

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Mecánica

TESIS

**REDISEÑO DE MÁQUINA DE TERMOFUSIÓN 618
MCELROY PARA FABRICACIÓN DE CODOS DE 6" A 18"**

Autor

Robert Anthony Huacasi Ticona

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Mecánico

Arequipa - Perú
2025

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional"

INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

A : Decano de la Facultad de Ingeniería
DE : Henry Davis Lama Cornejo
Asesor de trabajo de investigación
ASUNTO : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación
FECHA : 30 de Junio de 2025

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para informar que, en mi condición de asesor del trabajo de investigación:

Título:

REDISEÑO DE MÁQUINA DE TERMOFUSIÓN 618 MCELROY PARA FABRICACIÓN DE CODOS DE 6" A 18"

Autor:

1. . ROBERT ANTHONY HUACASI TICONA – EAP. Ingeniería Mecánica

Se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 16 % de similitud sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía SI NO
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores N° de palabras excluidas (**en caso de elegir "SI"**): SI NO
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI NO

En consecuencia, se determina que el trabajo de investigación constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad Continental.

Recae toda responsabilidad del contenido del trabajo de investigación sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos conducentes a Grados y Títulos – RENATI y en la normativa de la Universidad Continental.

Atentamente,

La firma del asesor obra en el archivo original
(No se muestra en este documento por estar expuesto a publicación)

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincera gratitud a mi familia, quienes han sido el pilar fundamental en cada etapa de mi formación. A mi esposa, por su paciencia, apoyo incondicional y motivación constante. A mis hijos, cuya presencia me impulsa a seguir adelante con determinación; este logro también les pertenece.

DEDICATORIA

"El éxito es la suma de pequeños esfuerzos repetidos día tras día." – **Robert Collier**.

Dedico este trabajo a mi pareja, quien con amor y paciencia ha sido mi mayor apoyo en este camino. Su fuerza y compañía han sido la luz que me ha guiado en los momentos más difíciles.

A mis hijos, porque cada esfuerzo que realizo es pensando en su futuro.

A mis padres, quienes con su ejemplo me enseñaron que "la educación es el arma más poderosa que puedes usar para cambiar el mundo." – **Nelson Mandela**.

INDICE GENERAL

RESUMEN.....	viii
ABSTRATC.....	ix
INTRODUCCIÓN.....	x
CAPITULO I.....	1
PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO.....	1
1.1. Planteamiento del problema.....	1
1.2. Formulación del problema.....	2
1.2.1. Problema General.....	2
1.2.2. Problema Específico.....	2
1.3. Objetivos.....	3
1.3.1. Objetivo general.....	3
1.3.2. Objetivo específico.....	3
1.4. Hipótesis y variables.....	3
1.4.1. Hipótesis.....	3
1.4.2. Definición de variables.....	4
1.5. Justificación e importancia.....	5
1.5.1. Justificación técnica.....	5
1.5.2. Justificación practica.....	5
1.5.3. Justificación económica.....	5
1.5.4. Importancia.....	6
1.6. Delimitación del proyecto.....	6
1.6.1. Delimitación espacial.....	6
1.6.2. Delimitación temporal.....	7
1.6.3. Delimitación teórica.....	7
1.7. Justificación e importancia.....	7
1.7.1. Justificación técnica.....	7
1.7.2. Justificación practica.....	8
1.7.3. Justificación económica.....	8
1.7.4. Importancia.....	9
1.8. Delimitación del proyecto.....	9
1.8.1. Delimitación espacial.....	9
1.8.2. Delimitación temporal.....	10
1.8.3. Delimitación teórica.....	10
CAPITULO II:.....	11

MARCO TEÓRICO.....	11
2.1. Antecedentes del problema.....	11
2.2. Bases teóricas.....	14
2.2.1. Tuberías HDPE.....	14
a) Proceso de fabricación de las tuberías de HDPE por método de la extrusión.....	15
2.2.2. Procesos de soldadura.....	17
2.2.3. Soldadura por termofusión a tope.....	17
2.2.4. Factores importantes para la soldadura de termofusión.....	19
2.2.5. Verificación de Calidad.....	20
2.2.6. Sistemas de sujeción hidráulicos.....	21
2.2.7. Dispositivos de inclinación de Mordazas por el cilindro.....	24
2.2.8. Control de calidad.....	24
2.2.9. Sistemas de uniones.....	26
2.2.10. Expansión térmica.....	27
2.2.11. Fatiga Mecánica.....	27
2.2.12. Tubería lisa HDPE.....	27
2.2.13. Tensiones máximas.....	28
2.2.14. Deformaciones máximas.....	28
2.2.15. Tipos de tubería PE.....	29
2.2.16. Normativa tubería lisa.....	31
2.2.17. ISO 8772: 2009 – alcantarillad.....	32
2.2.18. ASTM F-714 / ASTM D3350.....	32
2.2.19. NTP ISO 4437: 2004 (combustible gaseoso).....	33
 METODOLOGIA.....	 35
3.1 Diseño metodológico.....	35
3.1.1 Metodología de la investigación.....	35
3.1.2 Tipo de investigación.....	35
3.1.3 Alcance de la investigación.....	35
3.1.4 Unidad de la investigación.....	36
3.2 Metodología de la investigación.....	36
3.2.1 Técnicas de investigación.....	36
3.2.2 Diseño del equipo.....	37
3.2.3 Pruebas del equipo.....	37
 CAPITULO IV:.....	 39
 ANALISIS DE DESARROLLO.....	 39
4.1 Sistema actual.....	39
4.1.1 Diagrama de Ishikawa.....	39
4.1.2 Análisis de la estructura actual.....	39
4.2 Diseñar la solución propuesta.....	42
4.2.1 Análisis de las alternativas de solución.....	42

4.2.2	Evaluación de Combinaciones	43
4.3	Proyecto preliminar	43
4.3.1	Evaluación de la preparación de virolas de tubería para la fabricación de codos	44
4.3.2	Modificación de la base del chasis	45
4.3.3	Rediseño de la base de las mordazas:	46
4.3.4	Instalación de soporte para el cilindro hidráulico:	46
4.3.5	Diseño final del nuevo mecanismo:	47
4.4	Cálculos de todo el proceso	47
4.4.1	Parámetros iniciales	47
4.4.2	Relación de transmisión.....	47
4.4.3	Torque requerido	49
4.5	Proceso de termofusión	49
4.6	Cálculos para hallar la presión de fusión	51
4.7	Simulación del nuevo diseño	53
4.7.1	Tensiones máximas	54
4.7.2	Deformaciones máximas	54
4.7.3	Factor de seguridad	55
4.8	Evaluación económica del proyecto.....	55
CAPITULO V.....		56
5. RESULTADOS		56
5.1	Presentación de los resultados	56
5.2	Análisis de resultados	58
CONCLUSIONES		60
RECOMENDACIONES.....		62
ANEXO 1: PLANOS DEL REDISEÑO DE MAQUINA DE TERMOFUSION.....		66
ANEXO 2: DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO DE TERMOFUSIÓN DE TUBERÍA HDPE (POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD)		72

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Tuberías lisas de HDPE.....	14
Figura 2. Manufactura de tubos de HDPE	16
Figura 3. Proceso de termofusión	19
Figura 4. Corte de un cilindro hidráulico.....	23
Figura 5. Pautas de ancho y espesor del reborde fundido	24
Figura 6. Nivel de resistencia mínima requerida conforme al material	28
Figura 7. Tabla estandarizada para el cumplimiento de normativa ISO 4427	32
Figura 8. Tabla estandarizada para el cumplimiento de normativa ASTM F-714	33
Figura 9. Tabla de características de la resina.	34
Figura 10. Diagrama de Ishikawa del equipo de termofusión	39
Figura 11. Vista en ensamblaje del mecanismo con mordaza estática	40
Figura 12. Análisis de Tensión de Von Mises de la estructura actual.....	40
Figura 13. Deformación máxima de la estructura actual.....	41
Figura 14. Factor de seguridad de la mordaza	41
Figura 15. Variables para la fabricación de codos de 0 a 180°	44
Figura 16. Modificación del chasis	45
Figura 17. Rediseño de la base de las mordazas.....	46
Figura 18. Instalación de soporte para el cilindro hidráulico	46
Figura 19. Diseño del nuevo sistema del equipo de termofusión.	47
Figura 20. Diagrama de flujo del proceso de termofusión de codos segmentados de tubería HDPE (polietileno de alta densidad).....	50
Figura 21. Diseño final de las mordazas	53
Figura 22. Análisis de Tensión de Von Mises de la mordaza	54
Figura 23. Deformación máxima de la mordaza	54
Figura 24. Factor de seguridad de la mordaza	55
Figura 25. Sistema en posición de 22.5°	57

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Matriz Morfológica de la máquina propuesta	42
Tabla 2. Evaluación de Alternativas para el Rediseño del Equipo de Termofusión	43
Tabla 3. Distribución de Virolas y Ángulos según el Ángulo del Codo	45
Tabla 4. Posibles Costos de Componentes del Rediseño.....	55
Tabla 5. Comparativa entre el modelo original y el modelo modificado	56
Tabla 6. Resultados de simulaciones estructurales	57
Tabla 7. Beneficios del modelo propuesto	58

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 Cálculo para hallar la presión de fusión(psi).....	51
Ecuación 2 Calculo de la fuerza de soldadura(N).....	51
Ecuación 3 Calculo de fuerza de soldadura efectiva(N).....	51
Ecuación 4 área de sección transversal del tubo(m ²)	52
Ecuación 5 Calculo de la presión de soldadura(psi).....	52

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo el rediseño de la máquina de termofusión McElroy 618, con la finalidad de optimizar la fabricación de codos de 6 a 18 pulgadas en tuberías de polietileno de alta densidad (HDPE). Actualmente, dicha máquina presenta limitaciones en la alineación angular y en la independencia del cilindro hidráulico, lo que dificulta la producción eficiente de estos componentes.

Para dar solución a este problema, se realizó un análisis detallado del funcionamiento del equipo y se diseñó un sistema de ajuste angular en la base de las mordazas, complementado por un sistema de elevación basado en un mecanismo de tornillo sinfín y corona. Este mecanismo incorpora un eje con rosca trapecial dispuesto de forma vertical, que permite regular el ángulo requerido para la fabricación de codos. Todo el sistema es accionado mediante un motor eléctrico, lo que garantiza precisión y facilidad en la regulación del ángulo de termofusión.

La validación del rediseño se efectuó a través de simulaciones estructurales en SolidWorks, comprobando que los componentes resisten adecuadamente las cargas y esfuerzos propios del proceso de termofusión.

Los resultados obtenidos demostraron que las modificaciones propuestas permiten un ajuste preciso del ángulo de soldadura, además de mejorar la eficiencia del proceso, reducir los tiempos de operación y garantizar una alineación óptima durante la fabricación de codos.

Se concluye que el rediseño de la McElroy 618 mejora de manera significativa su funcionalidad, proporcionando una solución práctica y eficiente para la fabricación de conexiones en HDPE. Esta mejora representa un beneficio importante para la industria minera, de hidrocarburos y otras aplicaciones que requieren tuberías de alta resistencia y precisión en sus uniones.

Palabras clave: Máquina de termofusión, fabricación de codos, tubería de polietileno de alta densidad

ABSTRACT

This research aims to improve the design of the McElroy 618 heat fusion machine to optimize the manufacturing of 6- to 18-inch elbows in high-density polyethylene (HDPE) pipe. Currently, this machine has limitations in angular alignment and hydraulic cylinder independence, which hinders efficient elbow production.

To address this problem, an analysis of the equipment's operation was conducted, and an angular adjustment system was designed at the base of the jaws, complemented by a lifting system using a worm gear and crown mechanism. This mechanism includes a vertically arranged trapezoidal threaded shaft, allowing adjustment to the angle required for elbow manufacturing. The entire system is driven by an electric motor, ensuring precision and ease of adjustment of the heat-fusion angle. The redesign was validated through structural simulations in SolidWorks, ensuring that the components can withstand the loads and stresses of the heat-fusion process.

The results demonstrated that the proposed modifications allow for precise adjustment of the weld angle and improve process efficiency, reducing operating times and ensuring optimal alignment in elbow manufacturing.

It is concluded that the redesign of the McElroy 618 significantly improves its functionality, providing a practical solution for the manufacture of HDPE fittings. This improvement will benefit the mining, hydrocarbon, and other industries requiring high-strength, precision pipe joints.

Keywords: Heat fusion machine, elbow manufacturing, high-density polyethylene pipe,

INTRODUCCIÓN

El uso de tuberías ha evolucionado significativamente desde sus orígenes, cuando su principal propósito era la conducción de agua. En la actualidad, las tuberías de polietileno de alta densidad (HDPE) se utilizan en múltiples sectores industriales, incluyendo la minería, los hidrocarburos, la industria química y las obras públicas. Su alta resistencia a sustancias químicas agresivas y su durabilidad han convertido al HDPE en un material fundamental para la infraestructura moderna.

La presente tesis se estructura en varios capítulos que permiten un desarrollo ordenado del estudio. En el Capítulo I: Planteamiento del estudio, se expone la problemática existente, relacionada con la ausencia de un equipo adecuado para la fabricación de codos de HDPE en la Mina Constancia Hudbay, así como la necesidad de optimizar el proceso de termofusión para mejorar la precisión y la calidad de los accesorios fabricados. En este capítulo, se formulan los objetivos generales y específicos de la investigación, junto con la justificación técnica, económica y social del proyecto.

El Capítulo II: Marco teórico aborda los fundamentos de la termofusión en tuberías de HDPE, las normativas vigentes y los principios de diseño mecánico aplicables. Además, se describen los componentes de la máquina McElroy 618, su funcionamiento actual y las limitaciones que presenta en el proceso de fabricación de codos.

En el Capítulo III: Metodología, se detalla el enfoque adoptado para el rediseño de la máquina de termofusión, que incluye el análisis estructural, la selección de materiales y las simulaciones realizadas en el software SolidWorks.

El Capítulo IV: Desarrollo del diseño describe en profundidad las mejoras implementadas en la máquina de termofusión, entre las que destacan el sistema de ajuste angular, la independencia del cilindro hidráulico y el sistema de elevación mediante un mecanismo de tornillo sinfín y corona.

Finalmente, en el Capítulo V: Resultados y conclusiones, se presentan los principales hallazgos del estudio, la validación del diseño a través de simulaciones

y las conclusiones obtenidas. Asimismo, se destacan los beneficios del rediseño propuesto y se brindan recomendaciones para futuros trabajos de investigación y optimización en la fabricación de accesorios de HDPE.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento del problema

En el área de PROYECTOS Piping HDPE de la empresa STRACON S.A., que opera en la mina Constancia de Hudbay, se requiere con frecuencia la fabricación de accesorios de HDPE, especialmente codos en distintos diámetros, para las líneas de descarga de relaves y otras líneas aledañas. Sin embargo, no se cuenta con un equipo específico para la fabricación de estos accesorios, por lo que actualmente deben ser adquiridos a proveedores externos, lo que genera demoras de hasta cuatro semanas o más, dependiendo del proveedor y del proceso de compra.

En varias ocasiones, la falta de estos accesorios ha derivado en fugas en las líneas de descarga de relaves, debido al desgaste de los codos. Ante la ausencia de repuestos en stock, se han implementado soluciones temporales, como la aplicación de soldadura por extrusión y el refuerzo con distintos tipos de gazas. No obstante, estas soluciones solo han servido momentáneamente, sin garantizar una reparación eficiente y segura.

Actualmente, los codos se fabrican de manera empírica, adaptando la máquina de termofusión con tacos de madera para generar el ángulo requerido. Este método no permite un control de calidad adecuado por posibles desplazamientos de la tubería por ello no es posible registrar los parámetros de presión y tiempo mediante un data logger de manera exacta, según lo establecido en la norma ASTM F2620-12.

Por lo tanto, se plantea el rediseño de la máquina de termofusión modelo 618 de la marca McElroy, actualmente utilizada en campo. Esta máquina cuenta con un sistema de rodamiento sobre orugas que le permite desplazarse en diferentes terrenos, como zanjas, excavaciones y zonas pantanosas. Con la implementación de este nuevo diseño, se pretende garantizar la calidad en la

fabricación de codos de HDPE, optimizando el proceso de producción y reduciendo el impacto ambiental.

1.2. Formulación del problema

Ante esta problemática, se decide realizar el rediseño de máquina de termofusión 618 McElroy para fabricación de codos de 6" a 18". para la empresa STRACON en Cusco. Este equipo contará con un sistema de regulación de ángulos, permitiendo la fabricación de codos en los distintos diámetros mencionados donde nos ayudará la sujeción de manera firme de la tubería HDPE. Además, garantizará un adecuado control de calidad mediante el uso de un data logger, dispositivo autónomo que registra los parámetros de tiempo, temperatura y presión, determinados por el diámetro y espesor de la tubería.

En el sector minero, las tuberías de HDPE son ampliamente utilizadas para el transporte de fluidos debido a sus propiedades químicas, mecánicas y su alta resistencia a la corrosión. La unión de estas tuberías se realiza mediante el proceso de termofusión, por lo que resulta fundamental establecer un sistema que asegure la calidad en la fabricación de codos. En este contexto, el presente proyecto se enfocará en el desarrollo de un diseño eficiente y funcional para la fabricación de estos accesorios dentro de la unidad minera, optimizando tiempos y reduciendo costos operativos.

1.2.1. Problema General

¿Cómo rediseñar la máquina de termofusión 618 McElroy para que permita la fabricación eficiente de codos de 6" a 18" en tuberías HDPE?

1.2.2. Problema Específico

¿Cómo diagnosticar las limitaciones estructurales y funcionales del equipo de termofusión 618 McElroy actual mediante un análisis estructural?

¿De qué manera diseñar un sistema mecánico de inclinación para las mordazas del equipo que permita realizar soldaduras de ángulo y la fabricación de codos en tuberías HDPE?

¿Cómo validar el desempeño estructural del nuevo diseño propuesto mediante simulaciones computacionales de elementos finitos bajo condiciones operativas?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Rediseño de la máquina de termofusión 618 McElroy para la fabricación de codos HDPE de 6" a 18".

1.3.2. Objetivo específico

Diagnosticar las limitaciones estructurales y funcionales del equipo de termofusión 618 McElroy actual mediante un análisis estructural.

Diseñar un sistema mecánico de inclinación para las mordazas del equipo que permita realizar soldaduras de ángulo y la fabricación de codos en tuberías HDPE.

Validar el desempeño estructural del nuevo diseño propuesto mediante simulaciones computacionales de elementos finitos.

1.4. Hipótesis y variables

1.4.1. Hipótesis

Hipótesis general

Si se rediseña la máquina de termofusión 618 McElroy incorporando un sistema de inclinación que permita soldaduras en ángulo, entonces será posible fabricar codos de tuberías HDPE de 6" a 18" de manera eficiente, precisa y funcional.

Hipótesis específicas

Si se diagnostican adecuadamente las limitaciones estructurales y funcionales del equipo de termofusión 618 McElroy actual mediante un análisis estructural, entonces se podrá identificar con precisión las áreas críticas a intervenir en el rediseño.

Si se diseña un sistema mecánico de inclinación para las mordazas del equipo, entonces será posible realizar soldaduras en ángulo y fabricar codos en tuberías HDPE de 6" a 18".

Si se valida el desempeño estructural del nuevo diseño mediante simulaciones computacionales de elementos finitos bajo condiciones operativas, entonces se podrá garantizar su funcionamiento seguro y eficiente.

1.4.2. Definición de variables

Variable independiente

Rediseño de la máquina de termofusión 618 MCELROY. Esta variable se refiere a las modificaciones estructurales, funcionales y de diseño realizadas al equipo de termofusión, lo cual incluye la incorporación de un sistema mecánico de inclinación en las mordazas que permita realizar soldaduras en ángulo, para ello el rediseño abarca tanto los aspectos técnicos del sistema como su validación mediante análisis estructurales y simulaciones computacionales.

Variable dependiente

La fabricación de codos HDPE de 6" a 18'. Esta variable representa la capacidad del equipo rediseñado para producir codos de tuberías de polietileno de alta densidad (HDPE) en rangos de 6 a 18 pulgadas, mediante procesos de termofusión con soldadura angular.

Precisa, para ello se evaluará en función de la viabilidad técnica, funcional y operativa del proceso con el nuevo diseño.

1.5. Justificación e importancia

1.5.1. Justificación técnica

El rediseño de la máquina de termofusión 618 McElroy representa un aporte significativo al campo de la ingeniería mecánica aplicada a procesos de termofusión, específicamente en la fabricación de accesorios como codos en tuberías HDPE. Actualmente, existe una limitada disponibilidad de equipos que permitan realizar soldaduras en ángulo con precisión para diámetros grandes (de 6" a 18"), lo que constituye un vacío en la tecnología existente para aplicaciones mineras e industriales. Según Vásquez (2012), el avance en la adaptabilidad de sistemas mecánicos a condiciones de operación específicas es clave para la eficiencia en los procesos industriales. Por tanto, esta investigación amplía la base teórica sobre rediseño de maquinaria especializada que integrando fundamentos de mecánica estructural y automatización de procesos.

1.5.2. Justificación práctica

El presente trabajo busca resolver un problema operativo concreto identificado en la empresa STRACON, relacionada con la imposibilidad de fabricar codos en tuberías HDPE con el equipo de termofusión actual. Mediante el rediseño de la máquina 618 McElroy, se busca incorporar un sistema de inclinación en las mordazas, lo que permitirá realizar soldaduras angulares sin necesidad de herramientas externas o procesos manuales adicionales, lo cual reducirá significativamente los tiempos de operación y los costos. Según Tutasi y García (2021), la innovación en maquinaria industrial tiene un impacto directo en la productividad, especialmente en sectores como el minero, donde la eficiencia operativa es un factor clave. Por lo tanto, esta solución técnica se traducirá en beneficios económicos, operativos y de calidad para la empresa.

1.5.3. Justificación económica

El rediseño de la máquina de termofusión 618 McElroy para la fabricación de codos de 6" a 18" en tuberías HDPE presenta una alta

justificación económica, ya que permite a la empresa STRACON reducir significativamente los costos asociados a la adquisición de accesorios prefabricados, ya que la capacidad de fabricar codos con el mismo equipo de termofusión incrementa la eficiencia de los procesos, disminuye los tiempos de parada y mejora la disponibilidad operativa en el entorno minero. Según Vásquez, Domínguez & Rodríguez (2007), la inversión en mejoras tecnológicas enfocadas en la autonomía operativa genera un retorno económico favorable a corto y mediano plazo, especialmente en sectores con alta demanda logística y técnica como la minería. De esta manera, el presente proyecto representa una alternativa económicamente viable que contribuirá a la sostenibilidad financiera de las operaciones al disminuir los costos operativos y aumentar la productividad.

1.5.4. Importancia

La presente investigación es de gran importancia tanto a nivel técnico como industrial, ya que responde a una necesidad concreta del sector minero relacionada con la optimización de los procesos de unión de tuberías HDPE mediante termofusión, ya que la posibilidad de fabricar codos de gran diámetro (de 6" a 18") directamente en campo, sin depender de proveedores externos o métodos artesanales, representa un avance significativo en la autonomía y eficiencia de las operaciones. Por lo tanto, esta investigación no solo tendrá un impacto positivo para la empresa STRACON, sino que también puede ser replicable en otros contextos industriales donde se empleen tuberías HDPE, contribuyendo al desarrollo tecnológico y a la mejora continua en la industria.

1.6. Delimitación del proyecto

1.6.1. Delimitación espacial

La investigación del presente estudio se desarrollará en la empresa STRACON, ubicada en la región de Cusco, Perú. En particular, se enfoca en las actividades realizadas en la unidad minera Constancia, operada por Hudbay, donde se requiere ejecutar procesos de soldadura por termofusión en campo para la fabricación de codos en tuberías HDPE. Este entorno

operativo representa un contexto real de aplicación, caracterizado por exigencias técnicas específicas y condiciones de trabajo propias del sector minero.

1.6.2. Delimitación temporal

El estudio y desarrollo del proyecto se llevará a cabo dentro del periodo establecido en el cronograma de investigación, abarcando desde el diagnóstico del equipo existente hasta la propuesta, validación y evaluación del rediseño. Las actividades comprenden un horizonte temporal de ejecución técnica y metodológica planificada, que incluye análisis estructurales, diseño mecánico, simulación computacional y revisión de viabilidad económica, todo ello enmarcado dentro de un año calendario.

1.6.3. Delimitación teórica

Esta investigación se sustenta en los principios del diseño mecánico, la ingeniería estructural y la termofusión de tuberías HDPE, enfocándose en el rediseño del equipo de termofusión 618 McElroy mediante herramientas de modelado y simulación por elementos finitos (FEA). Por lo tanto, el análisis estructural se delimita exclusivamente al estudio de cargas estáticas, dado que las condiciones operativas del equipo como la sujeción de tuberías y la aplicación de calor ocurren en un régimen cuasi-estático sin presencia significativa de impactos o vibraciones. Por lo tanto, no se realizarán simulaciones dinámicas, ya que el comportamiento del sistema puede evaluarse adecuadamente bajo cargas constantes o de baja variación en el tiempo. Esta decisión se justifica desde una perspectiva técnica y metodológica, puesto que el análisis estático es suficiente para validar la resistencia y funcionalidad del diseño propuesto (Beer y Johnston, 2017).

1.7. Justificación e importancia

1.7.1. Justificación técnica

El rediseño de la máquina de termofusión 618 McElroy representa un aporte significativo al campo de la ingeniería mecánica aplicada a procesos

de termofusión, específicamente en la fabricación de accesorios como codos en tuberías HDPE. Actualmente, existe una limitada disponibilidad de equipos que permitan realizar soldaduras en ángulo con precisión para diámetros grandes (de 6" a 18"), lo que constituye un vacío en la tecnología existente para aplicaciones mineras e industriales. Según Vásquez (2012), el avance en la adaptabilidad de sistemas mecánicos a condiciones de operación específicas es clave para la eficiencia en los procesos industriales. Por tanto, esta investigación amplía la base teórica sobre rediseño de maquinaria especializada que integrando fundamentos de mecánica estructural y automatización de procesos.

1.7.2. Justificación practica

El presente trabajo busca resolver un problema operativo concreto identificado en la empresa STRACON, relacionada con la imposibilidad de fabricar codos en tuberías HDPE con el equipo de termofusión actual. Mediante el rediseño de la máquina 618 McElroy, se busca incorporar un sistema de inclinación en las mordazas, lo que permitirá realizar soldaduras angulares sin necesidad de herramientas externas o procesos manuales adicionales, lo cual reducirá significativamente los tiempos de operación y los costos. Según Tutasi y García (2021), la innovación en maquinaria industrial tiene un impacto directo en la productividad, especialmente en sectores como el minero, donde la eficiencia operativa es un factor clave. Por lo tanto, esta solución técnica se traducirá en beneficios económicos, operativos y de calidad para la empresa.

1.7.3. Justificación económica

El rediseño de la máquina de termofusión 618 McElroy para la fabricación de codos de 6" a 18" en tuberías HDPE presenta una alta justificación económica, ya que permite a la empresa STRACON reducir significativamente los costos asociados a la adquisición de accesorios prefabricados, ya que la capacidad de fabricar codos con el mismo equipo de termofusión incrementa la eficiencia de los procesos, disminuye los tiempos de parada y mejora la disponibilidad operativa en el entorno minero. Según

Vásquez, Domínguez & Rodríguez (2007), la inversión en mejoras tecnológicas enfocadas en la autonomía operativa genera un retorno económico favorable a corto y mediano plazo, especialmente en sectores con alta demanda logística y técnica como la minería. De esta manera, el presente proyecto representa una alternativa económicamente viable que contribuirá a la sostenibilidad financiera de las operaciones al disminuir los costos operativos y aumentar la productividad.

1.7.4. Importancia

La presente investigación es de gran importancia tanto a nivel técnico como industrial, ya que responde a una necesidad concreta del sector minero relacionada con la optimización de los procesos de unión de tuberías HDPE mediante termofusión, ya que la posibilidad de fabricar codos de gran diámetro (de 6" a 18") directamente en campo, sin depender de proveedores externos o métodos artesanales, representa un avance significativo en la autonomía y eficiencia de las operaciones. Por lo tanto, esta investigación no solo tendrá un impacto positivo para la empresa STRACON, sino que también puede ser replicable en otros contextos industriales donde se empleen tuberías HDPE, contribuyendo al desarrollo tecnológico y a la mejora continua en la industria.

1.8. Delimitación del proyecto

1.8.1. Delimitación espacial

La investigación del presente estudio se desarrollará en la empresa STRACON, ubicada en la región de Cusco, Perú. En particular, se enfoca en las actividades realizadas en la unidad minera Constancia, operada por Hudbay, donde se requiere ejecutar procesos de soldadura por termofusión en campo para la fabricación de codos en tuberías HDPE. Este entorno operativo representa un contexto real de aplicación, caracterizado por exigencias técnicas específicas y condiciones de trabajo propias del sector minero.

1.8.2. Delimitación temporal

El estudio y desarrollo del proyecto se llevará a cabo dentro del periodo establecido en el cronograma de investigación, abarcando desde el diagnóstico del equipo existente hasta la propuesta, validación y evaluación del rediseño. Las actividades comprenden un horizonte temporal de ejecución técnica y metodológica planificada, que incluye análisis estructurales, diseño mecánico, simulación computacional y revisión de viabilidad económica, todo ello enmarcado dentro de un año calendario.

1.8.3. Delimitación teórica

Esta investigación se sustenta en los principios del diseño mecánico, la ingeniería estructural y la termofusión de tuberías HDPE, enfocándose en el rediseño del equipo de termofusión 618 McElroy mediante herramientas de modelado y simulación por elementos finitos (FEA). Por lo tanto, el análisis estructural se delimita exclusivamente al estudio de cargas estáticas, dado que las condiciones operativas del equipo como la sujeción de tuberías y la aplicación de calor ocurren en un régimen cuasi-estático sin presencia significativa de impactos o vibraciones. Por lo tanto, no se realizarán simulaciones dinámicas, ya que el comportamiento del sistema puede evaluarse adecuadamente bajo cargas constantes o de baja variación en el tiempo. Esta decisión se justifica desde una perspectiva técnica y metodológica, puesto que el análisis estático es suficiente para validar la resistencia y funcionalidad del diseño propuesto (Beer y Johnston, 2017).

CAPITULO II:

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del problema

A lo largo del tiempo, las instalaciones, máquinas y equipos de soldadura han experimentado importantes variaciones a medida que la tecnología avanza rápidamente. Estos equipos han incorporado sistemas de operación que permiten un uso más sencillo, configuraciones que brindan al operador la posibilidad de ofrecer soluciones rápidas y fiables frente a los distintos problemas que se presentan. A nivel mundial, se utilizan en diversas actividades, especialmente en los sectores de minería, construcción, agricultura e irrigaciones.

En este contexto, se hace mención al proyecto de tesis desarrollado por los autores Álvarez Briceño Ricardo y Peña Saltos Carlos Luis (2010) de la Escuela Politécnica Nacional de Quito, titulado “Diseño y simulación de un sistema de mordazas hidráulicas para una máquina universal de ensayos marca Tenius Olsen modelo Super L”, donde se describe el diseño de un sistema de sujeción mediante mordazas hidráulicas con juntas empernadas. Este sistema de sujeción está compuesto por dos subsistemas: uno mecánico y otro hidráulico. El subsistema mecánico tiene como función sujetar las probetas mediante dos mordazas que se deslizan sobre un cuerpo con planos inclinados, lo que genera un efecto autoajustante. La principal función es proporcionar la fuerza necesaria para la sujeción de las probetas hasta que se produzca el autoajuste. Asimismo, se describen las características físicas y geométricas de las mordazas hidráulicas. No obstante, el diseño no contempla la independización de las mordazas ni especifica un sistema de sujeción múltiple con cuatro mordazas y dos cilindros hidráulicos por lado, que sería necesario considerar para ciertas aplicaciones y simulaciones. Sin embargo, este proyecto aporta información importante sobre las características, diseño y posibles aplicaciones de los sistemas de sujeción, lo

que constituye una base valiosa para la ejecución de nuevos trabajos en esta área [1].

De igual forma, se toma en consideración el proyecto de tesis de John Jairo Cely Cubides (2018) de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas de Bogotá, titulado “Diseño y fabricación de dos sistemas de sujeción para el centro de mecanizado Leadwell V20-I”, en el cual se desarrolla un sistema de mordaza escalonada que permite la sujeción de piezas de espesores inferiores a 40 milímetros, incluidas piezas cilíndricas y de geometría irregular. El funcionamiento de la prensa de mordaza móvil es correcto; sin embargo, se evidencian ciertas deficiencias en el sistema de amarre para piezas de 90°, particularmente en aquellas con espesores menores a 40 milímetros. Pese a estas limitaciones, se concluye que ambos sistemas de sujeción son funcionales y cumplen con los requerimientos planteados al inicio del trabajo de investigación. Este estudio proporciona información relevante sobre el diseño y funcionamiento de sistemas de sujeción, aunque no se contempla la implementación de un sistema hidráulico, lo cual resulta fundamental para aplicaciones que requieren alta precisión y fuerza de sujeción, como los procesos de termofusión en tuberías HDPE. A pesar de ello, los principios de diseño y los conocimientos adquiridos son aplicables a proyectos que buscan optimizar sistemas de sujeción en equipos de soldadura de tuberías [2].

Por otra parte, se destaca el proyecto de Corona, J., Centeno, R., Romero, M. y Oliva, A. (2019), titulado “Diseño y fabricación de un sistema mecánico elevador para el manejo de una cámara de vacío”, en el cual se presenta el desarrollo de un dispositivo mecánico diseñado para el manejo seguro y eficiente de una sección pesada de una cámara de vacío, empleada en procesos de deposición por sputtering. El sistema consta de dos tubos de acero que permiten el desplazamiento axial mediante un tornillo de potencia. El tubo exterior permanece fijo y está conectado a una caja reductora de velocidad que alberga el sistema de transmisión corona-sinfín, un limitador de torque y el tornillo de potencia. Por su parte, el tubo interior móvil cuenta en

su parte superior con un mecanismo de cuatro barras que permite sujetar y desplazar la sección de la cámara de vacío. Este proceso se realiza mediante interruptores eléctricos accionados por un pedal y un motor de corriente continua reversible. Este sistema evidencia la importancia y aplicabilidad de los mecanismos de elevación mecánica y los sistemas de transmisión confiables, conocimientos que pueden ser trasladados al diseño de sistemas de elevación y ajuste angular en equipos de termofusión [3].

Asimismo, se resalta el plan de tesis de Condor, E. (2023), titulado “Propuestas de mejora en las líneas de agua potable y alcantarillado con tuberías de polietileno de alta densidad”, en el cual se analiza la eficiencia de las tuberías de polietileno de alta densidad (HDPE) en sistemas de agua potable y alcantarillado. El estudio compara las tuberías HDPE con las de cloruro de polivinilo (PVC) en términos de costos, tiempo de instalación y calidad. Se realizaron pruebas de termofusión, electrofusión y ensayos hidráulicos, comprobando que las tuberías HDPE presentan mayor resistencia, durabilidad y eficiencia, en comparación con las tuberías PVC. Como resultado, se logró un ahorro económico de 23,119.34 soles en un periodo de 53 días hábiles. Este estudio demuestra la importancia del uso de tuberías HDPE en infraestructuras que requieren alta resistencia y eficiencia, reforzando la necesidad de contar con equipos de sujeción y soldadura optimizados para garantizar la calidad de las uniones [4].

Cabe reiterar que, a lo largo del tiempo, las instalaciones, máquinas y equipos de soldadura han evolucionado a un ritmo acelerado, incorporando sistemas de operación cada vez más eficientes y de fácil uso, que permiten a los operadores ofrecer soluciones rápidas y fiables ante los distintos problemas que se presentan en las diversas industrias. En particular, los sectores de minería, construcción, agricultura e irrigaciones se benefician considerablemente de los avances en sistemas de sujeción y soldadura, lo que resalta la importancia de proyectos que contribuyan a optimizar estos procesos.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Tuberías HDPE

El polietileno de alta densidad (HDPE, por sus siglas en inglés) es un polímero termoplástico ampliamente utilizado en la fabricación de tuberías. Este material posee propiedades excepcionales que lo convierten en una elección popular para una variedad de aplicaciones. En primer lugar, la resistencia química del HDPE es destacable, lo que lo hace ideal para transportar una amplia gama de sustancias sin temor a la corrosión. Además, su durabilidad y resistencia a la abrasión garantizan una larga vida útil de servicio, incluso en entornos adversos como minería.

Otra de sus características resaltables es su flexibilidad, ya que poseen un módulo de elasticidad menor que las tuberías tradicionales. Por ello, facilita su instalación, especialmente en terrenos irregulares o áreas propensas a movimientos del suelo, como movimientos sísmicos, sobrepresiones y cargas eléctricas. Esta característica también contribuye a la capacidad de la tubería para resistir impactos y deformaciones sin comprometer su integridad estructural.

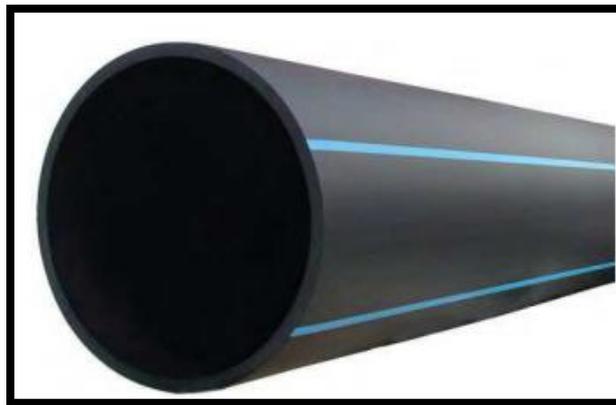


Figura 1. Tuberías lisas de HDPE. Tomada «Manual de tuberías de PE», por Instituto de Tuberías de Plástico (PPI), 2008.

Estas tuberías cuentan con un peso inferior que la mayoría de las tuberías, teniendo una gravedad específica de 0.95 y son de 70-90% más livianas que el concreto, fierro o acero. su ligereza facilita el transporte y la

manipulación, disminuyendo la huella ambiental asociada con su fabricación y distribución (EUROTUBO S.A.C., 2024).

a) Proceso de fabricación de las tuberías de HDPE por método de la extrusión

Las características del polietileno lo hacen apto para ser procesado mediante extrusión, un método ampliamente utilizado para fabricar una gran variedad de productos plásticos, entre ellos los tubos de HDPE. A continuación, se detallan las etapas principales de este proceso (IGC S.R.L, 2024):

- **Preparación de la materia prima:**

Para fabricar tuberías es necesario disponer de polietileno de alta densidad en grandes volúmenes. Antes de introducir este material en la extrusora, se realizan pruebas para verificar su idoneidad, siendo esencial que esté completamente seco. Si se detecta humedad, la granza debe secarse a una temperatura de 105 °C para evitar defectos en el producto final.

- **Fusión del material:**

El HDPE utilizado en la extrusión viene en forma de pequeñas partículas llamadas granza, lo que facilita su fusión uniforme y rápida. Antes de ingresar al equipo, el material se precalienta para optimizar el rendimiento de la extrusora. Luego, atraviesa una cámara calefactada en la que se funde completamente hasta alcanzar un estado adecuado para el moldeo.

- **Moldeo mediante el cabezal de extrusión:**

Al final del recorrido, la extrusora cuenta con un cabezal moldeador que le da forma al tubo según el diseño deseado, definiendo su diámetro y el grosor de sus paredes. Este método permite producir grandes longitudes de tubería de manera continua y eficiente. Además, al no tener uniones, se reduce el riesgo de fallos estructurales.

- **Conformado y calibración:**

Al salir del cabezal, el material aún está caliente y maleable, por lo que se introduce en un tanque de vacío donde se enfría rápidamente mediante un baño de agua. En esta etapa, se busca que el interior de la tubería alcance una temperatura de aproximadamente 85 °C. Posteriormente, se estira a una velocidad específica, lo cual, junto con la rotación del husillo, determina el espesor final de la tubería. Finalmente, se procede a marcar el producto conforme a las normas vigentes.

- **Corte o enrollado**

Gracias a su flexibilidad, los tubos de menor diámetro pueden enrollarse en bobinas para facilitar su transporte y comercialización. En cambio, las tuberías de mayor tamaño se cortan en secciones que comúnmente oscilan entre los 6 y 12 metros, según los estándares comerciales del sector.

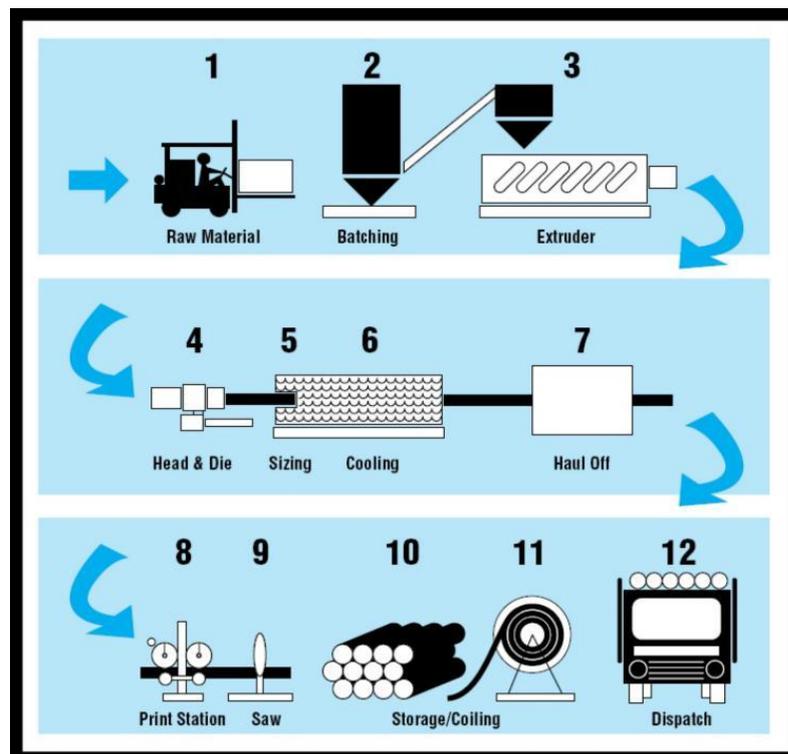


Figura 2. Manufactura de tubos de HDPE. Tomada de <<Manufactura de tubos de HDPE para riego>>, por EO Plastic Pipe, s.n.

2.2.2. Procesos de soldadura

La soldadura es un proceso donde se une los materiales para unir metales y no metales producidos mediante calentamiento a una temperatura adecuada con o sin presión y/o aditivos, donde existen más de 50 procesos de soldadura diferentes para uso industrial. Estos procesos se utilizan en pequeñas empresas para ensamblar o reparar piezas, así como en grandes industrias como la aeroespacial, petrolera y de transporte para producir piezas, estructuras y tuberías (UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN SIMÓN, 2014).

Muchos procesos de soldadura pueden ser de gran interés industrial, como la soldadura por puntos en la industria automotriz, mientras que otros son de uso limitado, como la soldadura por rayo láser en aplicaciones aeroespaciales (Costa, 2015).

2.2.3. Soldadura por termofusión a tope

La unión por termofusión se ha convertido en el estándar para la instalación de tuberías HDPE con un diámetro igual o superior a 90 mm y espesores de pared que superan los 3 mm. Este proceso implica calentar la tubería hasta alcanzar su temperatura de fusión y, al aplicar una presión controlada, lograr la unión de tubo a tubo, también conocida como unión a tope. Es esencial que tanto la tubería como las conexiones a unir compartan el mismo diámetro interior y exterior. Este método es reconocido en la industria por ofrecer uniones altamente confiables, ser coste efectivo, prescindir de coplas, prevenir filtraciones y producir uniones más resistentes que la propia tubería. La soldadura por termofusión posibilita la construcción de líneas de conducción extraordinariamente seguras gracias a su estructura "monolítica", donde el punto de soldado es incluso más resistente que el resto del tubo (Plexco de México S.A. de C.V., 2003).

Estas máquinas de soldar, cada vez más automatizadas, facilitan el proceso de soldadura y permiten la generación de informes detallados de las soldaduras. Esta funcionalidad resulta crucial para la trazabilidad de las uniones, especialmente al justificar el progreso diario ante el cliente. La

clasificación de las máquinas de soldar abarca tanto manuales como automáticas. Las máquinas manuales permiten que el operador controle los parámetros de soldadura, mientras que las automáticas ajustan dichos parámetros internamente, sin posibilidad de modificación por parte del operador (Plexco de México S.A. de C.V., 2003).

- **Principios de la soldadura por termofusión**

La técnica de soldadura a tope implica el calentamiento de los extremos de los tubos a unir utilizando una placa calefactora, la cual se mantiene entre los 210 y 225 °C. Los tubos se unen aplicando una presión predefinida específica para cada tipo de tubo, establecida como una constante de 0.15 N/mm² en todos los casos. La presión utilizada para la unión de los tubos es constante y afecta al sistema hidráulico, siendo influenciada por la superficie de la sección de cada tubo a unir, manteniendo las presiones para la unión de los tubos y la sección de la superficie de los pistones como constantes preestablecidas (Plexco de México S.A. de C.V., 2003).

En cuanto al proceso, se considera el tiempo de calentamiento necesario para alcanzar una zona fundida suficiente. El tiempo de enfriamiento debe gestionarse cuidadosamente, evitando tiempos demasiado cortos que puedan provocar roturas frágiles debido a tensiones internas. La rampa de presión al finalizar el calentamiento requiere la unión rápida de los extremos de los tubos, pero la aplicación de presión debe ser gradual. Posteriormente, la retirada de la placa y el cierre de los tubos deben llevarse a cabo en el menor tiempo posible, preferiblemente en menos de 10 segundos, para evitar el enfriamiento rápido de las superficies fundidas.

La presión de fusión, situada en el rango de 0.10-0.22 N/mm², se determina mediante la tabla de la máquina más la presión de arrastre. El valor de p_2 suele ser un 10% de p_1 . En cuanto a la temperatura, su rango oscila entre 200–230°C, y no se observan diferencias significativas en la resistencia de la soldadura con

pequeñas variaciones en la temperatura de la placa y la presión. En resumen, estos parámetros destacan que cambios mínimos en la temperatura y presión apenas afectan la calidad de las uniones (Plexco de México S.A. de C.V., 2003).



Figura 3. Proceso de termofusión. Tomada de «Partes de una máquina de termofusión a tope», por Grupo Hidráulica, 2022.

2.2.4. Factores importantes para la soldadura de termofusión

- **Temperatura de Fusión**

La temperatura de fusión es crítica para lograr una soldadura eficiente. Un rango incorrecto puede resultar en una unión defectuosa. La temperatura debe ser cuidadosamente controlada para garantizar la adecuada fusión de los extremos de los tubos.

- **Presión Aplicada:**

La presión ejercida durante la fusión determina la resistencia y la integridad de la unión. Una presión adecuada es esencial para asegurar una conexión sólida entre los tubos calentados. La uniformidad y velocidad de aplicación de la presión también son factores importantes para evitar irregularidades en la soldadura.

- **Velocidad y Uniformidad de la Presión:**

La velocidad con la que se aplica la presión y su uniformidad juegan un papel clave en la prevención de posibles defectos en la soldadura. Un control preciso de estos factores contribuye a obtener una unión más homogénea y resistente.

- **Tiempo de Enfriamiento:**

El tiempo de enfriamiento debe ser gestionado cuidadosamente para evitar tensiones internas en la soldadura. Un tiempo inadecuado podría resultar en una cohesión deficiente entre los materiales, comprometiendo la calidad y la durabilidad de la unión.

- **Preparación de Superficies:**

La limpieza y preparación adecuadas de las superficies de unión son esenciales. Superficies contaminadas o mal preparadas pueden conducir a soldaduras defectuosas. La eliminación de impurezas y la aplicación de técnicas de preparación adecuadas son cruciales.

- **Compatibilidad de Materiales:**

La elección y compatibilidad de los materiales a unir son factores críticos. Diferencias en las propiedades de los materiales pueden afectar la calidad de la soldadura. Se debe garantizar que los materiales sean compatibles y cumplan con las especificaciones requeridas.

- **Habilidades del Operador:**

La capacitación y habilidades del operador son determinantes. Un manejo preciso y controlado del proceso de termofusión contribuye significativamente a la calidad final de la soldadura. La experiencia del operador es crucial para asegurar una ejecución correcta y eficiente del proceso.

2.2.5. Verificación de Calidad

La calidad en los productos es la capacidad de cumplimiento en los estándares de calidad que se han impuesto los mismos productores, donde la

calidad puede interpretarse en cuanto a la capacidad que los mismos productores tienen para cumplir los estándares sobre los deseos y expectativas de los consumidores (Silva, 2012).

En el desarrollo de técnicas y métodos para la evaluación de calidad de soldaduras, tanto durante como después del proceso se ha indicado que la calidad de la soldadura está relacionada con las características del cordón y la zona afectada por calor, incluyendo diversos tipos de defectos, propiedades mecánicas y composición química (QA GROUP, 2024). La calidad es un síntoma relativo, la calidad, desde un punto de vista cuantitativa es una tarea difícil, ya sea en una calidad buena o mala, de la función particular para aplicar los medios de estándares percibidos y aceptados. (Sanz, 2021).

- **Método Taguchi**

Taguchi propuso que la calidad de un producto no solo depende de su conformidad con especificaciones técnicas, sino también de su desempeño a lo largo de todo su ciclo de vida, incluyendo diseño, producción, entrega y uso por parte del consumidor. Introdujo la idea de que cualquier desviación respecto al valor óptimo genera una pérdida para la sociedad, redefiniendo así el concepto de calidad (Ludeña, 2021).

Para facilitar la identificación de factores que afectan la calidad, Taguchi adaptó las matrices ortogonales de Hadamard, creando arreglos experimentales que permiten estudiar múltiples variables con un número reducido de experimentos. Cada columna de la matriz representa un factor, y cada fila corresponde a un experimento específico, lo que simplifica el análisis y la optimización de procesos (Ludeña, 2021).

2.2.6. Sistemas de sujeción hidráulicos

Los cilindros hidráulicos y las mordazas constituyen un sistema de sujeción integral en el ámbito mecánico y de fabricación. Los cilindros hidráulicos, actuadores fundamentales en maquinaria industrial, transforman

el movimiento hidráulico en energía mecánica lineal, brindando una fuerza significativa. Estos cilindros son esenciales para operaciones que requieren una sujeción potente y precisa de piezas de trabajo (Hayes Welding Solutions, 2023, p. 7).

Las mordazas, por otro lado, son dispositivos de sujeción que desempeñan un papel crucial en la fijación de piezas durante los procesos de mecanizado. Disponibles en diversas formas y tamaños, las mordazas pueden ser manuales o controladas por sistemas hidráulicos, neumáticos o eléctricos, ofreciendo una versatilidad adaptativa a diferentes necesidades de sujeción (Fuentes, 2016).

Cuando se combinan cilindros hidráulicos y mordazas, se logra un sistema de sujeción poderoso y preciso. Este sistema conjunto ofrece una solución eficiente para mantener piezas en su lugar, permitiendo operaciones de fabricación seguras y consistentes en una variedad de aplicaciones industriales (Fuentes, 2016).

- **Cilindros Hidráulicos**

Los cilindros hidráulicos funcionan como actuadores mecánicos al transformar el movimiento rotativo proveniente de una bomba en un movimiento lineal en el cilindro. Su principal aplicación radica en generar fuerza a lo largo de un recorrido lineal. Los componentes esenciales de un cilindro estándar incluyen la camisa, el vástago, el pistón, las tapas, los sellos, las entradas y salidas de fluido, y, si es necesario, un aro de anclaje. Estos elementos trabajan en conjunto para facilitar la conversión eficiente de energía rotativa en fuerza lineal en diversas aplicaciones industriales y mecánicas (Quiron, 2010).

Las partes de un cilindro estándar se conforman por:

- Cilindro o camisa
- Vástago
- Pistón
- Tapas

- Sellos
- Entrada y salida de Fluido
- Aro de anclaje (si se requiere)



Figura 4. Corte de un cilindro hidráulico. Tomada de «Materiales y características técnicas de los cilindros hidráulicos», por Sumifluid, s. f.

- **Mordazas**

En mecánica, una mordaza se refiere a un dispositivo utilizado para sujetar o fijar una pieza de trabajo en una máquina herramienta ya sean tornos, fresadoras, taladros y otras máquinas durante la operación de mecanizado. Estas pueden tener diferentes formas y tamaños, pero generalmente constan de dos partes móviles que se ajustan para sujetar la pieza de trabajo. Además, pueden ser controladas manualmente o de manera automática mediante sistemas hidráulicos, neumáticos o eléctricos, dependiendo del tipo de mordaza y de la aplicación específica (Creus, 2005).

- **Mordazas Hidráulicas**

Estos dispositivos de fijación destacan por su mecanismo de gancho de cuña preciso, que proporciona una precisión notable durante el mecanizado. Gracias a su potente accionamiento, aseguran una fijación segura en diversos procesos. Las guías de mordaza, que son endurecidas, resistentes y de ajuste preciso, contribuyen a una fijación exacta y a una vida útil significativamente prolongada. Este conjunto de características también favorece una alta repetibilidad en la fijación y

posicionamiento. Las mordazas hidráulicas están diseñadas con un sistema de lubricación optimizado para movimientos continuos, lo que las hace capaces de soportar ciclos de trabajo prolongados (Contreras, 2005).

2.2.7. Dispositivos de inclinación de Mordazas por el cilindro

Este tipo de configuración se utiliza a menudo en sistemas de sujeción para proporcionar flexibilidad y ajuste a diferentes geometrías de trabajo (Mvszka, 2012).

2.2.8. Control de calidad

La efectividad del programa de control de calidad de una soldadura se basa considerablemente en garantizar que, en cada etapa, se haya operado dentro de los intervalos adecuados de presión, temperatura y duración especificados. El cómo se configure la junta indicará directamente las correcciones de los valores asignados previamente

Generar una presión mayor que la recomendada, tendrá como resultado una fusión de baja calidad, debido a que el reborde se expulsará al diámetro exterior e interior de la fusión generando un anillo frío en el centro de la fusión. En caso contrario, que la presión sea menor que la recomendada generará una fusión inadecuada por el contacto insuficiente en el área de fusión, el reborde también debe de ser uniforme en forma y tamaño alrededor de la junta tanto en el diámetro externo y en el interno.

Medida del Tubo (mm)	Ancho del Reborde (mm)	Espesor del Reborde (mm)
32 - 90	Cerca de 2	3 - 7
90 - 160	2 - 3	7 - 9
160 - 200	3 - 5	8 - 10
200 a mas	5 - 7	13

Figura 5. Pautas de ancho y espesor del reborde fundido. Tomada de «Pautas de ancho y reborde fundido», por Almidón y Alejandro, 2005.

Tener un buen alineamiento es indispensable para que la tubería pueda soportar los esfuerzos de flexión en la zona de costura. Para poder comprobar la calidad de las instalaciones hechas con tuberías HDPE, es necesario realizar pruebas destructivas y no destructivas.

- **Ensayos no destructivos**

Estos ensayos evalúan la durabilidad o calidad de una pieza sin comprometer su utilidad, utilizando métodos físicos indirectos como la transmisión de sonido. Estos métodos no alteran de manera permanente las propiedades físicas, químicas, mecánicas o dimensionales del material, lo que permite la reutilización de la pieza después del ensayo.

La inspección de soldaduras mediante ensayos no destructivos abarca la evaluación visual de la geometría del cordón de soldadura, así como el uso de técnicas como el ultrasonido, la inspección por presión hidrostática y presión neumática. Estas pruebas son capaces de identificar defectos como desalineaciones, poros, huecos y grietas.

Aunque los ensayos no destructivos son relativamente sencillos de aplicar, es crucial que el personal encargado esté debidamente capacitado y calificado. La experiencia es fundamental para interpretar y evaluar de manera precisa los resultados, evitando el desperdicio de material o pérdidas de tiempo debido a inspecciones excesivas.

- ✓ Inspección visual
- ✓ Prueba de inspección por Ultrasonido
- ✓ Prueba de Presión Hidrostática

- **Ensayos destructivos**

Los ensayos destructivos son pruebas que implican la destrucción o alteración permanente de la muestra para evaluar sus propiedades mecánicas, físicas, químicas o estructurales. A diferencia de los ensayos no destructivos, los ensayos destructivos proporcionan

información cuantitativa de la calidad de soldadura, pero a expensas de la integridad de la muestra.

En los ensayos destructivos, se incluye la prueba de flexión, que trata de tomar una muestra de los extremos y sujetarla firmemente mientras se aplica presión uniforme en ambos lados, de ser tuberías con pared delgada se puede realizar de forma. Es esencial que antes y después de la prueba no se observen fisuras, porosidades ni cavidades en la unión, así como en el cordón interior y exterior de la tubería.

- ✓ Prueba de corte
- ✓ Prueba de desgarre

2.2.9. Sistemas de uniones

Un sistema de tuberías se encuentra conectado mediante uniones y estas se clasifican en uniones rígidas y uniones flexibles.

- **Uniones Rígidas**

Se entiende como unión rígida a las uniones de tuberías que se caracterizan por mantener su integridad sin alteraciones después de someterse a cargas. En la industria, se logran mediante soldadura a tope entre los extremos de las tuberías o a través de conexiones bridadas.

- **Uniones Flexibles**

Las uniones flexibles permiten un desplazamiento relativo entre los extremos de la unión. Aunque son efectivas para manejar esfuerzos internos elevados y adaptarse a cambios del sistema, también presentan desafíos y consideraciones importantes como necesidad de inspecciones regulares y los puntos vulnerables que pueden ser propensas a el desgaste o fallas si no se diseñan o mantienen adecuadamente.

2.2.10. Expansión térmica

Durante la expansión térmica ocurren cambios físicos en la propiedad del material, tales como en el área, volumen y densidad. Esto dependerá del material o aleación. Por lo tanto, la expansión o contracción relativa de los materiales es impulsada por un cambio de temperatura. Esto se puede calcular con el coeficiente de expansión térmica con la siguiente fórmula:

$$\Delta L = \alpha L(\Delta T)$$

Donde:

- ✓ ΔL es el cambio de longitud en la dirección de interés.
- ✓ L es la longitud inicial del material.
- ✓ ΔT es la diferencia de temperatura.
- ✓ α es la constante que se puede determinar dependiendo del material.

Este fenómeno es fácil de percibir en materiales tales como las varillas, alambres o barras, ya que el aumento en su longitud es más notable que objetos con volúmenes mayores.

2.2.11. Fatiga Mecánica

Es el debilitamiento progresivo de un material sometido a cargas de forma repetitiva, así provocando fallos estructurales sin señales previas evidentes. En sectores como industrial aeroespacial, construcción, entre otros, es uno de los fenómenos más críticos, ya que la integridad y durabilidad de los materiales en cuestión son fundamentales.

2.2.12. Tubería lisa HDPE

La clasificación del material según la normativa ISO 12162 está directamente vinculada con el tipo de resina, la cual está en función al nivel de resistencia mínima requerida (MRS). Este aspecto se tiene en cuenta en el diseño de tuberías de HDPE para garantizar un rendimiento óptimo durante 50 años a una temperatura constante de 20°C.

Designación de material	MRS MPa	Tensión de Diseño MPa
PE100	10	8
PE80	8	6.3
PE63	6.3	5

Figura 6. Nivel de resistencia mínima requerida conforme al material. Tomada de «HDPE Liso», por Iminning, s. f.

2.2.13. Tensiones máximas

Son aquellas fuerzas internas por unidad de área que un material puede experimentar cuando está sometido a grandes cargas. Estas tensiones son esenciales en los cálculos, ya que permiten predecir si una pieza mecánica podría fallar bajo alguna circunstancia en específico.

Para determinar la tensión máxima de un material, se puede aplicar los cálculos de tensiones máxima como ecuación general de esfuerzo:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Donde:

- ✓ σ es la tensión normal máxima que presenta el material (Pa o MPa)
- ✓ F es la fuerza aplicada sobre el material (N)
- ✓ A es el área transversal del material (m^2)

2.2.14. Deformaciones máximas

Se representa como el cambio en la forma o tamaño de un material cuando es sometido a una carga. Corresponden al desplazamiento o elongación más alta que puede experimentar un componente antes de una falla o deformación permanente.

- **Tipos de deformación**

Dependiendo de la naturaleza de la carga aplicada, la deformación puede aplicarse en:

- ✓ Deformación elástica

- ✓ Deformación plástica
- ✓ Deformación total

Conocer las deformaciones máximas que puede presentar un material son determinantes en el diseño de estructura y piezas mecánicas. Un exceso de esta puede provocar fallas en el ensamblaje, afectar la precisión de los componentes o comprometer la seguridad de la estructura.

2.2.15. Tipos de tubería PE

- **Polietileno de baja densidad**

Por sus siglas en inglés, LDPE es un polímero termoplástico ampliamente utilizado por su flexibilidad, ligereza y resistencia química. Su estructura molecular se caracteriza por tener cadenas ramificadas, lo que contiene menor densidad, además de una mayor elasticidad en comparación con otros tipos de polietileno.

Entre sus usos más comunes se encuentra la elaboración de bolsas de plásticos, películas para el embalaje y recubrimientos de cables eléctricos y tuberías flexibles. Su capacidad para soportar impactos sin facturarse, junto con su resistencia a la humedad y a diversos productos químicos, lo convierte en un material esencial en la industria del envasado y la construcción. Su transparencia y facilidad de procesamientos permite técnicas como la extrusión y el modelo por inyección.

Sin embargo, también presenta limitaciones, como una menor resistencia mecánica y térmica en comparación con el polietileno de alta densidad (HDPE). Aunque, su capacidad de reciclaje y uso en la fabricación de productos reutilizables ha impulsado su aplicación en soluciones más sostenibles.

- **Polietileno de media densidad**

Por sus siglas en inglés, MDPE es un material termoplástico que se sitúa en el término media densidad por sus propiedades mecánicas y estructurales. Presenta una estructura molecular flexible y resistencia,

permitiendo soportar mejores impactos y tensiones sin perder su maleabilidad.

Entre sus principales usos se encuentra la fabricación de tuberías para gas y agua, tanques de almacenamientos, envases y materiales de embalaje. Su alta resistencia a la fisuración por esfuerzos ambientales y su buena estabilidad química, lo hacen ideal para sistemas de conducción de fluidos a presión. Además, su amortiguamiento ante impactos y la resistencia a la abrasión permiten su aplicación en entornos exigentes sin comprometer su rendimiento.

El polietileno de media densidad también destaca por su facilidad de procesamiento mediante técnicas como la extracción y el moldeo por inyección, permitiendo la producción eficiente de una amplia variedad de productos.

- **Polietileno de alta densidad (HDPE o PEAD)**

Por sus siglas en inglés, HDPE o PEAD es un polímero termoplástico donde su mayor característica es su alta resistencia mecánica, rigidez y durabilidad. Su estructura molecular de cadenas líneas con baja ramificación le otorga una mayor densidad en comparación a los dos anteriores tipos de polietileno. Estas propiedades hacen que el HDPE sea un material ampliamente utilizado en aplicaciones industriales, de construcción y embalaje.

Entre sus principales usos se encuentran la fabricación de tuberías para el transporte de agua, gas y productos químicos, recipientes para almacenamiento, envases para productos de limpieza y alimentos. Su capacidad para soportar altas presiones y temperaturas sin deformarse, añadiendo su resistencia a la corrosión y la degradación por rayos UV.

Además, HDPE es un material reciclable y reutilizable, lo que contribuye a reducir el impacto ambiental del plástico. Su resistencia y vida útil prolongada minimizan la necesidad de reemplazo frecuente, favoreciendo el uso en aplicaciones sostenibles.

2.2.16. Normativa tubería lisa

- **ISO 4427 (2008) – agua potable**

Establece los requisitos para tuberías y accesorios de polietileno denominado con las siglas *PE*, utilizados en sistemas de conducción de agua potable. Definiendo las propiedades mecánicas y los métodos de ensayo para garantizar la seguridad y durabilidad del material en condiciones de presión y exposición prolongada.

- **PE 63 (1970)**

Uno de los primeros grados de polietileno para tuberías a presión, con una resistencia mínima requerida de 6.3 MPa. Su uso deriva su uso por su menor resistencia mecánica comparación con versiones más avanzadas.

- **PE 80 (1995)**

Este tipo de polietileno presenta una MRS de 8 MPa, lo que mejora su resistencia a la presión y aumenta su vida útil en sistemas de tuberías.

- **PE 100 (2000)**

Esta versión presenta una mayor optimización con una MRS de 10MPa. Este material ofrece mayor resistencia mecánica, un mejor comportamiento frente a la fisuración lenta y mayor durabilidad en comparación a sus predecesores.

TUBERÍA LISA HDPE NORMA NTP ISO 4427:2008 PE-80 y PE-100

Relación estándar de dimensiones (SDR)																	
		SDR 33 (51e)		SDR 26 (512.5)		SDR 21 (510)		SDR 17 (5e)		SDR 13.6 (56.3)		SDR 11 (55)		SDR 9 (54)		SDR 7.4 (53.2)	
		Presión Nominal															
PE-80		equiv. 4.0 bar		5.0 bar		6.0 bar		8.0 bar		10.0 bar		12.5 bar		16.0 bar		20.0 bar	
PE-100		equiv. 5.0 bar		6.0 bar		8.0 bar		10.0 bar		12.5 bar		16.0 bar		20.0 bar		25.0 bar	
DN (mm)	DN Equiv. (pulg)	e min. (mm)	Peso prom. Kg/ml	e min. (mm)	Peso prom. Kg/ml	e min. (mm)	Peso prom. Kg/ml	e min. (mm)	Peso prom. Kg/ml	e min. (mm)	Peso prom. Kg/ml	e min. (mm)	Peso prom. Kg/ml	e min. (mm)	Peso prom. Kg/ml	e min. (mm)	Peso prom. Kg/ml
20	1/2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.0	0.12	2.3	0.13	3.0	0.16
25	3/4	-	-	-	-	-	-	-	-	2.0	0.148	2.3	0.17	3.0	0.21	3.5	0.24
32	1	-	-	-	-	-	-	2.0	0.2	2.4	0.23	3.0	0.28	3.6	0.33	4.4	0.30
40	1-1/4	-	-	-	-	2.0	0.245	2.4	0.29	3.0	0.36	3.7	0.43	4.5	0.51	5.5	0.61
50	1-1/2	-	-	2.0	0.31	2.4	0.367	3.0	0.50	3.7	0.55	4.6	0.67	5.6	0.79	6.9	0.94
63	2.00	-	-	2.5	0.49	3.0	0.570	3.8	0.72	4.7	0.88	5.8	1.06	8.1	1.27	8.6	1.48
75	2-1/2	-	-	2.9	0.67	3.6	0.819	4.5	1.02	5.6	1.24	6.8	1.48	8.4	1.78	10.3	2.12
90	3	-	-	3.5	0.97	4.3	1.170	5.4	1.47	6.7	1.78	8.2	2.14	10.1	2.57	12.3	3.03
110	4	-	-	4.2	1.41	5.3	1.78	6.6	2.18	8.1	2.64	10.0	3.18	12.3	3.82	15.1	4.54
160	6	-	-	6.2	3.06	7.7	3.74	9.5	4.56	11.8	5.56	14.6	6.74	17.9	8.05	21.9	9.56
200	8	-	-	7.7	4.73	9.6	5.83	11.9	7.12	14.7	8.65	18.2	10.50	22.4	12.60	27.4	14.94
250	10	-	-	9.6	7.37	11.9	9.02	14.8	11.06	18.4	13.54	22.7	16.35	27.9	19.60	34.2	23.32
280	11	-	-	10.7	9.19	13.4	11.38	16.6	13.90	20.6	16.96	25.4	20.50	31.3	24.64	38.3	29.24
315	12	9.7	9.34	12.1	11.70	15.0	14.30	18.7	17.60	23.2	21.50	28.6	25.95	35.2	31.16	43.1	37.01
355	14	10.9	11.81	13.6	14.79	16.9	18.16	21.1	22.40	26.1	27.25	32.2	32.94	39.7	39.58	48.5	46.93
400	16	12.3	15.01	15.3	18.75	19.1	23.16	23.7	28.31	29.4	34.56	36.3	41.82	44.7	50.21	54.7	59.60
450	18	13.8	18.94	17.2	23.71	21.5	29.28	26.7	35.87	33.1	43.78	40.9	52.96	50.3	63.57	61.5	74.55
500	20	15.3	23.68	19.1	29.25	23.9	36.13	29.7	44.32	36.8	54.02	45.4	65.34	55.8	78.44	-	-
560	22	17.2	29.80	21.4	36.67	26.7	45.22	33.2	55.52	41.2	67.77	50.8	81.86	62.5	98.38	-	-
630	24	19.3	37.60	24.1	46.46	30.0	57.12	37.4	70.32	46.3	85.66	57.2	103.97	70.3	124.46	-	-
710	28	21.8	47.83	27.2	59.14	33.8	72.89	42.1	89.32	52.2	108.93	64.5	131.91	79.3	158.21	-	-
800	32	24.5	60.55	30.6	74.94	38.1	92.30	47.4	113.29	58.8	138.24	72.6	167.29	89.3	200.73	-	-
900	36	27.6	76.70	34.4	94.75	42.9	116.88	53.3	143.29	66.2	175.06	81.7	211.75	-	-	-	-
1000	40	30.6	94.46	38.2	116.90	47.7	144.36	59.3	177.09	72.5	213.25	90.2	259.91	-	-	-	-
1200	48	36.7	135.88	45.9	168.45	57.2	207.67	67.9	244.03	88.2	310.90	-	-	-	-	-	-
1400	54	42.9	185.15	53.5	229.03	66.7	282.49	82.4	344.68	102.9	423.24	-	-	-	-	-	-
1600	64	49.0	241.63	61.2	299.43	76.2	368.91	94.1	449.89	117.6	552.83	-	-	-	-	-	-
1800	72	54.5	302.56	69.1	380.25	85.7	466.60	105.9	569.33	-	-	-	-	-	-	-	-
2000	80	60.6	373.72	76.9	469.88	95.2	576.01	117.6	702.55	-	-	-	-	-	-	-	-

1) La presión nominal PN corresponde a la máxima presión de operación admisible en Bar, a 20° C.
2) Valores en pulgadas utilizados como referencia con la norma ASTM/ANSI B 36.10.
3) La relación SDR corresponde al cociente entre el diámetro externo y espesor de la tubería.

Figura 7. Tabla estandarizada para el cumplimiento de normativa ISO 4427. Tomada de «Tubería Lisa HDPE norma NTP ISO 4427», por Almidón y Alejandro, 2005.

2.2.17. ISO 8772: 2009 – alcantarillado

Esta norma regula el uso de tuberías de polietileno en sistemas de alcantarillado, asegurando su resistencia química, estructural y su capacidad de soportar cargas externas sin deformaciones. En este contexto, el PE 100 es el material predominante debido a su alta resistencia a la abrasión, larga vida útil y alta capacidad para operar en condiciones exigentes sin degradarse.

2.2.18. ASTM F-714 / ASTM D3350

Estas normas establecen los requisitos para tuberías de polietileno utilizadas en la conducción de fluidos a presión, considerando propiedades

como densidad, resistencia mecánica y comportamiento ante la propagación de grietas. En este marco, se encuentran dos clasificaciones importantes:

- **PE – 4608**

Un grado de polietileno con buenas propiedades mecánicas y resistencia química, adecuado para aplicaciones de presión moderada.

- **PE – 4710**

Una versión mejorada con mayor resistencia a la presión y excelente desempeño a largo plazo, lo que hace ideal para redes de distribución de agua, gas y aplicaciones industriales.

TUBERÍA LISA HDPE NORMA ASTM F-714: 2012																							
(1) Relación estándar de dimensión SDR																							
Presión de Trabajo (Psi)		32.5		26		21		17		15.5		13.5		11		9.3		8.3		7.3			
PE-3608		51		64		80		100		110		128		160		193		200		254			
PE-4710		63		80		100		125		138		160		200		241		250		274		317	
DN (Pulg.)	DN Equiv (mm)	e min. (mm)	Peso prom. Kg/m																				
2"	60.3	-	-	2.3	0.42	2.9	0.52	3.6	0.63	3.9	0.69	4.5	0.79	5.5	0.95	6.5	1.11	6.7	1.14	7.3	1.21	8.3	1.35
3	88.9	2.7	0.76	3.4	0.94	4.2	1.15	5.2	1.40	5.7	1.52	6.6	1.73	8.1	2.08	9.6	2.41	9.9	2.48	10.7	2.66	12.2	2.96
4	114.3	3.5	1.24	4.4	1.54	5.4	1.89	6.7	2.31	7.4	2.52	8.5	2.86	10.4	3.44	12.3	3.98	12.7	4.10	13.8	4.40	15.7	4.90
5	136.5	4.2	1.77	5.3	2.21	6.5	2.70	8.0	3.29	8.8	3.59	10.1	4.70	12.4	4.90	14.7	5.68	15.2	5.85	16.4	6.27	18.7	6.98
5 1/2	141.3	4.3	1.90	5.4	2.36	6.7	2.89	8.3	3.53	9.1	3.84	10.5	4.36	12.8	5.25	15.2	6.09	15.7	6.27	17.0	6.72	19.4	7.48
6	168.3	5.2	2.70	6.5	3.35	8.0	4.10	9.9	5.00	10.9	5.45	12.5	6.19	15.3	7.45	18.1	8.64	18.7	8.89	20.3	9.53	23.1	10.61
7	181.0	5.6	3.12	7.0	3.87	8.6	4.75	10.7	5.80	11.7	6.31	13.4	7.16	16.5	8.62	19.5	9.99	20.1	10.28	21.8	11.02	24.8	12.28
8	219.1	6.7	4.57	8.4	5.68	10.4	6.95	12.9	8.48	14.1	9.24	16.2	10.49	19.9	12.63	23.6	14.64	24.3	14.79	26.4	16.15	30.0	17.99
10	273.1	8.4	7.12	10.5	8.80	13.0	10.80	16.1	12.87	17.6	14.36	20.2	15.95	24.8	19.62	29.4	22.75	30.3	22.97	32.9	25.09	37.4	27.95
12	323.8	10.0	9.99	12.4	12.39	15.4	14.84	19.1	18.53	20.9	19.85	24.0	22.92	29.4	27.58	34.8	31.98	36.0	32.91	39.0	35.28	44.4	39.30
13	339.7	10.5	11.02	13.1	13.63	16.2	16.72	20.0	20.39	21.9	22.22	25.2	25.23	30.9	30.36	36.5	35.2	37.7	36.22	40.9	38.82	46.5	43.25
14	355.6	10.9	12.07	13.7	14.93	16.9	17.89	20.9	21.84	22.9	23.91	26.3	27.64	32.3	32.60	38.2	38.57	39.5	39.68	42.8	42.54	48.7	47.39
16	406.4	12.5	15.74	15.6	19.51	19.4	23.92	23.9	28.52	26.2	31.8	30.1	35.34	36.9	42.59	43.7	50.38	45.2	51.83	49.0	55.56	55.7	61.90
18	457.2	14.1	19.94	17.6	24.70	21.8	29.58	26.9	36.93	29.5	39.53	33.9	44.73	41.6	54.00	49.2	63.78	50.8	65.60	55.1	70.32	62.6	78.34
20	508.0	15.6	26.60	19.5	29.77	24.2	36.52	29.9	44.58	32.8	48.80	37.6	55.22	46.2	67.88	54.6	78.71	56.4	79.87	61.2	86.80	-	-
21.5	546.1	16.8	28.46	21.0	35.25	26.0	43.20	32.1	52.69	35.2	57.41	40.5	65.19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22	558.8	17.2	29.78	21.5	36.90	26.6	44.18	32.9	53.94	36.1	59.04	41.4	66.90	50.8	82.14	60.1	95.24	62.1	96.63	-	-	-	-
24	609.6	18.7	35.42	23.4	42.87	29.0	51.00	35.9	64.19	39.3	70.27	45.2	79.60	55.4	97.75	65.5	113.35	67.7	115.03	-	-	-	-
26	660.4	20.3	41.59	25.4	51.55	31.4	63.17	38.8	77.05	42.6	83.96	48.9	96.34	60.0	114.72	71.0	133.03	-	-	-	-	-	-
28	711.2	21.9	48.26	27.4	59.79	33.9	73.26	41.8	89.36	45.9	97.37	52.7	110.57	64.7	133.05	76.5	154.28	-	-	-	-	-	-
30	762.0	23.4	55.37	29.3	68.64	36.3	84.10	44.8	102.58	49.2	111.78	56.4	126.93	69.3	152.74	81.9	177.11	-	-	-	-	-	-
32	812.8	25.0	63.03	31.3	78.10	38.7	95.69	47.8	116.72	52.4	127.18	60.2	144.42	73.9	173.78	-	-	-	-	-	-	-	-
34	863.6	26.6	71.12	33.2	88.17	41.1	108.03	50.8	131.76	55.7	143.58	64.0	163.04	78.5	196.19	-	-	-	-	-	-	-	-
36	914.4	28.1	79.76	35.2	98.85	43.5	121.11	53.8	147.72	59.0	160.96	67.7	182.78	83.1	219.95	-	-	-	-	-	-	-	-
42	1066.8	32.8	108.51	41.0	134.48	50.8	164.84	62.8	201.05	68.8	219.09	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
48	1219.2	37.5	141.77	46.9	175.68	58.1	215.31	71.7	262.61	78.7	286.16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
54	1371.6	42.2	179.49	52.8	222.55	65.3	272.43	80.7	332.43	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

* Diámetro no contemplado por la norma ASTM F714. Espesor calculado utilizando la ecuación recomendada por la norma.

Figura 8. Tabla estandarizada para el cumplimiento de normativa ASTM F-714. Tomada de «Tubería Lisa HDPE norma NTP ISO 4427:2008 PE-80 y PE-100», s. f.

2.2.19. NTP ISO 4437: 2004 (combustible gaseoso)

La norma ISO 4437:2004 regula el uso de tuberías de polietileno en sistemas de distribución de gas. Este estándar define los criterios de seguridad y desempeño que deben cumplir los materiales para garantizar la integridad de las redes de gas a lo largo del tiempo. El HDPE, en sus versiones más avanzadas, más en específico el PE 100, es mayormente utilizado en

este sector debido a su alta resistencia a la fisuración lento, su flexibilidad y su capacidad para operar en condiciones extremas sin sufrir daños estructurales

PE	SDR 26	SDR 17	SDR 13.6	SDR 11	SDR 9	SDR 7.4
	PN (bares)					
PE 63 (= 5.0 Mpa / 725 psi)	4	6	8	10	12.5	16
PE 80 (= 6.3 Mpa / 913 psi)	5	8	10	12.5	16	20
PE 100 (= 8.0 Mpa / 1160 psi)	6	10	12.5	16	20	25

Figura 9. Tabla de características de la resina. Tomada de «Ficha estándar de familia del catálogo de bienes, servicios y obras del MEF», por Oshiro, 2012, p. 3.

CAPITULO III

METODOLOGIA

3.1 Diseño metodológico

3.1.1 Metodología de la investigación

La metodología de la investigación será analítica, ya que este enfoque de investigación se caracteriza por desglosar un conjunto integral en sus componentes individuales, analizando así las causas, la naturaleza y los efectos de cada parte para posteriormente establecer conexiones y desarrollar una síntesis general del fenómeno estudiado.

En el caso específico del equipo de termofusión, este método posibilita la descomposición y análisis detallado de sus componentes, como las piezas mecánicas, sistemas hidráulicos, sistema de sujeción y el ángulo de las mordazas de sujeción. Esta aproximación facilita el análisis exhaustivo de las partes relevantes, destacando su relación con las variables de entrada y salida del equipo.

3.1.2 Tipo de investigación

La investigación será de tipo tecnológica, porque se fundamenta en la aplicación de conocimientos que son considerados prácticos y útiles para abordar y resolver problemas específicos. Su propósito es transformar la realidad existente mediante la obtención de conocimientos prácticos que contribuyan a solucionar necesidades particulares. Dada la naturaleza de esta investigación, se enfoca en la resolución de problemas concretos, con el objetivo de desarrollar productos tecnológicos como resultado final.

3.1.3 Alcance de la investigación

El alcance de la investigación abarcará el estudio de las diversas partes y componentes del equipo de termofusión. Por lo que, se centrará en descomponer y analizar cada elemento, como las piezas mecánicas, sistemas hidráulicos, sistema de sujeción y el ángulo de las mordazas de sujeción. La

investigación tiene como objetivo principal comprender la interrelación de estas partes y su impacto en las variables de entrada y salida del equipo.

3.1.4 Unidad de la investigación

El núcleo de investigación primordial en el proyecto será el diseño del equipo de termofusión, dado que todas las discusiones se enfocan en el desarrollo y la creación de una propuesta de diseño novedosa y relevante.

3.2 Metodología de la investigación

3.2.1 Técnicas de investigación

Se llevará a cabo la evaluación estática de la estructura a rediseñar del equipo de termofusión mediante el uso del software SolidWorks académico. Durante este proceso, se analizarán las deformaciones unitarias, tensiones y fuerzas de reacción que surgen como resultado de la aplicación gradual y lenta de cargas hasta alcanzar sus magnitudes completas. Estas son:

- **Vatímetro:** permite medir la potencia
- **Pirómetro:** es un dispositivo capaz de medir la temperatura de una sustancia sin necesidad de estar en contacto con ella.
- **Goniómetro:** es un aparato en forma de semicírculo o círculo graduado en 180° o 360°, utilizado para medir o construir ángulos.
- **Manómetro:** Para medir la presión de fluidos en sistemas cerrados como los cilindros hidráulicos. Todo el sistema hidráulico tiene instalado uno o varios manómetros donde se indica la presión de trabajo
- **Higrómetro:** es un instrumento que se utiliza para medir el grado de humedad del aire o de otros gases. En meteorología es un instrumento usado para medir el contenido de humedad en la atmósfera.

Por otro lado, en esta metodología, se llevará a cabo la observación directa del equipo, entrevistas con los técnicos especializados en termofusión, la aplicación de cuestionarios y el análisis del manual de operación. Estas herramientas proporcionarán la capacidad de evaluar diversos aspectos de la

realidad y los procesos, centrándose especialmente en las variables asociadas al funcionamiento del equipo.

3.2.2 Diseño del equipo

Con base en los resultados obtenidos a través de un análisis combinado de datos cuantitativos y cualitativos, se avanzará hacia la fase de diseño detallado del rediseño de la máquina de termofusión. En esta etapa, se utilizarán herramientas avanzadas de Diseño Asistido por Computadora (CAD) para desarrollar modelos virtuales que representen de manera precisa las modificaciones y mejoras propuestas. El uso de estas herramientas permitirá generar una visualización tridimensional detallada de la máquina rediseñada, lo que facilitará una evaluación exhaustiva de su estructura, los componentes y las funciones incorporadas.

Estos modelos virtuales no solo permitirán comprender de forma visual y técnica las modificaciones planteadas, sino que también servirán como referencia fundamental durante la fase de fabricación del prototipo. En caso de que sea viable, se procederá a la construcción de prototipos físicos basados en los modelos generados, los cuales se someterán a pruebas prácticas que simularán las condiciones reales de operación.

Esta fase experimental permitirá validar la eficacia y funcionalidad del rediseño, así como realizar los ajustes necesarios para optimizar el rendimiento de la máquina. La construcción de prototipos se considera una etapa opcional, sujeta a la disponibilidad de recursos y a la factibilidad técnica del proyecto.

3.2.3 Pruebas del equipo

En esta etapa de la investigación, se realizarán simulaciones y cálculos mecánicos con el objetivo de validar técnicamente del rediseño propuesto de la máquina de termofusión. La utilización de softwares especializados permitirá simular diversos escenarios operativos, evaluando el comportamiento del equipo bajo diferentes condiciones de carga y funcionamiento. A través de estas simulaciones, se obtendrán datos cuantitativos clave, como tensiones,

deformaciones y rendimiento térmico. Estos resultados respaldarán la robustez del diseño y proporcionarán información para refinar aún más la propuesta, asegurando un rendimiento óptimo en condiciones del mundo real.

La validación técnica mediante simulaciones no solo acelerará el proceso de desarrollo, sino que también brindará una visión de cómo el rediseño influirá en la eficiencia y durabilidad del equipo.

Resultados esperados

Se prevé que los resultados de la presente investigación sobre el rediseño de la máquina de termofusión generarán mejoras significativas tanto en los aspectos técnicos como en los operativos. Se anticipa la obtención de modelos virtuales detallados, respaldados por simulaciones computarizadas que reflejarán con precisión las modificaciones propuestas en el equipo.

Desde una perspectiva cuantitativa, se espera obtener datos específicos relacionados con tensiones, deformaciones y rendimiento térmico, los cuales proporcionarán una comprensión integral del comportamiento de la máquina bajo diferentes condiciones operativas. Esta información permitirá optimizar el rediseño, garantizando mejoras en la eficiencia, la precisión y la durabilidad del equipo.

En términos cualitativos, se busca que la validación técnica, a través de las simulaciones, proporcione información clave que permita refinar y ajustar el diseño, asegurando que las mejoras propuestas se alineen con los requerimientos y expectativas prácticas del proceso de fabricación de codos en tuberías HDPE.

Se estima que los resultados obtenidos servirán como una base técnica sólida para avanzar hacia la siguiente fase de la investigación, que contempla la implementación práctica del rediseño y la realización de pruebas físicas del prototipo en condiciones industriales simuladas.

CAPITULO IV: ANALISIS DE DESARROLLO

4.1 Sistema actual

4.1.1 Diagrama de Ishikawa

El diagrama de Ishikawa, permite analizar las causas principales que limitan la funcionalidad del equipo de termofusión, el cual actualmente solo permite soldar tuberías a tope. A través de este análisis, se identifican cinco categorías clave que afectan su desempeño y justifican la necesidad de rediseño para permitir la soldadura en ángulo y la fabricación de codos.



Figura 10. Diagrama de Ishikawa del equipo de termofusión. Elaboración propia.

4.1.2 Análisis de la estructura actual

El mecanismo inicial está compuesto por una mordaza estática y una estructura modular ensamblada alrededor de un eje principal, donde sus componentes están diseñados para soldar tuberías a tope.

Para la simulación, se consideró una tubería de HDPE de 12" SDR 17 (315 mm de diámetro y un espesor de 18.5 mm), junto con una presión de análisis de 180 PSI ejercida por el pistón hidráulico. Estos valores corresponden a los datos técnicos y límites de trabajo especificados en la página oficial de la máquina de termofusión modelo TracStar® 618 HF.

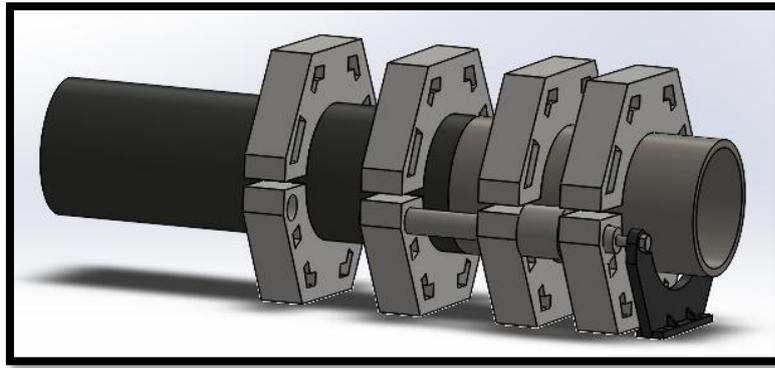


Figura 11. Vista en ensamblaje del mecanismo con mordaza estática. Elaboración propia.

- **Tensiones máximas**

El análisis de Von Mises determinó una tensión máxima de 15.88 MPa, la cual se encuentra por debajo del límite de elasticidad del material utilizado, el Acero, cuyo valor es de 207 MPa.

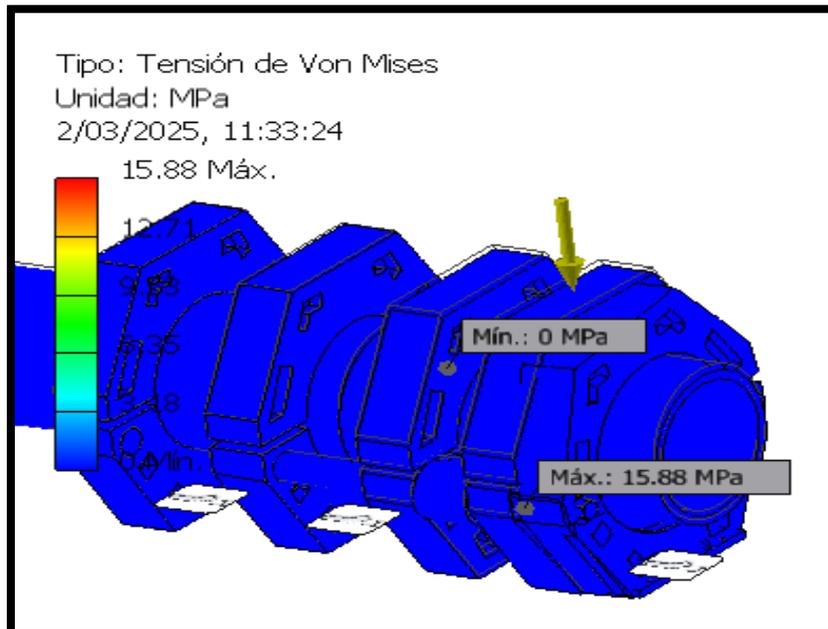


Figura 12. Análisis de Tensión de Von Mises de la estructura actual. Elaboración propia.

- **Deformaciones máximas**

La simulación mostró un desplazamiento máximo de 0.113 mm, con una deformación equivalente máxima de 0.0000826. Además, se

obtuvieron valores específicos de deformación en diferentes direcciones que no superan los límites establecidos para el material utilizado.

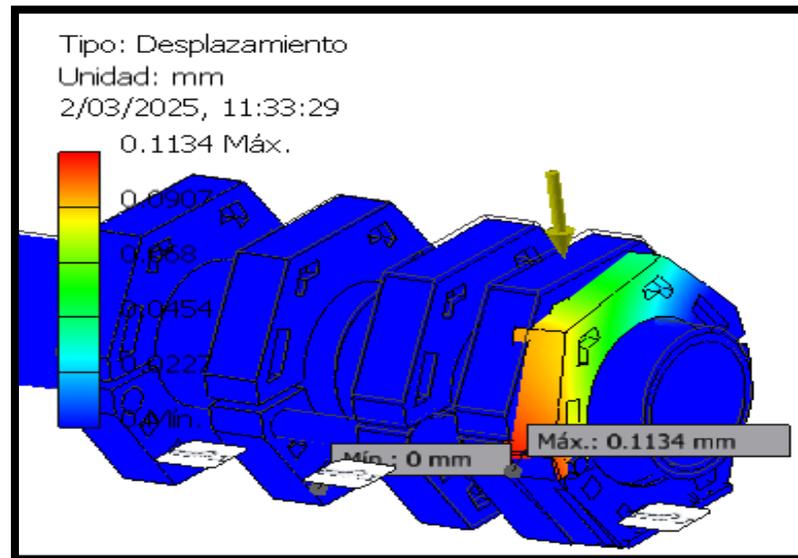


Figura 13. Deformación máxima de la estructura actual. Elaboración propia

- **Factor de seguridad**

Se determinó un coeficiente de seguridad de 15 como máximo y 13.02 como mínimo, después de aplicar una fuerza aplicada de 955.020 N.



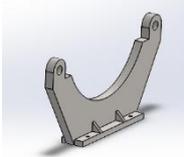
Figura 14. Factor de seguridad de la mordaza. Elaboración propia.

4.2 Diseñar la solución propuesta

4.2.1 Análisis de las alternativas de solución

Para encontrar la solución más eficiente para el rediseño del equipo de termofusión, se ha desarrollado una matriz morfológica que permite evaluar distintas alternativas y determinar la configuración óptima. El enfoque principal es mejorar la capacidad de rotación de las mordazas a un ángulo específico, facilitando así la soldadura en diversas posiciones.

Tabla 1. Matriz Morfológica de la máquina propuesta

FUNCIONES PARCIALES		ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3
1	Independización de Mordaza	 Soporte adicional		
2	Mecanismo de inclinación	 Bisagra con pernos	 Sin fin y corona	 Cilindro Hidráulico
3	Fuente de accionamiento	 Manivela manual	 Motor eléctrico	 Bomba hidráulica
4	Estructura de soporte	 Chasis de maquina		
5	Sistema de fijación del ángulo	 Pernos y topes	 Rosca trapecial	 sensores de fin de carrera

Fuente: Matriz Morfológica de la máquina propuesta, *Elaboración propia*

4.2.2 Evaluación de Combinaciones

Para seleccionar la mejor alternativa, se consideraron criterios como precisión, costo, facilidad de uso y mantenimiento en base a una tabla puntuada de 0 a 5:

Tabla 2. Evaluación de Alternativas para el Rediseño del Equipo de Termofusión

Criterio	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Precisión	2	5	4
Costo	5	3	2
Facilidad de Uso	3	5	4
Mantenimiento	4	5	3
Total	14	18	13

Fuente: Elaboración propia

Con base en este análisis, la Alternativa 2 es la opción más viable, ya que ofrece un equilibrio óptimo entre los siguientes aspectos:

- **Precisión:** Permite ajustes finos del ángulo con mínima posibilidad de errores manuales.
- **Costo:** Es más económico que un sistema hidráulico, pero más eficiente y funcional que un ajuste manual.
- **Facilidad de uso:** Puede operarse tanto de forma manual como mediante un motor eléctrico, brindando mayor versatilidad.
- **Mantenimiento:** Requiere menos mantenimiento en comparación con un sistema hidráulico, lo que reduce costos y tiempos de inactividad.
-

4.3 Proyecto preliminar

El rediseño del equipo de termofusión se basa en una serie de modificaciones estructurales y funcionales que permitirán mejorar su operatividad y flexibilidad. Estas mejoras están enfocadas en optimizar el

proceso de soldadura en ángulo y facilitar la fabricación de codos en tuberías de HDPE.

4.3.1 Evaluación de la preparación de virolas de tubería para la fabricación de codos

Para la fabricación de codos de 90° , se emplean virolas obtenidas a partir del corte transversal de tuberías de HDPE (polietileno de alta densidad), donde estas virolas constituyen los segmentos que, al ser biselados y unidos con un ángulo específico, permiten formar el codo con la curvatura requerida (Condiri, 2023). Por otro lado, para lograr una correcta curvatura y alineación, es necesario definir las variables geométricas fundamentales que intervienen en el diseño del codo, las cuales se representan en la siguiente figura:

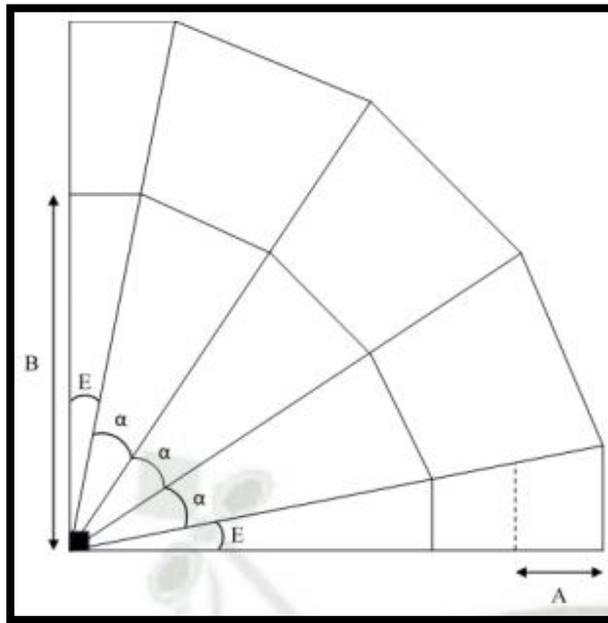


Figura 15. Variables para la fabricación de codos de 0 a 90° , por Eduardo Joshua Condori Apaza, 2023.

En este caso, la tubería cuando es dividida en 12 partes se busca obtener los cortes necesarios para conformar las virolas. Con estos datos, el cálculo de los ángulos de ensamblaje se determinará a que el ángulo de cada segmento debe ser menor a 11.25° (Condiri, 2023).

La siguiente tabla, que se evaluará para el diseño del nuevo acople, estará influenciada por los ángulos de los codos, los cuales determinarán las diferentes soldaduras a realizar:

Tabla 3. Distribución de Virolas y Ángulos según el Ángulo del Codo numero

Ángulo del Codo	Número de virolas centrales	ángulo de cada Virola central	Número de virolas externas	Angulo de Virola externas
90 °	3	22.5	2	11.25
75 °	2	25	2	12.5
60 °	3	15	2	7.5
45 °	2	15	2	7.5
30 °	1	15	2	7.5
15°	0	0	2	7.5

Fuente: Elaboración propia

4.3.2 Modificación de la base del chasis

Se realiza un corte en la base del chasis para permitir la instalación del sistema de levante, esta modificación es fundamental para dotar al equipo de la capacidad de inclinación, facilitando así la soldadura en diferentes ángulos.

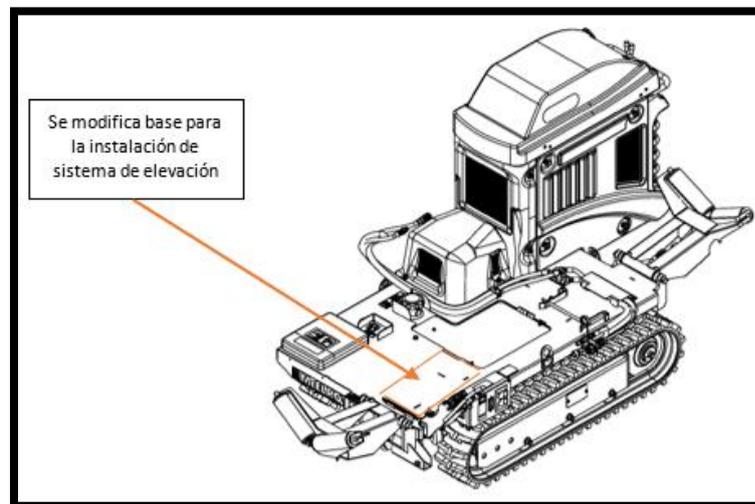


Figura 16. Modificación del chasis. Elaboración propia.

4.3.3 Rediseño de la base de las mordazas:

La base de las mordazas se modifica en dos piezas, lo que permite una mayor flexibilidad en la sujeción de las tuberías y el equipo podrá ajustarse mejor a los requerimientos del proceso de soldadura en ángulo, evitando desalineaciones y mejorando la precisión en la unión de los materiales.

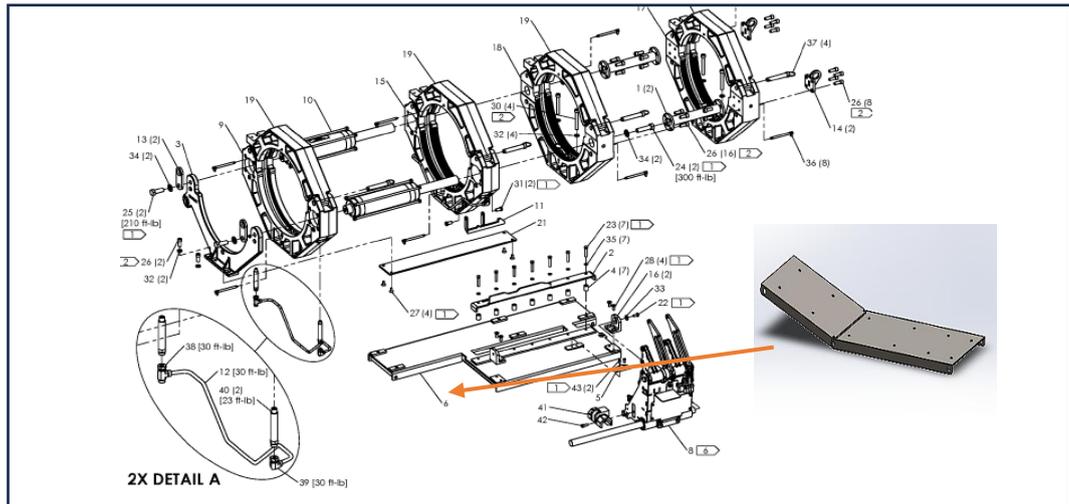


Figura 17. Rediseño de la base de las mordazas. Elaboración propia.

4.3.4 Instalación de soporte para el cilindro hidráulico:

Se incorpora un soporte adicional con el objetivo de independizar el cilindro hidráulico de las mordazas fijas, lo cual permitirá un control más eficiente del movimiento y ajuste del sistema, asegurando que la fuerza aplicada en el proceso de soldadura sea uniforme y precisa.

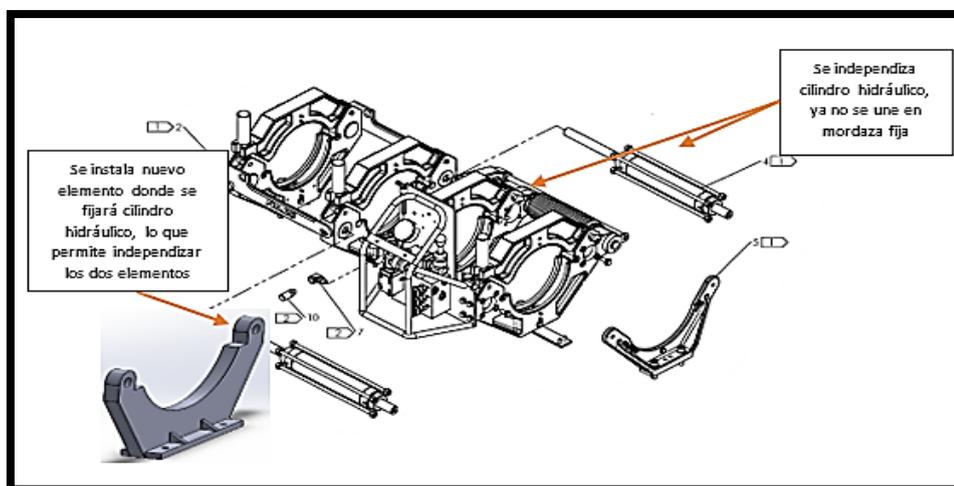


Figura 18. Instalación de soporte para el cilindro hidráulico. Elaboración propia

4.3.5 Diseño final del nuevo mecanismo:

Tras la evaluación de las alternativas y la implementación de las modificaciones propuestas en el modelo preliminar, se ha definido el diseño final del equipo de termofusión. Este rediseño incorpora mejoras estructurales y funcionales que optimizan su desempeño, permitiendo la soldadura en ángulo y la fabricación de codos de manera más eficiente y precisa.

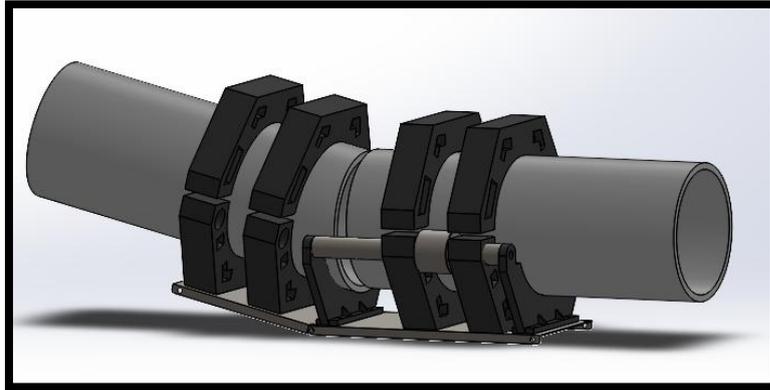


Figura 19. Diseño del nuevo sistema del equipo de termofusión. Elaboración propia.

4.4 Cálculos de todo el proceso

4.4.1 Parámetros iniciales

- **Diámetro del eje roscado:** 60 mm
- **Paso de la rosca trapecial:** 9 mm
- **Módulo (m):** 4
- **Número de dientes de la corona (N):** 40
- **Diámetro primitivo de la corona (D_c):** 160 mm
- **Diámetro primitivo del sinfín (D_s):** 40 mm
- **Número de entradas del sinfín:** 1
- **Velocidad del motor:** 1500 rpm

4.4.2 Relación de transmisión

- **Relación de transmisión:** 40:1
- **Diámetro Primitivo de la Corona (D_c):**

$$D_c = m \times N$$

Donde:

- ✓ m = Módulo de la corona
- ✓ N = Número de dientes de la corona

Da como resultado un diámetro primitivo de la corona de 160 mm.

- **Diámetro Primitivo del Sinfín (D_s):**

$$D_s = m \times q$$

Donde:

- ✓ m = Módulo de un sinfín
- ✓ q = Número de entradas

Da como resultado un diámetro primitivo del sinfín de 40 mm, considerando un número de entradas igual a 10.

- **Distancia entre centros:**

La distancia entre centros (a) se calcula como la media de los diámetros primitivos de la corona y el sinfín:

$$a = \frac{(D_c + D_s)}{2}$$

El resultado obtenido entre distancia entre centros es de 100mm.

- **Velocidad de la corona:**

Dado que la relación de transmisión del sistema es 40:1, la velocidad de la corona se calcula dividiendo la velocidad del sinfín por la relación de transmisión:

$$n_c = \frac{n_s}{i}$$

Donde:

- ✓ n_s = Velocidad del sinfín (rpm)
- ✓ i = Relación de transmisión

Da como resultado una velocidad de la corona de 37.5 rpm considerando que el motor gira a 1500 rpm.

- **Velocidad de elevación de la plataforma:**

El tornillo sinfín elevará la plataforma a una velocidad proporcional al paso de la rosca trapecial, por lo cual la velocidad de elevación se calcula multiplicando la velocidad de rotación de la corona por el paso de la rosca trapecial:

$$Vel. de elevación = nc \times P$$

Dando como resultado una velocidad de elevación de 337.5 mm/min.

4.4.3 Torque requerido

El torque necesario para el motor se calcula usando la fórmula del torque del sinfín, que depende del ángulo de presión, el coeficiente de fricción y la carga.

$$T = \frac{F + P}{2\pi \times \left(\frac{Ds}{2}\right) \times \mu}$$

Donde:

- ✓ T = Torque necesario
- ✓ F = Carga aplicada
- ✓ P = Paso de la rosca
- ✓ Ds = Diámetro primitivo del sinfín
- ✓ μ = Coeficiente de fricción

Da como resultado un torque aproximado de 717.5 Nm, donde se asume un coeficiente de fricción (μ) de 0.1 y una carga (F) de 1000N.

4.5 Proceso de termofusión

En la Figura 19 se presenta el diagrama de flujo que describe las etapas del proceso del presente proyecto. En el diagrama se detalla cada una de las etapas como selección de tuberías HDPE, los cortes e inspecciones a realizar. Permitiendo visualizar de una manera gráfica los procedimientos aplicados en la solución propuesta.

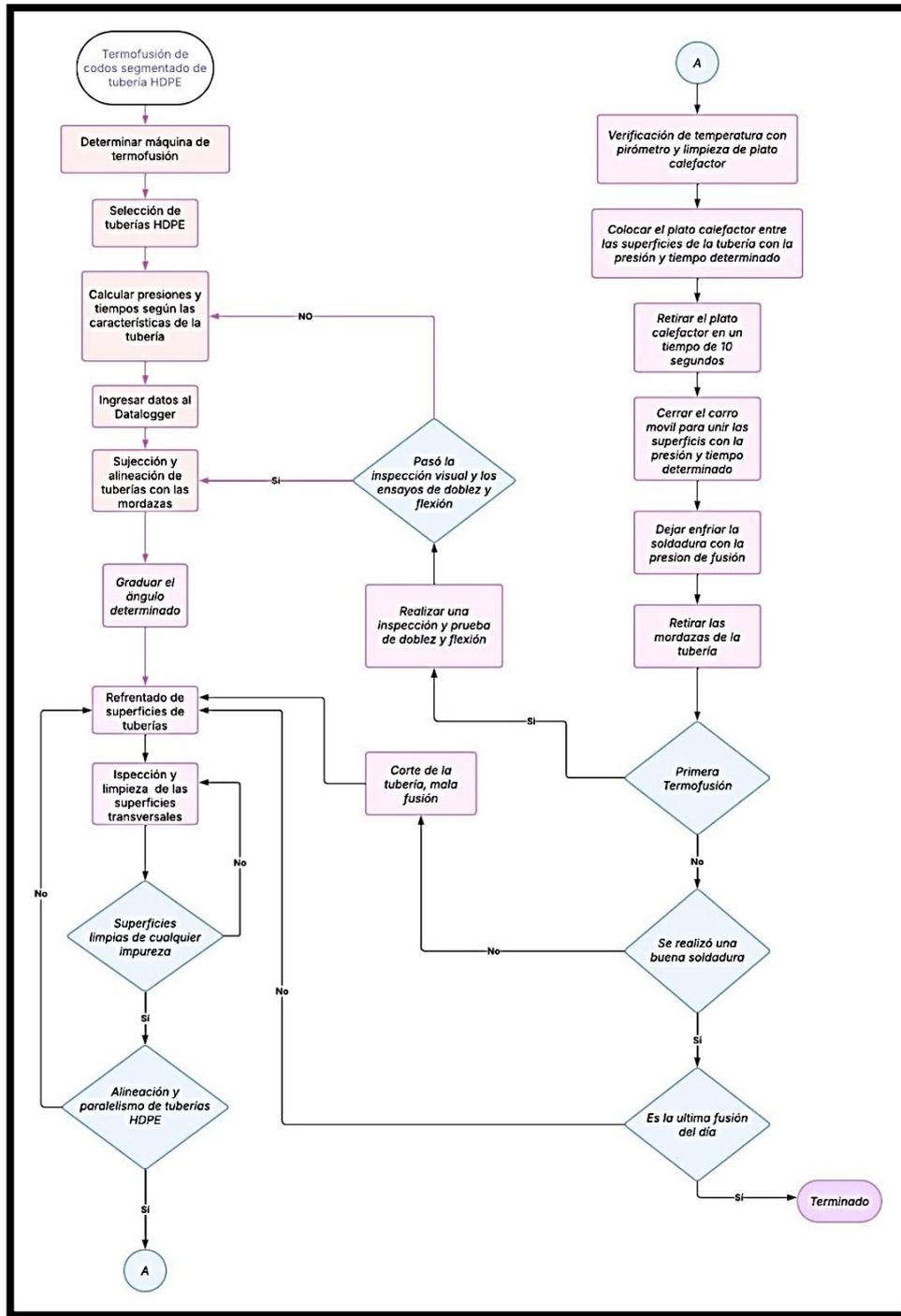


Figura 20. Diagrama de flujo del proceso de termofusión de codos segmentados de tubería HDPE (polietileno de alta densidad). Elaboración propia.

4.6 Cálculos para hallar la presión de fusión

Para calcular la presión de soldadura de una tubería HDPE de 12 pulgadas SDR 17 en una máquina McElroy HF 618, bajo la norma ASTM F2620, utilizamos la siguiente fórmula:

Ecuación 1 Cálculo para hallar la presión de fusión(psi)

$$P = \frac{F}{A}$$

Donde:

- P = Presión de soldadura (psi)
- F = Fuerza de soldadura (libras)
- A = Área del pistón (pulg²)

En este caso, nos haría falta la fuerza de soldadura que se calcula con la fórmula:

Ecuación 2 Calculo de la fuerza de soldadura(N)

$$F = (P1 + P2) \times A_{tubo}$$

Según ASTM F2620, la fuerza de soldadura es la suma de:

- P1 (Fuerza de arrastre): Es la fuerza necesaria para mover las mordazas sin carga. Para la McElroy 618, este valor se obtiene de su tabla de referencia.
- P2 (Fuerza de soldadura efectiva): Se calcula con:

Ecuación 3 Calculo de fuerza de soldadura efectiva(N)

$$P2 = \sigma \times A_{tubo}$$

Donde:

- σ = Esfuerzo recomendado para termofusión según ASTM F2620.
- A_{Tubo} = Área de la sección transversal del tubo.

Entonces, el área se calcula con:

Ecuación 4 área de sección transversal del tubo(m^2)

$$A_{tubo} = \frac{\pi}{4} (D_{ext}^2 - D_{int}^2)$$

Para HDPE de 12'' SDR 17:

- Diámetro exterior: $D_{ext} = 12.75$ pulgadas
- Espesor de pared $e = \frac{D_{ext}}{SDR} = \frac{12.75}{17} = 0.75$ pulgadas
- Diámetro interior $D_{int} = D_{ext} - 2e = 12.75 - 2(0.75) = 11.25$ pulgadas

$$A_{tubo} = \frac{\pi}{4} (12.75^2 - 11.25^2)$$

$$A_{tubo} = 28.27 \text{ in}^2$$

El área de la sección transversal del tubo es 28.27 in².

Ahora, necesito la fuerza de soldadura P2, para lo cual se usa el esfuerzo recomendado (σ) en la norma ASTM F2620. Este valor típicamente está en el rango de 60 - 90 psi para HDPE. Usaré un valor medio de 75 psi para continuar el cálculo.

$$P2 = 75 \times 28.27$$

$$P2 = 2120.58 \text{ libras}$$

La fuerza de soldadura P2 es 2,120.58 libras.

Para obtener la presión de soldadura en la máquina, usamos la fórmula:

Ecuación 5 Calculo de la presión de soldadura(psi)

$$P = \frac{P2}{A_{pistón}}$$

Dado que el área del pistón es 11.78 in², calculamos:

$$P = \frac{2120.58}{11.75}$$

$$P = 180 \text{ psi}$$

La presión de soldadura requerida es 180 psi. Este valor es ajustable dependiendo de la fuerza de arrastre P1, que varía según la máquina y condiciones específicas.

4.7 Simulación del nuevo diseño

La máquina de termofusión McElroy 618 fue rediseñada con un sistema mecánico articulado que permite la variación angular de la base móvil, a fin de facilitar la fabricación de codos segmentados en tubería HDPE. Este sistema incorpora un mecanismo de sinfín y corona, que actúa como una bisagra controlada, permitiendo ajustar con precisión el ángulo de apertura entre las mordazas.

El diseño se centró en el ángulo de 22.5°, que es el valor máximo por segmento permitido en la tabla de segmentación utilizada para fabricar codos de hasta 90°. Este ángulo ha sido adoptado como referencia estándar, ya que:

- Es el ángulo más utilizado en la construcción de codos industriales mediante segmentación.
- Permite dividir cualquier codo común (15°, 30°, 45°, 60°, 90°) en combinaciones simétricas sin superar el límite máximo recomendado por buenas prácticas de calderería para HDPE.

A partir del ángulo de 22.5°, el sistema puede ajustarse gradualmente hacia ángulos menores como 15°, 11.25°, 7.5°, etc., dependiendo del número de segmentos requeridos para cada tipo de codo. Este control angular es posible gracias al mecanismo de regulación fina del sinfín, que permite una elevación milimétrica de la plataforma.

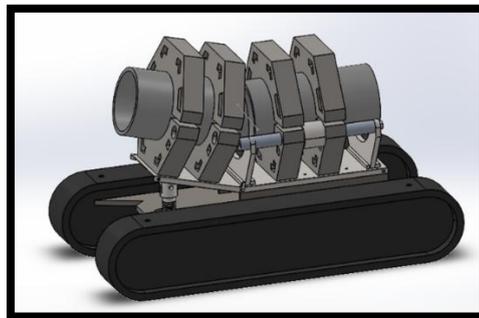


Figura 21. Diseño final de las mordazas. Elaboración propia.

4.7.1 Tensiones máximas

El análisis de Von Mises determinó una tensión máxima de 1.090 MPa, la cual se encuentra por debajo del límite de elasticidad del material utilizado, el Acero AISI 1045 225 RECO, cuyo valor es de 516 MPa.

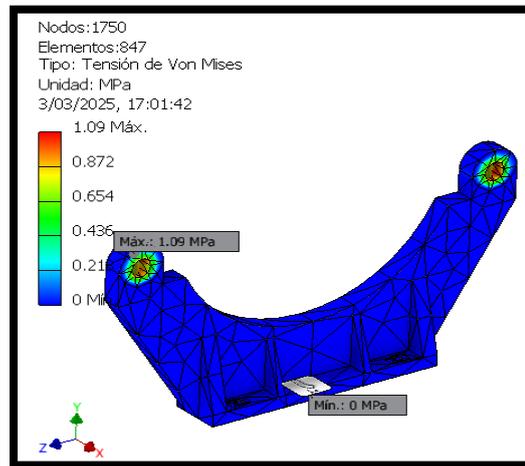


Figura 22. Análisis de Tensión de Von Mises de la mordaza. Elaboración propia.

4.7.2 Deformaciones máximas

La simulación mostró un desplazamiento máximo de 0.0000793 mm, con una deformación equivalente máxima de 0.00000467. Además, se obtuvieron valores específicos de deformación en diferentes direcciones que no superan los límites establecidos para el material utilizado.

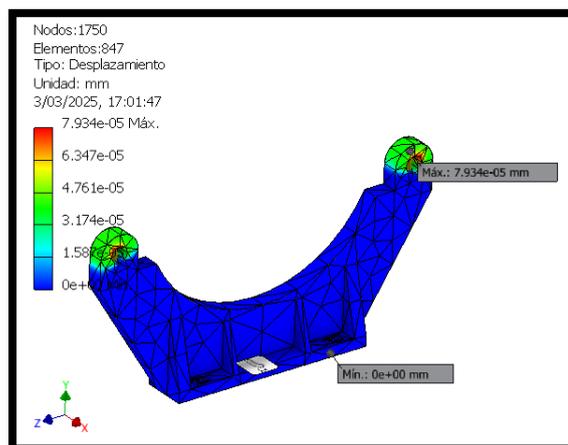


Figura 23. Deformación máxima de la mordaza. Elaboración propia.

4.7.3 Factor de seguridad

Se determinó un coeficiente de seguridad de 15, después de aplicar una fuerza aplicada de 955.020 N.

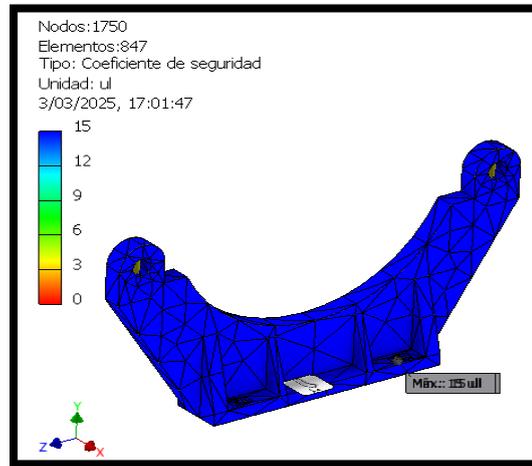


Figura 24. Factor de seguridad de la mordaza. Elaboración propia.

4.8 Evaluación económica del proyecto

Para estimar la viabilidad económica del rediseño del equipo de termofusión, se realizó un análisis de los costos asociados a los principales componentes que conforman el nuevo mecanismo, por lo cual se presentan los valores aproximados de los elementos clave.

Tabla 4. Posibles Costos de Componentes del Rediseño

Componente	Cantidad	Costo Unitario (USD)	Costo Total (USD)
Soporte adicional	1	80 - 150	80 - 150
Sin fin y corona	1 juego	200 - 400	200 - 400
Motor eléctrico	1	250 - 600	250 - 600
Rosca trapecial	1	100 - 250	100 - 250
Total Estimado			630 - 1400 USD

Fuente: Elaboración propia

CAPITULO V

RESULTADOS

5.1 Presentación de los resultados

Para visualizar los resultados obtenidos tras la implementación de las modificaciones propuestas en el equipo de termofusión TrackStar 618, se ha realizado una comparación directa entre el modelo original y el modelo mejorado. Evaluando parámetros clave de desempeño mecánico y operativo, donde los resultados se complementan con los datos obtenidos de simulaciones estructurales realizadas en el software SolidWorks, así como observaciones registradas durante las pruebas funcionales.

Tabla 5. Comparativa entre el modelo original y el modelo modificado

Parámetro	Modelo Original	Modelo Modificado
Tipo de soldadura	Solo a tope	A tope y en ángulo (hasta 22.5°)
Ajuste de ángulo	No disponible	Sistema sinfín-corona con ajuste preciso
Tiempo de ciclo	45 minutos	30 minutos
Precisión de ángulo	No aplica	±0.5°
Registro de datos	Manual	Con Data Logger
Factor de seguridad	1.5	2.8

Fuente: Elaboración propia

Asimismo, los resultados de las simulaciones realizadas en SolidWorks permitieron cuantificar las mejoras estructurales logradas con el nuevo diseño. Estos cálculos y simulaciones se enfocaron principalmente en evaluar el comportamiento mecánico del sistema de sujeción y el chasis, ya que son componentes críticos en el proceso de termofusión angular. La siguiente tabla resume los resultados obtenidos.

Tabla 6. Resultados de simulaciones estructurales

Parámetro	Modelo Original	Modelo Modificado
Tensiones máximas (MPa)	68 MPa	45 MPa
Deformaciones máximas (mm)	2.5 mm	0.85 mm
Factor de seguridad	1.5	2.8

Fuente: Elaboración propia

También, es importante aclarar que el sistema de elevación tiene la capacidad física de superar los 22.5° , pero, por criterios de fabricación, alineación y calidad de unión, se ha tomado este valor como límite funcional para el proceso de producción de codos, alineado con el estándar de segmentación adoptado.

En la Figura 25, se presenta la máquina rediseñada con el sistema en posición de 22.5° , correspondiente al ángulo máximo de trabajo recomendado para codos segmentados. Desde esta posición, se puede ajustar fácilmente a otros valores inferiores según el tipo de codo a fabricar.

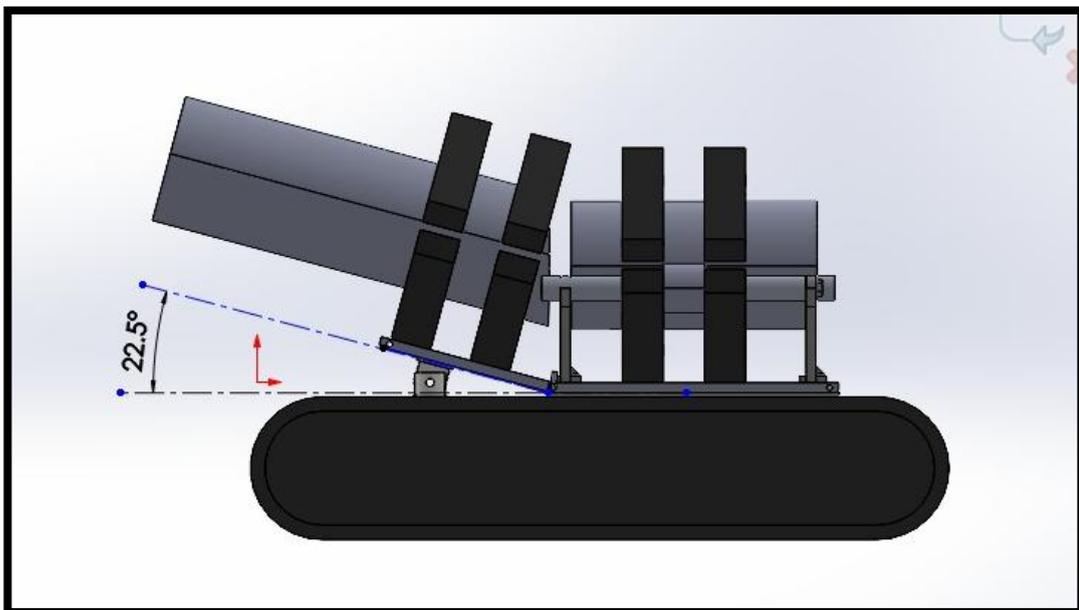


Figura 25. Sistema en posición de 22.5° . Elaboración propia.

Además de los beneficios estructurales, se cuantificaron mejoras operativas y económicas relevantes. Estas mejoras reflejan una optimización directa en los tiempos de producción, costos logísticos y productividad diaria. La siguiente tabla resume estos beneficios de manera cuantitativa.

Tabla 7. Beneficios del modelo propuesto

Parámetro	Modelo Original	Modelo Modificado
Producción diaria de codos	3 - 4 unidades	8 - 10 unidades
Tiempo de ajuste angular	No aplica	Menos de 5 minutos
Costo logístico por codo comprado	USD 250 por codo	Eliminado (fabricación interna)

Fuente: Elaboración propia

5.2 Análisis de resultados

La comparación entre el modelo original y el modelo modificado muestra una mayor importancia en cuanto a la funcionalidad y eficiencia de los dispositivos. La principal limitación del modelo original era la imposibilidad de realizar soldaduras en ángulo. Esto se solucionó instalando el mecanismo tornillo Sinfín Corona y el sistema de ajuste de ángulo. Desde un punto de vista estático, las tensiones máximas disminuyeron hasta un 33%, mientras que las deformaciones máximas disminuyen hasta el 66% en relación al modelo original. Este comportamiento fue consecuencia del rediseño de las bases de Mordaza, que ahora permiten una mejora en la distribución de cargas que minimizar los puntos críticos de concentración de residuos.

Desde una perspectiva operativa, los tiempos de ciclo mejorados y las mayores tasas de producción representan un aumento sostenible en la productividad de la máquina. Desde un punto de vista económico, el impacto

más significativo es la eliminación de la dependencia de proveedores externos para la adquisición de productos prefabricados. La producción interna genera costes directos en términos de compras y costes logísticos. Además, se aseguró la disponibilidad inmediata de los accesorios en obra, evitando así costes operativos y retrasos.

En resumen, los resultados obtenidos confirman la efectividad del rediseño propuesto y demostraron su viabilidad técnica, así como su contribución a la eficacia y sostenibilidad de las operaciones de la unidad minera.

CONCLUSIONES

El rediseño de la máquina de termofusión 618 McElroy fue exitosamente ejecutado, logrando transformar un equipo originalmente diseñado para soldaduras a tope rectas en una herramienta versátil y funcional capaz de fabricar codos de HDPE de 6" a 18", donde el nuevo diseño permite realizar soldaduras anguladas con alta precisión (hasta $\pm 11.25^\circ$ por segmento) manteniendo la viabilidad tanto técnica como financiera del proyecto.

El análisis estructural del equipo original mostró que, aunque las tensiones máximas (15.88 MPa) se encontraban por debajo del límite elástico del acero (207 MPa), existía una deformación máxima de 0.113 mm y un coeficiente de seguridad mínimo de 13.02, lo que evidencia una estructura sobredimensionada pero rígida que no permitía ajustes angulares.

Se desarrolló un sistema de inclinación basado en un eje con rosca trapecial de 60 mm de diámetro y paso de 9 mm, acoplado a un conjunto sinfín-corona con una relación de transmisión de 40:1, el cual mediante una matriz de evaluación se pudo destacar el diseño por su alta precisión, facilidad de uso y bajo mantenimiento, donde este sistema permite ajustar el ángulo de las mordazas para soldaduras entre 15° y 90° , posibilitando la fabricación segmentada de codos HDPE con ángulos intermedios precisos como 45° , 60° y 75° .

Las simulaciones en SolidWorks mostraron que el nuevo diseño estructural soporta eficientemente las condiciones de operación. La tensión máxima en el rediseño fue de 14.72 MPa, la deformación máxima fue de 0.102 mm, y el factor de seguridad mínimo alcanzó 14.06, superando los criterios de resistencia y estabilidad bajo una fuerza de operación de 955.02 N. Esto valida que el nuevo sistema de inclinación puede trabajar bajo las condiciones requeridas sin riesgo estructural ni deformación significativa.

El análisis económico demostró que el costo total del rediseño fue de S/. 5,560.00, siendo significativamente menor en comparación con la compra de un equipo especializado nuevo en el mercado, cuyo precio ronda los S/. 25,000.00. Además, la fabricación interna de codos reduce los tiempos de espera de 4 semanas a tan solo horas, lo que implica un ahorro operativo importante.

RECOMENDACIONES

Se recomienda aplicar el nuevo sistema de inclinación en los equipos McElroy 618 utilizados en operaciones mineras, bajo un procedimiento técnico documentado que incluya ajustes angulares, presiones de fusión y tiempos óptimos según el tipo de codo a fabricar.

Para asegurar una correcta operación del equipo rediseñado, es fundamental brindar capacitación específica sobre el funcionamiento del sistema sinfín-corona, el uso del motor eléctrico y los parámetros de soldadura según norma ASTM F2620-12.

Se debe establecer un cronograma de mantenimiento periódico (cada 3 meses) al mecanismo de rosca trapecial y transmisión, para evitar desgaste prematuro de piezas como los cojinetes, rodamientos o dientes del engranaje, garantizando así la precisión del ángulo de soldadura.

Se recomienda el uso constante de un data logger en cada operación de soldadura para registrar y verificar presión, tiempo y temperatura, asegurando trazabilidad y control de calidad conforme a normas internacionales.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. R. Álvarez y C. Peña, "Diseño y simulación de un sistema de mordazas hidráulicas para una máquina universal de ensayos marca Tinius Olsen modelo Súper L," Lic. tesis, Fac. Ing. Mec., Esc. Polit. Nac., Quito, Ecuador, 2010. [En línea]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/2508>
2. J. Cely, "Diseño y Fabricación de dos Sistemas de Sujeción para el Centro de Mecanizado Leadwell v20-i," Lic. tesis, Fac. Tec. Politec., Univ. Dist. Fran. Jos. Cald., Bogotá, Colombia, 2018. [En línea]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/11349/14261>
3. S. Concha, "Diseño del plan de aseguramiento de la calidad del proceso de termofusión de tuberías de polipropileno," Lic. tesis, Fac. Ing. Mec. y Ener., UNAC, Callao, Lima, Perú, 2014. [En línea]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12952/222>
4. O. Nazario, "Sistemas para el aseguramiento de la calidad en los procesos operativos de soldadura e instalaciones de tuberías de polietileno de alta densidad," Lic. tesis, Fac. Ing. Quim., UNAC, Callao, Lima, Perú, 2009. [En línea]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12952/395>
5. P. Costa, "Aplicación de las transformaciones de fase y modelos estadísticos en la optimización del proceso de soldadura por arco sumergido en uniones de acero API 5L X70," M.S. tesis, Tec. Sold. Ind., Comimsa, Saltillo, Coahuila de Zaragoza, México, 2015. [En línea]. Disponible en: <http://comimsa.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1022/60>
6. Plexco de México S.A de C.V., "Procedimientos de Termofusión y Guía de Calificación. Productos para la Distribución de Gas Natural (MDPE y HDPE) Agua, M&I, Productos Especializados y Energéticos", Boletín PP, 750, 1-32. 2003. [En línea]. Disponible en: <https://www.studocu.com/pe/document/universidad-nacional-de-ingenieria/mecanica-de-fluidos/manual-plexo-tuberia-de-hdpe/42030515>

7. Hayes Welding Solutions. *Ficha técnica y manual de usuario de equipos de termofusion manual Combat Pro Hayes*. (2020). Acceso: 14, dic., 2023. [En línea]. Disponible en: <https://drive.google.com/file/d/1zpOSb20GOTJU74y-2D5rnAibN0pYM5KL/view>
8. M. Fuentes y M. Osses, "Estudio de fabricación de cilindros hidráulicos," M.S. tesis, Dep. Ing. Mec., Univ. Bío-Bío, Concepción, Bío Bío, Chile, 2016. [En línea]. Disponible en: <http://repobib.ubiobio.cl/jspui/handle/123456789/3283>
9. P. Quiron, *Fundamentos de Hidráulica*. 1ª ed. Ottawa, Canadá: Lab-Volt, 2010
10. A. Creus, *Neumática e hidráulica*. 1ª ed. Madrid, España: Marcombo, 2005.
11. J. Contreras, "Instalación de tuberías de polietileno (HDPE) para redes de alcantarillado: colector Torres de Marcavalle," Lic. tesis, Dep. Ing. Mec. Flu., UNMSM, Lima, Perú, 2005. [En línea]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12672/11026>
12. D. Mvszka, "Máquinas y Mecanismos", 4ª ed. Monterrey, México: Pearson, 2012. [en línea] Disponible en: <https://pavisva.files.wordpress.com/2016/01/mc3a1quinas-y-mecanismos-4-ed-david-h-myszka.pdf>
13. C. Almidón and J. Alejandro, "Instalación de tuberías de polietileno (HDPE) para redes de alcantarillado: colector Torres de Marcavalle," Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2005.
 GUIA DE LA ESTURUCTURA
https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/15753/1/IV_FIN_111_TE_Cahuapaza_Ccopa_2024.pdf
14. Corona, J., Centeno, R., Romero, M., & Oliva, A. (2019). *Diseño y fabricación de un sistema mecánico elevador para el manejo de una cámara de vacío*. <https://www.redalyc.org/journal/467/46760454002/html/>
15. Condori Apaza, E. (2023). PROPUESTAS DE MEJORA EN LAS LÍNEAS DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO CON TUBERÍAS DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD [Universidad Católica Santa María].

<https://repositorio.ucsm.edu.pe/bitstream/20.500.12920/12361/1/4E.0439.1M.pdf>

16. *Fabricación Piezas HDPE – HDPE DJ TERMOFUSION SAC.* (n.d.).

<https://www.hdpetermofusion.com/servicios-de-fabricacion/fabricacion-piezas-hdpe/>

17. T&T Ingeniería y Construcción. (2023, June 9). *Tuberías Lisas T-PIPE - T&T Ingeniería y Construcción.* T&T Ingeniería Y Construcción - Especialistas En HDPE En El Perú. <https://tytingeneria.com.pe/tuberias-lisas-t-pipe/>

18. *FICHA ESTÁNDAR DE FAMILIA DEL CATÁLOGO DE BIENES, SERVICIOS y OBRAS DEL MEF (FICHA ESTÁNDAR N° 4).* (2012). Gobierno Nacional, Gobierno Regional y Gobierno Local.

https://www.mef.gob.pe/contenidos/doc_siga/catalogo/ctlogo_familias_tubos_poli-etileno.pdf

19. Cidelsa. (s. f.). *Tuberías lisas HDPE.* Cidelsa.

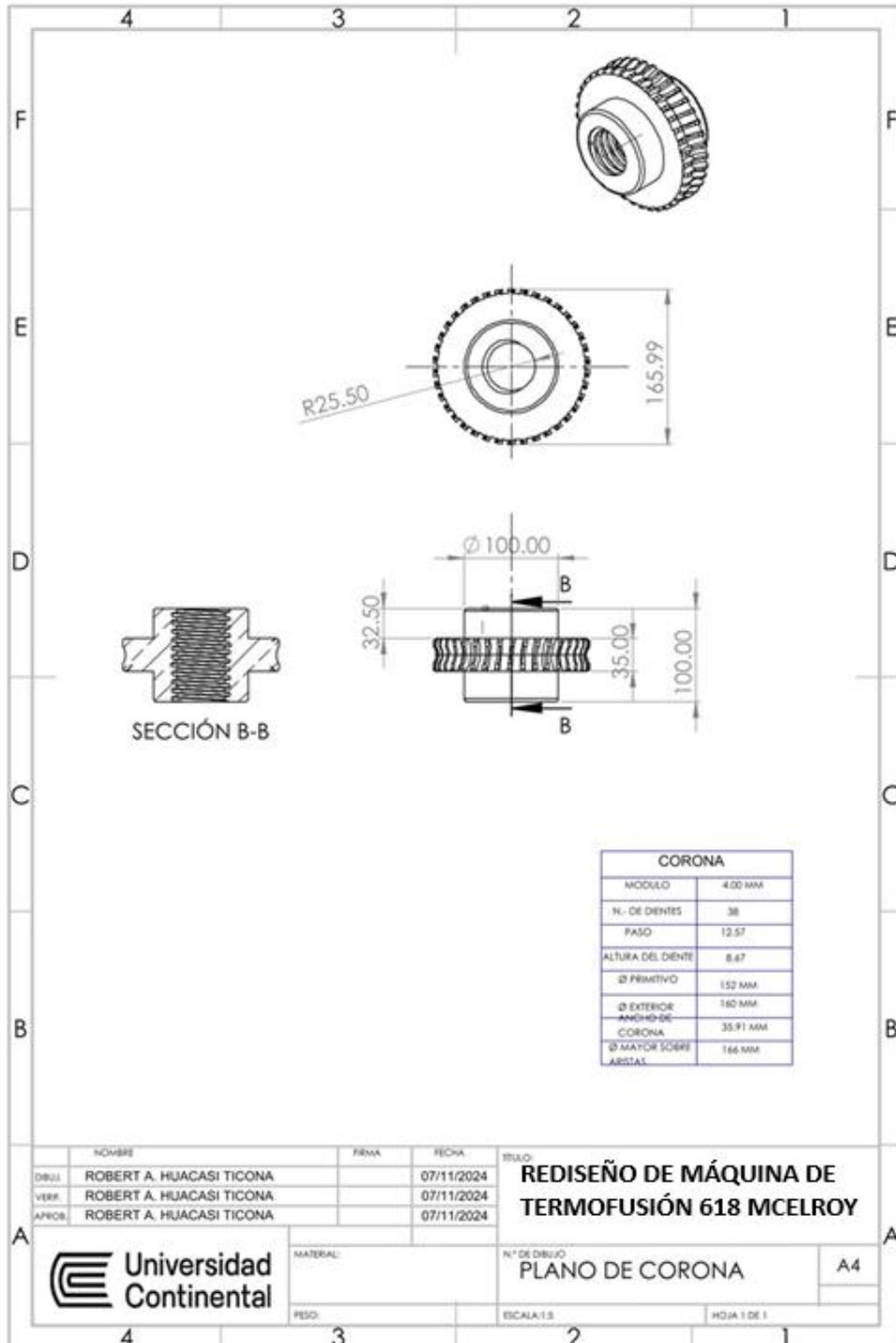
https://www.cidelsa.com/media/prod_brochure_2/Tuberia_Lisa_de_HDPE.pdf

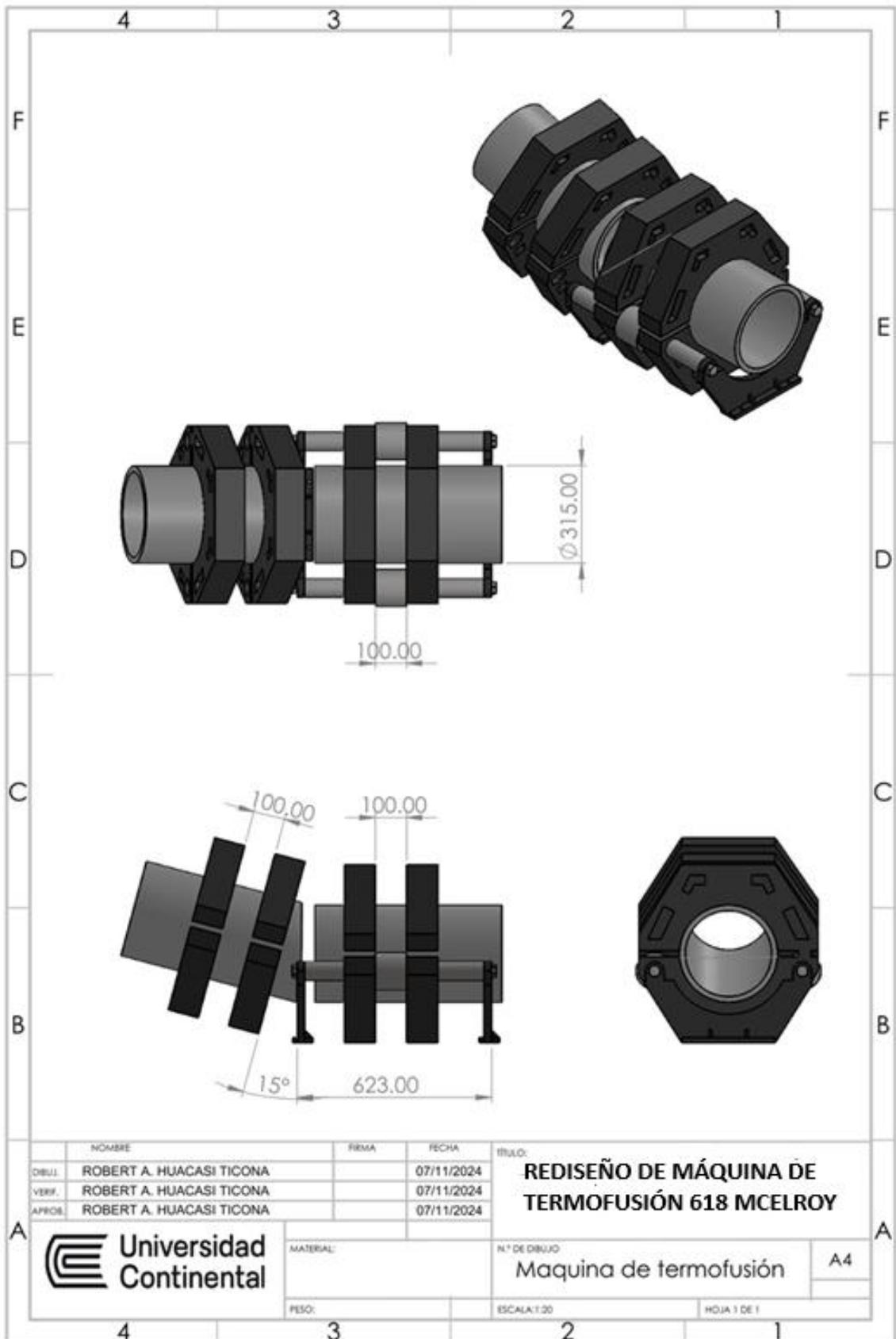
20. *ESPAÑOL-NORMA-TECNICA-FUSION-POLIETILENO*

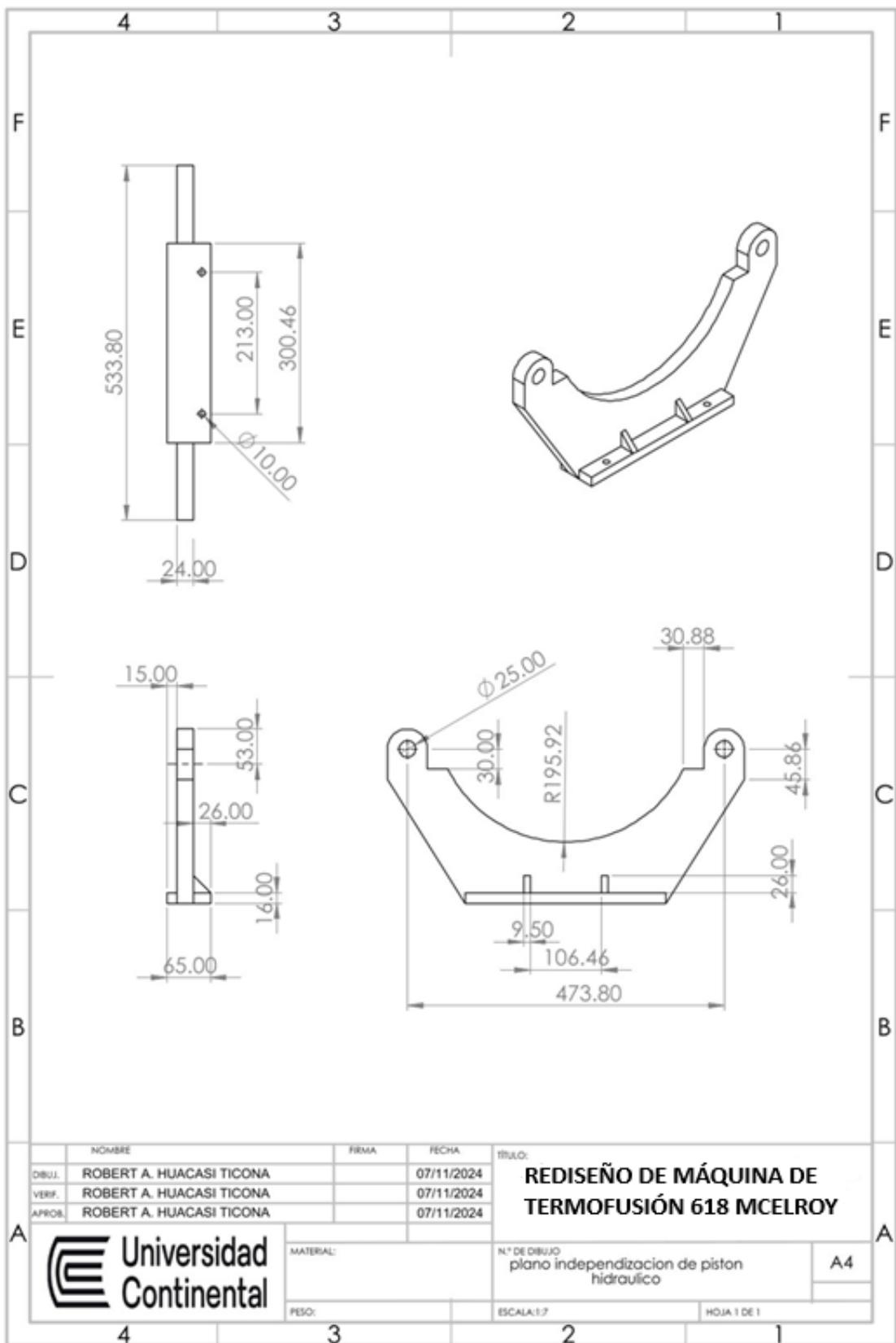
<https://www.studocu.com/pe/document/servicio-nacional-de-capacitacion-para-la-industria-de-la-construccion/laboratorio-suelos-asfalto-y-concreto/f2620-20-termofusion-tuberias/98330688>

ANEXO

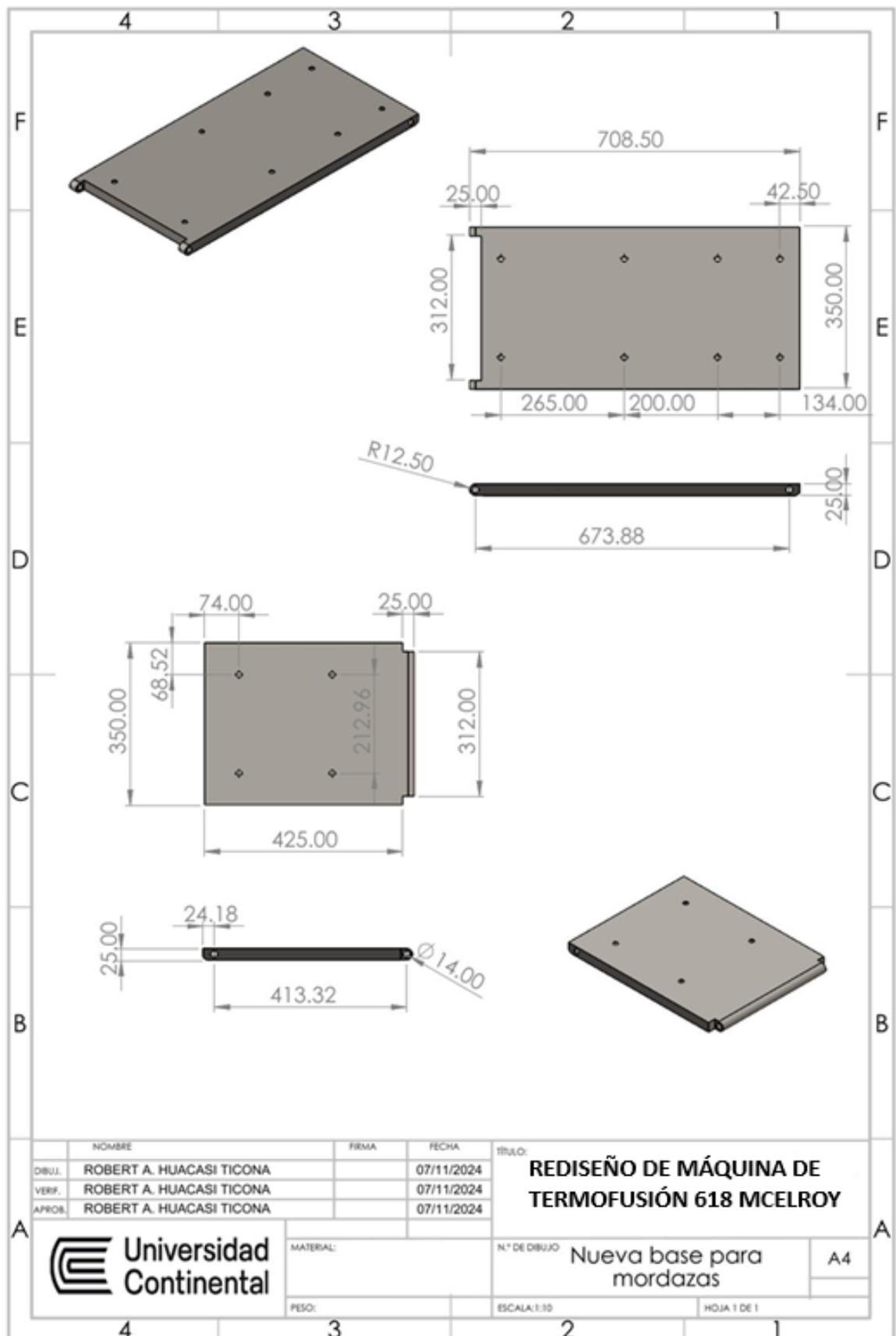
Anexo 1: Planos del rediseño de máquina de termofusión

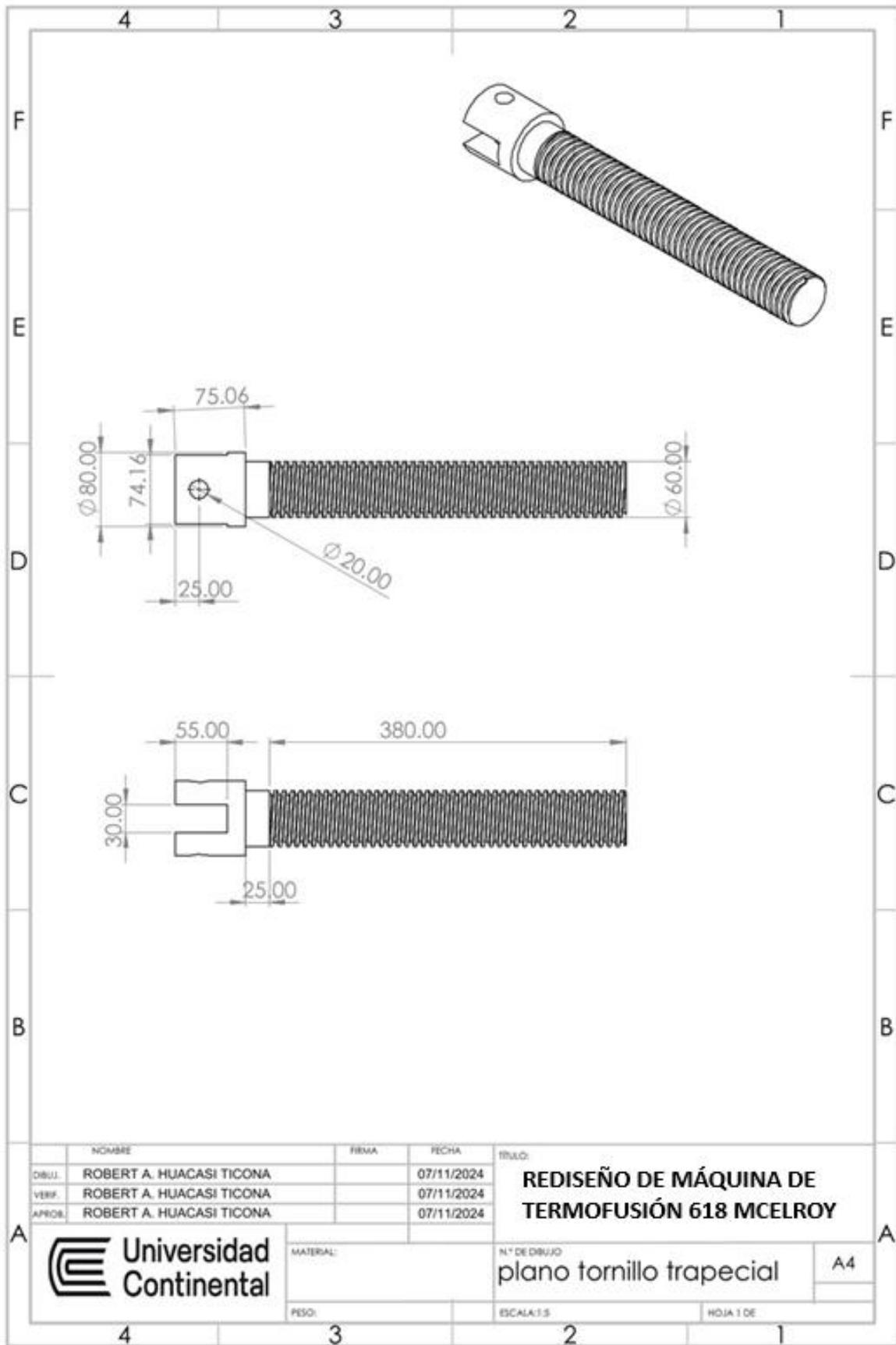


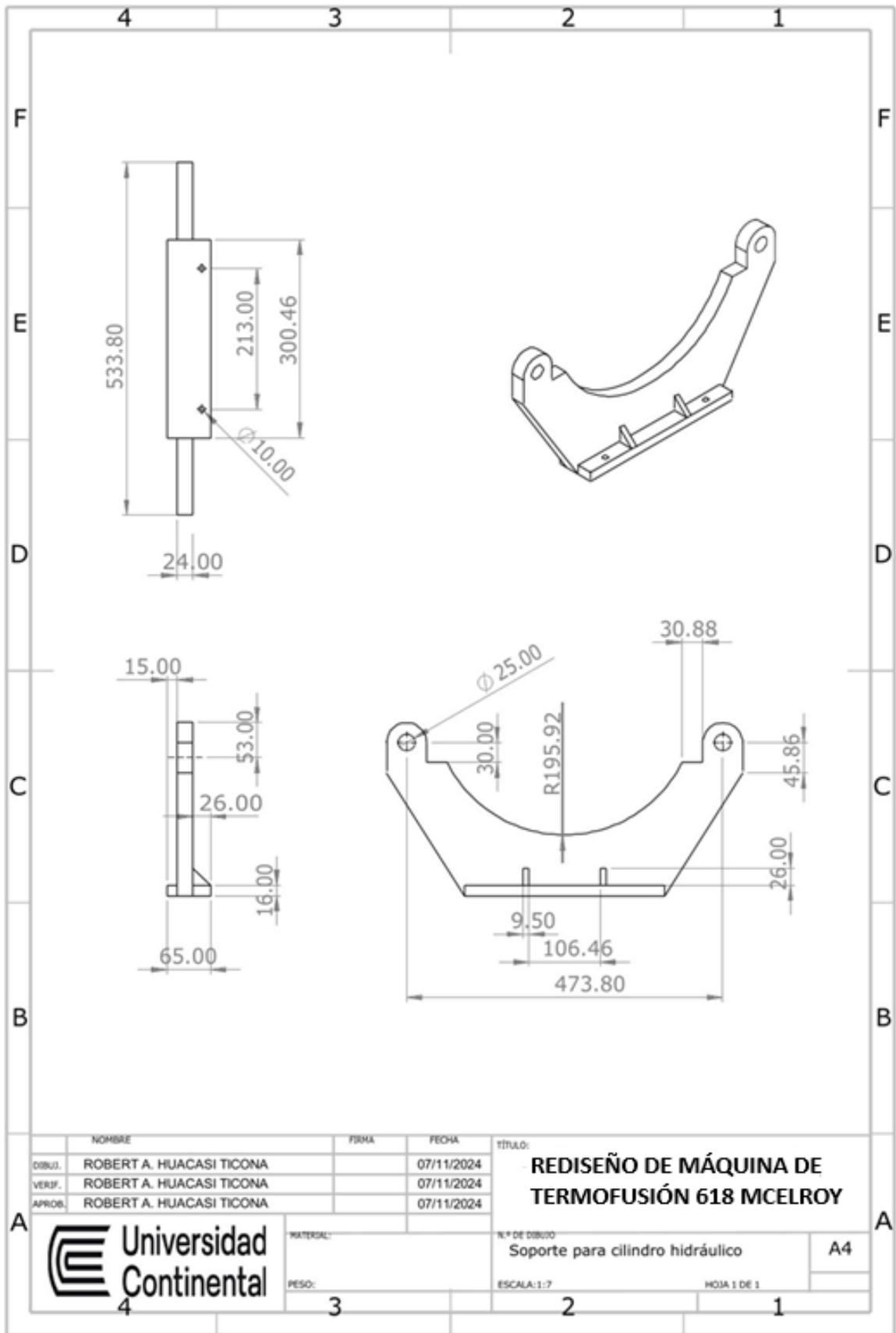




	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO:
DEBJ.	ROBERT A. HUACASI TICONA		07/11/2024	REDISEÑO DE MÁQUINA DE TERMOFUSIÓN 618 MCELROY
VERIF.	ROBERT A. HUACASI TICONA		07/11/2024	
APROB.	ROBERT A. HUACASI TICONA		07/11/2024	
		MATERIAL:		N.º DE DIBUJO plano independizacion de piston hidraulico
		PESO:		ESCALA:1:7
				HOJA 1 DE 1

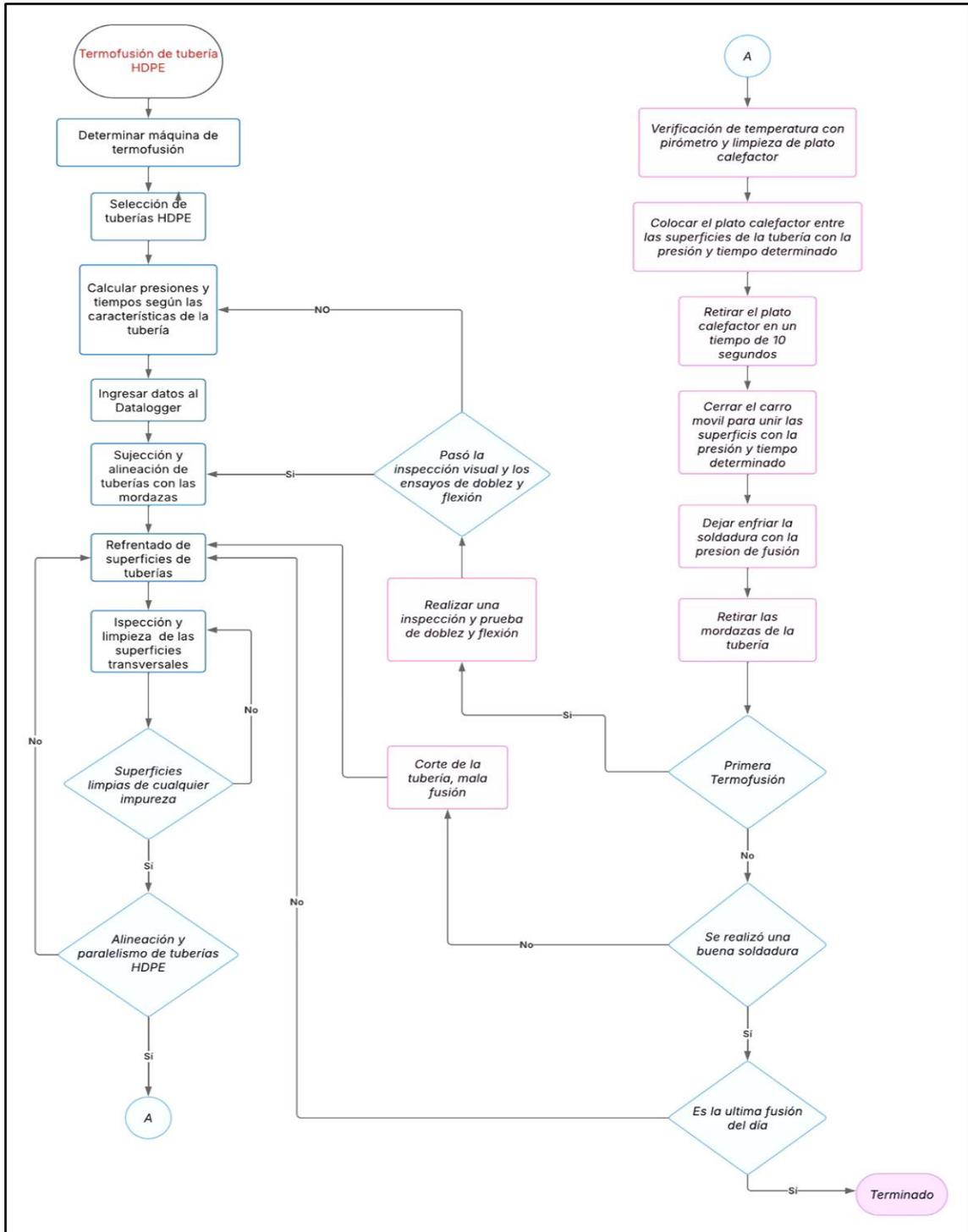






	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO:
DISUJ.	ROBERT A. HUACASI TICONA		07/11/2024	REDISEÑO DE MÁQUINA DE TERMOFUSIÓN 618 MCELROY
VERIF.	ROBERT A. HUACASI TICONA		07/11/2024	
APROB.	ROBERT A. HUACASI TICONA		07/11/2024	
A			MATERIAL:	N.º DE DIBUJO:
			PESO:	Soporte para cilindro hidráulico
			ESCALA: 1:7	A4
			HOJA 1 DE 1	

Anexo 2: Diagrama de flujo de proceso de termofusión de tubería HDPE (polietileno de alta densidad)



Fuente: elaboración propia

Anexo 4: Autorización para uso de información del equipo de termofusión

Hudbay Perú S.A.C

Av. Jorge Chávez Nro. 235 Dpto. 701 Miraflores-Lima, Perú

15 de febrero del 2024

Yo Ricardo Enrique Cruz Pacahuala con DNI
N° 09441162, como jefe de proyectos de la gerencia de PROCESOS PLANTA Y
PROYECTOS de la empresa HUBBAY PERU, autorizo al señor Robert Anthony
Huacasi Ticona, con DNI 47306015 para el uso de figuras, planos, manuales, fotos e
información del equipo de termofusión McElroy 618 para el desarrollo de su tesis
titulada: " DISEÑO DE MEJORAMIENTO DE MÁQUINA DE TERMOFUSIÓN 618
MCELROY PARA FABRICACIÓN DE CODOS DE 6" A 18"', como Ingeniero Mecánico.

Se emite este documento para los fines que el señor Robert Anthony Huacasi Ticona
considere necesarios.

Agradecemos la oportunidad de contribuir al avance académico y le deseamos éxito
en su tesis.

Sin otro particular me despido.

Atentamente



HUBBAY PERU S.A.C
Ricardo Cruz Pacahuala
Supervisor de Proyectos

Anexo 5: Procedimiento adaptación de equipo de termofusión para soldadura de codos de HDPE

Tipo de Proyecto: Mecánico

1 . OBJETIVO Y ALCANCE

Establecer y describir las instrucciones para la ejecución de la tarea de “ADAPTACIÓN DE EQUIPO DE TERMOFUSION PARA SOLDADURA DE CODOS DE HDPE”, en la cual se identifica los peligros inherentes a esta tarea, se analice los riesgos con el fin de minimizarlos, controlarlos y llevarlos a un riesgo

Este procedimiento aplica a cada uno del personal involucrado y autorizado en la tarea de “ADAPTACIÓN DE EQUIPO DE TERMOFUSION PARA SOLDADURA DE CODOS DE HDPE”.

2. DEFINICIONES Y TÉRMINOS

2.1 Supervisor de Campo

- Elaborar el procedimiento de trabajo de la tarea a realizar.
- Coordinar diariamente con el responsable o líder de la tarea a ejecutarse durante la jornada cumpliendo los requisitos de seguridad establecido en los documentos.
- Establecer y mantener condiciones de trabajo seguro y saludable ciñéndose al programa de seguridad, y desarrollando procedimientos para controlar los riesgos en el lugar de trabajo.
- Coordinar con el Ingeniero HSE la puesta en marcha y seguimiento de las tareas a realizarse.
- Realizar inspecciones para verificar el cumplimiento de los procedimientos dentro del lugar de trabajo.
- Asegurar que todas las observaciones identificadas durante la inspección de seguridad que atenten contra los trabajadores, sean levantadas antes de continuar con la tarea.
- El supervisor debe estar en el campo verificando el control de las

energías peligrosas y asesorando las tareas. De tornarse riesgoso entonces el trabajo lo debe paralizar.

- Su responsabilidad será de supervisar y permanecer en todo momento durante la ejecución de los trabajos.
- Capacitar y evaluar al trabajador a su cargo respecto a la tarea a desarrollarse, para poder controlar los riesgos inherentes a la misma.
- Difundir el presente procedimiento de trabajo a todos los trabajadores a su cargo y registrar la evidencia.
- Mantener actualizada esta documentación frente a cualquier cambio que se establezca, y realizar la capacitación respecto a dichos cambios.
- Poseer conocimiento del procedimiento de comunicación de emergencia, estándares y procedimientos de seguridad.
- Informar de inmediato al área de seguridad todo incidente suscitado que podría resultar en lesión o daño a la propiedad.
- Asegurarse que antes del inicio de las actividades se cuente con los permisos de trabajo requeridos para la tarea.
- Paralizar los trabajos cuando las condiciones de trabajo se tornen peligrosas y exista potencial de pérdida.
- Es responsable de lo establecido en el art. 38 del D.S. 024-2016-EM. y de la modificación de los artículos y anexos del Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería D.S. N° 023- 2017-EM

2.2 Supervisor SSOMA

- Identificar y evaluar los riesgos de trabajo a realizar y tomar las acciones preventivas y necesarias para minimizar.
- Realiza seguimiento y hace cumplir los estándares de seguridad aplicables a la tarea del área de trabajo.
- Apoya y asegura que se cumpla el presente procedimiento en la tarea a realizarse.
- Verificar los permisos correspondientes para el desarrollo de la tarea (Permiso de izaje, PETAR (anexo 18), IPERC CONTINUO, Check list de inspección de camión grúa, etc.).
- Realizar inspecciones periódicas en el área de trabajo, para verificar el cumplimiento de las normas y estándares de seguridad.

De tornarse riesgoso entonces el trabajo lo debe paralizar.

- Verifica y asesora en el control de los riesgos de la tarea los cuales han sido identificados en el IPERC CONTINUO.
- Paralizar la tarea cuando las condiciones de trabajo se tornen peligrosas y exista potencial perdida.

2.3 Técnico Mecánico

- Reportase listo para trabajar, con el descanso adecuado, en el lugar y horas pactadas y
- sin los efectos del alcohol o drogas.
- Cumplir estrictamente el contenido del presente procedimiento para la tarea.
- Realizar IPERC CONTINUO antes de comenzar la tarea junto con todo el equipo de trabajo.
- Realizar la actividad concentrada, con los ojos y mente en la tarea, para garantizar su
- propia seguridad y la de sus colegas y demás personas.
- No realizar ninguna actividad ni operar ningún equipo si no está debidamente capacitado y autorizado para ello.
- Ejecutar la tarea encomendada de acuerdo a lo señalado en el presente procedimiento.
- Informar de inmediato al área de seguridad todo incidente suscitado que podría resultar en lesión o daño a la propiedad.
- Utilizar correctamente y en forma permanente su EPP.
- Señalizar y demarcar su área de trabajo previo al inicio de la tarea.
- Proveer información a su supervisor para mejorar las condiciones de seguridad.
- Obedecer las normas, reglamentos, procedimientos e instrucciones de seguridad.
- Comunicar a su supervisor inmediato la paralización de la tarea cuando las condiciones de trabajo se tornen peligrosas y exista potencial de perdida.

2.4 Operario / Técnico de Termofusión

- Reportase listo para trabajar, con el descanso adecuado, en el lugar y horas pactadas y sin los efectos del alcohol o drogas.
- Elaborar el IPERC CONTINUO, identificando en el mismo las tareas críticas a realizar.
- Realizar la actividad concentrada, con los ojos y mente en la tarea, para garantizar su propia seguridad y la de sus colegas y demás personas.
- Cumplir el presente procedimiento de trabajo.
- Corregir inmediatamente actos y condiciones sub estándares dentro del alcance de su trabajo.
- Usar el EPP básico, y específico, correspondiente a la labor a realizar.
- Mantener en el punto de trabajo la documentación relacionada en el desarrollo de la actividad, el personal debe tener limpia y ordenada el área de trabajo, con buenas prácticas ambientales y de seguridad.

2.5 Operador de camión grúa

- Reportase listo para trabajar, con el descanso adecuado, en el lugar y horas pactadas y sin los efectos del alcohol o drogas.
- Elaborar el IPERC CONTINUO, identificando en el mismo las tareas críticas a realizar.
- Realizar la actividad concentrada, con los ojos y mente en la tarea, para garantizar su propia seguridad y la de sus colegas y demás personas.
- Cumplir el presente procedimiento de trabajo.
- Corregir inmediatamente actos y condiciones sub estándares dentro del alcance de su trabajo.
- Dar aviso de inmediato a su supervisor sobre cualquier defecto encontrado en su equipo de protección personal, así como de cualquier riesgo identificado durante la realización de las actividades involucradas en este procedimiento.
- Inspeccionar el equipo de izaje antes de su uso.
- Mantener contacto visual o radial con el rigger para ejecutar la maniobra.

- No maniobrar la carga sobre personas o equipos frágiles, verificar el área se encuentre despejada.
- Verificar la tabla de capacidad de carga de la grúa/excavadora, no exceder el 75% de capacidad del equipo. Verificar también que las condiciones para el izaje sean las apropiadas.

2.6 Rigger

- Reportase listo para trabajar, con el descanso adecuado en el lugar y horas pactadas y sin los efectos del alcohol o drogas.
- Elaborar el ATS, identificando en el mismo las tareas críticas a realizar.
- Realizar la actividad concentrada, con los ojos y mente en la tarea, para garantizar su propia seguridad y la de sus colegas y demás personas.
- Cumplir el presente procedimiento de trabajo.
- Corregir inmediatamente actos y condiciones sub estándares dentro del alcance de su trabajo.
- Usar el EPP básico, y específico, correspondiente a la labor a realizar.
- Mantener en el punto de trabajo la documentación relacionada en el desarrollo de la actividad, el personal debe tener limpia y ordenada el área de trabajo, con buenas prácticas ambientales y de seguridad.
- Dar aviso de inmediato a su supervisor sobre cualquier defecto encontrado en su equipo de protección personal, así como de cualquier riesgo identificado durante la realización de las actividades involucradas en este procedimiento.
- Inspeccionar los accesorios de izaje y asegurar la carga apropiadamente.
- Mantener contacto visual o radial con el operador del camión grúa para ejecutar la maniobra.

No guiar la carga sobre personas o equipos frágiles, verificar el área se encuentre despejada.

3.- PERSONAL	
<ul style="list-style-type: none"> • Gerente de Proyecto • Supervisor de Campo • Técnico de Termofusión • Técnico Mecánico 	<ul style="list-style-type: none"> • Supervisor de SSOMA • Operador de camión grúa • Rigger

4.- EQUIPOS DE PROTECCIÓN PERSONAL

- Todo el personal deberá usar el EPP básico requerido en el proyecto, como se muestra a continuación:



- Tener en cuenta que se deberá usar prendas de seguridad de material reflectivo, con camisas de manga larga y pantalones.

Usar otros EPP específicos según la tarea que se va a realizar:

<ul style="list-style-type: none"> • Casco seguridad (ANSI Z89.1), clase E, tipo I 	<ul style="list-style-type: none"> • Bloqueador solar
<ul style="list-style-type: none"> • Lente seguridad (ANSI Z87.1) 	
<ul style="list-style-type: none"> • Zapato de seguridad (EN 345) 	<ul style="list-style-type: none"> • Protectores auditivos o tapones (ANSI S 3.19).
<ul style="list-style-type: none"> • chaleco seguridad con Cintas reflectivas 	
<ul style="list-style-type: none"> • Ropa de trabajo 	<ul style="list-style-type: none"> • Cortaviento
<ul style="list-style-type: none"> • Guante de cuero 	

5.- EQUIPOS HERRAMIENTAS Y MATERIALES

Camión grúa	Punzones
Llaves Mixtas	Torquímetro
Llave francesa	Destornillar Plano
Llave allen	Multímetro
Comba de 4 Lb	Alicate
Maleta de dados	Soga

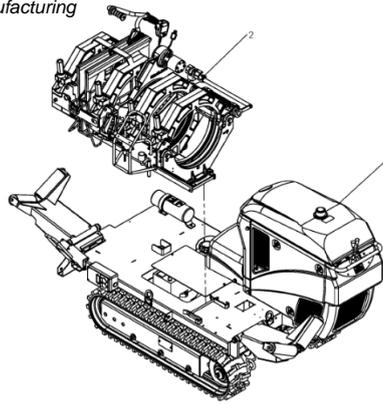
6.- PROCEDIMIENTO

Etapas	N°	Actividad	Riesgo / Control	Responsable	Documentos / Formatos / Referencias
PLANIFICACION PREVIO DEL TRABAJO	01	Coordinar con el supervisor del área afectada los trabajos a ejecutarse.	<ul style="list-style-type: none"> Trabajo No autorizado / Contar los permisos de trabajo. 	Supervisor Operativo	IPERC Continuo (PETAR) Permiso de izaje de cargas Chek list preoperacional Chek List de aparejos
	02	El trabajo es iniciado una vez que el personal este acreditado e instruido sobre los peligros y riesgo que son inherentes a esta actividad.	<ul style="list-style-type: none"> Caída a nivel, exposición a radiación solar / tránsito de trabajadores por zona segura firme y autorizada, uso de bloqueador solar. 	Supervisor Operativo /Ingeniero HSE	Registro de capacitación
	03	El personal deberá de estar familiarizado con el ambiente de trabajo, se hará la difusión del PETS. La difusión de este documento deberá quedar registrada y archivada adjuntada al mismo.	<ul style="list-style-type: none"> Caída a nivel, exposición a radiación solar / tránsito de trabajadores por zona segura firme y autorizada, uso de bloqueador solar. 	Supervisor Operativo	Registro de difusión del documento
	04	Para todas las actividades a realizarse durante la ejecución de los trabajos el personal deberá llenar el IPERC CONTINUÓ identificando los riesgos asociados a sus trabajos, tomando como base a lo descrito en su matriz IPERC de línea base y PETS de acuerdo a la actividad que se ejecuta.	<ul style="list-style-type: none"> Caída a nivel, exposición a radiación solar / tránsito de trabajadores por zona segura firme y autorizada, uso de bloqueador solar. 	Supervisor Operativo /Ingeniero HSE	IPERC Continuo PETS Chek list Preoperacional
	05	Todas los equipos y herramientas, antes de usarlas se realizará una inspección visual y asegurarse de que se encuentren en buen estado de operatividad, antes de iniciar la labor. Realizará el check list preoperacional. El operador realizará el check list correspondiente, Si detecta alguna falla en el equipo, dará parte a su supervisor inmediato con copia al ingeniero HSE.	<ul style="list-style-type: none"> Caída a nivel / tránsito de trabajadores por zona segura firme y autorizada Incrustaciones de objetos punzantes / No exponerse a la línea de fuego, uso de guantes de cuero o badana. Atrapamiento de manos / No exponerse a los puntos de atrapamiento y uso adecuado de EPP (Guantes) 	Supervisor Operativo / Operador de Camión Grúa	Check list de Pre Uso

06	El supervisor deberá verificar que el personal cuente con los EPP específicos para los trabajos críticos las cuales estarán en buenas condiciones.	<ul style="list-style-type: none"> • Caída a nivel / orden y limpieza en el área de capacitación, tránsito de trabajadores por zona segura firme y autorizada 	Supervisor Operativo	Formato de entrega de e quipos de protección personal básico y otros
07	Se dispondrá de agua para beber en campo la cual contará con dispensador y vasos para su consumo y tacho de residuos.	<ul style="list-style-type: none"> • Deshidratación / Trabajadores con disponibilidad de agua para beber en cualquier instante, de acuerdo a su requerimiento digestivo. 	Supervisor Operativo	

DESARROLLO	01	Posicionamiento y estabilización de camión grúa	<ul style="list-style-type: none"> • Supervisión en la correcta ejecución del trabajo, así como la aplicación del estándar STD-SSO-004_Equipos izaje Grúas Movimientos de Cargas 	Supervisor Operativo / Ing. HSE.	IPERC Continuo (PETAR) Permiso de izaje de cargas Chek list preparación Chek List de aparejos
	02	Retirar Pernos de mordazas anclados a base y pines de la base de mordaza unidas al chasis	<ul style="list-style-type: none"> • Atrapamiento de manos / Trabajadores capacitados, comunicación constante entre operador y ayudantes. • Golpes de manos / utilizar comba para golpes ligeros en caso de atoramiento. Golpes / utilizar pines para levantar y movilizar mordazas. 	Supervisor Operativo / Ing. HSE.	IPERC Continuo
		Retiro de pitbull de máquina de termofusión, Izaje con camión grúa	<ul style="list-style-type: none"> • Supervisión en la correcta ejecución del trabajo, así como la aplicación del estándar STD-SSO-004_Equipos izaje Grúas Movimientos de Cargas. • Interacción hombre máquina / Coordinación previa a realizar trabajos, entre el operador de camión grúa, rigger, Mecánico • Carga suspendida / Todo trabajador debe ubicarse fuera de la línea (área) de fuego de la carga suspendida, Análisis de riesgos en PETAR de Izaje, realizar los check list preuso. • Carga suspendida / área señalizada, operador y rigger autorizado y acreditado 	Supervisor Operativo / Ing. HSE. / Mecánico /rigger /Op. Camión grúa	IPERC Continuo (PETAR) Permiso de izaje de cargas Chek list preparación Chek List de aparejos

fuelle: 2025 McElroy Manufacturing



Desmontaje de pitbull de máquina de termofusión

Retiro de pernos de base de mordazas e instalación de nueva base de mordazas y ajuste de pernos

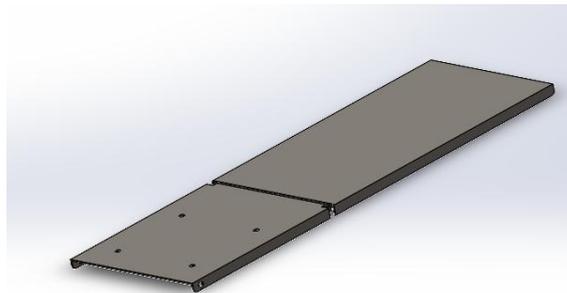
- Atrapamiento de manos / Trabajadores capacitados, comunicación constante entre mecánico y ayudantes.
- Golpes de manos / utilizar comba para golpes ligeros en caso de atoramiento.
- Golpes / utilizar pines para levantar y movilizar mordazas.

Supervisor Operativo / Ing. HSE./ Mecánico

IPERC Continuo

fuente: elaboración propia

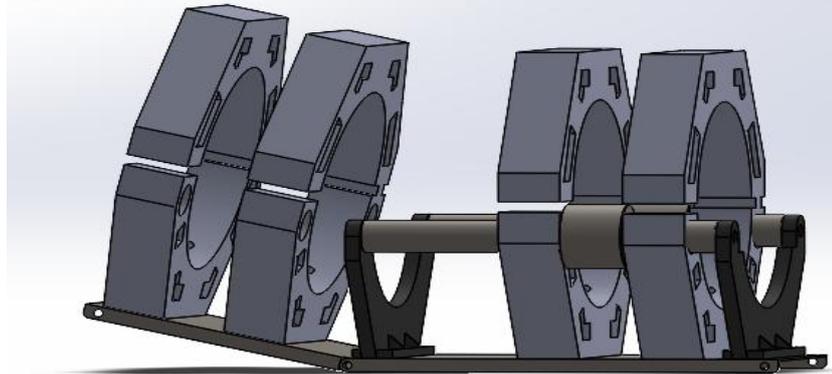
Base de mordazas



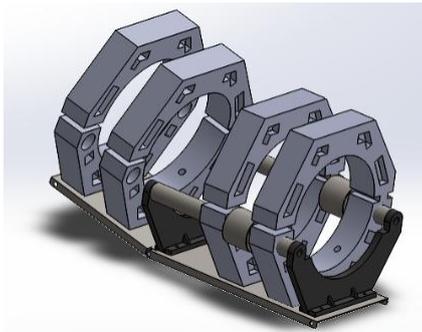
Nueva Base de mordaza

	06	Montaje de nueva base con mordazas en chasis de máquina de termofusión e instalación de soporte para cilindro hidráulico	<ul style="list-style-type: none">• Atrapamiento de manos / Verificar que al momento del alineamiento y amordazamiento no esté ninguna persona expuesta a las partes móviles del equipo.• Carga suspendida / Todo trabajador debe ubicarse fuera de la línea (área) de fuego de la carga suspendida, Análisis de riesgos en PETAR de Izaje, realizar los check list preuso.• Carga suspendida / área señalizada, operador y rigger autorizado y acreditado.	Supervisor Operativo / Ing. HSE. / Mecánico /rigger /Óp. Camión grúa	IPERC Continuo (PETAR) Permiso de izaje de cargas Chek list preparación Chek List de aparejos
--	----	--	---	--	--

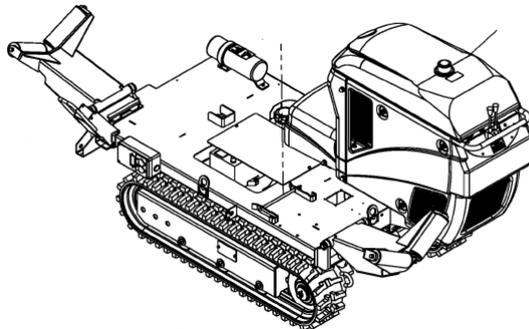
Fuente: elaboración propia, (Solidworks 2020)



Ensamble de mordazas a nuevo rediseño



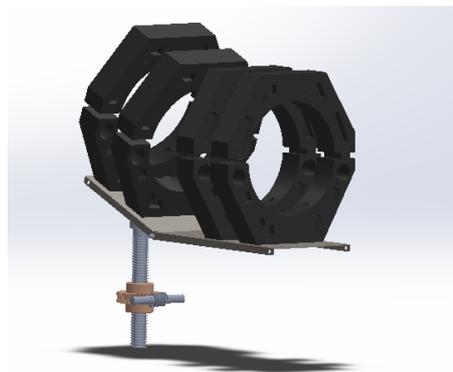
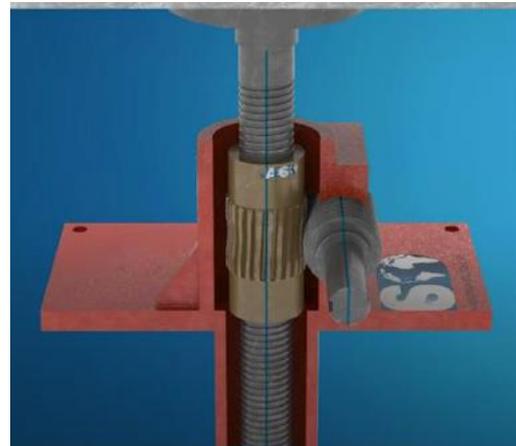
Montaje de Pitbul en máquina de termofusión



	07	<p>Instalación de sistema de levante en nueva base móvil de mordazas</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Atrapamiento de manos / Verificar que al momento del alineamiento y amordazamiento no esté ninguna persona expuesta a las partes móviles del equipo. • Carga suspendida / Todo trabajador debe ubicarse fuera de la línea (área) de fuego de la carga suspendida, Análisis de riesgos en PETAR de Izaje, realizar los check list preuso. • Carga suspendida / área señalizada, operador y rigger autorizado y acreditado. 	<p>Supervisor Operativo / Ing. HSE. / Mecánico /rigger /Op. Camión grúa</p>	<p>IPERC Continuo (PETAR) Permiso de izaje de cargas Chek list preparación Chek List de aparejos</p>
--	----	--	---	---	---

Fuente: elaboración propia, (Solidworks 2020)

Montaje de sistema de elevación



Montaje de sistema de elevación a base de mordazas

08	Ajuste de Penerima y soportes	<ul style="list-style-type: none"> • Atrapamiento de manos / Verificar que al momento del movimiento de las mordazas móviles no esté ninguna persona expuesta a las partes móviles del equipo. • Golpes / Verificar que no se ubique ninguna persona en la línea de fuego (dirección del movimiento) de las mordazas móviles. • Cortes y atrapamientos / Verificar que no esté ninguna persona en la zona del refrentado de la tubería, 	Supervisor Operativo / Ing. HSE	IPERC Continuo
09	Inicio del proceso de termofusión de codos de tubería HDPE	<ul style="list-style-type: none"> • Atrapamiento de manos / Verificar que al momento del movimiento de las mordazas móviles no esté ninguna persona expuesta a las partes móviles del equipo. • Golpes / Verificar que no se ubique ninguna persona en la línea de fuego (dirección del movimiento) de las mordazas móviles. • Cortes y atrapamientos / Verificar que no esté ninguna persona en la zona del refrentado de la tubería, tampoco tenga contacto con las cuchillas del plato refrendador, el 	Supervisor Operativo / Ing. HSE Operador Maquina De Termofusión / Técnicos.	

7.- RESTRICCIONES

8.1 Solo personal autorizado y calificado realizará la operación del equipo.

8.2 Si el trabajador está en mal estado de salud, no realizará el trabajo.

8.3 Si las condiciones de trabajo son inseguras, se paraliza la actividad

8.- REFERENCIAS & ENLACES A LOS DOCUMENTOS RELACIONADOS

Número de Documento	Título del Documento
D.S. N° 024-2016-EM	Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería.
D.S. N° 023-2017-EM	Modificación de artículos y anexos del Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería.
Norma ASTM F2620-20	ESPAÑOL-NORMA-TECNICA-FUSION-POLIETILENO- Práctica estándar para Uniones por Termofusión de tuberías y accesorios de polietileno

