
Cobre pulido	40 °C	0.03
Cobre enrollado	40 °C	0.64
Acero galvanizado	200 °C	0.52
Acero oxidado	200 °C	0.79
Acero estirado en frío	93 °C	0.75 a 0.85
Ladrillo	20 °C	0.93
Zinc oxidado		0.1

Fuente: TESTO Termografía, guía de bolsillo

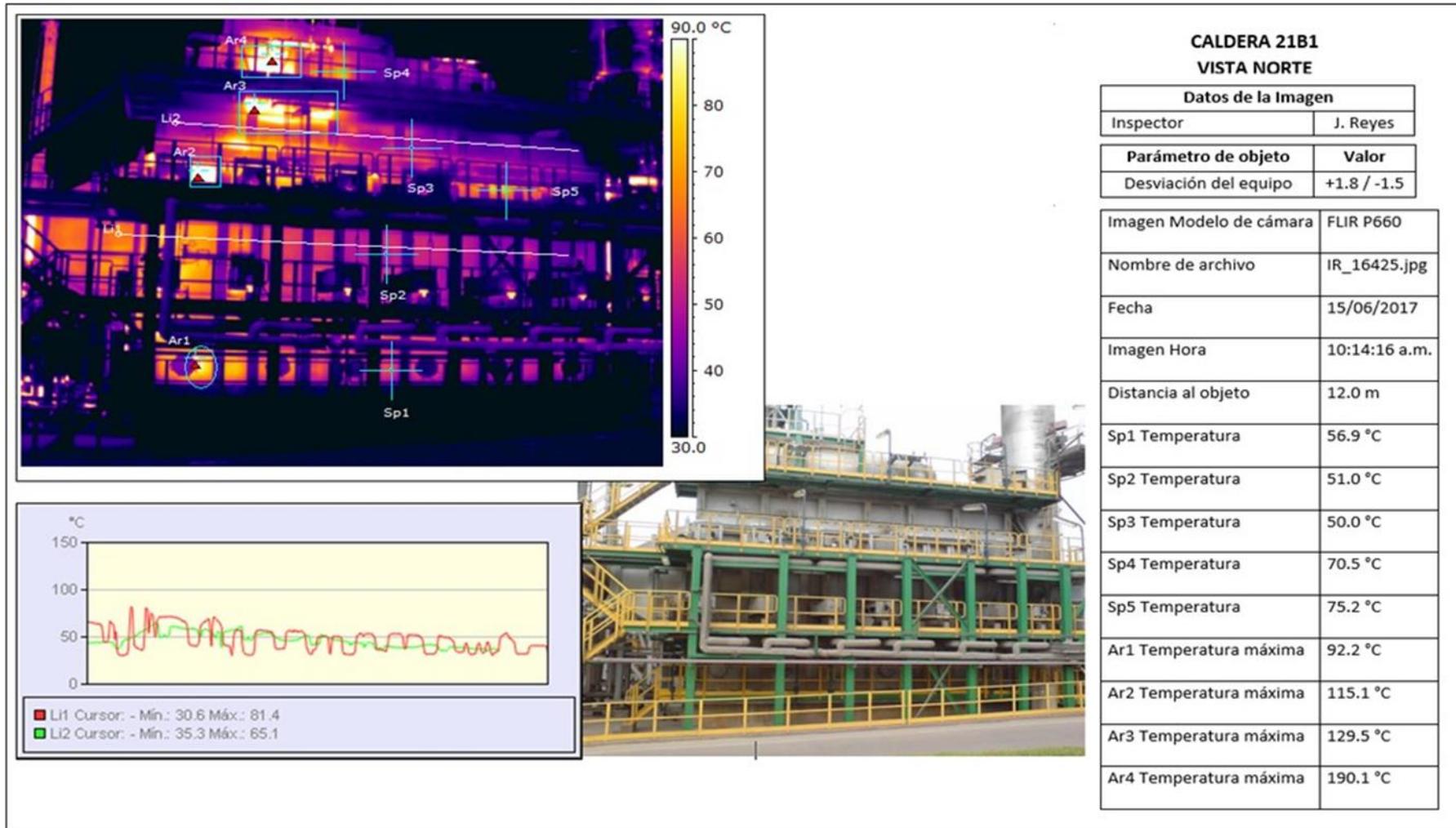
Transmisión. (τ)

La transmisión es la capacidad de los materiales en permitir el paso de la radiación infrarroja, la transmisión depende del tipo y grosor del material.

Reflexión. (ρ)

La reflexión es la capacidad de un cuerpo de reflejar la radiación infrarroja, este parámetro se incrementa conforme la emisividad decrece.

Figura 2.56: Termografía al caldero de recuperación de calor de FCC



Fuente: Elaboración Propia.

Pruebas no destructivas de hermeticidad.

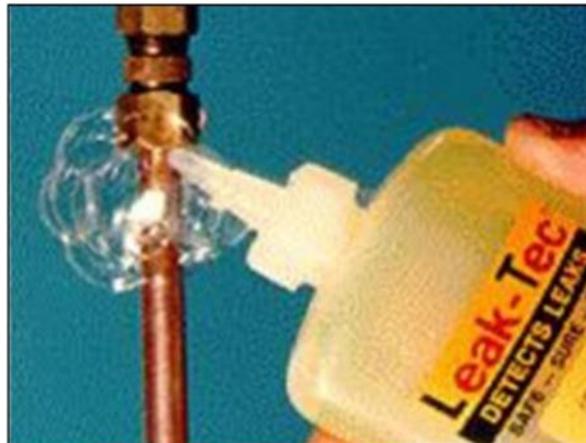
Las pruebas de hermeticidad proporcionan información sobre el grado en que pueden ser contenidos los fluidos en los recipientes, los principales métodos son la prueba de burbuja, prueba hidrostática o neumática, detección de fugas por ultrasonido acústico.

a) Prueba de burbuja.

El objetivo de la técnica de la prueba de fuga por burbuja es localizar las fugas en un componente presurizado mediante la aplicación de una solución jabonosa o por inmersión en un líquido lo que provoca la formación de burbujas a medida que el gas fuga.

Para la aplicación de esta técnica la superficie inspeccionada no deberá ser inferior a 5°C ni superior a 50°C durante toda la inspección.

Figura 2.57: Detección de fugas por el método de burbujas.



Fuente: M&M Ingenieros. (<https://slideplayer.es/slide/12061421/>)

b) Prueba hidrostática o neumática.

La técnica de prueba de hidrostática se define como la aplicación de presión en el interior de un equipo o tuberías fuera de operación, con el fin de verificar su integridad y hermeticidad en las uniones soldadas y en los accesorios bridados, utilizando principalmente agua o en su defecto un fluido no corrosivo.

Figura 2.58: Prueba hidrostática lado casco en intercambiador 01E25B.



Fuente: Elaboración Propia.

c) Detección de fugas por ultrasonido acústico.

En esta técnica se usa un detector de fugas por ultrasonidos para detectar la energía ultrasónica producida por el flujo de un gas desde el lado de menor presión de una abertura muy pequeña en una envolvente que separa dos regiones a diferentes presiones.

Dado a que esta técnica presenta una baja sensibilidad, no se usa para pruebas de aceptación de recipientes que contengan sustancias letales o peligrosas.

Figura 2.59: Equipos de ultrasonido acústico (UL 101 -CTRL Systems).



Fuente: Building performance lab.

Identificación positiva de materiales (PMI).

Otro ensayo no destructivo es la identificación positiva de materiales (PMI) el cual nos ayuda a determinar la composición química e identificar el tipo de aleación que está compuesto el material a inspeccionar tales como tubos, válvulas, recipientes, bombas, etc.

Existen 2 métodos para el análisis de materiales los cuales son la fluorescencia de rayos x y la espectrometría.

Fluorescencia de rayos x. Se basa en el análisis de un haz de la radiación X emitido a la superficie de la pieza de estudio. La emisión de la radiación del metal analizado es sometida a análisis energético para determinar la composición química y el porcentaje contenido de los elementos de una aleación. (IPUNTO ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS.S.L.)

Espectrometría. Es la interacción entre la radiación electromagnética y la materia, con absorción o emisión de energía radiante, el método consiste en emitir un arco eléctrico en un material, la luz de este arco eléctrico se emite con ciertas longitudes de onda que dependen de los elementos contenidos en la aleación, Los dispositivos que excitan a los elementos químicos para que emitan luz y que posteriormente la descomponen y analizan son llamados espectroscopios. (TUV NORD CUALICONTROL)

Figura 2.60: Identificación positiva de material (PMI) de brida.



Fuente: Olympus (<https://www.olympus-ims.com/es/vanta-pmi/>)

2.1.2 Aspectos normativos.

Normas y códigos de referencia del ensayo de compresión son los siguientes:

- ASTM E9-19. Métodos de prueba estándar para el ensayo de compresión de materiales metálicos a temperatura ambiente.
- ASTM E2954-15. Método de prueba estándar para la prueba de compresión axial de elementos verticales compuestos de matriz de polímero y plástico reforzado.

Normas y códigos de referencia del ensayo de dureza son los siguientes:

- ASTM A1038-19. Método de prueba estándar para el ensayo de dureza portátil por el método de impedancia de contacto ultrasónico.
- ASTM E110-14. Método de prueba estándar para la dureza Rockwell y Brinell de materiales metálicos mediante durómetros portátiles.
- ASTM E140-12B (2019) e1. Tablas de conversión de dureza estándar para metales Relación entre la dureza Brinell, la dureza Vickers, la dureza Rockwell, la dureza superficial, la dureza Knoop, la dureza escleroscópica y la dureza Leeb.
- API RP 577. Procesos de soldadura, inspección y Metalurgia.
- ASTM E10-18. Método de ensayo estándar para la dureza Brinell de los materiales metálicos.

Normas y códigos de referencia de la inspección visual son los siguientes:

- ASME BPVC.V-2019. Código ASME de calderas y recipientes a presión, Código Internacional de Exámenes No Destructivos. Artículo 9.
- SNT-TC-1A. Práctica recomendada para la calificación y certificación del personal en los ensayos no destructivos.

Normas y códigos de referencia de la inspección por líquidos penetrantes son los siguientes:

- ASME BPVC.V-2019. Código ASME de calderas y recipientes a presión, Código Internacional de Exámenes No Destructivos. Artículo 6.

- ASTM E165/E165M. Práctica estándar para el examen con líquidos penetrantes para la industria en general.
- ASTM E433. Fotografías de referencia estándar para la inspección con líquidos penetrantes.
- SNT-TC-1A. Práctica recomendada para la calificación y certificación del personal en los ensayos no destructivos.

Normas y códigos de referencia de la inspección por partículas magnéticas son los siguientes:

- ASME BPVC.V-2019. Código ASME de calderas y recipientes a presión, Código Internacional de Exámenes No Destructivos. Artículo 1 y 7.
- ASTM E709 – 15. Guía estándar para los ensayos con partículas magnéticas.
- ASTM E1444 - 16. Práctica estándar para pruebas de partículas magnéticas.
- ASTM E3024 – 19. Práctica estándar para pruebas de partículas magnéticas para la industria general.
- SNT-TC-1A. Práctica recomendada para la calificación y certificación del personal en los ensayos no destructivos.

Normas y códigos de referencia de la inspección por corrientes inducidas.

- ASME BPVC.V-2019. Código ASME de calderas y recipientes a presión, Código Internacional de Exámenes No Destructivos. Artículo 1 y 8.
- ASTM E1004-17. Método de prueba estándar para determinar la conductividad eléctrica mediante método electromagnético (corrientes inducidas).
- ASTM E309-16. Práctica estándar para la examinación por corrientes inducidas de productos tubulares de acero mediante saturación magnética.
- SNT-TC-1A. Práctica recomendada para la calificación y certificación del personal en los ensayos no destructivos.

Normas y códigos de referencia de la inspección por radiografía industrial.

- NORMA DE SEGURIDAD SF.001.2011. Requisitos de seguridad física de fuentes radiactivas.
- NORMA TÉCNICA IR.001.2009. Requisitos de seguridad radiológica en radiografía industrial
- LEY N°27757- DECRETO SUPREMO N°001-2004-EM. Ley de prohibición de la importación de bienes, maquinaria y equipos usados que utilicen fuentes radiactivas.
- LEY N°28028. Ley de regulación del uso de fuentes de radiación ionizante.
- ASME BPVC.V-2019. Código ASME de calderas y recipientes a presión, Código Internacional de Exámenes No Destructivos. Artículo 1 y 2.
- ASTM E94/E94M-17. Guía estándar para el examen radiográfico con película radiográfica industrial.
- ASTM E1742/E1742-18. Práctica estándar para el examen radiográfico.
- SNT-TC-1A. Práctica recomendada para la calificación y certificación del personal en los ensayos no destructivos.

Normas y códigos de referencia de la inspección por ultrasonido industrial.

- ASME BPVC.V-2019. Código ASME de calderas y recipientes a presión, Código Internacional de Exámenes No Destructivos. Artículo 4 Y 5.
- ASTM E114-20 Práctica Estándar para Pruebas de Contacto por Ultrasonido de Pulso-Eco con Haz Recto.
- API-UT-21 (2019). Procedimiento definido para la medición de espesores por ultrasonidos.
- ASTM E164-19 Práctica estándar para el ensayo por ultrasonido de contacto de soldaduras.
- ASTM E213-20. Práctica estándar para el ensayo por ultrasonidos de tuberías metálicas.
- ASTM E494-20. Práctica estándar para la medición de la velocidad de los ultrasonidos en los materiales por el método de pulso-eco comparativo.
- SNT-TC-1A. Práctica recomendada para la calificación y certificación del personal en los ensayos no destructivos.

Normas y códigos de referencia de la inspección por termografía infrarroja.

- ASTM E1934-99a (2018). Guía estándar para examinar equipos eléctricos y mecánicos con termografía infrarroja.

Normas y códigos de referencia de la inspección por prueba de burbuja.

- ASME BPVC.V-2019. Código ASME de calderas y recipientes a presión, Código Internacional de Exámenes No Destructivos. Artículo 10.
- ASTM F2096-11 (2019). Método de ensayo estándar para la detección de fugas graves en envases por presurización interna (ensayo de burbuja).

Normas y códigos de referencia de la inspección por prueba hidrostática.

- ASTM E1003-13 (2018). Práctica estándar para la prueba de estanqueidad hidrostática.
- ASME BPVC.V-2019. Código ASME de calderas y recipientes a presión, Código Internacional de Exámenes No Destructivos.

2.1.3 Simbología técnica.

El mayor uso de la simbología de los ensayos no destructivos se tiene en las inspecciones en soldaduras, dicha simbología nos ayuda a reducir la excesiva cantidad de información, en el AWS A2.4:2020 (AWS=American Welding Society), nos presenta una simbología para la identificación de los métodos requeridos para la inspección de la soldadura.

Letras designadas para la identificación del ensayo no destructivo asignando:

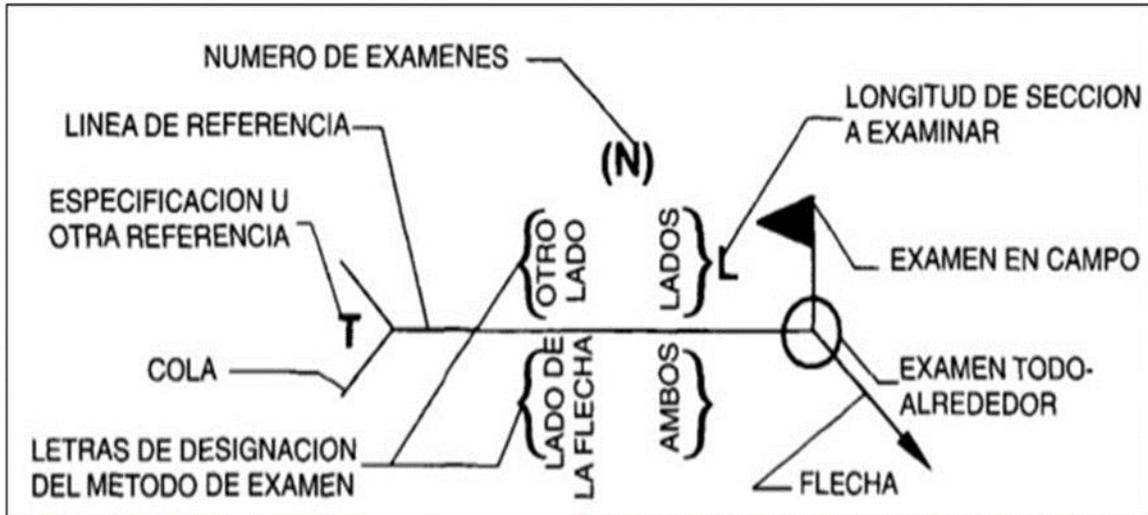
Tabla 2.7: Siglas de los ensayos no destructivos.

ENSAYO NO DESTRUCTIVO	LETRA DESIGNADA
Visual	VT
Líquidos Penetrantes	PT
Partículas Magnéticas	MT
Radiografía	RT
Ultrasonido	UT

Emisión Acústica	AET
Prueba de fuga	LT

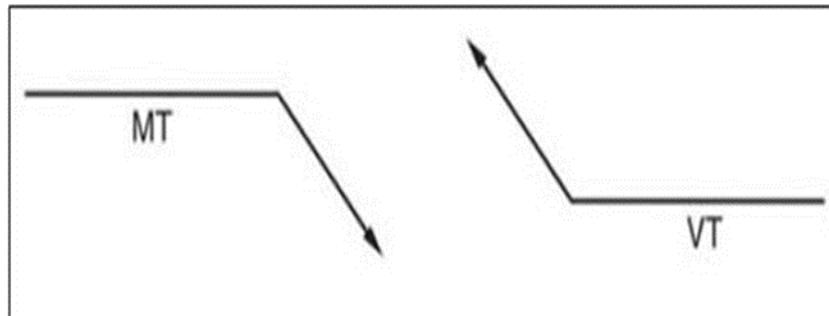
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 2.61: Posición estándar de los elementos en el símbolo para el ensayo no destructivo



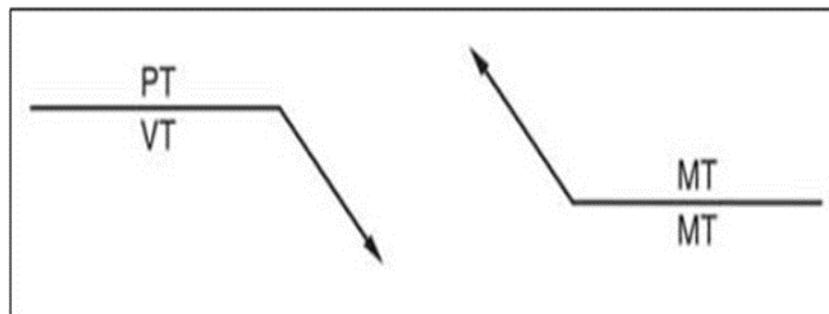
Fuente: AWS A2.4:2020

Figura 2.62: Simbología de examinación en el lado de la flecha



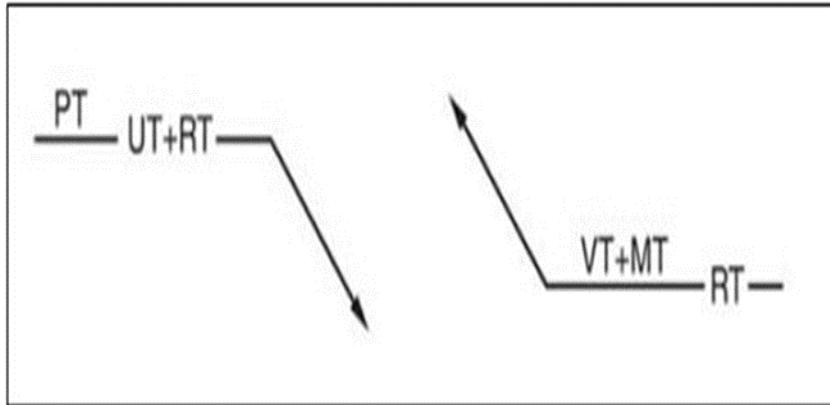
Fuente: AWS A2.4:2020

Figura 2.63: Simbología de examinación en ambos lados de la pieza.



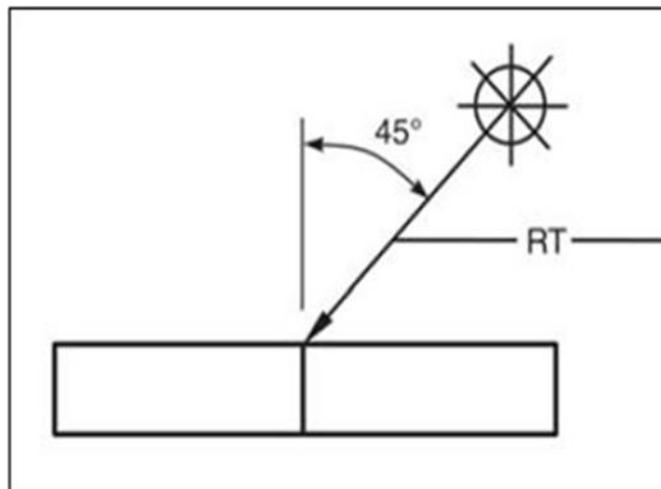
Fuente: AWS A2.4:2020

Figura 2.64: Simbología de combinación de ensayos no destructivos.



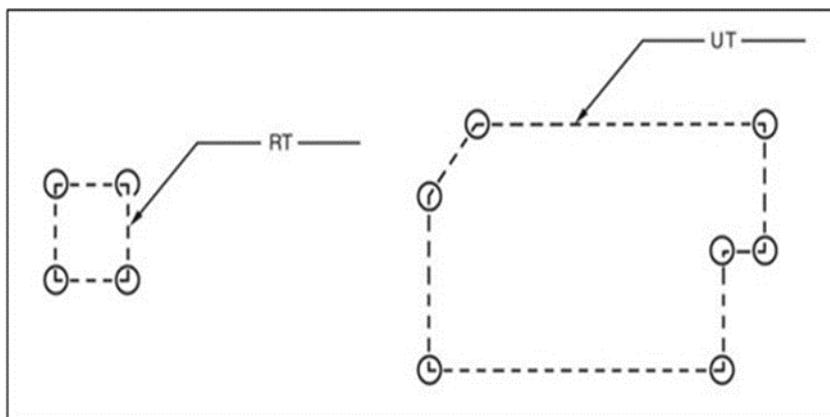
Fuente: AWS A2.4:2020

Figura 2.65: Simbología de la dirección de la radiación.



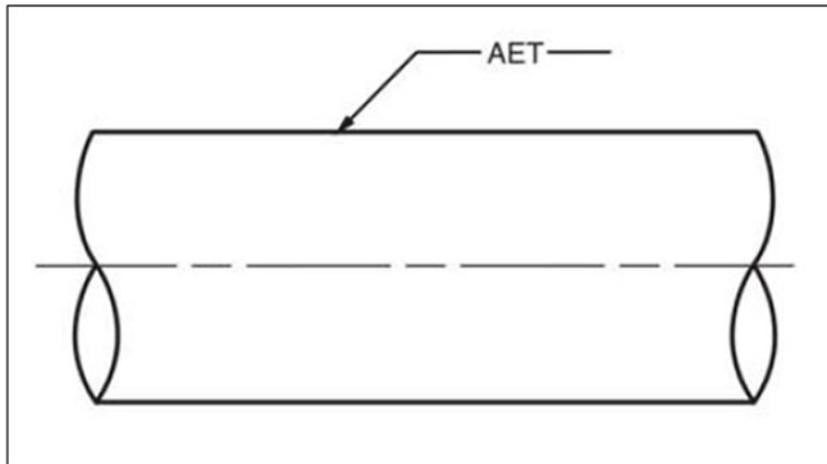
Fuente: AWS A2.4:2020

Figura 2.66: Simbología de examen de superficies planas.



Fuente: AWS A2.4:2020

Figura 2.67: Simbología del ensayo de emisión acústica.



Fuente: AWS A2.4:2020

Simbología de seguridad radiológica

De la misma manera existe simbología en la seguridad radiológica como el símbolo del trébol recomendado por la OIEA (Organismo Internacional de Energía Atómica).

Figura 2.68: Simbología de señalización en zonas de riesgo de radiación ionizante.



Fuente: Instituto de protección radiológica ingeniería en prevención de riesgos.

(<http://www.iprltda.cl/>)

La norma ISO 21482:2007 aumenta un símbolo para la señalización de peligro de radiación.

Figura 2.69: Nuevo símbolo de advertencia de radiación ionizante. (ISO 21482:2007)



Fuente: ISO 21482:2007

Simbología para el transporte de materiales radiactivos.

Figura 2.70: Simbología cuando el índice de transporte es 0 (TI=0)



Fuente: Instituto Peruano De Energía Nuclear

Figura 2.71: Simbología cuando el índice de transportes esta entre $0 < TI < 1$



Fuente: Instituto Peruano De Energía Nuclear

Figura 2.72: Simbología cuando el índice de transportes esta entre $1 < TI < 10$



Fuente: Instituto Peruano De Energía Nuclear

2.2 Descripción de las actividades desarrolladas.

2.2.1 Etapas de las actividades.

En el siguiente trabajo se ha empleado las siguientes etapas.

Etapas 1: Evaluación del proyecto.

- Ingreso de requerimiento: El área de Fiabilidad solicita realizar el control de calidad al nuevo módulo del sobrecalentador del caldero de recuperación de calor el cual será utilizado en la próxima parada de planta programada.

- Evaluación de reportes históricos: Se revisan los reportes anteriores del caldero para tener conocimiento de los modos de fallas y poder evaluar las técnicas adecuadas para poder detectar las fallas esperadas.
- Evaluación de planos. Se realiza la revisión de los planos los cuales nos servirá para poder identificar los tipos de materiales y las dimensiones del módulo del caldero.
- Selección de técnicas de ensayo destructivo y no destructivos. En este punto se evalúa que técnica es la adecuada para poder encontrar las fallas comunes en el caldero para nuestro caso se escogieron las siguientes técnicas: replicas metalográficas, dureza, ultrasonido de haz recto, ultrasonido de haz angular y radiografía.
- Certificación del personal: En este punto se elige a los inspectores certificados en cada técnica seleccionada.

Etapas 2: Ejecución del proyecto.

- Traslado del módulo a zona liberada. Para iniciar con la ejecución del proyecto se necesita realizar el traslado del módulo hacia una zona liberada para poder realizar los ensayos correspondientes.
- Preparación del módulo. El primer paso para iniciar con los trabajos de inspección y la aplicación de los diferentes ensayos se necesita la limpieza mecánica adecuada del módulo la cual se realiza con la ayuda de una amoladora con discos polifan hasta lograr un área libre de salpicaduras de soldadura, pinturas y aceites para evitar sustancias contaminantes impidan realizar la técnica de forma adecuada.
- Ejecución de los ensayos destructivos y no destructivos. Luego de haber realizado la limpieza correspondiente se inicia con la ejecución de los ensayos destructivos y no destructivos los cuales consisten en la identificación positiva de materiales luego la toma de durezas posteriormente la realización de las réplicas metalográficas luego la medición de espesores con el ultrasonido de haz recto para poder evaluar si está acorde con los planos y para la evaluación de los cordones de soldadura lo realizamos con el ultrasonido de haz angular y radiografía.

- Limpieza del área de trabajo. Cumpliendo con las buenas prácticas siempre al finalizar nuestros trabajos procedemos con la limpieza del área para evitar contaminaciones con el medio ambiente.

Etapa 3: Resultados del proyecto.

- Evaluación de resultados de los ensayos destructivos y no destructivos. En este punto se analiza los resultados de cada ensayo para poder conocer la integridad actual del módulo inspeccionado.

Etapa 4: Redacción de informe.

- Elaboración de informe final. La elaboración del informe es la etapa final del proyecto en el cual se plasma los resultados obtenidos de los ensayos destructivos y no destructivos con el cual la refinería la pampilla tendrá sustento de reclamo si es que el módulo sale rechazado.

2.2.2 Diagrama de flujo

En el siguiente esquema muestra la secuencia de actividades por cada etapa del proyecto.

Figura 2.73: Diagrama de flujo de las etapas del proyecto.



Fuente: Elaboración propia.

2.2.3 Cronograma de actividades

Figura 2.74: Cronograma de actividades

N°	ACTIVIDADES:	Días																							Total actividad	
		SEMANA 1					SEMANA 2					SEMANA 3					SEMANA 4					SEMANA 5			Días	% Del Proyecto
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23		
INICIO DEL PROYECTO																										
1	Solicitud de inspección	■																							1	2.6%
2	Evaluación de reportes históricos		■	■																					2	5.3%
3	Evaluación de planos		■	■																					2	5.3%
4	Selección de técnicas de ensayos destructivos			■	■																				2	5.3%
5	Selección de técnicas de ensayos no destructivos			■	■																				2	5.3%
6	Selección de personal				■																				1	2.6%
EJECUCIÓN DEL PROYECTO																										
7	Traslado del módulo a zona liberada					■																			1	2.6%
8	Limpieza mecánica del módulo					■																			1	2.6%
9	Inspección visual del módulo					■																			1	2.6%
10	Ensayo de dureza en los cordones de soldadura y zona ZAC.					■	■																		2	5.3%
11	Inspección mediante réplicas metalográficas						■	■																	2	5.3%
12	Medición de espesores en los tubos y colector mediante ultrasonido de haz recto							■	■																2	5.3%
13	Inspección de los cordones de soldadura mediante ultrasonido de haz angular								■	■															2	5.3%
14	Inspección de los cordones de soldadura entre el colector y los tubos mediante radiografía									■	■														2	5.3%
RESULTADOS DEL PROYECTO																										
15	Interpretación de los resultados de los ensayos destructivos																■	■							2	5.3%
16	Interpretación de los resultados de los ensayos no destructivos																■	■							2	5.3%
REDACCIÓN DE INFORME																										
17	Redacción de reporte de inspección visual																	■							1	2.6%
18	Redacción de reporte de dureza																	■							1	2.6%
19	Redacción de reporte de réplicas metalográficas																		■						1	2.6%
20	Redacción de reporte de medición de espesores																		■	■					3	7.9%
21	Redacción de reporte de ultrasonido angular																			■	■				2	5.3%
22	Redacción de reporte de radiografía																				■				1	2.6%
23	Redacción de informe final																					■	■		2	5.3%
TOTAL:																									38	100%

Fuente: Elaboración propia.

III. Aportes realizados

3.1 Planificación, ejecución y control de etapas.

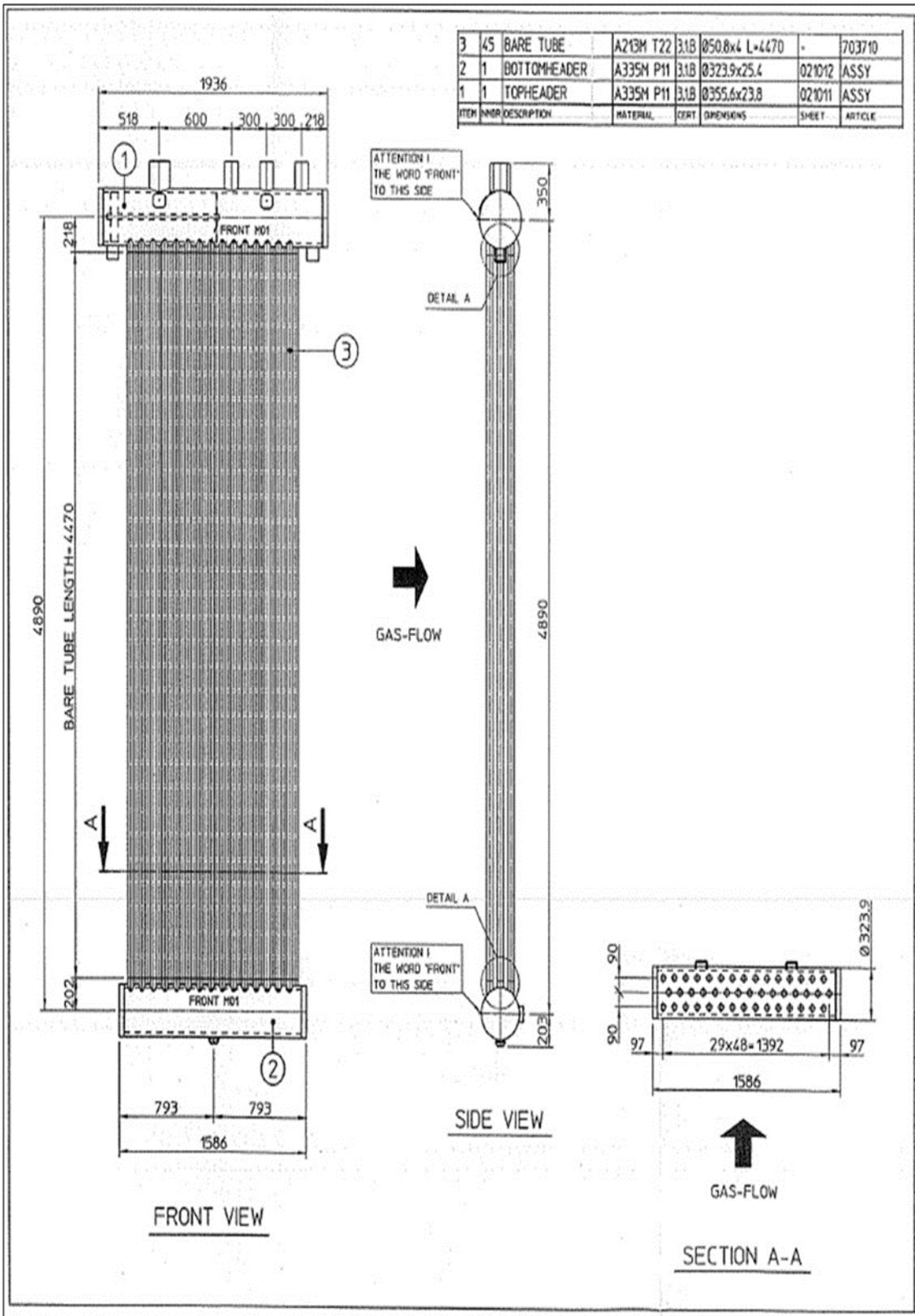
Las etapas del proyecto para el adecuado desarrollo de la inspección de los módulos del sobrecalentador del caldero, se ejecutan de manera secuencial en base al cronograma de actividades, la evidencia de las etapas se describe a continuación.

Etapas I: Inicio del proyecto.

Debido al historial de falla del caldero acuatubular de recuperación de calor de la unidad de FCC y la adquisición de nuevos módulos, el área de fiabilidad solicita el control de calidad de los nuevos módulos a nuestra empresa Ademinsac.

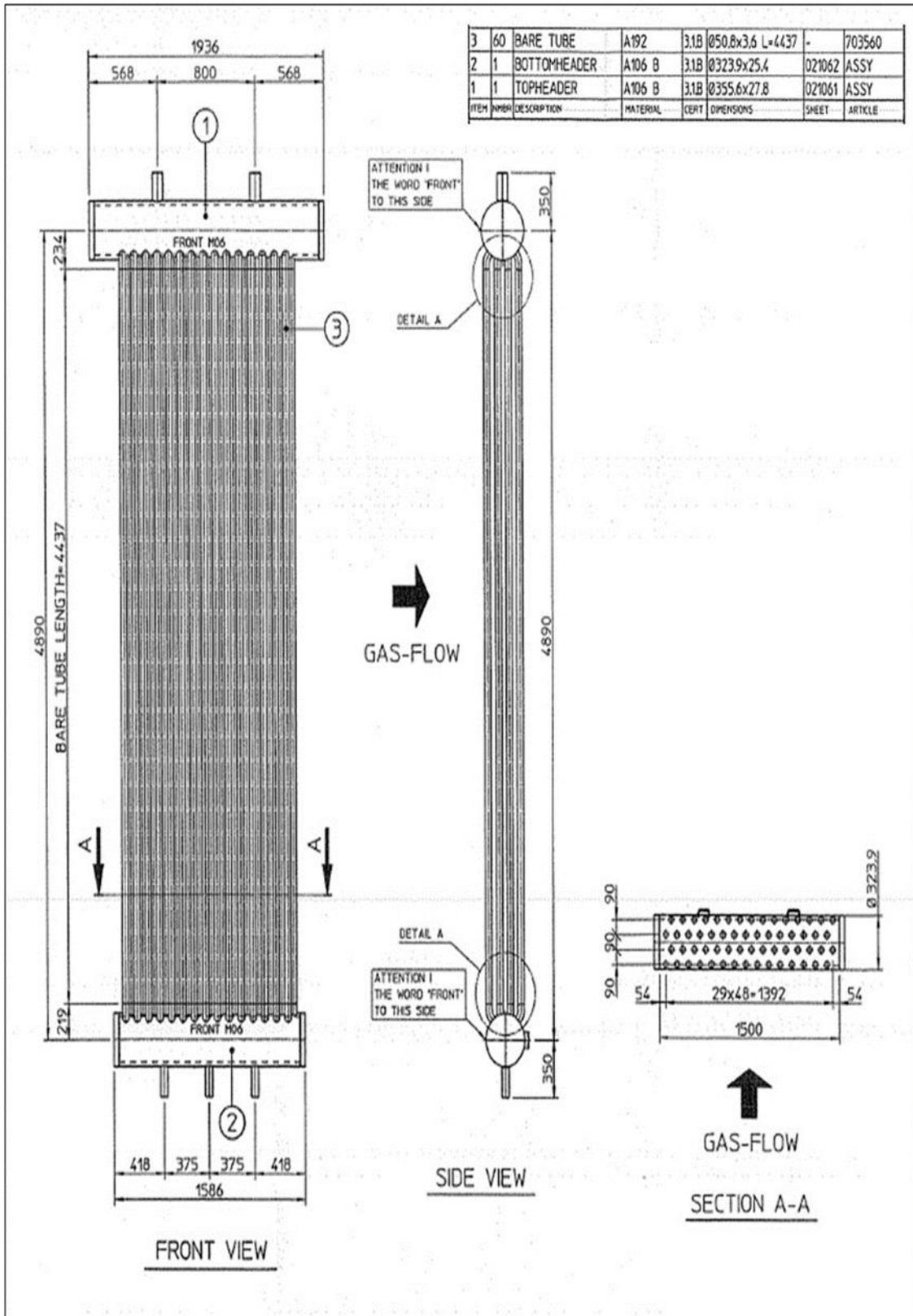
- Uno de los primeros pasos es revisar el historial del equipo para poder tener conocimiento de los mecanismos de falla anteriormente presentados en los módulos, encontrando que la principal falla en los módulos era entre el niple y el tubo por defectos en la soldadura los cuales eran la falta de penetración y falta de fusión, el otro motivo de la falla es la mala selección de los materiales de los tubos los cuales posiblemente fueron combinados en el proceso de fabricación del módulo.
- El segundo paso es la revisión de los planos para poder determinar el material, los espesores y dimensiones de diseño de las partes de los módulos y poder verificarlo con los nuevos módulos adquiridos y poder dar la conformidad con el diseño y puedan ser instalados en el caldero de recuperación de calor en su próxima para de planta.

Figura 3.1: Módulo de sobrecalentador



Fuente: Repsol.

Figura 3.2: Módulo de evaporador y economizador



Fuente: Repsol

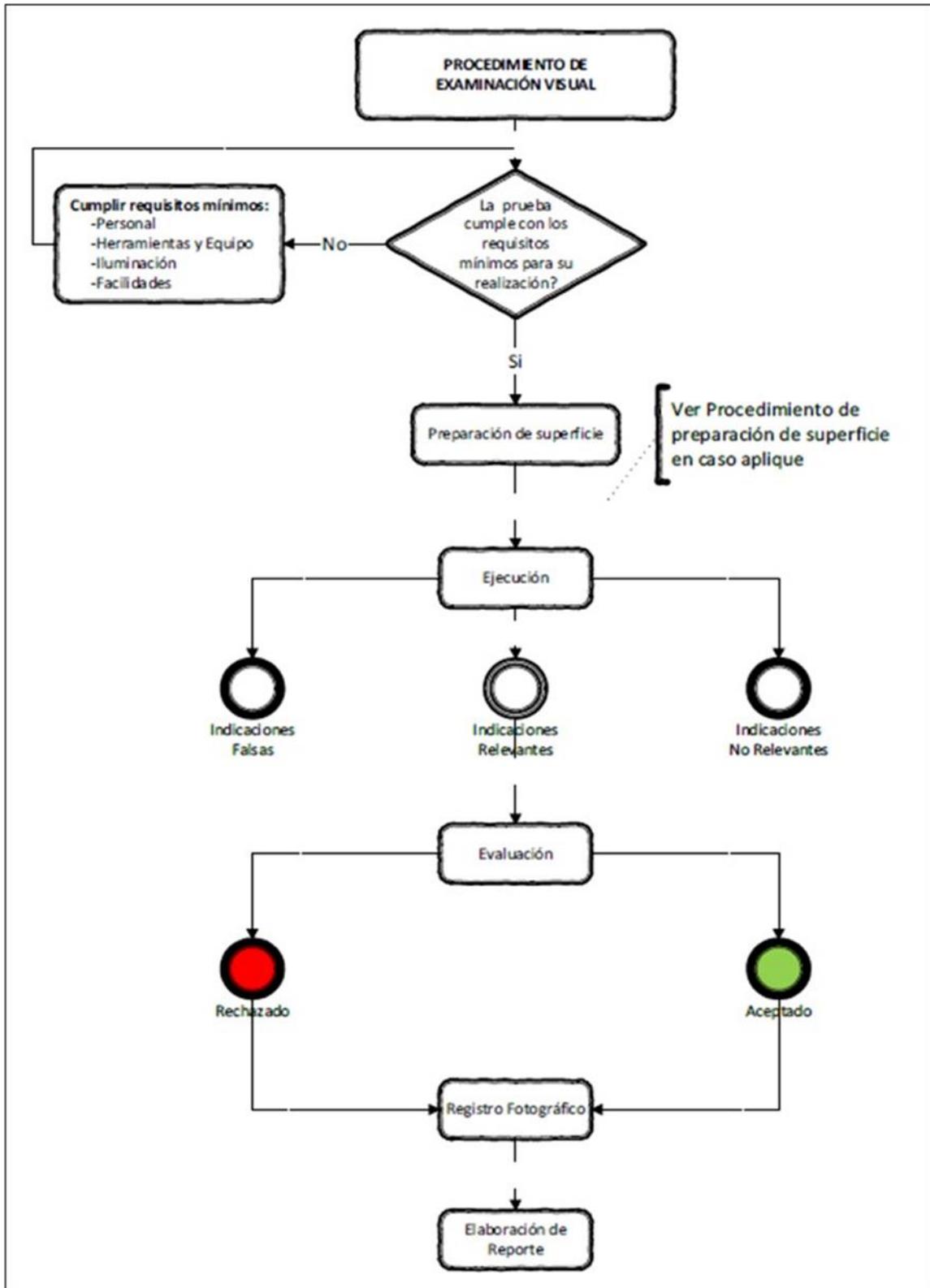
- El siguiente paso es la selección de los ensayos destructivo y no destructivos a realizar en la inspección de los módulos del caldero, dado que se cuenta con información de las fallas anteriores se eligió los ensayos adecuados para la detección de los mismos, los cuales son los siguientes:
 - Inspección visual.
 - Ensayo de dureza.
 - Replicas metalográficas.
 - Medición de espesores.
 - Ultrasonido angular.
 - Radiografía.
- El último paso de la primera etapa es la selección del personal con certificación en cada uno de los ensayos seleccionados y cumplir con los establecido según normas y estándares internacionales.

Etapas II: Ejecución del proyecto.

En esta etapa se inicia con la inspección de los módulos.

- El primer paso es realizar el traslado de los módulos a una zona liberada para poder evitar cualquier condición de peligro.
- **Inspección visual.** Ademsac cuenta con el procedimiento (AD-END-001) de examinación la cual nos brinda los lineamientos necesarios para una inspección visual directa o remota, todos los examinadores de Ademsac tendrán que cumplir con el diagrama de flujo establecido (figura 84).

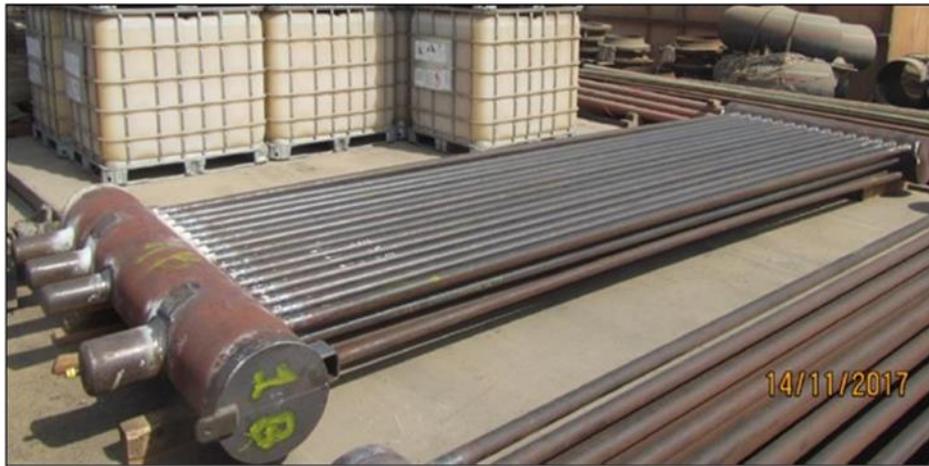
Figura 3.3: Diagrama de flujo de la inspección visual



Fuente: Ademinsac (Procedimiento AD-END-001)

- Preparación de superficie. Dado que la limpieza del equipo o parte a inspeccionar es lo más importante para una adecuada examinación visual, efectuamos la limpieza mecánica o química de los 4 módulos del sobrecalentador para poder remover impurezas o materias extrañas que no son parte del componente a inspeccionar y evitar falsas indicaciones. En nuestro caso usamos la limpieza mecánica como preparación de la superficie usando el método de lijado, escobillado y/o esmerilado.

Figura 3.4: Módulos nuevos del sobrecalentador.



Fuente: Elaboración propia.

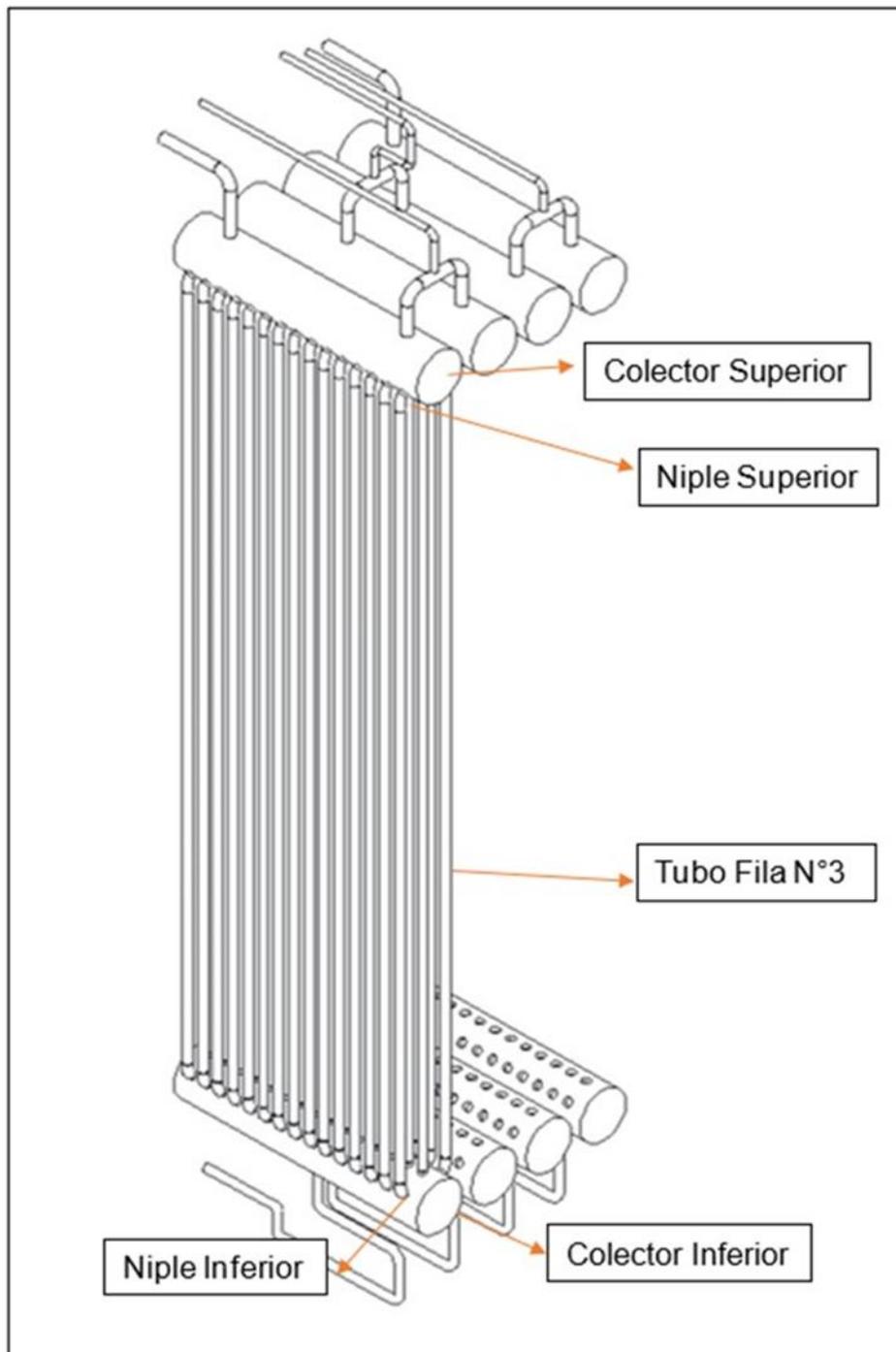
Figura 3.5: Limpieza de cordones de soldadura para la examinación visual.



Fuente: Elaboración propia.

- Posterior a la limpieza procedemos con la ejecución de la inspección visual, se examinó todas las partes de los módulos como el colector superior e inferior, niple superior e inferior y las 3 filas de tubos encontrando las siguientes indicaciones.

Figura 3.6: Esquema de los módulos del sobrecalentador.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.7: Falta de fusión en la unión del niple inferior y el tubo N°5 de la fila 3



Fuente: Elaboración Propia

Figura 3.8: Rechupe en unión del niple inferior y el tubo N°11 de la fila 3



Fuente: Elaboración Propia

Figura 3.9: Poro en unión niple superior y tubo N°7 de la fila 3

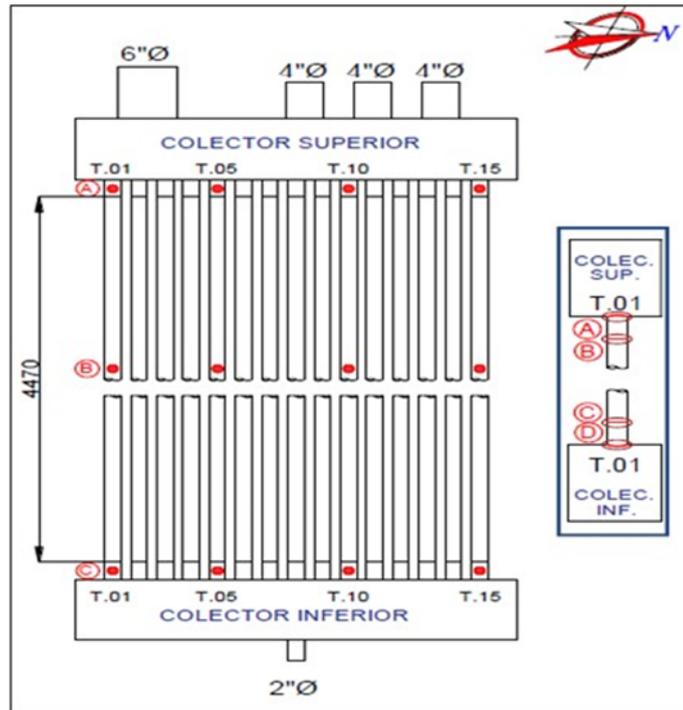


Fuente: Elaboración propia.

- Las indicaciones fueron reportadas al área de fiabilidad y mantenimiento para su reparación.
- **Ensayo de dureza.** Este ensayo es realizado mediante un durómetro portátil el cual usa el método UCI (Impedancia de control ultrasónico), este durómetro es calibrado con un patrón de referencia cada vez que se realiza un ensayo, al momento de realizar el ensayo de dureza la superficie de prueba debe ser cuidadosamente preparada para evitar cualquier alteración en la medida de la dureza, se deberá hacer la remoción de pintura incrustaciones u otros recubrimientos superficiales.

La evaluación de las durezas se realizó según el siguiente esquema.

Figura 3.10: Esquema típico de los módulos.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.1: Resultado de dureza del módulo N°1.

MÓDULO N°1				
N° TUBO	SECTOR	SECTORES MEDIDOS (HB)		
		ZAC 1	UNIÓN SOLDADA	ZAC 2
1	A	102	247	110
	B	102	229	116
	C	91	238	105
	D	137	164	99
2	A	112	174	112
	B	142	203	158
	C	111	217	108
	D	130	163	100
3	A	114	190	106
	B	107	202	150
	C	111	232	101
	D	108	167	104
4	A	160	185	164
	B	121	223	148
	C	118	228	122
	D	111	149	108

5	A	117	165	118
	B	101	214	114
	C	118	248	103
	D	108	154	104
6	A	111	140	125
	B	132	210	111
	C	126	235	120
	D	112	161	103
7	A	125	141	146
	B	129	214	136
	C	129	212	107
	D	106	157	118
8	A	116	189	132
	B	101	224	148
	C	117	230	93
	D	102	153	117
9	A	131	170	119
	B	109	233	131
	C	156	230	103
	D	101	177	114
10	A	117	150	105
	B	108	214	121
	C	127	223	117
	D	110	142	113
11	A	106	183	137
	B	112	231	149
	C	118	222	95
	D	112	189	114
12	A	125	187	114
	B	102	196	132
	C	137	228	112
	D	104	123	117
13	A	107	142	106
	B	93	183	107
	C	106	240	133
	D	90	140	112
14	A	121	172	128
	B	103	196	111
	C	124	224	100
	D	95	116	90
15	A	114	144	118
	B	95	154	118
	C	117	236	97
	D	94	150	125

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.2: Resultado de dureza del módulo N°2.

MÓDULO N°2				
N° TUBO	SECTOR	SECTORES MEDIDOS (HB)		
		ZAC 1	UNIÓN SOLDADA	ZAC 2
1	A	152	171	155
	B	146	176	157
	C	164	173	139
	D	163	187	159
10	A	149	172	153
	B	138	187	142
	C	150	176	146
	D	166	182	168
15	A	145	183	157
	B	148	176	139
	C	131	177	138
	D	142	184	168

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.3: Resultado de dureza del módulo N°3

MÓDULO N°3				
N° TUBO	SECTOR	SECTORES MEDIDOS (HB)		
		ZAC 1	UNIÓN SOLDADA	ZAC 2
1	A	138	177	150
	B	131	192	147
	C	139	182	155
	D	127	175	150
10	A	137	175	152
	B	133	187	147
	C	131	166	156
	D	136	188	156
15	A	140	165	152
	B	152	183	136
	C	130	178	175
	D	134	188	124

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.4: Resultado de dureza del módulo N°4

MÓDULO N°4				
N° TUBO	SECTOR	SECTORES MEDIDOS (HB)		
		ZAC 1	UNIÓN SOLDADA	ZAC 2
1	A	140	176	150
	B	143	169	145
	C	136	181	158
	D	152	190	140
10	A	135	171	128
	B	152	180	137
	C	137	171	164
	D	134	189	143
15	A	130	162	133
	B	126	148	122
	C	152	172	163
	D	164	189	156

Fuente: Elaboración Propia.

- **Ensayo de réplicas metalográficas.** El ensayo de replicas se efectuó solo al primer módulo el cual recibe el impacto directo de los gases del proceso a altas temperaturas. Se seleccionaron 12 zonas para realizar el ensayo de réplicas metalográficas las cuales fueron 4 niples, 4 tubos y 4 zonas del colector, pertenecientes a la fila N°1 y 3.
 - El primer paso fue realizar el pulido de las zonas seleccionadas, este pulido se realizó mediante lijas de 100, 200, 400 y 600, luego se realiza el pulido con paños de alúmina hasta lograr un acabado tipo espejo.

Figura 3.11: Preparación de superficie del niple y tubo del módulo 1.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.12: Acabado tipo espejo.



Fuente: Elaboración propia.

- El segundo paso es realizar el ataque químico a la superficie en el acabado tipo espejo usando nital al 5%, se aplica 4 a 5 gotas en la superficie durante un tiempo de 30 a 40 segundos luego se aplica alcohol para poder pasivar la superficie, luego se procede a aplicar acetona en el film de acetato de celulosa y colocar sobre la zona a evaluar durante unos 40 a 60 segundos, luego el film es retirado de la muestra y enviado a laboratorio para su análisis.

Figura 3.13: Aplicación de la película de acetato de celulosa.



Fuente: Elaboración Propia.

- **Medición de espesores.** Al igual que la inspección visual Ademinsac cuenta con un procedimiento de examinación de ultrasonido de haz recto (AD-END-004) el cual nos brinda los lineamientos necesarios para una adecuada inspección, todos los examinadores de Ademinsac tendrán que cumplir con el diagrama de flujo establecido (figura 3.14).
 - El primer punto a considerar en la medición de espesores es que la superficie a examinar deber ser uniforme y libre de elementos extraños que puedan interferir con la inspección, principalmente óxido, polvo, grasa, escoria, etc.
 - El segundo paso es instalar el transductor en el equipo de ultrasonido y ajustar la velocidad del material a examinar de acuerdo con la tabla 9.
 - Posteriormente se procede con la calibración del equipo usan 2 puntos de referencia de patrón tipo escalera (se recomienda usar los peldaños de la

escalera que sean inmediatamente superiores e inferiores al espesor deseado).

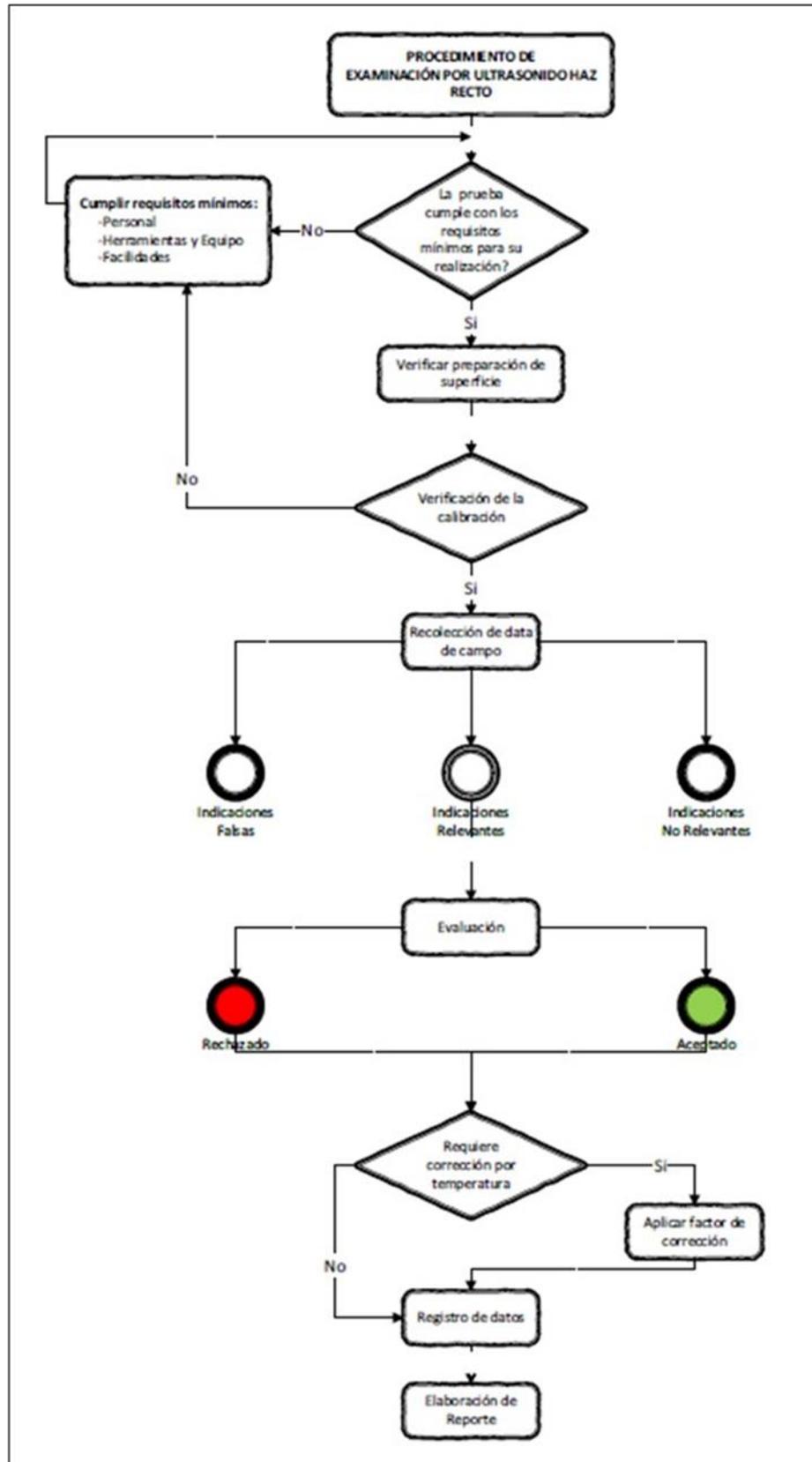
- Identificar los puntos a realizar la medición por ultrasonido, en caso de realizarse un barrido lineal la velocidad del desplazamiento no deberá exceder 6 in / seg (15 cm / seg).

Tabla 3.5: velocidad acústica en materiales de ingeniería

Material	Densidad Kg/m ³	Velocidad Longitudinal		Velocidad de corte	
		(m/s)	x10 ³ (in/s)	(m/s)	x10 ³ (in/s)
Aluminio	2700	6300	250	3130	124
Berilio	1850	12400	488	8650	340
Bismuto	9800	2180	85	1100	43
Latón	8100	4370	173	2100	83
Bronce	8860	3530	139	2230	88
Cadmio	8600	2780	109	1500	59
Columbio	8580	4950	194	2180	85
Cobre	8900	4700	185	2260	88
oro	19300	3240	127	1200	47
hafnio	11300	3860	152	2180	82
inconel	8250	5720	225	3020	119
hierro, electrolítico	7900	5960	235	3220	128
hierro fundido	7200	3500 a 5600	138 a 222	2200 a 3200	87 a 131
plomo	11400	2160	85	700	27
plomo antimonio	10900	2160	85	810	32
magnesio	1740	5740	227	3080	122
monel	8830	6020	237	2720	107
níquel	8800	5630	222	2960	118
plástico (resina acrílica)	1180	2670	105	1120	44
platino	21450	3960	155	1670	65
cuarzo fundido	2200	5930	233	3750	148
plata	10500	3600	141	1590	62
níquel plateado	8750	4620	182	2320	91
acero inoxidable (347)	7910	5790	226	3100	122
acero inoxidable (410)	7670	5900	132	3300	130
acero	7700	5900	132	3230	127
estaño	7300	3320	130	1670	65
titanio	4540	6240	245	3215	126
tungsteno	19100	5460	214	2620	103
uranio	18700	3370	133	1930	76
zinc	7100	4170	164	2410	94
circonio	6490	4310	169	1960	77

Fuente: ASTM E494-20

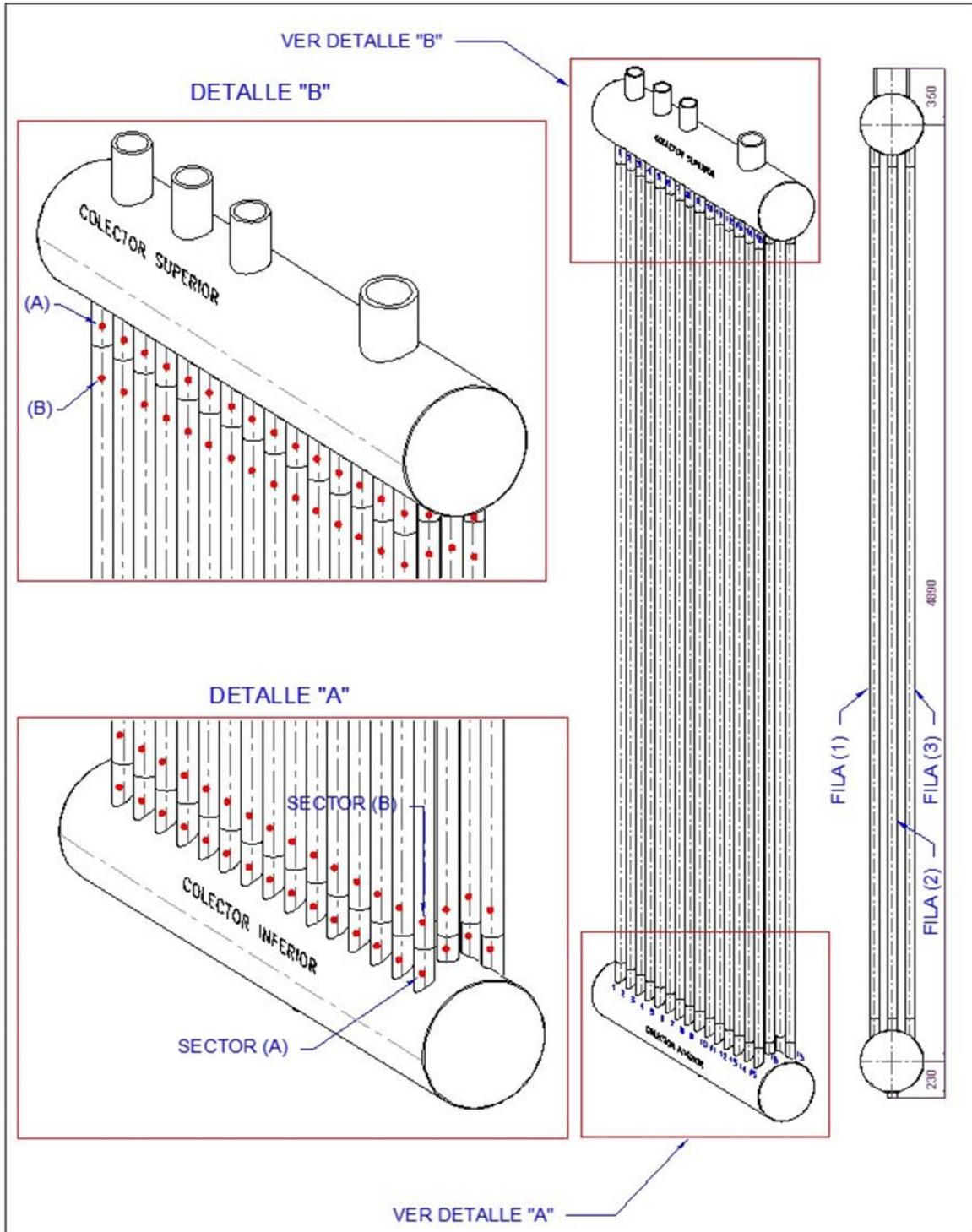
Figura 3.14: Diagrama de flujo de examinación de ultrasonido de haz recto.



Fuente: Ademinsac (Procedimiento AD-END-004)

- Las dimensiones de las zonas examinadas son niple (Ø 50.8 mm ,4.5mm espesor), tubo (Ø 50.8 mm, 3.6mm espesor), la medición de los espesores se realizó según el siguiente esquema.

Figura 3.15: Esquema de zona de medición de espesores



Fuente: Elaboración propia.

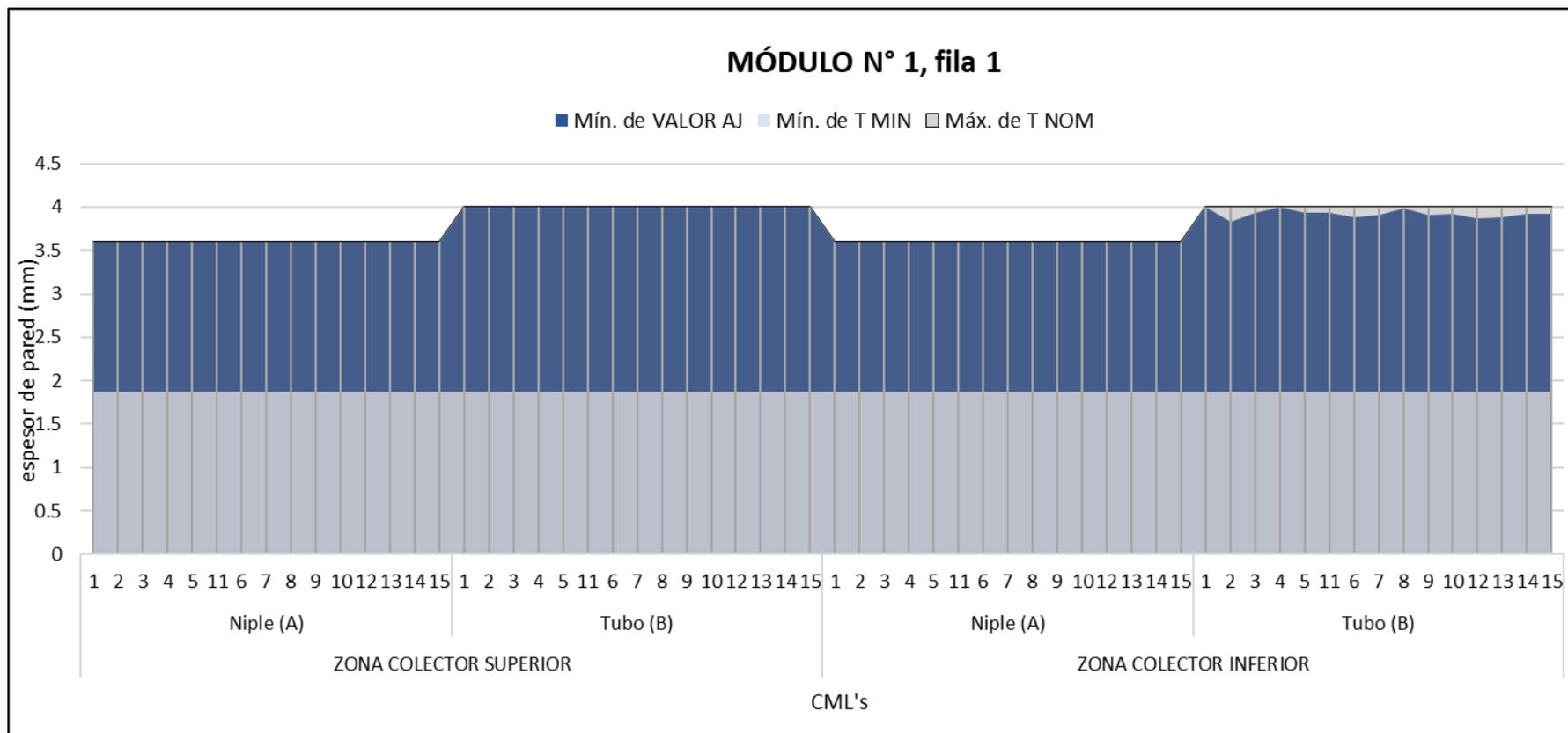
- Se obtuvieron los siguientes valores en la medición de espesores.

Tabla 3.6: Espesores módulo N°1, fila 1.

Módulo N° 01, Fila 1					
COLECTOR SUPERIOR					
N° Tubo	Ø (mm)	Espesor Nominal	Material	SECTOR MEDIDO	
				Niple (A)	Tubo (B)
1	50.8	Niple 3.6 mm Tubo 4.00 mm	Tubo A213M T22	4.14	4.00
2				3.87	4.28
3				4.01	4.54
4				4.04	4.42
5				3.97	4.25
6				4.00	4.36
7				3.97	4.47
8				3.97	4.02
9				3.93	4.54
10				3.97	4.65
11				3.96	4.51
12				3.93	4.45
13				3.97	4.41
14				3.99	4.21
15				3.93	4.06
COLECTOR INFERIOR					
N° Tubo	Ø (mm)	Espesor Nominal	Material	SECTOR MEDIDO	
				Niple (A)	Tubo (B)
1	50.8	Niple 3.6 mm Tubo 4.00 mm	Tubo A213M T22	4.01	4.00
2				3.99	3.83
3				4.03	3.94
4				4.03	4.04
5				4.03	3.94
6				4.04	3.88
7				3.99	3.91
8				3.96	3.99
9				3.99	3.91
10				4.06	3.92
11				4.00	3.94
12				3.77	3.87
13				3.91	3.88
14				3.98	3.92
15				3.84	3.92

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.16: Gráfico resumen de espesores módulo N°1, fila 1.



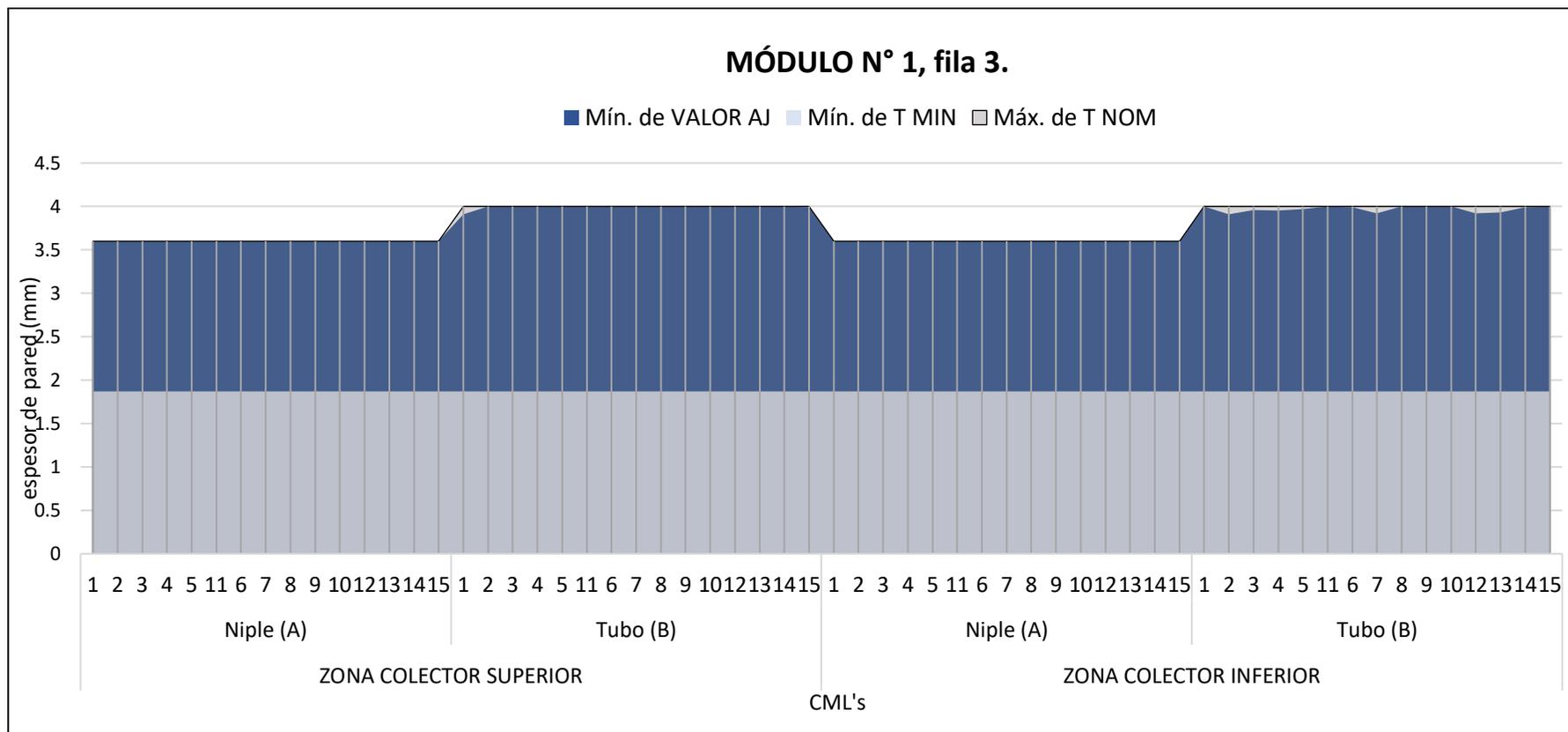
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.7: Espesores módulo N°1, fila 3.

Módulo N° 01, Fila 3					
COLECTOR SUPERIOR					
N° Tubo	Ø (mm)	Espesor Nominal	Material	SECTOR MEDIDO	
				Niple (A)	Tubo (B)
1	50.8	Niple 3.6 mm Tubo 4.00 mm	Tubo A213M T22	3.86	3.91
2				3.91	4.62
3				3.99	4.32
4				3.94	4.28
5				3.88	4.44
6				4.01	4.17
7				3.92	4.39
8				3.84	4.02
9				3.89	4.12
10				3.99	4.35
11				3.96	4.38
12				3.95	4.67
13				3.86	4.48
14				3.87	4.32
15				3.90	3.99
COLECTOR INFERIOR					
N° Tubo	Ø (mm)	Espesor Nominal	Material	SECTOR MEDIDO	
				Niple (A)	Tubo (B)
1	50.8	Niple 3.6 mm Tubo 4.00 mm	Tubo A213M T22	3.83	4.01
2				3.80	3.91
3				3.89	3.96
4				3.81	3.95
5				3.95	3.97
6				4.00	3.99
7				3.95	3.92
8				3.95	4.05
9				3.97	4.01
10				4.05	4.03
11				4.01	4.00
12				3.89	3.92
13				3.85	3.93
14				3.80	3.99
15				3.88	4.00

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.17: Gráfico resumen de espesores módulo N°1, fila 3.



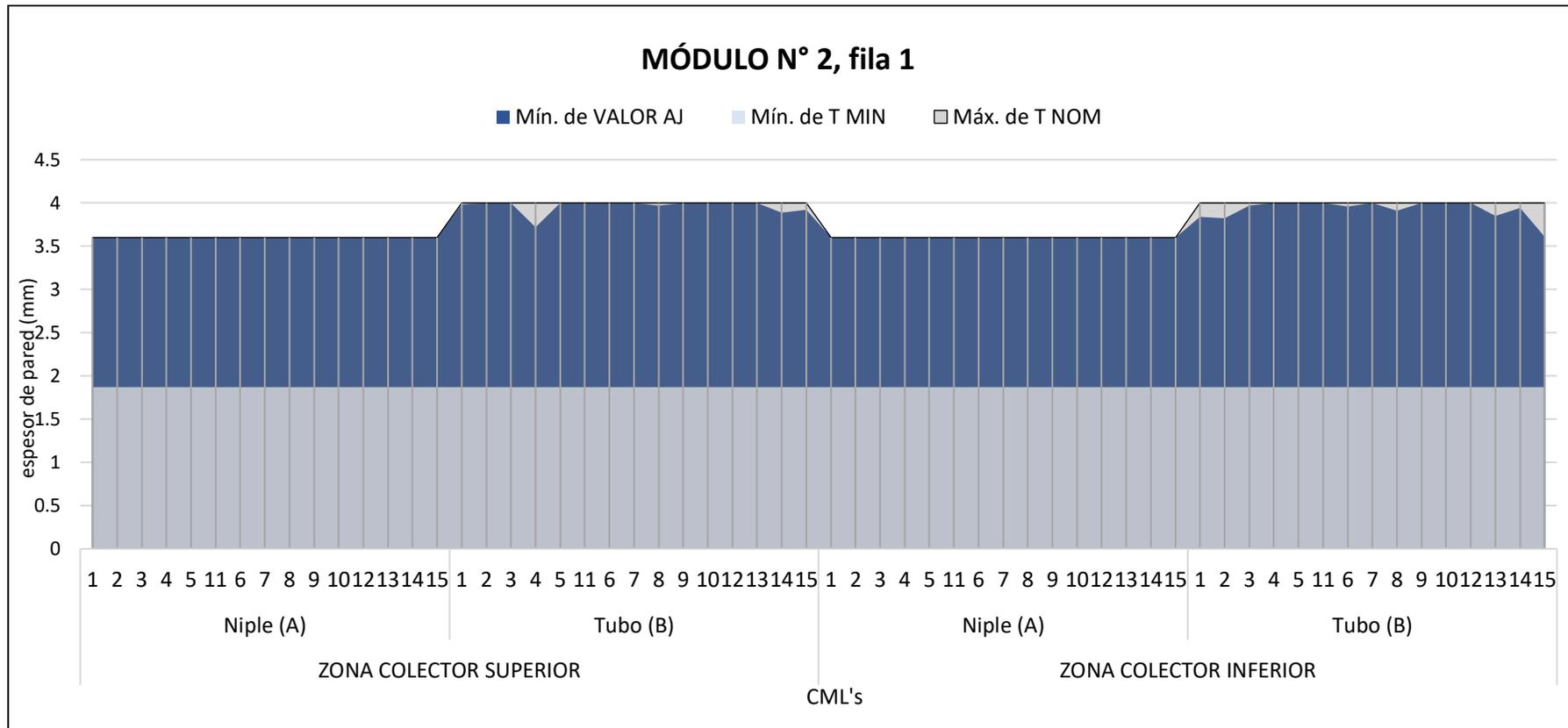
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.8: Espesores módulo N°2, fila 1.

Módulo N° 02, fila 1					
COLECTOR SUPERIOR					
N° Tubo	∅ (mm)	Espesor Nominal	Material	SECTOR MEDIDO	
				Niple (A)	Tubo (B)
1	50.8	Niple 3.6 mm Tubo 4.00 mm	Tubo A213M T22	4.91	3.98
2				4.22	4.03
3				4.32	4.07
4				4.31	3.72
5				4.26	4.03
6				4.21	4.07
7				4.33	4.07
8				4.35	3.97
9				4.43	4.01
10				4.29	4.16
11				4.31	4.03
12				4.33	4.11
13				4.26	4.15
14				4.56	3.89
15				4.35	3.92
COLECTOR INFERIOR					
N° Tubo	∅ (mm)	Espesor Nominal	Material	SECTOR MEDIDO	
				Niple (A)	Tubo (B)
1	50.8	Niple 3.6 mm Tubo 4.00 mm	Tubo A213M T22	4.10	3.84
2				4.21	3.82
3				4.38	3.97
4				4.22	4.13
5				4.51	4.05
6				4.34	3.96
7				4.59	4.22
8				4.46	3.91
9				4.39	4.15
10				4.34	4.42
11				4.42	4.12
12				4.45	4.19
13				4.39	3.85
14				4.42	3.94
15				4.13	3.61

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.18: Gráfico resumen de espesores módulo N°2, fila 1.



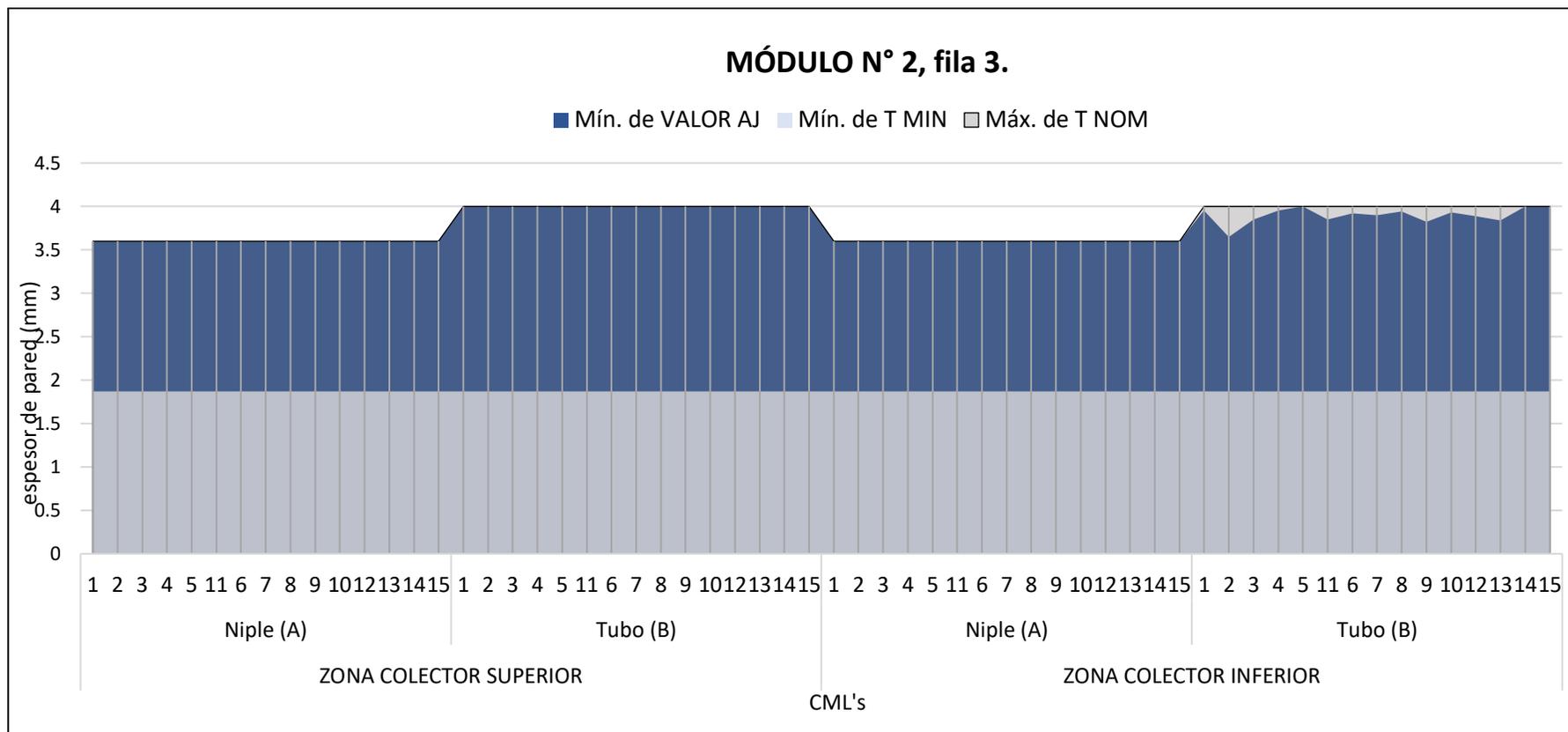
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.9: Espesores módulo N°2, fila 3.

Módulo N° 02, fila 3					
COLECTOR SUPERIOR					
N° Tubo	∅ (mm)	Espesor Nominal	Material	SECTOR MEDIDO	
				Niple (A)	Tubo (B)
1	50.8	Niple 3.6 mm Tubo 4.00 mm	Tubo A213M T22	4.40	4.32
2				4.58	4.36
3				4.60	4.32
4				4.52	4.00
5				4.28	4.11
6				4.25	4.10
7				4.10	4.22
8				4.62	4.18
9				4.55	4.02
10				4.22	4.20
11				4.40	4.00
12				4.21	4.20
13				4.28	4.20
14				4.30	4.22
15				4.33	4.01
COLECTOR INFERIOR					
N° Tubo	∅ (mm)	Espesor Nominal	Material	SECTOR MEDIDO	
				Niple (A)	Tubo (B)
1	50.8	Niple 3.6 mm Tubo 4.00 mm	Tubo A213M T22	4.10	3.95
2				4.00	3.65
3				4.00	3.85
4				4.02	3.95
5				3.90	4.10
6				3.90	3.92
7				3.91	3.90
8				4.10	3.94
9				3.81	3.82
10				4.02	3.93
11				3.94	3.85
12				3.73	3.89
13				3.89	3.84
14				3.83	4.02
15				3.95	4.00

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.19: Gráfico resumen de espesores módulo N°2, fila 3.



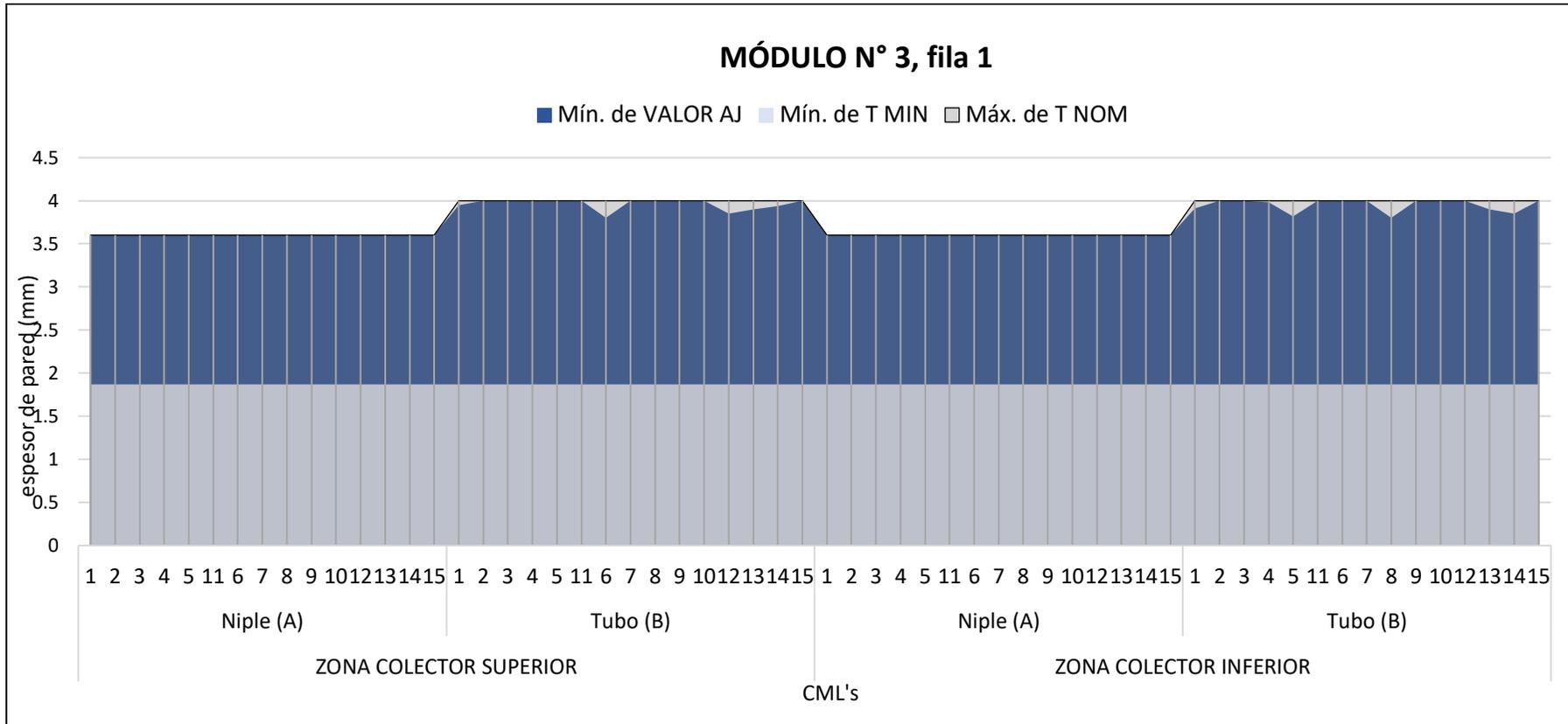
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.10: Espesores módulo N°3, fila 1.

Módulo N° 03, Fila 1					
COLECTOR SUPERIOR					
Nº Tubo	∅ (mm)	Espesor Nominal	Material	SECTOR MEDIDO	
				Niple (A)	Tubo (B)
1	50.8	Niple 3.6 mm Tubo 4.00 mm	Tubo A213M T22	4.15	3.95
2				4.26	4.02
3				4.29	4.00
4				4.30	4.21
5				4.22	4.22
6				4.27	3.80
7				4.53	4.50
8				4.20	4.02
9				4.20	4.06
10				4.11	4.02
11				4.20	4.40
12				4.02	3.85
13				4.10	3.90
14				4.25	3.94
15				4.20	4.01
COLECTOR INFERIOR					
Nº Tubo	∅ (mm)	Espesor Nominal	Material	SECTOR MEDIDO	
				Niple (A)	Tubo (B)
1	50.8	Niple 3.6 mm Tubo 4.00 mm	Tubo A213M T22	3.94	3.91
2				4.00	4.05
3				4.02	4.01
4				4.29	3.98
5				4.18	3.82
6				3.92	4.01
7				3.82	4.11
8				3.86	3.80
9				4.00	4.04
10				4.01	4.15
11				4.11	4.92
12				4.30	4.23
13				4.01	3.90
14				4.20	3.85
15				4.02	4.00

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.20: Gráfico de espesores módulo N°3, fila 1.



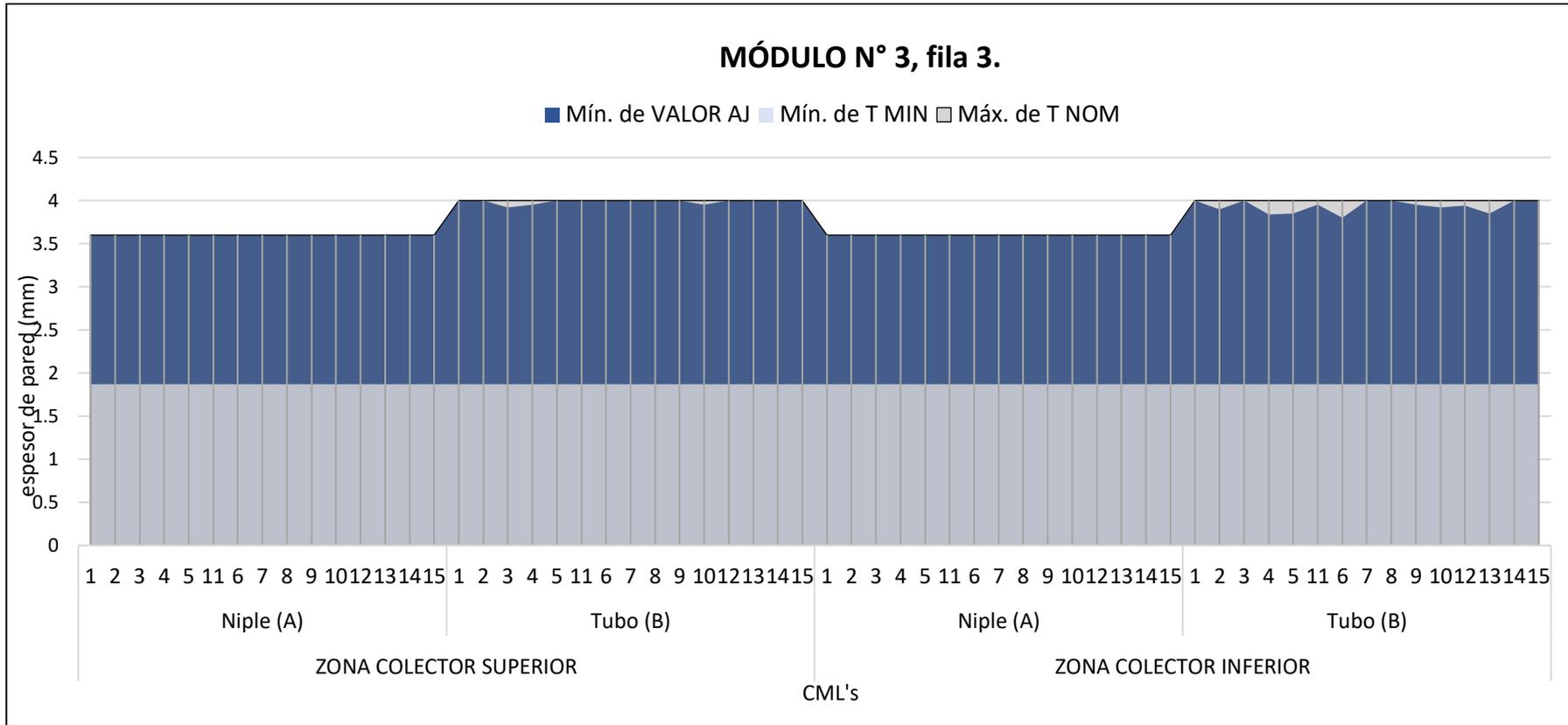
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.11: Espesores módulo N°3, fila 3.

Módulo N° 03, Fila 3					
COLECTOR SUPERIOR					
N° Tubo	∅ (mm)	Espesor Nominal	Material	SECTOR MEDIDO	
				Niple (A)	Tubo (B)
1	50.8	Niple 3.6 mm Tubo 4.00 mm	Tubo A213M T22	4.50	4.30
2				4.21	4.01
3				4.30	3.92
4				4.11	3.95
5				4.60	4.12
6				4.40	4.32
7				4.30	4.19
8				4.40	4.22
9				4.02	4.12
10				4.01	3.95
11				4.20	4.01
12				4.41	4.18
13				4.21	4.00
14				4.51	4.00
15				4.31	4.00
COLECTOR INFERIOR					
N° Tubo	∅ (mm)	Espesor Nominal	Material	SECTOR MEDIDO	
				Niple (A)	Tubo (B)
1	50.8	Niple 3.6 mm Tubo 4.00 mm	Tubo A213M T22	4.00	4.31
2				3.95	3.90
3				4.22	4.01
4				4.18	3.84
5				4.01	3.85
6				4.00	3.80
7				4.16	4.06
8				4.09	4.03
9				4.00	3.95
10				3.94	3.92
11				4.00	3.95
12				4.13	3.94
13				4.02	3.85
14				4.00	4.02
15				4.01	4.03

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.21: Gráfico de espesores módulo N°3, fila 3.



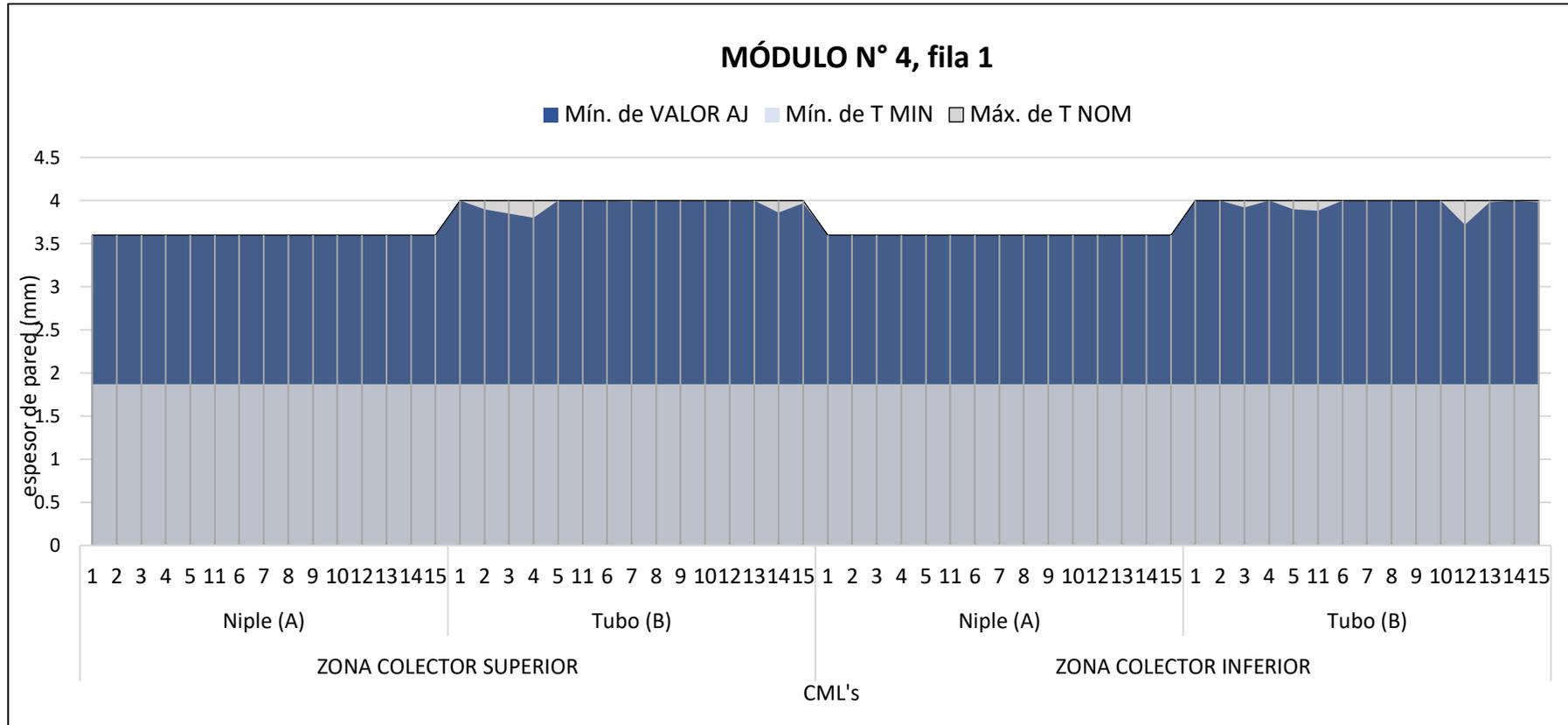
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.12: Espesores módulo N°4, fila 1.

Módulo N° 04, Fila 1					
COLECTOR SUPERIOR					
Nº Tubo	∅ (mm)	Espesor Nominal	Material	SECTOR MEDIDO	
				Niple (A)	Tubo (B)
1	50.8	Niple 3.6 mm Tubo 4.00 mm	Tubo A213M T22	4.20	4.01
2				4.18	3.90
3				4.21	3.85
4				4.40	3.80
5				4.32	4.10
6				4.21	4.10
7				4.30	3.99
8				4.40	4.09
9				4.30	4.22
10				4.09	4.11
11				4.28	4.20
12				4.40	4.09
13				4.45	4.10
14				4.38	3.86
15				4.11	3.97
COLECTOR INFERIOR					
Nº Tubo	∅ (mm)	Espesor Nominal	Material	SECTOR MEDIDO	
				Niple (A)	Tubo (B)
1	50.8	Niple 3.6 mm Tubo 4.00 mm	Tubo A213M T22	3.81	4.10
2				3.79	4.00
3				4.11	3.92
4				3.82	4.00
5				3.92	3.90
6				4.02	4.00
7				4.03	4.00
8				4.06	4.12
9				3.95	4.20
10				3.89	4.02
11				4.05	3.88
12				3.90	3.72
13				3.95	3.98
14				4.18	4.07
15				4.00	3.98

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.22: Gráfica de espesores módulo N°4, fila 1.



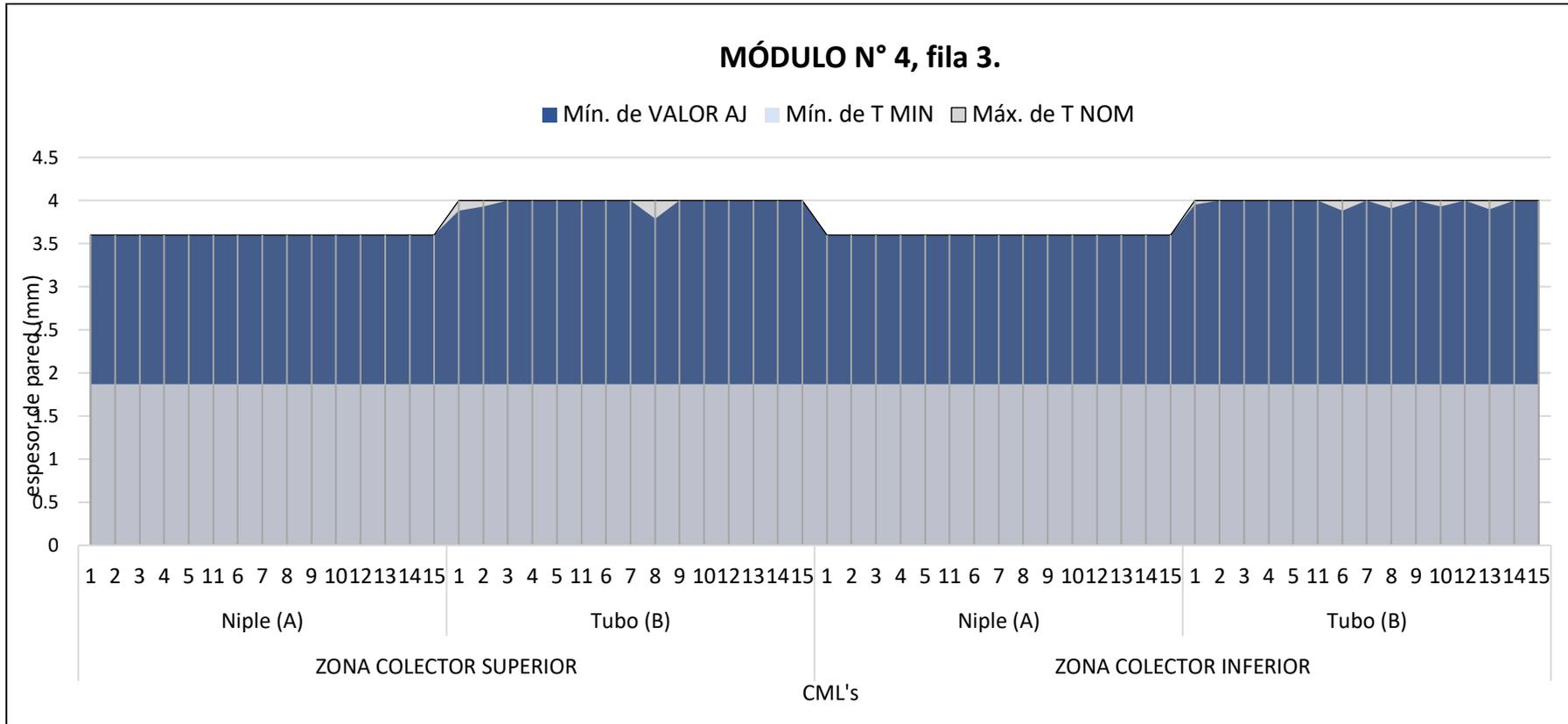
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.13: Medición de espesores módulo N°4, fila 3.

Módulo N° 04, Fila 3					
COLECTOR SUPERIOR					
N° Tubo	∅ (mm)	Espesor Nominal	Material	SECTOR MEDIDO	
				Niple (A)	Tubo (B)
1	50.8	Niple 3.6 mm Tubo 4.00 mm	Tubo A213M T22	4.52	3.88
2				4.49	3.93
3				4.39	4.28
4				4.79	4.28
5				4.60	4.26
6				4.52	4.10
7				4.22	4.23
8				4.68	3.79
9				4.59	4.19
10				4.83	4.10
11				4.59	4.05
12				4.40	4.06
13				4.69	4.00
14				4.60	4.01
15				4.53	4.08
COLECTOR INFERIOR					
N° Tubo	∅ (mm)	Espesor Nominal	Material	SECTOR MEDIDO	
				Niple (A)	Tubo (B)
1	50.8	Niple 3.6 mm Tubo 4.00 mm	Tubo A213M T22	4.12	3.95
2				4.45	4.23
3				3.94	4.29
4				4.07	4.14
5				4.07	4.25
6				4.42	3.88
7				4.16	4.09
8				4.15	3.91
9				4.21	4.02
10				4.29	3.93
11				4.05	4.11
12				4.18	4.04
13				4.20	3.90
14				4.14	4.24
15				4.20	4.03

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.23: Gráfico de espesores módulo N°4, fila 3.



Fuente: Elaboración propia.

- **Ultrasonido de haz angular.** Este ensayo es importante ya que se inspeccionarán las juntas que no pueden ser calificadas por el método de radiografía, estas juntas son de unión entre el niple y el colector.
 - El primer paso es realizar la limpieza de la superficie a examinar, retirando pintura adherida, cuerpos extraños e irregularidades superficiales, que puedan interferir con la inspección como el óxido, grasa, escoria, etc.
 - El segundo paso es instalar el transductor con su zapara respectiva y setear la velocidad transversal del material a examinar, así como su frecuencia, posteriormente se realiza la calibración del equipo en nuestro caso el equipo SIUI modelo CTS.9006 y se verifica que la curva DAC (Corrección de Amplitud-Distancia) se dibuje con al menos 3 puntos.
 - Identificar los puntos a realizar la medición por ultrasonido, dentro del elemento metálico a inspeccionar, es importante mantener la distribución de los puntos a fin de poder realizar una correcta evaluación y estimación probabilística.

Tabla 3.14: Resultados de la inspección por ultrasonido de haz angular.

RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN MÓDULO N°1, 2, 3, 4.									
N° de tubo	Sector	Máximo DAC, %	DIMENSIONES DISCONTINUIDADES (mm)				Angulo del haz UT	Apro. Final	Comentarios
			LOC. (X)	Altura Longitud	POS. (Y)	Profundidad			
TUBO N° 1	A/B	--	---	--	--	--	70°	APROBADO	---
TUBO N° 2	A/B	--	---	--	--	--	70°	APROBADO	---
TUBO N° 3	A/B	--	--	--	--	--	70°	APROBADO	---
TUBO N° 4	A/B	--	--	--	--	--	70°	APROBADO	---
TUBO N° 5	A/B	--	--	--	--	--	70°	APROBADO	---
TUBO N° 6	A/B	--	--	--	--	--	70°	APROBADO	--
TUBO N° 7	A/B	--	--	--	--	--	70°	APROBADO	---
TUBO N° 8	A/B	--	--	--	--	--	70°	APROBADO	---
TUBO N° 9	A/B	--	--	--	--	--	70°	APROBADO	---
TUBO N° 10	A/B	--	--	--	--	--	70°	APROBADO	---
TUBO N° 11	A/B	--	--	--	--	--	70°	APROBADO	---
TUBO N° 12	A/B	--	--	--	--	--	70°	APROBADO	---
TUBO N° 13	A/B	--	--	--	--	--	70°	APROBADO	---
TUBO N° 14	A/B	--	--	--	--	--	70°	APROBADO	---
TUBO N° 15	A/B	--	--	--	--	--	70°	APROBADO	---

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Se realizó la examinación solo en las zonas con acceso, en un 30 % del perímetro de la tubería.

- **Radiografía Industrial.** El ensayo de radiografía es el último de los ensayos de inspección debido que para su aplicación se necesita que el área este libre y limitar el acceso solo al personal que realizara la inspección radiográfica.
 - El primer paso es realizar el cálculo del tiempo de exposición de la fuente radioactiva, teniendo en consideración los siguientes datos: niple (Ø 2" ,4.5mm espesor), tubo (Ø 2" , 3.6mm espesor), tipo de película radiográfica D5 de la marca AGFA y la distancia de la fuente a la película será de 34 cm.

$$T_{expos} = \frac{(D_{ext})^2 * F_{abs} * F_{pel}}{Actividad * 1000}$$

Dext= 34 cm.

Fabs= 4.7.

Fpel= 9.5

Actividad de la fuente= 18 Ci

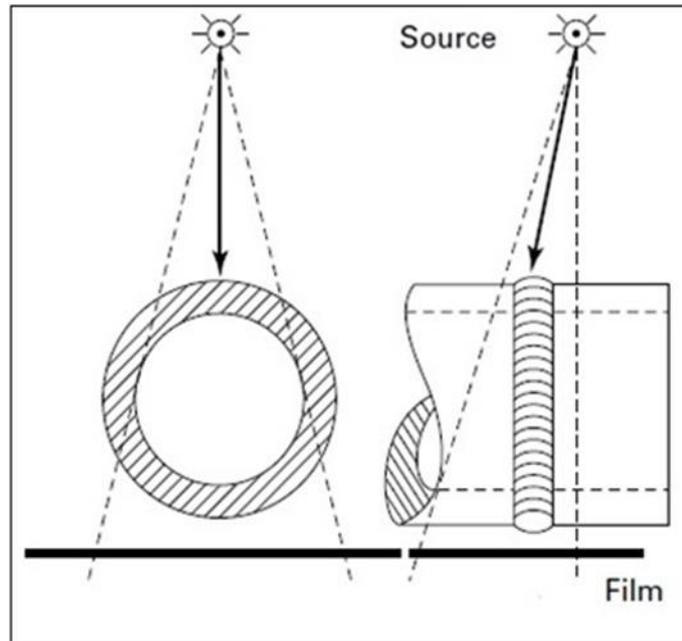
Reemplazando los datos en la formula.

$$T_{expos} = \frac{(34)^2 * 4.7 * 9.5}{18 * 1000}$$

$$T_{expos} = 2 \text{ min}, 52 \text{ seg.}$$

- Posterior al cálculo se procede con el corte de las placas que por ser un diámetro de 2" la medida de la placa es de 180 mm.
- Luego se realiza el traslado del contenedor a la zona de exposición y se procede con la instalación de la placa radiográfica según el siguiente esquema.

Figura 3.24: Esquema de posición de toma de placa radiográfica.



Fuente: Asme sección V, 2019.

- Las zonas inspeccionadas por el ensayo de radiografía fueron los cordones de soldadura entre la tubería y los niples, como se muestra en la figura 104.
- Una vez terminado con el proceso de ejecución de la exposición se procede con el proceso de revelado, este proceso se realiza en el cuarto oscuro, este proceso consiste en el humectado de la placa luego se procede al revelado mediante un líquido que contiene principalmente hidroquinona el cual produce los colores negros lentamente y la fenidona la cual produce los colores grises rápidamente, posterior al revelado se realiza el proceso de fijado el cual consiste en la aplicación de un fijador que detiene la acción del líquido revelador, el líquido fijador posee principalmente ácido acético, tiosulfato de amonio (elimina los cristales no expuestos) y el alumbre de potasio (endurece la emulsión), luego se procede con el lavado la placa mediante el uso de agua hasta remover los químicos residuales de la emulsión y por último paso es el proceso de secado que se realiza mediante la aplicación de aire caliente seco sobre la placa.

Figura 3.25: Poros agrupados en unión niple-tubo colector inferior del módulo N°2.



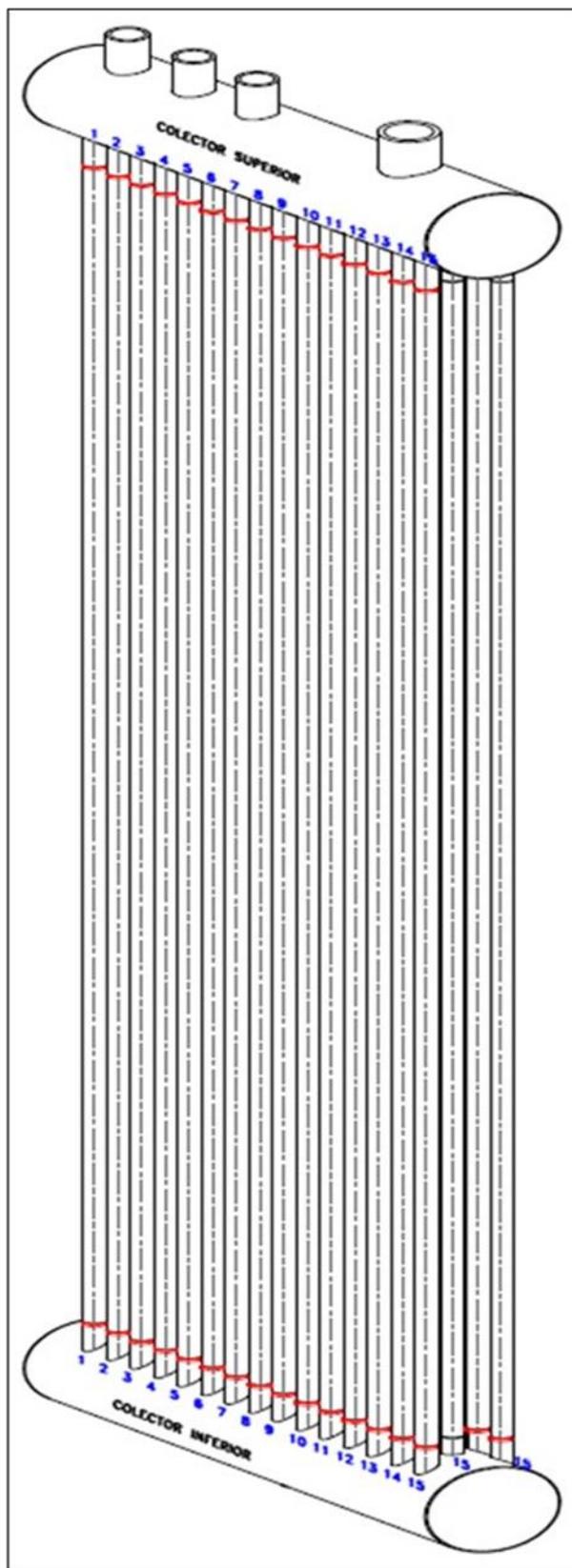
Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.26: Poros agrupados en unión niple-tubo colector inferior del módulo N°1.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.27: Esquema de zonas examinadas por radiografía industrial.



Fuente: Elaboración propia.

3.2 Evaluación técnica económica.

El costo de realizar los ensayos para el control de calidad de los módulos del sobrecalentador son mucho menores en comparación a la pérdida que se tiene cuando hay un paro de emergencia de la planta por algún tubo roto.

La refinería la pampilla luego de su ampliación con el proyecto RLP-21 en agosto del 2016, incremento su capacidad de refinación de crudo de 102 a 117 miles de barriles por día (MBP), la cual es el 55% de la capacidad total del Perú. (APOYO & ASOCIADOS, 2021)

Tabla 3.15: Capacidad instalada.

Unidad de Proceso	MBD
Destilación Primaria	117
Destilación al Vacío	60
FCC	13.5
Reforming	2.3
Visbreaking	27

Fuente: Relapa.

El “ORGANISMO SUPERVISOR DE LA INVERSIÓN EN ENERGÍA Y MINERÍA” (OSINERGMIN), establece un precio promedio del crudo de 62.32 US\$/BI.

Cada vez que se realiza el paro de emergencia del caldero de recuperación de calor se para la unidad de FCC y este paro tiene un promedio de 7 a 8 días, por lo cual el estimado de pérdida en producción por un paro de emergencia es un promedio de 5'889,240 US\$ por día.

Los costos generados en el control de calidad de los módulos son los siguientes.

- **Costo del ensayo de dureza.**

El precio de del ensayo de dureza es por la cantidad de puntos realizados, el cual se resume en el siguiente cuadro.

Tabla 3.16: Costo del ensayo de dureza.

Concepto	Equipo	Cantidad	P. UNITARIO S/.	Total
Ensayos de Dureza en Líneas y Equipos.	Módulo N°1	180 pts.	S/21.48	S/ 3,866.40
	Módulo N°2	36 pts.		S/ 773.28
	Módulo N°3	36 pts.		S/ 773.28
	Módulo N°4	36 pts.		S/ 773.28
Monto Total				S/ 6,186.24

Fuente: Elaboración propia.

- **Costo de del ensayo de réplicas metalográficas.**

El precio de la réplica metalográfica es por la cantidad de replicas realizadas, el resumen del costo es el siguiente.

Tabla 3.17: Costo del ensayo de réplicas metalográficas.

Concepto	Equipo	Cantidad	P. UNITARIO S/.	Total
Inspección por el método de réplicas metalográficas	Módulo N°1	12 unidades	S/399.05	S/ 4,788.60
Monto Total				S/ 4,788.60

Fuente: Elaboración propia.

- **Costo de medición de espesores.**

El precio de del ensayo de dureza es por la cantidad de puntos realizados, el cual se resume en el siguiente cuadro.

Tabla 3.18: Costo de la medición de espesores.

Concepto	Equipo	Cantidad	P. UNITARIO S/.	Total
Medición de Espesores en Líneas y Equipos	Módulo N°1	120 pts.	S/15.46	S/ 1,855.20
	Módulo N°2	120 pts.		S/ 1,855.20
	Módulo N°3	120 pts.		S/ 1,855.20
	Módulo N°4	120 pts.		S/ 1,855.20
Monto Total				S/ 7,420.80

Fuente: Elaboración propia.

- **Costo del ultrasonido de haz angular.**

El costo de ultrasonido está definido por los días de inspección realizados.

Tabla 3.19: Costo de ultrasonido de haz angular.

Concepto	Equipo	Cantidad	P. UNITARIO S/.	Total
Inspección por el método de ultrasonido de haz angular	Módulo N°1	0.5 día	S/1,429.16	S/ 714.58
	Módulo N°2	0.5 día		S/ 714.58
	Módulo N°3	0.5 día		S/ 714.58
	Módulo N°4	0.5 día		S/ 714.58
Monto Total				S/ 2,858.32

Fuente: Elaboración propia.

- **Costo de la inspección por radiografía industrial.**

El costo de la inspección por gammagrafía es por cada junta de soldadura inspeccionada, el cual se muestra en el siguiente cuadro.

Tabla 3.20: Costo de inspección por radiografía industrial.

Concepto	Equipo	Cantidad	P. UNITARIO S/.	Total
Inspección gammagráfica de tubería de 1" a 2"	Módulo N°1	60 unidades	S/49.70	S/ 2,982.00
	Módulo N°2	30 unidades		S/ 1,491.00
	Módulo N°3	30 unidades		S/ 1,491.00
	Módulo N°4	30 unidades		S/ 1,491.00
Monto Total				S/ 7,455.00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.21: Resumen de costos.

Concepto	Total
Ensayos de Dureza en Líneas y Equipos	S/ 6,186.24
Medición de Espesores en Líneas y Equipos	S/ 7,420.80
Inspección por el método de réplicas metalográficas	S/ 4,788.60
Inspección por el método de ultrasonido de haz angular	S/ 2,858.32
Inspección gammagráfica de tubería de 1" a 2"	S/ 7,455.00
Monto Total	S/ 28,708.96

Fuente: Elaboración propia.

3.3 Análisis de resultados

En este punto se muestran los resultados obtenidos de cada uno de los ensayos realizados y se analizara si los módulos del sobrecalentador de la caldera de recuperación de calor cumplen con las condiciones de aceptación según los estándares internacionales y se encuentren aptas para su montaje y puesta en servicio.

- **Resultado de durezas.**

El valor límite de la dureza del ASTM A213-T22 (2-1/4 Cr – 1 Mo) lo encontramos en la práctica recomendada API RP 577, la cual nos ayudara para el criterio de aceptación o rechazo de los módulos.

Tabla 3.22: Límites de dureza Brinell para aceros en servicios de refinado

Metal base	Valor en Brinell
Acero al carbono	200
C - 1/2 Mo	225
1-1/4 Cr - 1/2 Mo	225
2-1/4 Cr - 1 Mo	241
5, 7, 9 Cr - Mo	241
12 Cr	241

Fuente: API RP 577

1. Módulo 1: Se encontraron 2 puntos que se encuentran por encima de la dureza permisible, el primero se encuentra en el tubo N°1 en la soldadura de unión niple-colector superior y el segundo en el tubo N°5 en la soldadura de unión tubo-niple inferior, por lo cual tiene una condición de **rechazo**.
2. Módulo 2: Todos los puntos inspeccionados se encuentran por debajo del límite permitido, por lo cual tiene una condición de aceptación.
3. Módulo 3: Todos los puntos inspeccionados se encuentran por debajo del límite permitido, por lo cual tiene una condición de aceptación.
4. Módulo 4: Todos los puntos inspeccionados se encuentran por debajo del límite permitido, por lo cual tiene una condición de aceptación.

- **Resultado de réplicas metalográficas.**

La inspección por réplicas metalográficas solo se efectuó en el módulo N°1 y los resultados de laboratorio fueron las siguientes.

MODULO N°1 FILA 1

- Replica 01 – Tubo 05. - Replica 02 – Tubo 10, inspeccionados presentan los siguientes microconstituyentes:
 - ✓ Granos de ferrita equiaxial homogénea, colonias de perlita laminar y carburo esferoidal aislado en los límites de grano. Esta morfología es compatible y caracteriza al acero aleado bajo en carbono, en estado de normalizado.
 - ✓ Discontinuidad: Carburo esferoidal aislado en los límites de grano.
 - ✓ Evaluado según “Toft Marsden” la microestructura es compatible y califica como Estadio B.
- Replica 03 – Niple 05. - Replica 04 – Niple 10, inspeccionados presentan los siguientes microconstituyentes:
 - ✓ Granos de ferrita equiaxial homogénea, colonias de perlita laminar y carburo esferoidal aislado en los límites de grano. Esta morfología es compatible y caracteriza al acero aleado bajo en carbono, en estado de normalizado.
 - ✓ Discontinuidad: Carburo esferoidal aislado en los límites de grano.
 - ✓ Evaluado según “Toft Marsden” la microestructura es compatible y califica como Estadio B.
- Replica 05 – Colector 05. - Replica 06 – Colector **10**, inspeccionados presentan los siguientes microconstituyentes:
 - ✓ Granos de ferrita equiaxial heterogénea, colonias heterogéneas de perlita laminar y carburo esferoidal aislado en los límites de grano.
 - ✓ Esta morfología es compatible y caracteriza al acero aleado bajo en carbono, en estado de normalizado.
 - ✓ Discontinuidad: Colonias heterogéneas de perlita laminar y carburo esferoidal aislado en los límites de grano.

- ✓ Evaluado según “Toft Marsden” la microestructura es compatible y califica como Estadio B.

MODULO N°1 FILA 3

- Replica 01 – Tubo 05. - Replica 02 – Tubo 10, inspeccionados presentan los siguientes microconstituyentes:
 - ✓ Granos de ferrita equiaxial homogénea, colonias de perlita laminar y carburo esferoidal aislado en los límites de grano. Esta morfología es compatible y caracteriza al acero aleado bajo en carbono, en estado de normalizado.
 - ✓ Discontinuidad: Carburo esferoidal aislado en los límites de grano.
 - ✓ Evaluado según “Toft Marsden” la microestructura es compatible y califica como Estadio B.
- Replica 03 – Niple 05. - Replica 04 – Niple 10, inspeccionados presentan los siguientes microconstituyentes:
 - ✓ Granos de ferrita equiaxial homogénea, colonias de perlita laminar y carburo esferoidal aislado en los límites de grano. Esta morfología es compatible y caracteriza al acero aleado bajo en carbono, en estado de normalizado.
 - ✓ Discontinuidad: Carburo esferoidal aislado en los límites de grano.
 - ✓ Evaluado según “Toft Marsden” la microestructura es compatible y califica como Estadio B.
- Replica 05 – Colector 05. - Replica 06 – Colector 10, inspeccionados presentan los siguientes microconstituyentes:
 - ✓ Granos de ferrita equiaxial heterogénea, colonias heterogéneas de perlita laminar y carburo esferoidal aislado en los límites de grano.
 - ✓ Esta morfología es compatible y caracteriza al acero aleado bajo en carbono, en estado de normalizado.
 - ✓ Discontinuidad: Colonias heterogéneas de perlita laminar y carburo esferoidal aislado en los límites de grano.
 - ✓ Evaluado según “Toft Marsden” la microestructura es compatible y califica como Estadio B.

- **Resultado de la medición de espesores.**

El primer paso para el análisis de los espesores es calcular el espesor mínimo requerido para los tubos del caldero es calculado con la formula (1).

$$t = \frac{PD}{2SW + P} + 0.005D + e$$

Donde:

$$P = 711 \text{ psi}$$

$$S = 10,800 \text{ psi (Temperatura de } 835^{\circ}\text{F)}$$

$$D = 2.0''$$

$$w = 1.0$$

$$e = 0.00$$

$$t_{min} = \frac{711 * 2}{2 * 10800 * 1 + 711} + 0.005 * 2$$

$$t_{min} = 0.072 \text{ in} = 1.87 \text{ mm}$$

Los valores mínimos obtenidos en la medición de espesores de los módulos es el siguiente.

- Módulo N°1. El espesor mínimo encontrado es de 3.77 mm en el niple inferior del tubo N°12 de la fila 1, condición aceptable.
- Módulo N°2. El espesor mínimo encontrado es de 3.61 mm en el tubo inferior N°15 de la fila 1, condición aceptable.
- Módulo N°3. El espesor mínimo encontrado es de 3.80 mm en el tubo superior N°6 de la fila 1, condición aceptable.
- Módulo N°4. El espesor mínimo encontrado es de 3.72 mm en el tubo inferior N°12 de la fila 1, condición aceptable.

- **Resultados del ultrasonido angular.**

El resultado de la inspección por ultrasonido angular fue evaluado de acuerdo a los requisitos del ASME sección I y los criterios de aceptación de la parte PW-52.3, dando como resultado una condición aceptable.

- **Resultado de radiografía industrial.**

Las placas radiográficas fueron evaluadas de acuerdo con el código ASME Sección I, en el módulo 1 se encontraron varias indicaciones que no cumplían con el criterio de aceptación del código las indicaciones encontradas fueron las siguientes: poros agrupados, indicaciones redondeadas, indicación alargada, falta de fusión y fisuras.

Tabla 3.23: Resultados de placas gammagráficas módulos N°1.

Línea	N° Junta	Ø	N° Placas	Observaciones
CALDERA 21B1, MODULO #1, COLECTOR INFERIOR, FILA 1	TUBO 1	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 2	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 3	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 4	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 5	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 6	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 7	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 8	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 9	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 10	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 11	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 12	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 13	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 14	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 15	50mm	2	RECHAZADO
CALDERA 21B1, MODULO #1, COLECTOR SUPERIOR, FILA 1	TUBO 1	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 2	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 3	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 4	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 5	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 6	50mm	2	RECHAZADO
	TUBO 7	50mm	2	RECHAZADO
	TUBO 8	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 9	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 10	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 11	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 12	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 13	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 14	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 15	50mm	2	ACEPTADO
CALDERA 21B1, MODULO #1, COLECTOR INFERIOR, FILA 3	TUBO 1	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 2	50mm	2	RECHAZADO

	TUBO 3	50mm	2	RECHAZADO	
	TUBO 4	50mm	2	ACEPTADO	
	TUBO 5	50mm	2	RECHAZADO	
	TUBO 6	50mm	2	ACEPTADO	
	TUBO 7	50mm	2	ACEPTADO	
	TUBO 8	50mm	2	ACEPTADO	
	TUBO 9	50mm	2	RECHAZADO	
	TUBO 10	50mm	2	RECHAZADO	
	TUBO 11	50mm	2	RECHAZADO	
	TUBO 12	50mm	2	RECHAZADO	
	TUBO 13	50mm	2	ACEPTADO	
	TUBO 14	50mm	2	RECHAZADO	
	TUBO 15	50mm	2	RECHAZADO	
	CALDERA 21B1, MODULO #1, COLECTOR SUPERIOR, FILA 3	TUBO 1	50mm	2	RECHAZADO
		TUBO 2	50mm	2	RECHAZADO
TUBO 3		50mm	2	ACEPTADO	
TUBO 4		50mm	2	ACEPTADO	
TUBO 5		50mm	2	ACEPTADO	
TUBO 6		50mm	2	ACEPTADO	
TUBO 7		50mm	2	ACEPTADO	
TUBO 8		50mm	2	ACEPTADO	
TUBO 9		50mm	2	ACEPTADO	
TUBO 10		50mm	2	ACEPTADO	
TUBO 11		50mm	2	ACEPTADO	
TUBO 12		50mm	2	RECHAZADO	
TUBO 13		50mm	2	ACEPTADO	
TUBO 14		50mm	2	ACEPTADO	
TUBO 15		50mm	2	RECHAZADO	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.24: Resultados de placas gammagráficas módulo N°2.

Línea	N° Junta	Ø	N° Placas	Observaciones
CALDERA 21B1, MODULO #2, COLECTOR INFERIOR, FILA 1	TUBO 1	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 2	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 3	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 4	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 5	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 6	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 7	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 8	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 9	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 10	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 11	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 12	50mm	2	ACEPTADO

	TUBO 13	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 14	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 15	50mm	2	ACEPTADO
CALDERA 21B1, MODULO #2, COLECTOR SUPERIOR, FILA 1	TUBO 1	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 2	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 3	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 4	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 5	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 6	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 7	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 8	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 9	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 10	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 11	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 12	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 13	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 14	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 15	50mm	2	ACEPTADO

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.25: Resultados de placas gammagráficas módulo N°3

Línea	N° Junta	Ø	N° Placas	Observaciones
CALDERA 21B1, MODULO #3, COLECTOR INFERIOR, FILA 1	TUBO 1	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 2	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 3	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 4	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 5	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 6	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 7	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 8	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 9	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 10	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 11	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 12	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 13	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 14	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 15	50mm	2	ACEPTADO
CALDERA 21B1, MODULO #3, COLECTOR SUPERIOR, FILA 1	TUBO 1	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 2	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 3	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 4	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 5	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 6	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 7	50mm	2	ACEPTADO

	TUBO 8	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 9	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 10	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 11	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 12	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 13	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 14	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 15	50mm	2	ACEPTADO

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.26: Resultados de placas gammagráficas módulo N°4.

Línea	N° Junta	∅	N° Placas	Observaciones
CALDERA 21B1, MODULO #4, COLECTOR INFERIOR, FILA 1	TUBO 1	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 2	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 3	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 4	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 5	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 6	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 7	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 8	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 9	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 10	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 11	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 12	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 13	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 14	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 15	50mm	2	ACEPTADO
CALDERA 21B1, MODULO #4, COLECTOR SUPERIOR, FILA 1	TUBO 1	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 2	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 3	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 4	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 5	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 6	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 7	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 8	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 9	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 10	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 11	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 12	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 13	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 14	50mm	2	ACEPTADO
	TUBO 15	50mm	2	ACEPTADO

Fuente: Elaboración propia.

IV. Discusión y conclusiones

4.1 Discusión.

- La curva de la Fluencia lenta “Creep” (Deformación – tiempo) para los aceros que trabajan a temperatura elevada está caracterizada por tres estados que corresponden al: Creep primario, Creep secundario y Creep terciario.
- El estadio B caracterizado como envejecimiento inicial le corresponde al estado del Creep primario; esta etapa es de ascenso rápido y se caracteriza por la disminución de la velocidad de fluencia y el endurecimiento por deformación.
- Los componentes inspeccionados del Tubo, Niple y el colector superior fila 1, de acuerdo a la curva de la fluencia le corresponde al estado final de envejecimiento del Creep primario.
- El endurecimiento de la soldadura y la zona afectada por el calor del metal base es importante debido al agrietamiento asistido por hidrógeno (API 571 5.1.2.4 Hydrogen Stress Cracking – HF) que se produce en los aceros al carbono y de baja aleación, ya que a medida que aumenta la dureza aumenta la susceptibilidad a este tipo de mecanismo de daño.
- Debido a que no se pudo calificar con radiografía industrial las zonas de unión entre el niple y el colector por la falta de espacio para la colocación de la placa se optó por usar el método de ultrasonido de haz angular.
- El criterio de rechazo para la inspección por radiografía según el ASME sección I son los siguientes:
 - Cualquier indicación caracterizada como una grieta o zona de fusión o penetración incompleta.
 - Cualquier otra indicación alargada en la radiografía que tenga una longitud superior a
 - (a) 1/4 pulg. (6 mm) para t hasta 3/4 pulg. (19 mm)
 - (b) 1/3 t para t desde 3/4 pulg. (19 mm) a 2 1/4 pulg. (57 mm)
 - (c) 3/4 pulg. (19 mm) para t de más de 2 1/4 pulg. (57 mm)

donde t es el espesor de la soldadura

4.2 Conclusiones.

- El objetivo del presente trabajo de suficiencia se cumplió ya que se logró garantizar la calidad del material del caldero acuatubular aplicando los diferentes tipos de ensayos destructivos y no destructivos.
- Se logro identificar las discontinuidades de fabricación en las uniones soldadas del módulo N°1 del sobrecalentador mediante el uso de los ensayos no destructivos antes de su instalación y puesta en servicio.
- Se logro identificar los puntos críticos del módulo del sobrecalentador en los cuales se realizó la aplicación de los ensayos destructivos y no destructivos encontrando las discontinuidades en las uniones soldadas.
- Se logro evitar los paros de emergencias del caldero gracias a la detección de las discontinuidades en la fabricación y realizando la evaluación con el criterio de aceptación y rechazo del código ASME sección I, el módulo N° 1 fue rechazado y no fue instalado evitando su falla en servicio.
- Se logro la disminución de los costos de mantenimiento del caldero al evitar los paros de emergencia los cuales conllevan al mantenimiento correctivo el cual tiene un alto costo a comparación con la aplicación de los ensayos destructivos y no destructivos para asegurar la calidad de los módulos del sobrecalentador.

V. Recomendaciones

- Se recomienda realizar el control de calidad de los equipos antes de puesta en servicio para garantizar su fiabilidad.
- Los valores de dureza que sobrepasen los 200 HBN generalmente son susceptibles al HF y por ende es recomendable realizar un tratamiento térmico posterior a la soldadura independientemente de si se especifica o no en el procedimiento de soldadura.
- Se recomienda la creación del instituto de ensayos no destructivos en la facultad de ingeniería mecánica y energía a fin de tener experiencia en la aplicación de los ensayos.
- Se recomienda implementar el curso de clínica de códigos ASME, AWS, API.

VI. Bibliografía

ADEMINSAC. Ademinsa. [En línea] [Citado el: 22 de 04 de 2021.]

<https://ademinsa.com/nuestra-empresa/>.

AITESA. Aitesa Engineering Energy Industries. [En línea] [Citado el: 11 de 05 de 2021.]

<https://www.aitesa.es/areas-de-negocio/energia/calderas-de-recuperacion-vapor/>.

Anival, Neyra Vilca. 2010. Estudio de líneas. Lima, Arequipa, Peru : s.n., 20 de 10 de 2010.

APOYO & ASOCIADOS. 2021. Apoyo & Asociados. [En línea] 04 de 2021. [Citado el: 22 de 05 de

2021.] https://www.aai.com.pe/wp-content/uploads/2021/04/Relapasa_1220.pdf.

APPULS norcontrol. APPLUS certification. [En línea] [Citado el: 22 de 04 de 2021.]

<https://www.appluscertification.com/global/es/about-us/applus-group>.

ASME SECCIÓN V. 2019. *V NONDESTRUCTIVE EXAMINATION.* NEW YORK : s.n., 2019.

Balvantín, Antonio. 2016. Ensayos y propiedades mecánicas de los materiales. [En línea] 08 de 2016. [Citado el: 11 de 05 de 2021.]

<http://www.dicis.ugto.mx/profesores/balvantin/documentos/Ciencia%20de%20Materiales%20para%20Ingenieria%20Mecanica/Unidad%20I%20-%201.%20Ensayos%20y%20Propiedades%20de%20Materiales.pdf>.

CALERO RODRÍGUEZ, OSWALDO LEONARDO. 2012. *ENSAYOS DESTRUCTIVOS Y NO DESTRUCTIVOS Y SU.* AMBATO-ECUADOR : s.n., 2012.

Código de conducta. CODIGO DE CONDUCTA ADEMINSAC. [En línea] [Citado el: 26 de 04 de

2021.] <http://ademinsa.com/wp-content/uploads/2017/07/C%C3%93DIGO-DE-CONDUCTA.pdf>.

CONTROL SERVICE GROUP SAC. CONTROL SERVICE GROUP. [En línea] [Citado el: 22 de 04 de

2021.] <https://www.controlservicegroup.com/laempresa.htm>.

ENCARNACIÓN FRANCO, ELIZABETH ALEXANDRA. 2010. *IMPLEMENTACIÓN DE INSPECCIÓN NO DESTRUCTIVA DE SOLDADURA EN LA EMPRESA INDIMA S.A.* QUITO : s.n., 2010.

FEDERACIÓN DE ENSEÑANZA DE CC.OO DE ANDALUCIA. 2009. RADIACIONES. [En línea] 04 de 09 de 2009. [Citado el: 17 de 05 de 2021.]

<https://www.feandalucia.ccoo.es/docu/p5sd5396.pdf>. 1989-4023.

FLEXIM. FLEXIM When measuring matters. [En línea] [Citado el: 15 de 05 de 2021.]
<https://www.flexim.com/es/industria/petroleo-y-gas/soluciones-de-refineria/fraccionador-catalitico-fluidizado-fcc>.

Gómez de León, Félix y González Carpena, Antonio. ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS. [En línea] [Citado el: 16 de 05 de 2021.] <https://docplayer.es/9208694-Tema-08-ensayos-no-destructivos.html>.

GONZÁLEZ, PAU CLOSA. 2014. Las emisiones acústicas y su aplicación al mantenimiento predictivo. [En línea] 01 de 09 de 2014. [Citado el: 17 de 05 de 2021.]
<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/23450/Las+emisiones+ac%FAsticas.+Pau+Closa.pdf?sequence=1>.

GRUPO ALMESA. 2015. GRUPO ALMESA PREFABRICADOS. [En línea] 09 de 07 de 2015. [Citado el: 11 de 05 de 2021.] <http://www.almesa.com/wp-content/uploads/elementos-tubulares-destinados-a-calderas.pdf>.

INSPECTRA S.A. Bumeran. [En línea] [Citado el: 22 de 04 de 2021.]
https://www.bumeran.com.pe/perfiles/empresa_inspectra-s.a._2466100.html.

INSTRON. INSTRON. [En línea] [Citado el: 13 de 05 de 2021.] <https://www.instron.com.ar/es-ar/our-company/library/glossary/f/fatigue-test>.

INTERTEK PERÚ. INTERTEK TOTAL QUALITY ASSURED. [En línea] [Citado el: 22 de 04 de 2021.]
<https://www.intertek.com.pe/industrias-y-servicios/peru/>.

IPUNTO ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS.S.L. ipend. [En línea] [Citado el: 19 de 05 de 2021.]
<https://ipend.es/ensayos-no-destructivos/identificacion-positiva-de-materiales-pmi-xrf>.

LLEDÓ, RAQUEL SERRANO. Ingeniera de Diseño Industrial y Desarrollo de Producto. [En línea] [Citado el: 16 de 05 de 2021.] http://www.raquelserrano.com/wp-content/files/ciencias_t8.2_particulas_magnticas.pdf.

LOS ADHESIVOS. Losadhesivos.com. [En línea] [Citado el: 23 de 04 de 2021.]
<https://www.losadhesivos.com/ensayos-destructivos.html>.

Metalinspec. 2019. Metalinspec Blog. [En línea] 25 de 06 de 2019. [Citado el: 12 de 05 de 2021.] <https://www.blog.metalinspec.com.mx/post/que-es-para-que-sirve-el-analisis->

metalografico#:~:text=El%20an%C3%A1lisis%20metalogr%C3%A1fico%20es%20un,las%20propiedades%20qu%C3%ADmicas%20y%20mec%C3%A1nicas..

METALOGRAFÍA. 2019. Metalografía blog. [En línea] 05 de 06 de 2019. [Citado el: 12 de 05 de 2021.] <https://metalografia.es/?p=6>.

NUPEX. 2012. Nuclear Physics Experience. [En línea] 2012. [Citado el: 17 de 05 de 2021.] <http://www.nupecc.org/NUPEX/index.php?g=textcontent/nuclearapplications/xraymed&lang=es#logoholder>.

OCA GLOBAL. OCA GLOBAL. [En línea] [Citado el: 22 de 04 de 2021.] <https://ocaglobal.com/es/sobre-oca-global/historia>.

REPSOL. 2013. Informe GEI Refinería La Pampilla SAA. [En línea] 2013. [Citado el: 15 de 05 de 2021.] https://www.repsol.com/imagenes/global/es/Refineria_la_pampilla_tcm13-51957.pdf.

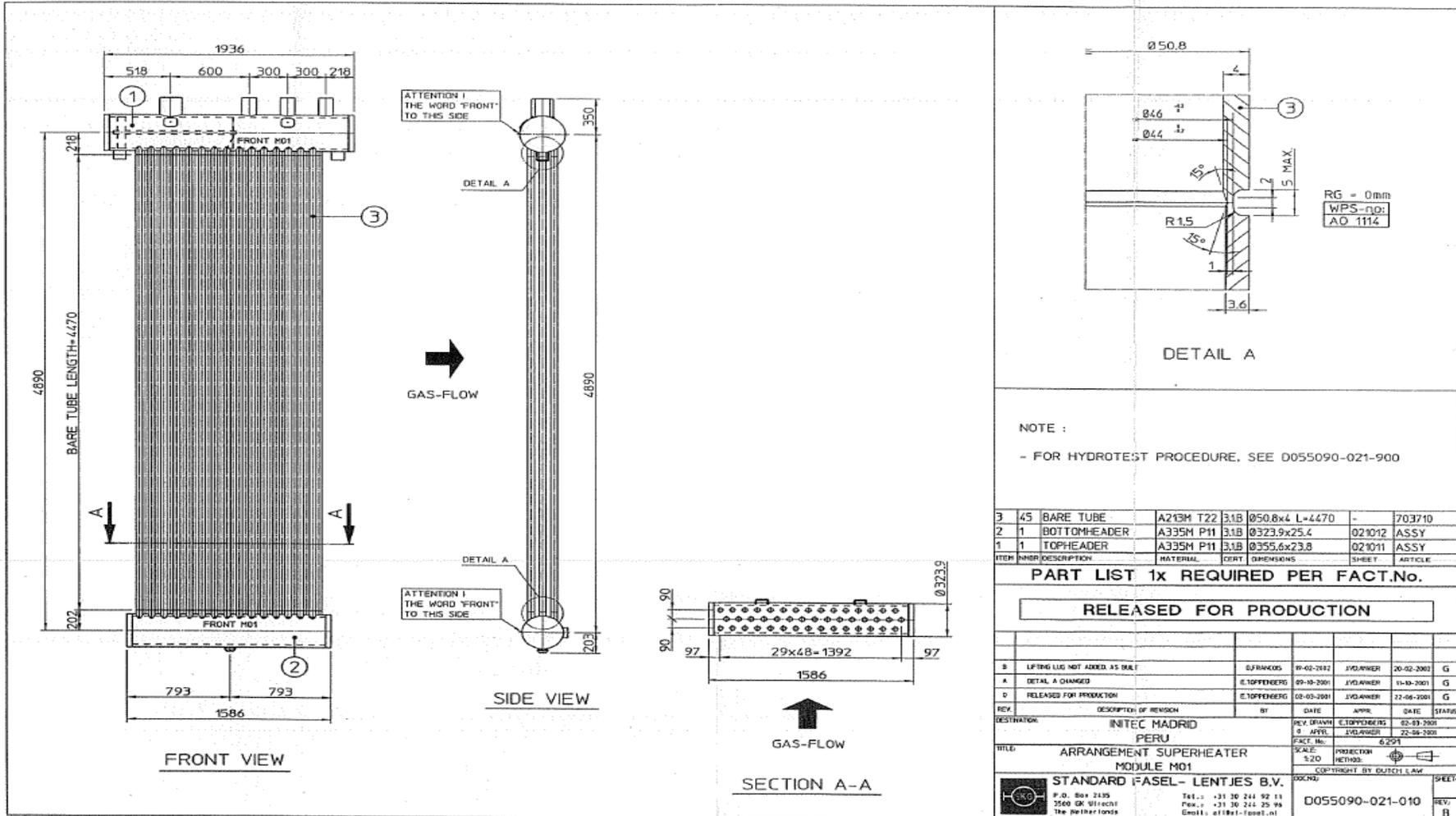
SGS. SGS PERÚ. [En línea] [Citado el: 22 de 04 de 2021.] <https://www.sgs.pe/es-es/our-company/about-sgs/sgs-in-brief/sgs-in-peru>.

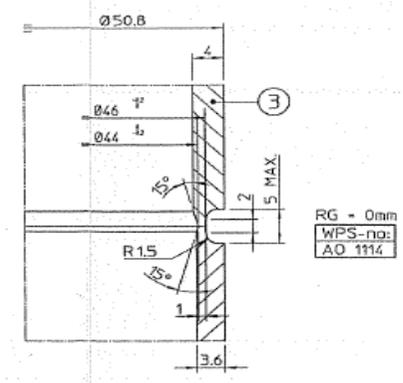
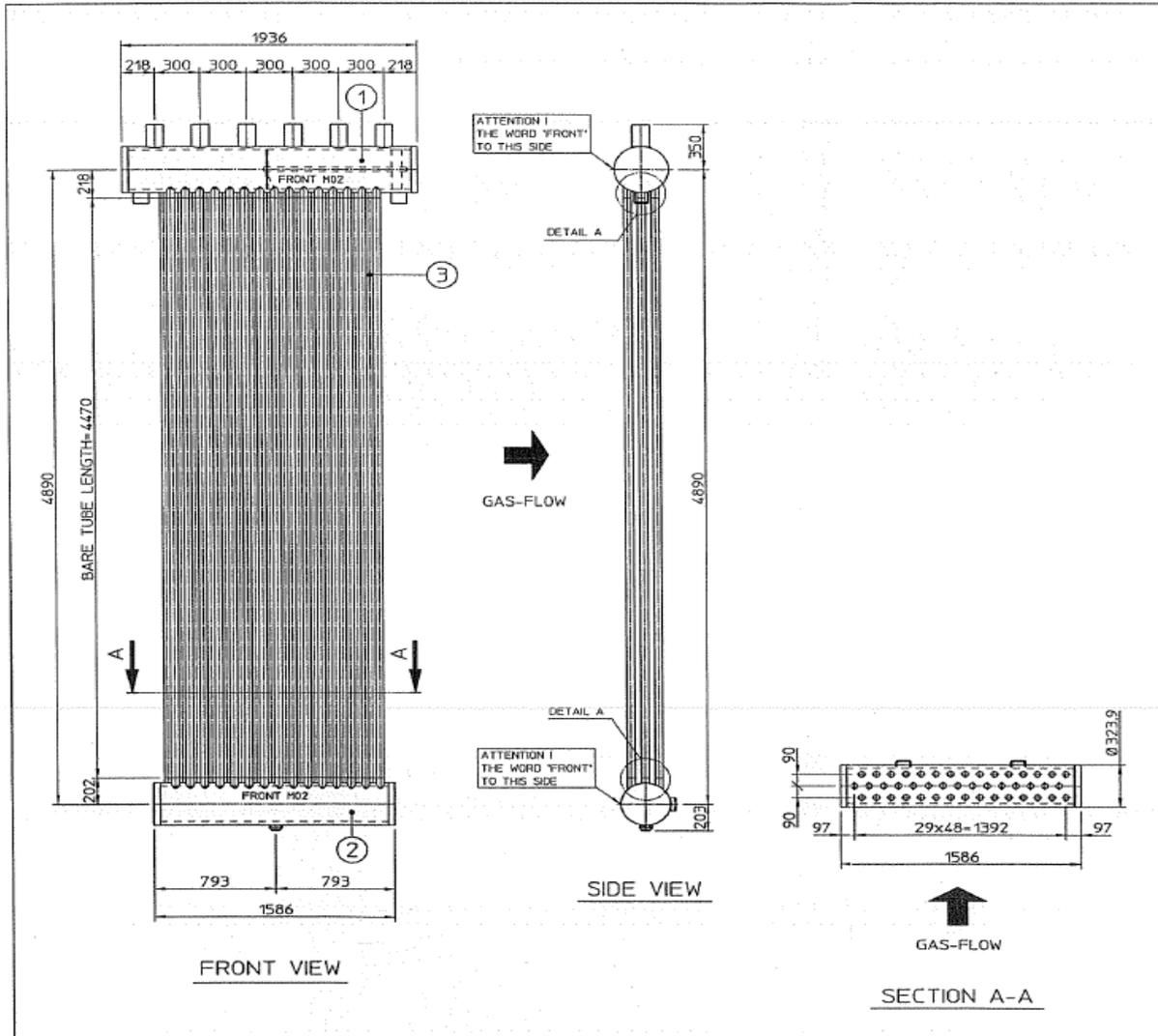
TUV NORD CUALICONTROL. TUV NORD. [En línea] [Citado el: 18 de 05 de 2021.] <https://www.tuv-nord.com/es/es/inspeccion-industrial/ensayos-no-destructivos/identificacion-positiva-de-materiales-pmi/#:~:text=El%20an%C3%A1lisis%20positivo%20de%20materiales,inspecci%C3%B3n%20los%20mismos%20en%20servicio..>

TÜV Rheinland . Phased Array (PA). [En línea] [Citado el: 03 de 05 de 2021.] [https://www.tuv.com/peru/es/phased-array-\(pa\).html](https://www.tuv.com/peru/es/phased-array-(pa).html).

ANEXO

Anexo 1: Planos de los módulos.





NOTE :
FOR HYDROTEST PROCEDURE, SEE D055090-021-900

ITEM	QTY	DESCRIPTION	MATERIAL	CERT	DIMENSIONS	SHEET	ARTICLE
3	45	BARE TUBE	A213M T22	3.1B	Ø50.8x4 L=4470	-	703710
2	1	BOTTOM-HEADER	A335M P11	3.1B	Ø323.9x25.4	021022	ASSY
1	1	TOPHEADER	A335M P11	3.1B	Ø355.6x23.8	021021	ASSY

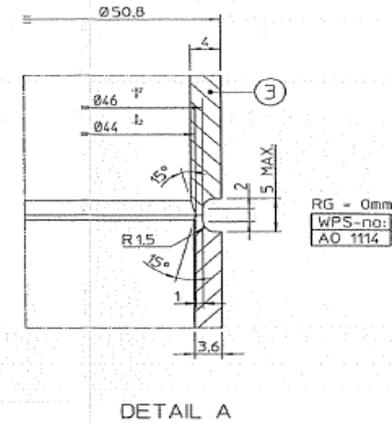
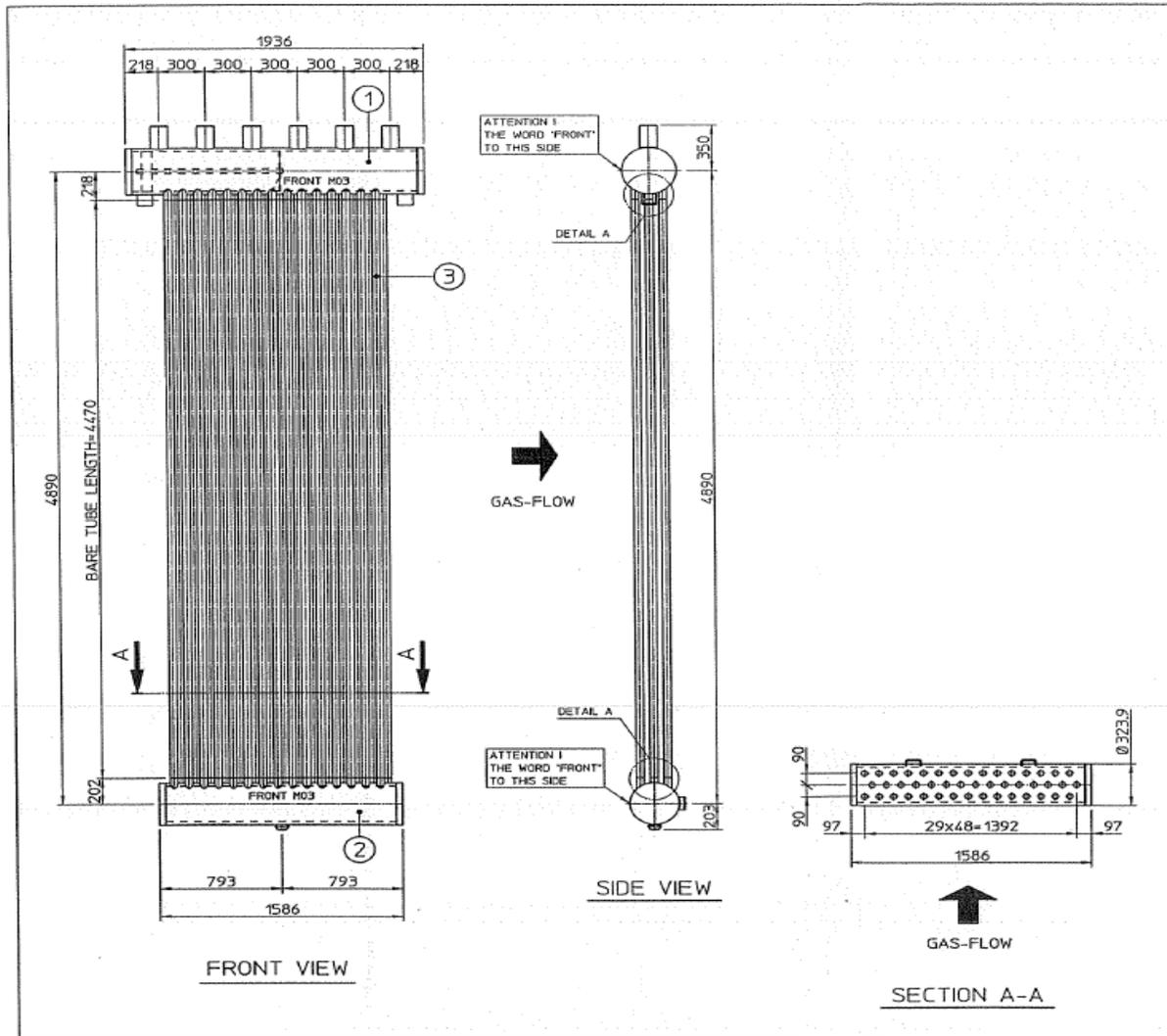
PART LIST 1x REQUIRED PER FACT.No.

RELEASED FOR PRODUCTION

REV.	DESCRIPTION OF REVISION	BY	DATE	APPR.	DATE	STATUS
B	LIFTING LUG NOT ADDED, AS BUL.	OFRANKS	18-02-2002	JVDANKER	20-02-2002	G
A	DETAIL A CHANGED	E.TOPPENBERG	09-01-2001	JVDANKER	16-01-2001	G
0	RELEASED FOR PRODUCTION	E.TOPPENBERG	05-03-2001	JVDANKER	22-05-2001	G

DESTINATION:	INTEC MADRID PERU	REV. DRAWN:	E.TOPPENBERG	REV. CHECKED:	JVDANKER
SCALE:	1:20	PROJECTION METHOD:	1st Angle	FACE No.:	6291
COPYRIGHT BY DUTCH LAW			SHEET		

STANDARD FASEL- LENTJES B.V. P.O. Box 2425 3500 DE 1118CA The Netherlands		Tel.: +31 30 244 92 11 Fax.: +31 30 244 25 94 Email: sf1001-fasel.nl		D055090-021-020 REV: B
---	--	--	--	---------------------------



NOTE :
FOR HYDROTEST PROCEDURE, SEE D055090-021-900

ITEM	QTY	DESCRIPTION	MATERIAL	CERT	DIMENSIONS	SHEET	ARTICLE
3	45	BARE TUBE	A213M T22	318	Ø50.8x4 L=4470	-	703710
2	1	BOTTOMHEADER	A335M P11	318	Ø323.9x25.4	021032	ASSY
1	1	TOPHEADER	A335M P11	318	Ø355.6x23.8	021031	ASSY

PART LIST 1x REQUIRED PER FACT.No.

RELEASED FOR PRODUCTION

REV.	DESCRIPTION OF REVISION	BY	DATE	APPL.	DATE	STATUS
B	LIFTING LUG NOT ADDED AS RULE	SFRANCOIS	19-02-2002	JNDANKER	25-02-2002	G
A	DETAIL A CHANGED	E.TOPPENBERG	09-06-2001	JNDANKER	15-06-2001	G
D	RELEASED FOR PRODUCTION	E.TOPPENBERG	05-03-2001	JNDANKER	22-08-2001	G

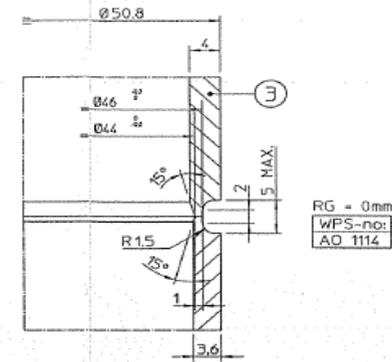
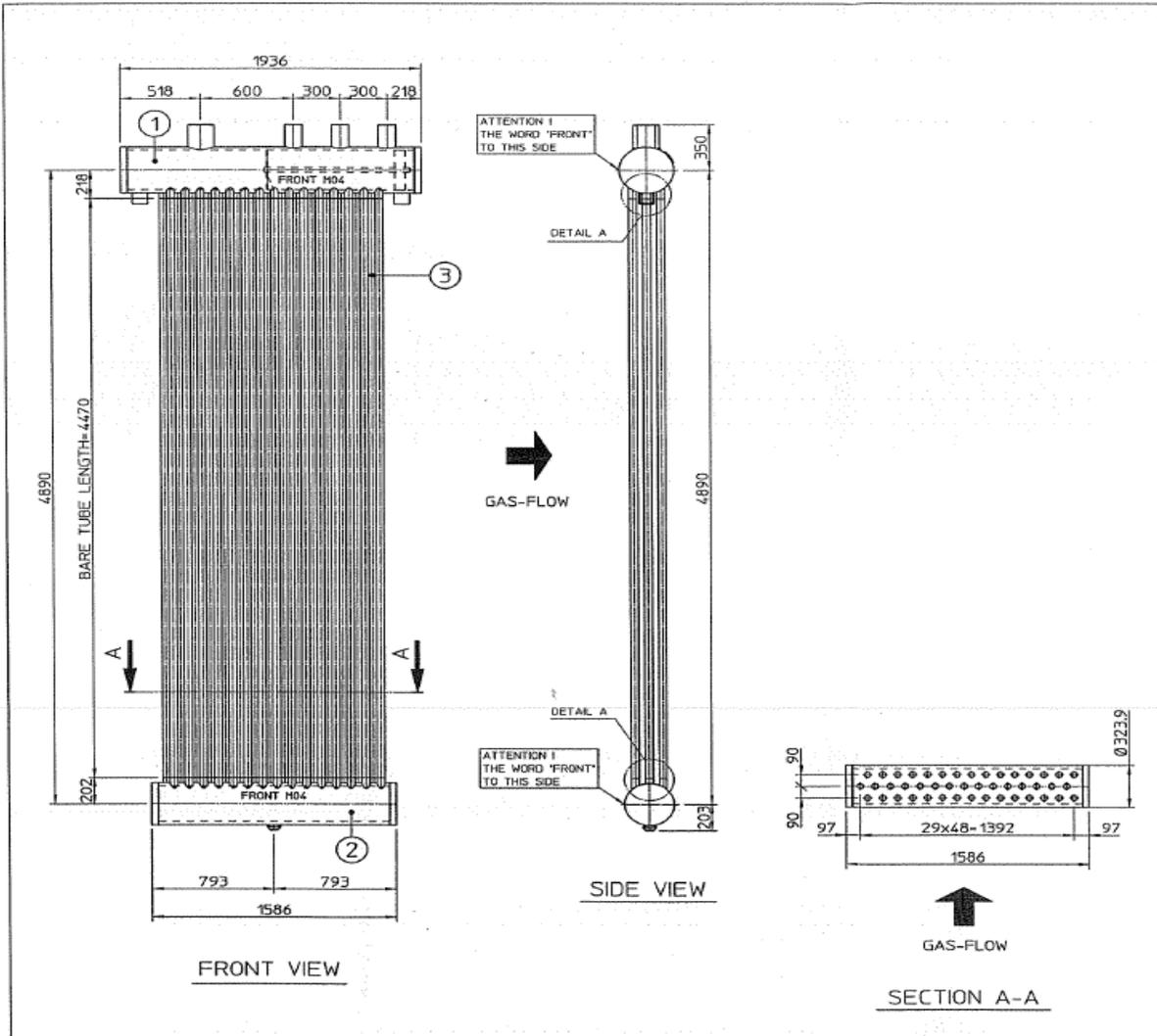
DESTINATION: INITEC MADRID PERU

TITLE: ARRANGEMENT SUPERHEATER MODULE M03

REV. DRAWN: E.TOPPENBERG 05-03-2001
 D. APPL. JNDANKER 22-08-2001
 FACT. No. 6291
 SCALE: 1:20 PRODUCTION METHOD: [Symbol]
 COPYRIGHT BY DUTCH LAW

STANDARD FASEL- LENTJES B.V.
 P.O. Box 2435 3508 GE Utrecht The Netherlands
 Tel.: +31 30 244 92 11 Fax.: +31 30 244 25 96 Email: sfl@fasel-lentjes.nl

DOCU: D055090-021-030 REV: B



DETAIL A

NOTE :
FOR HYDROTEST PROCEDURE, SEE D055090-021-900

ITEM	QTY	DESCRIPTION	MATERIAL	UNIT	DIMENSIONS	SHEET	ARTICLE
3	45	BARE TUBE	A213M T22	3.1B	Ø50.8x4 L=4470	-	703710
2	1	BOTTOMHEADER	A335M P11	3.1B	Ø323.9x25.4	021042	ASSY
1	1	TOPHEADER	A335M P11	3.1B	Ø355.6x23.8	021041	ASSY

PART LIST 1x REQUIRED PER FACT.No.

RELEASED FOR PRODUCTION

REV.	DESCRIPTION OF REVISION	BY	DATE	APPR.	DATE	STATUS
B	LIFTING LUG NOT ADDED AS BUILT	J. FRANKS	17-02-2002	J. VAN DER	20-02-2002	G
A	DETAIL A CHANGED	E. TOPPENBERG	09-10-2001	J. VAN DER	11-10-2001	G
0	RELEASED FOR PRODUCTION	E. TOPPENBERG	05-05-2001	J. VAN DER	22-06-2001	G

DESTINATION: INITEC MADRID PERU

TITLE: ARRANGEMENT SUPERHEATER MODULE M04

SCALE: 1:20

PROJECTION METHOD: [Symbol]

STANDARD FASEL- LENTJES B.V.
P.O. Box 2435
3580 GK Utrecht
The Netherlands
Tel.: +31 30 244 92 11
Fax.: +31 30 244 25 90
Email: sfl@stl-fasel.nl

DOCNO: D055090-021-040

SHEET: B

Anexo 3: Catalogo de tubos de calderos.

Tubos para energía

fluidos

calderas

stays

intercambiadores

condensadores

refinerías



CALIDAD



STEEL GRADES

Calidades más usuales				<i>Typical steel grades</i>										
Max. temp. de utiliz. Máx. service temp.	475° C 885° F			500° C 930° F			550° C 1020° F	560° C 1040° F	575° C 1065° F	600° C 1110° F		625° C 1155° F	650° C 1200° F	
ASTM														
A 106	Gr. A	Gr. B	Gr. C											
A 161	LC					T1								
A 179	A 179													
A 192	A 192					T1								
A 208														
A 210		Gr. A1	Gr. C											
A213							T2	T12		T11	T22	T9	T91	
A335						P1	P2	P12		P11	P22	P9	P91	
DIN 17175	St35.8	St45.8	17Mn4	19Mn5	15Mo3	16Mo5	15NiCuMoNb65		13CrMo44		10CrMo910	14MoV63	X12CrMo91	X20CrMoV121
Material N°	1.0305	1.0405	1.0481	1.0482	1.5415	1.5423	1.6368		1.7335		1.7380	1.7715	1.7386	1.4922
AFNOR														
NF A 49-213	TU 37-C	TU 42-C	TU 48-C	TU 52-C	TU 15D3				TU180D65	TU180D40	TU180D65	TU180D610	TU210D9	TU210D9V82
UNI														
5462	C14	C18				16Mo5			14CrMo3		12CrMo910			
EURONORMA														
EN 10216-2	P235GH	P265GH	20 Mn 5 6 6	16 Mo 3		15NiCuMoNb65		13CrMo55		10CrMo910	14MoV63	X11CrMo91	X20CrMoV111	
Material N°	1.0345	1.0425	1.0471	1.5415		1.6368		1.7335		1.7380	1.7715	1.7386	1.4922	



Composición química
Chemical composition

Características mecánicas
Tensile Requirements

Calidades Grades	Composición química en % Chemical requirements in %										Características mecánicas Tensile requirements				
	C	Mn	P máx	S máx	Si	Cr máx.	Mo máx.	Ni	Al máx.	Otros Others	Resist.N/mm ² T.S. (ksi)	Lim. Elast. N/mm ² Y.S. (ksi)	A (%) Elong %	Otras Notes	
ASTM											min.	(1)	Máx.		
A 106 Gr. A Gr. B Gr. C	≤ 0,25 ≤ 0,35 ≤ 0,35	0,27 - 0,28 0,29 - 1,26 0,29 - 1,26	0,025 0,025 0,025	0,035 0,035 0,035	0,10 mín. 0,10 mín. 0,10 mín.	0,40 0,40 0,40	0,15 0,15 0,15	≤ 0,40 ≤ 0,40 ≤ 0,40		Cu ≤ 0,40 V: ≤ 0,08	330 - 48 415 - 60 485 - 70	205 - 30 240 - 35 275 - 40	35 30 30		
A 161 L C T 1	0,10 - 0,20 0,10 - 0,20	0,30 - 0,60 0,30 - 0,60	0,048 0,045	0,058 0,045	0,25 máx. 0,18 - 0,50		0,44 - 0,65				342 - 47 379 - 55	179 - 26 207 - 30	35 30		
A 179 179	0,06 - 0,18	0,27 - 0,63	0,048	0,058							325 - 47	180 - 26	35	72 Hr B	
A 192 192	0,06 - 0,18	0,27 - 0,63	0,048	0,058	0,25 máx.						325 - 47	180 - 26	35	77 Hr B	
A 209 T 1	0,10 - 0,20	0,30 - 0,60	0,025	0,025	0,10 - 0,50		0,44 - 0,65				380 - 55	205 - 30			
A 209 T 1 a	0,15 - 0,25	0,30 - 0,60	0,025	0,025	0,10 - 0,50		0,44 - 0,65				415 - 60	220 - 32	30		
A 209 T 1 b	≤ 0,14	0,30 - 0,60	0,025	0,025	0,10 - 0,50		0,44 - 0,65				385 - 53	195 - 28			
A 210 Gr. A	≤ 0,27	≤ 0,93	0,035	0,035	0,10 mín.						415 - 60	255 - 37	30	78 Hr B	
A 210 Gr. C	≤ 0,35	0,29 - 1,26	0,035	0,035	0,10 mín.						485 - 70	275 - 40	30	88 Hr B	
A 210 Gr. 1	0,30	0,40 - 1,26	0,025	0,025							380 - 55	205 - 30	35		
A 333 Gr. 6	0,30	0,24 - 1,26	0,025	0,025	0,10 mín.						415 - 60	240 - 35	30		
A 335 P 1	0,10 - 0,20	0,30 - 0,60	0,025	0,025	0,10 - 0,50		0,44 - 0,65				380 - 55	205 - 30	30		
A 213 T 2	0,10 - 0,20	0,30 - 0,61	0,025	0,025	0,10 - 0,50	0,50 - 0,81	0,44 - 0,65				415 - 60	205 - 30	30	85 Hr B	
A 335 P 2											380 - 55	205 - 30	30		
A 213 T 5	≤ 0,15	0,30 - 0,60	0,025	0,025	0,50 máx.	4,00 - 6,00	0,45 - 0,65				415 - 60	205 - 30	30	85 Hr B	
A 335 P 5											415 - 60	205 - 30	30		
A 213 T 9	≤ 0,15	0,20 - 0,60	0,025	0,025	0,25 - 1,00	6,00 - 10,00	0,90 - 1,10				415 - 60	205 - 30	30	89 Hr B	
A 335 P 9											415 - 60	205 - 30	30		
A 213 T 11	0,05 - 0,15	0,30 - 0,60	0,025	0,025	0,50 - 1,00	1,00 - 1,50	0,44 - 0,65				415 - 60	205 - 30	30	85 Hr B	
A 335 P 11											415 - 60	205 - 30	30		
A 213 T 12	0,05 - 0,15	0,30 - 0,61	0,025	0,025	0,50 máx.	0,80 - 1,25	0,44 - 0,65				415 - 60	205 - 30	30	85 Hr B	
A 335 P 12											415 - 60	205 - 30	30		
A 213 T 22	0,05 - 0,15	0,30 - 0,60	0,025	0,025	0,50 máx.	1,30 - 2,60	0,47 - 1,13				415 - 60	205 - 30	30	85 Hr B	
A 335 P 22											415 - 60	205 - 30	30		
A 213 T 91	0,08 - 0,12	0,30 - 0,60	0,020	0,010	0,20 - 0,50	6,00 - 9,50	0,45 - 1,05	≤ 0,40	0,40	0,15 - 0,25 0,15 - 0,15 0,120 - 0,120	585 - 85	415 - 60	20		
A 335 P 91															
DIN									Cu		esp.	Mn	Wt%	(2)	
17175											≤ 16	> 16 ≤ 40	> 40 ≤ 60		
SL 35,8	≤ 0,17	0,40 - 0,60	0,040	0,040	0,10 - 0,35						360 - 480 52 - 70	235 34	225 33	215 31	25
SL 45,8	≤ 0,21	0,40 - 1,20	0,040	0,040	0,10 - 0,35						410 - 530 58 - 77	255 37	245 36	235 34	21
17 Mn 4	0,14 - 0,20	0,90 - 1,20	0,040	0,040	0,20 - 0,40	≤ 0,30					460 - 580 67 - 84	270 38	270 38	260 38	23
19 Mn 5	0,17 - 0,22	1,00 - 1,30	0,040	0,040	0,30 - 0,60	≤ 0,30					510 - 610 74 - 88	310 45	310 45	300 44	19
15 Mo 3	0,12 - 0,20	0,40 - 0,60	0,035	0,035	0,10 - 0,35		0,25 - 0,36				450 - 600 65 - 87	270 39	270 39	260 38	22
13 CrMo 4.4	0,10 - 0,18	0,40 - 0,70	0,035	0,035	0,10 - 0,35	0,70 - 1,10	0,45 - 0,65				440 - 590 64 - 86	290 42	290 42	280 41	22
10 CrMo 9 10	0,08 - 0,15	0,40 - 0,70	0,035	0,035	≤ 0,50	2,00 - 2,50	0,90 - 1,20				450 - 600 65 - 87	248 41	280 41	270 38	20
14 MoV 6.3	0,10 - 0,18	0,40 - 0,70	0,035	0,035	0,10 - 0,35	0,30 - 0,60	0,50 - 0,70			V: 0,22-0,32	480 - 610 70 - 88	320 46	320 46	310 45	20
X20CrMo121	0,17 - 0,23	≤ 1,00	0,030	0,030	≤ 0,50	10,00 - 12,00	0,80 - 1,20	0,30 - 0,60		V: 0,25-0,35	690 - 840 100 - 122	490 71	490 71	490 71	17
Otros / Others															
16 Mo 5	0,12 - 0,20	0,50 - 0,80	0,040	0,040	0,15 - 0,50		0,45 - 0,65				440 - 540 64 - 78	285 41	275 40	22	
15 NiCrMoNb5	0,10 - 0,17	0,60 - 1,20	0,030	0,030	0,25 - 0,50	0,30	0,25 - 0,50	1,00 - 1,30	0,50 - 0,60	N: 0,215-0,245 N máx. 0,03	610 - 760 88 - 110	440 64		19	
12 CrMo 19.5	0,08 - 0,15	0,30 - 0,60	0,030	0,030	0,30 - 0,50	4,00 - 6,00	0,45 - 0,65				570 - 740 83 - 107	390 57		18	
X12 CrMo 9.1	≤ 0,15	0,30 - 0,60	0,030	0,030	0,25 - 1,00	6,00 - 10,00	0,90 - 1,10				590 - 740 86 - 107	390 57		20	

1 MPA = 1 N/mm² = 10 bar = 145,037 Psi = 10,197 kg/cm² = 9,80 atmósferas

(1) Alargamiento mín. % sobre 2 pulgadas (# 50 mm.) (Para probetas planas)
Elongation min. % in 2 in. (# 50 mm.) (For standard strip test)

(2) Alargamiento mín. % sobre 5,65√S.
Elongation min. % in 5,65√S*